SAVANNAH LITHIUM

PROJETO DE AMPLIAÇÃO DA MINA DO BARROSO

PLANO DE LAVRA

Lisboa, 29 de outubro de 2026

ÍNDICE GERAL

1 INTRODUÇÃO 50
1.1 ENQUADRAMENTO DO PROJETO 50
1.1.1 APRESENTAÇÃO 50
1.1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO 50
1.1.3 FINALIDADE E ENQUADRAMENTO DA DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA 51
1.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROPONENTE E AUTOR DO ESTUDO 51
1.2.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROPONENTE 51
1.2.2 IDENTIFICAÇÃO DO AUTOR DO ESTUDO 52
1.3 ENTIDADE LICENCIADORA 53
1.4 OBJETIVOS, NECESSIDADES E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO PROJETO 53
1.4.1 JUSTIFICAÇÃO E IMPORTÂNCIA DA INDÚSTRIA EXTRATIVA 53
1.4.2 A IMPORTÂNCIA DAS MATÉRIAS-PRIMAS E A INDÚSTRIA EXTRATIVA NA UNIÃO EUROPEIA 53
1.4.3 ESTRATÉGIA EUROPEIA PARA AS MATÉRIAS-PRIMAS 55
1.4.4 APROVISIONAMENTO SEGURO 56
1.4.5 EXPLORAÇÃO HISTÓRICA 57
1.4.6 OBJETIVOS DO PROJETO 61
1.4.7 ACESSOS E LOCALIZAÇÃO DO PROJETO 64
1.5 SÍNTESE DOS PRINCIPAIS INDICADORES DO PROJETO 67
2 CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS MINERAIS 70
2.1 INTRODUÇÃO 70
2.2 GEOLOGIA REGIONAL 71
2.3 GEOLOGIA ESTRUTURAL 75
2.4 TIPO DE DEPÓSITOS 78
2.4.1 GRANDÃO 78
2.4.2 RESERVATÓRIO 80
2.4.3 NOA 82
2.4.4 PINHEIRO 83
2.5 MINERALIZAÇÃO – DESCRIÇÃO DO TIPO DE MINERALIZAÇÃO 85
2.6 PROSPEÇÃO 92
2.6.1 PROSPEÇÃO HISTÓRICA 92
2.6.2 PROSPEÇÃO RECENTE (ESTUDO DE VIABILIDADE) 108
2.7 ESTIMATIVA DE RECURSOS 132
2.7.1 RECURSOS CLASSIFICADOS (JORC) 133
2.7.2 AVALIAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS SECUNDÁRIAS 136
2.7.3 ALVOS DE PROSPEÇÃO 137
2.7.4 METODOLOGIA E ESTIMAÇÃO DE RECURSOS POR DEPÓSITO 140
3 HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA 140
3.1 ENQUADRAMENTO HIDROLÓGICO 140
3.2 HIDROGEOMORFOLOGIA E CLIMA 141
3.3 ESTUDO HIDROGEOLÓGICO 145
3.3.1 ATIVIDADES DE PERFURAÇÃO ANTERIORES 146
3.3.2 NÍVEIS DE ÁGUA 147
3.3.3 ENSAIOS DE BOMBAGEM 147
3.3.4 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS 148

3.3.5 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 152
3.3.6 USO ATUAL DAS ÁGUAS 166
3.3.7 ESBOÇO HIDROGEOLÓGICO CONCETUAL 167
3.3.8 LEVANTAMENTO PIEZOMÉTRICO LOCAL 169
3.3.9 ENSAIOS HIDROGEOLÓGICOS DE CAMPO 173
3.3.10 MODELAÇÃO NUMÉRICA 186
3.3.11 AVALIAÇÃO DE TRAJETÓRIAS DE PARTÍCULAS (CONTAMINANTES) 213
3.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 215
4 MÉTODO DE EXPLORAÇÃO, INFRAESTRUTURA MINEIRA E DESENHO DAS CORTAS 217
4.1 DECLARAÇÃO DE RESERVAS MINEIRAS 217
4.1.1 ENQUADRAMENTO E BASE DE CLASSIFICAÇÃO 217
4.1.2 RESERVAS MINEIRAS DECLARADAS 217
4.1.3 CRITÉRIOS CÓDIGO JORC 218
4.2 METODOLOGIA DE CÁLCULO DAS RESERVAS MINEIRAS 233
4.2.1 RECURSOS MINERAIS 233
4.2.2 GEOTECNIA 234
4.2.3 ESTUDOS DE LAVRA 235
4.2.4 CONCEÇÃO DE PROCESSO 238
4.2.5 ENSAIOS METALÚRGICOS 239
4.2.6 AMBIENTAL 241
4.2.7 INFRAESTRUTURA 242
4.2.8 CUSTOS 244
4.2.9 FATORES DE RECEITA 244
4.2.10 AVALIAÇÃO DE MERCADO 245
4.2.11 ECONÓMICO 246
4.2.12 SOCIAL 246
4.2.13 OUTROS 247
4.2.14 CLASSIFICAÇÃO 248
4.2.15 AUDITORIAS OU REVISÕES 248
4.2.16 DISCUSSÃO SOBRE A EXATIDÃO E CONFIANÇA RELATIVA 248
4.3 EXPLORAÇÃO 249
4.3.1 METODOLOGIA 249
4.3.2 MODELO DE LAVRA 250
4.3.3 CICLO DE PRODUÇÃO 253
4.4 GEOTECNIA 273
4.4.1 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA 274
4.4.2 INFORMAÇÃO HIDROGEOLÓGICA 283
4.4.3 ENSAIOS GEOTÉCNICOS LABORATORIAIS 285
4.4.4 MODELO GEOTÉCNICO 309
4.4.5 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS FUNDAMENTAIS 314
4.4.6 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DE DESIGN 323
4.4.7 MODOS POTENCIAIS DE INSTABILIDADE 327
4.4.8 ÂMBITO DA ANÁLISE DE ESTABILIDADE 328
4.4.9 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DOS TALUDES GLOBAIS 329
4.4.10 RECOMENDAÇÕES DE CONCEÇÃO DOS TALUDES GLOBAIS 366
4.4.11 CARACTERÍSTICAS DE ESCAVAÇÃO 374
4.4.12 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES PARA A FASE DE OPERAÇÃO 377

4.5 DESENHO DAS CORTAS 381
4.5.1 MASSA MINERAL....382
4.5.2 IMPLANTAÇÃO DAS CORTAS....382
4.6 CRONOGRAMA DOS TRABALHOS 392
4.6.1 METODOLOGIA....392
4.6.2 PARÂMETROS E RESTRIÇÕES....395
4.6.3 PLANEAMENTO MINEIRO....398
4.6.4 PLANEAMENTO DA PLANTA DE PROCESSAMENTO....405
4.6.5 PLANEAMENTO DO PRODUTO....407
4.6.6 PLANEAMENTO DOS REJEITADOS....407
4.6.7 SEQUÊNCIA DE LAVRA....408
4.7 EQUIPAMENTOS MÓVEIS 421
4.7.1 EQUIPAMENTOS DE PRODUÇÃO....421
4.7.2 EQUIPAMENTOS AUXILIARES....424
4.7.3 PLANOS DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS....430
4.8 RECURSOS HUMANOS 431
4.8.1 FASE DE CONSTRUÇÃO/IMPLEMENTAÇÃO....431
4.8.2 FASE DE OPERAÇÃO....432
4.8.3 ORIGEM E COMPOSIÇÃO DA FORÇA DE TRABALHO....433
4.9 ESTRUTURA DOS TURNOS DE TRABALHO 433
5 PROCESSO DE TRATAMENTO MINERAL 434
5.1 PROCESSOS METALÚRGICOS 434
5.1.1 DESENVOLVIMENTO DO FLUXOGRAMA DE PROCESSAMENTO....436
5.1.2 REDUÇÃO GRANULOMÉTRICA....437
5.1.3 PROGRAMA DE VARIABILIDADE....438
5.1.4 ENSAIOS EM CICLO FECHADO (*LOCKED CYCLE TEST*)....450
5.1.5 CONCLUSÕES....455
5.2 PROCESSAMENTO MINERAL 456
5.2.1 LOCALIZAÇÃO DA PLANTA DE PROCESSAMENTO....456
5.2.2 CRITÉRIOS DE DESENHO....460
5.2.3 PRESSUPOSTOS DO PROJETO....462
5.2.4 OTIMIZAÇÕES-CHAVE NO PROJETO DA PLANTA DE PROCESSAMENTO MINERAL 463
5.2.5 DESCRIÇÃO DO PROCESSAMENTO....469
5.3 SERVIÇOS DA LAVARIA 484
5.3.1 AR COMPRIMIDO....484
5.3.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA LAVARIA....485
5.3.3 FLUXOS DE ÁGUA DE PROCESSO....487
5.3.4 REAGENTES....488
5.4 TRATAMENTO DE ÁGUA 489
5.5 PROJETO ELÉTRICO DA PLANTA DE PROCESSAMENTO MINERAL 491
5.5.1 POTÊNCIA TOTAL CALCULADA....492
5.5.2 ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA DE ALTA TENSÃO....492
5.5.3 REDE TERRAS....493
5.5.4 ÁREA DE BRITAGEM PRIMÁRIA – INSTALAÇÃO ELÉTRICA....493
5.5.5 ÁREA DE MOAGEM SECUNDÁRIA – ELÉTRICA....493
5.5.6 ÁREA DE FLOTAÇÃO – ELÉTRICA....494
5.5.7 ÁREA DE FILTRAÇÃO - ELÉTRICA....494

5.5.8 ESTAÇÕES DE BOMBAS DE ÁGUA – ELÉTRICA 494
5.5.9 SALAS DE COMANDO (*SWITCHROOMS*) 495
5.5.10 DISPOSITIVOS DE CONTROLO 495
5.5.11 ILUMINAÇÃO DA LAVARIA E INSTALAÇÕES 495
5.5.12 TOMADAS ELÉTRICAS MONOFÁSICAS E TRIFÁSICAS 495
6 INFRAESTRUTURAS 496
6.1 VIAS DE ACESSO À MINA E ACESSOS INTERNOS 496
6.2 TRAÇADO 497
6.2.1 DIRETRIZ 498
6.2.2 PERFIL LONGITUDINAL 502
6.2.3 PERFIL TRANSVERSAL 502
6.3 PAVIMENTO 506
6.3.1 ACESSO EXTERNO E VIA DE TRANSPORTE 0 506
6.3.2 ACESSOS INTERNOS 507
6.4 DRENAGEM 508
6.4.1 CÁLCULOS HIDROLÓGICOS 508
6.4.2 DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM TRANSVERSAL 513
6.4.3 DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM LONGITUDINAL 515
6.5 SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA 515
6.5.1 SINALIZAÇÃO VERTICAL 516
6.5.2 MARCAÇÃO RODOVIÁRIA 517
6.5.3 SISTEMAS DE RETENÇÃO RODOVIÁRIA 517
6.6 PONTE SOBRE O RIO COVAS 518
6.6.1 NORMAS E LEGISLAÇÃO APLICÁVEL 519
6.6.2 CONDICIONAMENTOS 520
6.6.3 SOLUÇÃO ESTRUTURAL 521
6.6.4 MATERIAIS 524
6.6.5 AÇÕES 525
6.6.6 MODELOS DE CÁLCULO 531
6.6.7 CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA 532
6.7 INSTALAÇÕES AUXILIARES DE SUPERFÍCIE 536
6.7.1 INSTALAÇÕES ADMINISTRATIVAS E TÉCNICAS 539
6.7.2 INSTALAÇÕES DE APOIO ÀS OPERAÇÕES MINEIRAS 545
6.7.3 OFICINA E ARMAZÉM DA LAVARIA 548
6.7.4 OUTRAS INSTALAÇÕES OU INSTALAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO 551
6.8 PROJETO HIDRÁULICO 558
6.8.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA 558
6.8.2 SISTEMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS 563
6.8.3 SISTEMA DE ÁGUAS RESIDUAIS INDUSTRIAIS 573
6.8.4 OBJETIVOS DA ÁGUA TRATADA 576
6.8.5 GESTÃO GLOBAL DAS INFRAESTRUTURAS 595
6.8.6 BALANÇO HÍDRICO INTEGRADO E GESTÃO DOS RESERVATÓRIOS 596
6.9 INFRAESTRUTURAS DE CONTROLO HIDRÁULICO 598
6.9.1 ARRANJO GERAL DO SISTEMA 599
6.9.2 DESCRIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS 603
6.9.3 ANÁLISE HIDROLÓGICA 609
6.9.4 OCUPAÇÃO DO SOLO E NÚMERO DE ESCOAMENTO 610
6.9.5 DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS E TEMPO DE CONCENTRAÇÃO 611

6.9.6 ANÁLISE GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA 642
6.9.7 CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS 688
6.9.8 CONSIDERAÇÕES GERAIS 690
6.9.9 CRITÉRIOS DE BASE E RITMOS DE TRABALHO 690
6.9.10 PRINCIPAIS FRENTES DE TRABALHO 691
6.9.11 CRONOGRAMA DE TRABALHOS 695
6.10 SEPARADOR DE HIDROCARBONETOS 700
6.10.1 PRINCÍPIOS DE CONCEÇÃO E BASES HIDRÁULICAS 701
6.10.2 CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO 706
6.10.3 CARGAS DE HIDROCARBONETOS ESTIMADAS – RCS-01 706
6.10.4 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO 707
6.10.5 INSTALAÇÃO DA BARREIRA FLUTUANTE 709
6.10.6 *SKIMMER* E LINHA DE ASPIRAÇÃO/BOMBAGEM 711
6.10.7 PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO 713
6.10.8 TANQUE SEPARADOR DE ÓLEO 714
6.10.9 INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO 714
6.11 PROJETO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA 716
6.11.1 FONTES DE ENERGIA 717
6.11.2 SUBESTAÇÃO E POSTO DE CORTE 741
6.11.3 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO 757
6.11.4 REDE DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA INTERNA 761
6.12 MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS (INFRAESTRUTURAS) 763
6.12.1 VIAS DE ACESSO 763
6.12.2 INFRAESTRUTURAS DE CONTROLO HIDRÁULICO 764
6.12.3 INSTALAÇÕES ADMINISTRATIVAS E TÉCNICAS 764
6.12.4 ATERRO DE REJEITADOS (TSF) 765
6.12.5 LAVARIA 765
6.12.6 PLATAFORMA DE LOGÍSTICA DA MINA 765
7 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS MINEIROS 766
7.1 METODOLOGIA, TESTES E ENSAIOS 766
7.1.1 METODOLOGIA – DECRETO-LEI Nº 10/2010 766
7.1.2 TESTES E ENSAIOS 768
7.2 CONTEXTO REGIONAL E CARACTERIZAÇÃO DE SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA 781
7.2.1 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO 781
7.2.2 ENQUADRAMENTO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO 787
7.3 RESULTADOS 789
7.3.1 PRÉVIOS 790
7.3.2 NOVOS ENSAIOS E TESTES (RECAPE) 803
7.4 CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA EXTRATIVA 831
7.4.1 REJEITADOS 834
7.4.2 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS NÃO MINEIROS 837
7.4.3 ESTÉREIS 844
7.5 INSTALAÇÃO DE ATERRO DE RESÍDUOS 852
7.5.1 OBJETIVOS DO PROJETO 852
7.5.2 DIRETRIZES DE PROJETO 852
7.5.3 SELEÇÃO DE TECNOLOGIA 853
7.5.4 PARÂMETROS DE PROJETO 854
7.6 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL 855

7.6.1 GEOLOGIA 855
7.6.2 CLIMA 855
7.6.3 PARÂMETROS SÍSMICOS DE PROJETO 856
7.7 CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS E PROPRIEDADES DE MATERIAL 857
7.7.1 MATERIAIS DA FUNDAÇÃO 857
7.7.2 MATERIAIS DO ATERRO 857
7.7.3 REJEITADOS 858
7.8 ANÁLISE GEOQUÍMICA DOS REJEITADOS 866
7.8.1 GERAL 866
7.8.2 POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE ÁCIDO 866
7.8.3 ENRIQUECIMENTO MULTIELEMENTAR 867
7.8.4 QUALIDADE DA ÁGUA 867
7.8.5 PROJETO DE GESTÃO DE REJEITADOS 868
7.9 PROJETO DA INSTALAÇÃO DE RESÍDUOS 868
7.9.1 CONCEÇÃO GERAL DA INSTALAÇÃO 868
7.9.2 OBRAS DO ATERRO 870
7.9.3 CONSTRUÇÃO DO ATERRO DE ARRANQUE 872
7.9.4 METODOLOGIA DE DEPOSIÇÃO DE REJEITADOS 873
7.9.5 CONTROLO DE INFILTRAÇÕES 874
7.9.6 GESTÃO DE ÁGUA E SEDIMENTOS DO ATERRO DE RESÍDUOS 874
7.9.7 ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA E QA/QC DA CONSTRUÇÃO 874
7.9.8 SUMÁRIO DA GESTÃO DE RISCO 875
7.10 ANÁLISE DE ESTABILIDADE 876
7.11 MONITORIZAÇÃO E MANUTENÇÃO DA TSF 879
7.11.1 GERAL 879
7.11.2 PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO 880
7.11.3 MONITORIZAÇÃO DE PERFORMANCE 882
7.11.4 PROGRAMA DE MANUTENÇÃO 886
7.11.5 REPORTE DE INCIDENTES 887
7.11.6 AUDITORIAS OPERACIONAIS 888
7.12 REABILITAÇÃO DA TSF 888
7.12.1 GERAL 888
7.13 ANÁLISE DE RISCO DA TSF 889
7.13.1 GERAL 889
7.13.2 RISCOS IDENTIFICADOS E MITIGAÇÃO 889
7.14 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DAS ESCOMBREIRAS 891
7.14.1 GEOMETRIA DAS ESCOMBREIRAS 891
7.14.2 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DAS ESCOMBREIRAS 892
7.14.3 PARÂMETROS DA FUNDAÇÃO 892
7.14.4 MATERIAIS DAS ESCOMBREIRAS 894
7.14.5 NÍVEIS FREÁTICOS 896
7.14.6 ANÁLISE DE ESTABILIDADE 896
7.14.7 CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO 897
7.14.8 RESULTADOS DA ANÁLISE 898
7.14.9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 911
7.15 CLASSIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DE RESÍDUOS 911
8 AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÓMICA 913
9 PLANO AMBIENTAL DE RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA 913

9.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO 914
9.1.1 ENQUADRAMENTO 914
9.1.2 VEGETAÇÃO POTENCIAL 914
9.1.3 SITUAÇÃO ATUAL 915
9.1.4 SITUAÇÃO PRÉVIA ÀS INTERVENÇÕES 916
9.2 OBJETIVOS E PRINCÍPIOS 917
9.3 CONCEÇÃO DAS INTERVENÇÕES 918
9.3.1 TIPOLOGIAS DE INTERVENÇÃO 918
9.3.2 ACABAMENTO DAS SUPERFÍCIES 919
9.3.3 MATERIAL VEGETAL 920
9.4 FASEAMENTO 926
9.4.1 MANUTENÇÃO E GESTÃO DA VEGETAÇÃO 927
9.4.2 PROGRAMA DE MANUTENÇÃO 927
9.4.3 PLANO DE GESTÃO DA VEGETAÇÃO 928
9.5 CONDIÇÕES TÉCNICAS DE EXECUÇÃO 928
9.6 ESTIMATIVA DE QUANTIDADES 929
9.7 CUMPRIMENTO DA DIA 930
9.8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 931
10 PLANO DE SEGURANÇA E SAÚDE 931
10.1 ENQUADRAMENTO 931
10.2 ÂMBITO E OBJETIVOS 932
10.3 CONTEÚDO DO PSS 932
10.4 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO EM OBRA 932
11 PLANO DE ENCERRAMENTO 932
11.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS 932
11.2 FASEAMENTO DO ENCERRAMENTO 934
11.3 EQUIPAMENTOS MÓVEIS 936
11.4 DESATIVAÇÃO DAS INSTALAÇÕES 936
11.4.1 CORTAS E ESCOMBREIRAS 936
11.4.2 EDIFÍCIOS DE SUPERFÍCIE E LAVARIA 938
11.4.3 ACESSOS 939
11.4.4 INSTALAÇÃO DE RESÍDUOS (TSF) 939
11.5 REPOSIÇÃO DAS LINHAS DE ÁGUA 941
11.6 AMBIENTE 942
11.6.1 ENQUADRAMENTO LEGAL 942
11.6.2 RESÍDUOS 943
11.6.3 RUÍDOS E POEIRAS 945
11.6.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SOLOS 945
11.6.5 RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA E USO PÓS-MINEIRO 946
11.6.6 GESTÃO DAS ÁGUAS 949
11.7 SISTEMAS DE SEGURANÇA 949
11.8 MONITORIZAÇÃO 950
11.9 RECURSOS HUMANOS 951
11.10ORÇAMENTO DA DESATIVAÇÃO 952
11.10.1 ESTIMATIVA GLOBAL 952
11.10.2 FASEAMENTO ANUAL DO CUSTO DE ENCERRAMENTO 952
11.10.3 PROVISÃO E CAUÇÃO DE REABILITAÇÃO 953
11.10.4 QUANTIDADES DO PLANO DE LAVRA ASSOCIADAS AO ENCERRAMENTO 953

12 PLANEAMENTO DE ATIVIDADES 955
12.1 FASE DE CONSTRUÇÃO 957
12.1.1 ANO -2 – PREPARAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS 957
12.1.2 ANO -1 – PRÉ-DECAPAGEM E ARRANQUE DAS CORTAS....958
12.2 FASE DE OPERAÇÃO (ANOS 1 A 15) 959
12.2.1 ANO 1 – INÍCIO DA PRODUÇÃO 959
12.2.2 ANO 2 – CONSOLIDAÇÃO DA PRODUÇÃO E COBERTURA DA TSF 960
12.2.3 ANO 3 – OPERAÇÃO CONTÍNUA 961
12.2.4 ANO 4 – REABILITAÇÃO PROGRESSIVA DAS CORTAS....962
12.2.5 ANO 5 – OPERAÇÃO CONTÍNUA 962
12.2.6 ANO 6 – PRODUÇÃO ESTABILIZADA....963
12.2.7 ANO 7 – MÁXIMA PRODUÇÃO DE LI_2O 964
12.2.8 ANO 8 – INÍCIO DA REDUÇÃO DA PRODUÇÃO....964
12.2.9 ANO 9 – TRANSIÇÃO OPERACIONAL....965
12.2.10 ANO 10 – CONCLUSÃO DA EXPLORAÇÃO DO GRANDÃO E DO NOA....966
12.2.11 ANO 11 – PERÍODO DE BAIXO TEOR....966
12.2.12 ANO 12 – RECUPERAÇÃO DA PRODUÇÃO E INÍCIO DA REABILITAÇÃO DAS PARGAS DE SOLOS 967
12.2.13 ANO 13 – ESTABILIDADE DA PRODUÇÃO 968
12.2.14 ANO 14 – ELEVADO TEOR COM MENOR VOLUME....968
12.2.15 ANO 15 – ÚLTIMO ANO DE PROCESSAMENTO 969
12.3 FASE DE ENCERRAMENTO E REABILITAÇÃO (ANOS 16 A 20) 970
12.3.1 ANO 16 – CONTINUAÇÃO DA RECUPERAÇÃO APÓS O PROCESSAMENTO....970
12.3.2 ANO 17 – REABILITAÇÃO INTENSIVA 971
12.3.3 ANO 18 – COBERTURA VEGETAL E REABILITAÇÃO 972
12.3.4 ANO 19 – CONCLUSÃO DA REABILITAÇÃO....972
12.3.5 ANO 20 – ÚLTIMO PERÍODO DE MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS 973
12.4 SÍNTESE DO CICLO DE VIDA MINEIRO 974
BIBLIOGRAFIA 976
ANEXOS 978
ANEXO I 979
ANEXO II 981
ANEXO III 983
ANEXO IV 985
ANEXO V 987
ANEXO VI 989
ANEXO VII 991
ANEXO VIII 993
ANEXO IX 995
ANEXO X 997

ÍNDICE GERAL

Figura 1.1 – Principais marcos históricos do Projeto. 61

Figura 1.2 – Área de Concessão e localização dos depósitos e afloramentos e afloramentos do pegmatito. 63

Figura 1.3 – Mapa de localização da Mina do Barroso. 64

Figura 1.4 – Localização da Área de Concessão de Exploração do Projeto Mina do Barroso. 65

Figura 1.5 – Área de Concessão, localização das cortas e distâncias mais próximas às localidades envolventes. 67

Figura 2.1 – Geologia Regional e Principais Áreas de Prospetivas de Lítio - adaptado de J. F. Ramos (2000a) – LNEG. 71

Figura 2.2 – Enquadramento da Geologia Regional Geológico - Corte Transversal (adaptado da Carta Geológica de Portugal 1:50 000). 73

Figura 2.3 – Mapa geológico regional da região da Mina do Barroso mostrando o traçado do limite da concessão C-100. 74

Figura 2.4 – Mapa com a localização dos afloramentos de pegmatitos e das medições estruturais realizadas no Grandão. 76

Figura 2.5 – Diagrama estereográfico (projeção de área igual) do Bandado Aplitopegmatítico (BA) no Grandão. 77

Figura 2.6 – Modelo idealizado para explicar as diferentes estruturas formadas em relação à "Zona de cisalhamento NOA-Grandão" e ao "Cisalhamento Pinheiro-Carvalha da Bácora-Alto dos Cortiços". 78

Figura 2.7 – Afloramentos do Pegmatito do Grandão. 79

Figura 2.8 – Secção Transversal Geológica Simplificada do Grandão. 80

Figura 2.9 – Mapa estrutural dos pegmatitos de lítio do Grandão com base nas observações estruturais do bandado aplitopegmatítico, dobras e falhas. 80

Figura 2.10 – Afloramento do pegmatito do Reservatório mostrando bandado aplitopegmatítico. 81

Figura 2.11 – Secção geológica simplificada do Reservatório. 82

Figura 2.12 – Secção geológica simplificada no NOA. 82

Figura 2.13 – Pegmatito exposto na corta do NOA. 83

Figura 2.14 – Secção geológica simplificada no Pinheiro.....84

Figura 2.15 – Mapa estrutural do Pinheiro com os pegmatitos de lítio e de estanho. ..84

Figura 2.16 – Afloramento de aplitopegmatito no Pinheiro.....85

Figura 2.17 – Lâmina Delgada da Amostra GR4 do Grandão.....86

Figura 2.18 – Lâmina Delgada da Amostra GR1 no Pegmatito. 87

Figura 2.19 – Lâmina Delgada da Amostra GR3 no Aplitopegmatito. 88

Figura 2.20 – Lâmina Delgada de uma Amostra de Superfície do Pegmatito do NOA. ..88

Figura 2.21 – Comparação dos Resultados da Mineralogia do QEMSCAN, da Difração de Raios X e Normativa. 91

Figura 2.22 – Mineralização do pegmatito com composição mineral média. 92

Figura 2.23 – Operações mineiras no NOA - escavação no topo do pegmatito do NOA. 93

Figura 2.24 – Sondagem de circulação inversa no Grandão. 95

Figura 2.25 – Sondagens por circulação inversa no Grandão Norte.....97

Figura 2.26 – Sondagens por circulação inversa no Piagro Negro. 98

Figura 2.27 – Equipamento de sondagem no Reservatório para amostragem metalúrgica. 100

Figura 2.28 – Furação por circulação inversa na Carvalha da Bácora. 102

Figura 2.29 – Testemunho de sondagem, mostrando abundante espodumena. 105

Figura 2.30 – Localização dos furos de sondagem por ano de execução. 108

Figura 2.31 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas no NOA, Fase 1. 112

Figura 2.32 – Secção transversal do NOA. 112

Figura 2.33 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas no Pinheiro, Fase 1. 114

Figura 2.34 – Secção transversal do Pinheiro 4606880N. 115

Figura 2.35 – Secção transversal do Pinheiro 4606920N. 115

Figura 2.36 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas do Reservatório, Fase 1. 117

Figura 2.37 – Secção transversal do Reservatório 160m. 117

Figura 2.38 – Secção transversal do Reservatório 240m. 118

Figura 2.39 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas do Grandão, Fase 1. 119

Figura 2.40 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas do Grandão, Fase 2. 120

Figura 2.41 – Secção transversal do Grandão 4607960N. 122

Figura 2.42 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas do Reservatório, Fase 2. 125

Figura 2.43 – Secção transversal do Reservatório 280m. 125

Figura 2.44 – Secção transversal do Reservatório 40m. 126

Figura 2.45 – Secção transversal do Reservatório 320m. 126

Figura 2.46 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas do Pinheiro, Fase 2. 129

Figura 2.47 – Secção transversal do Pinheiro 4606920N no Pegmatito Oriental. 130

Figura 2.48 – Secção transversal do Pinheiro 4606920N no Pegmatito Ocidental. 131

Figura 2.49 – Secção transversal do Pinheiro 4606920N em ambos os Pegmatitos. 132

Figura 2.50 – Recursos Minerais por categoria e âmbito territorial, setembro de 2025. 136

Figura 2.51 – Alvos de prospeção considerados no PDL. 138

Figura 2.52 – Crescimento no [limite superior] da tonelagem dos alvos de prospeção desde 2018. 139

Figura 3.1 – Esboço geomorfológico da região, ilustrativo dos principais contornos de relevo e hidrografia. 142

Figura 3.2 – Esboço geomorfológico local, com representação das sub-bacias hidrográficas intersetadas e próximas do projeto. 143

Figura 3.3 – Localização das estações de análise das águas superficiais. 148

Figura 3.4 – Projeção das concentrações iónicas em diagrama Piper. 150

Figura 3.5 – Localização dos pontos de água validados e identificados. 158

Figura 3.6 – Projeção das concentrações iónicas em diagrama Piper. 159

Figura 3.7 – Localização das estações de análise das águas subterrâneas. 161

Figura 3.8 – Projeção das concentrações iónicas em diagrama Piper. 164

Figura 3.9 – Domínio definido para o modelo hidrogeológico concetual (Knight Piésold, 2025). 167

Figura 3.10 – Esboço hidrogeológico concetual. 168

Figura 3.11 – Piezometria de Covas do Barroso, realizada com base em dados de níveis hidrostáticos e análise da carta militar. 170

Figura 3.12 – Nuvem de pontos de níveis piezométricos determinados e inferidos que serviu de base para a realização do mapa ilustrado na figura anterior.....171

Figura 3.13 – Observação direta de nível freático em escavação.....172

Figura 3.14 – Principais direções de fluxo subterrâneo e gradientes hidráulicos determinados pela piezometria local. 173

Figura 3.15 – Localização dos furos perfurados entre 2023 e 2024 (adaptado de Noronha & Lima, 1992). 175

Figura 3.16 – Modelo hidrogeológico concetual. 186

Figura 3.17 – Domínio do modelo numérico e malha definida. 188

Figura 3.18 – Distribuição das unidades hidroestratigráficas definidas para o modelo. 189

Figura 3.19 – Topografia do modelo, definida a partir de dados LIDAR. 190

Figura 3.20 – Topografia final do modelo, em perspetiva tridimensional.....190

Figura 3.21 – Simulação da elevação de superfície em mapa. 191

Figura 3.22 – Perfis topográficos. 192

Figura 3.23 – Nascentes identificadas no decurso dos trabalhos de perfuração e pesquisa. 193

Figura 3.24 – Principais fronteiras hidráulicas assumidas na definição do modelo. 194

Figura 3.25 – Diagrama concetual de evapotranspiração. 195

Figura 3.26 – Localização dos pontos da grelha de modelação. 197

Figura 3.27 – Calibração do modelo - Alvos residuais. 198

Figura 3.28 – Erros do modelo ou diferenças entre os níveis de água medidos e previstos na correlação histórica.....199

Figura 3.29 – Níveis de rebaixamento (*dewatering*) ao longo da vida útil da mina 1. .201

Figura 3.30 – Níveis de rebaixamento(*dewatering*) ao longo da vida útil da mina 2. ..202

Figura 3.31 – Níveis de água subterrânea previstos para as cortas NOA e Reservatório. 203

Figura 3.32 – Níveis de água subterrânea previstos para as cortas Grandão e Pinheiro. 203

Figura 3.33 – Rebaixamento previsto ao longo da vida útil da mina para SP1, SP2 e SP3. 205

Figura 3.34 – Rebaixamento previsto ao longo da vida útil da mina para SP4 e SP5. ..206

Figura 3.35 – Rebaixamento previsto no final do preenchimento da corta NOA.....207

Figura 3.36 – Rebaixamento previsto no final do preenchimento da corta Reservatório. 207

Figura 3.37 – Rebaixamento previsto no final do preenchimento da corta Grandão. .208

Figura 3.38 – Rebaixamento previsto no final do preenchimento da corta Pinheiro...208

Figura 3.39 – Rebaixamento previsto no final do preenchimento da corta NOA.....214

Figura 4.1 – Movimentação anual de materiais na lavra, construção e encerramento. 237

Figura 4.2 – Esquema conceptual da lavaria e repartição ilustrativa de massas para 1,5 Mt/ano. 238

Figura 4.3 – Comparação das curvas teor-tonelagem para todos os depósitos.....253

Figura 4.4 – Ciclo de Produção da Mina do Barroso. 254

Figura 4.5 – Pilhas de solo. 255

Figura 4.6 – Representação das pilhas de solo nas bermas das escombreiras.....255

Figura 4.7 – Tipologias de desmonte em perspetiva tridimensional. 257

Figura 4.8 – Diagramas conceptuais de perfuração em planta. 258

Figura 4.9 – Representação conceptual do carregamento de um furo de produção ou seletivo. 260

Figura 4.10 – Representação conceptual de um furo de pré-corte, inclinado segundo o talude final. 260

Figura 4.11 – Exemplo ilustrativo de emulsão encartuchada Senatel™ Pulsar™ – 80 mm × 500 mm (fotografia: Orica). 261

Figura 4.12 – Exemplo ilustrativo de equipamento de carregamento com emulsão a granel (fotografia: Orica)....261

Figura 4.13 – Exemplo ilustrativo de produto para pré-corte Senatel™ Powersplit™ – 22 mm × 500 mm (fotografia: Orica). 261

Figura 4.14 – Comprimentos das zonas de carregamento e do atacamento e fatores de carga dos quatro casos de referência. 262

Figura 4.15 – Esquema conceptual de ordem de iniciação – produção. 263

Figura 4.16 – Esquema conceptual de ordem de iniciação – seletivo. 263

Figura 4.17 – Esquema conceptual de ordem de iniciação – produção com pré-corte. 263

Figura 4.18 – Distribuição de responsabilidades e controlo documental. 266

Figura 4.19 – Tipos de escavação nos diferentes depósitos - Vista de planta. 268

Figura 4.20 – Tipos de escavação nos diferentes depósitos - Vista em Corte. 270

Figura 4.21 – Planta de localização das sondagens geotécnicas no Grandão incluindo sondagens RCDD e DD. MDT do ano 9. 274

Figura 4.22 – Planta de localização das sondagens geotécnicas no NOA, no ano 10. Na qual estão representadas sondagens RCDD e DD. 278

Figura 4.23 – Planta de localização das sondagens geotécnicas no Reservatório, no ano 14. Na qual estão representadas sondagens RCDD e DD. 279

Figura 4.24 – Planta de localização das sondagens geotécnicas no Pinheiro, no ano 3. Na qual estão representadas sondagens RCDD e DD. 281

Figura 4.25 – Três cenários potenciais de nível freático para o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso. 284

Figura 4.26 – Resumo estatístico dos dados de descrição do maciço rochoso para o Xisto de Transição. Quanto ao grau de alteração do maciço rochoso, este é classificado como fresco (FR), pouco alterado (SW), moderadamente alterado (MW), muito alterado (HW) e extremamente alterado (EW). 311

Figura 4.27 – Resumo estatístico dos dados de descrição do maciço rochoso para o Xisto Fresco. Quanto ao grau de alteração do maciço rochoso, este é classificado como fresco (FR), pouco alterado (SW), moderadamente alterado (MW), muito alterado (HW) e extremamente alterado (EW). 312

Figura 4.28 – Resumo estatístico dos dados de descrição do maciço rochoso para a Pegmatito de Transição. Quanto ao grau de alteração do maciço rochoso, este é classificado como fresco (FR), pouco alterado (SW), moderadamente alterado (MW), muito alterado (HW) e extremamente alterado (EW). 313

Figura 4.29 – Resumo estatístico dos dados de descrição do maciço rochoso para o Pegmatito Fresco. Quanto ao grau de alteração do maciço rochoso, este é classificado como fresco (FR), pouco alterado (SW), moderadamente alterado (MW), muito alterado (HW) e extremamente alterado (EW). 314

Figura 4.30 – Validação das estimativas de UCS de campo e de laboratório. 316

Figura 4.31 – Resultados de pico dos ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades naturais para o Xisto Fresco. 320

Figura 4.32 – Resultados de pico dos ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades naturais para o Xisto de Transição. 321

Figura 4.33 – Resultados de pico dos ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades naturais para a pegmatito. 322

Figura 4.34 – Resultados das análises da Corta Mineira do Grandão utilizando o cenário de Caso Base, no ano 9. 331

Figura 4.35 – Resultados das análises das Cortas Mineiras do NOA utilizando o cenário de Caso Base, no ano 10. 331

Figura 4.36 – Resultados das análises das Cortas Mineiras do Reservatório utilizando o cenário de Caso Base, no ano 14. 332

Figura 4.37 – Resultados das análises da Corta Mineira do Pinheiro utilizando o cenário de Caso Base, no ano 3. 333

Figura 4.38 – Análises cinemáticas à escala da face de patamar no Grandão (aplicáveis a faces de patamar com 10 m e 20 m de altura). 335

Figura 4.39 – Análises cinemáticas à escala da face de patamar no Reservatório (aplicáveis a faces de patamar com 10 m e 20 m de altura). 336

Figura 4.40 – Análises cinemáticas à escala da face de patamar no Pinheiro (aplicáveis a faces de patamar com 10 m e 20 m de altura). 337

Figura 4.41 – Análises cinemáticas à escala da face de patamar no Pinheiro (aplicáveis a faces de patamar com 10 m e 20 m de altura). 341

Figura 4.42 – GRA_Section_01 – Estabilidade em Caso Base no desenho inicial da Corta mineira utilizando o Slide2.....344

Figura 4.43 – GRA_Section_01 – Estabilidade em Caso Base do talude global redesenhado. 345

Figura 4.44 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando resistências ao cisalhamento das descontinuidades no caso de limite inferior. 346

Figura 4.45 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando resistências ao cisalhamento das descontinuidades no caso de limite inferior. 346

Figura 4.46 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando um fator de perturbação D = 0,7. 347

Figura 4.47 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando um ângulo anisotrópico A = 10°. 347

Figura 4.48 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando o coeficiente de carga sísmica. 348

Figura 4.49 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando o nível freático em cenário de pior caso. 348

Figura 4.50 – Setores de conceção dos taludes globais do Grandão. 367

Figura 4.51 – Setores de conceção dos taludes globais do NOA. 368

Figura 4.52 – Setores de conceção dos taludes globais do Reservatório. 369

Figura 4.53 – Setores de conceção dos taludes globais do Pinheiro. 371

Figura 4.54 – Categorias de escavabilidade utilizando o método do gráfico de escavabilidade. 376

Figura 4.55 – Localização das Cortas. 383

Figura 4.56 – Áreas a limpar durante a vida útil da mina. 384

Figura 4.57 – Localizações do Armazenamento de Solos. 385

Figura 4.58 – Localização dos Depósitos de Estéril – Grandão (Norte) e Pinheiro (Sul). MDT do ano 8. 387

Figura 4.59 – Localização dos Depósitos de Estéril – Reservatório (Este) e NOA (Oeste). MDT do ano 14. 387

Figura 4.60 – Localização do Enchimento – Grandão (Norte) e Pinheiro (Sul). A Corta do Pinheiro será preenchida com material direto da Corta do Grandão. 388

Figura 4.61 – Localização do Enchimento – Reservatório (Este) e NOA (Oeste). As cortas mineiras correspondem aos locais de enchimento, no fim da sua exploração. 389

Figura 4.62 – Localização do parque de minério da planta e das instalações de processamento. MDT do ano 9. 390

Figura 4.63 – Disposição do ROM pad da Planta de Processamento, no ano 9. 391

Figura 4.64 – Localização do ROM da Corta do NOA, no ano 14. 392

Figura 4.65 – Distribuição das massas por tipo de material, depósito, estágio e bancada. 395

Figura 4.66 – Distribuição das massas de lavra seletiva e em massa por depósito, estágio e bancada. 396

Figura 4.67 – Intervalo calendarizado de extração e massas total e seletiva por depósito, estágio e bancada. 397

Figura 4.68 – Movimentação Total de Material por Tipo. 401

Figura 4.69 – Movimentação de Material por Depósito. 401

Figura 4.70 – Extração das Cortas por Estágio de Lavra. 402

Figura 4.71 – Movimentação de Material por grau de Alteração. 402

Figura 4.72 – Movimentação de Material das Cortas por Tipo. 403

Figura 4.73 – Extração das Cortas por Modalidade de Lavra. 403

Figura 4.74 – Áreas de Lavra Ativas. 404

Figura 4.75 – Dimensão das Pilhas por Tipo de Material. 404

Figura 4.76 – Alimentação proveniente do bloco Oeste e materiais encaminhados para a TSF. 405

Figura 4.77 – Alimentação da Lavaria por Depósito. 405

Figura 4.78 – Alimentação de Minério por Grau de Alteração. 406

Figura 4.79 – Alimentação de Minério por Classe de Recurso. 406

Figura 4.80 – Teor de Alimentação da Planta de Processamento. 407

Figura 4.81 – Produção de SC5,5 e Recuperação da Planta de Processamento. 407

Figura 4.82 – Frações de processamento destinadas à comercialização como MPS e à TSF. 408

Figura 4.83 – Retroescadora Hidráulica (esquerda) e Carregadora Frontal (direita). *Fonte: Komatsu e Caterpillar.* 422

Figura 4.84 – Exemplo de camião rígido de transporte mineiro. *Fonte: Caterpillar.*....423

Figura 4.85 – Exemplo de camião de construção (8x4). *Fonte: Renault.* 424

Figura 4.86 – Exemplo de *Bulldozer*. *Fonte: Caterpillar.* 425

Figura 4.87 – Exemplo de Motoniveladora. *Fonte: Caterpillar.* 426

Figura 4.88 – Exemplo de camião de construção equipado com tanque de água. *Fonte: Shermac.* 427

Figura 4.89 – Exemplo de um camião utilizado na exploração mineira adaptado para transporte de água. *Fonte: Caterpillar.* 427

Figura 5.1 – Fluxograma Laboratorial. 439

Figura 5.2 – Fluxograma dos ensaios de Flotação. 441

Figura 5.3 – Rendimento no concentrado de mica em função da taxa de dosagem. ..442

Figura 5.4 – Rendimento de Li_2O no concentrado de mica em função da taxa de dosagem. 442

Figura 5.5 – Relação entre as perdas de Li_2O e o teor estimado de mica. 443

Figura 5.6 – Fluxograma dos ensaios em ciclo fechado 1 e 2. 452

Figura 5.7 – Fluxograma do ensaio em ciclo fechado 3. 452

Figura 5.8 – Teor do concentrado no LCT 3. 454

Figura 5.9 – Recuperação LCT3 ajustada para o concentrado SC5,5. 454

Figura 5.10 – LCT: Teor vs Recuperação. 455

Figura 5.11 – Produção anual de concentrado SC5,5. 459

Figura 5.12 – Localização da Planta de Processamento Mineral. 459

Figura 5.13 – Representação da Planta de Processamento Mineral - Modelo 3D. 460

Figura 5.14 – Britagem primária: alimentador inclinado. 464

Figura 5.15 – Britagem primária: alimentador horizontal. 464

Figura 5.16 – Sistema de monorail para manutenção da britagem secundária. 465

Figura 5.17 – Áreas do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso. 467

Figura 5.18 – Caminhos de acesso e áreas de circulação para pessoal operacional e de manutenção. 467

Figura 5.19 – Acesso para grua móvel. 468

Figura 5.20 – Fluxograma da Planta de Processamento Mineral. 470

Figura 5.21 – Fluxograma simplificado da lavaria (parte 1): entradas, consumos e saídas. 471

Figura 5.22 – Fluxograma simplificado da lavaria (parte 2): entradas, consumos e saídas. 471

Figura 5.23 – Sistema de Britagem. 473

Figura 5.24 – Destinos das frações de processamento – matérias-primas secundárias destinadas à comercialização e materiais encaminhados para a TSF.....479

Figura 5.25 – Origens de água das Lavarias Ano 5 do Balanço Hídrico (médias horárias anualizadas). 487

Figura 6.1 – Enquadramento do Projeto.....498

Figura 6.2 – Características do Veículo Tipo. 499

Figura 6.3 – Exemplo Dumper 777G. 501

Figura 6.4 – Perfil Transversal tipo da Via de Acesso Externo à Mina. 503

Figura 6.5 – Perfil Transversal ao Km 7+000. 504

Figura 6.6 – Perfil Transversal ao Km 10+300. 504

Figura 6.7 – Perfil Transversal tipo da *Via de Transporte* 0. 505

Figura 6.8 – Perfil Transversal tipo dos acessos internos 1 a 3.....506

Figura 6.9 – Estrutura do Pavimento Betuminoso. 507

Figura 6.10 – Pré-dimensionamento do pavimento (Vias de Transporte 1 a 3). 507

Figura 6.11 – Enquadramento da Ponte sobre o Rio Covas no projeto.....519

Figura 6.12 – Ponte sobre o Rio Covas. Alçado. 522

Figura 6.13 – Ponte sobre o Rio covas. Secção transversal tipo. 522

Figura 6.14 – Número e Largura das Vias Dedicadas. 528

Figura 6.15 – Modelo de Carga 1: valores característicos. 528

Figura 6.16 – Complexo Mineiro. 536

Figura 6.17 – Complexo Mineiro – PNR e GRA 537

Figura 6.18 – Complexo Mineiro - Detalhe NOA e RES 538

Figura 6.19 – Planta dos Escritórios e Laboratórios. 540

Figura 6.20 – Planta das Instalações Sociais - Balneários e Refeitório. 541

Figura 6.21 – Localização do Edifício de Apoio. 542

Figura 6.22 – Localização da plataforma do Armazém. 544

Figura 6.23 – Pormenor construtivo da vedação da plataforma e da área do armazém (alçado e corte, escala 1:20). 545

Figura 6.24 – Planta da Oficina de Movimentação de Terras. 547

Figura 6.25 – Alçados da Oficina de Movimentação de Terras 547

Figura 6.26 – Planta da Oficina e Armazém da Lavaria. 550

Figura 6.27 – Localização do Armazém da Lavaria. 551

Figura 6.28 – Localização da Estação Climatológica. 552

Figura 6.29 –Localização dos depósitos de combustível na plataforma das oficinas da mina. 553

Figura 6.30 – Exemplo ilustrativo de depósitos de combustível com bacia de retenção. 554

Figura 6.31 – Exemplo ilustrativo de equipamento de abastecimento de gasóleo. 555

Figura 6.32 – Esquema global das infraestruturas de gestão de águas. 558

Figura 6.33 – Localização do projeto e dos três subsistemas principais. 600

Figura 6.34 – Arranjo geral dos sistemas: (a) Pinheiro, (b) Grandão e (c) Reservatório. 601

Figura 6.35 – Perfil tipo dos Reservatórios de Controlo Ambiental. 606

Figura 6.36 – Perfil tipo dos Reservatórios de Água e Reservatórios de Controlo de Sedimentos. 609

Figura 6.37 – Delimitação das sub-bacias de Pinheiro 1 – estágio inicial. 613

Figura 6.38 – Delimitação das sub-bacias de Pinheiro 1 – estágio final. 613

Figura 6.39 – Delimitação das sub-bacias de Pinheiro 2 – estágio final. 614

Figura 6.40 – Delimitação das sub-bacias de Grandão – estágios inicial e final. 615

Figura 6.41 – Delimitação das sub-bacias do Reservatório – estágio final. 615

Figura 6.42 – Hietogramas de projeto para os períodos de retorno considerados (duração de 24 h). 624

Figura 6.43 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RA-01. 625

Figura 6.44 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RCA-01. 626

Figura 6.45 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RCA-02. 626

Figura 6.46 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RCS-01. 627

Figura 6.47 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RA-02. 627

Figura 6.48 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RCS-02. 628

Figura 6.49 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas da cava mineira (pit shell) Pinheiro. 628

Figura 6.50 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RA-01. 629

Figura 6.51 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RCA-01. 629

Figura 6.52 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RCA-02. 630

Figura 6.53 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RCS-01. 630

Figura 6.54 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RA-02. 631

Figura 6.55 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RCS-02. 631

Figura 6.56 – Hidrogramas afluente e efluente do RA-01 – Sistema Pinheiro 1, estágio inicial (TR = 2 000 anos). 632

Figura 6.57 – Hidrogramas afluente e efluente do RCA-01 – Sistema Pinheiro 1, estágio inicial (TR = 2 000 anos). 632

Figura 6.58 – Hidrogramas afluente e efluente do RCA-02 – Sistema Pinheiro 1, estágio inicial (TR = 2 000 anos). 633

Figura 6.59 – Hidrogramas afluente e efluente da cava mineira (pit shell) Pinheiro – Sistema Pinheiro 1, estágio inicial (TR = 2 000 anos).....633

Figura 6.60 – Hidrogramas afluente e efluente do RA-01 – Sistema Pinheiro 1, estágio final (TR = 2 000 anos).....634

Figura 6.61 – Hidrogramas afluente e efluente do RCA-01 – Sistema Pinheiro 1, estágio final (TR = 2 000 anos).....634

Figura 6.62 – Hidrogramas afluente e efluente do RCA-02 – Sistema Pinheiro 1, estágio final (TR = 2 000 anos).....635

Figura 6.63 – Hidrogramas afluente e efluente do RCS-01 – Sistema Pinheiro 2, estágio final (TR = 2 000 anos).....635

Figura 6.64 – Hidrogramas afluente e efluente do RCS-02 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 2 000 anos).....636

Figura 6.65 – Hidrogramas afluente e efluente do RA-02 – Sistema Grandão, estágio final (TR = 2 000 anos).....636

Figura 6.66 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-01 – Sistema Grandão, estágio final (TR = 500 anos).....637

Figura 6.67 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-02 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 500 anos).....637

Figura 6.68 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-03 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 500 anos).....638

Figura 6.69 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-04 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 500 anos).....638

Figura 6.70 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-01 – Sistema Grandão, estágio final (TR = 100 anos).....639

Figura 6.71 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-02 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 100 anos).....639

Figura 6.72 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-03 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 100 anos).....640

Figura 6.73 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-04 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 100 anos).....640

Figura 6.74 – Localização dos locais visitados durante o reconhecimento em 10 de Julho de 2026 (Pinheiro e Grandão).....644

Figura 6.75 – Localização dos locais visitados durante o reconhecimento em 10 de Julho de 2026 (NOA e Reservatório). 645

Figura 6.76 – Abertura de poço de reconhecimento.....646

Figura 6.77 – Análise e descrição do poço de reconhecimento. 646

Figura 6.78 – Vale do Rio Covas, simétrico com secção transversal em “V”. 646

Figura 6.79 – Perfil geológico encontrado na encosta esquerda do vale onde se localiza a RCA-01.....647

Figura 6.80 – Coluvião nas imediações do fundo do vale da RCA-01 com a presença de arbustos. 648

Figura 6.81 – Substrato rochoso nas vertentes do vale onde se localiza a RCS-01. 648

Figura 6.82 – Substrato rochoso nas vertentes do vale onde se localiza a RCS-02. 649

Figura 6.83 – Afloramento rochoso em talude de escavação em caminho florestal. ..649

Figura 6.84 – Afloramento rochoso em caminho florestal junto à área da lavaria. 649

Figura 6.85 – Maciço rochoso com zonas muito alteradas junto ao descarregador da RA-01. 650

Figura 6.86 – Maciço rochoso medianamente a muito alterado.....650

Figura 6.87 – Maciço rochoso medianamente a muito alterado - detalhe. 651

Figura 6.88 – Afloramento pegmatítico esbranquiçado a acinzentado.....651

Figura 6.89 – Lineamentos estruturais interpretados a partir da análise LiDAR (SNOWDEN, 2026).....653

Figura 6.90 – Sobreposição dos lineamentos estruturais inferidos a partir da análise LiDAR sobre a carta geológica à escala 1:50 000. 654

Figura 6.91 – Zona de argilização no maciço rochoso. 655

Figura 6.92 – Sobreposição entre as falhas PNREW04; PNREW05; PNREW06 e os lineamentos obtidos a partir do LiDAR no depósito do Pinheiro (Adaptado de: SNOWDEN, 2026).....658

Figura 6.93 – Sobreposição entre as falhas PNRSSENNW01; PNRSSENNW02 e os lineamentos obtidos a partir do LiDAR no depósito do Pinheiro (Adaptado de: SNOWDEN, 2026).....658

Figura 6.94 – Sobreposição entre as falhas GRANNESSW01; GRASENW02 e os lineamentos obtidos a partir do LiDAR no depósito do Grandão (Adaptado de: SNOWDEN, 2026).....659

Figura 6.95 – Sobreposição entre as falhas NOAEW004 e RESEW004 e os lineamentos obtidos a partir do LiDAR nos depósitos do NOA e do Reservatório (Adaptado de: SNOWDEN, 2026).....659

Figura 6.96 – Projeção estereográfica dos vários depósitos.....660

Figura 6.97 – Projeção estereográfica obtida durante o reconhecimento de campo..663

Figura 6.98 – Representação das famílias principais J1 e J2.....664

Figura 6.99 – Estimativa da resistência à compressão uniaxial (Fonte: Hoek, 2007)...667

Figura 6.100 – Distribuição dos registos relativos às classes de resistência do material rocha. 667

Figura 6.101 – Distribuição das amostras de rocha quanto à resistência à compressão uniaxial (ISRM). 670

Figura 6.102 – Distribuição das amostras de rocha quanto à deformabilidade (AFTES). 670

Figura 6.103 – Curvas granulométricas das amostras de solo ensaiadas.....672

Figura 6.104 – Distribuição das amostras de solo analisadas de acordo com a sua Classificação Unificada.....673

Figura 6.105 – Distribuição das amostras de solo analisadas de acordo com a sua Classificação AASHTO.....673

Figura 6.106 – Curvas granulométricas das amostras de solo-enrocamento.....674

Figura 6.107 – Análise preliminar dos 2 primeiros provetes do ensaio de corte triaxial (LNEC).....675

Figura 6.108 – Representação esquemática de eventuais falhas ocorrentes na fundação dos reservatórios. 679

Figura 6.109 – Tratamento tipo a adoptar em zonas de falha. 680

Figura 6.110 – Projeção estereográfica dos vários depósitos.....681

Figura 6.111 – Cronograma Geral das Infraestruturas de Controlo Hidráulicas.....697

Figura 6.112 – Cronograma Geral de Trabalhos – RCS-01. 698

Figura 6.113 – Cronograma Geral de Trabalhos – RCS-02. 698

Figura 6.114 – Cronograma Geral de Trabalhos – RCA-01.....698

Figura 6.115 – Cronograma Geral de Trabalhos – RCA-02.....699

Figura 6.116 – Cronograma Geral de Trabalhos - RA-01. 700

Figura 6.117 – Cronograma Geral de Trabalhos - RA-02. 700

Figura 6.118 – Cronograma Geral de Trabalhos – Circuito Hidráulico. 700

Figura 6.119 – Exemplo de configuração de barreira flutuante para contenção de hidrocarbonetos à superfície. 703

Figura 6.120 – Exemplo de sistema de *skimming* superficial flutuante para remoção de hidrocarbonetos.....705

Figura 6.121 – Exemplo de barreira flutuante semirrígida. 709

Figura 6.122 – Instalação das barreiras flutuantes no RCS-01.....710

Figura 6.123 – Instalação das barreiras flutuantes no RCS-02.....711

Figura 6.124 – Exemplo de *skimmer* flutuante autorregulável para remoção de hidrocarbonetos.....712

Figura 6.125 – Instalação do *skimmer*, das linhas de aspiração/bombagem e da estação de bombagem no RCS-01.....713

Figura 6.126 – Instalação do *skimmer*, das linhas de aspiração/bombagem e da estação de bombagem no RCS-02.....713

Figura 6.127 – Implementação do tanque separador de óleo. 714

Figura 6.128 – Configuração Geral da Planta dos traçados das Linhas. 717

Figura 6.129 – Planta de Condicionantes da LN 60kV 1572 - Zona RAN.....723

Figura 6.130 – Planta de Condicionantes da LN 60kV - Zona REN. 724

Figura 6.131 – Planta de Localização da LN 15kV. 739

Figura 6.132 – Planta de Condicionantes da LN 15kV - Zona RAN.....740

Figura 6.133 – Planta de Condicionantes da LN 15kV - Zona REN. 741

Figura 6.134 – Localização da Subestação 60/10 kV e Posto de Corte. 743

Figura 6.135 – Subestação 60/10 kV do Projeto do Barroso (em preto) e arranjo do Posto de Corte 60 kV (em cinzento). 746

Figura 6.136 – Planta Geral da Subestação.....748

Figura 6.137 – Linha Existente - Estado atual. 758

Figura 6.138 – Linhas a projetar em fase de execução. 759

Figura 6.139 – Estado do Projeto após Início da Operação. 760

Figura 7.1 – Equipamento de Testes de consolidação (edómetro). 770

Figura 7.2 – Equipamento de Testes de permeabilidade em regime de carga variável. 771

Figura 7.3 – Equipamento de Testes de Cisalhamento simples estático e cíclico. 772

Figura 7.4 – Equipamento de testes triaxais estáticos.....775

Figura 7.5 – Equipamento de Testes de coluna ressonante. 779

Figura 7.6 – Imagem de testemunhos de sondagem, representativa do tipo de pegmatitos da área do projeto. 784

Figura 7.7 – Mobilidade relativa dos elementos químicos em Ambientes Superficiais (Perel'man, 1967).....785

Figura 7.8 – Distribuição das concentrações de estanho (Sn em ppm), presentes em amostras de sedimentos de ribeiros, in Manuel Rodrigues Pires (1995) – LNEG.....786

Figura 7.9 – Mapa de anomalias regionais para o lítio (Li), in Manuel Rodrigues Pires (1995) – LNEG. 787

Figura 7.10 – Representação do processo de tratamento na lavaria. 791

Figura 7.11 – Localização das amostras de avaliação dos estéreis. 802

Figura 7.12 – Secção transversal do Grandão com esquema de localização das amostras AMD. 803

Figura 7.13 – Trajetória de tensão para todos os testes triaxiais estáticos em Rejeitados. 816

Figura 7.14 – Relação entre a relação de vazios e a tensão média efetiva (p') para todos os testes triaxiais estáticos em Rejeitados. 817

Figura 7.15 – Mapa de localização dos furos de perfuração utilizados para produzir as amostras compósitas representativas do volume total de rocha estéril do projeto. ..819

Figura 7.16 – Limpeza e preparação de superfície de preparação de amostra. 820

Figura 7.17 – Amostras colocadas para homogeneização e pontos de amostragem dispersos na massa homogenizada.....820

Figura 7.18 – Subamostras combinadas e quartilhada.....820

Figura 7.19 – Amostra principal recombinada e carregada para o Depósito e Amostra AMD-109 de campo preparada.....821

Figura 7.20 – Amostra protegida antes do arranque do teste. 822

Figura 7.21 – Potencial de geração de ácidos – Escombro. 825

Figura 7.22 – Diagrama Triangular da composição dos metassedimentos. 848

Figura 7.23 – Imagem de testemunhos de sondagem, representativa do tipo de metassedimentos da área do projeto.....848

Figura 7.24 – Localização e identificação (de norte para sul) das cortas do projeto da Mina do Barroso: 1- NOA, 2- Reservatório, 3- Grandão, 4- Pinheiro.....850

Figura 7.25 – Localização das instalações de resíduos definitivos.....851

Figura 7.26 – Implantação da tela de impermeabilização. 870

Figura 7.27 – Pormenor do sistema de impermeabilização – paramento de montante do aterro de arranque.....871

Figura 7.28 – Implantação da rede de drenagem superior (sobre o revestimento impermeável). 871

Figura 7.29 – Implantação da TSF. 872

Figura 7.30 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (aterro). Superfície Intermédia. Análise estática em condições drenadas. Combinação A2. 877

Figura 7.31 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (rejeitados). Superfície Superficial. Análise estática em condições drenadas. Combinação A2. 877

Figura 7.32 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (aterro). Superfície Intermédia. Análise estática em condições não drenadas. Combinação A2. 878

Figura 7.33 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (rejeitados). Superfície Superficial. Análise estática em condições não drenadas. Combinação A2. 878

Figura 7.34 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (aterro). Superfície Intermédia. Análise pseudo-estática. 879

Figura 7.35 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (rejeitados). Superfície Superficial. Análise pseudo-estática. 879

Figura 7.36 – Esquema ilustrativo do dispositivo de observação: Detalhe de uma instalação de um furo de monitorização. 884

Figura 7.37 – Esquema ilustrativo do dispositivo de observação: Piezómetro de Corda Vibrante. 885

Figura 7.38 – Esquema ilustrativo do dispositivo de observação: Detalhe de Piezómetro do tipo Standpipe. 885

Figura 7.39 – Esquema ilustrativo do dispositivo de observação: Detalhe de Marco de Levantamento Topográfico. 886

Figura 7.40 – Layout da Escombreira do Pinheiro. 899

Figura 7.41 – Escombreira do Pinheiro – Secção A. 899

Figura 7.42 – Escombreira do Pinheiro – Secção B. 900

Figura 7.43 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção A (D/S) - Estático. 901

Figura 7.44 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção A (D/S) – Pós-sísmico. 901

Figura 7.45 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção A (U/S) - Estático. 901

Figura 7.46 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção A (D/S) – Pós-sísmico. 902

Figura 7.47 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção B (D/S) - Estático. 902

Figura 7.48 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção B (D/S) – Pós-sísmico. 902

Figura 7.49 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção B (U/S) - Estático. 903

Figura 7.50 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção B (U/S) – Pós-sísmico. 903

Figura 7.51 – Layout da escombreira do Grandão. 904

Figura 7.52 – Escombreira do Grandão Secção A. 904

Figura 7.53 – Escombreira do Grandão Secção B. 905

Figura 7.54 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção A (D/S) - Estático.....906

Figura 7.55 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção A (D/S) – Pós-sísmico.....906

Figura 7.56 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção A (U/S) - Estático.....906

Figura 7.57 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção A (U/S) – Pós-sísmico.....907

Figura 7.58 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção B (D/S) - Estático.....907

Figura 7.59 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção B (D/S) – Pós-sísmico.....907

Figura 7.60 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção B (U/S) - Estático.....908

Figura 7.61 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção B (U/S) – Pós-sísmico.....908

Figura 7.62 – Layout da escombreira do Reservatório. 909

Figura 7.63 – Secção A da escombreira do Reservatório.....909

Figura 7.64 – Análise de Estabilidade da escombreira do Reservatório Secção A (D/S) - Estático.....910

Figura 7.65 – Análise de Estabilidade da escombreira do Reservatório Secção A (D/S) – Pós-sísmico.....910

Figura 7.66 – Análise de Estabilidade da escombreira do Reservatório Secção A (U/S) – Estático.....911

Figura 7.67 – Análise de Estabilidade da escombreira do Reservatório Secção A (U/S) – Pós-sísmico.....911

Figura 9.1 - Área de implementação do projeto. Predomínio da floresta de pinheiro-bravo 916

Figura 9.2 – Lameiro junto a uma linha de água.....916

Figura 9.3 – Pormenor da camada de acabamento das superfícies de aterro a tratar 920

Figura 9.4 – Módulo 1 – Barreira arbóreo-arbustiva 921

Figura 9.5 – Módulo 2 – Plantação de árvores de alinhamento em acessos.....922

Figura 9.6 – Módulo 3 – Galeria arbóreo-arbustiva em margens de linhas de água....922

Figura 9.7 – Módulo 4 – Plantação arbóreo-arbustiva temporohigrófila (base das encostas) 923

Figura 9.8 – Módulo 5 – Plantação arbóreo-arbustiva mesófila.....924

Figura 9.9 – Módulo 6 – Plantação arbóreo-arbustiva edafoxerófila 924

Figura 11.1 – Pormenor da camada de acabamento das superfícies de aterro. 937

Figura 11.2 – Módulo 6 – Plantação arbóreo-arbustiva edafoxerófila. 948

Figura 12.1 – Resumo do Cronograma do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso. 956

Figura 12.2 – Esquema tipo e Legenda dos Esquemas das Movimentações de Material. 957

Figura 12.3 – Fluxos de materiais no Ano -2. 958

Figura 12.4 – Fluxos de materiais no Ano -1. 959

Figura 12.5 – Fluxos de materiais no Ano 1. 960

Figura 12.6 – Fluxos de materiais no Ano 2. 961

Figura 12.7 – Fluxos de materiais no Ano 3. 961

Figura 12.8 – Fluxos de materiais no Ano 4. 962

Figura 12.9 – Fluxos de materiais no Ano 5. 963

Figura 12.10 – Fluxos de materiais no Ano 6. 963

Figura 12.11 – Fluxos de materiais no Ano 7. 964

Figura 12.12 – Fluxos de materiais no Ano 8. 965

Figura 12.13 – Fluxos de materiais no Ano 9. 965

Figura 12.14 – Fluxos de materiais no Ano 10. 966

Figura 12.15 – Fluxos de materiais no Ano 11. 967

Figura 12.16 – Fluxos de materiais no Ano 12. 967

Figura 12.17 – Fluxos de materiais no Ano 13. 968

Figura 12.18 – Fluxos de materiais no Ano 14. 969

Figura 12.19 – Fluxos de materiais no Ano 15. 970

Figura 12.20 – Fluxos de materiais no Ano 16. 971

Figura 12.21 – Fluxos de materiais no Ano 17. 971

Figura 12.22 – Fluxos de materiais no Ano 18. 972

Figura 12.23 – Fluxos de materiais no Ano 19. 973

Figura 12.24 – Fluxos de materiais no Ano 20. 974

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Áreas envolvidas no Projeto sujeito a AIA em 2003. 59

Tabela 1.2 – Vértices da Área de Concessão de Exploração do Projeto Mina do Barroso. 66

Tabela 1.3 – Distâncias entre as cortas e as localidades. 66

Tabela 1.4 - Principais indicadores de implantação e do programa de exploração. 68

Tabela 1.5 - Principais indicadores de processamento mineral e produtos. 68

Tabela 1.6 - Principais indicadores de gestão de resíduos e infraestruturas de apoio. 69

Tabela 2.1 – Mineralogia das Amostras – QEMSCAN, Difração de Raios X e Normativa. 89

Tabela 2.2 – Cálculo de Mineralogia Normativa. 90

Tabela 2.3 – Resultados analíticos mais significativos da campanha de 2017. 95

Tabela 2.4 – Sumário do recurso mineral inferido do depósito do Reservatório (acima do teor de corte 0,5%), dezembro 2017. 96

Tabela 2.5 – Resumo do aumento do recurso mineral inferido no depósito de lítio do Barroso (acima do teor de corte de 0,5%), fevereiro de 2018. 98

Tabela 2.6 – Sumário do recurso mineral no depósito de lítio do Barroso (acima do teor de corte de 0,5%), maio de 2018. 101

Tabela 2.7 – Sumário do Recurso Mineral no Depósito de Lítio (acima do teor de corte de 0,5%), setembro de 2018. 103

Tabela 2.8 – Síntese das sondagens nos prospetos considerados no PDL, julho de 2017 a junho de 2019. 106

Tabela 2.9 – sumário do recurso mineral no depósito de lítio do Barroso (acima do teor de corte de 0,5%), maio de 2019. 106

Tabela 2.10 – Atualização da estimação de 2024 dos recursos no depósito do NOA (acima do teor de corte de 0,5%). 109

Tabela 2.11 – Resumo das análises significativas da NOA, Fase 1. 111

Tabela 2.12 – Resumo das análises significativas da Pinheiro, Fase 1. 113

Tabela 2.13 – Resumo das análises significativas do Reservatório, Fase 1. 116

Tabela 2.14 – Resumo das análises significativas do Grandão, Fase 1. 118

Tabela 2.15 – Resumo das análises significativas do Grandão, Fase 2. 121

Tabela 2.16 – Resumo das análises significativas do Reservatório, Fase 2. 123

Tabela 2.17 – Resumo das análises significativas do Reservatório, Fase 2. 124

Tabela 2.18 – Resumo das análises significativas do Pinheiro, Fase 2.....128

Tabela 2.19 – Resumo da estimativa do recurso mineral do depósito de lítio do Barroso, setembro de 2025 (inclui C-100 e área de extensão). 133

Tabela 2.20 – Resumo do recurso mineral em setembro de 2025 (teor de corte de 0,5% Li_2O). 134

Tabela 2.21 – Tabela de Recursos Minerais de Quartzo e Feldspato do Grandão (novembro de 2025), Reservatório e Pinheiro (outubro de 2025), reportados ao teor de corte de 0,5% Li_2O. 137

Tabela 2.22 – Resumo dos alvos de prospeção do depósito de lítio do Barroso. 137

Tabela 2.23 – Intervalos de tonelagem dos alvos de prospeção considerados no PDL. 139

Tabela 3.1 – Características dos principais cursos de água existentes na envolvente da mina. 140

Tabela 3.2 – Síntese climática (temperatura e precipitação) da região onde se localiza o projeto.....144

Tabela 3.3 – Coordenadas das estações analisadas. 149

Tabela 3.4 – Valores médios das análises realizadas. 149

Tabela 3.5 – Resultados das análises físico-químicas. 154

Tabela 3.6 – Pontos de água alvo de análise de parâmetros físico-químicos em 2025. 156

Tabela 3.7 – Fácies hidroquímicas interpretadas. 159

Tabela 3.8 – Coordenadas das estações analisadas. 161

Tabela 3.9 – Valores médios das análises realizadas. 163

Tabela 3.10 – Síntese dos dados de furos de água (piezómetros). 168

Tabela 3.11 – Síntese das perfurações e trabalhos de instalação dos furos. 176

Tabela 3.12 – Parâmetros obtidos no decurso dos ensaios de caudal realizados. 179

Tabela 3.13 – Síntese de parâmetros obtidos e interpretados 1.....184

Tabela 3.14 – Síntese de parâmetros obtidos e interpretados 2.....185

Tabela 3.15 – Extensão do modelo (malha EPSG 3763). 187

Tabela 3.16 – Balanço hídrico em estado estacionário. 199

Tabela 3.17 – Calendário adotado na modelação hidrogeológica e comparação com o cronograma de lavra do PDL. 200

Tabela 3.18 – Rebaixamento previsto ao longo da vida útil da mina, nos locais das nascentes. 206

Tabela 3.19 – Extensão máxima do rebaixamento previsto ao final do preenchimento das cortas. 206

Tabela 3.20 – Caudais máximos previstos para *dewatering.* 209

Tabela 3.21 – Caudais máximos previstos para *dewatering* (intervalos de incerteza).210

Tabela 3.22 – Caudais máximos previstos para *dewatering* (intervalos de incerteza).210

Tabela 3.23 – Caudais máximos previstos para *dewatering* (intervalos de incerteza).210

Tabela 3.24 – Caudais máximos previstos para *dewatering* (intervalos de incerteza).211

Tabela 3.25 – Recuperação prevista para as cortas (intervalos de incerteza).....212

Tabela 3.26 – Recuperação prevista nos locais das nascentes (intervalos de incerteza). 212

Tabela 3.27 – Detalhes técnicos dos furos de fornecimento de água. 217

Tabela 4.1 – Reserva Mineral Provável para Licenciamento do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, julho de 2026.....218

Tabela 4.2 – Critérios considerados na estimativa de Reservas, em conformidade com o Código JORC (2012). 219

Tabela 4.3 – Inventário da corta a céu aberto do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso para planeamento. 235

Tabela 4.4 – Modelos utilizados o Plano da Mina. 250

Tabela 4.5 - Campos considerados no plano da mina. 251

Tabela 4.6 – Análise comparativa dos modelos de recursos e de lavra. 252

Tabela 4.7 – Parâmetros de referência da perfuração. 257

Tabela 4.8 – Parâmetros de referência de carregamento (valores por furo). 259

Tabela 4.9 – Detalhes de conclusão das sondagens geotécnicas executadas no Grandão. Os furos "RC" correspondem a RCDD, ou seja, com cauda diamantada. Coordenadas em ETRS89.....275

Tabela 4.10 – Detalhes de conclusão das sondagens geotécnicas executadas no NOA. Os furos "RC" correspondem a RCDD, ou seja, com cauda diamantada. Coordenadas em ETRS89.....279

Tabela 4.11 – Detalhes de conclusão das sondagens geotécnicas executadas no Reservatório. Os furos "RC" correspondem a RCDD, ou seja, com cauda diamantada. Coordenadas em ETRS89. 280

Tabela 4.12 – Detalhes de conclusão das sondagens geotécnicas executadas no Pinheiro. 282

Tabela 4.13 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial (UCS). 287

Tabela 4.14 – Resultados dos ensaios triaxiais em célula de Hoek de estágio único. ..294

Tabela 4.15 – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto. 305

Tabela 4.16 – Resultados dos ensaios brasileiros de resistência à tração. 307

Tabela 4.17 – Classificação do RQD dos maciços rochosos. 310

Tabela 4.18 – Estatísticas do peso volúmico por domínio. 315

Tabela 4.19 – Resultados das resistências estimadas por domínio geotécnico. 316

Tabela 4.20 – Estatísticas de GSI por domínio geotécnico. 317

Tabela 4.21 – Valores estimados de m_i a partir de diferentes fontes. 318

Tabela 4.22 – Comparação das resistências ao cisalhamento do maciço rochoso obtidas a partir dos parâmetros de Hoek–Brown vs ensaios triaxiais de Hoek. 318

Tabela 4.23 – Estatísticas de JRC por domínio. 322

Tabela 4.24 – Estatísticas de JCS por domínio. 322

Tabela 4.25 – Ângulo de atrito residual por domínio. 323

Tabela 4.26 – Peso volúmico do *design*. 323

Tabela 4.27 – Parâmetros de design de Hoek–Brown e equivalentes de Mohr–Coulomb para a análise de estabilidade do talude global – caso base. 325

Tabela 4.28 – Parâmetros de design de Hoek–Brown e equivalentes de Mohr–Coulomb para a análise de estabilidade do talude global – caso de limite inferior. 325

Tabela 4.29 – Parâmetros de Barton–Bandis e resultados equivalentes de Mohr–Coulomb à escala da face de patamar. 326

Tabela 4.30 – Resistências de *design* ao cisalhamento das descontinuidades – escala da face de patamar. 327

Tabela 4.31 – Resistências de *design* ao cisalhamento das descontinuidades – escalas globais e inter-rampa. 327

Tabela 4.32 – Resultados de todas as secções analisadas no Grandão, com os respetivos critérios de aceitação. 350

Tabela 4.33 – Resultados de todas as secções analisadas no NOA com os respetivos critérios de aceitação. 354

Tabela 4.34 – Resultados de todas as secções analisadas no Reservatório com os respetivos critérios de aceitação. 357

Tabela 4.35 – Resultados de todas as secções analisadas no Pinheiro com os respetivos critérios de aceitação. 360

Tabela 4.36 – Parâmetros de conceção recomendados para os taludes globais do Grandão. 367

Tabela 4.37 – Parâmetros de conceção recomendados para os taludes globais do NOA. 368

Tabela 4.38 – Parâmetros de conceção recomendados para os taludes globais do Reservatório. 369

Tabela 4.39 – Setores de conceção dos taludes globais do Pinheiro. 371

Tabela 4.40 – Modificações e alterações ao desenho da Corta mineira – Grandão. ...372

Tabela 4.41 – Modificações e alterações ao desenho da Corta mineira – NOA. 372

Tabela 4.42 – Modificações e alterações ao desenho da Corta mineira – Reservatório. 373

Tabela 4.43 – Modificações e alterações ao desenho da Corta mineira – Pinheiro. 373

Tabela 4.44 – Categorias do índice de escavabilidade N segundo Kirsten. 375

Tabela 4.45 – Categorias de escavabilidade pelo método de Kirsten. 375

Tabela 4.46 – Volume de solo recuperado previsto no cronograma de lavra. 384

Tabela 4.47 – Critérios de Desenho para o Armazenamento de Solo. 385

Tabela 4.48 – Critérios de Desenho dos Depósitos de Estéril.....386

Tabela 4.49 – Capacidade Volumétrica dos Depósitos de Estéril. 388

Tabela 4.50 – Capacidade de Enchimento para as diferentes cortas. 389

Tabela 4.51 – Correspondência dos 58 períodos do cronograma de lavra com os anos do plano e as datas civis.....392

Tabela 4.52 – Tipo de Material Considerado no Planeamento. 395

Tabela 4.53 – Restrições para a lavra. 398

Tabela 4.54 – Plano de produção e movimentação de materiais por ano do plano. ...400

Tabela 4.55 – Cronograma de Progressão de Lavra.....408

Tabela 4.56 – Frota calculada por ano do plano de lavra. 429

Tabela 5.1 – Programa de Testes Realizados. 435

Tabela 5.2 – Parâmetros Físicos e de Redução Granulométrica.....437

Tabela 5.3 – Repartição na etapa de pré-crivagem para a fração +0,85 mm (Alimentação da planta DMS).....439

Tabela 5.4 – Desempenho Global da etapa de DMS.....440

Tabela 5.5 – Recuperação na etapa de Flotação da Espodumena. 444

Tabela 5.6 – Desempenho da etapa de flotação – ajustado para SC5,5.....444

Tabela 5.7 – Recuperação global a 106 µm. 445

Tabela 5.8 – Perdas em Lamas vs Granulometria de Moagem.....447

Tabela 5.9 – Perdas na Separação Magnética vs Granulometria de Moagem. 448

Tabela 5.10 – Recuperação Global até à Alimentação da Flotação vs Granulometria de Moagem. 449

Tabela 5.11 – Rendimento de óxido de lítio (Li_2O) nos rejeitados de desbaste em diferentes granulometrias de moagem. 449

Tabela 5.12 – Recuperação Global em Função da Granulometria de Moagem. 450

Tabela 5.13 – Amostra do ciclo fechado vs desempenho na variabilidade – ensaios preliminares de Flotação. 453

Tabela 5.14 – Sumário Global dos Resultados. 455

Tabela 5.15 – Programa anual de alimentação da lavaria e produtos. 457

Tabela 5.16 – Critérios nominais de dimensionamento da lavaria.....460

Tabela 5.17 – Ponto nominal de dimensionamento e máximos anuais do programa de produção. 462

Tabela 5.18 – Balanço acumulado das frações de processamento por destino. 478

Tabela 5.19 – Balanço anual das matérias-primas secundárias por fração e destino. .480

Tabela 5.20 – Vendas efetivas de matérias-primas secundárias por ano civil. 482

Tabela 5.21 – Descrição de Reagente e respetivas dosagens de utilização. 484

Tabela 5.22 – Produtos de utilização exclusiva para as Lavarias. 488

Tabela 5.23 – Potência calculada por centro de controlo de motores (MCC). 492

Tabela 6.1 – Características do veículo tipo.....502

Tabela 6.2 – Estudo hidrológico da bacia hidrográfica e regime de caudais no rio Covas. 509

Tabela 6.3 – Valores do Coeficiente C da Fórmula Racional (Adptado de CHOW etal., 1988). 512

Tabela 6.4 – Coeficientes de Escoamento. 512

Tabela 6.5 – Coeficientes de Escoamento Adotados. 513

Tabela 6.6 – Enrocamento a Jusante das Passagens Hidráulicas.....514

Tabela 6.7 – Análise de PH. 515

Tabela 6.8 – Características de Traçado. 520

Tabela 6.9 – Infraestruturas Auxiliares. 539

Tabela 6.10 – Parâmetros médios da água de entrada na ETA (4 amostras). 559

Tabela 6.11 – Características do reservatório de água bruta. 560

Tabela 6.12 – Características do filtro multimédia e grupos eletrobomba. 561

Tabela 6.13 – Características do reservatório de água tratada. 562

Tabela 6.14 – Pré-oxidação e desinfeção de água. 563

Tabela 6.15 – Qualidade do afluente e objetivos de tratamento da ETAR doméstica. 564
Tabela 6.16 – Características do separador de gorduras. 566
Tabela 6.17 – Características do reator biológico. 567
Tabela 6.18 – Características do MBR. 567
Tabela 6.19 – Características do tanque de segurança. 568
Tabela 6.20 – Características do reservatório de água residual tratada. 568
Tabela 6.21 – Características do espessador e sacos de desidratação. 568
Tabela 6.22 – Reagentes utilizados na ETAR doméstica. 569
Tabela 6.23 – Hipoclorito de sódio (NaOCl). 570
Tabela 6.24 – Ácido clorídrico (HCl 33%). 570
Tabela 6.25 – Soda cáustica (NaOH) 571
Tabela 6.26 – Policloreto de alumínio (PAC). 572
Tabela 6.27 – Parâmetros físico-químicos da água de entrada na ETAR industrial. 575
Tabela 6.28 – Balanço Iónico. 576
Tabela 6.29 – Características da água tratada na ETAR industrial. 576
Tabela 6.30 – Características da gradagem inicial. 578
Tabela 6.31 – Características do flotodecantador. 579
Tabela 6.32 – Características do tanque de água clarificada (CWT). 580
Tabela 6.33 – Características da ultrafiltração - UF1. 580
Tabela 6.34 – Características do Reservatório RT1. 581
Tabela 6.35 – Características da ultrafiltração – UF2. 581
Tabela 6.36 – Características do Reservatório ULFWT2. 582
Tabela 6.37 – Características da microfiltração e osmose inversa. 582
Tabela 6.38 – Características do reservatório de água tratada. 582
Tabela 6.39 – Características do reservatório de RT2. 583
Tabela 6.40 – Características do equipamento de desidratação de lamas. 584

Tabela 6.41 – Hidróxido de Magnésio. 585

Tabela 6.42 – NaOH 50% - Precipitação química, limpezas UF e consumo total 586

Tabela 6.43 – Coagulante.....588

Tabela 6.44 – Floculante - Fase Líquida. 589

Tabela 6.45 – Floculante - Fase Sólida. 589

Tabela 6.46 –HCl 33% - Regulação de pH, limpezas UF e consumo total 590

Tabela 6.47 – NaOCl 12,5% - UF.....592

Tabela 6.48 – Inibidor de Incrustação – OI 593

Tabela 6.49 – Biocida – OI.....594

Tabela 6.50 – Limpeza de Membranas - OI.....594

Tabela 6.51 – Desinfeção de Membranas - OI. 595

Tabela 6.52 – Origens da água que alimenta a Lavaria. 596

Tabela 6.53 – Precipitações de projeto adotadas no presente estudo, por duração e período de retorno em anos. 610

Tabela 6.54 – Ocupação do solo e número de escoamento (CN) adotados por tipo de superfície.....610

Tabela 6.55 – Tempos de concentração e de retardamento das sub-bacias de Pinheiro 1 (estágio inicial). 617

Tabela 6.56 – Tempos de concentração e de retardamento das sub-bacias de Pinheiro 1 (estágio final). 617

Tabela 6.57 – Tempos de concentração e de retardamento das sub-bacias de Pinheiro 2 (estágio final). 618

Tabela 6.58 – Tempos de concentração e de retardamento das sub-bacias de Grandão (estágios inicial e final).....618

Tabela 6.59 - Tempos de concentração e de retardamento das sub-bacias do Reservatório (estágio final). 619

Tabela 6.60 – Obras e órgãos hidráulicos dos sistemas Pinheiro, Grandão e Reservatório. 622

Tabela 6.61 – Caudais de dimensionamento e de verificação, NMC e características principais das obras dos sistemas Pinheiro, Grandão e Reservatório. 641

Tabela 6.62 – Resumo das falhas interpretada em profundidade.....657

Tabela 6.63 – Identificação das principais famílias de descontinuidades por depósito. 661

Tabela 6.64 – Quantidade de sondagens realizadas em estudos anteriores e consideradas no presente estudo geológico-geotécnico. 666

Tabela 6.65 – Quantidade de ensaios realizados em estudos anteriores e consideradas no presente estudo geológico-geotécnico. 668

Tabela 6.66 – Classificação das rochas quanto à resistência à compressão uniaxial (ISRM). 669

Tabela 6.67 – Classificação das rochas quanto à deformabilidade (AFTES). 669

Tabela 6.68 – Quantidade de poços de reconhecimento distribuídos por cada infraestrutura hidráulica ou área de intervenção.....671

Tabela 6.69 – Resumo das propriedades Índice sobre a amostra de Enrocamento. ...675

Tabela 6.70 – Zonas Geotécnicas estabelecidas para os terrenos de fundação. 676

Tabela 6.71 – Classificação do maciço rochoso quanto ao “Rock Quality Designation”, RQD (%) (Ameratunga et al., 2016).....677

Tabela 6.72 – Potenciais Pedreiras e Saibreiras identificadas nas proximidades do local do empreendimento.....683

Tabela 6.73 – Cenários (magnitude e plano de falha) e períodos de retorno considerados. Fonte: LNEC (2026), *Projeto de Lítio do Barroso – Definição da Ação Sísmica*, Relatório 246/2026-DE/NESDE.....686

Tabela 6.74 – Resumo dos valores médios de pico de aceleração do terreno, PGA(médio), e do seu percentil 84, PGA(84%), para os cenários considerados. Fonte: LNEC (2026), Projeto de Lítio do Barroso – Definição da Ação Sísmica, Relatório 246/2026-DE/NESDE.....687

Tabela 6.75 – Critérios para definição da classe de uma barragem segundo o artigo 3.º do Regulamento de Segurança de Barragens e respetivo Anexo – Classificação das Barragens. 689

Tabela 6.76 – Classificação dos reservatórios do projeto.....689

Tabela 6.77 – Programa Geral de Trabalhos.....696

Tabela 6.78 – Características Principais da Linha de Alta Tensão - LN 60kV 1572 Covas do Barroso - PC Boticas. 718

Tabela 6.79 – Características Principais da Linha de Alta Tensão - LN 60kV 1573 PC Boticas – PC Fonte de Mouro.....718

Tabela 6.80 – Zona de cruzamento de infraestruturas - LN 60 kV 1573 PC Boticas e o PC Fonte de Mouro. 719

Tabela 6.81 – Cruzamento do troço LN 60kV 1572 com Cursos de Água. 720

Tabela 6.82 – Cruzamento do troço LN 60kV 1573 com Cursos de Água. 720

Tabela 6.83 – Cruzamento do troço LN 60kV 1572 com Linha de Média Tensão. 721

Tabela 6.84 - Cruzamento do troço LN 60 kV 1572 com Linhas de Telecomunicações. 721

Tabela 6.85 – Cruzamento do troço LN 60kV 1573 com Linhas de Telecomunicações. 721

Tabela 6.86 – Localização dos Apoios a Implementar e que integram uma Zona REN – LN 60kV 1572. 724

Tabela 6.87 – Localização dos Apoios a Implementar e que integram uma Zona REN – LN 60kV 1573. 725

Tabela 6.88 – Limites de Exposição a Campos Elétrico e Magnéticos a 50 Hz – LN 60kV 1572. 731

Tabela 6.89 – Verificação da Estabilidade dos Apoios. 732

Tabela 6.90 – Características PT de Canedo – Alijó. 738

Tabela 6.91 – Características Elétricas Gerais da Subestação. 744

Tabela 6.92 – Descrição dos Painéis de AT. 745

Tabela 6.93 – Descrição dos Painéis de MT. 745

Tabela 6.94 – Condições Ambientais Esperadas. 748

Tabela 6.95 – Níveis de corrente dos Painéis de AT. 749

Tabela 6.96 – Níveis de corrente dos Painéis de MT. 749

Tabela 6.97 – Correntes de curto-circuito. 750

Tabela 6.98 – Níveis nominais de isolamento dos equipamentos de AT, MT e BT. 750

Tabela 6.99 – Isolamento no ar e Distâncias de Segurança. 751

Tabela 6.100 – Valores mínimos de iluminação. 753

Tabela 6.101 – Condutor a utilizar nas ligações flexíveis. 754

Tabela 6.102 – Condutores utilizados nas ligações rígidas do parque exterior de aparelhagem. 754

Tabela 6.103 – Caracterização das ligações MT na subestação.....755

Tabela 6.104 – Movimentação de Terras das Vias de Acesso. 763

Tabela 6.105 – Movimentação de Terras das Infraestruturas de Controlo Hidráulico.764

Tabela 6.106 – Movimentação de Terras das Instalações Administrativas e Técnicas.764

Tabela 6.107 – Movimentação de Terras do Aterro de Rejeitados (TSF). 765

Tabela 6.108 – Movimentação de Terras da Lavaria. 765

Tabela 6.109 – Movimentação de Terras da Plataforma de Logística da Mina.....765

Tabela 7.1 – Valores regionais para o As, Ba, Be e V nas rochas metassedimentares (extrato de Maria dos Anjos, 1998). 783

Tabela 7.2 – Composição mineralógica média de pegmatito de baixo teor. 784

Tabela 7.3 – Resultados de medição de pH (ano 2025) águas subterrâneas e superficiais (pH / MI LAQ Escala Sorensen). 789

Tabela 7.4 – Teste de classificação (Rejeitados) - resultados e padrões relevantes. ...792

Tabela 7.5 – Distribuição de tamanho de partícula (Rejeitados).....792

Tabela 7.6 – Resultados das análises de valores totais de enxofre, potencial de neutralização ácida e potencial de geração ácida, efetuadas no Laboratório certificado ALS, e de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Rejeitados. 793

Tabela 7.7 – Valores totais de enxofre, potencial de neutralização ácida e potencial de geração ácida, efetuadas no Laboratório certificado ALS, e de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Rejeitados. 794

Tabela 7.8 – Resultados das análises de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn no eluato (24h) dos Rejeitados comparados com os limites estabelecidos para Inerte Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro.....794

Tabela 7.9 – Resultados das análises de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn no eluato (24h) dos Rejeitados comparados com os limites estabelecidos para Inerte Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro.....795

Tabela 7.10 – Parâmetros Preliminares do Dimensionamento Geotécnico.....796

Tabela 7.11 – Resultados das análises de valores totais de enxofre, potencial de neutralização ácida e potencial de geração ácida, efetuadas no Laboratório certificado ALS, e de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro. 798

Tabela 7.12 – Resultados de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn nos Estéreis....799

Tabela 7.13 – Valores médios de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn nos Estéreis comparados com os limites dos elementos do Guia da APA, valores em ppm. Métodos analíticos (ICP-MS) efetuados no Laboratório acreditado ALS. 800

Tabela 7.14 – Valores médios de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn no eluato (24h) dos Estéreis comparados com os limites estabelecidos para Inerte no Decreto-Lei 102-D2020 e de acordo com o prescrito no Ponto 3 do Anexo III do DL 10/2010, valores em mg/kg (TS). Métodos analíticos (ICP-MS) efetuados no Laboratório acreditado ALS. .801

Tabela 7.15 – Resultados dos testes e ensaios de classificação de Rejeitados. 805

Tabela 7.16 – Resultados dos ensaios de edómetro em Rejeitados.....808

Tabela 7.17 – Ensaios de permeabilidade em regime de carga variável em Rejeitados. 810

Tabela 7.18 – Testes de Cisalhamento Simples em Rejeitados. 812

Tabela 7.19 – Testes Triaxiais em Rejeitados.....815

Tabela 7.20 – Teste de Coluna Ressonante em Rejeitados. 817

Tabela 7.21 – Resultados de Contagem Ácido-Base (ABA) de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Escombros. 823

Tabela 7.22 – Resultados de ensaio de geração líquida de ácido (NAG) em Escombros de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Escombros.....824

Tabela 7.23 – Resultados do conteúdo em Carbono de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Escombros. 826

Tabela 7.24 – Resultados de ensaio das análises químicas previstas no Anexo I do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Escombros. E incluem-se os valores de Li e Cs. 827

Tabela 7.25 – Resultados de ensaio das análises químicas dos lixiviados, para os elementos previstos no Anexo I do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Escombros. E incluem-se os valores de Li e Cs. 828

Tabela 7.26 – Resultados de ensaio das análises químicas dos lixiviados comparados com limites máximos para Descarga de água residuais industriais tratadas (ANEXO XVIII - Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto).....829

Tabela 7.27 – Balanço acumulado das frações de processamento por destino.....836

Tabela 7.28 - Resíduos não Mineiros – Fase de Construção.....838

Tabela 7.29 - Resíduos não Mineiros - Lavaria 840

Tabela 7.30 - Resíduos não Mineiros - ETA.....840

Tabela 7.31 - Resíduos não Mineiros - Atividades Manutenção.....841

Tabela 7.32 - Resíduos não Mineiros - Fase de Desativação 842

Tabela 7.33 – Estéreis extraídos por corta e respetivo volume empolado. 847

Tabela 7.34 – Parâmetros do programa de exploração e da solução da TSF. 854

Tabela 7.35 – Estatísticas de precipitação anual. 855

Tabela 7.36 – Precipitação e evaporação média mensal.....856

Tabela 7.37 – Parâmetros geotécnicos de fundação adotados no modelo COBA. 857

Tabela 7.38 – Materiais constituintes da solução COBA. 857

Tabela 7.39 – Teste de laboratório realizados.....858

Tabela 7.40 – Resultados dos testes de laboratório.....860

Tabela 7.41 – Parâmetros de CSL interpretados para os rejeitados da flotação.....861

Tabela 7.42 – Resultados dos ensaios triaxiais para os rejeitados. 864

Tabela 7.43 – Ensaios adicionais para os rejeitados.....865

Tabela 7.44 – Parâmetros resistentes adotados na análise da TSF. 866

Tabela 7.45 – Construção faseada da TSF ao longo da vida da mina. 872

Tabela 7.46 – Sumário das Medidas de Redução de Risco.....875

Tabela 7.47 – Síntese dos coeficientes de segurança reportados pela COBA. 876

Tabela 7.48 – Programa de Monitorização Operacional, Ambiental e Geotécnica da TSF. 880

Tabela 7.49 – Programa de Manutenção.....887

Tabela 7.50 – Perfil geotécnico do subsolo. 893

Tabela 7.51 – Parâmetros de resistência ao corte em condições estáticas adotados para os materiais de fundação. 893

Tabela 7.52 – Parâmetros de resistência ao corte pós-sísmica adotados para os materiais de fundação. 894

Tabela 7.53 – Resistência ao corte de pico do enrocamento. 895

Tabela 7.54 – Parâmetros de resistência ao corte adotados para o enrocamento de estéreis. 896

Tabela 7.55 – Fatores Parciais para DA1. 897

Tabela 7.56 – Coeficientes parciais para situações de projeto acidentais (pseudoestáticas/pós-sísmicas). 898

Tabela 7.57 – Sumário dos resultados da análise de estabilidade da escombreira do Pinheiro. 900

Tabela 7.58 – Sumário dos resultados da análise de estabilidade da escombreira do Grandão. 905

Tabela 7.59 – Sumário dos resultados da análise de estabilidade da escombreira do Reservatório. 909

Tabela 9.1 – Situações de partida das áreas de intervenção 917

Tabela 9.2 – Síntese das tipologias de intervenção do PARP 918

Tabela 9.3 – Módulos de plantação 920

Tabela 9.4 – Características gerais das espécies a plantar 925

Tabela 9.5 – Misturas de sementeira 926

Tabela 9.6 – Faseamento indicativo dos trabalhos do PARP 926

Tabela 9.7 – Síntese das principais quantidades do PARP 929

Tabela 9.8 – Número de exemplares a plantar por módulo 929

Tabela 9.9 – Síntese do cumprimento das orientações da DIA (ponto 34) 930

Tabela 11.1 – Configuração de encerramento das cortas incluídas no âmbito C-100. 933

Tabela 11.2 – Principais marcos temporais do encerramento. 934

Tabela 11.3 – Etapas e atividades do encerramento. 934

Tabela 11.4 – Calendário indicativo da recuperação paisagística final (PARP). 935

Tabela 11.5 – Equipamentos afetos aos trabalhos de encerramento. 936

Tabela 11.6 – Destino das instalações, equipamentos e materiais a desmantelar. 938

Tabela 11.7 – Elementos de projeto do encerramento da TSF. 940

Tabela 11.8 – Ações de encerramento das estruturas de gestão de águas superficiais. 941

Tabela 11.9 – Principais resíduos associados ao encerramento e respetivos destinos. 943

Tabela 11.10 – Medidas de recuperação e de entrega do terreno. 946

Tabela 11.11 – Soluções de recuperação final por área de intervenção (PARP). 947

Tabela 11.12 – Módulos de plantação do PARP. 948

Tabela 11.13 – Monitorização e inspeção da TSF. 951

Tabela 11.14 – Estimativa do custo de encerramento. 952

Tabela 11.15 – Faseamento anual do custo líquido de encerramento. 953

Tabela 11.16 – Remobilização anual de estéreis para enchimento das cortas (plano de lavra). 954

Tabela 11.17 – Quantidades da recuperação paisagística final (PARP, intervenções permanentes).....954

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO DO PROJETO

1.1.1 APRESENTAÇÃO

O presente documento constitui o Plano de Lavra da Ampliação da Mina do Barroso, em fase de Projeto de Execução, do qual é proponente a SAVANNAH LITHIUM, UNIPESSOAL LDA., doravante denominada SAVANNAH. O Projeto de Ampliação da Mina do Barroso insere-se, maioritariamente, na freguesia de Covas do Barroso, concelho de Boticas. São ainda abrangidas pelo projeto as freguesias de Vilar e Viveiro, do mesmo concelho e Canedo do concelho de Ribeira de Pena. A área de concessão, abrange ainda a freguesia de Dornelas, no concelho de Boticas.

No âmbito do Procedimento de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) n.º 3353 o Estudo do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, deu origem ao Projeto de Execução agora em análise, Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, foi alvo de avaliação num Estudo de Impacte Ambiental (EIA) e respetiva avaliação do Projeto Reformulado no âmbito do Artigo 16 do RJAIA em fase de Estudo Prévio.

O referido EIA, com a designação de "Estudo de Impacte Ambiental do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso - Avaliação do Projeto Reformulado no Âmbito do Artigo 16º do RJAIA" foi alvo de uma Declaração de Impacte Ambiental (DIA) com decisão favorável condicionada, emitida, a 30 de maio de 2023.

1.1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A estrutura do presente documento respeita as orientações definidas pelo Decreto-Lei n.º 30/2021, 7 de maio, na sua atual redação, no que respeita aos depósitos minerais.

Este plano foi desenvolvido seguindo os seguintes capítulos:

- Caracterização do Depósito Mineral
- Estudo Hidrogeológico
- Método de Exploração, Infraestrutura Mineira e Cálculo de Recursos e Reservas
- Processos Mineralúrgicos
- Instalação e Construção
- Plano de Gestão de Resíduos
- Plano Ambiental de Recuperação Paisagística
- Plano de Encerramento
- Estudo de Viabilidade Económica

- Plano de Segurança e Saúde
- Cronograma dos Trabalhos Previstos

1.1.3 FINALIDADE E ENQUADRAMENTO DA DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

O presente Plano de Lavra apresenta à entidade licenciadora o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso e constitui, em conjunto com as memórias descritivas, os estudos, os cálculos e as peças desenhadas que o acompanham, a documentação de projeto de execução para apreciação no âmbito do Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE). Esta documentação suporta o licenciamento mineiro e a verificação do cumprimento das condições estabelecidas na Declaração de Impacte Ambiental, para efeitos de emissão da Decisão sobre a Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (DCAPE).

Os anexos integram documentação técnica produzida por diferentes entidades e em diferentes fases de desenvolvimento do Projeto. As designações, referências, códigos e identificações constantes dos documentos de origem são conservados, quando aplicável, para assegurar a integridade documental, a identificação da autoria e a rastreabilidade dos dados, ensaios e resultados utilizados.

A documentação de suporte pode abranger áreas de estudo, amostras, cenários ou soluções mais amplos do que as intervenções submetidas. Esses elementos são considerados na medida em que contribuem para a caracterização e fundamentação técnica do Projeto, não constituindo a sua presença nos anexos, por si só, uma previsão de execução ou uma extensão do âmbito do licenciamento.

O âmbito das intervenções, a configuração adotada e as condições de execução são os expressamente identificados no presente Plano de Lavra e nas correspondentes peças de projeto. A documentação de suporte é interpretada em articulação com esses elementos, preservando os critérios de dimensionamento, as medidas ambientais e os compromissos aplicáveis ao Projeto.

1.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROPONENTE E AUTOR DO ESTUDO

1.2.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROPONENTE

O **Proponente** do projeto da "Ampliação da Mina do Barroso", é a SAVANNAH LITHIUM, UNIPESSOAL LDA., pessoa coletiva de NIPC 513 990 313, com sede na Largo Nossa Senhora da Livração, nº 14, 5460-303 Boticas. A SAVANNAH é uma subsidiária detida a 100% pela Savannah Resources Plc, empresa cotada na bolsa de valores de Londres AIM (London Stock Exchange) focada na prospeção e desenvolvimento de ativos minerais, e na construção de operações mineiras viáveis.

A Savannah Resources Plc é uma sociedade constituída no Reino Unido e cotada desde 2010 no mercado Alternative Investment Market (AIM) da London Stock Exchange,

sendo a entidade holding última do grupo Savannah. A empresa tem como foco estratégico o desenvolvimento de projetos mineiros de lítio em Portugal.

A entidade titular da concessão mineira é a Savannah Lithium, Unipessoal Lda., sociedade de direito português integrada no grupo Savannah. A Savannah Lithium, Unipessoal Lda. é detida pela Savannah Resources Portugal B.V. (Países Baixos), a qual é subsidiária integral da Savannah Resources Plc. Esta estrutura societária assegura a responsabilidade legal da entidade concessionária e o respetivo suporte financeiro, técnico e institucional por parte da sociedade-mãe.

A Savannah Resources Plc é administrada por um Conselho de Administração que atua em representação dos seus acionistas, em conformidade com práticas reconhecidas de governação societária no Reino Unido. A estrutura de governação inclui comissões especializadas responsáveis, designadamente, pelas áreas de auditoria e risco, remunerações e nomeações e sustentabilidade, assegurando mecanismos formais de supervisão e controlo.

A base acionista da Savannah Resources Plc é internacionalmente diversificada. A informação mais recente disponível sobre a distribuição geográfica indicativa dos acionistas indica que cerca de 28% do capital social emitido é detido por acionistas portugueses, evidenciando uma participação nacional relevante no projeto. Participações significativas são igualmente detidas por investidores do Reino Unido e de outros países europeus.

1.2.2 IDENTIFICAÇÃO DO AUTOR DO ESTUDO

O Plano de Lavra da Ampliação da Mina do Barroso foi desenvolvido pela SAVANNAH e pela empresa Quadrante – Engenharia e Consultoria, S.A., com sede na Avenida da Boavista, n.º 1837, 2º Andar, 2.1, Edifício Torre Burgo, 4100-133 Porto.

O Projeto de Execução da Ampliação da Mina do Barroso foi desenvolvido entre setembro de 2024 e setembro de 2026, com a participação de uma equipa técnica multidisciplinar, constituída por diversas empresas especializadas, responsáveis pelo desenvolvimento das seguintes componentes:

- Ashmore Advisory Pty Ltd – Avaliação de recursos minerais e modelação geológica;
- Knight Piésold Limited (KP) – Aterro de resíduos, infraestruturas hidráulicas, hidrogeologia e edifícios industriais;
- Sedgman – Unidade de processamento mineral (lavaria);
- Quadrante, S.A. – Acessos internos e externos, ligação elétrica à rede, engenharia ambiental, Plano Ambiental de Recuperação Paisagística, Plano de Encerramento e Plano de Segurança e Saúde;
- COBA – Consultores de Engenharia e Ambiente, S.A. – Infraestruturas hidráulicas e implantação de detalhe;

- Snowden Optiro – Planeamento mineiro e cálculo de reservas minerais;
- Model Answer – Modelo financeiro.

1.3 ENTIDADE LICENCIADORA

A obtenção de concessão de exploração de depósito mineral do projeto sujeito a procedimento de AIA alcança-se, nos termos do Decreto-lei n.º 30/2021, de 7 de maio, por contrato administrativo com Estado, mediante requerimento dirigido à Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).

A autoridade de AIA é a Agência Portuguesa do Ambiente, nos termos do item i) da alínea a) e do número 1 do Artigo 8º do Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 11/2023, de 10 de fevereiro.

1.4 OBJETIVOS, NECESSIDADES E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

1.4.1 JUSTIFICAÇÃO E IMPORTÂNCIA DA INDÚSTRIA EXTRATIVA

A indústria extrativa desempenha um papel fundamental na sustentabilidade das sociedades modernas, fornecendo matérias-primas essenciais para uma ampla gama de setores industriais, desde a geração de energia até à fabricação de bens de consumo. A sua relevância vai além dos benefícios económicos diretos, contribuindo significativamente para a inovação tecnológica, o progresso científico e a competitividade das economias nacionais e regionais.

A União Europeia (UE) reconhece a importância estratégica da mineração no cenário económico global, especialmente no contexto da transição energética e da digitalização. Diversos recursos minerais são indispensáveis para tecnologias emergentes, como baterias de lítio, fontes de energia renovável e veículos elétricos. Nesse sentido, assegurar um fornecimento estável e sustentável dessas matérias-primas tornou-se uma prioridade para a UE, refletindo-se essencialmente nas suas políticas e diretrizes regulatórias.

1.4.2 A IMPORTÂNCIA DAS MATÉRIAS-PRIMAS E A INDÚSTRIA EXTRATIVA NA UNIÃO EUROPEIA

A indústria mineira e o acesso a matérias-primas críticas são parte da autonomia estratégica da União Europeia (UE). A região depende de uma ampla gama de minerais e metais, como lítio, cobalto, níquel, cobre, terras raras, ferro e alumínio, essenciais para setores industriais estratégicos, incluindo a indústria automóvel, a construção civil, a eletrónica e a energia renovável.

As matérias-primas críticas são definidas pela Comissão Europeia (CE) como aquelas que possuem elevada importância económica e estão associadas a um risco significativo de escassez de abastecimento. A relevância económica é determinada através da análise do seu papel em setores industriais estratégicos, enquanto o risco de escassez é avaliado com base em fatores como a concentração geográfica da produção, a dependência da

UE das importações, a estabilidade dos países fornecedores, a viabilidade da reciclagem e a existência de materiais substitutos. As restrições comerciais impostas por países terceiros também são consideradas na análise.

Entre as matérias-críticas, o lítio destaca-se como um elemento-chave para a produção de baterias de iões de lítio, fundamentais para veículos elétricos, armazenamento de energia renovável e dispositivos eletrónicos portáteis. Com a crescente demanda a nível global pela eletrificação e descarbonização, a UE enfrenta desafios na garantia do fornecimento sustentável deste recurso, atualmente dominado por mercados externos.

Para mitigar essa dependência, a UE tem incentivado a exploração de reservas de lítio no seu território, como os projetos em Portugal, Espanha e Alemanha, bem como o desenvolvimento de cadeias de valor locais, incluindo refinamento e fabricação de baterias. Além disso, a inovação na reciclagem de baterias de lítio é uma prioridade para reduzir a necessidade de extração primária e reforçar a economia circular.

A Comissão Europeia revê periodicamente a lista de matérias-primas críticas para a UE, garantindo que a sua avaliação reflita as mudanças nas cadeias de abastecimento e a evolução das necessidades industriais. Desde a sua primeira publicação em 2011, a lista tem vindo a ser atualizada a cada três anos, com revisões realizadas em 2014, 2017, 2020 e 2023. A metodologia utilizada baseia-se em dados atualizados e considera a evolução da criticidade de cada matéria-prima ao longo do tempo.

Os principais critérios para a classificação de uma matéria-prima como crítica são a sua importância económica e o risco de escassez.

Esta lista desempenha um papel estratégico na definição das políticas da UE, servindo como um instrumento essencial para negociações comerciais, redução de barreiras ao comércio e orientação de investimentos. Além disso, influencia programas de investigação e desenvolvimento, como o Horizonte Europa, impulsionando inovação em exploração mineral, reciclagem e tecnologias alternativas. A promoção da economia circular e a redução da dependência externa também são prioridades associadas à definição dessas matérias-primas. Estados-Membros e empresas utilizam esta referência para estruturar as suas próprias estratégias no setor.

Atualmente, a UE enfrenta um desafio significativo no acesso a matérias-primas críticas, uma vez que a sua produção interna representa menos de 5% da oferta global, enquanto o seu consumo industrial ultrapassa 20% do total mundial. Setores essenciais como a indústria automóvel, siderurgia e saúde dependem fortemente desses recursos, que são igualmente fundamentais para tecnologias emergentes, incluindo baterias de iões de lítio e energias renováveis – pilares da transição energética e digital europeia. Com a procura por esses materiais projetada para crescer exponencialmente nas próximas décadas, garantir um fornecimento estável tornou-se uma prioridade estratégica.

Nesse contexto, a dependência europeia de países terceiros para o abastecimento de matérias-primas críticas tem sido alvo de amplo debate. Em outubro de 2022, a Comissão Europeia reforçou o compromisso com a segurança dos recursos ao lançar uma consulta pública sobre o tema, buscando envolver a sociedade e os agentes do setor na formulação de políticas futuras. O objetivo foi recolher contributos sobre

desafios, riscos e soluções para a mitigação da vulnerabilidade da UE, especialmente diante das recentes perturbações no mercado global, intensificadas pela guerra na Ucrânia.

1.4.3 ESTRATÉGIA EUROPEIA PARA AS MATÉRIAS-PRIMAS

A estratégia da União Europeia (UE) para as matérias-primas evoluiu de forma significativa ao longo da última década, culminando com a adoção do Regulamento das Matérias-Primas Críticas (CRMA) em 2024, que estabelece um quadro normativo vinculativo para garantir um abastecimento seguro, sustentável e resiliente de matérias-primas críticas e estratégicas. Este regulamento consolida e operacionaliza as orientações definidas na Estratégia Europeia para as Matérias-Primas de 2020, reforçando-as através de metas quantitativas, mecanismos de governação e instrumentos de apoio ao investimento.

A estratégia europeia assenta em vários eixos estruturantes, alinhados com os objetivos da transição energética, da transformação digital e do reforço da autonomia estratégica da EU:

- **Diversificação de Fontes de Abastecimento:** A UE procura reduzir a sua dependência excessiva de países terceiros, em particular daqueles caracterizados por elevados riscos geopolíticos ou económicos. O CRMA 2024 estabelece como objetivo que, até 2030, a dependência da UE de um único país terceiro para qualquer matéria-prima estratégica não ultrapasse 65% do consumo anual, promovendo simultaneamente a diversificação de fornecedores internacionais e o reforço da produção interna. Neste contexto, o regulamento incentiva a identificação e o desenvolvimento de projetos estratégicos no território europeu, abrangendo as fases de extração, processamento e refinação, com procedimentos de licenciamento mais céleres e coordenados.
- **Lavra Sustentável e Responsável:** O setor mineiro europeu opera sob regulamentações ambientais rigorosas, como a Diretiva Quadro da Água e a Diretiva de Avaliação de Impacto Ambiental, que garantem a redução dos impactes ambientais. O CRMA reforça este enquadramento ao exigir que os projetos estratégicos cumpram elevados padrões ambientais, sociais e de governação (ESG), promovendo práticas de lavra sustentável, como a redução da pegada ecológica, a gestão eficiente de resíduos, a proteção dos recursos hídricos e a progressiva descarbonização dos processos de extração e transformação.
- **Economia Circular e Reciclagem:** O Regulamento (UE) 2024/1252 estabelece, para 2030, um valor de referência para a capacidade de reciclagem da União que permita produzir pelo menos 25% do consumo anual de matérias-primas estratégicas, incluindo as etapas intermédias da reciclagem. Este objetivo enquadra o desenvolvimento da recolha, triagem e tratamento de resíduos com potencial de recuperação de matérias-primas críticas.
- **Inovação e Tecnologias Avançadas:** A digitalização e a automação têm vindo a transformar o sector mineiro na Europa, tornando-o mais eficiente, seguro e ambientalmente responsável. O uso de tecnologias tem vindo a contribuir para

a otimização de processos, reduzindo custos operacionais e impactes ambientais.

Neste enquadramento estratégico, o Projeto de Lítio do Barroso foi reconhecido pela Comissão Europeia como Projeto Estratégico Europeu, ao abrigo do CRMA 2024, por contribuir diretamente para os objetivos de segurança de abastecimento da UE em lítio, matéria-prima estratégica essencial para a transição energética e a mobilidade elétrica. Este estatuto permite ao projeto beneficiar dos mecanismos previstos no regulamento, nomeadamente em matéria de coordenação institucional, previsibilidade dos processos de licenciamento e acesso a instrumentos europeus de apoio ao investimento, estando simultaneamente sujeito ao cumprimento rigoroso da legislação ambiental, social e territorial aplicável.

Em síntese, o CRMA 2024 traduz a estratégia europeia para as matérias-primas numa abordagem integrada e operacional, combinando segurança de abastecimento, sustentabilidade ambiental, inovação tecnológica e economia circular, criando um enquadramento favorável ao desenvolvimento de projetos estruturantes que reforçam a autonomia estratégica europeia e contribuem para a concretização dos objetivos climáticos e energéticos da União.

1.4.3.1 Desafios e Oportunidades

O setor mineiro europeu enfrenta desafios significativos, como restrições ambientais, oposição local à exploração mineral e a necessidade de garantir um equilíbrio entre o desenvolvimento económico e a preservação ambiental.

Contudo, a mineração também representa oportunidades estratégicas, incluindo a criação de emprego qualificado, o fortalecimento das cadeias industriais regionais e a maior resiliência da UE face a crises económicas e geopolíticas.

A transição energética e a crescente digitalização tornam a mineração e o abastecimento sustentável de matérias-primas mais críticos do que nunca. Nesse cenário, o lítio emerge como um recurso central, impulsionando avanços tecnológicos e reforçando a competitividade da Europa no mercado global.

1.4.4 Aprovisionamento Seguro

O acesso seguro e sustentável a matérias-primas é uma prioridade estratégica para a UE dado que a região depende fortemente de importações para suprir as necessidades de setores fundamentais. Para enfrentar este desafio persistente, a UE tem desenvolvido políticas e diretrizes que visam mitigar riscos e fortalecer a resiliência das cadeias de abastecimento.

Desde a criação do Grupo de Abastecimento de Matérias-Primas na década de 1970 até ao lançamento da Iniciativa Matérias-Primas em 2008, a UE tem procurado reduzir a sua vulnerabilidade no acesso a recursos não energéticos, essenciais para a competitividade industrial e o bem-estar socioeconómico.

O Pacto Ecológico Europeu e a nova estratégia industrial da UE reconhecem que a segurança no aprovisionamento de matérias-primas é um fator crítico para o êxito das transições ecológica e digital. A pandemia de COVID-19, combinada com a instabilidade geopolítica no Médio Oriente e a guerra na Ucrânia, evidenciou fragilidades nas cadeias globais de abastecimento, levando diversos países a reavaliar a dependência externa em setores estratégicos. Como resposta, o plano de recuperação da Comissão Europeia enfatiza a necessidade de reconstrução económica com base em princípios de sustentabilidade, digitalização e resiliência, reforçando a necessidade de autonomia estratégica e de diversificação do aprovisionamento.

O setor mineiro europeu tem registado apenas alterações moderadas nos últimos anos, com um pequeno número de novos projetos de exploração e alguns encerramentos de operações. A atividade de mineração e extração na UE inclui a produção de metais básicos, metais especiais, metais preciosos, minerais industriais e materiais de construção, apresentando diferentes níveis de cobertura em relação à procura interna. Enquanto a UE é praticamente autossuficiente em minerais de construção e em certos minerais industriais, a sua dependência da importação de matérias-primas críticas continua a ser um desafio estrutural.

A produção interna desempenha um papel fundamental na redução da dependência de fornecimentos provenientes de regiões geopolítica e economicamente instáveis, enquanto contribui para mitigar impactos ambientais externos resultantes da extração em países terceiros. No entanto, a expansão da atividade mineira na Europa exige um compromisso significativo em termos de prospeção, pesquisa geológica e investimentos substanciais para viabilizar novas operações de extração.

Reconhecendo a importância dos seus próprios recursos naturais, a UE aposta numa abordagem equilibrada que alia a exploração mineral à proteção ambiental e ao ordenamento do território. O objetivo é garantir que a extração de matérias-primas responda às necessidades das indústrias estratégicas europeias, sem comprometer os princípios de sustentabilidade e desenvolvimento responsável.

Embora a maior parte da produção mundial de lítio esteja concentrada na Austrália, China e América do Sul, a Europa possui reservas significativas que podem reduzir a sua dependência externa. Portugal destaca-se como um dos países com as maiores reservas de lítio na UE, com depósitos identificados principalmente no norte do país, nas regiões de Montalegre, Boticas e Barroso. Além de Portugal, países como Espanha, Alemanha, Áustria e República Checa também possuem reservas promissoras. Para mitigar a dependência das importações e fortalecer a cadeia de valor do lítio, a UE tem incentivado a exploração sustentável desses depósitos, bem como o desenvolvimento de infraestruturas de processamento e fabricação de baterias no território europeu

1.4.5 EXPLORAÇÃO HISTÓRICA

A Mina do Barroso situa-se na área de concessão homónima, no Campo de Aplitopegmatítico do Barroso Alvão, nas freguesias de Dornelas e Covas do Barroso, concelho de Boticas, junto à povoação de Covas do Barroso.

A região onde se insere o Projeto do Barroso possui um longo e significativo historial de atividade mineira, com registos que remontam a períodos anteriores à ocupação romana. As comunidades locais exploravam já os recursos minerais disponíveis, nomeadamente ouro, estanho e tungsténio, aproveitando aluviões e afloramentos metalíferos existentes nas encostas e vales da região do Barroso (LNEG, 2010).

Durante a época romana, a zona de Trás-os-Montes integrou um importante distrito mineiro associado à extração de ouro e estanho, metais de grande valor para o Império Romano. Vestígios de antigas galerias e escórias mineiras, bem como referências toponímicas, testemunham esta atividade milenar, especialmente nas áreas de Covas do Barroso, Dornelas e Lousas (DGEG, 2015; LNEG, 2019).

O período de maior desenvolvimento da mineração moderna na região ocorreu entre as décadas de 1920 e 1950, impulsionado pela elevada procura de metais estratégicos durante e após as duas Guerras Mundiais. Nessa altura, foram constituídas centenas de pequenas concessões mineiras, sobretudo para estanho e tungsténio, agrupadas nos então denominados coutos mineiros de Bessa, Covas do Barroso, Vila Grande (Dornelas) e Lousas (Direção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, 1948). Estas explorações eram, em grande parte, subterrâneas e de pequena escala, operando de forma semi-artesanal sobre rochas graníticas alteradas e zonas de filonetes pegmatíticos.

Entre 1950 e 2001, a atividade mineira na região sofreu várias transformações:

- Declínio da mineração tradicional: Após o pico de produção, muitas pequenas minas começaram a encerrar devido à queda dos preços internacionais e à dificuldade de modernizar operações artesanais, deixando vestígios como galerias e escórias (DGEG, 1998).
- Prospeção sistemática e estudos geológicos: Nas décadas de 1960 e 1970, entidades estatais e privadas, incluindo o LNEG e a DGEG, realizaram levantamentos geofísicos, análises mineralógicas e mapeamento detalhado, preparando a base para futuras explorações (LNEG, 1995).
- Exploração de metais estratégicos: Entre 1970 e 1990, surgiram projetos experimentais de tungsténio, volfrâmio e estanho, mas em escala reduzida e sem produção comercial significativa.
- Identificação de pegmatitos de lítio: Nos anos 1990 e início de 2000, começaram a ser reconhecidos depósitos de espodumena e outros minerais de lítio, hoje alvo do Projeto do Barroso (Savannah Resources, 2025).
- Encerramento gradual de pequenas minas artesanais: Mudanças legislativas, económicas e o esgotamento parcial de alguns recursos provocaram o fechamento progressivo das explorações históricas, cujos vestígios permanecem como referência geológica e histórica.

Em 2001, o Estado Português atribuiu à Saibrais – Areias e Caulinos, S.A os direitos de prospeção e pesquisa de depósitos minerais de feldspato, quartzo, Lítio, Estanho, Tungsténio, Nióbio e Tântalo. No âmbito deste contrato, a Saibrais – Areias e Caulinos, S.A realizou estudos conducentes à identificação da estrutura dos filões de aplitopegmatitos portadores de feldspato, com recurso a cartografia geológica, sondagens (destrutivas e carotadas), análises químicas e ensaios industriais de aptidão.

Estes estudos confirmaram a existência de reservas de mineralização e a enorme potencialidade dos feldspatos. Acresce que associados aos feldspatos destes aplitopegmatitos foi verificada a ocorrência de minerais de Lítio, como a petalite e a espodumena.

Em 2003, perante os promissores resultados obtidos nos trabalhos de prospeção e pesquisa, a Saibrais Areias e Caulinos, S.A. deu início ao processo de obtenção da concessão de exploração de depósitos minerais de feldspato, tendo cumprido o procedimento de avaliação de impacte ambiental.

Em 2006, foi assinado o contrato de concessão entre a empresa Saibrais – Areias e Caulinos, S.A. e o Estado Português para a Mina do Barroso, para uma área de concessão de aproximadamente 120 ha, formalizado nos termos dos Decretos-Lei de 1990, refletindo o quadro legal em vigor à época.

Em 2010, os direitos do Contrato de Concessão da Mina do Barroso foram transmitidos pela Saibrais – Areias e Caulinos, S.A. para a Imerys Ceramics Portugal, S.A., tendo-se procedido à atualização do Plano de Lavra da Mina do Barroso com o objetivo de obter a atribuição dos direitos de exploração para os diversos corpos mineralizados identificados e caracterizados no âmbito dos trabalhos de prospeção e pesquisa entretanto desenvolvidos. Este Plano de Lavra aprovado pela DGEG, ainda em 2010, deu origem à alteração ao Contrato de Concessão, concluído em 2016 tendo sido ampliada a área de concessão para cerca de 542 ha e considerado o lítio como substância concessível, de acordo com o estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 54/2015, assegurando a conformidade com os requisitos legais, ambientais e técnicos atuais aplicáveis à exploração de recursos minerais em Portugal.

O procedimento de AIA realizado em 2003 incidiu sobre uma concessão semelhante à atual, mas com um número superior de cortas de menor dimensão unitária. Por facilidade de apresentação e de intervenção no terreno, a mina foi dividida em três núcleos com diversas cortas de exploração por núcleo. A Tabela 1.1 apresenta as principais áreas a intervencionar e áreas de cada núcleo relativas à exploração histórica.

Tabela 1.1 – Áreas envolvidas no Projeto sujeito a AIA em 2003.

Ocupação	Núcleo I	Núcleo II	Núcleo III	Total
Área de escavação [m^2]	77 073	17 738	53 752	148 563
Escombreiras definitivas [m^2]	37 585	13 020	0	50 605
Instalações de apoio [m^2]	1 292	1 666	1 973	4 931
Área afeta aos trabalhos* [m^2]	136 849	39 204	65 923	241 976

Algumas das cortas anteriormente alvo de exploração (Projeto de 2003), de acordo com o recurso mineral identificado, não justificam a exploração no âmbito deste Projeto por falta de dimensão. É o caso das cortas do Núcleo III do projeto anterior. Por outro lado, a corta do Pinheiro que agora se preconiza explorar não estava identificada no projeto anterior. Por fim, as cortas do Grandão, Reservatório e NOA, que já se preconizavam

explorar no projeto anterior, aumentam bastante a sua dimensão devido aos trabalhos adicionais de prospeção realizados pela Savannah.

Uma vez que a exploração ao abrigo da atual licença nunca atingiu a exploração prevista em projeto e teve início numa área onde se prevê a exploração no âmbito do projeto de ampliação, não existe dificuldade em harmonizar o estado atual da mina com o plano futuro.

A Savannah, atual detentora da concessão, tem desenvolvido, nos últimos anos, um conjunto de trabalhos de reconhecimento da mineralização. É neste contexto que a Savannah está a desenvolver os diversos estudos, projetos e procedimentos, com o objetivo de expandir a área de intervenção e a instalação de uma unidade de processamento e beneficiação para produção de concentrado de espodumena e matérias-primas secundárias de quartzo e feldspato.

Assim, os trabalhos de exploração a realizar na Mina do Barroso, no futuro, terão como foco principal a exploração de pegmatito litinífero para produção de concentrado de espodumena (para posterior alimentação de estabelecimentos mineralúrgicos de processamento de lítio, em local externo), tendo como matérias-primas secundárias o feldspato e quartzo para alimentar a indústria cerâmica e outras.

O cumprimento do procedimento de pós-avaliação n.º 633 decorrente do procedimento de AIA realizado em 2003 tem vindo a ser levado a cabo pela Savannah, após a obtenção da concessão, desde 2018 e reportados à Direção Geral de Energia e Geologia e à Autoridade de AIA. Desde que a concessão é detida pela Savannah que os trabalhos de exploração têm sido desenvolvidos no Núcleo I, com produção reduzida, e apenas de feldspato para alimentar a Indústria cerâmica, não se encontrando qualquer anexo mineiro instalado no local.

A escala e âmbito deste projeto é substancialmente diferente do anteriormente aprovado. De facto, as áreas envolvidas e as infraestruturas de apoio necessárias implicam uma abrangência diferente dos impactes expectáveis. A monitorização levada a cabo no âmbito da atual licença versou, principalmente, sobre qualidade do ar, ambiente sonoro, vibrações, solos, paisagem, património arqueológico, recursos hídricos subterrâneos e a qualidade das águas (superficiais e subterrâneas).

Conforme foi referido, a reduzida cadência de exploração dificulta o aproveitamento dos dados para o projeto futuro. Os trabalhos de monitorização desenvolvidos, não obstante terem sido realizados com a mina em atividade, não constituem registos fiáveis e extrapoláveis dos impactes previstos para o caso do projeto futuro da mina.

Um bom exemplo desse facto são os registos de vibrações. Em todas as detonações verificadas na mina, foi sempre instalado um sismógrafo no local de monitorização estabelecido na DIA (2005). Em todas elas o sismógrafo não registou quaisquer valores devido à insignificante magnitude das vibrações. Em todo o caso, aproveitaram-se essas detonações para registar valores de velocidade de pico, através da instalação de outros sismógrafos em locais próximos da detonação, de forma a constituir uma base de dados que pudesse ser útil para este estudo.

Em suma, embora os programas de monitorização em cumprimento tenham sido revistos e analisados, optou-se por não contemplar a sua introdução nos atuais trabalhos de avaliação uma vez que estes não são comparáveis, quer nas quantidades exploradas, como nos anexos (atualmente inexistentes), nos acessos e no faseamento de exploração propostos. A exceção refere-se ao fator ambiental vibrações, onde se utilizaram os valores de duas campanhas (2018 e 2019), para validar a expressão de propagação das ondas vibratórias do maciço em apreço.

1.4.6 OBJETIVOS DO PROJETO

No início de 2017 a SAVANNAH (à data Slipstream Resources Portugal Unipessoal, Lda.) obteve a transmissão da posição contratual, para a Mina do Barroso, da qual a Imerys Ceramics Portugal, S.A. era detentora. Nos últimos anos, foram desenvolvidos um conjunto de trabalhos de reconhecimento da mineralização. Pelo facto de até muito recentemente os trabalhos de prospeção e pesquisa e de exploração se concentrarem na produção destinada à cerâmica e não de concentrado de espodumena para o setor de baterias, há ainda a necessidade de atualizar o Plano de Lavra, com ampliação de cortas, bem como instalar uma unidade industrial de beneficiação da mineralização, com o objetivo de produção de concentrado de espodumena e matérias-primas secundárias de feldspato e quartzo.

É neste contexto que a SAVANNAH está a trabalhar para expandir a área de intervenção, incluindo a instalação de uma unidade de processamento e beneficiação, para produzir um concentrado de espodumena e outras matérias-primas secundárias contendo quartzo e feldspato.

Na Figura 1.1 está representado os principais marcos associados ao Projeto da Mina do Barroso.

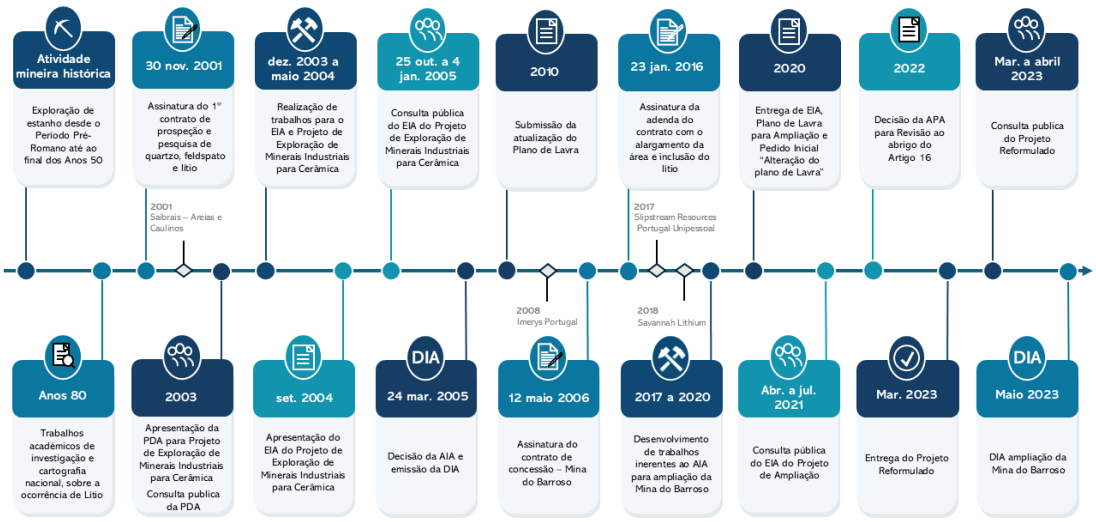


Figura 1.1 – Principais marcos históricos do Projeto.

A área de concessão de exploração de mineralização de quartzo, feldspato e lítio concessionada pelo Estado Português (C – 100) à Savannah, possui atualmente cerca 542 ha, encontrando-se em atividade a Mina do Barroso (para o aproveitamento do aplitopegmatito). A Mina do Barroso contempla atualmente nove cortas de exploração com um total de cerca de 27,5 ha, com um total de área a intervencionar de cerca de 88,36 ha, sendo que essas nove cortas seriam exploradas em sequência e a área activa não ultrapassaria a área total de operação definida na DIA de 2005.

Nos termos da Lei n.º 54/2015, de 22 de junho, e do Decreto-Lei n.º 30/2021, de 7 de maio, na sua atual redação, que regulamenta a Lei n.º 54/2015 no que respeita aos depósitos minerais, e para melhor aproveitamento dos depósitos minerais identificados no decurso dos trabalhos de prospeção e pesquisa, que têm sido continuados no âmbito da concessão de exploração C – 100, o objetivo do proponente é proceder à:

- Ampliação da área de concessão de exploração de depósitos minerais de quartzo, feldspato e lítio para cerca de 593 ha.

- Ampliação da área de exploração para cerca de 73,147 ha, embora reduzindo o número de cortas, passando estas a ser quatro, e ampliação da área a intervencionar pela Mina que é de cerca de 428 ha.

- Instalação de Estabelecimento Industrial de tratamento da mineralização, para concentrado de espodumena.

- Realização de acessos à Mina do Barroso, especificamente, ao Estabelecimento Industrial.

- Realização de acesso entre a área Este e Oeste da Mina.

- Armazenamento dos resíduos produzidos, onde serão acomodados os estéreis (resultantes de uma pré-seleção do material escavado) e os rejeitados (resultantes do processo de beneficiação e tratamento na lavaria). Essas zonas de armazenamento são classificadas como Instalações de Resíduos.

- Deposição de estéreis em todas as cavidades de exploração (cortas).

- Realização de instalações de apoio: os escritórios, as instalações sociais e armazéns, e as oficinas.

Em suma, a mineralização a explorar nesta Mina destina-se à produção de concentrado de espodumena, e serão ainda valorizados, como matérias-primas secundárias o feldspato e o quartzo. De acordo com os trabalhos de prospeção e pesquisa realizados pela Savannah verifica-se que esta área possui importantes recursos minerais, principalmente de espodumena e minerais industriais como o feldspato e o quartzo.

Os trabalhos de exploração a realizar na Mina do Barroso, no futuro, terão como foco principal a exploração de pegmatito litinífero para produção de um concentrado de espodumena para posterior alimentação de estabelecimentos mineralúrgicos de

processamento de lítio, tendo como matérias-primas secundárias o feldspato e quartzo para alimentar a indústria cerâmica e outras.

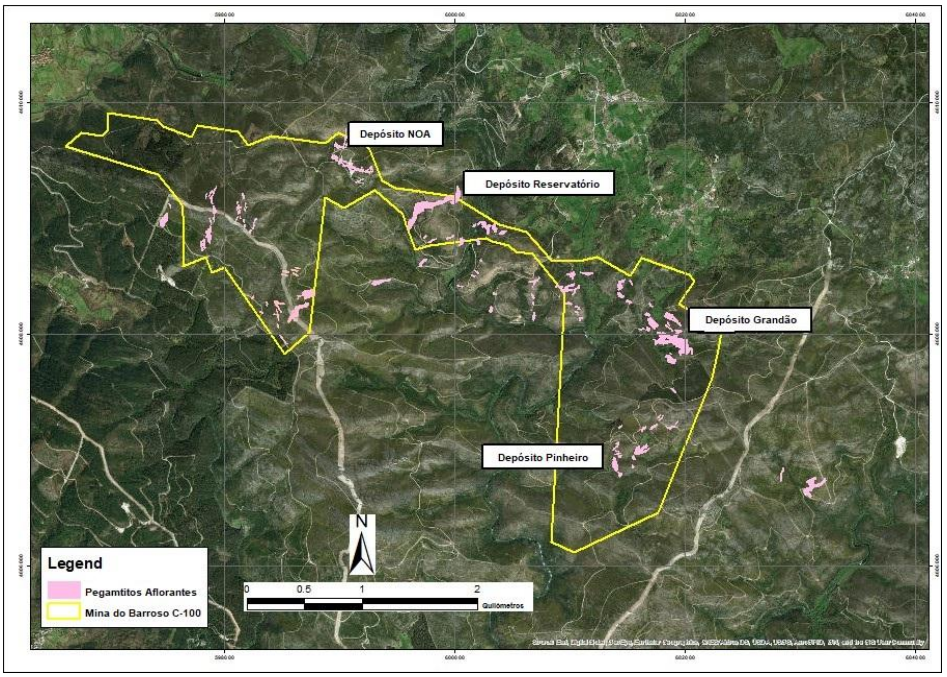


Figura 1.2 – Área de Concessão e localização dos depósitos e afloramentos e afloramentos do pegmatito.

Nos termos do ponto 2 do artigo 1º do Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 11/2023, de 10 de fevereiro, os projetos que pela sua natureza, dimensão ou localização, sejam considerados suscetíveis de provocar incidências significativas no Ambiente, têm que ser sujeitos a procedimento prévio de AIA, como formalidade essencial para a sua aprovação e, ou licenciamento, por parte dos ministérios da tutela e do ambiente.

De acordo com os diplomas acima mencionados, a tipologia de projeto que o proponente pretende implementar enquadra-se no âmbito do número 18 do Anexo I, o que determina a obrigatoriedade de sujeitar a procedimento de AIA as minas a céu aberto com área superior a 25 ha, no caso, a sua ampliação.

Ainda de acordo com os diplomas supramencionados, encontram-se igualmente sujeitos a procedimento de AIA a instalação da lavaria, já que no âmbito da alínea e) do número 2 do Anexo II se especifica que estão sujeitos a procedimento de AIA as instalações industriais de superfície para tratamento de mineralização, com capacidade superior a 200 000 t/ano. Pretende-se que a lavaria da Mina do Barroso tenha uma capacidade de processamento de mineralização para concentrado de espodumena de 1,5 milhões por ano.

1.4.7 ACESSOS E LOCALIZAÇÃO DO PROJETO

A Mina do Barroso situa-se no Norte de Portugal, cerca de 400 km a Norte de Lisboa e aproximadamente 140 km a Nordeste do Porto. A área de intervenção da Mina do Barroso localiza-se nas freguesias de Dornelas e de Covas do Barroso (maioritariamente em Covas do Barroso), concelho de Boticas, distrito de Vila Real, entre a Serra do Barroso e o rio Tâmega, a cerca de 12 km para Sudoeste de Boticas (Figura 1.2 e Figura 1.3). A localização da Concessão de Exploração na Carta Militar de Portugal (escala 1:25 000) é apresentada no Anexo I.1.

O acesso à área é feito através de uma rede moderna de autoestradas, a partir do Porto, Braga e Lisboa até cerca de 16 km de distância da Mina. O percurso seguinte inclui a Estrada Nacional EN 103, para percorrer a distância entre a A24 e Boticas. A partir de Boticas, o acesso é feito a partir da EN 311, que liga Venda Nova a Boticas.

Na EN 311, 1 km a Oeste após Vilar, a cerca de 8 km a Oeste de Boticas, toma-se a M519 para Sul, até Covas do Barroso, onde o acesso passa a ser a estrada M1047 (para Este) durante cerca de 3700 m (cerca de 1 km antes de Alijó) onde existe o entroncamento para Sul diretamente para a mina (cerca de 10,5 km).

Atualmente decorre o projeto da Variante a Boticas e ligação à A24, promovido pela Savannah Lithium, Lda., cujo objetivo é melhorar a acessibilidade e segurança rodoviária na região, facilitando o transporte de materiais e equipamentos necessários para a operação do Projeto do Barroso. Esta é uma infraestrutura estratégica que visa não apenas melhorar a mobilidade na região, mas também apoiar o desenvolvimento sustentável do Projeto do Barroso, alinhando-se com os objetivos de transição energética e de fornecimento seguro de matérias-primas críticas para a indústria europeia.

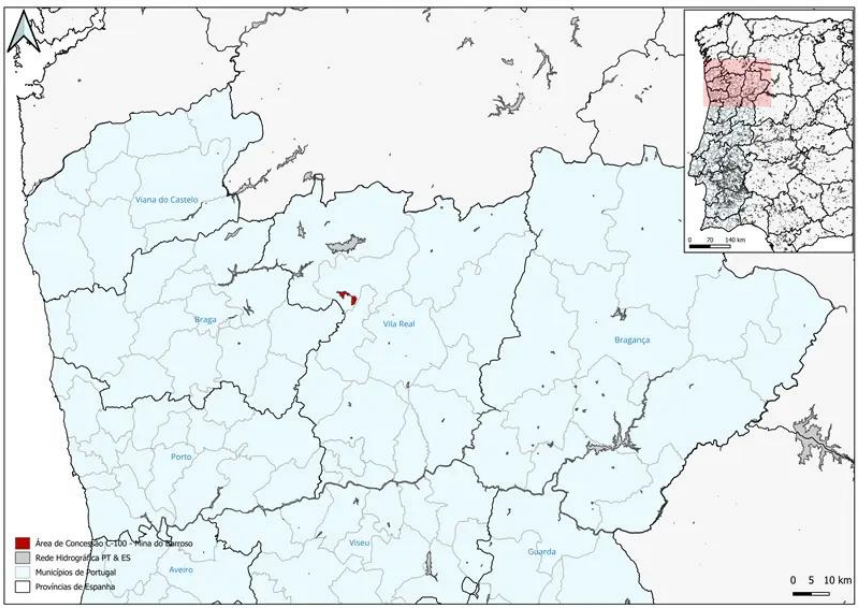


Figura 1.3 – Mapa de localização da Mina do Barroso.

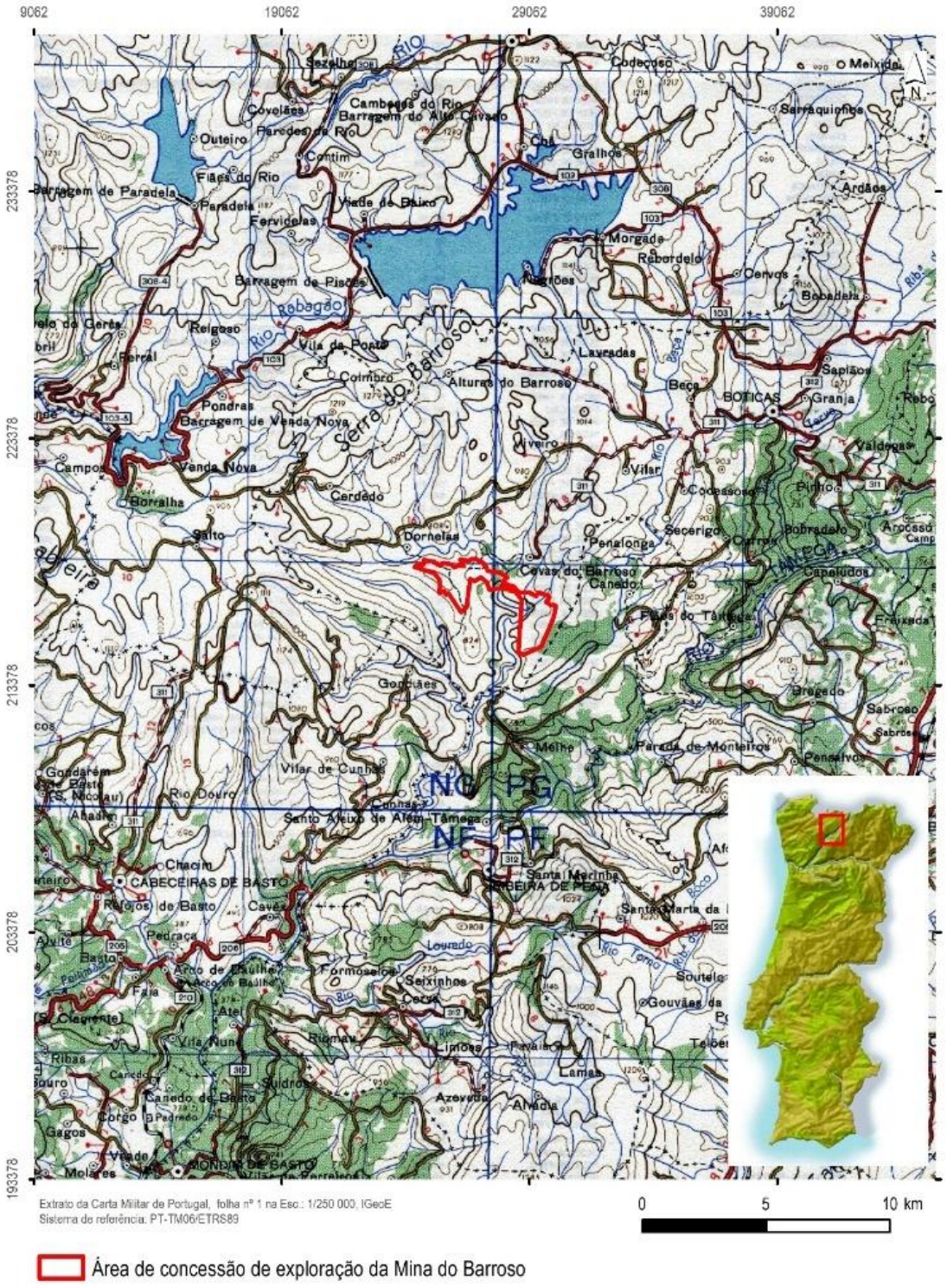


Figura 1.4 – Localização da Área de Concessão de Exploração do Projeto Mina do Barroso.

Tabela 1.2 – Vértices da Área de Concessão de Exploração do Projeto Mina do Barroso.

Mina do Barroso (C-100)					
PT-TM06/ETRS89					
Vértice	X (m)	Y(m)	**Vértice**	X (m)	Y(m)
1	26672,509	218167,357	**32**	28118,515	217302,191
2	26797,206	218258,059	**33**	28063,515	217337,49
3	27034,507	218139,764	**34**	27582,219	217276,281
4	27064,207	218114,365	**35**	27449,021	217243,579
5	27165,611	217836,169	**36**	27367,917	217461,875
6	27280,612	217776,171	**37**	27343,116	217544,774
7	27428,011	217756,575	**38**	27106,413	217757,368
8	27790,11	217694,582	**39**	26830,018	217605,564
9	28186,612	217445,191	**40**	26666,318	217695,06
10	28419,511	217381,196	**41**	26520,841	216536,365
11	28628,415	217139,102	**42**	26301,146	216348,162
12	28876,813	217129,707	**43**	25793,196	217101,567
13	29032,111	217162,01	**44**	25684,937	217057,846
14	29068,811	217140,511	**45**	25628,835	217194,844
15	29318,613	216993,816	**46**	25429,538	217113,941
16	29420,909	217145,617	**47**	25429,538	217113,941
17	29833,609	216998,726	**48**	25425,227	217647,337
18	29872,81	216944,527	**49**	25338,346	217763,144
19	29737,014	216748,126	**50**	25224,024	217915,53
20	29928,515	216635,631	**51**	24423,125	218168,413
21	30013,114	216643,632	**52**	24559,022	218281,615
22	30013,114	216643,632	**53**	24735,621	218249,619
23	30081,219	216348,236	**54**	24787,619	218303,619
24	30021,125	216103,936	**55**	24795,717	218449,218
25	29539,451	214947,935	**56**	25218,515	218385,727
26	28809,162	214612,023	**57**	25268,616	218324,628
27	28606,662	214704,118	**58**	25514,616	218232,634
28	28749,019	216845,006	**59**	25569,613	218333,034
29	28466,715	217190,499	**60**	25923,112	218279,941
30	28324,215	217211,096	**61**	26011,614	218161,644
31	28263,915	217269,794	**62**	26204,311	218237,647

As povoações mais próximas das áreas de exploração apresentam-se na Tabela 1.3. A disposição dos elementos do projeto (cortas, escombreiras, lavaria, instalação de rejeitados e restantes infraestruturas) é apresentada no Anexo I.2.

Tabela 1.3 – Distâncias entre as cortas e as localidades.

Localidades	**Cortas**			
	Pinheiro (m)	**Grandão (m)**	**NOA (m)**	**Reservatório (m)**
Dornelas	5170	4720	1820	2550
Covas do Barroso	2290	1160	1310	740

Localidades	Cortas			
	Pinheiro (m)	Grandão (m)	NOA (m)	Reservatório (m)
Romainho	1670	490	2260	1480
Alijó	2370	1610	4370	3590
Lousas	4560	4420	2260	2630
Gondiães	3980	4710	4450	4310
Campos	4730	3560	4070	3520
Seirós	3230	3700	6730	6060

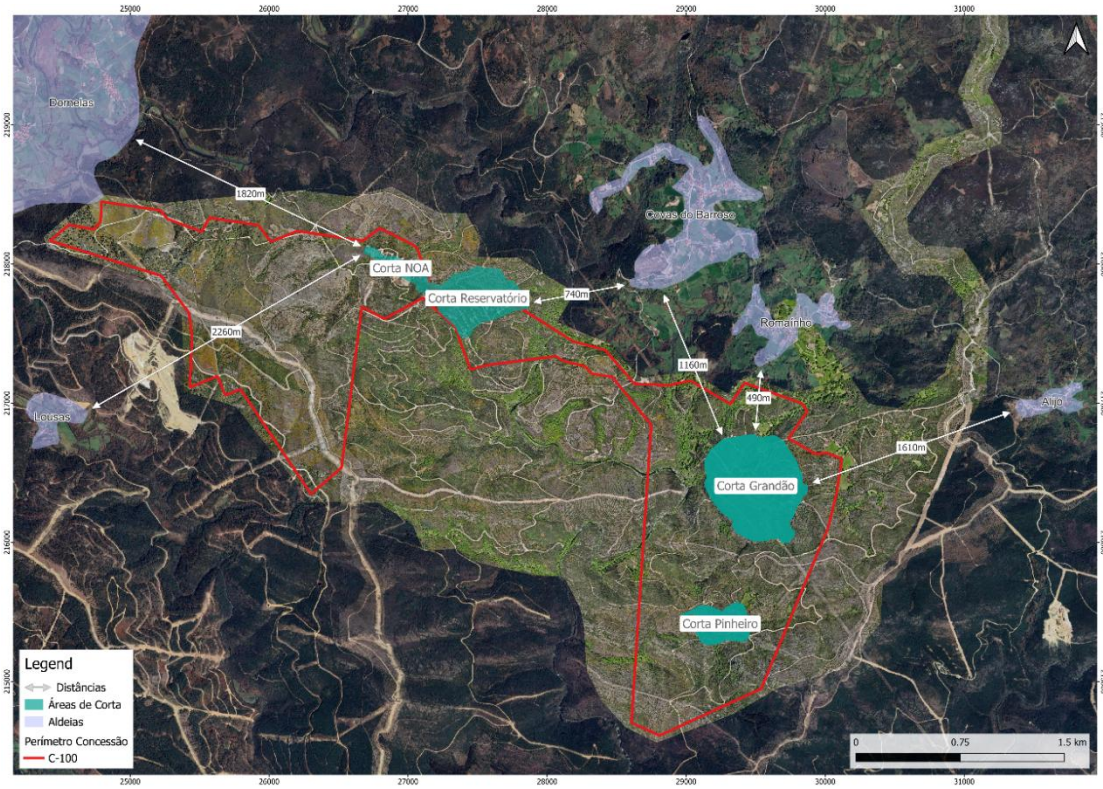


Figura 1.5 – Área de Concessão, localização das cortas e distâncias mais próximas às localidades envolventes.

1.5 SÍNTESE DOS PRINCIPAIS INDICADORES DO PROJETO

Apresentam-se, de seguida, os principais indicadores quantitativos do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, abrangendo a implantação, o programa de exploração, o processamento mineral, a gestão de resíduos, as infraestruturas de apoio e a avaliação económica. Os valores apresentados sintetizam a informação desenvolvida nos capítulos técnicos do presente Plano de Lavra.

O programa de exploração constitui a base do planeamento da alimentação da lavaria e da produção de concentrado de espodumena e matérias-primas secundárias, cujos principais indicadores se apresentam de seguida.

Tabela 1.4 - Principais indicadores de implantação e do programa de exploração.

Indicador	Valor
Área total de intervenção	Cerca de 428 ha
Área conjunta das quatro cortas	73,147 ha
Cortas abrangidas	Pinheiro, Grandão, NOA e Reservatório
Reservas Mineiras Prováveis	17,0 Mt a 0,98% de Li_2O
Inventário do programa de exploração	17,436 Mt
Recursos Medidos e Indicados incluídos no inventário	16,960 Mt
Recursos Inferidos incluídos no inventário	0,476 Mt (2,73%)
Extração total das cortas	97,015 Mt
Estéril extraído das cortas	79,579 Mt
Razão estéril / minério do programa	4,56 t/t
Período de extração das cortas	Ano -1 ao Ano 15
Máximo anual de extração	9,393 Mt no Ano 6

O inventário de exploração distingue-se das Reservas Prováveis; a parcela de Recursos Inferidos não constitui reserva. Os Recursos Minerais são inclusivos das reservas, pelo que não são somados a estas.

A atividade de exploração e processamento encontra-se associada à produção de resíduos mineiros e à necessidade de infraestruturas de apoio, cujas principais características e capacidades se sintetizam na tabela seguinte.

Tabela 1.5 - Principais indicadores de processamento mineral e produtos.

Indicador	Valor
Capacidade nominal de tratamento	1,5 Mt secas/ano
Horas anuais de operação de referência	7 446 h/ano
Período de processamento	Ano 1 ao Ano 15
Alimentação acumulada da lavaria	17,436 Mt secas
Teor médio ponderado da alimentação	0,971% de Li_2O
Concentrado produzido e vendido ao longo da vida da mina	2,117 Mt secas
Teor de referência do concentrado SC5,5	5,5% de Li_2O
Recuperação global ponderada de Li_2O	68,77%
Máximo anual de concentrado	211,719 kt no Ano 7
Matérias-primas secundárias destinadas à comercialização	5,721 Mt secas

A capacidade nominal não corresponde à produção efetiva de todos os anos. A afetação física das matérias-primas secundárias e o calendário de vendas têm bases temporais distintas, mantendo o mesmo total ao longo da vida da mina.

Tabela 1.6 - Principais indicadores de gestão de resíduos e infraestruturas de apoio.

Indicador	Valor
Deposição acumulada de rejeitados na TSF	9,598 Mt secas
Volume equivalente de deposição na TSF	6,665 Mm³ a 1,44 t/m³
Capacidade nominal da TSF	10,388 Mt secas
Área final da TSF	Aproximadamente 34 ha
Estéril remanescente nas escombreiras NOA / Pinheiro	5,185 / 10,697 Mt
Reservatórios de gestão de águas	6 reservatórios
Alimentação de água à lavaria no cenário médio	142,8 m³/h, incluindo água recuperada
Capacidade nominal da ETARI / ETAR doméstica	160 m³/h / 24 m³/dia
Transformador da subestação 60/10 kV	25/30 MVA (ONAN/ONAF)
Referência de dimensionamento da ocupação simultânea	200 pessoas, incluindo margem de flexibilidade

2 CARACTERIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS MINERAIS

2.1 INTRODUÇÃO

A geologia de Portugal é dominada pelas formações do Maciço Ibérico, sendo composta por dois grupos principais, as unidades Paleozoicas, constituídas por quatro terrenos acrecionários principais, e a cobertura pós-Varisca. Em termos económicos, as formações Paleozoicas são muito importantes e, os quatro principais terrenos geotectónicos (zonas) que as constituem são geneticamente diversificados e estão caracterizados por diferentes estilos de mineralização:

A Zona Sul Portuguesa localiza-se no extremo sul do país e forma uma fina cunha de rochas de idades compreendidas entre o Devónico superior e Carbónico. As litologias são compostas por complexos vulcano-sedimentares que cobrem rochas filíticas e quartzíticas que, por sua vez, são sobrepostas por rochas sedimentares constituídas por sequências de flysch distintas. Economicamente, esta zona é significativa, pois hospeda a Faixa Piritosa Ibérica, que contém a maioria dos depósitos de metais de base da Europa.

A Zona de Ossa Morena, no sul de Portugal, é uma zona estreita constituída por sequências sedimentares marinhas, rochas intrusivas alcalinas e rochas vulcânicas máficas a félsicas. No seu bordo sul ocorre um complexo ofiolítico, que marca a sutura entre esta e a Zona Sul Portuguesa. As rochas têm uma ampla gama de idades, variando entre o Pré-Câmbrico e o Devónico superior, e são estruturalmente complexas, compostas por rochas metamórficas de alta pressão, que variam entre as fácies eclogítica e dos xistos azuis. Os principais estilos de mineralização económica reconhecidos na Zona de Ossa Morena são os depósitos de zinco-chumbo hospedados em carbonatos, ouro orogénico, sulfuretos maciços e minérios de ferro.

A Zona Centro Ibérica é a maior zona em Portugal e cobre grande parte do centro e norte do país. As litologias dominantes são sedimentos metamórficos do complexo Xisto-grauváquico do Câmbrico. Existem também extensas áreas com intrusões graníticas alcalinas a calco-alcalinas, com campos de pegmatitos associados nas margens. A mineralização presente nesta na zona é principalmente de tungstênio, antimónio-ouro, ouro, estanho, urânio e pegmatitos ricos em lítio.

A Zona de Galiza - Trás-os-Montes (ZGTM) ocorre na parte norte de Portugal e tem sido interpretada como constituída por um empilhamento de mantos alóctones, muito metamorfizado. Existe uma zona distinta de maciços máficos a ultramáficos na região de Bragança, e vários tipos de granito encontram-se a intruir as sequências silúricas de xisto. Vários campos pegmatíticos encontram-se também nos xistos próximos às margens dos granitos. Os estilos predominantes de mineralização económica presente nesta zona são as mineralizações de estanho-tungsténio associada a granitos, que foram exploradas durante meados do século XX, o ouro associado a intrusões, extraído principalmente durante a época romana e minérios de ferro. Mais recentemente, os pegmatitos foram extraídos para a indústria cerâmica devido às altas concentrações de lítio.

Portugal tem também uma forte herança de exploração de pedreiras para fins industriais e ornamentais, sendo o calcário, granito, areias, sal-gema e argilas os principais produtos. No centro e norte de Portugal, os numerosos pegmatitos foram extraídos para o quartzo e o feldspato para as indústrias de cerâmica e vidro. Os pegmatitos portugueses são valorizados pelo teor de lítio, sendo a espodumena, petalite e lepidolite as principais espécies minerais de lítio. A presença de lítio é favorável, pois reduz as temperaturas de fusão e reduz os custos de energia. Atualmente, em Portugal, não existe extração de material pegmatítico para a produção de compostos químicos de lítio utilizados como matéria-prima de baterias.

2.2 GEOLOGIA REGIONAL

A Mina do Barroso encontra-se inserida na Zona Galiza – Trás os-Montes (ZGTM), Figura 2.1, que é uma sequência complexa de litologias alóctones a para-autóctones, e que foi formada durante a Orogenia Varisca. O terreno é composto por uma sequência alóctone superior e inferior, com litologias muito variadas, representando grandes distâncias de deslocamento. As rochas foram interpretadas como tendo uma afinidade continental e sendo representativas de eventos metamórficos de alta pressão. A unidade intermediária é constituída por sequências ofiolíticas e por uma espessa melange serpentinítica, sendo esta por sua vez interpretada como representando uma das suturas do evento Varisco.



Figura 2.1 – Geologia Regional e Principais Áreas de Prospetivas de Lítio - adaptado de J. F. Ramos (2000a) – LNEG.

As unidades basais da ZGTM são o domínio xistoso para-autóctone formado por metassedimentos do Câmbrico superior ao Devónico e por rochas meta-vulcânicas calco-alcalinas e alcalinas do Câmbrico superior ao Ordovícico superior. Estas foram

colocadas tectonicamente sobre as rochas da Zona Centro Ibérica por um cavalgamento basal não enraizado.

Os granitos da ZGTM são tardi- a sin-tectónicos e foram instalados durante os últimos estágios do evento de deformação Varisca D3. Na área, foram reconhecidos dois tipos principais de granito; granitos de duas micas e granitos biotíticos. Os granitos de duas micas são geralmente considerados granitos do tipo S sin-colisionais, que são sin-tectónicos com os últimos estágios do evento D3. Os granitos são leucocráticos, com moscovite ocorrendo geralmente em percentagens mais elevadas que a biotite. Acredita-se que estes sejam originários de magmas peraluminosos húmidos do nível meso-crustal e provavelmente estão associados com o evento metamórfico.

Considera-se que os granitos biotíticos se tenham formado em níveis crustais profundos e, como tal, são interpretados como sendo originários de um magma parental menos rico em água. A ocorrência e a distribuição geral destes granitos estão associadas a zonas de cisalhamento da fracturação Tardi-Varisca. Julga-se que a idade de formação destes ocorre durante todas as fases do evento colisional Varisco. Estes granitos podem ser associados aos tonalitos e qualquer moscovite que ocorra é de origem secundária.

A geologia da região do Barroso-Alvão faz parte da sequência para-autóctone da Zona Galiza – Trás os-Montes. É caracterizada por rochas metassedimentares de baixo a médio grau, de idade Silúrica e mostram vários graus de deformação. As rochas metamórficas da região são geralmente micaxistos com quartzitos ocasionais e lentes de xisto e grauvaques.

Estas rochas metamórficas foram instruídas por diversos batólitos graníticos extensos, que formam colinas arredondadas na região. Os granitos identificados consistem em granito biotítico sin-tectónico, formado durante o estágio de colisão da Orogenia Varisca, granito de duas micas, que também é sin-tectónico e granito biotítico pós colisional. O granito que aflora a norte da concessão C-100 é um granito de duas micas que intruiu o xisto circundante durante as fases posteriores do evento de deformação D3.

Numerosos campos de diques e soleiras pegmatíticos encontram-se associados aos granitos. Os corpos pegmatíticos são geralmente irregulares e mostram sinais de deformação, consistentes com os observados nas fases finais do evento D3. Os pegmatitos mostram frequentemente sinais de bandado rítmico, constituído por camadas alternadas de pegmatito granular e de aplito de textura fina. Esta natureza distinta dos pegmatitos significa que estes corpos são mais corretamente denominados por aplitopegmatito. Os aplitopegmatitos têm várias orientações, quer sejam diques a mergulhar abruptamente, como corpos em soleiras horizontais ou com mergulhos suaves. A Figura 2.2 mostra um corte transversal da geologia da região e a localização dos pegmatitos da Mina do Barroso.

Os aplitopegmatitos são quase exclusivamente encontrados a aflorar na rocha encaixante xistenta, embora exista alguma correlação espacial com os batólitos graníticos. Os aplitopegmatitos mostram uma relação variável com o xisto circundante, relativamente à deformação. Em alguns locais os aplitopegmatitos são concordantes

com a xistosidade e noutros são totalmente discordantes. Contudo, todos os pegmatitos exibem alguma forma de deformação.

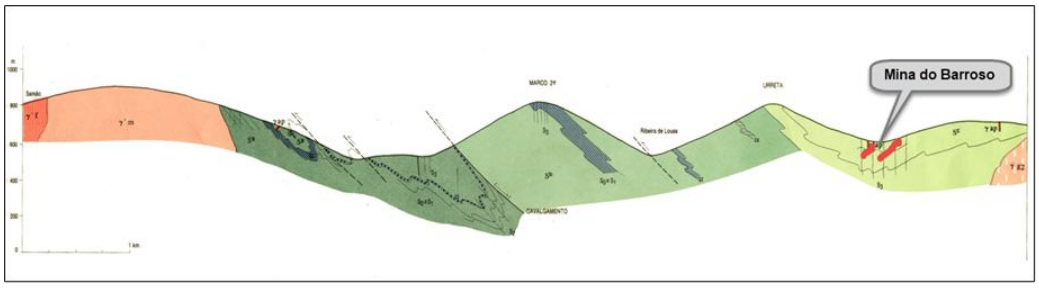


Figura 2.2 – Enquadramento da Geologia Regional Geológico - Corte Transversal (adaptado da Carta Geológica de Portugal 1:50 000).

As rochas metassedimentares da área do Barroso podem ser divididas em dois domínios estruturais principais, o Domínio Estrutural de Três Minas (DETM) e o Domínio Estrutural de Carrazedo (DEC). O DEC é caracterizado por uma xistosidade e foliação sub-horizontal que é concordante com o segundo evento de deformação na Orogenia Varisca (D2). O DETM sofreu deformações durante o evento D3 e a xistosidade é concordante com o primeiro evento de deformação (D1).

Na região de Barroso existem três principais corpos graníticos que afloram na área. O primeiro pertence ao Granito de Vila Pouca de Aguiar e é classificado como um granito biotítico, sendo este encontrado principalmente na área leste da região. No granito foram reconhecidas três fases distintas que, a partir das relações observadas no campo, sugerem que foram instaladas durante as diferentes fases de deformação.

O Granito do Barroso é composto por várias fases de instalação e é classificado como um granito biotítico. Pensa-se que os granitos foram intruídos durante as últimas fases de colisão, durante a deformação D3. O Granito de Cabeceira de Bastos é também reconhecido na região e encontra-se ao longo de uma faixa de orientação NW-SE.

No campo aplitopegmatítico de Covas Figura 2.3 foram reconhecidos dois tipos principais de pegmatitos, o primeiro caracterizado por aplitopegmatitos não zonados, geralmente de textura mais fina e caulinizados, que frequentemente tem mineralização de cassiterite associada. Estes aplitopegmatitos são geralmente representados por cicatrizes no terreno resultantes das operações de extração de estanho anteriores, principalmente ocorridas nos anos 1940 e 50.

O segundo tipo de pegmatito são os aplitopegmatitos leucocratas pouco ou nada meteorizados que ocorrem como aglomerados distintos no interior da rocha encaixante de xisto deformado. A espessura destes é variável, desde poucos metros a dezenas de metros e ocorrendo ao longo de um comprimento que varia de 100 a 500 m. Geralmente os corpos de aplitopegmatitos são irregulares ao longo de uma tendência geral, mostram alguma forma de deformação e são frequentemente observados a estreitar ou alargar, contendo encraves da rocha encaixante de xisto. Acredita-se que os fluidos

pegmatíticos tenham sido instalados durante o evento D3 e, como tal, podem ser vistos como tendo sido intruídos ao longo de planos estruturais no interior do xisto.

A estrutura interna dos aplitopegmatitos é difícil de ser estudada à escala local e mostra uma variabilidade acentuada entre afloramentos. A orientação do bandado foi medida em detalhes em toda a área da Concessão C-100 e mostrou que provavelmente ocorreram algumas dobras dos corpos de aplitopegmatitos. Embora não haja informações firmes sobre a origem do bandado e a relação deste com a instalação dos aplitopegmatitos, infere-se que tenha relação com a orientação do corpo original. Foram observados cristais de feldspato em crista de galo no contacto com a rocha encaixante, que mostram uma orientação sub-paralela ao contacto.

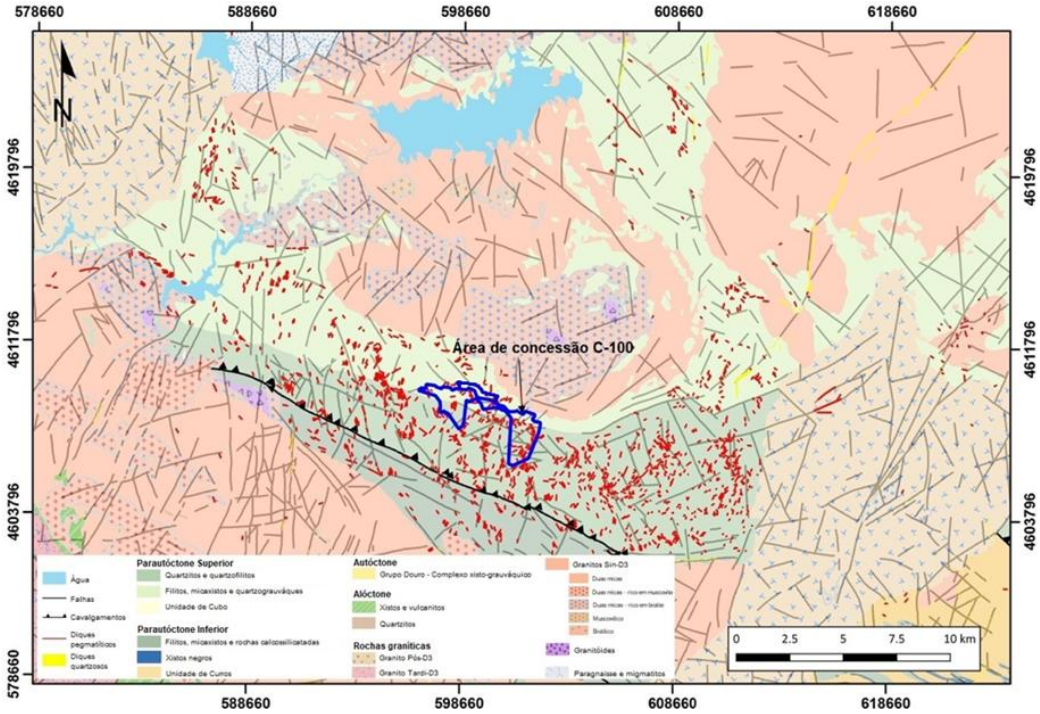


Figura 2.3 – Mapa geológico regional da região da Mina do Barroso mostrando o traçado do limite da concessão C-100.

Os aplitopegmatitos do Barroso são considerados do tipo LCT, e não é evidente, nos corpos aflorantes, qualquer zoneamento mineralógico distinto. No entanto, os dois tipos de pegmatitos observados na área do Barroso podem ser diferenciados pela sua mineralogia. Os pegmatitos ricos em estanho não foram investigados em detalhe, mas estudos realizados pela Universidade do Porto mostraram que estes também contêm mineralização de lítio, sendo a petalite a principal espécie mineral de lítio. Os aplitopegmatitos bandados apresentam maior variação de tamanho e orientação e são compostos principalmente por quartzo, feldspato, espodumena e mica. Outros minerais secundários menores podem estar presentes devido à meteorização dos aplitopegmatitos. Os pegmatitos que contêm são os mais significativos economicamente.

2.3 GEOLOGIA ESTRUTURAL

Para completar a cartografia estrutural e interpretação da área de Concessão C-100, a Savannah contratou a equipa especializada de geólogos estruturais da empresa consultora Consulting de Geología y Minería, S.L.

Os dados estruturais recolhidos resultaram de quatro campanhas de cartografia de detalhe, totalizando 20 dias de trabalho de campo. A cartografia incluiu todas as principais áreas de afloramento de pegmatitos localizados na Concessão, tendo o trabalho sido focado nos principais depósitos do Grandão, NOA, Reservatório e Pinheiro. Este estudo permitiu a alteração da cartografia existente e a criação de um modelo estrutural 3D que foi validado e ajustado com as informações recolhidas no registo geológico das sondagens de prospeção realizadas.

A recolha de dados estruturais para cada um dos corpos pegmatíticos na Concessão C-100 consistiu nas medições de:

- Mergulho e Direção de mergulho das principais estruturas que caracterizam os pegmatitos, como o Bandado Aplitopegmatítico (BA) dobrado nos corpos pegmatíticos.
- A clivagem e a orientação de mergulho dos eixos de dobras, lineações que caracterizam as dobras nos pegmatitos e nos xistos.
- As características das falhas que afetam os corpos pegmatíticos.
- A orientação dos filões de quartzo que cortam os corpos pegmatíticos.

Estas medições foram registadas em mapas e representadas em diagramas estereográficos para interpretação. A Figura 2.4 mostra o mapa dos pontos estruturais medidos no Grandão e na Figura 2.5 podemos ver o diagrama estereográfico associado para os vários elementos estruturais do Grandão.

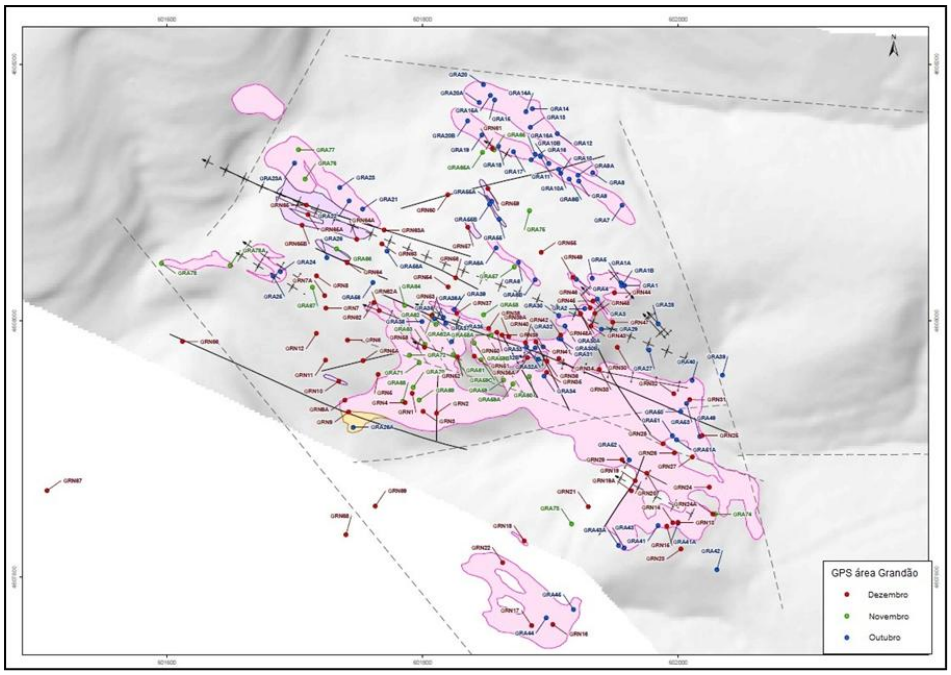
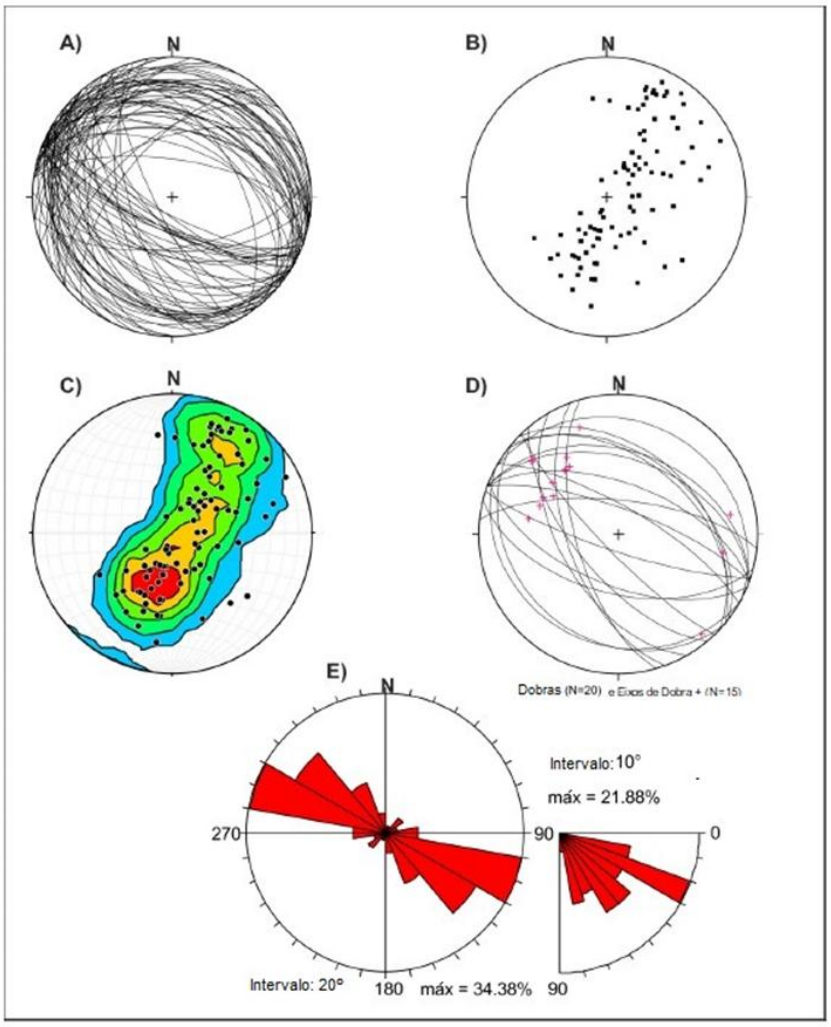


Figura 2.4 – Mapa com a localização dos afloramentos de pegmatitos e das medições estruturais realizadas no Grandão.

A interpretação estrutural, juntamente com as medições estruturais recolhidas a partir da cartografia, forneceu uma sólida compreensão da geometria e disposição dos corpos pegmatíticos, mostrando que a instalação do pegmatito seguiu estruturas específicas numa zona de cisalhamento sinistra dúctil NW-SE.

Utilizando os vários componentes das avaliações estruturais das áreas, incluindo o Grandão, Romainho, Campo Futebol, Piagro Negro, Reservatório e NOA, foi proposto um modelo estrutural regional, que inclui dois corredores estruturais: “Pinheiro-Carvalha da Bácora-Alto dos Cortiços” e “NOA-Grandão”, que formam uma zona de cisalhamento D3 dúctil-frágil sinistra de orientação NW-SE e que evolui para um modelo Riedel-P de deformação frágil Figura 2.6.



(N=96). A) Planos BA. B) Polos dos planos BA. C) Diagrama de contorno dos polos BA utilizando o método de Kamb. D) Planos de dobras e eixos de dobras. E) Diagrama de rosa das orientações do BA (20º intervalos).

Figura 2.5 – Diagrama estereográfico (projeção de área igual) do Bandado Aplitopegmatítico (BA) no Grandão.

O corredor "NOA-Grandão" é caracterizado pela ausência de pegmatitos de estanho com pegmatitos que sofreram dobramento e fracturação durante um período prolongado, ao longo de várias fases de deformação num regime transpressivo.

O corredor "Pinheiro-Carvalha da Bácora - Alto dos Cortiços" é caracterizado pela existência de pegmatitos caulinizados com estanho (Sn) e pequenos corpos pegmatitos não dobrados, que aparecem principalmente como diques após fraturas T (de tensão), X e R2 (cisalhamento dextro) em deformação mais frágil. A clivagem nessas áreas é sempre consistente com uma tendência NW-SE (N120º).

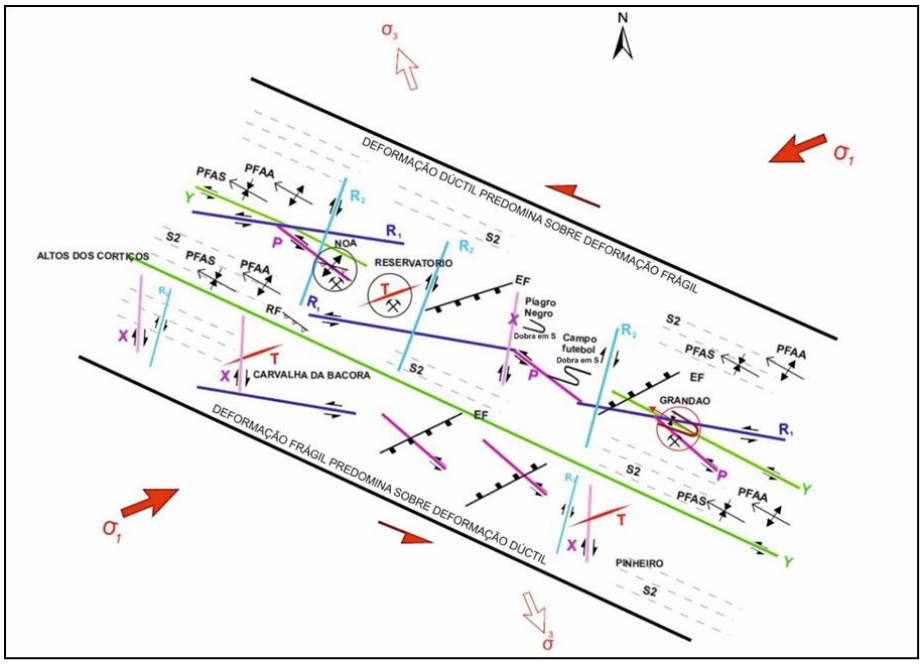


Figura 2.6 – Modelo idealizado para explicar as diferentes estruturas formadas em relação à "Zona de cisalhamento NOA-Grandão" e ao "Cisalhamento Pinheiro-Carvalha da Bácora-Alto dos Cortiços".

As características estruturais deste segundo corredor são consistentes com o modelo estrutural local, onde os pegmatitos de lítio são instalados e deformados como resultado de uma zona de cisalhamento dúctil NW-SE. No entanto, este novo corredor estrutural provavelmente reflete um nível estrutural mais frágil, promovendo a instalação de pegmatitos de Sn mais superficiais relativamente aos pegmatitos de lítio mais profundos (espodumena) do corredor estrutural "NOA-Grandão".

2.4 TIPO DE DEPÓSITOS

A área da Concessão C-100 contém nove áreas de depósito ou Núcleos reconhecidos, quatro das quais (Grandão, NOA, Reservatório e Pinheiro) foram estudadas pela Savannah com algum nível de detalhe que permite definir recursos minerais e fazer parte do seu plano de exploração.

2.4.1 GRANDÃO

A geologia do Grandão é dominada por um pegmatito sub-horizonal que pode ser visto a aflorar no topo de uma colina proeminente na área Figura 2.7. O aplitopegmatito bandado constitui geralmente um grande corpo tabular que tem até 40 m de largura e mergulha gentilmente cerca de 35° a 40° para WSW. A oeste da colina principal, o aplitopegmatito foi seguido pelas sondagens realizadas, tendo uma continuidade de 450 m, desde o topo da colina ao longo da sua direção de mergulho, não se encontrando ainda delimitado em profundidade. Em extensão, o aplitopegmatito pode ser seguido

ao longo de 550 m e há alguns indícios que apontam para uma relação com o afloramento de pegmatitos do Romainho, a 300 m de distância para noroeste.

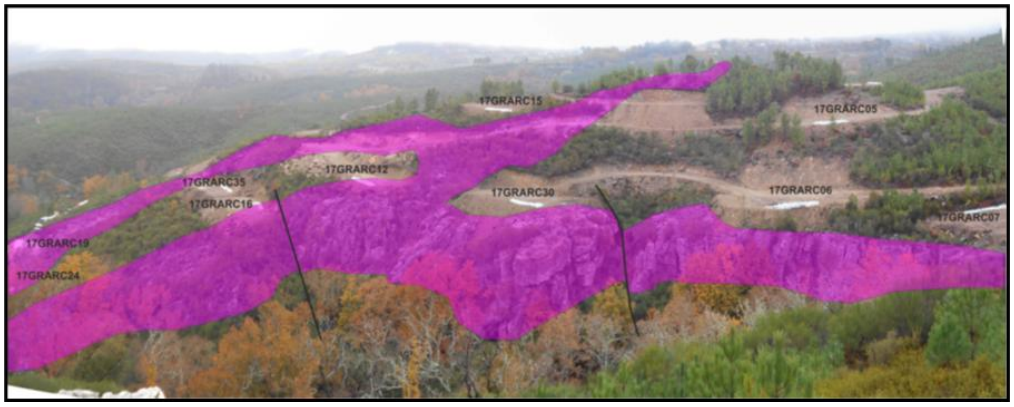


Figura 2.7 – Afloramentos do Pegmatito do Grandão.

Abaixo do pegmatito principal, foi definido um segundo pegmatito sub-vertical. A direção deste pegmatito é aproximadamente norte-sul e mergulha 60˚-70˚ para oeste. Atualmente, o pegmatito foi definido ao longo de 300 m de extensão e ainda não se encontra delimitado em profundidade. A orientação dos pegmatitos é mostrada na secção transversal na Figura 2.8.

Os pegmatitos de lítio do Grandão apresentam um padrão estrutural de tendência NW-SE e ocupam uma área de 33 hectares de afloramento Figura 2.9. O bandado aplitopegmatítico (BAP) no Grandão varia de baixo ângulo e quase sub-horizontal a elevado ângulo, quase sub-vertical. O BAP está visivelmente dobrado, variando da escala métrica à escala cartográfica e produz dobras assimétricas, mergulhando principalmente para NW. Na escala cartográfica, os pegmatitos de lítio do Grandão formam um sinclinório assimétrico varisco NW-SE composto por anticlinais e sinclinais, como pode ser observado também na interpretação de todas as seções atualizadas do registo geológico das sondagens.

Os magmas aplitopegmatíticos, precursores dos corpos pegmatitos, provavelmente foram instalados ao longo das zonas de cisalhamento P, Y e X. Quando os corpos pegmatitos estão segundo as zonas de cisalhamento P, estes mostram uma cinemática sinistrogira e quando os corpos pegmatitos estão segundo as zonas de cisalhamento X, são afetados por cisalhamento dextro.

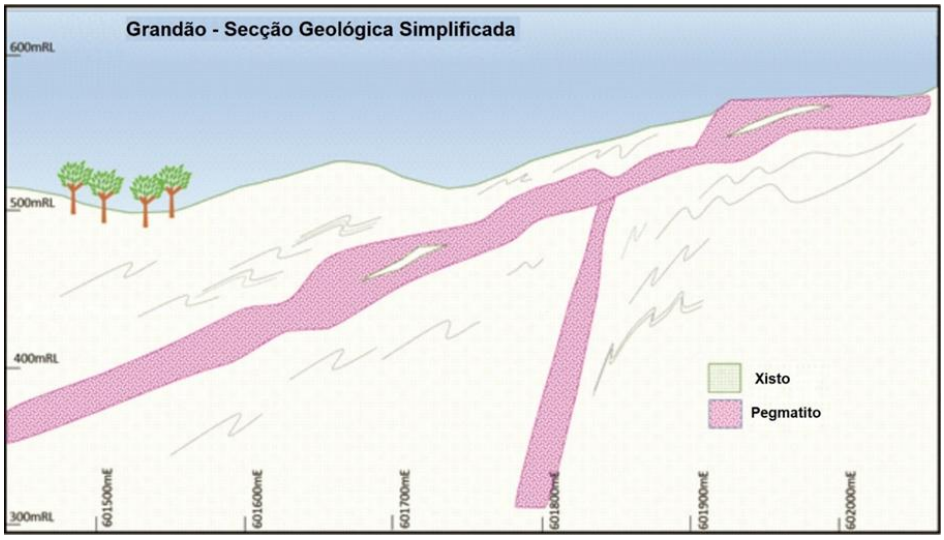


Figura 2.8 – Secção Transversal Geológica Simplificada do Grandão.

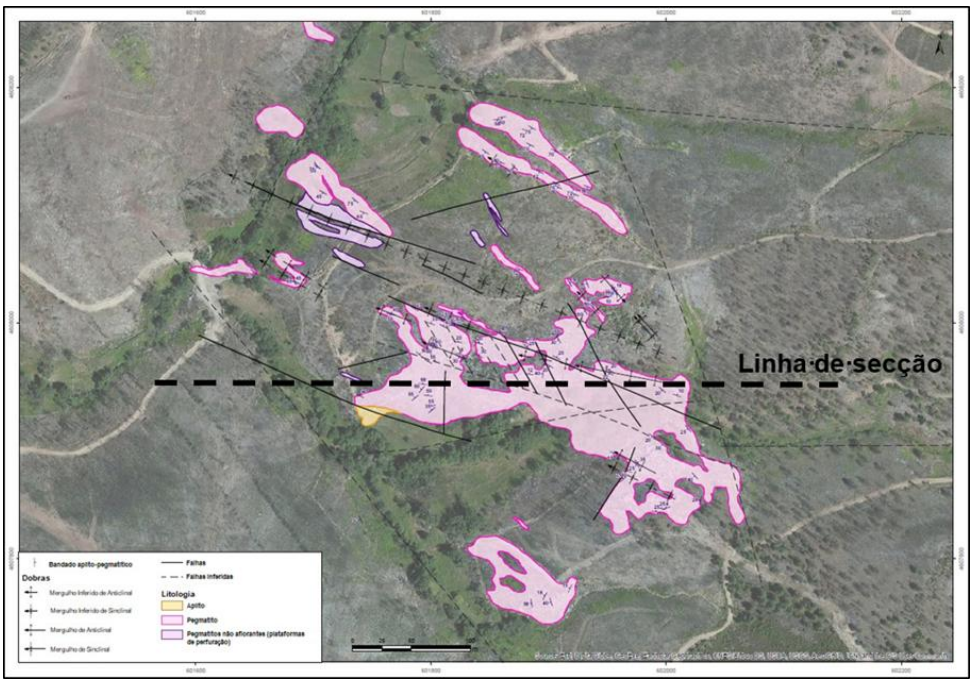


Figura 2.9 – Mapa estrutural dos pegmatitos de lítio do Grandão com base nas observações estruturais do bandado aplitopegmatítico, dobras e falhas.

2.4.2 RESERVATÓRIO

O depósito do Reservatório compreende um único dique tabular de pegmatito, com pequenos sulcos, de direção aproximada NE-SW, que mergulha 25˚ a 40˚ para NW e cuja espessura varia entre 10 m e 30 m. O pegmatito aflora esporadicamente ao longo de um comprimento

aproximado de 500 m e permanece aberto em profundidade. O pegmatito é semelhante aos outros pegmatitos da região, com bandado menos frequente, que em termos gerais se encontra alinhado com o mergulho do pegmatito Figura 2.10.



Figura 2.10 – Afloramento do pegmatito do Reservatório mostrando bandado aplitopegmatítico.

O depósito do Reservatório tem um perfil de meteorização relativamente mais profundo quando comparado com outros depósitos na região, com minerais de argila amplamente presentes até 20 a 30 m abaixo da superfície. A meteorização no Reservatório originou a remoção do lítio da rocha, criando uma zona de empobrecimento no pegmatito próximo da superfície onde não há lítio. A Figura 2.11 mostra a geometria simplificada do pegmatito.

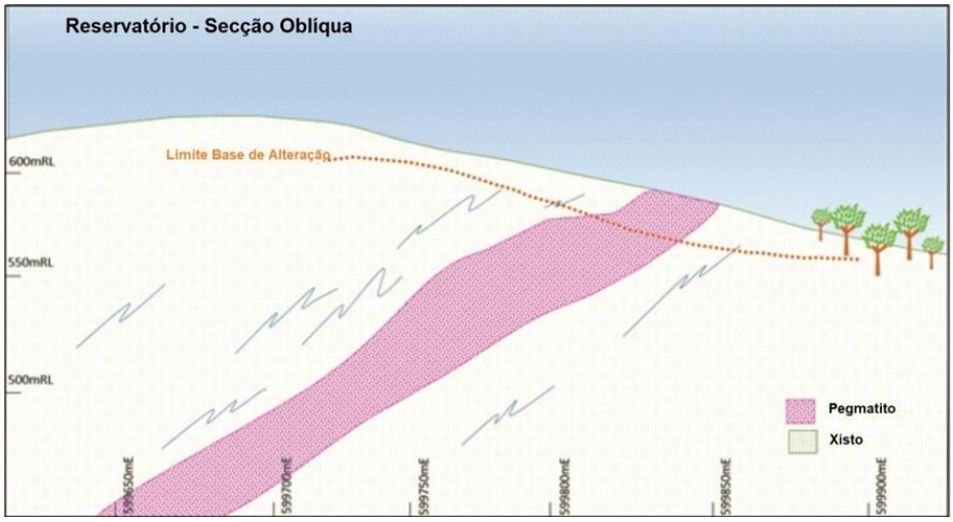


Figura 2.11 – Secção geológica simplificada do Reservatório.

2.4.3 NOA

O depósito do NOA é formado por dois corpos que mergulham 60° a 70° para Nordeste e que têm 5 a 10 m de largura (Figura 2.12). Este é tipicamente um pegmatito de textura mais grossa com grandes cristais de espodumena presentes numa matriz de quartzo e feldspato. Os cristais de espodumena maiores parecem ser originários duma concentração moderadamente maior de lítio no pegmatito em comparação com outros pegmatitos na área.

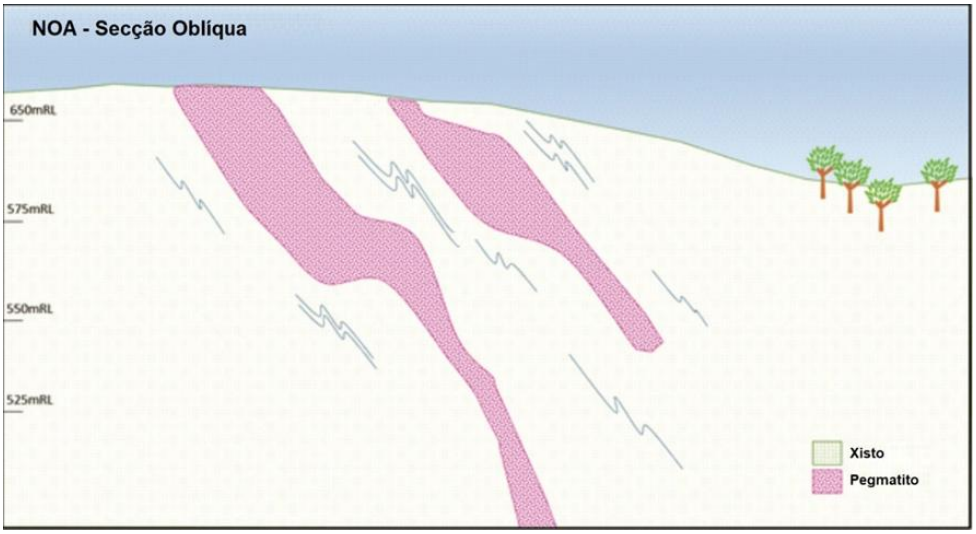


Figura 2.12 – Secção geológica simplificada no NOA.

O pegmatito do NOA está atualmente a ser extraído numa pequena corta Figura 2.13, sendo que este material está a ser usado para a produção local de cerâmica.

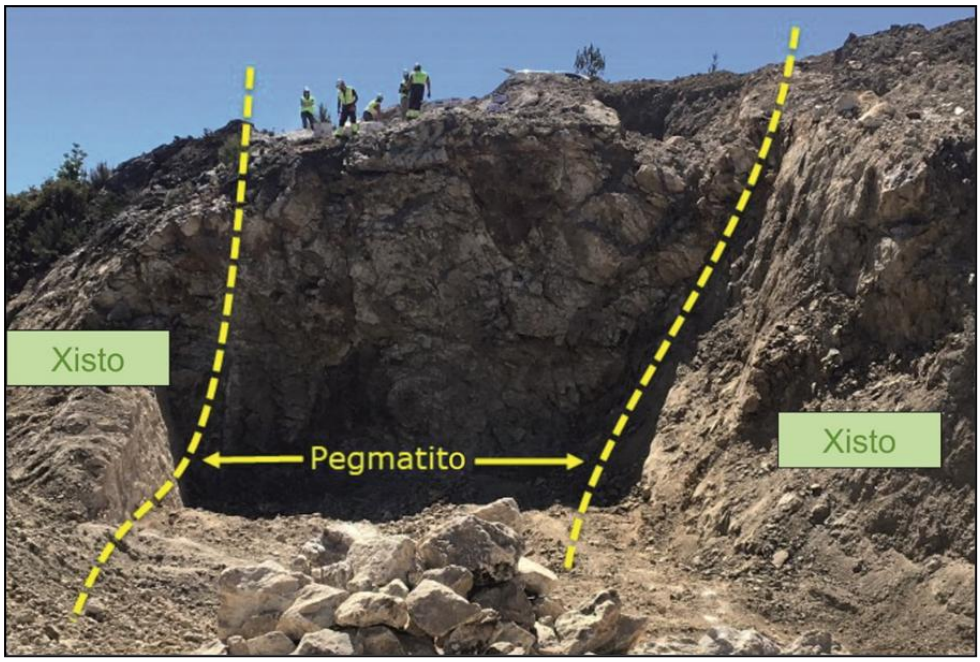


Figura 2.13 – Pegmatito exposto na corta do NOA.

2.4.4 PINHEIRO

O depósito do Pinheiro forma vários diques sub-verticais de 10 a 20 m de espessura e que se distanciam 50 a 100 m entre si. Esta geometria é mostrada na seção transversal da Figura 2.14. Os pegmatitos do Pinheiro apresentam uma direção aproximada de norte-sul e afloram ao longo de uma extensão de 400 m. A Figura 2.15 apresenta um mapa com a localização dos pegmatitos aflorantes. A Savannah definiu, através das sondagens realizadas, três diques, que ainda não se encontram delimitados em profundidade.

Os pegmatitos do Pinheiro são caracterizados por uma textura dominante ligeiramente mais fina e mais aplítica, que foi preferencialmente meteorizada, originando uma zona superficial de empobrecimento de lítio em algumas áreas. Este bandado mais fino de aplitopegmatito é mostrado na Figura 2.16.

Os pegmatitos identificados nas sondagens realizadas na principal área de Pinheiro são conhecidos por terem espodumena como o mineral de lítio dominante. Julga-se que esta mineralogia muda para petalite, como mineral de lítio dominante, à medida que se avança para norte, para áreas onde o pegmatito foi historicamente extraído para estanho.

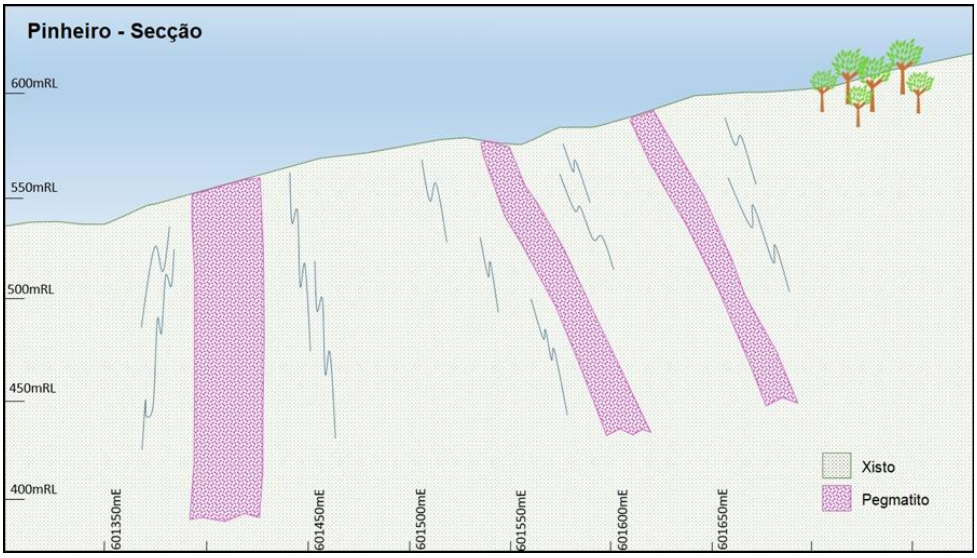


Figura 2.14 – Secção geológica simplificada no Pinheiro.

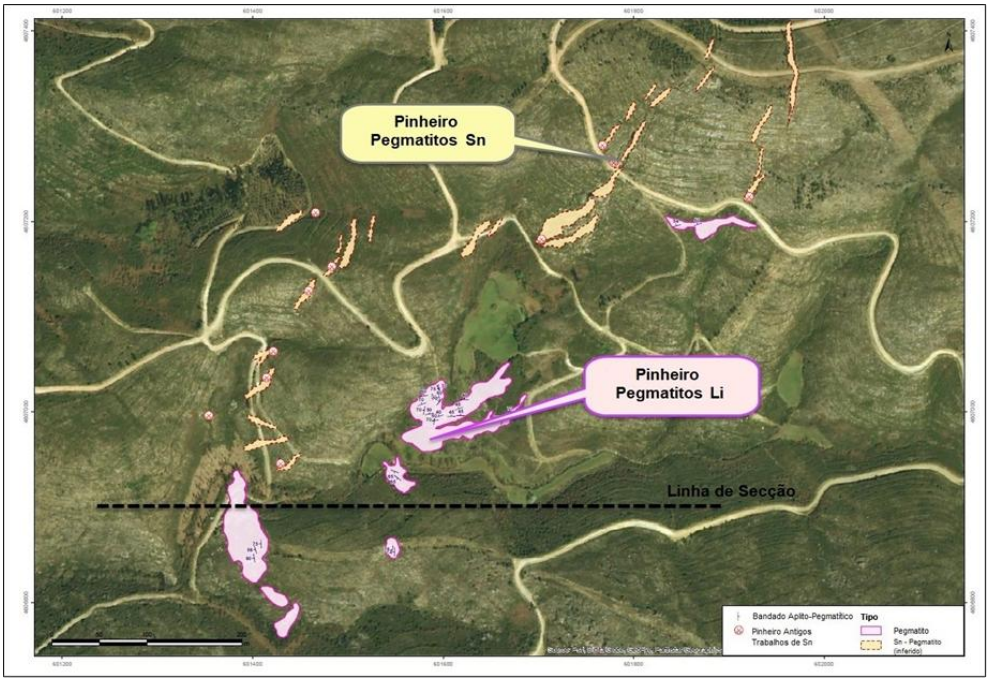


Figura 2.15 – Mapa estrutural do Pinheiro com os pegmatitos de lítio e de estanho.



Figura 2.16 – Afloramento de aplitopegmatito no Pinheiro.

2.5 MINERALIZAÇÃO – DESCRIÇÃO DO TIPO DE MINERALIZAÇÃO

A Universidade do Porto, completou avaliações detalhadas da mineralogia para determinar a composição mineralógica dos pegmatitos do Grandão e do NOA. Os pegmatitos do Grandão e do NOA possuem uma composição mineralógica relativamente simples dominada por quartzo, albite, microclina, espodumena e moscovite e são de composição relativamente constante nas amostras testadas.

Para completar a avaliação mineralógica, foram analisadas várias amostras em lâmina delgada a partir de uma variedade de tipos e formas de materiais. A componente pegmatítica é dominada por megacristais porfiríticos de feldspato potássico com algum grau de alteração usualmente presente. A moscovite é onipresente em todas as amostras, mostrando várias gerações de formação e o quartzo está presente em agregados com juntas suturadas e extinção ondulante.

Nas zonas de aplito, a albite é geralmente a única fase feldspática e o feldspato potássico é escasso.

O Grandão e o NOA mostram espodumena nas unidades aplítica e pegmatítica. No pegmatito, a espodumena surge em cristais euédricos grosseiros em forma de agulhas, que foram achatados. Os cristais são tipicamente brancos leitoso a amarelados pálido, estão dobrados e, em muitos casos, fraturados, com fraturas suturadas normais ao

alongamento do cristal. A espodumena no aplito é anédrica com cristais significativamente menores do que nas zonas de pegmatito. Não foram observadas cassiterite e petalite em nenhuma das amostras testadas.

Foram observadas várias gerações de cristais de espodumena e estes exibem diferentes tamanhos de cristais:

1. Espodumena fina (<1mm), uma fase inicial que precede a primeira formação de albite no aplito Figura 2.17.

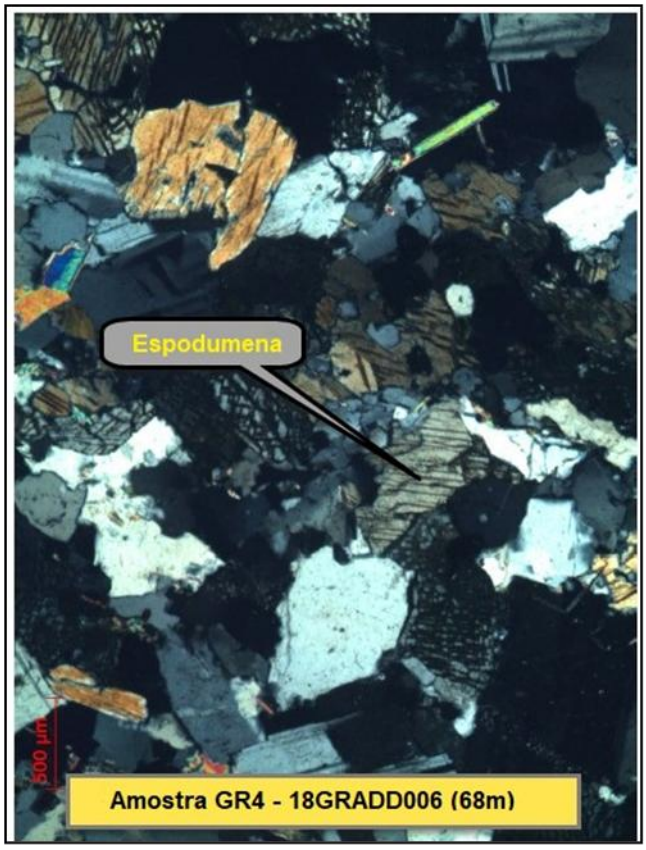


Figura 2.17 – Lâmina Delgada da Amostra GR4 do Grandão.

2. Espodumena grosseira (>1mm, até vários cm) na componente pegmatítica com um hábito euédrico (em contraste com o aplito), e ocorrendo em forma de agulhas isoladas ou como agregados (Figura 2.18).

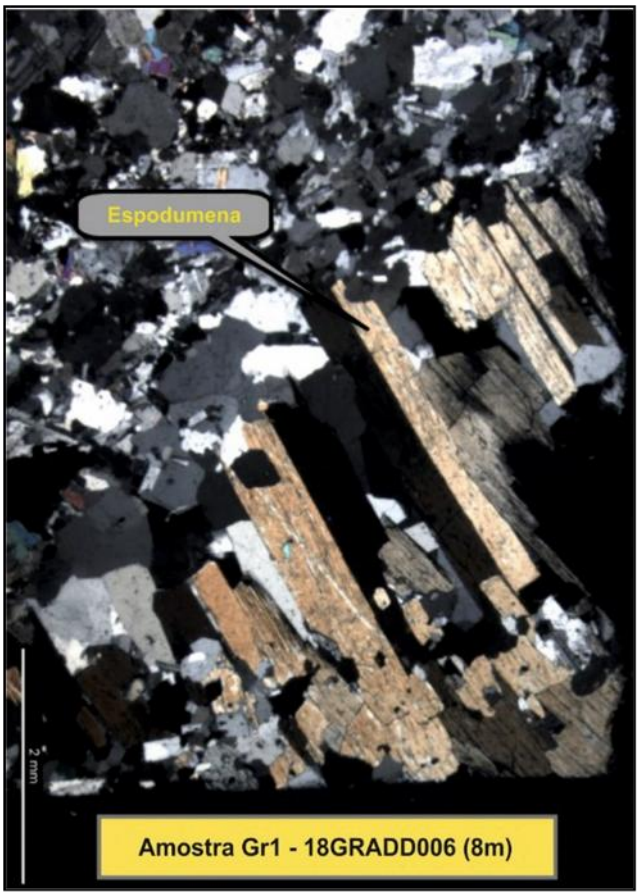


Figura 2.18 – Lâmina Delgada da Amostra GR1 no Pegmatito.

3. Espodumena muito fina (<<1mm) em agregados presentes no cisalhamento dúctil D3 tardio que corta transversalmente o aplitopegmatito contendo espodumena (Figura 2.19).

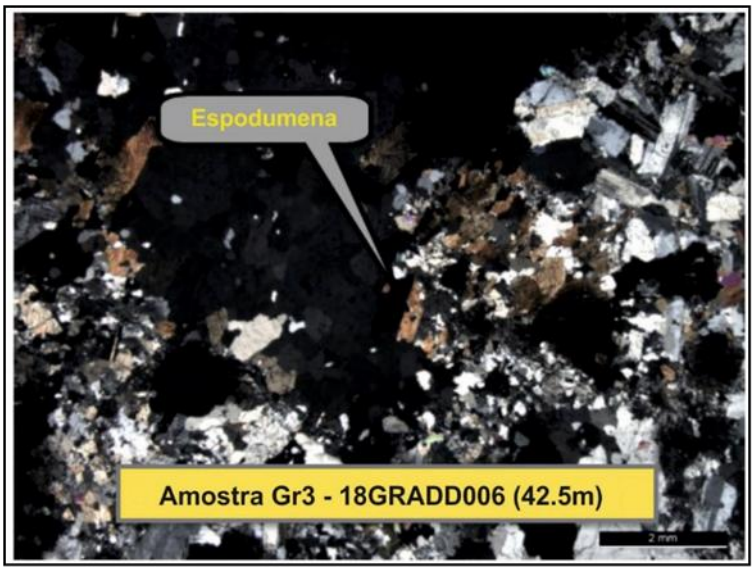


Figura 2.19 – Lâmina Delgada da Amostra GR3 no Aplitopegmatito.

4. A mineralogia do NOA é semelhante à do Grandão e dominada pela espodumena grosseira, a deformação dúctil é mais frequente no NOA e revela um aspeto interessante que implica o enriquecimento de espodumena durante a deformação, com várias fraturas de tensão mostrando cristais bem desenvolvidos (> 1mm) de espodumena + quartzo (Figura 2.20).

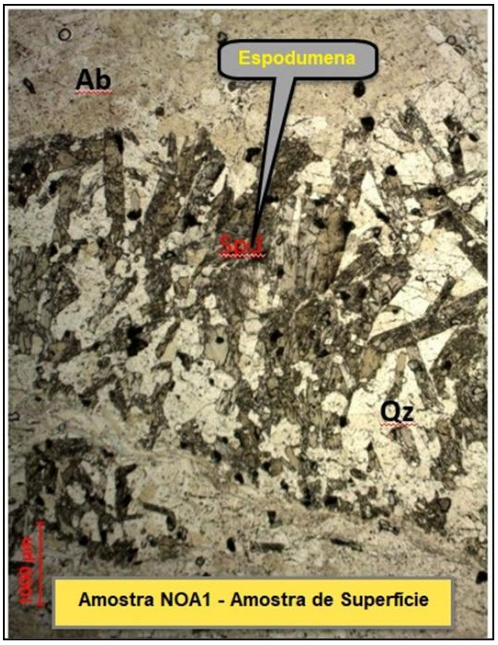


Figura 2.20 – Lâmina Delgada de uma Amostra de Superfície do Pegmatito do NOA.

A fim de validar a avaliação microscópica e quantificar o conteúdo mineral, foi realizada uma análise QEMSCAN em cinco amostras metalúrgicas. O sistema QEMSCAN utiliza microscopia eletrónica de varrimento para determinar a mineralogia. Três das amostras também foram analisadas usando a difração de raios X, a fim de se obter uma validação adicional.

A Tabela 2.1 mostra os resultados da análise realizada. Existe uma variação substancial observada entre os resultados da difração de raios X e do QEMSCAN para a albite e para a microclina em particular, sugerindo que os varrimentos individuais podem não ser totalmente representativos da amostra analisada.

A fórmula mineralógica normativa derivada da análise de fluorescência de raios X (XRF) e da difração de raios X (Figura 2.21) foi aplicada aos dados do ensaio químico das cinco amostras. Os detalhes completos de como essas fórmulas foram derivadas constam no Anexo II.1.

Tabela 2.1 – Mineralogia das Amostras – QEMSCAN, Difração de Raios X e Normativa.

Amostra	Mineralogia por DRX					
	Albite	**Quartzo**	**Microclina**	**Moscovite**	**Espodumena**	**Total**
1	38,2	28,5	14	8	11	99,8
2	32,5	28,3	15,6	10,9	12,1	99,5
3						
4						
5	40	34	4	3	16	97
Amostra	**Mineralogia por DRX**					
	Albite	**Quartzo**	**Microclina**	**Moscovite**	**Espodumena**	**Total**
1	31,8	33,5	8,4	11,3	11,4	96,4
2	30	28,4	7,7	12,7	15,8	94,6
3	23,8	30	6,3	32,4	5,5	98
4	31,6	26,9	11,3	18,9	9,9	98,6

Amostra	Mineralogia por DRX					
	Albite	**Quartzo**	**Microclina**	**Moscovite**	**Espodumena**	**Total**
5	28,4	31,9	10,6	9,1	16,9	96,8

Amostra	Mineralogia por DRX					
	Albite	**Quartzo**	**Microclina**	**Moscovite**	**Espodumena**	**Total**
1	36,5	29,3	9,1	11,6	12	98,5
2	32,7	31,8	9,3	11,9	12,8	98,5
3	35,2	29,4	9,7	12,4	11,7	98,5
4	40,4	26,8	8,5	10,9	11,9	98,5
5	35,8	28	8	10,2	16,4	98,5

A mineralogia calculada também consta na Tabela 2.1. Verifica-se uma boa comparação entre a mineralogia normativa derivada e mineralogia resultante do QEMSCAN e da difração de raios X, estando o valor normativo compreendido entre os dois valores de varrimento para a maioria dos minerais. Os resultados são mostrados graficamente na Figura 2.21.

Tabela 2.2 – Cálculo de Mineralogia Normativa.

Mineral	**Cálculo de Mineralogia Normativa**
Espodumena	Li_2O (modelo) * 12,36
Albite	albite=Na_2O*8,46*1,17
Microclina	microclina=K_2O*3,12
Moscovite	moscovite=1,2043*microclina + 0,73
Quartzo	%Quartzo = 98,5 – (%albite + %microclina + %moscovite + %espodumena)

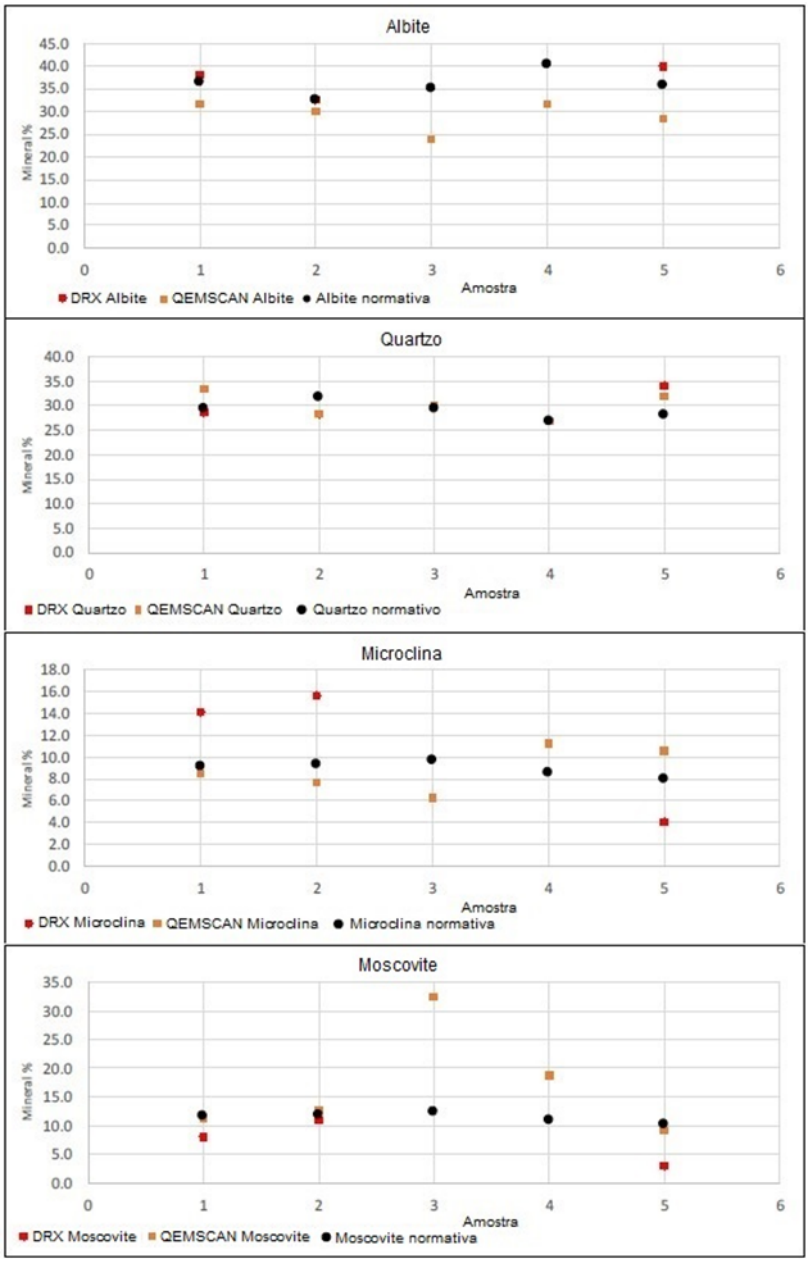


Figura 2.21 – Comparação dos Resultados da Mineralogia do QEMSCAN, da Difração de Raios X e Normativa.

A combinação das avaliações mineralógicas feitas permite que a Savannah tenha um elevado grau de confiança na composição da mineralização dos pegmatitos do projeto da Mina do Barroso.

Utilizando a fórmula específica que a Savannah desenvolveu para determinar a composição mineral a partir da análise de XRF, esta pode ser determinada com precisão sem a necessidade de concluir avaliações laboratoriais dispendiosas e demoradas. Na

Figura 2.22 consta uma amostra típica do pegmatito e a resultante mineralogia derivada da análise de XRF.



Figura 2.22 – Mineralização do pegmatito com composição mineral média.

2.6 PROSPEÇÃO

2.6.1 PROSPEÇÃO HISTÓRICA

O potencial dos pegmatitos do Depósito de Lítio do Barroso para albergar mineralização de lítio foi reconhecido pela primeira vez no início da década de 1980 pelo Professor Fernando Noronha, da Universidade do Porto. Entre 1988 e 2002, o LNEG realizou diversos programas de cartografia e amostragem de reconhecimento, incluindo a perfuração de 111 furos superficiais, totalizando 2 700 m, distribuídos pela área de Barroso, os quais permitiram definir nove zonas de pegmatitos portadores de lítio.

Em novembro de 2001, a empresa francesa de minerais industriais SAIBRAIS celebrou um acordo para a prospeção de feldspato, quartzo, lítio, estanho, tungsténio e tântalo na área do Projeto. Na sequência do sucesso dos trabalhos de exploração, a SAIBRAIS apresentou uma proposta de exploração mineira a céu aberto para a extração de 100 000 toneladas por ano de minério pegmatítico, durante um período de 20 anos. Como parte integrante da proposta mineira, foi elaborado um Estudo de Impacte Ambiental (EIA) em junho de 2004, que abrangeu três Núcleos e cinco jazidas (NOA – corta do Alto da Misarela, Reservatório, Grandão, Piagro Negro e Grandão Noroeste).

Em junho de 2006, a concessão mineira C-100 foi atribuída e registada para os três Núcleos e cinco jazidas, tendo posteriormente sido iniciada uma operação mineira de pequena escala no NOA (Figura 2.23).

Em 2008, a concessão C-100 foi ampliada para 542 ha, passando a incluir mais quatro Núcleos, perfazendo um total de sete. Nessa altura, a SAIBRAIS alterou a sua denominação social para IMERYS CERAMICS Portugal, S.A., e integrou a extração de minerais de lítio no documento de concessão.



Figura 2.23 – Operações mineiras no NOA - escavação no topo do pegmatito do NOA.

Em 2016, a IMERYS CERAMICS indicou a sua intenção de abandonar as atividades mineiras em Portugal, manifestando interesse em receber propostas para a transferência do projeto. A Slipstream Resources realizou uma revisão da área e concluiu que o potencial para o desenvolvimento de um produto de lítio de grau bateria a partir dos pegmatitos identificados era elevado. Esta conclusão foi confirmada por uma auditoria independente efetuada pela Wardell Armstrong, de Londres, aos trabalhos anteriormente realizados, complementada por uma visita de campo em abril de 2017. Os resultados das amostras de rocha recolhidas nos pegmatitos de NOA, Reservatório e Grandão foram positivos, com teores significativos superiores a 1% de Li_2O. A Slipstream Resources constituiu a empresa portuguesa Slipstream Portugal, Lda., tendo a concessão C-100 sido transferida para esta entidade pelo Secretário de Estado da Energia (Dr. Jorge Segura Sanches), conforme publicado no Diário da República, n.º 52 – 2.ª série (Aviso n.º 260/2017, de 14).

Em maio de 2017, a Savannah Resources PLC anunciou a aquisição estratégica da Slipstream Resources Portugal, passando a assegurar o financiamento e a gestão das atividades de exploração e desenvolvimento do Projeto.

Em junho de 2017, a Slipstream Resources Portugal deu início aos trabalhos de prospeção mineral ao abrigo da Concessão C-100, com uma avaliação metalúrgica preliminar de amostras de superfície que confirmou que a espodumena era o principal mineral portador de lítio e que este era passível de ser transformado num concentrado comercializável. Posteriormente, foi implementado um programa de cartografia geológica com o objetivo de identificar locais para a execução de um programa de sondagens por circulação inversa (RC), incidindo inicialmente sobre os pegmatitos de NOA, Reservatório e Grandão.

As sondagens no projeto tiveram início em julho de 2017, recorrendo a um equipamento de circulação inversa (Figura 2.24), com o objetivo de testar as extensões em profundidade dos pegmatitos de Reservatório e Grandão. Numa fase inicial, foram executados 16 furos nas duas áreas, tendo os resultados confirmado a continuidade da mineralização de lítio em profundidade em ambos os pegmatitos, evidenciando o potencial da área do Projeto para albergar um recurso significativo de espodumena. Com base nestes resultados, foi relançado um programa de sondagens mais abrangente, inicialmente focado na avaliação do potencial de NOA e na definição de recursos preliminares de lítio em Grandão e Reservatório. Até ao final de 2017, foram realizados 10 furos (768 m) em NOA, confirmando a presença de mineralização de lítio, e mais 12 furos em Reservatório, numa malha de 80 m × 40 m, perfazendo um total de 19 furos (1 931 m). Em Grandão, foram ainda executados 33 furos adicionais numa malha de 40 m × 40 m, totalizando 41 furos (3 386 m). Os resultados analíticos mais significativos destas sondagens encontram-se apresentados na Tabela 2.3.



Figura 2.24 – Sondagem de circulação inversa no Grandão.

Tabela 2.3 – Resultados analíticos mais significativos da campanha de 2017.

Depósito	Espessura (m)	Li_2O (%)	m	Furo
Reservatório	36	1,15	16	17RESERC007
	26	0,92	61	17RESERC004
	25	1,01	36	17RESERC003
	29	1,07	43	17RESERC010
	35	1,06	56	17RESERC011
	32	1,05	78	17RESERC017
	15	1,19	79	17RESERC016

Depósito		Espessura (m)	Li_2O (%)	m	Furo
Grandão		18	1,27	1	17GRARC005
		17	1,24	16	17GRARC004
		15	1,08	39	17GRARC007
		14	1,18	0	17GRARC006
		109	1,04	0	17GRARC017
	Incluindo	52	1,32		17GRARC017
		71	1,06	88	17GRARC019
	Incluindo	57	1,2		17GRARC019
		31	1,2	0	17GRARC012
		25	1,15	36	17GRARC023
	Incluindo	25	1,49	32	17GRARC020
		14	2,1		17GRARC020
NOA		13	1,19	7	17NOARC003
		11	1,23	46	17NOARC004

No Reservatório, os resultados confirmaram que o pegmatito constitui um corpo tabular único, com mergulho aproximado de 40° para noroeste, tendo sido possível traçá-lo ao longo de pelo menos 440 m segundo a direção (*strike*) dentro da área da concessão mineira. Com o sucesso das sondagens e a confirmação de mineralização significativa de lítio, a Savannah anunciou, em 18 de dezembro de 2017, um recurso preliminar inferido de Li_2O para o Reservatório de 3,2 milhões de toneladas, com um teor médio de 1,0% de Li_2O. A estimativa de recursos foi realizada pela consultora mineira independente Payne Geological Services Pty. Ltd. e encontra-se em total conformidade com o Código JORC australiano, edição de 2012 (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 – Sumário do recurso mineral inferido do depósito do Reservatório (acima do teor de corte 0,5%), dezembro 2017.

Depósito do Reservatório	Toneladas (Mt)	Li_2O (%)	Fe_2O_3 (%)	Li_20 (ton)
	3,2	1,00	1,4	32 000

As sondagens prosseguiram em janeiro de 2018, incidindo na definição da geometria e continuidade do pegmatito de Grandão, bem como na avaliação dos pegmatitos de Grandão Norte, Piagro Negro e Grandão Noroeste. Em Grandão Norte, o acesso aos afloramentos de pegmatito foi limitado, tendo sido executados um total de 5 furos, correspondentes a 254 m de perfuração (Figura 2.25). Os resultados indicaram que o pegmatito apresenta uma espessura reduzida, geralmente inferior a 3 m, podendo eventualmente corresponder às margens do pegmatito de Grandão.

Em Piagro Negro, foram realizados seis furos, totalizando 270 m, tendo os resultados sido pouco satisfatórios, uma vez que, apesar da expressão superficial significativa do pegmatito, as sondagens demonstraram que este apresenta uma espessura máxima de 11 m, sendo, na generalidade, de apenas 2 a 3 m, encontrando-se implantado na

encosta de um relevo que desce em direção ao rio Covas (Figura 2.26). As análises químicas indicaram que a mineralização de lítio é predominantemente inferior a 1,0% de Li_2O, pelo que foram interrompidos trabalhos adicionais de sondagem.

Em Grandão Noroeste, apenas foram executados quatro furos, correspondentes a 145 m de perfuração, devido a dificuldades de acesso, não tendo sido possível proceder a uma avaliação completa do pegmatito.

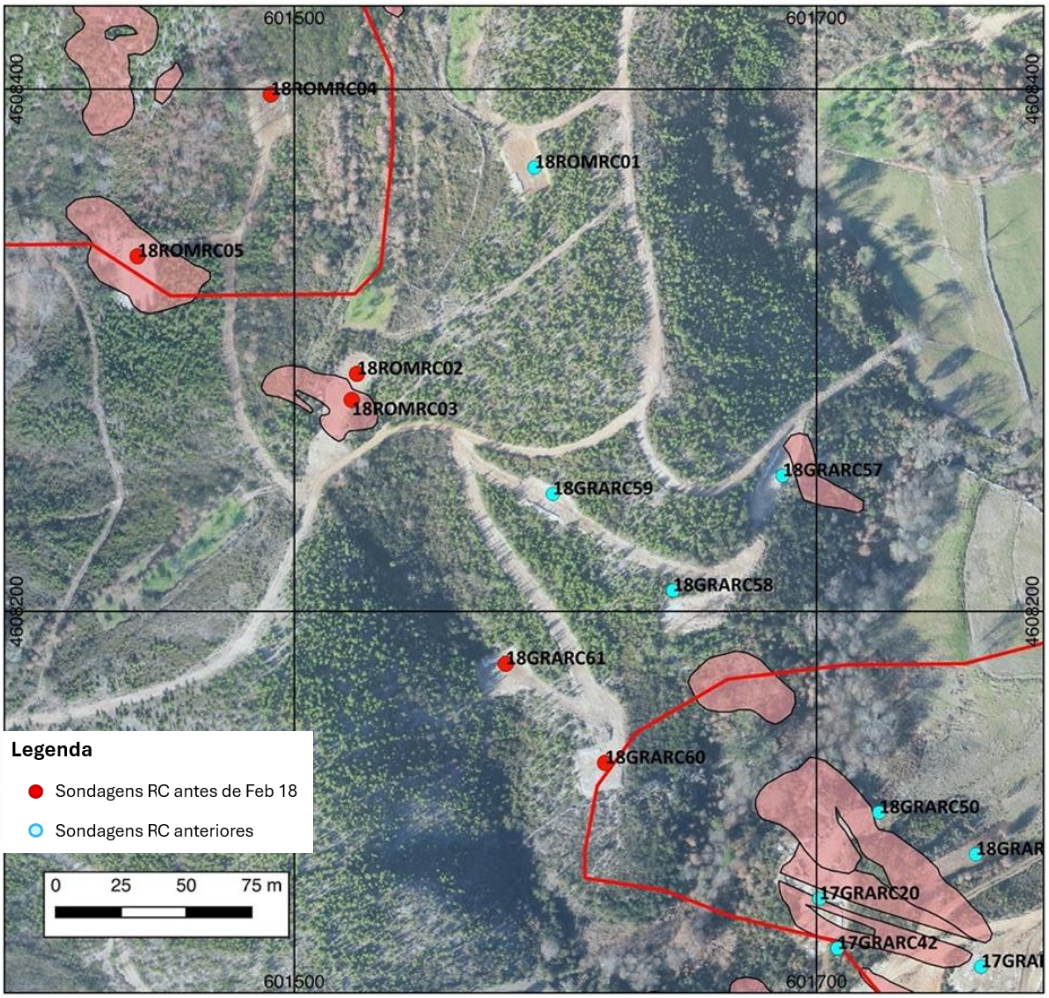


Figura 2.25 – Sondagens por circulação inversa no Grandão Norte.

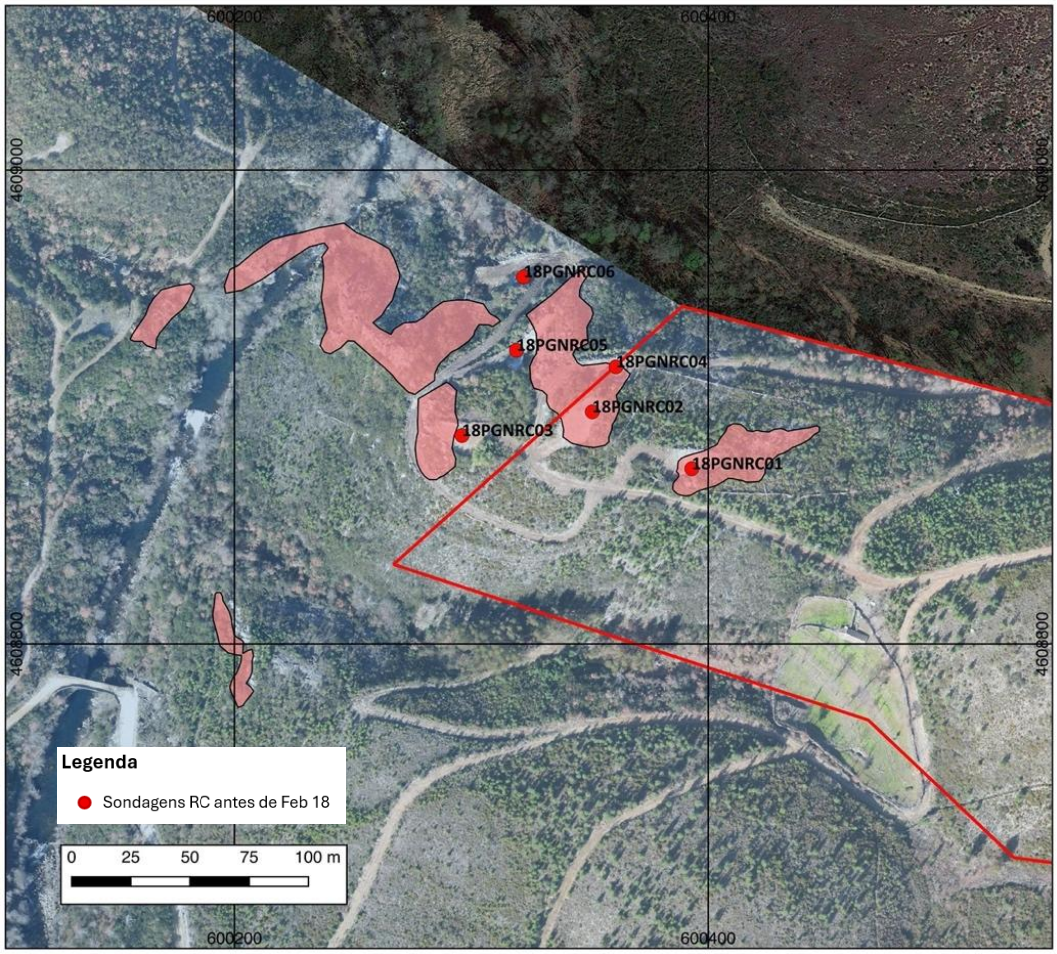


Figura 2.26 – Sondagens por circulação inversa no Piagro Negro.

Em fevereiro de 2018, a Savannah anunciou um aumento global dos recursos minerais na área do Projeto. O recurso passou a incluir 5,5 milhões de toneladas com 1,04% de Li_2O no Grandão e 0,5 milhões de toneladas com 1,23% de Li_2O no NOA. Um resumo completo do recurso encontra-se apresentado na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Resumo do aumento do recurso mineral inferido no depósito de lítio do Barroso (acima do teor de corte de 0,5%), fevereiro de 2018.

Depósito	Toneladas (Mt)	Li_2O (%)	Li_20 (ton)
Reservatório	3,2	1,0	32 000
Grandão	5,5	1,04	56 500
NOA	0,5	1,23	5 600

Depósito	Toneladas (Mt)	Li_2O (%)	Li_20 (ton)
TOTAL	**9,1**	**1,03**	**94 100**

Nos primeiros seis meses de 2018, as sondagens por circulação inversa concentraram-se na definição das dimensões do Pegmatito de Grandão. A interpretação inicial considerava o pegmatito como um corpo sub-horizontal de menor dimensão, com vários pegmatitos satélite associados, de diferentes orientações. No entanto, os dados adicionais obtidos através das sondagens confirmaram que o Pegmatito de Grandão constitui um corpo tabular mais extenso, com mergulho de 30 a 40 graus para oeste. A modelação dos dados indicou também a presença de um pegmatito com mergulho acentuado, quase vertical, com direção aproximadamente norte-sul, que interceta o pegmatito principal.

Após o anúncio dos recursos atualizados, a Savannah decidiu avançar com um estudo de viabilidade preliminar para avaliar a viabilidade económica da exploração dos depósitos de lítio no Depósito de Lítio do Barroso. Para avaliar as características metalúrgicas (Figura 2.27) dos pegmatitos, tanto em níveis próximos da superfície como em níveis mais profundos, foi instalado um equipamento de perfuração diamantada na propriedade, iniciando-se as sondagens em fevereiro de 2018. Inicialmente foram perfurados quatro furos em Reservatório e seis em Grandão e, após a análise das amostras, núcleos selecionados de pegmatito foram enviados para Perth para testes metalúrgicos pela Nagrom.



Figura 2.27 – Equipamento de sondagem no Reservatório para amostragem metalúrgica.

A modelação do Pegmatito de Grandão indicou um mergulho moderado para noroeste do corpo mineralizado, tendo-se constatado que a perfuração por circulação inversa não atingia a profundidade necessária para intercetar o pegmatito devido à presença excessiva de água. Foi então utilizado um equipamento de perfuração diamantada para dar continuidade aos furos RC que não haviam atingido a profundidade alvo, de forma a intercetar o pegmatito. Estes furos tiveram sucesso na interceção do pegmatito e permitiram confirmar a presença contínua de mineralização de lítio em profundidades maiores.

Em maio de 2018, a Savannah conseguiu então proceder a um novo aumento do recurso em Grandão, ampliando tanto a dimensão como o grau de confiança do recurso, para um total de 10,3 milhões de toneladas com um teor de 1,1% de Li_2O, perfazendo um recurso global de 14,0 milhões de toneladas com 1,1% de Li_2O (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 – Sumário do recurso mineral no depósito de lítio do Barroso (acima do teor de corte de 0,5%), maio de 2018.

Depósito	Indicadas			Inferidas			TOTAL			
	ton	Li_2O	Fe_2O_3	ton	Li_2O	Fe_2O_3	ton	Li_2O	Fe_2O_3	Li_2O
	Mt	%	%	Mt	%	%	Mt	%	%	ton
Reservatório	7,2	1,1	1,2	3,1	1,1	1,3	10,3	1,1	1,3	111 600
Grandão				3,2	1,0	1,4	3,2	1,0	1,4	32 000
NOA				0,5	1,23	1,3	0,5	1,23	1,3	5 600
TOTAL	**7,2**	**1,1**	**1,2**	**6,8**	**1,1**	**1,4**	**14,0**	**1,1**	**1,3**	**149 200**

Em junho de 2018, a Savannah anunciou os resultados do estudo de viabilidade preliminar com base no recurso atualizado, demonstrando que o projeto apresentava uma excelente viabilidade económica e teria potencial para se tornar um dos principais produtores europeus de espodumena.

Durante a segunda metade de 2018, foi adicionado um segundo equipamento de perfuração diamantada ao projeto, com o objetivo de obter informações estruturais a partir de núcleos orientados para estudos geotécnicos, como parte do escopo de avaliação contratado. O equipamento de circulação inversa foi transferido para o pegmatito em Carvalha da Bácora, onde foram perfurados seis furos (524 m), sendo posteriormente deslocado para Reservatório para a execução de sondagens de complementação (*infill drilling*). Os resultados de Carvalha da Bácora foram bem-sucedidos na definição do potencial de lítio do pegmatito, indicando um mergulho para norte, o que justifica um acompanhamento adicional no futuro (Figura 2.28).

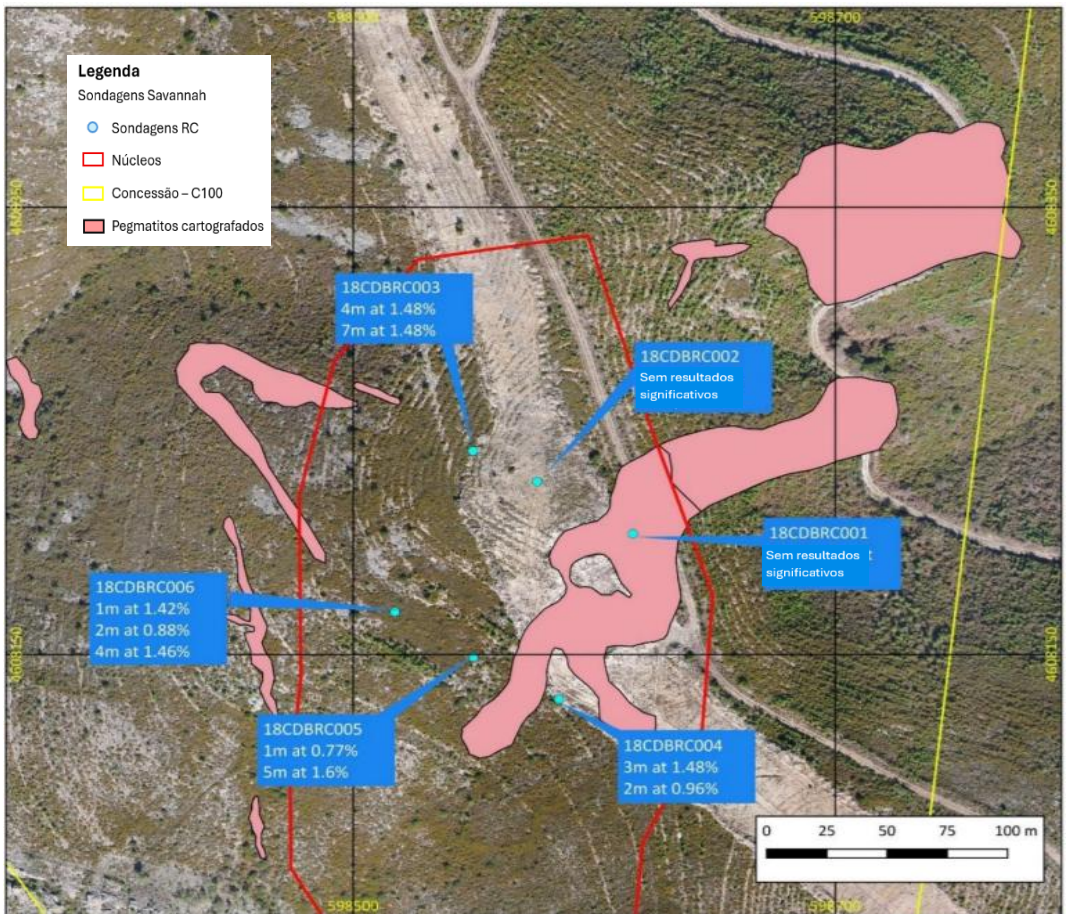


Figura 2.28 – Furação por circulação inversa na Carvalha da Bácora.

No Reservatório, foram perfurados mais 17 furos (1 351 m) para complementar as sondagens existentes, com o objetivo de aumentar a confiança na continuidade da mineralização e testar o potencial em profundidade para norte. As sondagens de complementação permitiram cobrir o pegmatito de Reservatório ao longo dos seus 450 m de extensão segundo a direção numa malha regular de 40 m × 40 m. Os resultados foram positivos, contribuindo para um aumento da confiança na permanência da mineralização de lítio no Reservatório.

O equipamento de circulação inversa foi então deslocado para a área de prospeção do NOA, com o objetivo de complementar as sondagens anteriores e testar a extensão do pegmatito e da mineralização associada de lítio. Foram realizados um total de 15 furos (742 m) entre o final de agosto e início de setembro de 2018, continuando a intercetar bons teores de Li_2O nos corpos pegmatíticos. As sondagens permitiram também fechar a extensão do pegmatito a leste, mas as perfurações em direção noroeste indicaram que este ainda permanece aberto nessa direção.

No Grandão, o foco das sondagens passou a ser a obtenção de amostras de pegmatito para testes metalúrgicos. O equipamento de perfuração foi transferido para a execução de pré-furação para a perfuração diamantada e para testar a extensão em profundidade do pegmatito vertical situado abaixo do corpo tabular principal do Grandão.

Em setembro de 2018, a Savannah anunciou um aumento dos recursos estimados, elevando a dimensão e a confiança da mineralização no Pegmatito de Grandão. O recurso no Grandão foi aumentado para 16,4 milhões de toneladas, com um teor de 1,1% de Li_2O, transferindo parte do recurso para a categoria medida, perfazendo um recurso global de 20,1 milhões de toneladas com 1,04% de Li_2O. Um resumo do recurso atualizado é apresentado na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Sumário do Recurso Mineral no Depósito de Lítio (acima do teor de corte de 0,5%), setembro de 2018.

Depósito	Classe Recursos	Toneladas	Li_2O	Fe_2O_3	Li_2O
		Mt	**%**	**%**	**t**
Grandão	Medidas	5,5	1,08	1,3	59 600
	Indicadas	4,9	0,93	1,4	45 600
	Inferidas	6,1	1,1	1,4	66 200
	TOTAL	**16,4**	**1,04**	**1,4**	**171 400**
Reservatório	Medidas				
	Indicadas				
	Inferidas	3,2	1,0	1,4	32 000
	TOTAL	**3,2**	**1,0**	**1,4**	**32 000**
NOA	Medidas				
	Indicadas				
	Inferidas	0,5	1,23	1,3	5 600
	TOTAL	**0,5**	**1,23**	**1,3**	**5 600**
TOTAL	Medidas	5,5	1,08	1,3	59 600

Depósito	Classe Recursos	Toneladas	Li_2O	Fe_2O_3	Li_2O
		Mt	**%**	**%**	**t**
	Indicadas	4,9	0,93	1,4	45 600
	Inferidas	9,7	1,10	1,4	103 900
	TOTAL	**20,1**	**1,04**	**1,4**	**209 100**

Um projeto mineiro preliminar, realizado no âmbito do estudo preliminar económico, indicou que a melhor localização para armazenar os resíduos da mina é o vale onde se encontra o pegmatito Pinheiro. Foi realizado um programa de perfuração no Pinheiro para testar se o pegmatito era promissor para mineralização de lítio antes da finalização de qualquer planeamento mineiro. O mapeamento inicial do pegmatito identificou dois corpos principais paralelos, orientados aproximadamente de norte a nordeste, e foi criado um programa de perfuração para testar ambos os pegmatitos. Foram perfurados um total de 19 furos (1857 m), principalmente de natureza exploratória; no entanto, alguns interceptos significativos permitiram calcular um recurso preliminar para o depósito de 2,0 milhões de toneladas a 1,0% de Li_2O.

As duas sondas diamantadas estiveram maioritariamente ativas em Grandão, dado que havia necessidade de amostras em grande volume de pegmatito provenientes de profundidades representativas da mineração através das várias fases de desenvolvimento (Figura 2.29). Adicionalmente, foram perfurados furos geotécnicos em Reservatório e NOA, e uma sonda foi utilizada para perfuração de amostras metalúrgicas no projeto Pinheiro.



Figura 2.29 – Testemunho de sondagem, mostrando abundante espodumena.

Um dos blocos de exploração continha uma pequena concessão mineira, de onde a empresa estava a extrair um pegmatito aflorante para venda à indústria cerâmica. Mapeamentos e amostragens anteriores realizados pela Universidade do Porto tinham indicado a presença de minerais portadores de lítio, como a espodumena, pelo que a Savannah realizou um programa de perfuração de 42 furos, composto por 32 furos RC (2633 m), 10 furos diamantados (DDH) (1 306,8 m) e quatro extensões diamantadas de furos RC existentes (311,6 m).

A Tabela 2.8 apresenta a síntese dos trabalhos de sondagem realizados entre julho de 2017 e junho de 2019.

Após a conclusão da perfuração, a Savannah divulgou uma nova atualização do recurso mineral (Tabela 2.9).

Tabela 2.8 – Síntese das sondagens nos prospetos considerados no PDL, julho de 2017 a junho de 2019.

Prospeto	Circulação Inversa		Perfuração Diamantada		Total	
	Nº Furos	Metros Furados	Nº Furos	Metros Furados	Nº Furos	Metros Furados
Reservatório	37	3 332	8	835	45	4 167
NOA	25	1 510	2	129	27	1 639
Grandão	131	11 364	73	6 207	204	17 571
Grandão Norte	5	254	0	**0**	5	254
Piagro Negro	6	270	0	**0**	6	270
Grandão Norte - Oeste	3	145	0	0	3	145
Pinheiro	19	1 857	2	105	21	1 962
Carvalha da Bácora	6	524	0	0	6	524
Total	**232**	**19 256**	**85**	**7 276**	**317**	**26 532**

Tabela 2.9 – sumário do recurso mineral no depósito de lítio do Barroso (acima do teor de corte de 0,5%), maio de 2019.

Depósito	Classe Recursos	Toneladas	Li_2O	Fe_2O_3	Li_2O
		Mt	**%**	**%**	**t**
Grandão	Medidas	6,6	1,1	0,7	71 600
	Indicadas	6,4	1,0	0,8	61 300
	Inferidas	4,8	1,0	0,7	48 900
	TOTAL	**17,7**	**1,04**	**0,7**	**181 800**
Reservatório	Medidas				
	Indicadas				

Depósito	Classe Recursos	Toneladas	Li_2O	Fe_2O_3	Li_2O
		Mt	**%**	**%**	**t**
	Inferidas	3,2	1,0	1,4	32 000
	TOTAL	**3,2**	**1,0**	**1,4**	**32 000**
Pinheiro	Medidas				
	Indicadas				
	Inferidas	2,0	1,0	0,7	20 000
	TOTAL	**2,0**	**1,0**	**0,7**	**20 000**
NOA	Medidas				
	Indicadas	0,4	1,2	0,8	4 200
	Inferidas	0,3	1,0	0,9	2 900
	TOTAL	**0,6**	**1,1**	**0,9**	**7 100**
TOTAL	Medidas	6,6	1,1	0,7	71 600
	Indicadas	6,8	1,0	0,7	65 400
	Inferidas	10,2	1,1	0,9	103 900
	TOTAL	**23,6**	**1,06**	**0,8**	**240 900**

A análise elementar de todas as amostras recolhidas foi concluída pelos Laboratórios ALS, utilizando um conjunto de 51 elementos, com fusão em peróxido de sódio seguida de análise por ICP-MS. Em toda a perfuração realizada pela Savannah, foi aplicado um regime específico de controlo de qualidade para avaliar a precisão e exatidão na recolha de amostras e na análise de lítio. Os boletins das análises químicas das amostras encontram-se no Anexo II.2.

As medidas de controlo de qualidade utilizadas pela Savannah revelaram-se eficazes na confirmação da fiabilidade dos dados de ensaio, sem evidência de viés e com uma precisão aceitável para utilização na estimativa de recursos minerais.

O culminar do programa de exploração de 2 anos, entre 2017 e 2019 (Figura 2.30), permitiu à Savannah aumentar progressivamente o recurso mineral para 23,5 Mt a 1,02% Li_2O na área da Concessão C-100. Este recurso contém 241 000 t de Li_2O e representa o maior recurso de espodumena da Europa.

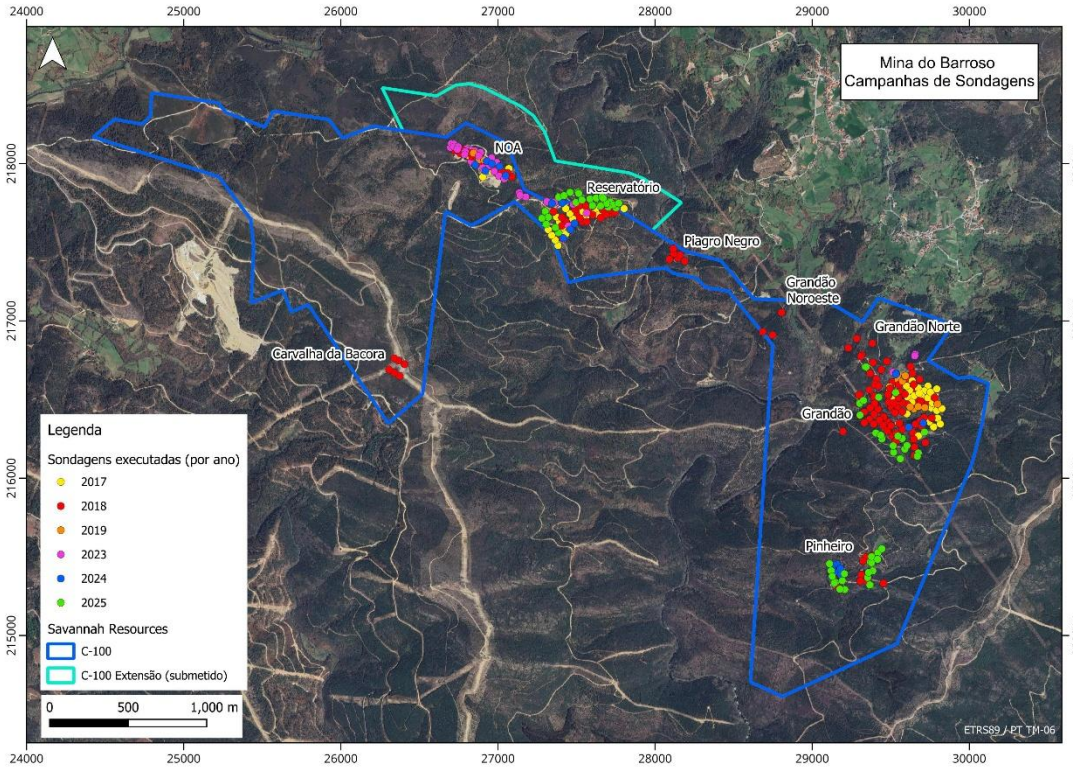


Figura 2.30 – Localização dos furos de sondagem por ano de execução.

2.6.2 PROSPEÇÃO RECENTE (ESTUDO DE VIABILIDADE)

Em maio de 2023, a Savannah recebeu uma Declaração de Impacte Ambiental favorável condicionada relativa ao projeto. Esta decisão permitiu prosseguir os estudos de desenvolvimento. De acordo com o Código JORC de 2012, a conversão em Reservas Minerais assenta em Recursos Minerais Medidos e Indicados e na aplicação dos fatores modificadores. Os Recursos Inferidos não são convertidos em Reservas Minerais; a sua eventual consideração no inventário programado é identificada separadamente da declaração de Reservas.

Após a aprovação da DIA, foi planeado um programa de perfuração abrangente, a realizar-se em duas fases devido a questões de acesso às terras. Desde a conclusão do estudo preliminar económico favorável em 2019, a Savannah tem adquirido terrenos de proprietários privados dentro da área da Concessão C-100.

A Fase 1 da perfuração foi planeada para aceder aos terrenos que a Savannah já possuía ou estava em processo de aquisição, com o objetivo de atualizar os recursos. A perfuração foi planeada para as áreas do NOA, Pinheiro, Reservatório e Grandão, sendo possível calcular um novo recurso para o NOA, enquanto os recursos de Reservatório, Pinheiro e Grandão permaneceram pendentes até à conclusão da Fase 2 da perfuração.

2.6.2.1 FASE 1

A perfuração no Projeto pôde reiniciar em outubro de 2023, com o início da Fase 1 de perfuração, acedendo a terrenos pertencentes à Savannah. Inicialmente, a maior parte da perfuração concentrou-se na área de NOA, devido à maior disponibilidade de acesso, seguida de Reservatório. No início de 2024, os trabalhos focaram-se em locais disponíveis em Pinheiro, Reservatório e Grandão. A perfuração foi realizada utilizando duas sondas RC montadas em esteira fornecidas pela EDASU de Espanha e uma sonda diamantada montada em esteira fornecida pela SPI de Espanha.

A Fase 1 da perfuração terminou em abril de 2024, totalizando 4 623,42 m de perfuração provenientes de 69 furos, compostos por:

- 36 furos RC totalizando 2 487 m, dos quais 3 furos foram concluídos com extensão diamantada.
- 19 furos diamantados (DDH) totalizando 1 574,92 m, alguns com dupla finalidade metalúrgica e geotécnica, sendo também utilizados para fins de recurso.
- 11 furos de percussão totalizando 1 771 m, utilizados para o desenvolvimento do modelo hidrológico.

Embora a informação geológica tenha sido utilizada para a interpretação geológica, estes furos de percussão não foram usados na determinação de recursos minerais. Os planos de prospeção das campanhas de sondagens encontram-se no Anexo II.3 e as secções, mapas e registos em coluna (striplogs) das sondagens no Anexo II.4.

No final do programa, foram recolhidos dados suficientes em NOA para permitir a atualização do recurso desta área. Em maio de 2024, a Savannah divulgou o recurso de NOA conforme apresentado na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 – Atualização da estimação de 2024 dos recursos no depósito do NOA (acima do teor de corte de 0,5%).

Tipo Mineralização	Indicadas			Inferidas			TOTAL			
	Ton	Li_2O	Fe_2O_3	ton	Li_2O	Fe_2O_3	ton	Li_2O	Fe_2O_3	Li_2O
	kton	%	%	kton	%	%	kton	%	%	kt
Transacional	52	1,03	0,97	0,1	0,89	0,85	52	1,03	0,97	0,5

Tipo Mineralização	Indicadas			Inferidas			TOTAL			
	Ton	Li_2O	Fe_2O_3	ton	Li_2O	Fe_2O_3	ton	Li_2O	Fe_2O_3	Li_2O
	kton	%	%	kton	%	%	kton	%	%	kt
Primária	563	1,03	0,83	46	0,95	0,45	609	1,03	0,80	6,3
TOTAL	**614**	**1,03**	**0,84**	**46**	**0,95**	**0,45**	**661**	**1,03**	**0,82**	**6,8**

Análise Significativas

- **NOA**

A perfuração na NOA concentrou-se no preenchimento dos furos anteriores, de forma a obter uma densidade de aproximadamente 40 m x 40 m, necessária para reclassificar o recurso para a categoria mais robusta de indicada. A perfuração da Fase 1 continuou a intercetar a mineralização de lítio, demonstrando uma boa continuidade da mineralização dentro do pegmatito. A Tabela 2.11 apresenta as análises significativas superiores a 0,5% de Li_2O, a Figura 2.31 destaca uma seleção das intercetações significativas, e a Figura 2.32 apresenta um corte transversal selecionado, mostrando o pegmatito com inclinação moderada.

Tabela 2.11 – Resumo das análises significativas da NOA, Fase 1.

ID do furo	Prospeto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cota	Azimute (graus)	Inclinação (graus)	Profundidade final do furo (m)	De (m)	Até (m)	Intervalo ao longo do furo	Teor Li2O
23NOARC026	NOA	599104	4609510	677	199	-60	111	94	97	3	0,78
								64	71	7	1,32
23NOARC027	NOA	599015	4609572	689	199	-60	40	Sem interseção significativa			
23NOARC028	NOA	599047	4609565	692	199	-60	40	Sem interseção significativa			
23NOARC029	NOA	599025	4609498	693	201	-60	42	15	17	2	1
								32	36	4	1,25
23NOARC030	NOA	598988	4609559	687	201	-60	35	23	25	2	0,81
23NOARC031	NOA	599086	4609555	691	201	-60	30	12	17	5	0,98
23NOARC032	NOA	598985	4609540	688	201	-60	123	98	104	6	0,82
23NOARC033	NOA	598894	4609584	687	201	-60	20	7	11	4	1,22
23NOARC034	NOA	598900	4609610	683	201	-60	40	31	37	6	1,2
23NOARC035	NOA	598916	4609606	679	201	-60	43	29	36	7	1,41
23NOARC036	NOA	598916	4609589	678	201	-60	35	21	29	8	1,34
23NOARC037	NOA	599174	4609436	687	201	-60	67	16	23	7	1,16
23NOARC038	NOA	599205	4609406	691	201	-60	35	Sem interseção significativa			
23NOARC039	NOA	599238	4609389	687	201	-60	61	Sem interseção significativa			
23NOARC040	NOA	599135	4609470	681	201	-60	45	13	24	11	1,22
23NOARC041	NOA	599190	4609491	673	201	-60	60	31	44	13	1,12
23NOARC042	NOA	599074	4609531	689	201	-60	85	66	71	5	0,58
23NOARC043	NOA	599074	4609531	689	201	-60	130	114	117	3	1,25
								105	107	2	1,57
23NOARC044	NOA	598943	4609589	678	201	-60	35	0	9	9	1,18
23NOARC045	NOA	599112	4609440	674	201	-60	35	Sem interseção significativa			
23NOARC046	NOA	598938	4609573	679	201	-60	35	10	16	6	1,36
23NOARC047	NOA	599126	4609500	674	201	-60	25	9	15	6	0,96
24NOADD006	NOA	599053	4609476	682	0	-70	80	22,45	24,06	1,61	1,26
24NOADD007	NOA	599118	4609438	674	265	-50	70,11	20,63	26,89	6,26	0,98
24NOADD008	NOA	599208	4609467	680	200	-60	74,25	64,83	69,67	4,84	1,48
24NOADD009	NOA	599247	4609409	689	135	-50	100,25	75,96	81	5,04	0,9
24NOADD010	NOA	599247	4609409	689	202	-60	60,15	0,33	5,8	5,47	1,2
24NOADD010								31	52	21	1,26
24NOADD011	NOA	599159	4609483	677	203	-60	65,55	49,14	59	9,86	1,3
24NOADD011								25,07	26,65	1,58	1,18

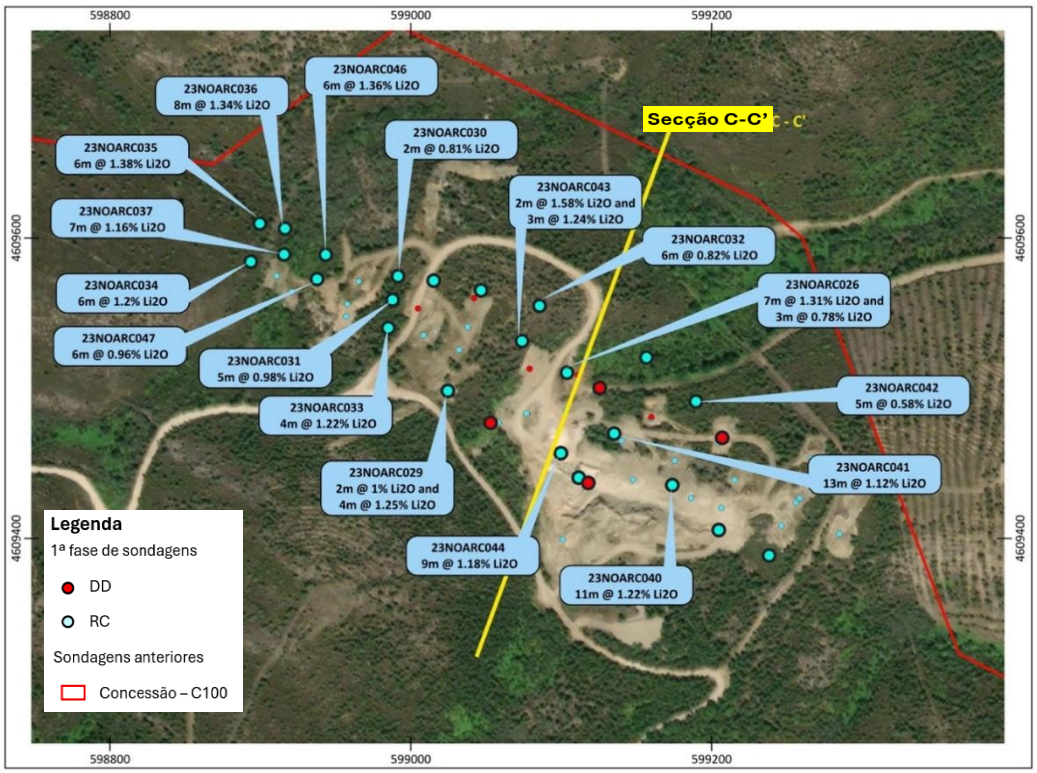


Figura 2.31 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas no NOA, Fase 1.

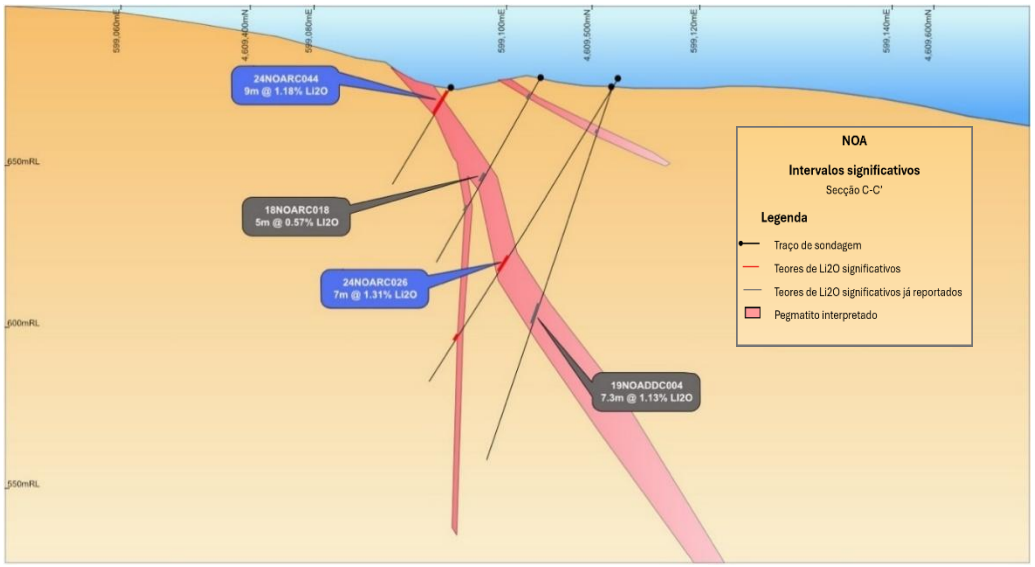


Figura 2.32 – Secção transversal do NOA.

- **PINHEIRO**

A perfuração da Fase 1 do Pinheiro centrou-se inteiramente no Pegmatito Ocidental, uma vez que os furos foram executados a partir de terrenos pertencentes à Savannah. O objetivo foi preencher, tanto quanto possível, a perfuração anterior, dentro das limitações de acesso existentes. Alguns furos tiveram de ser perfurados com ângulos oblíquos em relação à direção de mergulho do pegmatito, resultando em algumas interceções substancialmente mais longas do que a largura real do pegmatito. A Tabela 2.12 apresenta as interceções de análises significativas resultantes da perfuração da Fase 1. Um mapa que mostra a localização das análises significativas selecionadas do Pegmatito Ocidental é apresentado na Figura 2.33, juntamente com os cortes transversais correspondentes, Figuras 2.34 e 2.35.

Tabela 2.12 – Resumo das análises significativas da Pinheiro, Fase 1.

ID do furo	Prospeto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cota	Azimute (graus)	Inclinação (graus)	Profundidade final do furo (m)	De (m)	Até (m)	Intervalo ao longo do furo (m)	Teor de Li2O
24PNRWB001	Pinheiro	601355	4606893	538	0	-90	130	82	130	48	1,62
24PNRWB002	Pinheiro	601360	4606908	539	0	-90	130	45	130	85	1,45
24PNRWB003	Pinheiro	601361	4606911	540	0	-90	130	Sem interseção significativa			
24PNRRC020	Pinheiro	601380	4606960	542	271	-60	110	Sem interseção significativa			
24PNRRC021	Pinheiro	601402	4606933	543	221	-60	113	2	5	3	0,98
								28	64	36	1,28
								67	70	3	0,66
								74	78	4	0,59
								86	101	15	1,4
24PNRRC022	Pinheiro	601401	4606936	543	266	-60	100	4	6	2	0,96
24PNRRC023	Pinheiro	601408	4606892	547	191	-60	138	100	106	6	1,07
								109	129	20	0,92
								74	96	22	1,27
								50	59	9	0,52
								31	46	15	0,79
24PNRRC024	Pinheiro	601406	4606893	547	221	-65	144	132	137	5	1,
								110	118	8	0,94
								24	100	76	1,85
								14	19	5	0,77
24PNRRC025	Pinheiro	601402	4606932	543	291	-55	100	Sem interseção significativa			
24PNRDD003	Pinheiro	601354	4606886	537	90	-60	101,2	33,6	70	36,4	1,26
24PNRDD004	Pinheiro	601355	4606895	538	60	-60	80	41,49	57,5	16,01	1,14
24PNRDD005	Pinheiro	601362	4606909	539	248	-60	70,1	Sem interseção significativa			
24PNRDD006	Pinheiro	601358	4606956	543	20	-50	60,1	Sem interseção significativa			
24PNRDD007	Pinheiro	601350	4606934	541	70	-60	50	9,32	23,4	14,08	1,04
24PNRDD008	Pinheiro	601349	4606935	541	0	-90	112,7	18,57	35	16,43	1,57
								47,21	49	1,79	2,05
								61	72	11	0,79

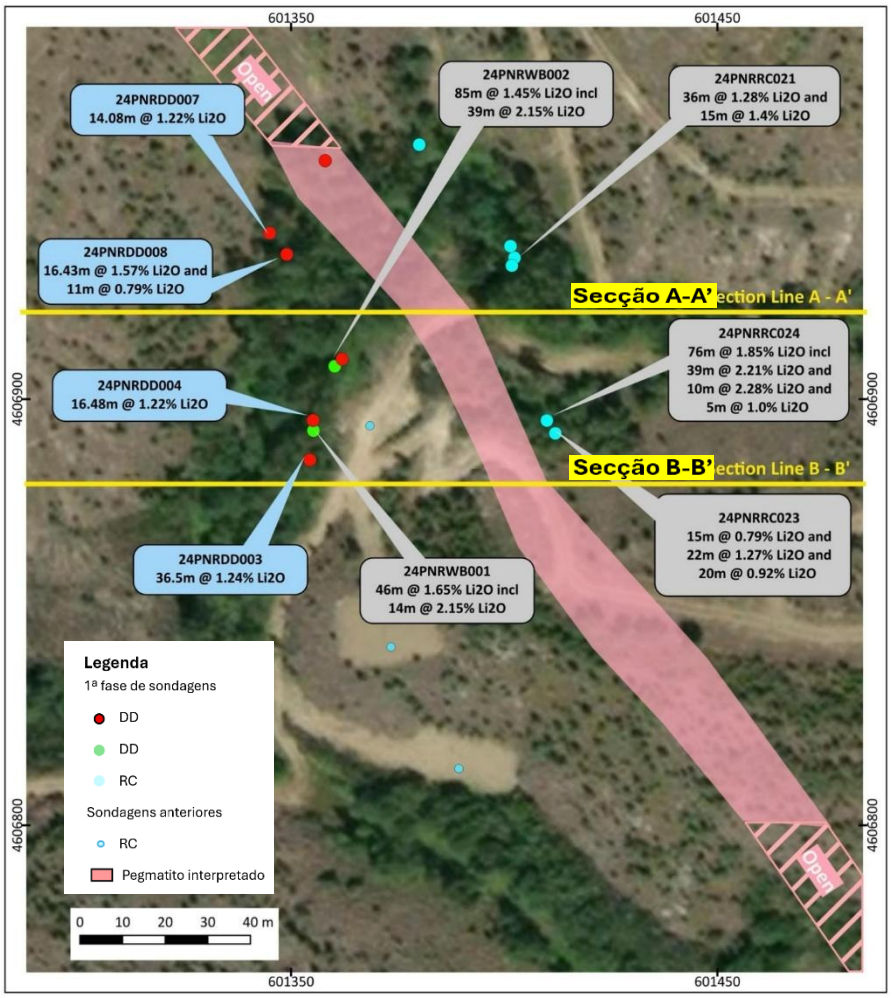


Figura 2.33 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas no Pinheiro, Fase 1.

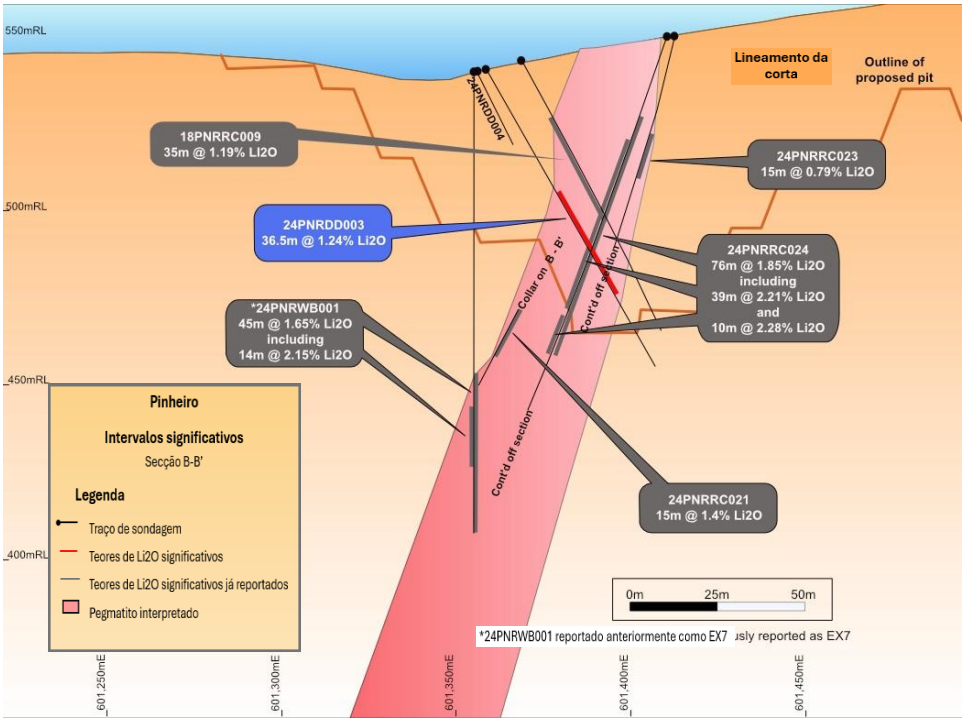


Figura 2.34 – Secção transversal do Pinheiro 4606880N.

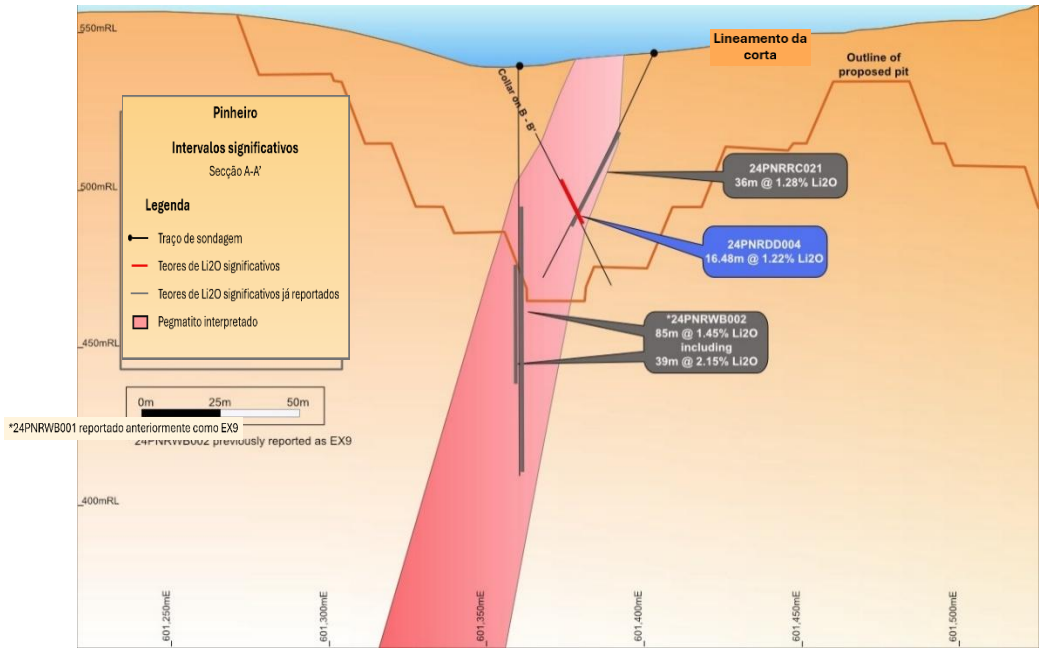


Figura 2.35 – Secção transversal do Pinheiro 4606920N.

- **RESERVATÓRIO**

A perfuração da Fase 1 em Reservatório teve como principal objetivo interceptar o pegmatito em profundidade, a partir da perfuração anterior. O objetivo foi alcançar uma densidade de perfuração de, pelo menos, 40 m x 40 m, de modo a classificar o recurso estendido na categoria indicada, no âmbito da extensão mais profunda da cava a céu aberto da Fase 2. Os resultados da perfuração evidenciaram o potencial de continuidade em profundidade do pegmatito. A Tabela 2.13 destaca as interceções significativas resultantes da perfuração, e a Figura 2.36 apresenta a localização de furos selecionados que registaram interceções significativas. Os cortes transversais apresentados nas Figura 2.37 e Figura 2.38 demonstram o aumento do potencial em profundidade do pegmatito.

Tabela 2.13 – Resumo das análises significativas do Reservatório, Fase 1.

ID do furo	Prospeto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cota	Azimute (graus)	Inclinação (graus)	Profundidade final do furo (m)	De (m)	Até (m)	Intervalo ao longo do furo	Teor de Li2O
23RESWB001	Reservatório	599376	4609275	664	0	-90	170	105	107	2	0,73
23RESWB002	Reservatório	599334	4609301	663	0	-90	170	108	113	5	0,88
23RESWB003	Reservatório	599339	4609284	667	0	-90	169	111	116	5	0,92
23RESRC038	Reservatório	599510	4609249	655	0	-90	207	159	200	41	1,21
23RESRC039	Reservatório	599511	4609246	655	151	-70	193,9	151	187	36	1,28
23RESRC040	Reservatório	599557	4609245	649	0	-90	192,6	155	181	26	0,85
								184	186,25	2,25	0,6
23RESRC041	Reservatório	599559	4609241	649	149	-70	175	132,3	154,1	21,8	1,37
								157	166,2	9,2	1,08
23RESRC042	Reservatório	599650	4609094	594	149	-60	12	Sem interseção significativa			
23RESRC043	Reservatório	599687	4609109	591	151	-60	9	Sem interseção significativa			
23RESRC044	Reservatório	599618	4609011	599	151	-60	18	Sem interseção significativa			
23RESRC045	Reservatório	599679	4609231	619	0	-90	130	70	110	40	1,17
23RESDD009	Reservatório	599764	4609176	611	151	-60	90,5	31,05	67,53	36,48	1,34
24RESDD010	Reservatório	599688	4609110	590	151	-60	40	15,85	23,6	7,75	0,83
								26,9	31,24	4,34	0,83
24RESDD011	Reservatório	599617	4609016	599	151	-60	50	Sem interseção significativa			
24RESDD013	Reservatório	599609	4609239	636	147	-70	200,2	143	150	7	1,16
								172	177,7	5,7	0,81
								180,5	187	6,5	1,22

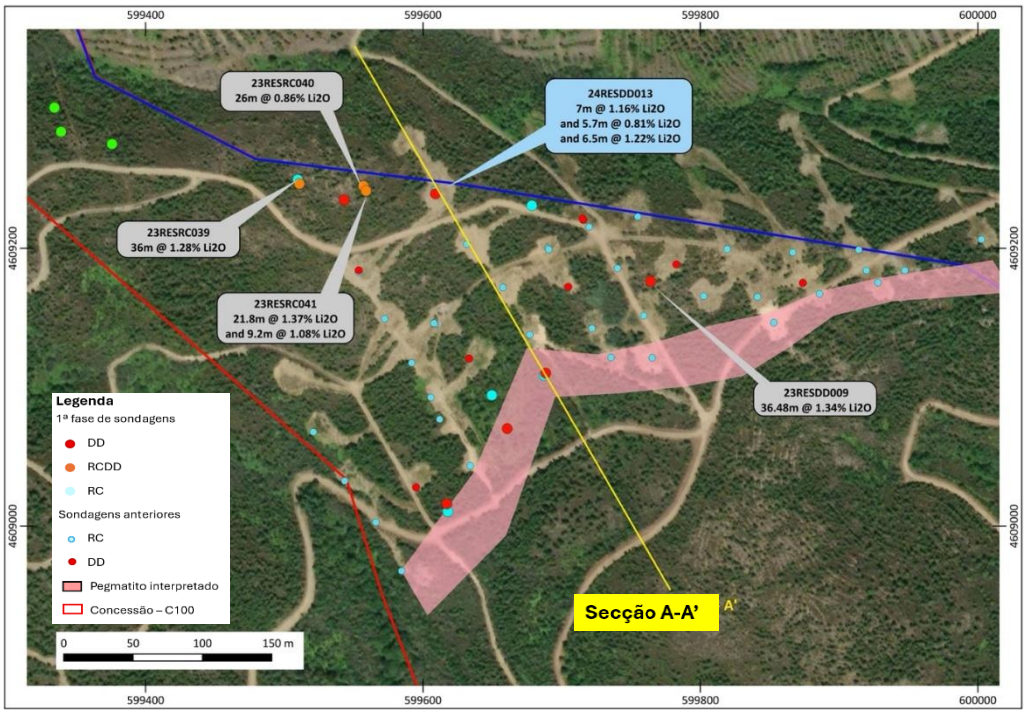


Figura 2.36 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas do Reservatório, Fase 1.

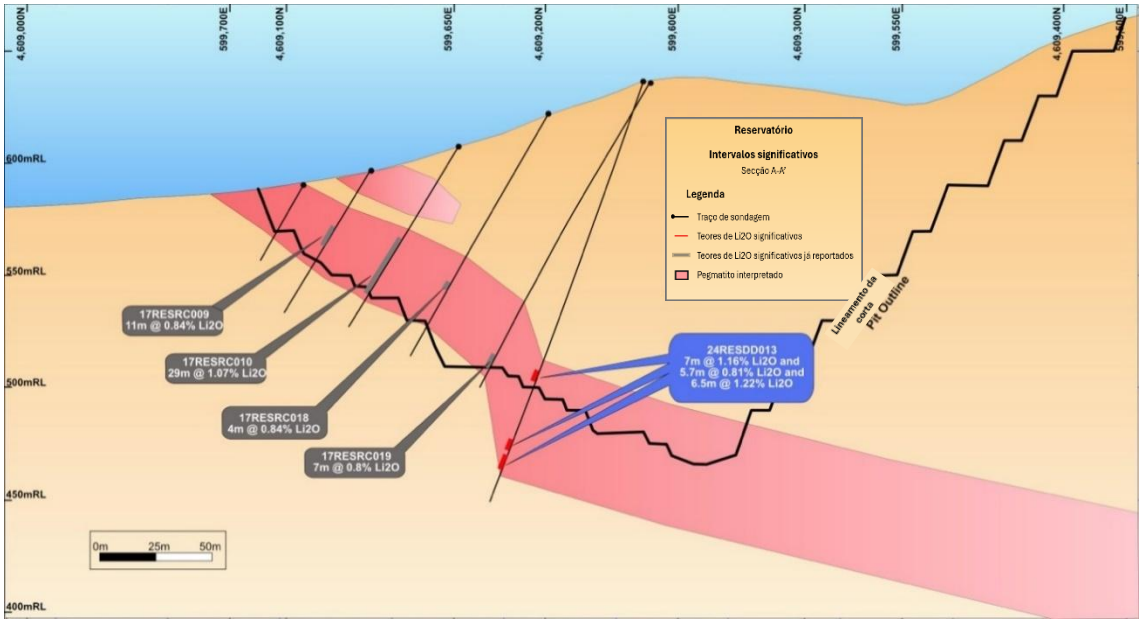


Figura 2.37 – Secção transversal do Reservatório 160m.

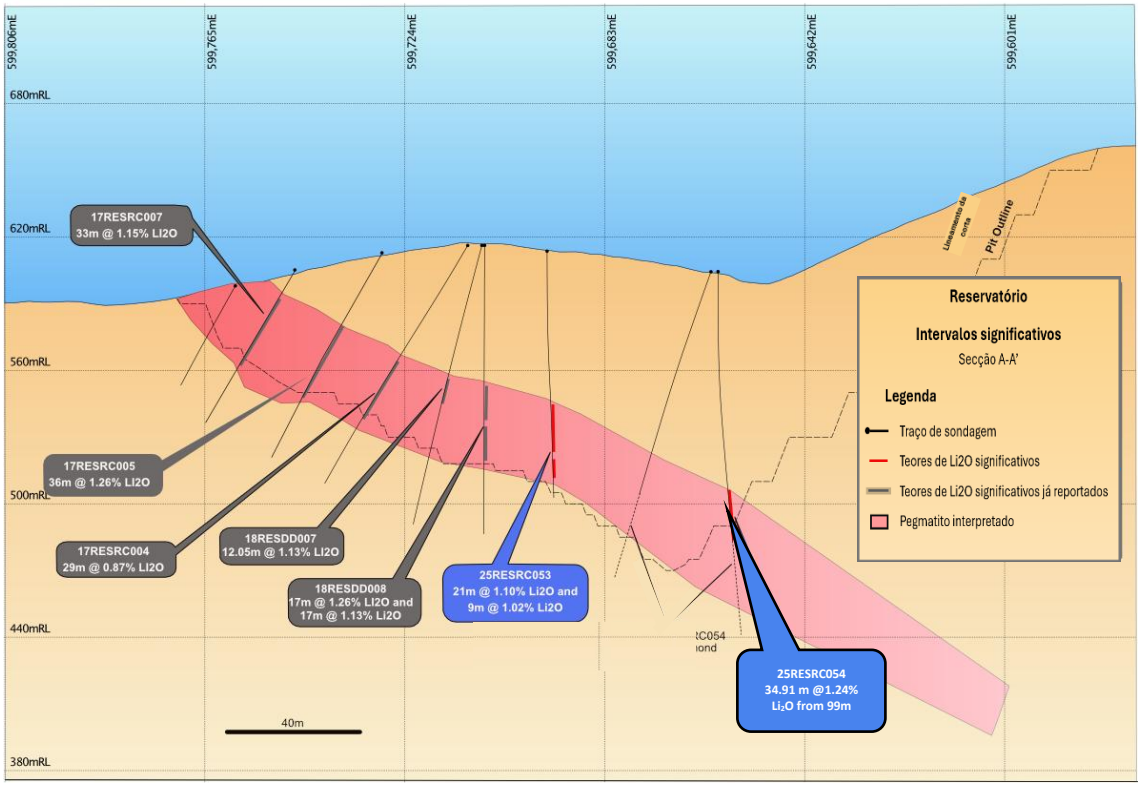


Figura 2.38 – Secção transversal do Reservatório 240m.

- **GRANDÃO**

No Grandão foram perfurados apenas oito furos, sendo quatro deles furos de percussão executados para a modelação hidrológica da área da mina. Os restantes furos incidiram principalmente sobre as margens do pegmatito, a partir de terrenos pertencentes à Savannah, pelo que as interceções significativas foram os mais estreitos do que a média do depósito. A Tabela 2.14 apresenta os interceptos significativos e a Figura 2.39 destaca a localização do melhor resultado.

Tabela 2.14 – Resumo das análises significativas do Grandão, Fase 1.

ID do furo	Prospeto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cota	Azimute (graus)	Inclinação (graus)	Profundidade final do furo (m)	De (m)	Até (m)	Intervalo ao longo do furo (m)	Teor de Li_2O
23GRAWB006	Grandão	601742	4608177	521	0	-90	120	35	44	9	1.01
23GRAWB005	Grandão	601724	4608186	518	0	-90	202	48	51	3	1.33
24GRARC132	Grandão	601743	4608177	521	0	-90	90	35	53	18	0.93
24GRADD047	Grandão	601827	4607837	547	80	-75	79.8	15.73	18.88	3.15	0.78
								5.73	8	2.27	1.34

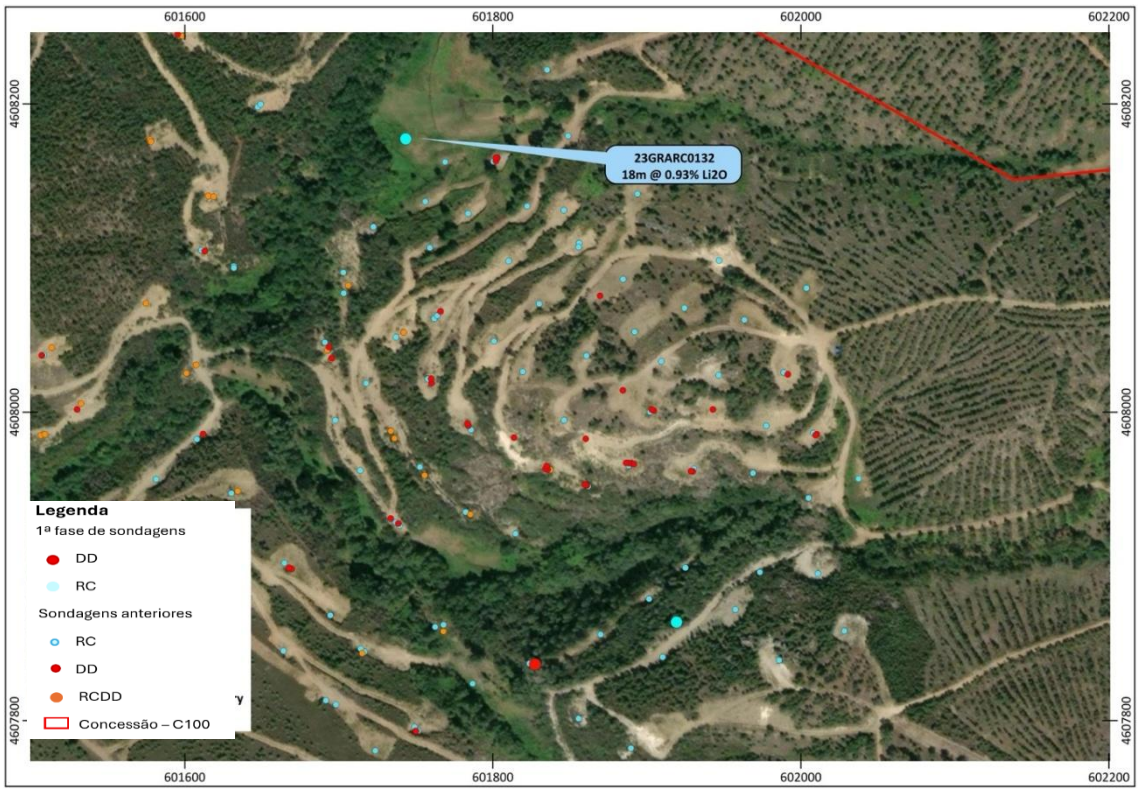


Figura 2.39 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas do Grandão, Fase 1.

2.6.2.2 FASE 2

A Fase 2 da campanha de sondagens do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso pôde iniciar-se após a concessão de uma servidão sobre terrenos baldios e privados, permitindo o acesso das sondas de perfuração e o arranque da campanha. As sondagens tiveram início em janeiro de 2025 e foram concluídas no início de julho.

Esta campanha de perfuração faz parte dos requisitos do Estudo de Viabilidade, com o objetivo de elevar todas as estimativas de recursos que se encontram dentro da área minerável da mineralização de lítio para a categoria de recursos indicados. Os trabalhos foram realizados com até seis sondas em simultâneo em determinados períodos, incluindo 3 sondas de circulação inversa (RC) e 3 sondas de perfuração diamantada. No total, foram perfurados 12 490 m distribuídos por 103 furos, correspondendo a 83 furos RC, dos quais 28 incluíram prolongamentos em perfuração diamantada para atingir a profundidade-alvo, e mais 20 furos exclusivamente diamantados, dos quais 11 tiveram fins geotécnicos.

Todos os resultados geoquímicos foram recebidos até ao final de julho e foram produzidas estimativas de recursos atualizadas para Grandão, Pinheiro e Reservatório.

Análise Significativas

- **GRANDÃO**

As sondagens no Grandão incidiram principalmente nas áreas mais profundas do pegmatito, onde a densidade de perfuração não era considerada suficiente para justificar uma classificação de recurso indicado. Paralelamente, foram também testadas as margens sul e norte do pegmatito que se encontram dentro do desenho inicial da corta, com uma densidade de perfuração adequada para sustentar a classificação como recurso indicado. A Tabela 2.15 apresenta as interceções significativas da Fase 2 de perfuração, sendo algumas interseções selecionadas destacadas na Figura 2.40. A secção transversal, Figura 2.41, ilustra as interseções em profundidade (*down-dip*) do pegmatito.

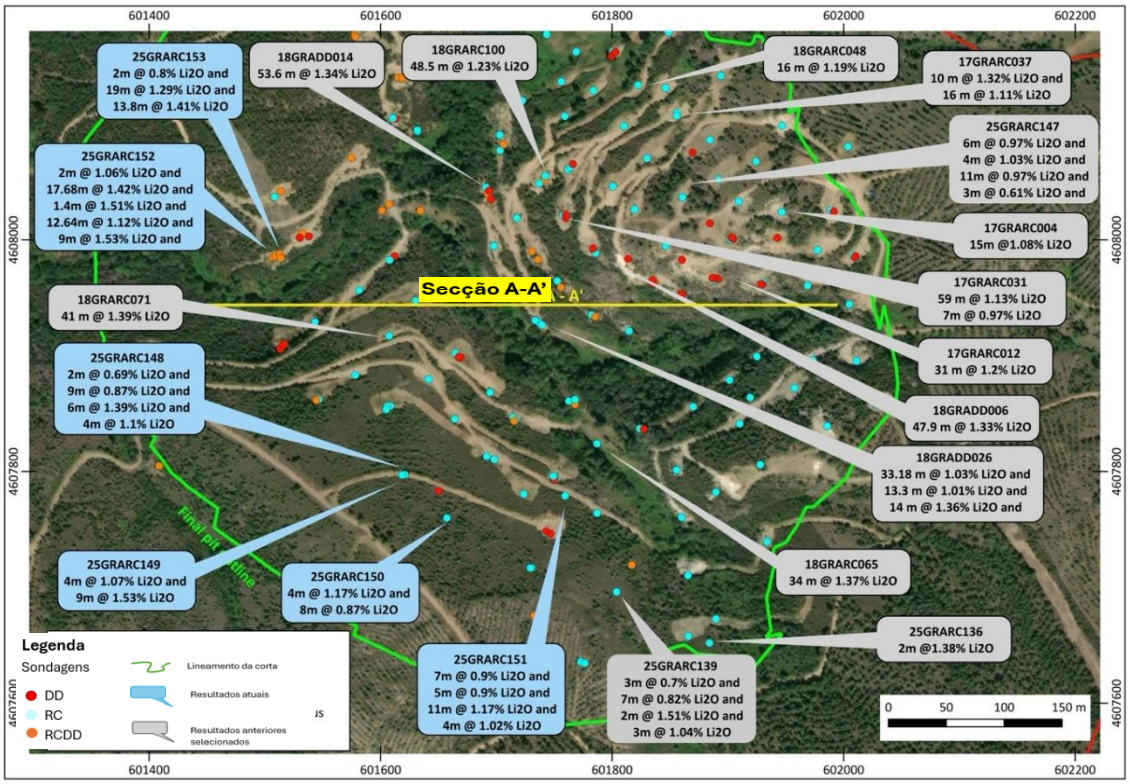


Figura 2.40 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas do Grandão, Fase 2.

Tabela 2.15 – Resumo das análises significativas do Grandão, Fase 2.

ID do furo	Prospeto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cota	Azimute (graus)	Inclinação (graus)	Profundidade final do furo (m)	De (m)	Até (m)	Intervalo ao longo do furo (m)	Teor de Li2O
25GRARC134	Grandão	601928	4607806	578	0	-90	30	Sem interseção significativa			
25GRARC135	Grandão	601890	4607673	587	0	-90	50	Sem interseção significativa			
25GRARC136	Grandão	601884	4607652	595	0	-90	40	2	11	9	1.38
25GRARC137	Grandão	601773	4607636	607	0	-90	80	50	53	3	1.42
25GRARC138	Grandão	601776	4607634	607	89.2	-60,	80,	Sem interseção significativa			
25GRARC139	Grandão	601804	4607696	577	0	-90	84	10	13	3	0.7
								19	26	7	0.82
								55	57	2	1.51
								61	64	3	1.04
25GRARC140	Grandão	601817	4607719	562	0	-90	70.75	3	16	13	1.14
								27.55	41,	13.45	1.27
25GRARC141	Grandão	601787	4607764	551	89.2	-72	90,	47	59	12	0.99
								68	71	3	0.87
								31	34	3	0.62
								15	23	8	1.27
25GRARC142	Grandão	601735	4607676	597	89.2	-60	110.5	83.7	85.3	1.6	0.53
								49	53	4	1.05
25GRARC143	Grandão	601733	4607676	597	0	-90	146.55	78	79.82	1.82	1.16
								84.3	85.89	1.59	1.06
								115.41	133.9	18.49	1.45
								136.48	139	2.52	1.31
25GRARC144	Grandão	601731	4607717	582	89.2	-70	170	65	72	7	1.38
								104	114	10	0.82
								126	139	13	0.92
25GRARC145	Grandão	601729	4607717	583	0	-90	142	88	90	2	0.95
								50	62	12	0.79
								111	134	23	1.55
								103	107	4	1.24
25GRARC146	Grandão	601635	4608025	505	119.2	-60	122.25	60	75	15	0.98
25GRARC147	Grandão	601742	4608055	540	44.2	-65	141	13	19	6	0.97
								23	27	4	1.03
								30	41	11	0.97
								68	72	4	0.51
								77	80	3	0.5
								115	118	3	0.61
25GRARC148	Grandão	601621	4607797	569	89.2	-75	160	120	126	6	1.39
								131	135	4	1.1
								101	110	9	0.87
								96	98	2	0.69
25GRARC149	Grandão	601619	4607797	569	0	-90	170	123	132	9	1.53
								111	115	4	1.07
25GRARC150	Grandão	601657	4607760	575	0	-90	152	89	93	4	1.17
								98	106	8	0.87
25GRARC151	Grandão	601759	4607779	550	89.2	-60	93	29	36	7	0.9
								40	45	5	0.9
								59	70	11	1.17
								74	78	4	1.02
25GRARC152	Grandão	601513	4607988	503	219.2	-80	175.75	126.46	127.86	1.4	1.51
								140.36	153	12.64	1.12
								104.05	121.73	17.68	1.42
								156	165	9	1.53
								6	8	2	1.06
25GRARC153	Grandão	601514	4607984	503	139.2	-70	161.2	2	4	2	0.8
								92	111	19	1.29
								139.2	153	13.8	1.41
25GRADD048	Grandão	601650	4607783	568	189.2	-50	128.25	119.47	121.57	2.1	0.94
25GRADD049	Grandão	601517	4607910	507	229.2	-50	120.7	Sem interseção significativa			
25GRADD050	Grandão	601547	4608217	536	0	-90	165.8	106.13	117	10.87	1.31
25GRADD051	Grandão	601553	4608216	536	184.2	-60	167.3	148	155	7	1.4
								135	138	3	1.47
25GRADD052	Grandão	601538	4608003	519	309.2	-50	210.75	112	114	2	1.04
								37.21	40	2.79	1.91

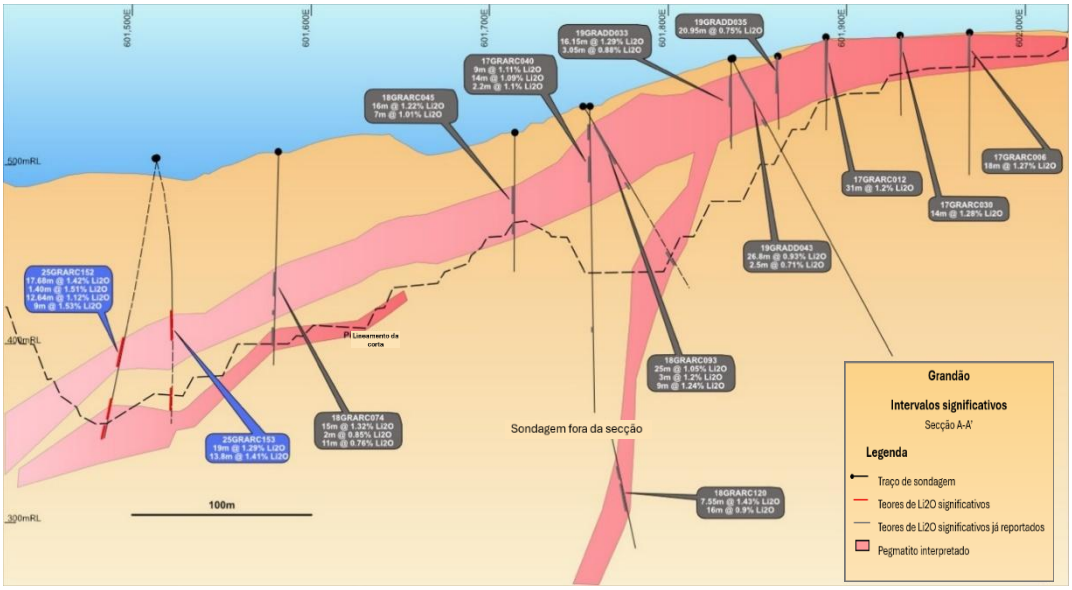


Figura 2.41 – Secção transversal do Grandão 4607960N.

- **RESERVATÓRIO**

As sondagens da Fase 2 no Reservatório deu continuidade ao teste da extensão em profundidade (*down-dip*) do pegmatito que ocorre dentro do contorno da corta da Fase 2 projetada. A campanha de perfuração abrangeu toda a extensão do pegmatito e permitiu também testar o pegmatito incluído no pedido de extensão C-100, continuando a demonstrar uma boa continuidade dos teores para leste. A Tabela 2.16 e a Tabela 2.17 apresentam as interceções significativas do programa de sondagens e a Figura 2.42 mostra a localização de alguns furos selecionados com resultados analíticos significativos. As secções transversais apresentadas nas Figura 2.43, Figura 2.44 e Figura 2.45 evidenciam a continuidade da mineralização de lítio em profundidade.

Tabela 2.16 – Resumo das análises significativas do Reservatório, Fase 2.

ID do furo	Prospeto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cota	Azimute (graus)	Inclinação (graus)	Profundidade final do furo (m)	De (m)	Até (m)	Intervalo ao longo do furo	Teor de Li_2O
25RESRC046	Reservatório	599584	4609279	639	149,2	-80	184,8	127	147	20	1,06
25RESRC047	Reservatório	599586	4609276	639	149,2	-65	178,7	127	129	2	1,51
								132	165	33	0,84
								169,27	172	2,73	1,06
25RESRC048	Reservatório	599499	4609187	642	0	-90	186,5	136,94	155	18,06	0,82
								159	172	13	1,01
25RESRC049	Reservatório	599501	4609184	642	149,2	-70	174	129,85	160	30,15	1,15
								121	127	6	0,95
25RESRC050	Reservatório	599520	4609147	631	149,2	-63	140,1	100	127	27	1,25
25RESRC051	Reservatório	599618	4609288	621	149,2	-80	160,4	111	120,36	9,36	0,81
								127	129	2	0,97
								134	139	5	0,82
								148	153	5	0,91
25RESRC052	Reservatório	599620	4609286	620	149,2	-70	158,8	112	116	4	0,94
								124	139	15	0,77
								144	149	5	1,09
25RESRC053	Reservatório	599695	4609243	614	0,	-90	111	68	89	21	1,1
25RESRC053	Reservatório	599695	4609243	614	0,	-90	111	93	102	9	1,02
25RESRC054	Reservatório	599656	4609310	604	0,	-90	150,4	99	133,91	34,91	1,24
25RESRC055	Reservatório	599658	4609307	604	149,2	-70	145,1	Sem interseção significativa			
25RESRC056	Reservatório	599914	4609253	577	359,2	-80	136,25	77	84	7	0,98
25RESRC057	Reservatório	599916	4609248	577	139,2	-60	88	Sem interseção significativa			
25RESRC058	Reservatório	599710	4609302	594	149,2	-80	96	64	86	22	1,51
25RESRC059	Reservatório	599551	4609212	586	149,2	-60	100	20	25	5	1,25
25RESRC060	Reservatório	599713	4609299	593	149,2	-60	147	65	87	22	1,35
								91	94	3	0,68
								102	104	2	0,97
								110	118	8	0,89
								86	102	16	1,25

Tabela 2.17 – Resumo das análises significativas do Reservatório, Fase 2.

ID do furo	Prospeto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cota	Azimute (graus)	Inclinação (graus)	Profundidade final do furo (m)	De (m)	Até (m)	Intervalo ao longo do furo (m)	Teor de Li2O
25RESRC062	Reservatório	599784	4609267	588	0	-90	120	72	98	26	1.1
25RESRC063	Reservatório	599935	4609231	581	149.2	-60	67	35	38	3	1.04
								42	44	2	0.86
25RESRC064	Reservatório	599970	4609239	576	149.2	-60	55	25	47	22	1.56
								105	118	13	1.11
								122	128	6	1.08
25RESRC066	Reservatório	599970	4609242	576	359.2	-80	70	30	60	30	1.26
25RESRC067	Reservatório	599481	4609137	628	149.2	-65	160.8	127	153	26	1.3
25RESRC068	Reservatório	599968	4609242	576	339.2	-60	94	49	75	26	1.33
25RESRC069	Reservatório	599902	4609215	594	149.2	-60	91	16	19	3	0.88
								29	46	17	1.31
								69	83	14	1.07
25RESRC070	Reservatório	599889	4609236	589	149.2	-60	100	41	79	38	1.67
25RESRC071	Reservatório	599480	4609138	628	149.2	-75	164.1	125	138	13	1.43
								141	148	7	0.71
								154	162	8	1.15
								30	33	3	0.9
25RESRC072	Reservatório	599889	4609238	589	0	-90	85	64	67	3	0.9
								73	78	5	0.93
25RESRC073	Reservatório	599480	4609140	628	149.2	-85	177.25	30	33	3	1.02
								133	156	23	1.11
								162.5	167.7	5.2	0.77
25RESRC074	Reservatório	599587	4609050	608	149.2	-60	90	65	73	8	0.89
25RESRC075	Reservatório	599864	4609275	577	149.2	-70	93.9	66	70	4	1.52
25RESRC076	Reservatório	599558	4609080	614	149.2	-60	100	63	68	5	0.8
								74	80	6	1.03
								83	91	8	1.04
25RESRC077	Reservatório	599566	4609082	614	149.2	-80	105	62	68	6	0.83
								72	75	3	0.81
								78	80	2	0.82
								85	91	6	0.94
25RESRC078	Reservatório	599864	4609276	577	0	-90	111.8	Sem interseção significativa			
25RESRC079	Reservatório	599734	4609259	603	149.2	-60	121	61	76	15	1.01
								82	87	5	0.76
								109	115	6	0.75
25RESRC080	Reservatório	599800	4609220	607	149.2	-60	122	42	70	28	1.17
								96	105	9	0.86
25RESRC081	Reservatório	599799	4609221	607	0	-90	133	121	124	3	1.18
								48	68	20	0.84
								92	105	13	0.9
25RESRC082	Reservatório	599801	4609224	607	329.2	-70	147	53	58	5	1.02
								89	94	5	1.03
								100	121	21	1.19
								124	137	13	0.79
25RESRC083	Reservatório	599853	4609221	600	149.2	-60	107	23	26	3	0.97
								82	100	18	1.1
25RESRC084	Reservatório	599852	4609222	600	0,	-90	111	71	102	31	1.23
25RESRC085	Reservatório	599710	4609308	594	329.2	-80	160	81	95	14	1.17
								150	152	2	1.02
								109	118	9	1.01
								72	76	4	0.7
								126	136	10	0.95
25RESRC086	Reservatório	599713	4609301	594	149.2	-80	136.9	64,	87.31	23.31	1.29
								106.74	118.48	11.74	1.24
25RESRC087	Reservatório	599828	4609265	585	149.2	-60	109	67	99	32	1.49
25RESRC088	Reservatório	599827	4609267	585	149.2	-80	116	75	100	25	1.11
25RESRC090	Reservatório	599824	4609273	585	329.2	-60	153	107	114	7	0.89
25RESRC091	Reservatório	599861	4609279	577	329.2	-70	135	87	99	12	1.24
								102	112	10	0.78
25RESDD015	Reservatório	599508	4609103	618	221.2	-50	150.8	Sem interseção significativa			
25RESDD016	Reservatório	599869	4609271	577	349.2	-50	90.8	Sem interseção significativa			

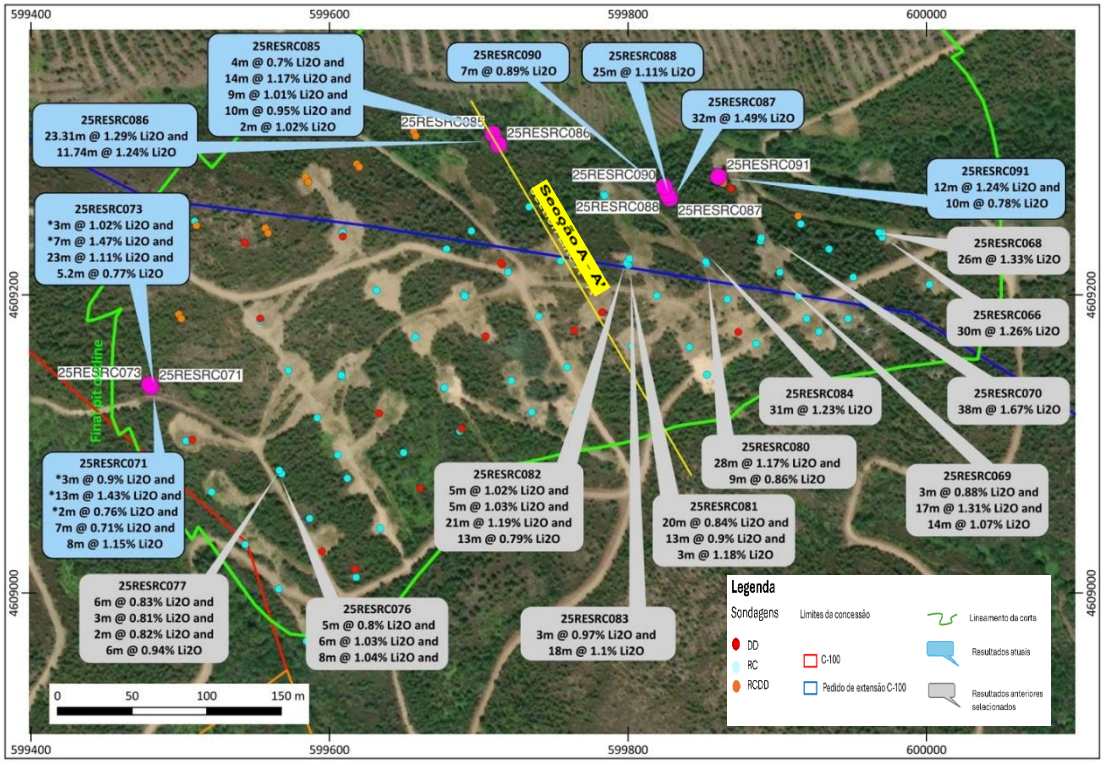


Figura 2.42 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas do Reservatório, Fase 2.

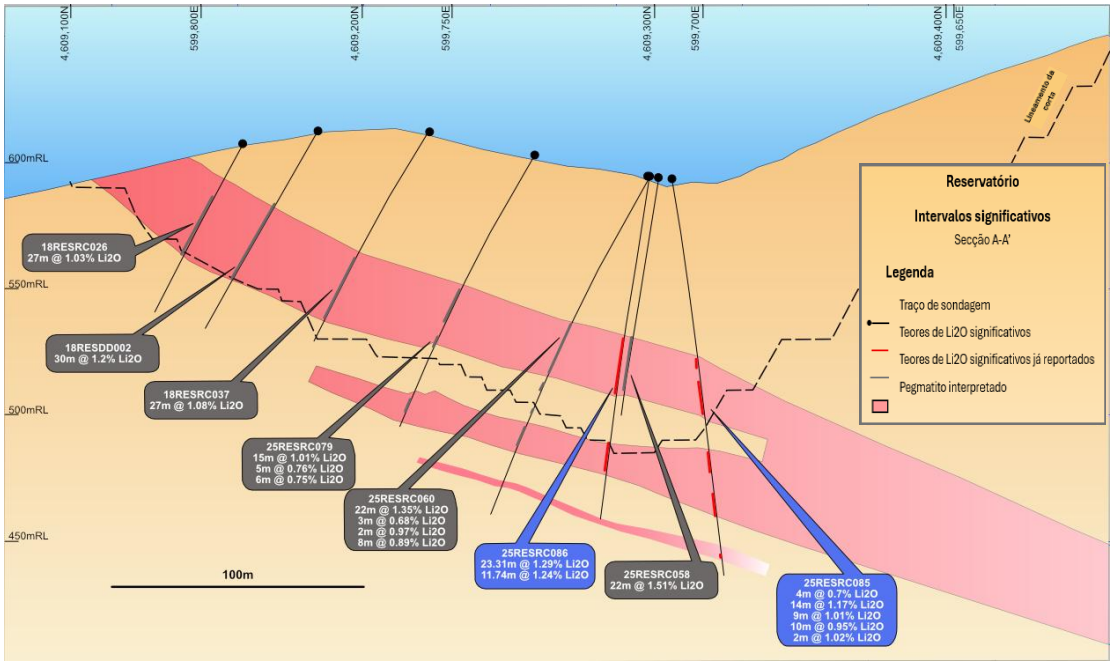


Figura 2.43 – Secção transversal do Reservatório 280m.

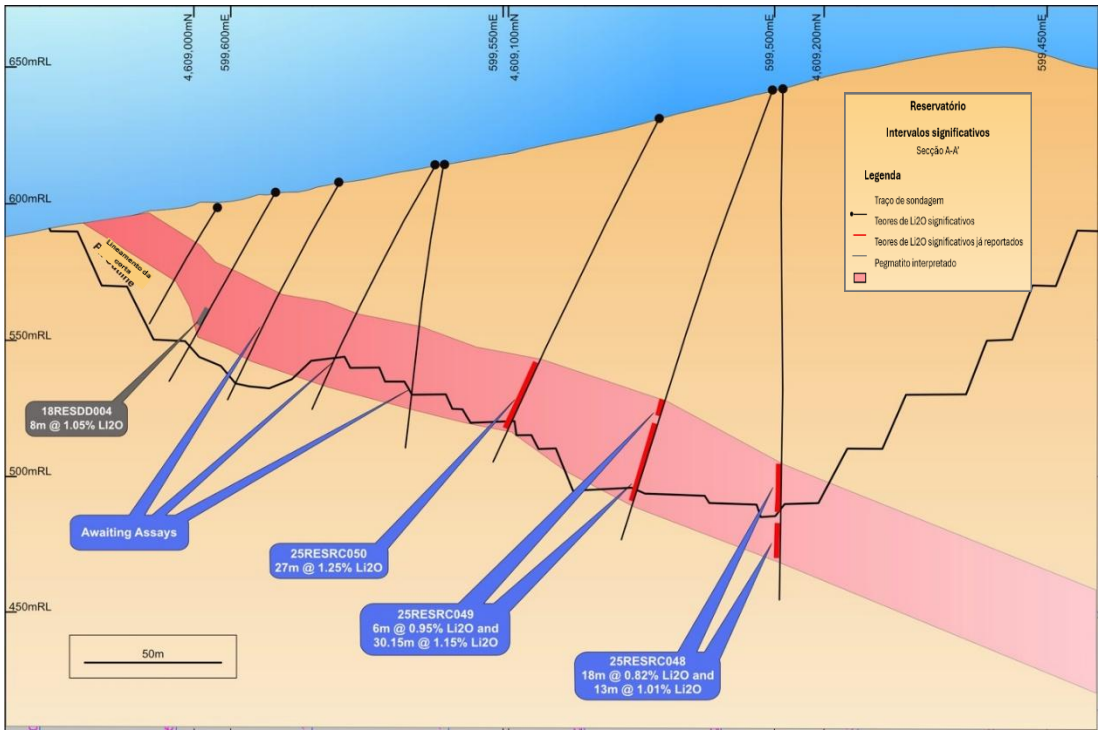


Figura 2.44 – Secção transversal do Reservatório 40m.

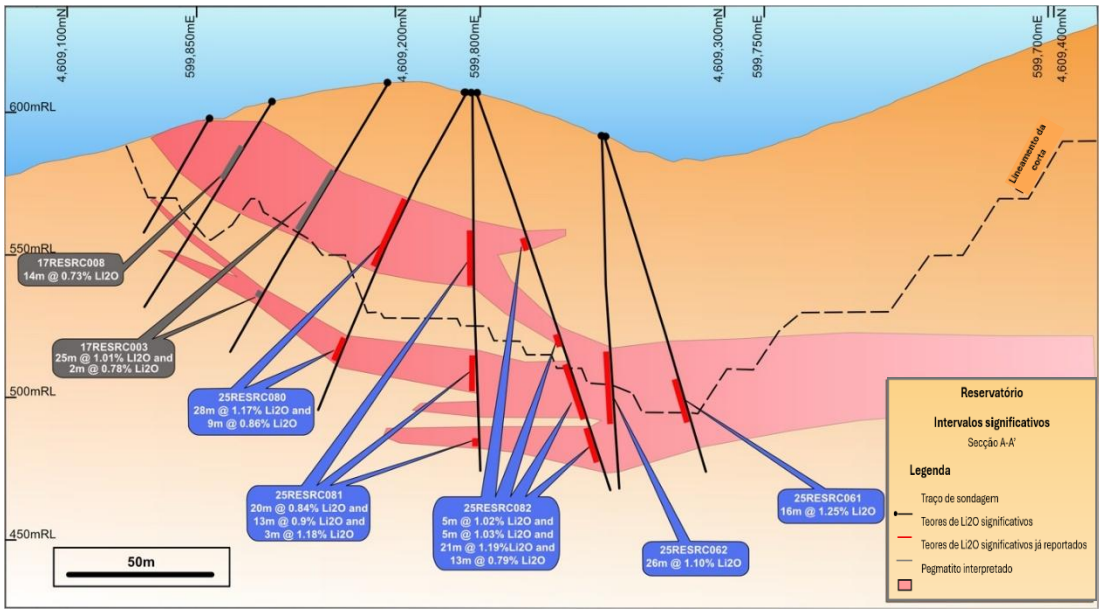


Figura 2.45 – Secção transversal do Reservatório 320m.

- **PINHEIRO**

A publicação de uma servidão de acesso permitiu que o programa de sondagens da Fase 2 no Pinheiro perfurasse o Pegmatito Ocidental ao longo da sua largura verdadeira, aproximadamente ortogonal ao pendor para oeste do corpo. Isto possibilitou uma avaliação mais rigorosa da mineralização de lítio neste corpo pegmatítico. A perfuração permitiu igualmente testar o Pegmatito Oriental, tendo evidenciado uma descontinuidade estrutural que resulta numa inclinação para oeste na porção norte do pegmatito, em contraste com a inclinação observada na porção sul. A perfuração limitada indicou ainda que a secção norte do Pegmatito Oriental aparenta infletir para leste, tornando-se mais sub-horizontal.

A Tabela 2.18 apresenta todos os ensaios significativos obtidos na perfuração da Fase 2 no Pinheiro, sendo a localização de alguns furos selecionados apresentada na Figura 2.46 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas do Pinheiro, Fase 2. As secções transversais das Figura 2.47, Figura 2.48 e Figura 2.49 ilustram a extensão da mineralização de lítio nos Pegmatitos Oriental e Ocidental.

Tabela 2.18 – Resumo das análises significativas do Pinheiro, Fase 2.

ID do furo	Prospeto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Cota	Azimute (graus)	Inclinação (graus)	Profundidade final do furo (m)	De (m)	Até (m)	Intervalo ao longo do furo (m)	Teor de Li_2O
25PNRRC026	Pinheiro	601608	4606921	573	269.2	-70	120	95	116	21	1.26
25PNRRC027	Pinheiro	601579	4606880	582	0	-90	100	70	96	26	1.4
25PNRRC028	Pinheiro	601577	4606879	582	269.2	-80	94.3	48.45	80.72	32.27	1.31
25PNRRC029	Pinheiro	601575	4606878	582	269.2	-60	70	29	35	6	1.01
								38	54	16	0.78
25PNRRC030	Pinheiro	601431	4606801	554	89.2	-60	70	38	66	28	1.21
								1	7	6	0.73
								11	35	24	1.17
25PNRRC031	Pinheiro	601600	4607010	583	244.2	-60	128.55	91.2	98.8	7.6	1.19
								8	10	2	1.2
								16	20	4	1.64
25PNRRC032	Pinheiro	601639	4607037	584	269.2	-60	100	7	18	11	0.98
25PNRRC033	Pinheiro	601637	4606996	573	269.2	-60	131.5	Sem interseção significativa			
25PNRRC034	Pinheiro	601665	4607062	591	269.2	-60	85	15	58	43	1.24
								70	78	8	0.66
25PNRRC035	Pinheiro	601590	4606977	572	269.2	-60	110	46	76	30	1.5
								81	84	3	0.71
25PNRRC036	Pinheiro	601371	4606845	546	49.2	-60	100	27	59	32	1.66
								63	65	2	0.65
25PNRRC037	Pinheiro	601428	4606901	545	134.2	-60	151	15	18	3	0.8
25PNRRC038	Pinheiro	601592	4606976	572	269.2	-70	155.5	138	145.14	7.14	1.29
25PNRRC039	Pinheiro	601600	4606972	572	219.2	-64	143.35	111	135	24	1.4
25PNRRC040	Pinheiro	601343	4606919	540	79.2	-65	70	32	60	28	1.13
25PNRRC041	Pinheiro	601332	4606963	553	89.2	-70	80	Sem interseção significativa			
25PNRRC042	Pinheiro	601364	4606841	544	89.2	-70	158	81	84	3	0.83
								96	98	2	0.81
								107	113	6	0.88
								126	132	6	1.26
								135	137	2	0.82
								140	142	2	0.73
25PNRDD009	Pinheiro	601595	4606830	581	269.2	-60	84.85	42	51	9	0.62
25PNRDD009	Pinheiro	601595	4606830	581	269.2	-60	84.85	54,	56.87	2.87	0.55
25PNRDD010	Pinheiro	601590	4606831	584	214.2	-57	110.35	96.21	98.11	1.9	1.11
25PNRDD011	Pinheiro	601583	4606910	576	262.2	-50	120.75	44.88	65.38	20.5	1.47
								32	34	2	1.29
								40	42	2	1.19
25PNRDD012	Pinheiro	601580	4606910	576	62.2	-50	101.2	Sem interseção significativa			
25PNRDD013	Pinheiro	601399	4606803	539	89.2	-60	124.9	65.96	97	31.04	1.46
25PNRDD014	Pinheiro	601415	4606856	561	184.2	-50	111.8	36.55	56	19.45	0.9
25PNRDD015	Pinheiro	601598	4607012	584	309.2	-50	126.8	11.85	29	17.15	0.69
								32	43	11	0.81
								50	69	19	1.25
								73	120	47	1.29
25PNRDD016	Pinheiro	601400	4606802	539	109.2	-50	108.3	64.6	68.55	3.95	1.34
								71.25	76	4.75	1.07
25PNRDD017	Pinheiro	601599	4607011	583	309.2	-62	100.1	54.33	57.33	3	0.67
								46.67	48.31	1.64	1.01
								32.73	40	7.27	1.38
								21.88	27.32	5.44	0.69
								11.75	18.85	7.1	0.84
25PNRDD018	Pinheiro	601638	4606995	573	229.2	-55	179.55	148.2	172	23.8	1.1
25PNRDD019	Pinheiro	601608	4606921	573	294.2	-50	140.19	Sem interseção significativa			
25PNRDD020	Pinheiro	601581	4606910	575	329.2	-50	85.85	Sem interseção significativa			
25PNRDD021	Pinheiro	601350	4606883	537	89.2	-75	152.5	56	123	67	1.82

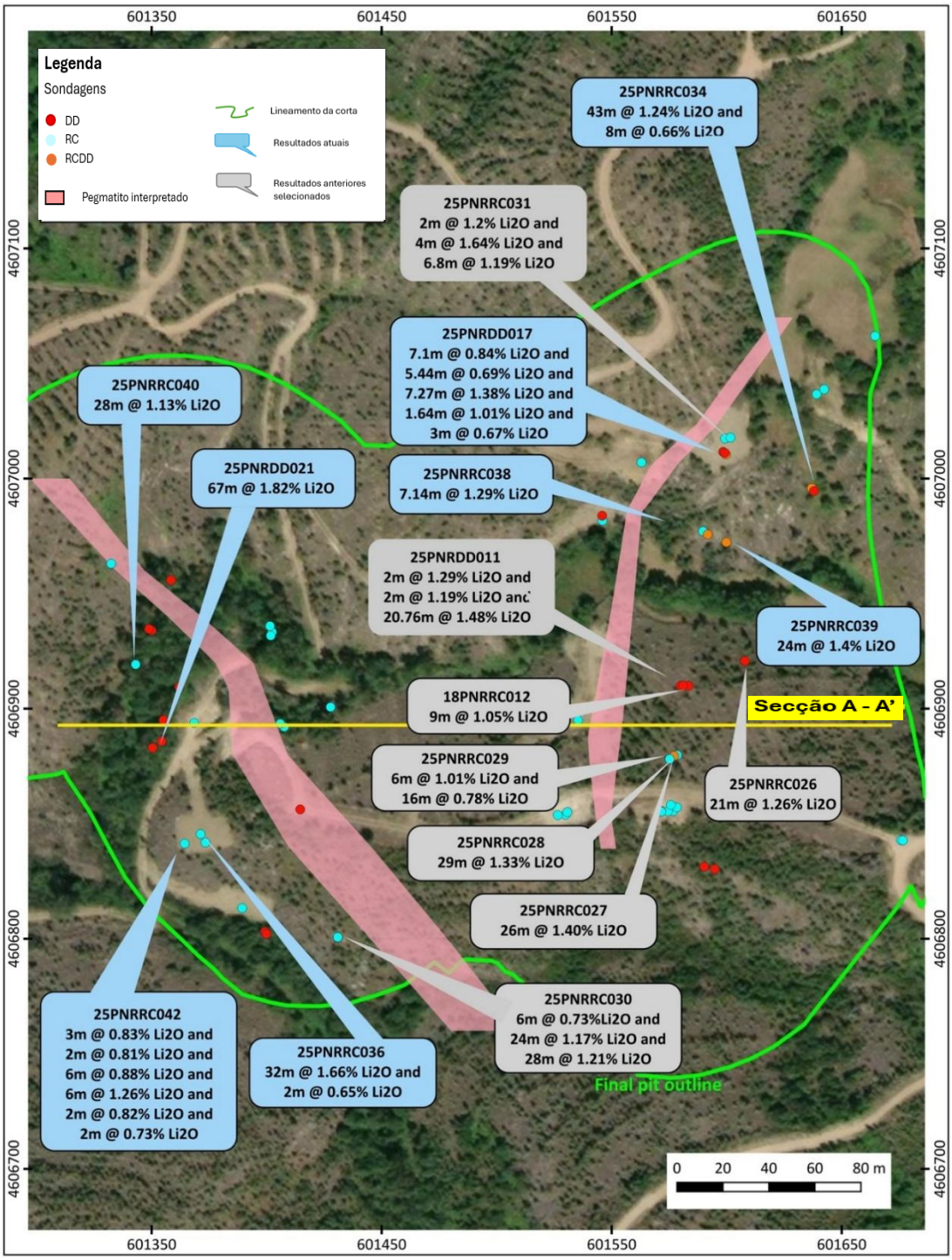


Figura 2.46 – Localizações das sondagens e análises significativas selecionadas do Pinheiro, Fase 2.

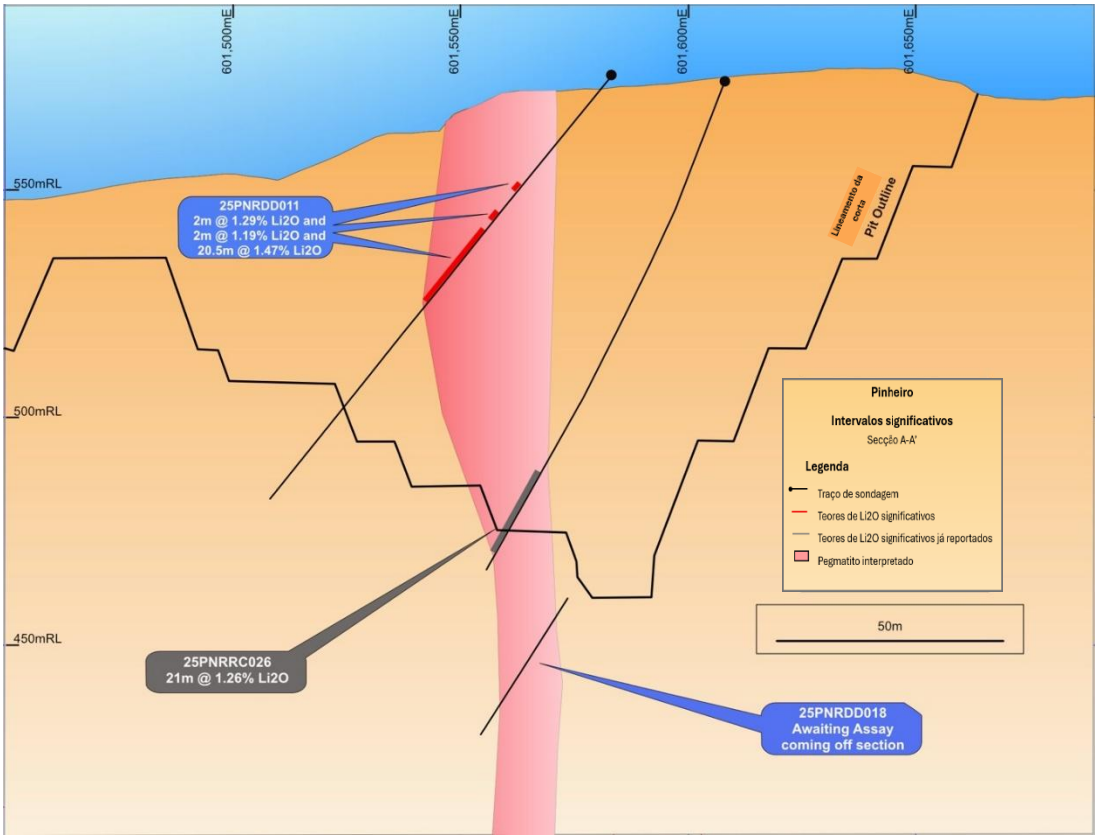


Figura 2.47 – Secção transversal do Pinheiro 4606920N no Pegmatito Oriental.

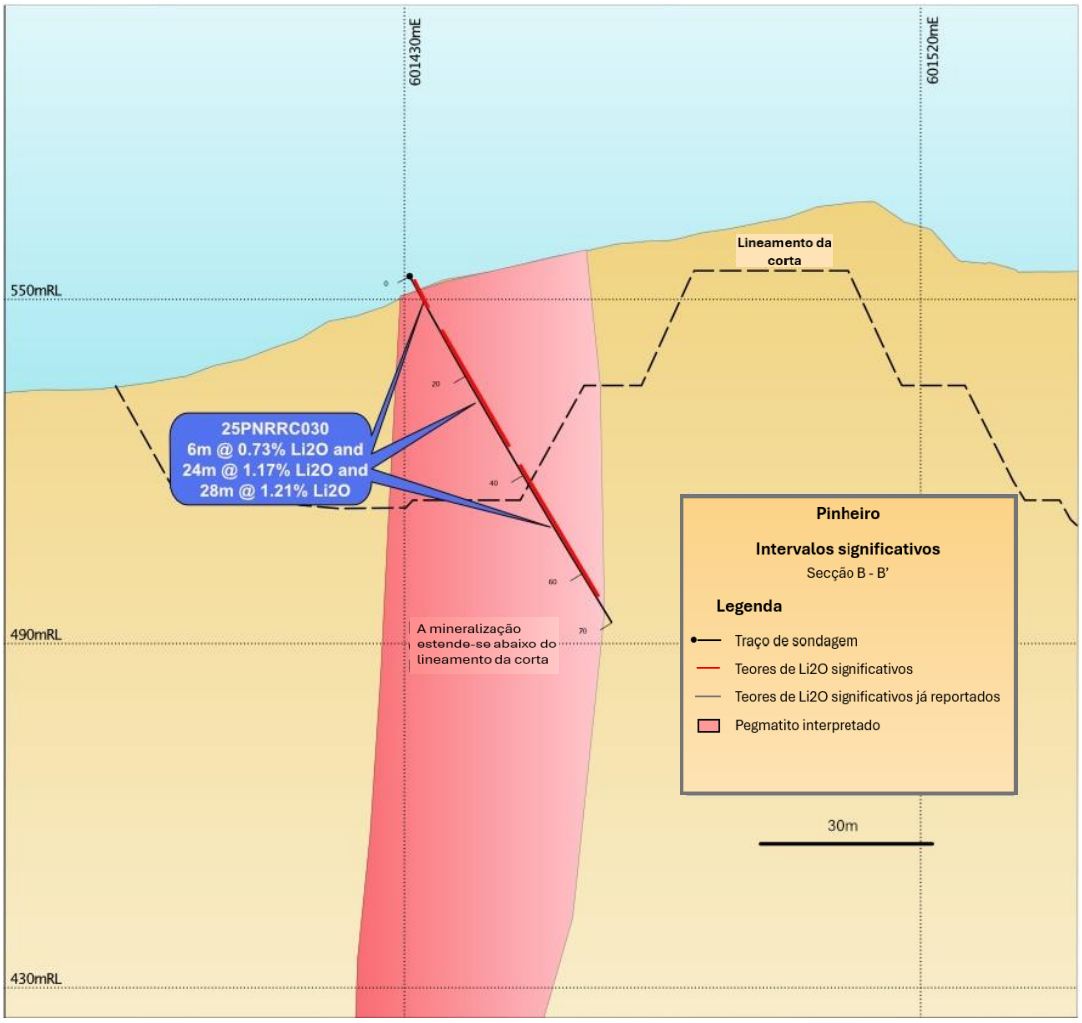


Figura 2.48 – Secção transversal do Pinheiro 4606920N no Pegmatito Ocidental.

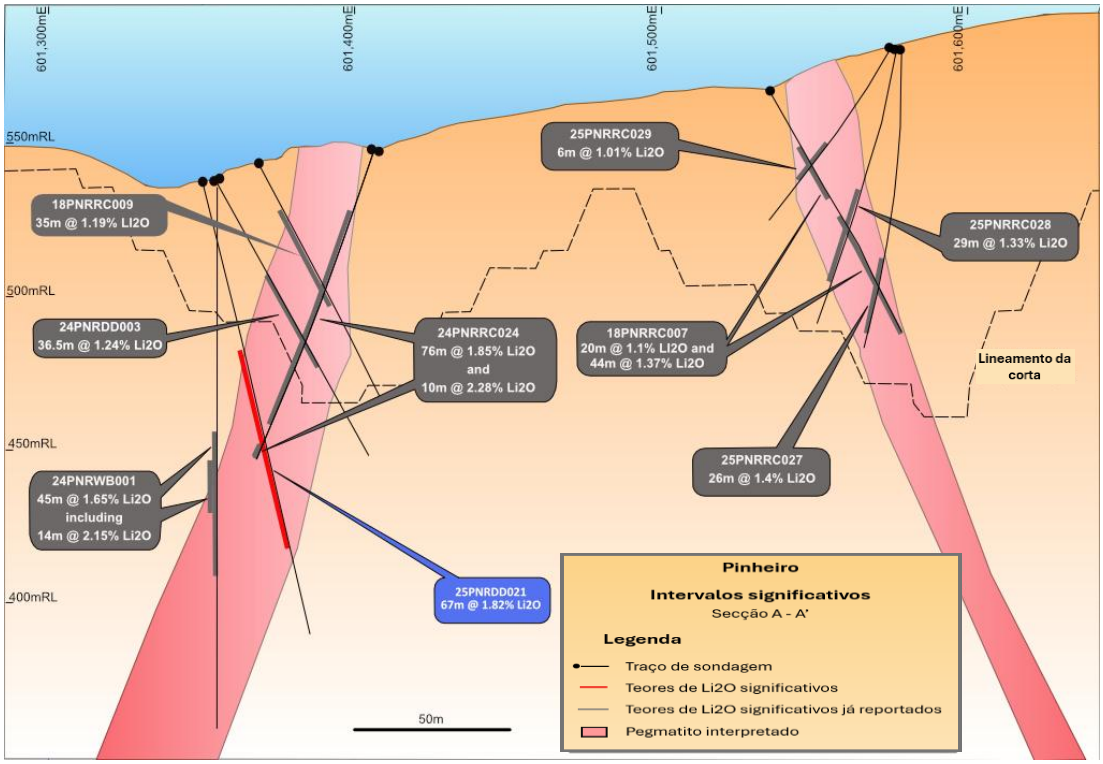


Figura 2.49 – Secção transversal do Pinheiro 4606920N em ambos os Pegmatitos.

2.7 ESTIMATIVA DE RECURSOS

A estimativa dos recursos até 2019 no Projeto de Ampliação da Mina do Barroso foi realizada pela Payne Geological Services Pty Ltd (Paynegeo), uma consultora externa e independente de exploração mineira com sede em Perth, Austrália Ocidental, que possui ampla experiência numa vasta gama de depósitos minerais.

A Payne Geological Services conseguiu criar modelos geológicos a partir da perfuração, que foram utilizados para ajudar na localização dos furos de perfuração e levaram a um rápido aumento dos recursos entre o final de 2017 e meados de 2019.

Em abril de 2019, a Estimativa de Recurso Mineral para o Depósito de Lítio foi atualizada pela Payne Geological Services. Essa estimativa incluía a mineralização definida nos depósitos do Grandão, Reservatório, Pinheiro e NOA, que coletivamente são referidos como o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso. O recurso total então estimado para o projeto era de 23,5 milhões de toneladas a 1,02% de Li_2O, dos quais 56% estão na categoria de Medido ou Indicado.

A partir de 2024, as estimativas de recursos foram realizadas pela Ashmore Advisory Pty Ltd, de Perth, uma consultora independente de geologia de recursos, com experiência em projetos de lítio no Gana. A Ashmore Advisory é uma associada colaboradora da

Payne Geological Services e foi totalmente informada sobre a metodologia do programa em termos de perfuração, amostragem, controlo de qualidade (QA/QC) e geologia.

Em maio de 2024, após a conclusão da Fase 1 de perfuração, foi anunciado um recurso atualizado para o NOA, com a maior parte do recurso agora classificado como indicado, com um ligeiro aumento em toneladas e uma pequena diminuição no teor de lítio.

A atualização dos Recursos Minerais de setembro de 2025 considerada neste Plano de Lavra abrange os depósitos do Grandão, Reservatório, Pinheiro e NOA. O resumo por categoria e âmbito territorial é apresentado na Tabela 2.19 e o detalhe por depósito na Tabela 2.20. As estimativas são reportadas de acordo com o Código JORC de 2012.

2.7.1 RECURSOS CLASSIFICADOS (JORC)

A Estimativa de Recurso Mineral foi classificada como Recurso Mineral Medido, Indicado e Inferido, de acordo com o Código JORC, Edição de 2012, e está resumida na Tabela 2.19 e detalhada na Tabela 2.20.

Tabela 2.19 – Resumo da estimativa do recurso mineral do depósito de lítio do Barroso, setembro de 2025 (inclui C-100 e área de extensão).

Depósito	Classe do Recurso	Tonelagem em Mt	Li_2O %	Fe_2O_3 %	Li_2O Toneladas
Todos os Depósitos (Inseridos na Concessão C-100)	Medido	8,7	1,06	0,7	93 100
	Indicado	13,5	1,05	0,8	137 900
	Inferido	7,5	1,11	0,7	79 300
	Total	**29,7**	**1,07**	**0,7**	**310 300**
Todos os Depósitos (Inseridos na Concessão C-100 e Sob Solicitação)	Medido	8,7	1,06	0,7	93 100
	Indicado	16,3	1,05	0,8	167 100
	Inferido	10,6	1,06	0,7	106 200
	Total	**35,6**	**1,05**	**0,5**	**366 400**

Tabela 2.20 – Resumo do recurso mineral em setembro de 2025 (teor de corte de 0,5% Li_2O).

Depósito	Classe do Recurso	Tonelagem em Mt	Li_2O %	Fe_2O_3 %	Li_2O Toneladas
Grandão	Medido	8,7	1,06	0,7	93 100
	Indicado	5,0	1,03	0,8	51 100
	Inferido	4,4	1,06	0,8	46 400
	Total	**18,1**	**1,05**	**0,7**	**190 600**
Reservatório (Inserido na Concessão C-100)	Medido				
	Indicado	5,3	0,98	0,9	52 000
	Inferido	0,8	1,10	0,9	9 200
	Total	**6,2**	**0,99**	**0,9**	**61 100**
Reservatório (Sob Solicitação)	Medido				
	Indicado	2,8	1,02	0,9	28 600
	Inferido	3,2	0,89	0,8	28 100
	Total	**6,0**	**0,95**	**0,9**	**56 700**
Reservatório (Inserido na Concessão C-100 e Sob Solicitação)	Medido				
	Indicado	8,1	1,00	0,9	81 200
	Inferido	4,0	0,90	0,9	36 100
	Total	**12,1**	**0,97**	**0,9**	**117 600**
Pinheiro	Medido				
	Indicado	2,6	1,11	0,7	28 500
	Inferido	2,2	1,08	0,7	23 300
	Total	**4,8**	**1,09**	**0,7**	**52 600**

Depósito	Classe do Recurso	Tonelagem em Mt	Li_2O %	Fe_2O_3 %	Li_2O Toneladas
NOA	Medido				
	Indicado	0,6	1,03	0,8	6 300
	Inferido	0,1	0,95	0,5	400
	Total	**0,7**	**1,03**	**0,8**	**6 700**

No presente Plano de Lavra, os Recursos Minerais são reportados de forma inclusiva das Reservas Mineiras, conforme o enquadramento apresentado no Capítulo 4. Assim, as tonelagens de recursos e reservas não devem ser somadas. As Reservas Mineiras declaradas derivam de Recursos Minerais Medidos e Indicados, após aplicação dos Fatores Modificadores, e encontram-se classificadas como Reservas Prováveis. Os Recursos Inferidos não integram as Reservas Mineiras declaradas.

O inventário considerado no programa de prospeção e na avaliação económica distingue-se da estimativa global de Recursos Minerais apresentada neste capítulo e das Reservas Mineiras declaradas no Capítulo 4. A sua composição e reconciliação são apresentadas na secção 4.2. A inclusão de Recursos Inferidos nesse inventário não constitui a sua conversão em Reservas Mineiras.

A estimativa dos minerais industriais associados ao recurso de lítio quantifica o quartzo e o feldspato contidos no material mineralizado. A sua apresentação separada permite identificar estes constituintes sem os adicionar à tonelagem do recurso de lítio. A estimativa mineralógica distingue-se das quantidades de matérias-primas secundárias obtidas no processamento e destinadas à comercialização.

No programa de exploração, as matérias-primas secundárias são individualizadas pelas frações DMS, mica, flotação e fina. O quartzo e o feldspato são constituintes minerais destas correntes, cuja composição varia com o minério e o processo. As quantidades por fração e destino constam dos Capítulos 4, 5 e 7; a valorização económica agregada é apresentada no Capítulo 8.

2.7.1.1 Evolução dos Recursos Classificados (2017-2025)

A Savannah Resources adquiriu a concessão C – 100 “Mina do Barroso”, que era detida pela Slipstream Resources e outros parceiros em maio de 2017, após reconhecer o potencial do projeto para abrigar um depósito significativo de mineralização de lítio. Desde a aquisição do projeto, a Savannah tem gerido a prospeção e optado por uma abordagem intensiva na perfuração dos principais alvos de pegmatito, com o objetivo de definir os recursos. A perfuração inicial confirmou que a mineralização de lítio era proveniente de piroxena de lítio, espodumena, e as avaliações metalúrgicas iniciais

provaram que a espodumena podia ser extraída e concentrada utilizando vários métodos, como separação em meio denso (DMS) ou flotação.

As sondagens dentro da concessão C-100 destacam quatro depósitos principais: Grandão, Reservatório, Pinheiro e NOA, que tiveram perfurações extensas realizadas a fim de definir recursos para uma futura exploração mineira. A perfuração de 2017 a 2019 teve como objetivo definir a extensão da mineralização e as estimativas de recursos para cada um dos depósitos foram usadas como base para um estudo preliminar para avaliar o potencial económico do recurso total. Um resultado positivo do estudo levou a empresa a avançar diretamente para um estudo de viabilidade definitivo (DFS), com o objetivo de comprovar a viabilidade económica de uma operação de exploração mineira.

A campanha de sondagens subsequente, inicialmente realizada em 2023/24 (Fase 1) e continuada em 2025 como parte da perfuração da Fase 2, concentrou-se na atualização dos recursos de cada um dos depósitos para uma categoria medida ou indicada dentro das extensões exploráveis, como requisito para o DFS. Esta perfuração foi extensa o suficiente para resultar na melhoria necessária da estimativa de recursos, além de adicionar aumentos substanciais ao recurso global, conforme descrito na Tabela 2.19 e Tabela 2.20.

A Figura 2.50 apresenta a distribuição dos Recursos Minerais por categoria e âmbito territorial, de acordo com a estimativa resumida na Tabela 2.19.

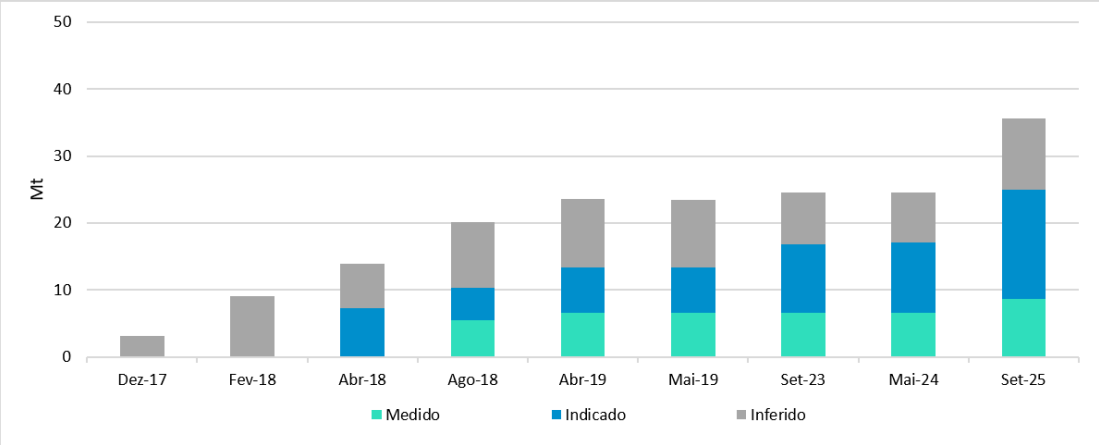


Figura 2.50 – Recursos Minerais por categoria e âmbito territorial, setembro de 2025.

2.7.2 AVALIAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS SECUNDÁRIAS

A análise e estudo dos minerais associados (minerais industriais - feldspato e quartzo) como matérias-primas secundárias, foram também realizadas pela Ashmore Advisory Pty Ltd, em conjunto com a avaliação da espodumena (mineral de lítio) e vem integrada na declaração de recursos, da forma considerada adequada e segundo o preconizado pelo código JORC 2012. Tal como descrito acima, a recuperação destes matérias faz-se após a recuperação da espodumena, resultam do processo de beneficiação e devem ser

reportadas em separado para eliminar a possibilidade de dupla contabilização de volumes, assim como os alvos de prospeção e pesquisa.

Na tabela seguinte resumem-se os recursos minerais de quartzo e feldspato associados aos depósitos do Grandão, Reservatório e Pinheiro. Estes recursos não correspondem às quantidades de matérias-primas secundárias produzidas ou comercializadas após processamento. Os relatórios de suporte encontram-se no Anexo II.5.

Tabela 2.21 – Tabela de Recursos Minerais de Quartzo e Feldspato do Grandão (novembro de 2025), Reservatório e Pinheiro (outubro de 2025), reportados ao teor de corte de 0,5% Li_2O.

Depósito	Classe Recurso	Ton	Quartzo	Quartzo	Feldspato	Feldspato
		Mt	%	Mt	%	Mt
Grandão (Novembro de 2025)	Medidos	6,5	31,5	2,05	42,9	2,80
	Indicados	4,0	34,0	1,36	42,4	1,69
	Inferidos	1,3	32,9	0,44	41,8	0,56
	Total	**11,9**	**32,5**	**3,85**	**42,6**	**5,05**
Reservatório (Outubro de 2025)	Medidos	-	-	-	-	-
	Indicados	5,2	29,9	1,57	45,0	2,36
	Inferidos	0,1	36,2	0,04	38,7	0,04
	Total	**5,3**	**30,0**	**1,60**	**44,8**	**2,40**
Pinheiro (Outubro de 2025)	Medidos	-	-	-	-	-
	Indicados	1,4	28,9	0,39	45,6	0,62
	Inferidos	0,1	26,0	0,03	50,7	0,06
	Total	**1,5**	**28,7**	**0,43**	**46,0**	**0,68**

2.7.3 ALVOS DE PROSPEÇÃO

O conhecimento acumulado da Savannah na geologia local permitiu desenvolver alvos de prospeção para cada depósito, utilizando o conhecimento sobre a qualidade e a geometria obtido a partir da extensa perfuração em cada prospeto. Com base na modelação realista de cada pegmatito, foi possível realizar uma avaliação da continuidade, o que permitiu uma estimativa da mineralização de lítio que poderia ser incluída nos recursos futuros. Os alvos de prospeção para cada um dos prospetos estão resumidos na Tabela 2.22, com a estimativa prevista de toneladas e teor que poderiam ser alcançados com mais perfurações

Tabela 2.22 – Resumo dos alvos de prospeção do depósito de lítio do Barroso.

Depósito	Variação de Tonelagem (Mt)		Li_2O %
	Inferior	Superior	
Reservatório	5,0	7,0	0,9 – 1,2 %
Grandão	4,0	8,0	1,0 – 1,2 %

Depósito	Variação de Tonelagem (Mt)		Li_2O %
	Inferior	Superior	
Pinheiro	2,0	4,0	1,0 – 1,3 %
NOA	2,0	4,0	1,0 – 1,2 %
Regional	20,0	35,0	0,9 – 1,2 %
Total dos Alvos de Prospeção	**33,0**	**58,0**	**0,9 – 1,2 %**

Declaração de advertência: a quantidade e o teor potenciais dos Alvos de Prospeção são de natureza conceptual, não tendo sido realizados trabalhos de prospeção suficientes para estimar um recurso mineral, sendo incerto se uma prospeção mais aprofundada resultará na definição de um recurso mineral.

Os resultados das campanhas de sondagens demonstraram a continuidade da mineralização em profundidade e ao longo dos pegmatitos estudados, em particular no Pinheiro e no Reservatório. A prospeção regional considerada nesta secção compreende os alvos Alto da Urreta, Alto dos Cortiços, Carvalha da Bácora, Piagro Negro, Grandão Noroeste e Grandão Norte. Os intervalos de tonelagem e teor destes alvos são apresentados na Tabela 2.23; a Figura 2.51 representa os intervalos de tonelagem.

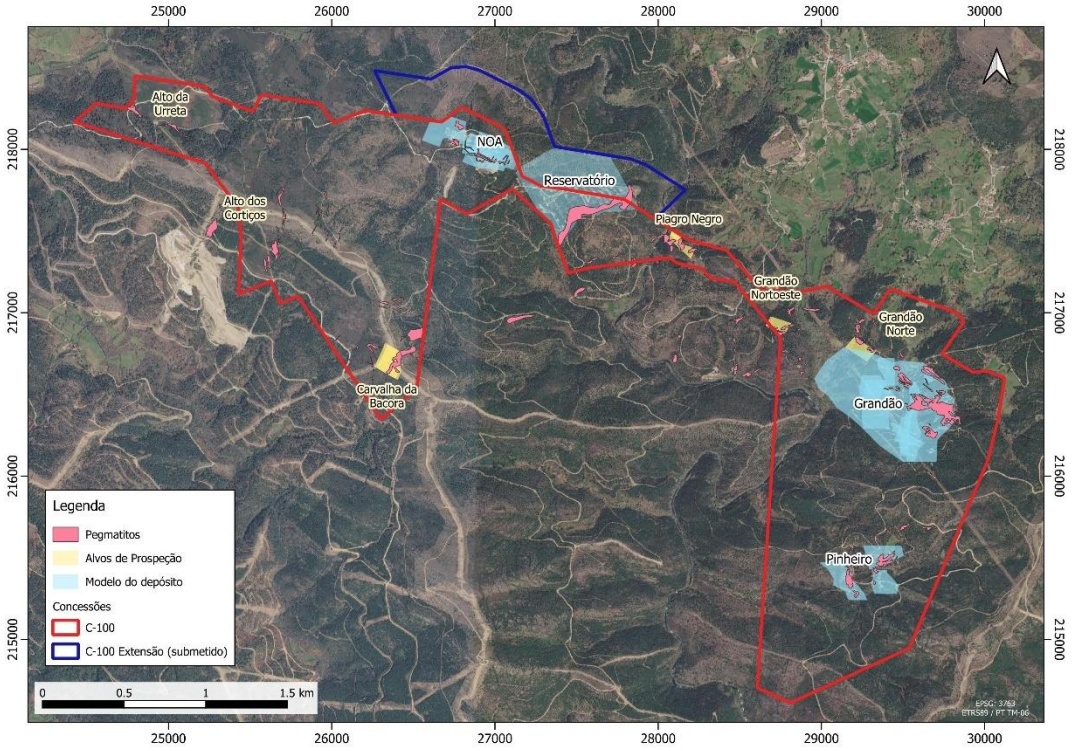


Figura 2.51 – Alvos de prospeção considerados no PDL.

Tabela 2.23 – Intervalos de tonelagem dos alvos de prospeção considerados no PDL.

Prospeto	Variação de Tonelagem (Mt)		Li_2O %
	Inferior	Superior	
Alto da Urreta	2,0	3,0	0,7 a 1,0 %
Alto dos Cortiços	3,0	6,0	0,9 a 1,2 %
Carvalha da Bácora	3,0	6,0	0,9 a 1,2 %
Piagro Negro	1,0	2,0	0,7 a 1,0 %
Grandão Noroeste	1,0	2,0	0,7 a 1,1 %
Grandão Norte	1,0	2,0	0,8 a 1,1 %
Total dos alvos	11,0	**21,0**	**0,7 a 1,2 %**

**** Declaração de advertência: a quantidade e o teor potenciais dos Alvos de Prospeção são de natureza conceptual, não tendo sido realizados trabalhos de prospeção suficientes para estimar um recurso mineral, sendo incerto se uma prospeção mais aprofundada resultará na definição de um recurso mineral.***

O projeto, através da perfuração contínua e prospeção da superfície, conseguiu obter um crescimento constante nos alvos de prospeção (ver Figura 2.52), destacando o potencial contínuo de poder definir mais recursos através de mais prospeção e perfuração.

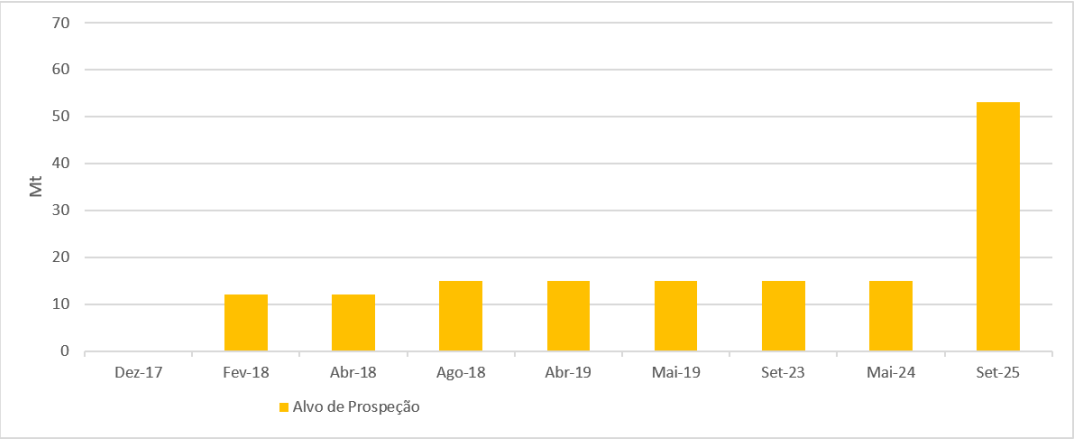


Figura 2.52 – Crescimento no [limite superior] da tonelagem dos alvos de prospeção desde 2018.

**** Declaração de advertência: a quantidade e o teor potenciais dos Alvos de Prospeção são de natureza conceptual, não tendo sido realizados trabalhos de prospeção suficientes para estimar um recurso mineral, sendo incerto se uma prospeção mais aprofundada resultará na definição de um recurso mineral.***

2.7.4 METODOLOGIA E ESTIMAÇÃO DE RECURSOS POR DEPÓSITO

A metodologia e o detalhe das estimativas apresentadas na secção 2.7 constam dos relatórios por jazigo ou corta do Anexo II.6 e, para os recursos minerais industriais de quartzo e feldspato, do Anexo II.5.

De uma forma genérica cumpre com as metodologias definidas para os procedimentos de certificação de recursos (JORC 2012), inicia-se por uma recolha de amostras devidamente controlada por profissionais qualificados, com recurso a sondagens mapeadas e medidas com a maior precisão possível, e a análise química de rocha em laboratórios certificados, com todos os procedimentos de Controlo de Qualidade (QA/QC). Posteriormente integrados numa base de dados numérica, que em conjunto com a topografia e cartografia detalhada de superfície se geram modelos 3D dos corpos mineralizados, e modelos numéricos dos elementos a avaliar.

3 HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA

3.1 ENQUADRAMENTO HIDROLÓGICO

Segundo o Índice Hidrográfico e Classificação Decimal dos Cursos de Água (DGRAH, 1981), a zona da Mina do Barroso insere-se na região hidrográfica 2, correspondente à bacia hidrográfica do rio Douro. Na envolvente, a linha de água principal é o rio Covas, afluente da margem direita do rio Beça, na bacia hidrográfica do rio Tâmega, que é um afluente da margem direita do rio Douro. Existem ainda dois afluentes na margem esquerda do rio Covas, nomeadamente o Corgo do Fojo e o Corgo dos Lamais e um afluente na margem direita designado por ribeiro do Couto. Na Tabela 3.1 indica-se a classificação decimal, a área da bacia hidrográfica e o comprimento dos cursos de água abrangidos e influenciados pelo estudo.

Tabela 3.1 – Características dos principais cursos de água existentes na envolvente da mina.

Curso de água	Classificação decimal	Área da bacia hidrográfica (km²)	Comprimento do curso de água (km)
Rio Covas	201 20 34 08	108,8	21,5
Ribeiro do Couto	201 20 34 08 02	64,6	5,5
Corgo do Fojo	201 20 34 08 01	3,8	3,8
Corgo dos Lamais	201 20 34 08 03	5,0	6,0

As características fisiográficas destas bacias hidrográficas, em conjugação com as da precipitação, induzem um regime hidrológico permanente, caracterizado por um caudal circulante significativo nos cursos de água principais.

Na rede hidrométrica nacional não existe nenhuma estação nas linhas de água abrangidas ou influenciadas pela mina. Embora exista uma estação hidrométrica geograficamente próxima da zona, Vale Giestoso (03K01) no rio Beça, verifica-se que a área dominada por essa estação (77 km^2) é significativamente superior à das bacias em estudo. Segundo os registos de escoamentos disponíveis nesta estação (período 1957/58 a 1982/83) o escoamento médio anual é de 825 mm.

Os registos de precipitação no posto de Couto de Dornelas (04J02), no período 1952/53 a 1981/82, registaram uma precipitação média anual de 1584 mm, em que cerca de 80% ocorreu entre outubro e março.

Os aquíferos associados aos afloramentos das formações metassedimentares paleozóicas são muito complexos e anisotrópicos, com circulação predominante de meio fraturado e relativamente independentes entre si, dependendo da interconectividade das fraturas e da permeabilidade dos blocos, considerada praticamente nula. O regime hidrológico é largamente influenciado pelas condições estruturais, topográficas e litológicas das formações atravessadas.

Sendo o relevo acentuado e os declives fortes, o escoamento superficial torna-se muito importante e, consequentemente, o escoamento subterrâneo reduzido. Nas formações geológicas a água apenas circula em zonas alteradas (meteorizadas), diáclases ou em estruturas de falha, desde que não preenchidas por material impermeável. Normalmente, são as falhas que se revelam mais produtivas.

3.2 HIDROGEOMORFOLOGIA E CLIMA

A topografia e a geomorfologia locais são marcadas por topos montanhosos e elevações arredondadas, intercalados por intrincados vales fluviais que na sua maioria não possuem significativas planícies aluviais. As redes de drenagem locais e regionais são muito densas, de fisionomia essencialmente dendrítica, e a generalidade dos cursos de água têm carácter permanente. O rio Covas revela-se como o principal sistema de drenagem local o qual apresenta sentidos de escoamento preferenciais norte-sul, confluindo para o rio Beça. O ponto de confluência situa-se a cerca de 1,88 km (para sudoeste) dos limites do projeto. Na figura que se segue é apresentado um esboço geomorfológico ilustrativo do relevo e hidrografia da região.

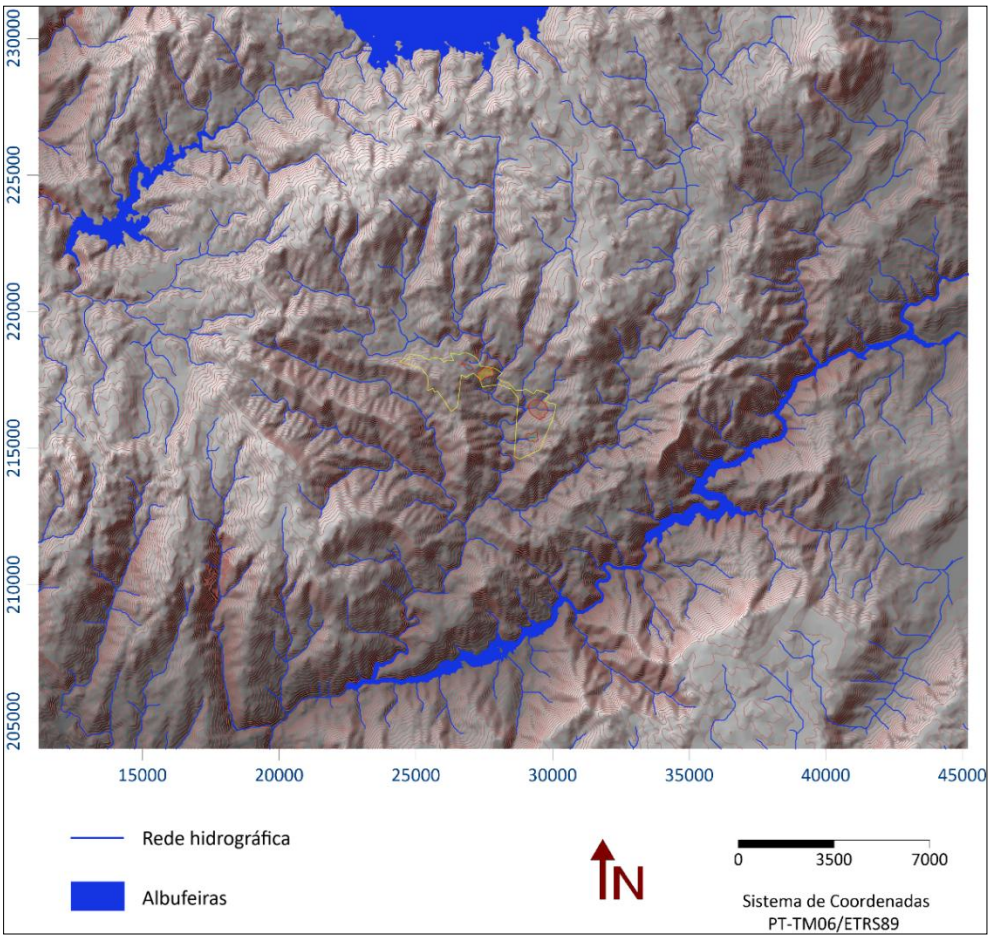


Figura 3.1 – Esboço geomorfológico da região, ilustrativo dos principais contornos de relevo e hidrografia.

Na Figura 3.2 é apresentado um esboço hidrogeológico local (ampliação da Figura 3.1), com a representação das sub-bacias hidrográficas intersetadas e próximas do projeto. Em suma, estas sub-bacias correspondem às principais massas de água superficiais locais.

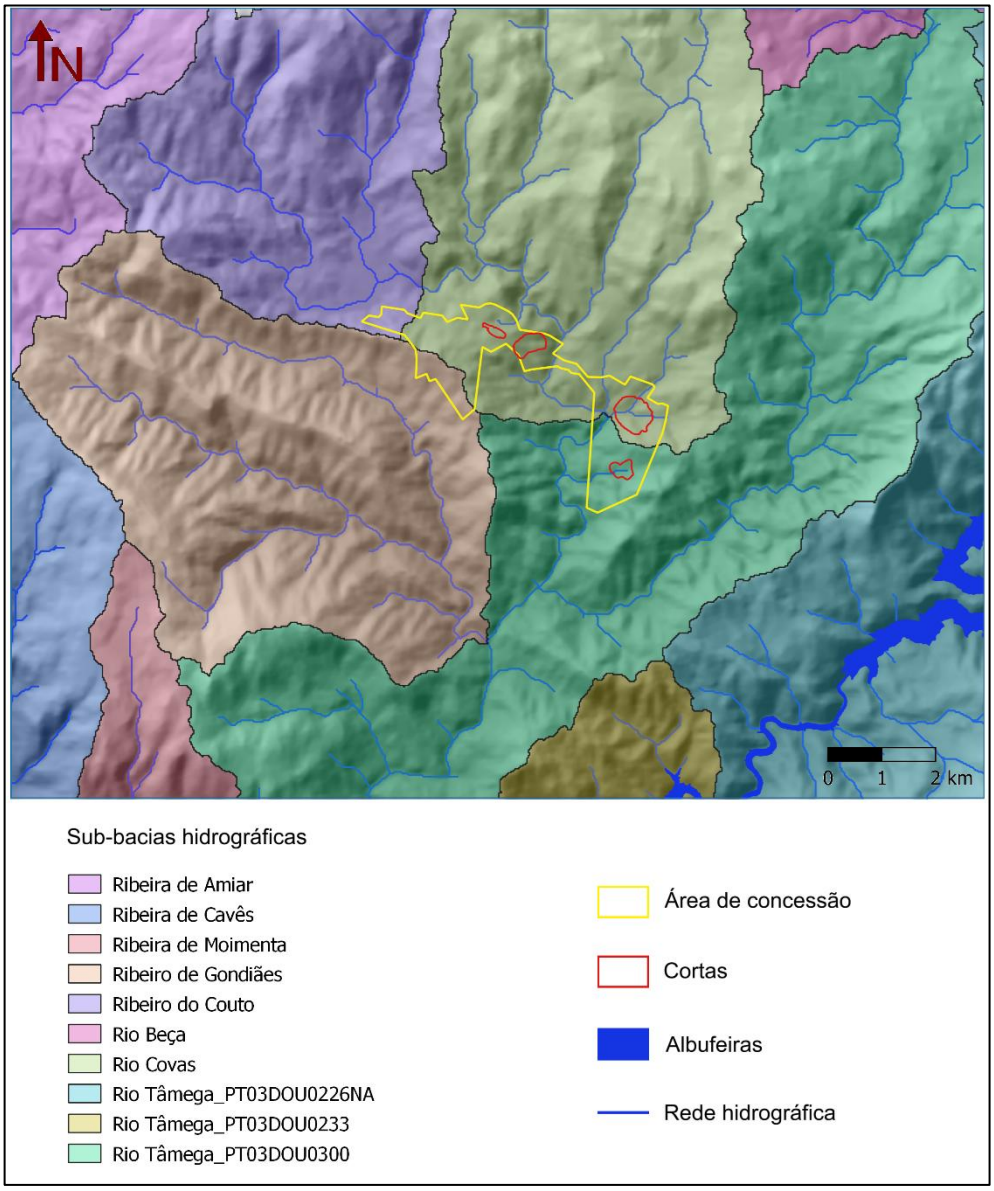


Figura 3.2 – Esboço geomorfológico local, com representação das sub-bacias hidrográficas intersetadas e próximas do projeto.

Os principais rios da região (Covas e Beça) são bordejados por relevos intrincados, controlados por importantes alinhamentos tectónicos. Efetivamente, alguns troços destes rios e de ribeiras tributárias demarcam vales encaixados em zonas de falhas geológicas (vales controlados tectonicamente). Estes alinhamentos tectónicos principais, em conjugação com os mantos de alteração, potenciam o desenvolvimento de aquíferos fissurados (heterogéneos e anisotrópicos). Estas massas de água subterrâneas são recarregadas por meio da precipitação que é intensa em longos períodos do ano hidrológico.

As direções principais do escoamento superficial seguem genericamente o decréscimo das elevações topográficas, ou seja, no sentido norte/nordeste para sul. A topografia

local revela mais baixas elevações nas áreas destinadas às explorações Grandão e Pinheiro, e maiores elevações no NOA (área mais elevada de todas) e no Reservatório. Estas grandes variações de relevo propiciam elevados potenciais de escoamento hídrico e gradientes hidráulicos.

Existem três tipologias principais de ocupação de solo: florestas de resinosas *(Pinus pinaster*) de produção; áreas seminaturais (agricultura com espaços naturais e seminaturais), como galerias ribeirinhas que se estendem descontinuadamente ao longo das linhas de água permanentes e arbustos; e áreas agrícolas, nomeadamente de sequeiro (culturas temporárias de sequeiro e regadio), irrigadas por gravidade que estão associados a linhas de água e aglomerados rurais.

Em termos fisiográficos e paisagísticos o projeto encontra-se numa zona de transição entre terras altas marcadas por montanhas de granitos e xistos, e zonas de média montanha (sub-serra nordestina).

A região é caracterizada por um clima frio continental, tendencialmente seco, no qual interferem fatores como: a latitude, a altitude, a relativa proximidade ao oceano e a vegetação. O Norte de Portugal é considerada uma região moderadamente fria com temperaturas médias diárias na ordem de 20°C. Os invernos são geralmente longos e frios, podendo ter nevões e tempestades de gelo, com várias semanas de temperaturas negativas. Os períodos primaveris são frescos e suscetíveis frio até maio, altura em que a vegetação floresce. Os verões assinalam-se períodos (mais ou menos longos) com temperaturas entre 35°C e 40°C, podendo pontualmente serem superiores.

As condições climáticas na área de estudo são caracterizadas por um clima ameno e moderado, típico de transição entre clima temperado oceânico e clima temperado continental. Ao longo do ano hidrológico (01 de outubro a 30 de setembro) distinguem-se dois semestres distintos: semestre húmido, entre outubro e abril; e semestre seco, entre maio e setembro. Por norma, a precipitação anual acumulada supera os 1700 mm e o mês de agosto revela-se como o mais quente do ano com temperaturas que, em termos médios, oscilam entre 15°C e 27°C. A estação fria estende-se por aproximadamente 4 meses, entre novembro e fevereiro (Tabela 3.2 onde em média as temperaturas máximas diárias se situam abaixo dos 15°C. Neste contexto, o mês de janeiro evidencia-se como o mais frio onde, em termos médios, as temperaturas variam entre 3°C e 15°C.

Tabela 3.2 – Síntese climática (temperatura e precipitação) da região onde se localiza o projeto.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperaturas médias (°C)	7,0	7,6	9,9	11,9	14,9	18,6	20,5	20,9	18,8	14,8	9,9	7,6
Temperaturas mínimas (°C)	3,3	3,2	5,3	7,1	9,8	13,1	14,9	15,3	13,7	10,6	6,2	4,0
Temperaturas máximas (°C)	11,6	12,7	15,0	16,9	20,0	23,8	26,1	26,8	24,6	19,7	14,3	12,1

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Precipitação (mm)	219	147	160	153	126	58	35	46	88	234	214	225

3.3 ESTUDO HIDROGEOLÓGICO

A avaliação hidrogeológica realizada assentou em quatro jazidas minerais (cortas), mais concretamente no Pinheiro, Grandão, NOA e Reservatório, e incluiu as seguintes fases de trabalho:

- Avaliação hidrogeológica prévia, com recurso a informação bibliográfica e trabalhos anteriores.
- Estudo hidrogeológico de campo:
  - Visitas ao local de preparação e supervisão de perfurações;
  - Supervisão remota da realização de ensaios de produção instalação de furos de monitorização;
  - Supervisão remota de ensaios de caudal em furos.
- Análise de dados recolhidos em campo.
- Desenvolvimento de um modelo hidrogeológico numérico preditivo.

O levantamento de nascentes naturais e outros pontos de água (minas e fontanários) na envolvência das cortas e da concessão mineira, durante a avaliação hidrogeológica e em fases posteriores, permitiu dar amplitude local e sub-regional ao estudo realizado.

Nesta secção caracteriza-se a hidrogeologia com a realização de um esboço hidrogeológico e um modelo hidrogeológico concetual. Este modelo assentou em esboços hidrogeológicos realizados em trabalhos e em dados obtidos nas diferentes fases da avaliação hidrogeológica. Esta caracterização veio a ser complementada com base em novos dados sobre pontos de água (e.g. nascentes, minas e fontanários) na envolvência das futuras áreas de exploração.

A caracterização hidrogeológica da área baseia-se na literatura disponível, num censo de sondagens na área de estudo e em informações recebidas do município de Boticas sobre a localização dos pontos de captação de água subterrânea, da rede municipal. Foram recolhidas amostras de água subterrânea em vários furos de sondagens estudados.

A avaliação de literatura de índole geológica e hidrogeológica sobre região de Covas do Barroso sugere e existência de um baixo potencial hídrico subterrâneo. Seguidamente, enumeram-se as litologias e elementos litoestruturais passíveis de apresentar potencialidade hidrogeológica na região:

Aquíferos aluviais pouco profundos ao longo dos rios e algumas ribeiras;

Zona de leito rochoso meteorizado;

Zonas de falha geológica em leito rochoso fissurado (sistemas de falhas e fraturas);

Zonas de contacto geológico.

Um aspeto relevante e revelador do funcionamento hidrogeológico da região reflete-se na considerável concentração de furos de extração de águas adjacentes a riachos. O intemperismo e a recarga das águas subterrâneas podem ser intensificados ao longo dos alinhamentos de riachos, sendo que alguns destes cursos de água são controlados tectonicamente. Os caudais dos xistos e granitóides variam entre 0,3 L/s e 0,5 L/s, ou seja, correspondem a valores consideravelmente baixos, mas que são normais para o contexto geológico onde se encontram.

Foi construído um modelo numérico (em 2023), a fim de estimar potenciais caudais de entrada de furos e migração potencial de partículas a partir das instalações de resíduos, com base em três ensaios de caudal realizados em 2004.

3.3.1 Atividades de Perfuração Anteriores

Os fluxos de águas subterrâneas e níveis freáticos foram intercetados durante as campanhas mecânicas de prospeção, especificamente onde as estruturas tectónicas foram intercetadas, embora não tenham sido relatadas profundidades e volumes de fluxo reais. No entanto, a percentagem de furos secos foi de cerca de 50% (de um total de 87 furos realizados). Este cenário poderá dever-se às baixas profundidades de perfuração alcançadas em vários dos furos.

A Visa Consultores realizou um estudo hidrogeológico prévio da Mina do Barroso cujos aspetos principais deste estudo resumem-se da seguinte forma:

Os aquíferos da região ocorrem, genericamente, em meios xistentos e graníticos;

Estima-se que as produtividades das captações de águas subterrâneas em meios xistentos e graníticos (Maciço Antigo) variem, genericamente, entre 0,3 L/s e 0,5 L/s;

Foram realizados cinco ensaios de bombagem, sendo que em três deles se registaram baixos valores de transmissividade. Todavia, nos demais (Furos B e G) apresentaram apreciáveis valores de transmissividade potenciadores de caudais de bombagem entre 1 L/s e 2 L/s. Estes dois furos beneficiam de se encontrarem próximos de ribeiras.

Foram perfurados três furos para extração mecânica, em novembro e dezembro de 2018, tendo todos sido alvo de ensaios de caudal. Os resultados encontram-se sintetizados em seguida:

Foram realizados dois furos no depósito do Grandão, um com profundidade de 100 m e outro com profundidade 121 m, os quais intersetaram massas pegmatíticas e xistentas. No depósito do NOA foi realizado um furo com 112 m de profundidade o qual intersetou essencialmente massas xistentas e aplíticas, e uma pequena fração de pegmatito.

Os baixos caudais de bombagem, entre 0,3 e 1,1 L/s, desencadearam rebaixamentos significativos que variaram entre 60 e 90,5 m. Os períodos de ensaio estenderam-se entre 14 a 15 horas, revelando produtividades provavelmente não sustentáveis.

3.3.2 NÍVEIS DE ÁGUA

Foram realizados registos dos níveis de água em 79 piezómetros, principalmente em locais de perfuração geotécnica e geológica, bem como em furos recentemente perfurados. O mais baixo nível piezométrico registado foi de aproximadamente 507 m e o mais elevado foi de 688 m. A variação dos níveis piezométricos é atribuída à diferença topográfica da área de concessão da mina.

Os dados de níveis de água registados em setembro de 2019 na zona do Grandão revelaram nível hidrostático de -27,2 m (correspondente a um nível piezométrico de 532 m); num dos furos Reservatório foi medido um nível hidrostático de -35,6 m (correspondente a um nível piezométrico de 579,4 m); e, no depósito do NOAregistaram-se níveis hidrostáticos médios de -11 m (correspondentes a um nível piezométrico de 672 m).

3.3.3 ENSAIOS DE BOMBAGEM

Historicamente, os testes de bombagem foram realizados em seis furos na área do projeto, três em 2004 (Furo B, Res18, Furo G) e três em 2018 (18GRAWB001, 18GRAWB002, 18NOAWB001). Os furos de 2018 foram alvo de ensaios longos de bombagem durante 24 horas cada, com caudais médios de bombagem de 1,05 L/s, 0,3 L/s e 0,6 L/s, respetivamente. No entanto, os caudais variaram: entre 1,94 L/s e 0,8 L/s para 18GRAWB001; entre 0,83 L/s e 0,14 L/s para 18GRAWB002; e entre 0,83 L/s e 0,47 L/s para 18GRAWB003. Os dados dos ensaios realizados não puderam ser analisados devido às variáveis taxas de bombagem, aos rebaixamentos do nível de água a níveis mais profundos do que o nível da sonda imersível, e à ausência de dados níveis de água referentes a períodos de recuperação.

Não havia disponível informação de índole litológica (perfis de furos) e de dimensionamento dos três furos testados em 2004, excetuando as respetivas profundidades. Os furos em apreço foram alvo de ensaios de bombagem de períodos 4 horas cada, e os caudais de bombagem foram: para o Furo B 0,92 L/s; para RES18 0,44 L/s; e Furo G 0,22 L/s.

3.3.4 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Foram tidos em consideração os resultados obtidos nas análises químicas realizadas nas estações Rio Covas-Gardunho, Ribeira do Couto-Ponte Nova, Pto1 - Montante do NOA, Pto2 - Jusante do NOA, Pto2 - Jusante do Reservatório e Pto3 - Jusante do Grandão para a análise da qualidade das águas superficiais baseadas em dados históricos recentes efetuados a cargo do proponente do projeto (Figura 3.3). Os boletins das análises de águas (superficiais e subterrâneas) encontram-se no Anexo III.1.

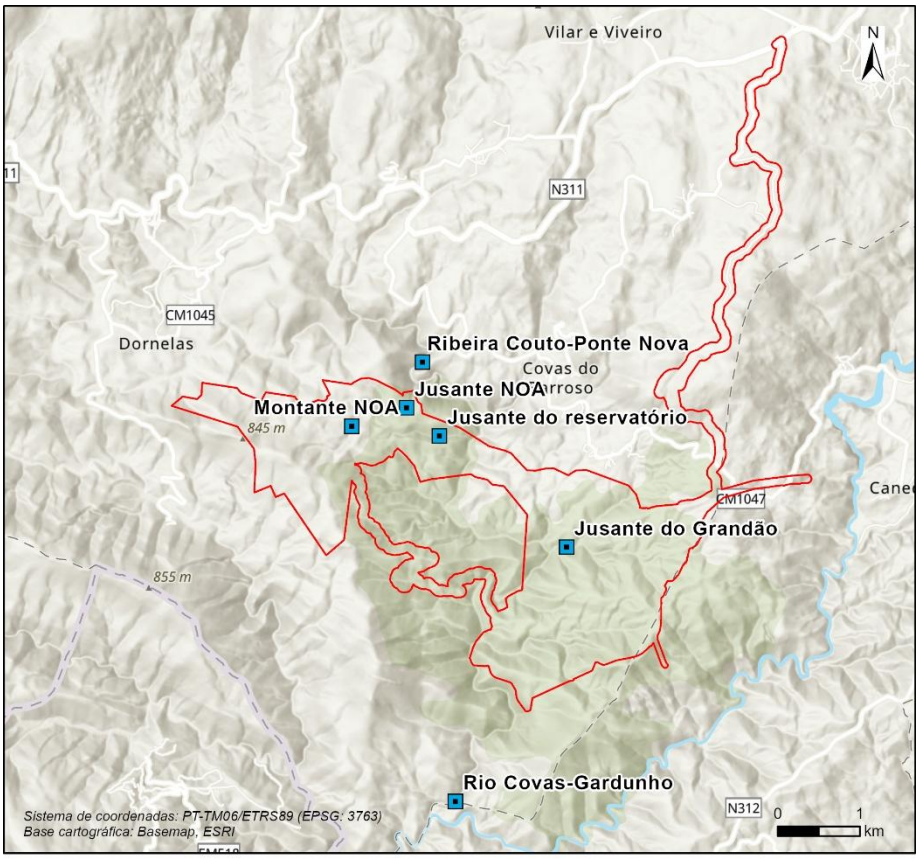


Figura 3.3 – Localização das estações de análise das águas superficiais.

Na Tabela 3.3 encontram-se as coordenadas das estações de qualidade de águas subterrâneas referidas.

Tabela 3.3 – Coordenadas das estações analisadas.

ESTAÇÃO	COORDENADAS (ETRS89/TM06 PORTUGAL)	
	X	Y
Rio Covas-Gardunho	27876	213356
Ribeira Couto-Ponte Nova	27475	218699
Pto1-Montante NOA	26615	217920
Pto2-Jusante NOA	27282	218144
Pto2-Jusante Reservatório	27681	217802
Pto3 a jusante do Grandão	29230	216451

De um modo geral, de acordo com o Decreto-Lei nº 236/98 (Normas de Qualidade da Água) e o Decreto-Lei nº 103/2015 (Normas de Qualidade Ambiental - NQA), os resultados das várias estações (Rio Covas-Gardunho, Ribeira do Couto-Ponte Nova, Pto1-Montante do NOA, Pto2 - Jusante do NOA, Pto2 - Jusante do Reservatório, Pto3 - Jusante do Grandão) apresentam características semelhantes, e consistentes com a hidrogeologia da região.

As águas superficiais na região de Covas do Barroso, de acordo com os dados obtidos, apresentam uma qualidade geral boa, com características geoquímicas fortemente influenciadas pela geologia local de granitos e xistos, possuindo uma baixa mineralização e tratando-se de águas ligeiramente ácidas.

Os parâmetros físico-químicos e a maioria dos metais pesados estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação portuguesa para proteção do meio aquático e, na maioria dos casos, para a captação de água para abastecimento público (após tratamento convencional).

Alguns parâmetros requerem monitorização contínua como é o caso do Lítio (devido à atividade mineira na região e NQA específicas) e, pontualmente, a presença detetável de Arsénio e Cobre, cujas concentrações devem ser comparadas com as NQA para a proteção da vida aquática na bacia hidrográfica do Douro (RH3).

Esta análise confirma que a geologia local é um fator determinante na composição química das águas superficiais da região.

Os valores médios dos resultados dos parâmetros mais relevantes (componentes maioritários) analisados encontram-se na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Valores médios das análises realizadas.

PARÂMETRO	RIO COVAS-GARDUNHO	RIBEIRA DO COUTO-PONTE NOVA	PTO1-MONTANTE DO NOA	PTO2-JUSANTE DO NOA	PTO2-JUSANTE DO RESERVATÓRIO	PTO3-JUSANTE DO GRANDÃO
Ca	18,52	27,0	53,8	82,67	6,79	53,67
Mg	1,10	4,08	0,9	2,48	0,86	1,90

PARÂMETRO	RIO COVAS-GARDUNHO	RIBEIRA DO COUTO-PONTE NOVA	PTO1-MONTANTE DO NOA	PTO2-JUSANTE DO NOA	PTO2-JUSANTE DO RESERVATÓRIO	PTO3-JUSANTE DO GRANDÃO
Na	9,64	18,00	13,0	29,35	19,00	12,00
K	6,03	9,33	4,6	10,33	4,04	16,00
HCO_3	5,15	6,25	10,8	13,80	0,74	11,30
CO_3	2,91	2,35	3,1	4,75	2,17	1,40
Cl	0,09	0,80	0,4	0,15	0,08	0,63
SO_4	3,11	0,90	2,6	8,60	3,08	9,10
F	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Na Figura 3.4 encontram-se as projeções das concentrações iónicas em diagrama de Piper.

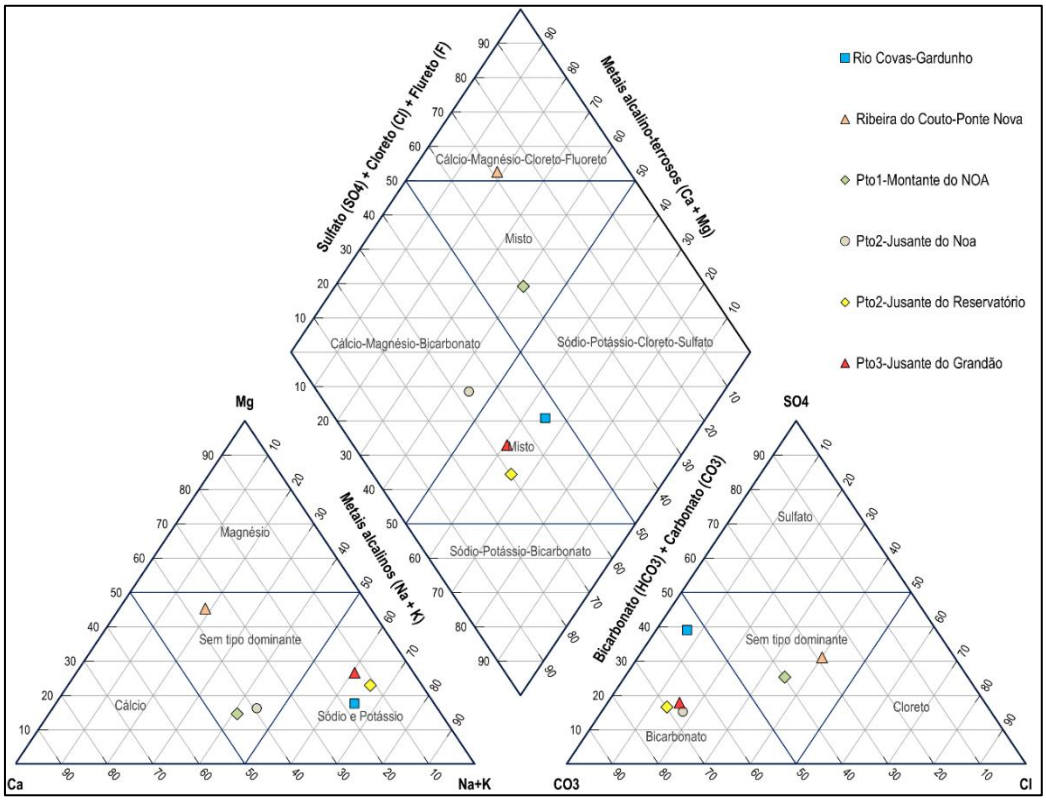


Figura 3.4 – Projeção das concentrações iónicas em diagrama Piper.

A análise da composição iónica das amostras de água superficial e a sua interpretação no diagrama de Piper permitem caracterizar as principais fácies hidroquímicas e inferir os processos geoquímicos dominantes no sistema fluvial em estudo.

No triângulo dos catiões, observa-se que a maioria das estações apresenta um predomínio dos iões alcalinos (Na^++K^+) relativamente aos alcalino-terrosos (Ca^{2+}+Mg^{2+}), em particular nas estações Rio Covas - Gardunho, Pto2 - Jusante do Reservatório e Pto3

- Jusante do Grandão, onde os teores de cálcio e magnésio são reduzidos. Estas águas posicionam-se, assim, no domínio sódico a sódico-potássico, sugerindo influência de processos de dissolução de silicatos e eventual troca iónica. Em contraste, a estação Ribeira do Couto-Ponte Nova distingue-se pelo claro predomínio de Ca^{2+} e Mg^{2+}, enquadrando-se no domínio cálcio-magnesiano, compatível com uma maior influência de formações carbonatadas ou detríticas com cimento carbonatado. As amostras das estações Pto1 - Montante do NOA e Pto2 - Jusante do NOA apresentam uma composição mista, com proporções semelhantes entre catiões alcalinos e alcalino-terrosos.

No triângulo dos aniões, verifica-se um predomínio generalizado do bicarbonato (HCO_3^-), especialmente nas amostras das estações Rio Covas-Gardunho, Pto2 - Jusante do NOA e Pto2 - Jusante do Reservatório, refletindo águas pouco mineralizadas e fortemente influenciadas pela dissolução de CO_2 no solo e de minerais carbonatados. O sulfato (SO_4^{2-}) assume, contudo, um papel relevante em várias amostras, nomeadamente em Rio Covas-Gardunho e Ribeira do Couto-Ponte Nova, onde apresenta valores comparáveis ou superiores aos do cloreto. O cloreto (Cl^-), embora presente em todas as estações, surge geralmente em concentrações moderadas, indicando uma fraca influência de fontes salinas ou antrópicas intensas.

A projeção das estações amostradas no losango central do diagrama de Piper evidencia uma predominância de fácies hidroquímicas bicarbonatadas mistas, com variação entre Na-HCO_3 e Ca-Mg-HCO_3. A amostra da Ribeira do Couto-Ponte Nova enquadra-se claramente na fácies Ca-Mg-HCO_3, típica de águas de drenagem recente em contacto com materiais carbonatados. As restantes amostras distribuem-se entre as fácies Na-HCO_3 e Ca-Na-HCO_3, refletindo uma maior contribuição de sódio e potássio, associada à meteorização de silicatos, diluição por águas de baixa mineralização e possível influência de processos de troca catiónica ao longo do percurso fluvial.

Em síntese, o diagrama de Piper da Figura 3.4 indica que as águas analisadas são maioritariamente de tipo bicarbonatado, com variações nos catiões dominantes ao longo do sistema fluvial. Estas variações refletem diferenças litológicas na bacia de drenagem, bem como processos de mistura, diluição e evolução geoquímica progressiva das águas desde montante para jusante, sem evidência de mineralização elevada ou de influência antrópica marcada.

3.3.4.1 Análise dos Componentes Vestigiais e Interpretação Química

A análise dos componentes vestigiais, com base nos dados apresentados para as águas superficiais amostradas, permite avaliar os processos geoquímicos dominantes, bem como identificar eventuais influências externas sobre a composição química da água. Entre os parâmetros disponíveis, o flúor (F^-) constitui o principal componente vestigial, sendo o cloreto (Cl^-) e o sulfato (SO_4^{2-}) utilizados como iões traçadores complementares na interpretação química.

O flúor apresenta uma concentração uniforme em todas as estações amostradas (0,1 mg/L), indicando um controlo geoquímico estável e homogéneo ao longo do sistema hídrico. Estes valores baixos são característicos de águas superficiais pouco mineralizadas e sugerem uma fraca interação água-rocha prolongada, compatível com

tempos de residência reduzidos. A ausência de variação espacial do flúor aponta para uma origem essencialmente natural, associada à meteorização de minerais silicatados com baixo teor em flúor, não se observando indícios de enriquecimento por fontes antrópicas ou dissolução significativa de minerais fluoretados.

O cloreto apresenta concentrações relativamente baixas a moderadas, variando entre cerca de 2,8 e 16 mg/L. Os valores mais elevados registam-se nas estações Ribeira do Couto - Ponte Nova e no Pto1 - Montante do NOA, podendo refletir contributos difusos associados à escorrência superficial, influência de aerossóis marinhos (dependendo da proximidade costeira) ou atividades antrópicas de baixa intensidade, como usos agrícolas e circulação rodoviária. A variabilidade espacial do cloreto, aliada à sua natureza conservativa, sugere que este ião funciona como um bom indicador de mistura de águas e de contributos externos, sem evidência de contaminação significativa.

O sulfato evidencia uma amplitude de variação mais expressiva, com valores entre 5 e 26 mg/L. As concentrações mais elevadas observadas no Rio Covas - Gardunho e na Ribeira do Couto - Ponte Nova sugerem uma contribuição relevante de processos naturais, nomeadamente a dissolução de minerais sulfatos ou a oxidação de sulfuretos presentes nas formações geológicas da bacia hidrográfica. Em alguns troços, o aumento do sulfato em relação ao cloreto poderá também indicar contributos pontuais de origem antrópica difusa, como fertilizantes, embora os valores se mantenham compatíveis com águas superficiais pouco impactadas.

A interpretação química integrada indica que os componentes vestigiais e iões traçadores refletem predominantemente um controlo natural da qualidade da água, dominado por processos de meteorização química e por aportes superficiais rápidos. A baixa concentração e reduzida variabilidade do flúor, associadas a teores moderados de cloreto e sulfato, sugerem um sistema fluvial com fraca mineralização, tempos de residência curtos e limitada influência antrópica. As diferenças observadas ao longo do curso de água traduzem sobretudo variações litológicas na área drenada e processos de mistura e diluição, não se identificando sinais de degradação química significativa da água.

3.3.5 Qualidade das Águas Subterrâneas

3.3.5.1 Resultados de Análises Realizadas em 2004

Os resultados da qualidade da água de amostras recolhidas e analisadas em 2004 indicam que as concentrações de sulfato (SO_4) para as águas subterrâneas estão, na sua maioria, abaixo do limite de deteção (<5,0 mg/l). Uma exceção a este padrão corresponde a uma amostra que revelou um teor de 6,0 mg/l. Os dados hidroquímicos registados no relatório Visa Consultores (2019) indicaram também concentrações abaixo do limite de deteção para o SO_4, para a maioria dos pontos de água alvo de análise de águas subterrâneas. As únicas exceções corresponderam a RES32 e PGN01, cujos teores registados corresponderam, respetivamente, a 5,2 mg/l e 7,5 mg/l.

Os dados apresentados na Tabela 3.5 sugerem estar-se na presença de águas com baixa salinidade e ligeiramente ácidas (pH 5,5), estando dentro dos padrões normais. Em

comparação com os Padrões de Água Potável nacionais (DRH/DEQA 2023), a qualidade da água subterrânea amostrada é relativamente boa, com excedências limitadas. No mesmo quadro, os furos onde se verificaram excedências foram os seguintes:

NOA 10 - Azoto amoniacal;

Furo G e RES18 - Ferro;

NOA10 - Furo G - Manganês.

Tabela 3.5 – Resultados das análises físico-químicas.

PARÂMETRO	UNIDADES	LIMIAR (DRH/DEQA 2023)	GRA 29	GRA30	NOA10	RES23	FURO B	RES18	FURO G
Data de amostragem			9/1/2004	9/1/2004	10/1/2004	10/1/2004	15/4/2004	16/4/2004	17/1/2004
Temperatura	^{0}C	-	-	-	13,0	-	-	-	-
Condutividade elétrica	µS/cm	2500 µS/cm	136	25,0	69,0	45,0	20,9	38,4	44,9
pH	escala de sorensen	5,5 - 9	7,2	5,5	5,8	5,5	5,6	5,5	5,8
Azoto amoniacal	NH_4 mg/l	0,5 mg/l NH_4	< 0,08	< 0,08	3,4	0,13	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Oxidabilidade	mg /l	5,0 mg/l O_2	1,4	1,3	2,2	0,7	0,3	0,4	4,3
Bicarbonato	mg/l	-	-	-	-	-	-	15,0	20,0
Sólidos suspensos totais	mg/l	-	16,0	0,24	0,18	0,13	6,0	26,0	6000
Cloreto	mg/l	250 mg/l	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 4,0	< 4,0	< 5,0
Ferro	Fe mg/l	0,2 mg/l	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,17	0,22	26,0
Potássio	mg K/l	-	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Nitrato	NO_3 mg /l	50 mg/l a)	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Nitrito	mg NO_2/l	0,50 mg/l	-	-	-	-	< 0,02	< 0,02	0,03
Sílica	mg SiO_2/l	-	17,5	7,1	7,6	13,0	5,3	10,4	14,3
Sulfato	mg SO_4/l	250 mg/l	6,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Manganês	mg Mn/l	0,050 mg/l	< 0,01	< 0,01	160	< 0,01	< 0,01	0,016	0,2
Cobre	mg Cu/l	2,0 mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,0015	< 0,0015	0,0018
Sódio	mg Na/l	200 mg/l b)	7,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0	2,0	4,0	6,0

PARÂMETRO	UNIDADES	LIMIAR (DRH/DEQA 2023)	GRA 29	GRA30	NOA10	RES23	FURO B	RES18	FURO G
Cálcio	mg Ca/l	-	13,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 4,0	< 4,0	< 4,0
Magnésio	mg Mg/l	0,05 mg/l b)	5,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Zinco	mg Zn/l	50 µg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Fenol	µg C_6H_5OH/l	-	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	-	-	-

Com base na análise dos componentes químicos principais não é possível efetuar uma análise completa das fácies hidroquímicas das águas analisadas. Efetivamente, no que concerne a estas espécies químicas, apenas foi alvo de análise a componente catiónica, mais concretamente: o cálcio, o magnésio, o sódio e o potássio. Todavia, com base nestas espécies químicas, foi possível verificar que há uma tendência para fácies mistas. A única exceção corresponde à ao Furo B que revela uma fácies ligeiramente magnésica.

3.3.5.2 Resultados de Análises Realizadas em 2025

No seguimento de trabalhos de campo realizados, em períodos mais recentes, com o objetivo de atualizar a base de dados de pontos de água (nascentes, minas e fontanários servidos por minas/nascentes - Figura 3.5) localizados na área de concessão e áreas envolventes, foi possível realizar recolha e análise de parâmetros físico-químicos em 4 locais. Adicionalmente, foi também efetuada a análise de parâmetros físico-químicos em dois piezómetros (EX5 e EX11).

Na Tabela 3.6 encontram-se os pontos de água alvo de análise de parâmetros físico-químicos em 2025. No mesmo quadro, constam também parâmetros físico-químicos recolhidos no campo, mais concretamente: pH, temperatura, condutividade elétrica e salinidade (TDS).

Tabela 3.6 – Pontos de água alvo de análise de parâmetros físico-químicos em 2025.

PONTO DE ÁGUA	COORDENADAS (ETRS PORTUGAL)		pH	TEMPERATURA (ºC)	CONDUTIVIDADE (µS/cm)	SALINIDADE (TDS)
	X	Y				
SP2	25607	218353	5,09	11,4	65	32
Mina 1 - Domingos Caçote	29961	217461	5,73	13,2	181	77
SR1	26934	216876	6,24	12,4	66	38
Fonte Paredes	29033	218146	5,15	14,6	185	92
EX5	29534	216666	8,70	12,1	216	106
EX11	27179	217784	6,14	13,4	170	84

Nas análises realizadas às águas subterrâneas foram registados valores específicos relevantes de ferro (Fe) e manganês (Mn), que podem mesmo exceder os níveis de referência para as águas subterrâneas em Portugal Continental (DRH/DEQA, 2023). Paralelamente, ocorreram também algumas variações anómalas nos valores de pH. Estas alterações estão intimamente ligadas à geologia regional, à litologia predominante e aos processos geoquímicos naturais que ocorrem na interface entre a água e os substratos rochosos.

A subsaturação das águas que se infiltram em relação aos minerais constituintes das rochas encaixantes promove o intemperismo químico e a lixiviação de elementos destes minerais. Além disso, no caso das rochas graníticas e outras rochas maciças, os minerais

primários são termodinamicamente instáveis perto da superfície. Deste modo, durante o fluxo subterrâneo, ocorrem reações termodinâmicas entre as fases sólida e líquida, visando atingir um estado de equilíbrio.

Embora os fatores geológicos sejam predominantes na "assinatura" hidroquímica destas águas, deve também ser considerada a influência das atividades antropogénicas, particularmente as práticas agrícolas e pecuárias, bem como as atividades de extração e processamento de minerais, que podem introduzir metais no sistema hidrológico. A contaminação das águas subterrâneas pode ocorrer como resultado da lixiviação e infiltração de depósitos de resíduos. Considerando que o Norte de Portugal é caracterizado por inúmeras operações mineiras antigas, tanto a céu aberto como subterrâneas, estas atividades extrativas (e os seus resíduos associados) poderão ter contribuído para concentrações elevadas de ferro e manganês nas águas subterrâneas da região. Com base nos dados da plataforma LNEG, verificou-se que uma parcela significativa da área de estudo se encontra dentro de uma concessão histórica de exploração mineira de estanho, que esteve ativa entre 1950 e 1970.

Estes indícios de passivos ambientais, de antigas explorações (Séculos XIX e XX), decorrem da não aplicação de medidas de prevenção e mitigação ambientais nas épocas em que as mesmas tiveram efeito. Na atualidade, em Portugal e nos países desenvolvidos, este cenário (e efeitos resultantes) já não se equaciona para as atuais e futuras explorações mineiras, na medida em que as modernas atividades extrativas de minério destacam-se entre as mais avançadas atividades industriais no cumprimento das responsabilidades ambientais e sociais.

As variações dos valores de pH estão também relacionadas com as interações água-rocha. Em particular, a oxidação dos sulfuretos metálicos gera ácido sulfúrico, contribuindo para a acidificação das águas subterrâneas. Este processo é frequentemente designado de drenagem ácida. Por outro lado, a dissolução de minerais silicatados ou a presença de carbonatos podem consumir iões H^+, resultando num aumento do pH. Estes processos são comuns em rochas graníticas e xistosas, como as que se encontram na região do Barroso, onde a interação água-rocha é intensa devido à presença de aquíferos desenvolvidos em meios fraturados (Appelo & Postma, 2005).

Para além da análise geral das concentrações dos componentes químicos e dos parâmetros globais, foi realizada uma análise e caracterização das fácies hidroquímicas das águas, apoiada pela avaliação das concentrações dos principais compostos iónicos, nomeadamente: cálcio (Ca), sódio (Na), potássio (K), magnésio (Mg), sulfato (SO_4), bicarbonato (HCO_3) e carbonato (CO_3). Esta avaliação foi baseada na projeção destes componentes iónicos num diagrama de Piper. De facto, através da utilização destes diagramas (entre outros aspetos), é possível:

- Classificar os tipos de águas com base na dinâmica de iões específicos;
- Identificação de processos naturais como a troca iónica, a mistura de águas ou a evolução geoquímica;
- Monitorização das alterações na qualidade da água ao longo do espaço e do tempo.

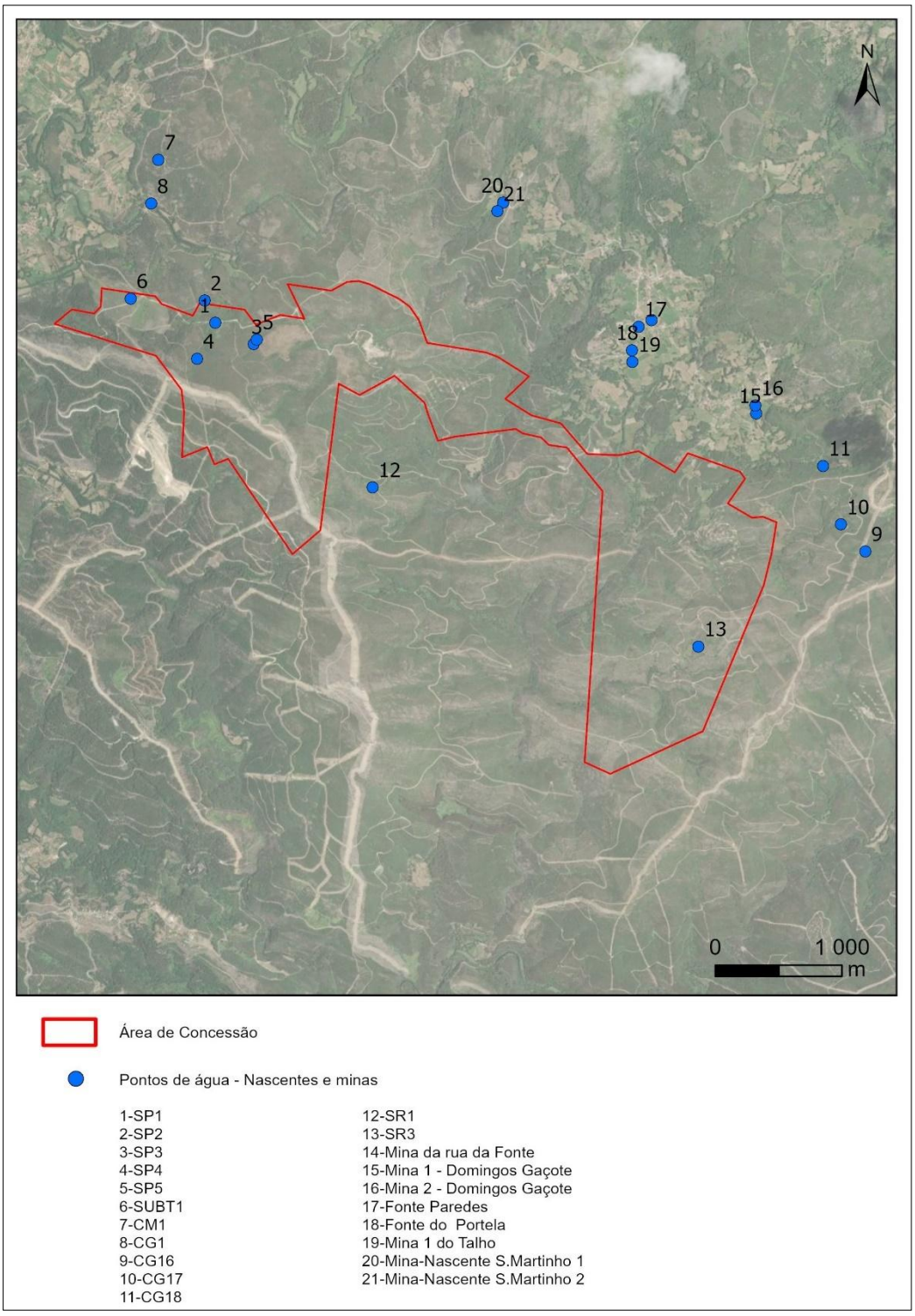


Figura 3.5 – Localização dos pontos de água validados e identificados.

Na Figura 3.6 encontra-se representada a projeção das principais concentrações iónicas em diagrama Piper.

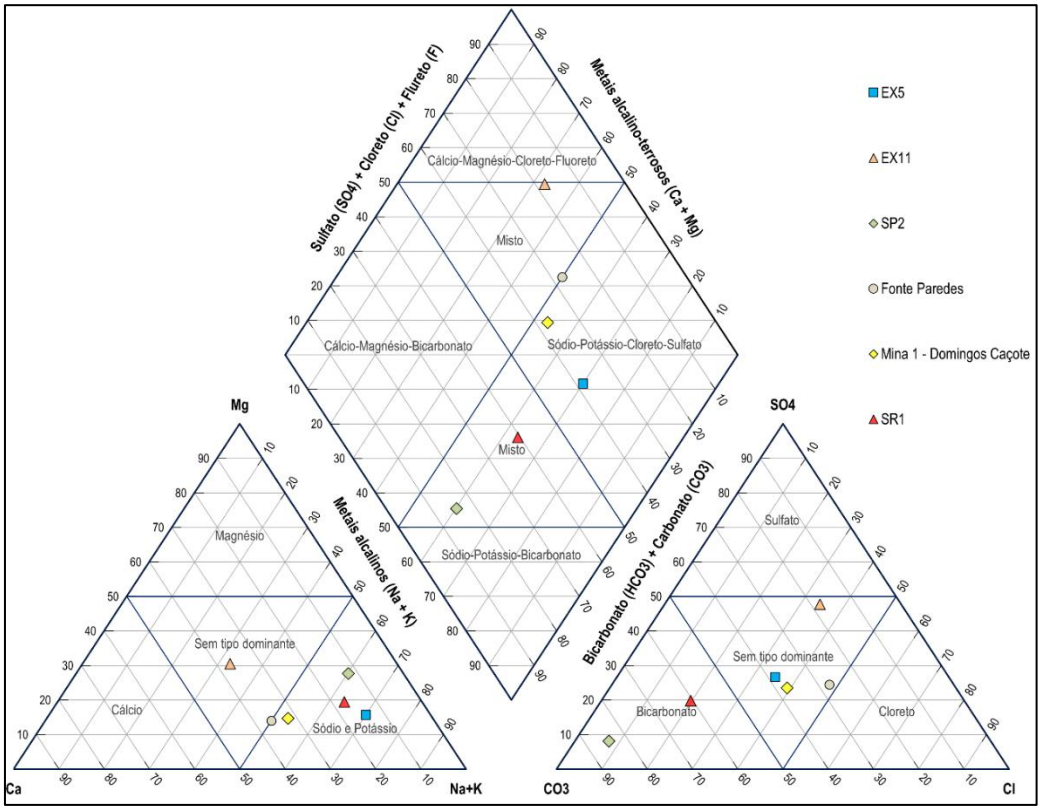


Figura 3.6 – Projeção das concentrações iónicas em diagrama Piper.

Com base numa interpretação preliminar do diagrama de Piper anteriormente apresentado, sobressaem evidências claras da mistura de diferentes tipos de água, com uma tendência particular para a ocorrência de águas ricas em sódio. A tabela abaixo apresenta as fácies hidroquímicas identificadas nos pontos de água amostrados, com base no diagrama de Piper.

Tabela 3.7 – Fácies hidroquímicas interpretadas.

PONTOS DE ÁGUA	FÁCIES HIDROQUÍMICAS
SP2	Águas bicarbonatadas sódicas
Mina 1 - Domingos Caçote	Águas com tendência cloretada sódica
SR1	Águas bicarbonatadas sódicas
Fonte Paredes	Águas de transição entre fácies cloretada e bicarbonatada, com forte componente sódica
EX5	Águas sódicas, com fácies aniónicos mistos, mas com tendência bicarbonatada

PONTOS DE ÁGUA	FÁCIES HIDROQUÍMICAS
EX11	Fácies mistas, com sulfatada e cálcio-magnesiana

A acentuada tendência para a prevalência da fácies sódica (caracterizado por uma forte presença do catião sódio) pode refletir um lento processo de meteorização dos minerais de feldspato (ricos em sódio), com libertação de iões de sódio devido às baixas concentrações de cálcio e magnésio. Por outro lado, em ambientes ricos em argila e solos alterados, o cálcio e o magnésio presentes na água podem ser retidos em complexos de troca catiónica (no interior das argilas) e substituídos por sódio, aumentando assim o teor de Na^+ na água.

Os dados projetados no diagrama de Piper não permitem uma distinção clara entre águas de aquíferos subsuperficiais (drenadas por nascentes e minas pouco profundas) e aquíferos mais profundos (intercetados por furos de sondagem e escavações mineiras mais profundas). No entanto, considerando os resultados das análises químicas, especificamente dos sólidos dissolvidos totais (SDT) e a condutividade elétrica, tal distinção torna-se possível fazer alguns paralelismos com base em valores mais elevados destes parâmetros físico-químicos, em: EX5, EX11 e Fonte Paredes. Isto indica a presença de águas mais "maduras", com concentrações iónicas mais elevadas, sugerindo processos de circulação mais profundos e tempos de interação água-rocha mais longos.

3.3.5.3 Análise Hidrogeoquímica de dados históricos recentes

Foram tidos em consideração os resultados obtidos nas análises químicas realizadas nas estações NOA15, 18NOAWB001, PIEZB, 23RESWB001, RES18, 23GRAWB004, 23GRAWB005, 18GRAWB002, 24PNRWB001 e SP2 (Pinheiro) para a qualidade das águas subterrâneas baseadas em dados históricos recentes efetuados a cargo do proponente do projeto (Figura 3.7).

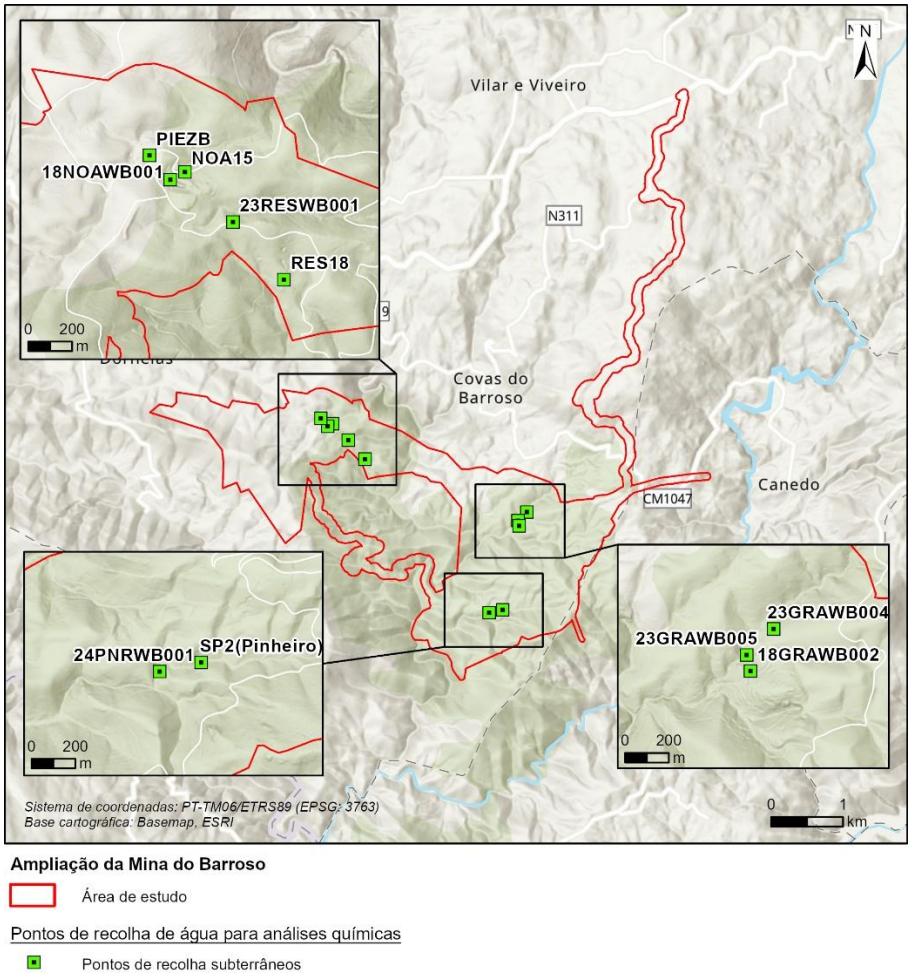


Figura 3.7 – Localização das estações de análise das águas subterrâneas.

Na Tabela 3.8 encontram-se as coordenadas das estações de qualidade de águas subterrâneas referidas.

Tabela 3.8 – Coordenadas das estações analisadas.

ESTAÇÃO	COORDENADAS (PT-TM06 / ETRS89)	
	X	Y
NOA15	26959	218012
18NOAWB001	26892	217977
PIEZB	26797	218088
23RESWB001	27178	217784
23GRAWB004	29657	216785
23GRAWB005	29534	216666
RES18	27410	217521
18GRAWB002	29551	216593

ESTAÇÃO	COORDENADAS (PT-TM06 / ETRS89)	
	X	Y
24PNRWB001	29134	215387
SP2(Pinheiro)	29323	215428

Os valores médios dos resultados dos parâmetros mais relevantes analisados encontram-se na tabela que se segue.

Tabela 3.9 – Valores médios das análises realizadas.

PARÂMETRO	NOA15	18NOAWB001	PIEZB	23RESWB001	RES18	23GRAWB004	23GRAWB005	18GRAWB002	24PNRWB001	SP2 (PINHEIRO)
HCO_3	18,52	27,0	53,8	82,67	6,79	53,67	48,67	60,07	38,08	22,00
K	1,10	4,08	0,9	2,48	0,86	1,90	1,98	1,39	1,73	0,70
SO_4	9,64	18,00	13,0	29,35	19,00	12,00	10,84	12,17	10,79	16,00
Na	6,03	9,33	4,6	10,33	4,04	16,00	14,50	7,00	5,04	4,00
Ca	5,15	6,25	10,8	13,80	0,74	11,30	17,33	15,03	4,95	4,00
Mg	2,91	2,35	3,1	4,75	2,17	1,40	1,40	2,20	2,28	0,90
F	0,09	0,80	0,4	0,15	0,08	0,63	0,33	0,17	0,17	0,09
Cl	3,11	0,90	2,6	8,60	3,08	9,10	8,70	3,15	2,75	9,40

Foram também analisados os parâmetros mais comuns das estações indicadas e verifica-se genericamente a existência de alguns parâmetros acima da norma (DRH/DEQA 2023), como é o caso do azoto amoniacal (estações NOA15 e RES18), chumbo (estações 18NOAWB001, PIEZB, RES18, 18GRAWB002 e 24PNRWB001), ferro (estações NOA15, 18NOAWB001, 23RESWB001, RES18, 23GRAWB004, 23GRAWB005, 18GRAWB002, 24PNRWB001 e SP2 (Pinheiro)), manganês (estações NOA15, 18NOAWB001, PIEZB, 23RESWB001, 23GRAWB004, 23GRAWB005, 18GRAWB002, 24PNRWB001 e SP2 (Pinheiro)), zinco (estações NOA15, 18NOAWB001, 23RESWB001, 23GRAWB004, 18GRAWB002, e SP2 (Pinheiro)) e arsénio (estações NOA15, 18NOAWB001, PIEZB, 23GRAWB004, 18GRAWB002, 24PNRWB001 e SP2 (Pinheiro)). As estações NOA15, SP2, SP5, PIEZB, RES18 e 18GRAWB002 revelam um pH ligeiramente baixo enquanto se verificam grandes oscilações deste parâmetro nas estações PIEZB, 23GRAWB004, 23GRAWB005, 18GRAWB002 e 24PNRWB001.

Na Figura 3.8 encontram-se as projeções das concentrações iónicas em diagrama de Piper.

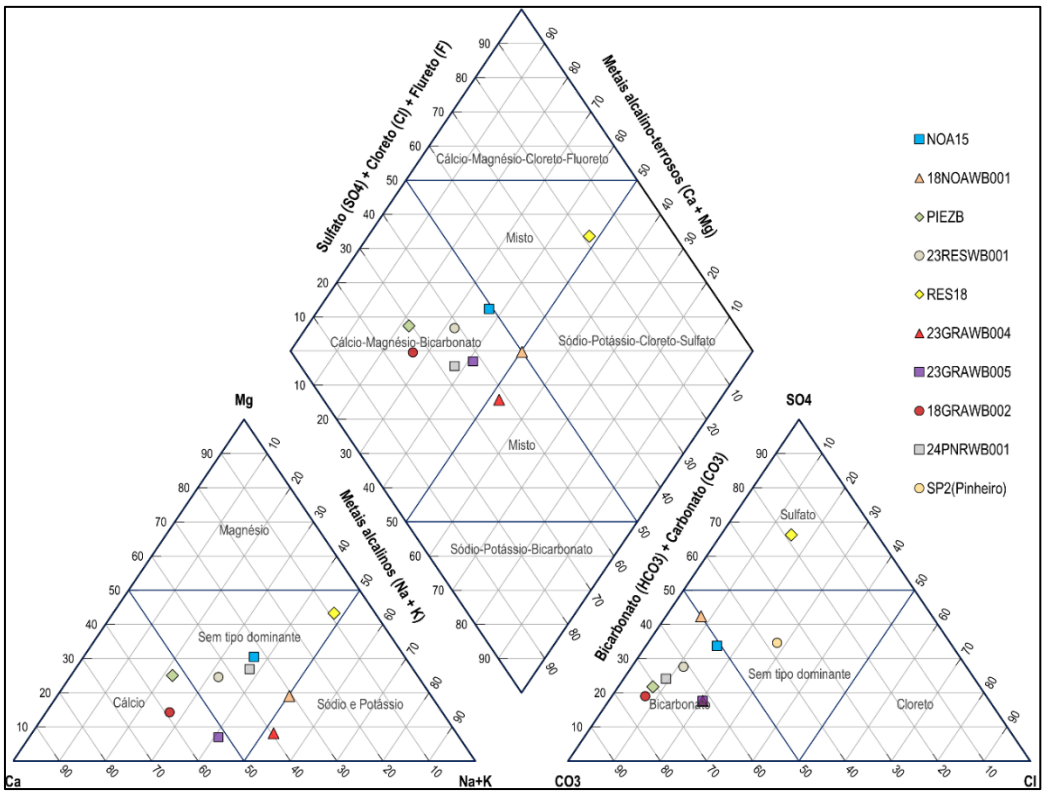


Figura 3.8 – Projeção das concentrações iónicas em diagrama Piper.

Com base nos parâmetros analisados, verifica-se que a caracterização hidroquímica das águas da região de Covas do Barroso revela um domínio de águas pouco evoluídas e de recarga recente. No diagrama de Piper (Figura 3.8), as estações que apresentam um tipo dominante, projetam-se nos triângulos dos catiões com prevalência de Ca^{+}, Na^{+}+K^{+}, verificando-se também o posicionamento de diversas águas no domínio misto Ca-Mg com uma tendência secundária para Ca-Na, o que reflete processos de dissolução de

minerais carbonatados (como a calcite e a dolomite), associados localmente a contributos de trocas iónicas ou dissolução de silicatos sódicos.

Relativamente aos aniões, quando se verifica um tipo dominante, observa-se que as estações se projetam na sua maioria no triângulo do CO_3, verificando-se também uma ocorrência no triângulo do SO_4 (estação RES18). Verifica-se um domínio claro do bicarbonato (HCO_3^-), sendo o carbonato (CO_3^{2-}) inexistente em todas as estações, o que é consistente com águas de pH neutra a ligeiramente alcalino. Os sulfatos (SO_4^{2-}) surgem como o segundo anião mais relevante, com valores particularmente elevados em algumas estações (23RESWB001 e 18NOAWB001), enquanto o cloreto (Cl^-) apresenta concentrações moderadas e localmente expressivas, sugerindo possíveis influências antrópicas, evapotranspiração ou contributos litológicos específicos. Assim, no âmbito do triângulo dos aniões, as estações distribuem-se maioritariamente no campo HCO_3^-, com tendência para HCO_3-SO_4 e, em menor expressão, para HCO_3-Cl.

A análise do losango central do diagrama de Piper indica que a maioria das estações se enquadra na fácies hidroquímica bicarbonatada cálcica a bicarbonatada cálcio-magnesiana (Ca- HCO_3 e Ca-Mg- HCO_3), típica de aquíferos pouco mineralizados e de circulação relativamente curta, fortemente controlados pela interação água-rocha em meios carbonatados ou detríticos com cimento carbonatado. Algumas amostras (estações 23GRAWB004, 23GRAWB005 e 23RESWB001) revelam uma ligeira evolução para fácies mistas Ca-Na-HCO_3-SO_4, o que poderá indicar maior tempo de residência, processos de troca catiónica ($Ca^{2+} \leftrightarrow Na^+$) ou influência de dissolução de evaporitos sulfatos. A estação RES18 constitui uma anomalia local, distinguindo-se pelo domínio de SO_4^{2-} (>65%), o que sugere uma circulação mais profunda e a influência de minerais sulfatados ou um eventual contributo antrópico pontual.

De um modo geral, as águas analisadas são predominantemente de tipo bicarbonatado cálcico a cálcio-magnesiano, com variações locais para fácies mistas, refletindo uma hidroquímica controlada essencialmente por processos naturais de dissolução de carbonatos, com contributos secundários de sulfatos e sódio, possivelmente associados a uma maior evolução hidrogeoquímica ou a pressões antrópicas pontuais.

O quimismo observado é coerente com o contexto de rochas graníticas e metassedimentares da região. O padrão de águas pouco mineralizadas e predominantemente bicarbonatadas cálcicas que confirma a meteorização química, sob um regime de circulação fissural, sendo este o principal mecanismo de aquisição de solutos no aquífero.

3.3.5.3.1 Análise dos Componentes Vestigiais e Interpretação Geoquímica

A análise dos componentes vestigiais das amostras de águas subterrâneas recolhidas, nomeadamente o flúor e, de forma mais indireta, o comportamento relativo do cloreto e do sulfato enquanto iões indicadores de processos geoquímicos específicos permite aprofundar a interpretação da evolução hidrogeoquímica dos sistemas aquíferos em estudo.

O flúor apresenta concentrações globalmente baixas a moderadas, variando entre 0,08 e 0,80 mg/L. Estes valores situam-se, em geral, dentro do intervalo típico de águas subterrâneas naturais pouco mineralizadas, sugerindo uma origem predominantemente geogénica. As concentrações mais elevadas, observadas nas estações 18NOAWB001 (0,8 mg/L), 23GRAWB004 (0,63 mg/L) e PIEZB (0,4 mg/L), poderão estar associadas à dissolução de minerais fluorados presentes na matriz geológica, como fluorite (CaF_2) ou micas e feldspatos ricos em flúor. A coexistência de valores relativamente elevados de bicarbonato e cálcio nestas estações sugere que a solubilidade do fluor é controlada, em parte, pelo equilíbrio com minerais carbonatados, sendo este favorecido em águas com maior tempo de residência e maior interação água-rocha.

O cloreto, embora não seja um elemento vestigial no sentido estrito, apresenta um comportamento conservativo e constitui um importante traçador geoquímico. As concentrações registadas variam entre 0,9 e 9,4 mg/L, valores baixos a moderados, compatíveis com uma fraca influência de fontes antrópicas intensas. No entanto, os valores mais elevados (estações SP2 (Pinheiro), 23GRAWB004 e 23GRAWB005) poderão refletir contributos localizados associados a recarga influenciada por aerossóis, evapoconcentração ou atividades antrópicas difusas, como é o caso de práticas agrícolas ou o uso de vias rodoviárias. A ausência de correlação clara entre o cloreto e o sódio nalgumas estações sugere que nem todo o Na^+ terá origem em sais evaporíticos, apontando para processos de troca iónica ou dissolução de silicatos.

O sulfato apresenta uma amplitude de variação significativa, com valores entre cerca de 9,6 e 29,4 mg/L. As concentrações mais elevadas, registadas nas estações 23RESWB001, 18NOAWB001 e SP2 (Pinheiro), indicam uma contribuição relevante de processos de dissolução de minerais sulfatados, caso do gesso ou da anidrite, ou ainda a oxidação de sulfuretos metálicos presentes nas formações geológicas. Localmente, não se exclui a influência de fontes antrópicas difusas, nomeadamente fertilizantes ou efluentes, sobretudo quando o aumento do sulfato ocorre em simultâneo com cloreto.

A interpretação geoquímica integrada sugere que os componentes vestigiais e respetivos indicadores associados refletem essencialmente um controlo natural da composição química das águas, dominado por processos de dissolução mineral e interação água-rocha prolongada. As variações observadas nos valores de flúor e sulfato apontam para diferenças no tempo de residência das águas subterrâneas e na litologia atravessada pelos fluxos subterrâneos. Pontualmente, a presença de cloreto em concentrações relativamente mais elevadas poderá indiciar influências externas de baixa intensidade, sem descaracterizar o carácter predominantemente natural e pouco mineralizado das águas analisadas.

3.3.6 USO ATUAL DAS ÁGUAS

O Concelho de Boticas utiliza aproximadamente 550 000 m³/ano (17,4 L/s) de água subterrânea, principalmente proveniente de nascentes, para uma população de aproximadamente 5 000 habitantes.

A fonte pública de água subterrânea mais próxima da área mineira proposta são as nascentes que abastecem as localidades de Covas do Barroso e Romainho. Estas

nascentes localizam-se a norte das respetivas localidades. A localidade de Lousas, localizada a sul da área mineira, é também abastecida por nascentes localizadas a sul da respetiva localidade.

3.3.7 ESBOÇO HIDROGEOLÓGICO CONCETUAL

A preparação de um esboço hidrogeológico concetual, no presente estudo, pretende uma ser uma representação simplificada e pictórica da realidade onde se incluem aspetos como: forma e espessura das unidades hidrogeológicas, principais processos hidrológicos, condições de fronteira. Para que este esboço hidrogeológico possa ser assumido como modelo hidrogeológico concetual, além de encerrar elementos geomorfológicos, geológicos (estrutura dos reservatórios hidrogeológicos) e hidrográficos, deverá incluir valores numéricos: parâmetros hidráulicos (determinados a partir dos ensaios de caudal), dados hidroclimáticos e dados hidroquímicos.

As fronteiras do modelo concetual foram definidas com base em dados topográficos e hidrológicos (Figura 3.9). Estas fronteiras hidráulicas (ou domínios do modelo) que são apresentadas na figura que se segue, serviram de base para a modelação numérica que é apresentada mais adiante.

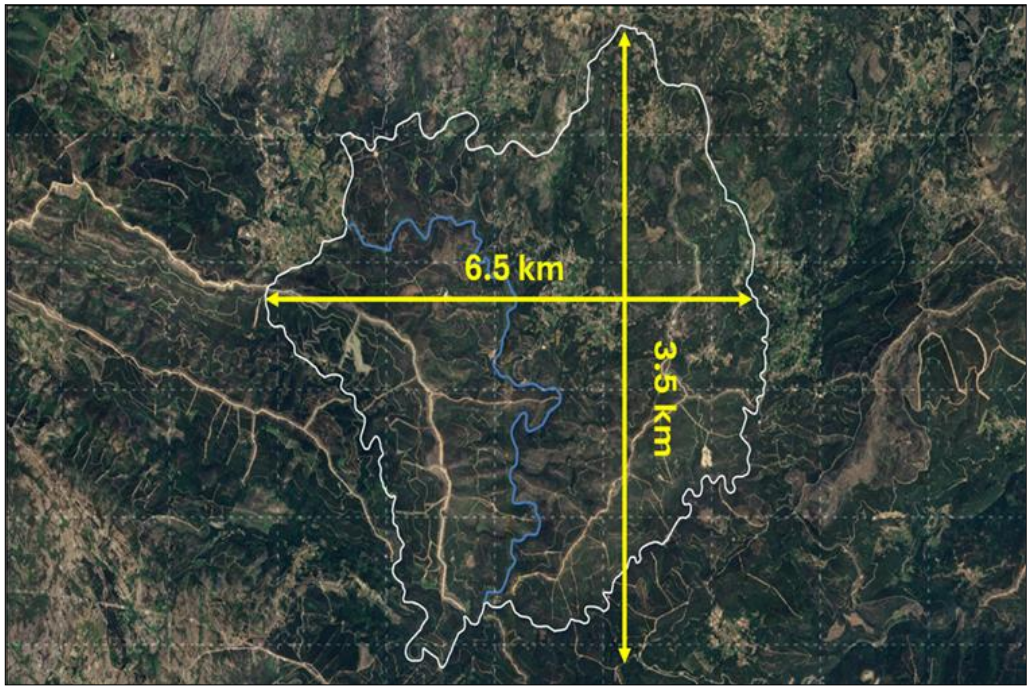


Figura 3.9 – Domínio definido para o modelo hidrogeológico concetual (Knight Piésold, 2025).

A representação pictográfica de um modelo hidrogeológico concetual normalmente é efetuada com recurso a bloco-diagrama ou na forma de perfil. No presente estudo optou-se por apresentar esse modelo sob a forma de perfil (Figura 3.10). Na figura que se segue é apresentado um esboço hidrogeológico concetual na forma de perfil. Ainda

não se trata de um modelo hidrogeológico concetual pois não estão adicionados dados numéricos. Esses dados serão adicionados mais adiante, após o capítulo relativo aos ensaios de caudal.

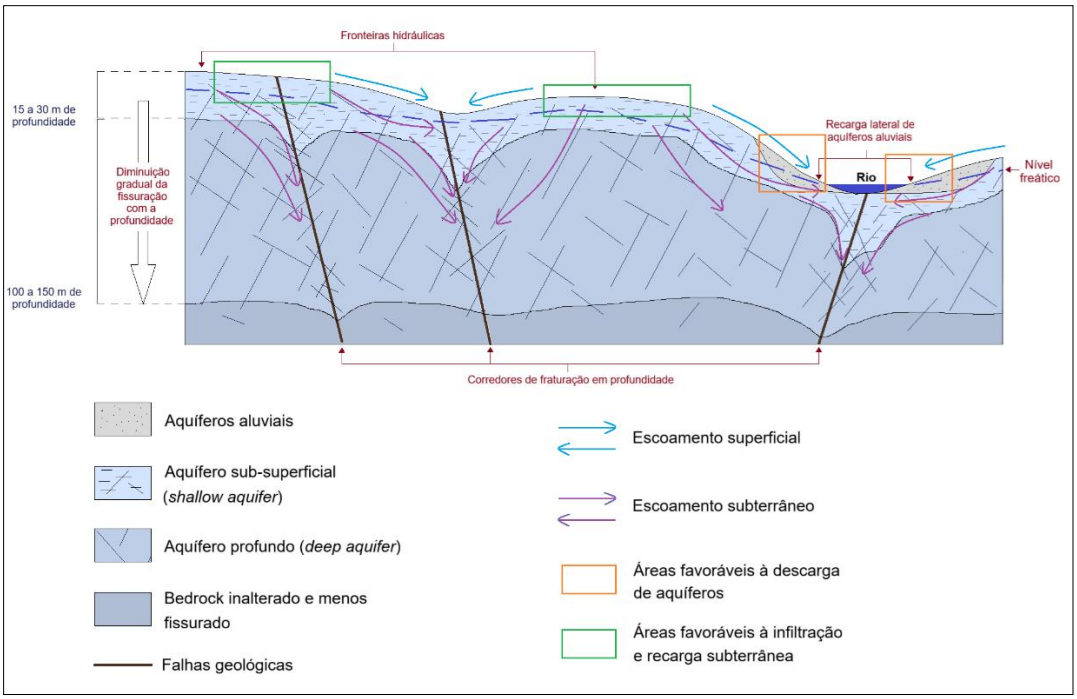


Figura 3.10 – Esboço hidrogeológico concetual.

A diferenciação entre duas massas subterrâneas (aquífero subsuperficial e aquífero profundo) acima referida e representada na Figura 3.10 encontra-se corroborada nos *logs* (Anexo III.2) de perfuração dos furos de água (KP, 2024), e que se encontram sintetizados na Tabela 3.10. Efetivamente, no mesmo quadro é possível constatar a presença de um manto de alteração, de espessura variável, onde se desenvolve um aquífero subsuperficial com dinâmica própria mas com fortes interações com o aquífero profundo.

Tabela 3.10 – Síntese dos dados de furos de água (piezómetros).

FURO	PROFUNDIDADE DO MANTO DE ALTERAÇÃO	COORDENADAS (PT-TM06/ETRS89)	
		X	Y
24GRAWB007 (EX4)	24,5	29541	216657
24PNRGRAWB003 (EX9 R)	20,0	29137	215397
EX1	39,0	29653	216793
EX2	41,0 a)	29657	216785
EX4	29,0	29525	216676

FURO	PROFUNDIDADE DO MANTO DE ALTERAÇÃO	COORDENADAS (PT-TM06/ETRS89)	
		X	Y
EX5	24,0	29534	216666
EX7	36,0 a)	29131	215377
EX9	30,0 a)	29140	215402
EX10	33,0	27144	217804
EX12	36,0	27140	217815
MB11 (EX11)	30,0	27179	217784

Em relação à informação constante no quadro anterior acrescenta-se o facto de, em três furos (EX2, EX7 e EX9), se terem registado prolongamentos em profundidade dos efeitos de alteração ao longo de planos de fraturas. Mais adiante, no final da Secção 3.3.9, será apresentado o modelo hidrogeológico concetual.

3.3.8 LEVANTAMENTO PIEZOMÉTRICO LOCAL

Em paralelo com o levantamento e confirmação dos pontos de água existentes na concessão mineira e áreas envolventes, foram também registados níveis hidrostáticos sobre rede de piezómetros e sondagens do projeto mineiro, de forma a obter uma perceção local dos níveis piezométricos locais. Com este propósito, foram adicionados dados de níveis hidrostáticos das nascentes e minas inventariadas, assim como uma malha de pontos de linhas de água principais (onde os níveis hidrostáticos são superficiais). Esta malha de pontos foi realizada com recurso à carta militar. Em suma, pretendeu-se obter uma representação cartográfica dos níveis piezométricos das áreas inseridas na concessão mineira e áreas envolventes. A atualização do inventário de nascentes e pontos de água encontra-se no Anexo III.3.

Na Figura 3.11 é apresentado um mapa ilustrativo da piezometria da área de concessão mineira e de Covas do Barroso, realizada com base na metodologia acima referida. Na Figura 3.12 é apresentado um mapa com nuvem de pontos de níveis piezométricos determinados e inferidos que serviu de base para o mapa ilustrativo da piezometria local.

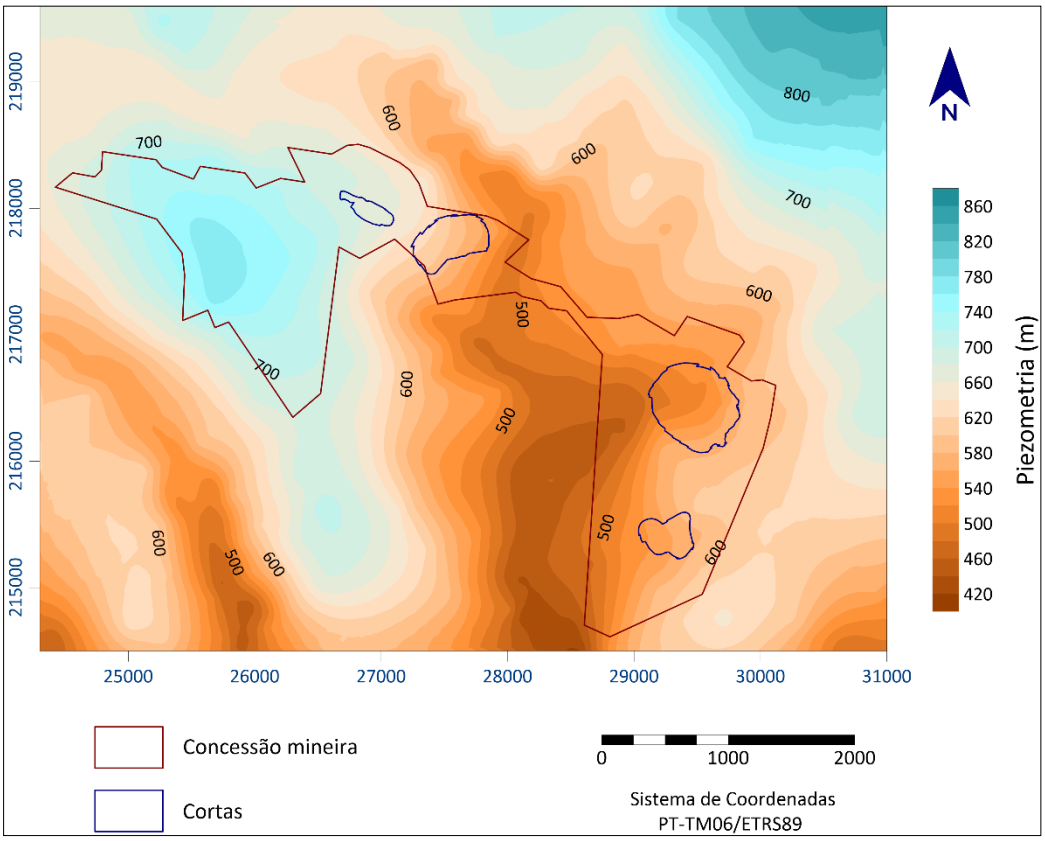


Figura 3.11 – Piezometria de Covas do Barroso, realizada com base em dados de níveis hidrostáticos e análise da carta militar.

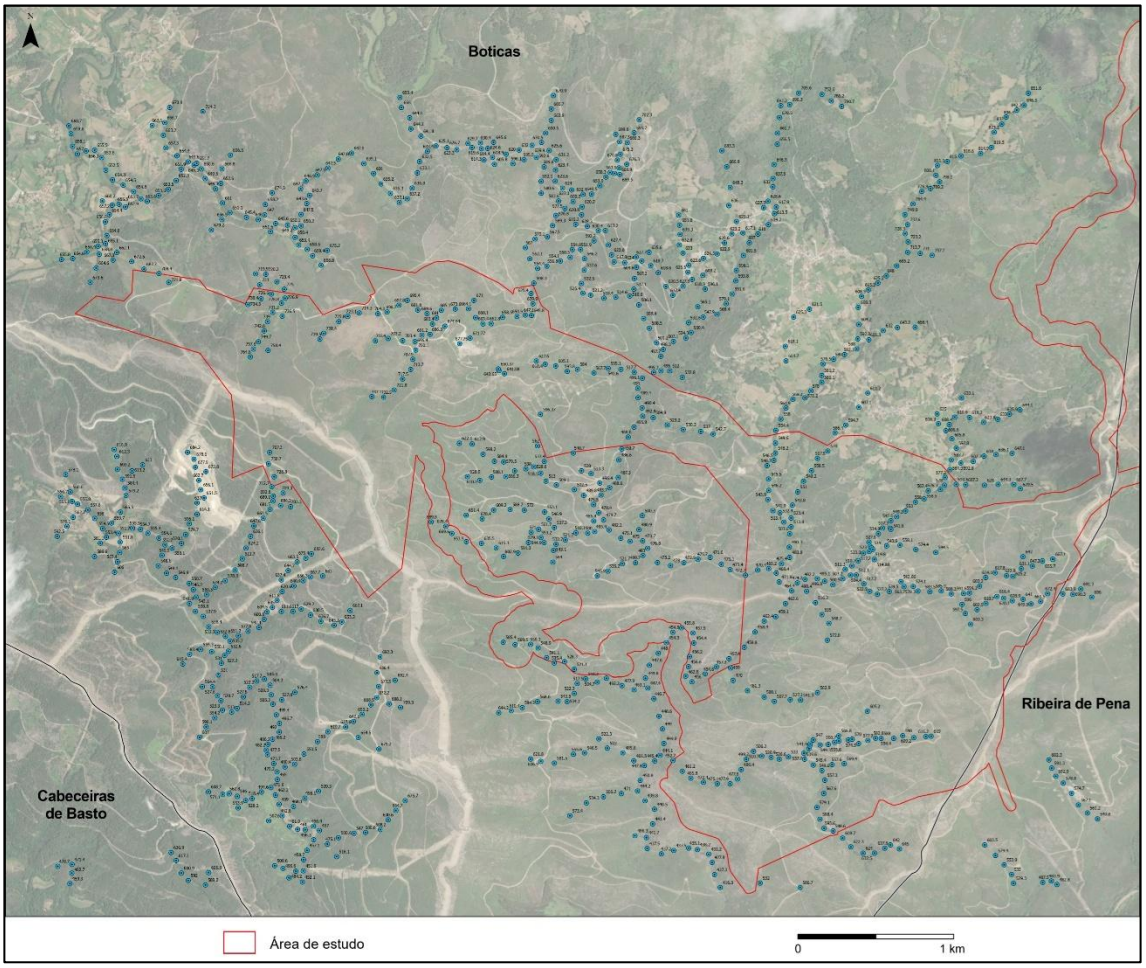


Figura 3.12 – Nuvem de pontos de níveis piezométricos determinados e inferidos que serviu de base para a realização do mapa ilustrado na figura anterior.

Uma primeira análise sobre a piezometria local, ilustrada no mapa anterior, sugere a existência de uma grande variação nos níveis a qual é, em grande medida, o reflexo dos padrões topográficos e geomorfológicos locais. Note-se que os dados de níveis hidrostáticos foram recolhidos entre fevereiro e março, ou seja, durante o período de águas altas. Com efeito, é expectável um rebaixamento geral dos níveis em épocas de estiagem (águas baixas).

A topografia local e a geomorfologia, exercem uma importante influência nos processos hidrodinâmicos das massas de água subterrâneas locais, na medida em que estão na base da ocorrência de importantes gradientes hidráulicos entre as áreas mais elevadas (de recarga) e áreas mais baixas (mais favoráveis à descarga).

Esta situação é a base da ocorrência de grandes variações de níveis piezométricos que são mais suaves (em comparação com a superfície) em áreas mais elevadas e menos rebaixadas em áreas mais deprimidas.

Na ilustração que se segue é apresentada uma fotografia onde é possível observar, diretamente, o nível freático em área deprimida (escavada) da concessão mineira, representativo da piezometria local. Neste caso, o nível freático é representativo do nível hidrostático.



Figura 3.13 – Observação direta de nível freático em escavação.

É em zonas mais deprimidas que as zonas húmidas tendem a concentrar-se e onde existem mais nascentes. A análise topográfica e geomorfológica (em conjunto com a geologia) são, efetivamente, parâmetros importantes na perceção do funcionamento do modelo hidrogeológico concetual local.

Na Figura 3.14 é apresentado um mapa ilustrativo das principais direções de fluxo subterrâneo e gradientes hidráulicos determinados pela piezometria local.

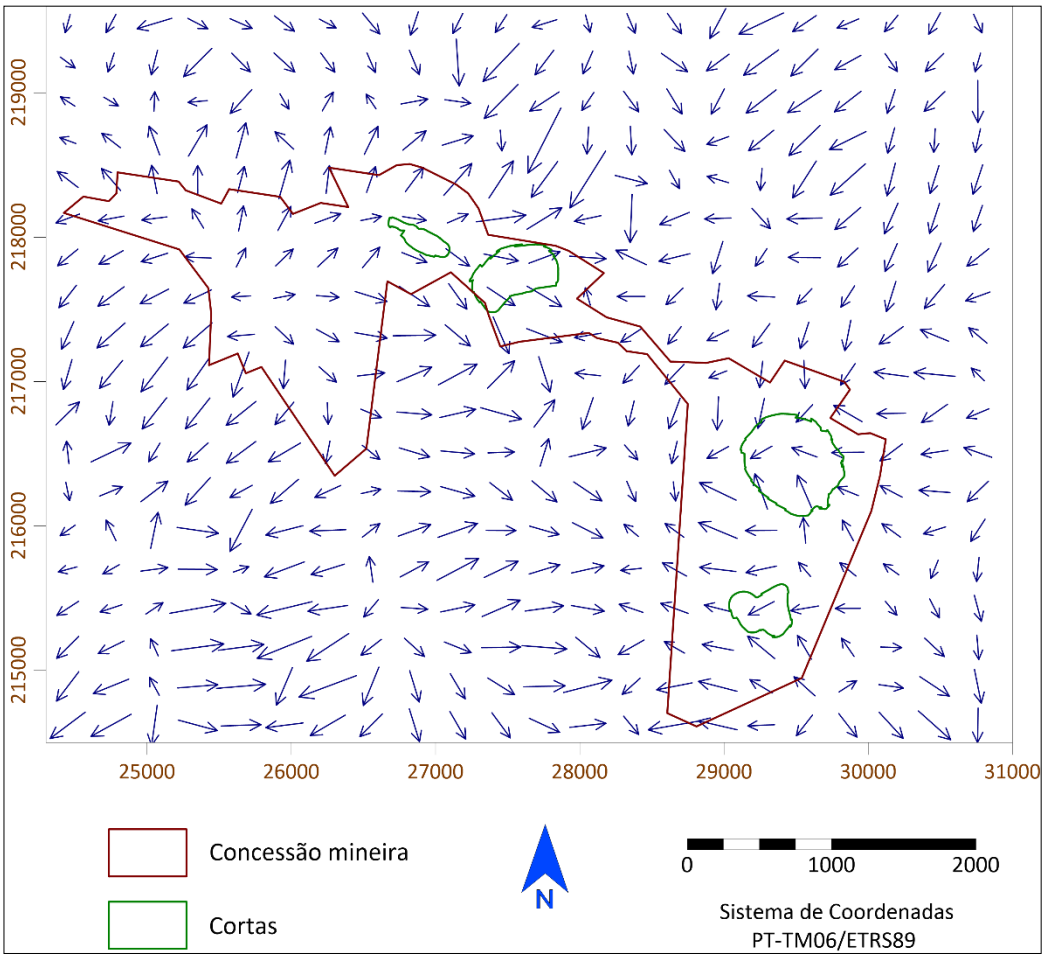


Figura 3.14 – Principais direções de fluxo subterrâneo e gradientes hidráulicos determinados pela piezometria local.

Para além da topografia e da piezometria, a fissuração dos maciços rochosos e outras descontinuidades mecânicas litoestruturais (em diferentes escalas), exercem particular influência nos padrões de fluxo hídrico subterrâneos locais.

3.3.9 Ensaios Hidrogeológicos De Campo

Foram realizadas duas fases a investigação de campo com recurso a perfurações e ensaios que tiveram início em novembro de 2023, tendo sido concluídas em julho de 2024. Nesta secção abordam-se os ensaios realizados e os resultados obtidos bem como a sua interpretação. Os resultados dos ensaios de infiltração realizados nos lameiros encontram-se no Anexo III.4.

3.3.9.1 Campanhas de Perfuração

Ao longo das campanhas hidrogeológicas de campo, foram realizados onze furos com profundidades entre os 112 m e 240 m (Tabela 3.11). Na primeira fase (4º Trimestre de

2023), foram realizados onze furos para funcionar como piezómetros de monitorização e quatro furos de produção. Os furos de produção e monitorização foram revestidos com tubagem de PVC de 140 mm lisa e ralos ranhurados. Na segunda fase (2º e 3º Trimestres de 2024), foram instalados dois furos de produção de 205 mm. O espaço anelar foi preenchido com cascalho calibrado nas secções ranhuradas (ralos). Foram aplicados selos de bentonite e cimento em todos os furos, tanto de produção como de monitorização. Após a construção, os furos foram desenvolvidos por *airlifting* entre 15 e 30 minutos. Sempre que ocorreram falhas geológicas e intensos índices de fraturação, durante as perfurações, houve lugar registos de caudal. As primeiras entradas de água ocorreram em profundidades entre 1,1 e 34 m, com caudais de *airlifting* entre 0,17 L/s e 19,23 L/s.

As pesquisas de campo foram concebidas de modo que cada furo alvo de bombagem tivesse um furo de monitorização adjacente de forma a complementar os ensaios sobre os aquíferos locais, e assim determinar diversos parâmetros hidráulicos, incluindo os coeficientes de armazenamento. Alguns desses furos de monitorização poderão vir a ser utilizados, posteriormente, para controlo operacional de águas subterrâneas a longo prazo. Na Figura 3.15 é apresentada a localização dos furos executados.

As medições do nível freático realizadas em novembro de 2024 variaram entre 1,7 m e 26,35 m de profundidade.

Os parâmetros de qualidade da água subterrânea foram registados manualmente no campo com recurso a um equipamento portátil durante as campanhas de perfuração. Os resultados sugerem estar-se na presença águas subterrâneas de boa qualidade, com tendência ligeiramente alcalina, apresentando valores de pH entre 6,88 e 9,92, baixos teores de sólidos dissolvidos totais (TDS), mais concretamente: entre 15 ppm e 110 ppm, e condutividade elétrica (CE) entre 30 µS/cm e 220 µS/cm

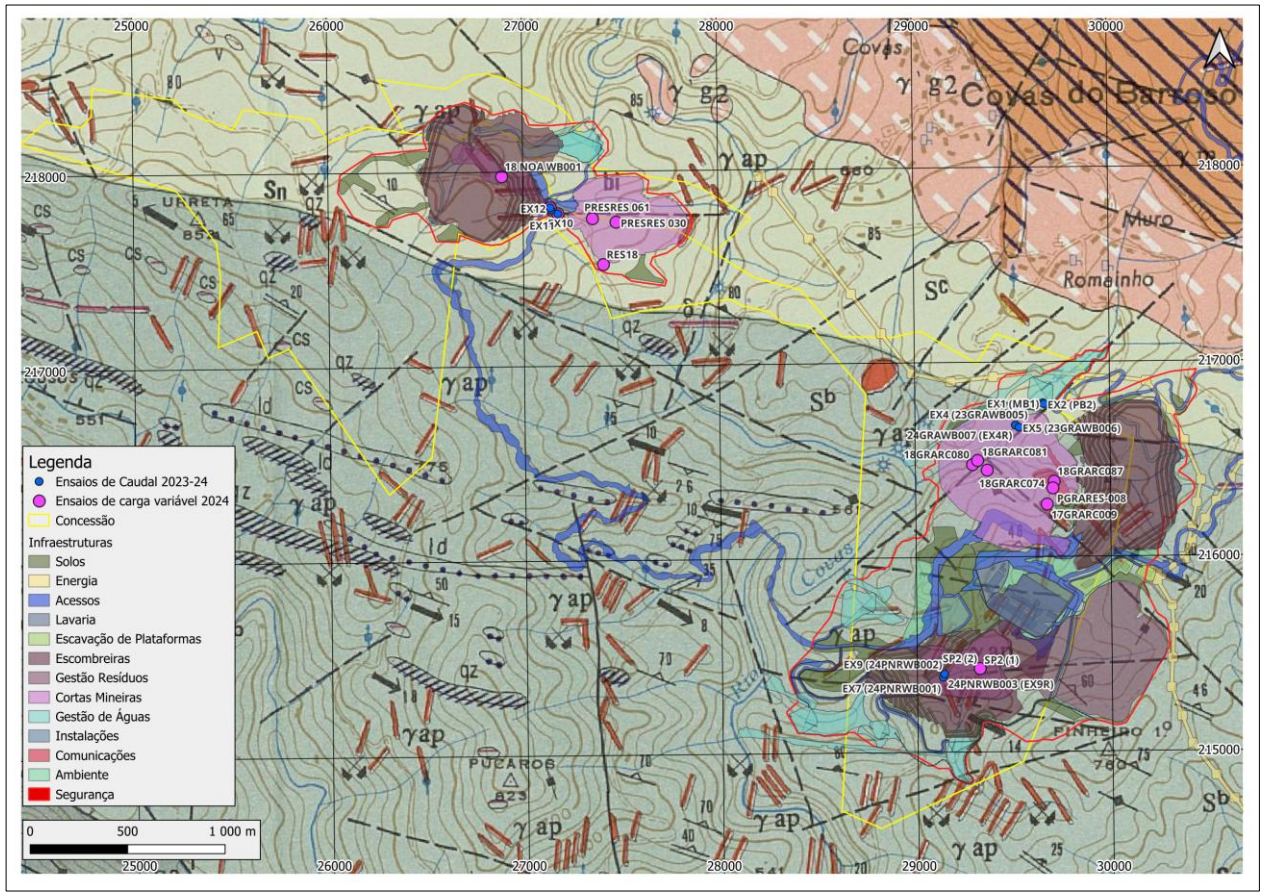


Figura 3.15 – Localização dos furos perfurados entre 2023 e 2024 (adaptado de Noronha & Lima, 1992).

Tabela 3.11 – Síntese das perfurações e trabalhos de instalação dos furos.

ID FURO	COORDENADAS (PT-TM06 / ETRS89)		PROFUNDIDADE DE PERFURAÇÃO (m)	CAUDAL (L/s)	pH	EC (µS/cm)	TDS (ppm)	TEMP. (°C)	PROFUNDIDADE	OBSERVAÇÕES
	X	Y								
EX1 (MB1)	29657	216789	240	0,4	9,47	110	60	16,9	136	O revestimento não avançou para além dos 136 m devido aos colapsos em zonas de fratura
EX2 (PB2)	29663	216784	180	1,8	9,81	140	70	13,9	175	Caudal suficiente para ser testado com bomba. Pode ser utilizado como furo de monitorização
EX4	29516	216676	120	>17	8,85	50	30	12,3	118	Furo revestido de 8" 24GRAWB007 (EX4R) instalado junto a EX4
24GRAWB007 (EX4R)	29516	216676	130	14	8,04	47	24	5,4	128,5	Furo de substituição de EX4 devido aos elevados caudais e às limitações de testes
EX5	29534	216665	202	1,2	9,92	90	50	12,4	136	Se o nível de água no EX4 não puder ser reduzido o suficiente devido ao grande volume, o EX 5 pode ser testado e o EX4 e o EX2 podem ser monitorizados
EX7	29133	215385	130	5,26	7,73	76	38	13,6	56	-
EX9	29140	215402	130	19,23	6,88	30	15	13,1	130	Furo revestido de 8" 24PNRWB003 (EX9R) instalado junto a EX9

ID FURO	COORDENADAS (PT-TM06 / ETRS89)		PROFUNDIDADE DE PERFURAÇÃO (m)	CAUDAL (L/s)	pH	EC (µS/cm)	TDS (ppm)	TEMP. (°C)	PROFUNDIDADE	OBSERVAÇÕES
	X	Y								
24PNRWB003 (EX9R)	29140	215402	130	16,5	6,67	85	54	16,0	130	Furo de substituição do EX9 devido aos elevados caudais e às limitações de testes
EX10	27144	217804	112	0,34	9,51	220	110	14,3	N/A	O local foi deslocado aproximadamente 25 m para oeste do sítio planeado
EX11 (MB11)	27179	217784	170	0,17	8,17	170	80	18,7	156	O local foi deslocado aproximadamente 7 m para SE do sítio planeado
EX12	27140	217815	170	0,37	7,70	220	90	18,4	N/A	O local foi deslocado aproximadamente 30 m para oeste do sítio planeado

3.3.9.2 ENSAIOS DE BOMBAGEM

A área do Projeto, em termos hidrológicos, integra a Bacia Hidrográfica do Douro. É uma área de bacia caracterizada por condutividades hidráulicas baixas, devido à fraca produtividade e estabilidade de aquíferos em termos de abastecimento e captação de águas. As baixas condutividades hidráulicas poderão estar associadas às matrizes rochosas maciças (metamórficas) da região.

3.3.9.3 ENSAIOS DE CARGA VARIÁVEL

Foram realizados ensaios de carga variável em quinze furos. A partir dos dados obtidos foram determinados parâmetros hidráulicos para suportar os testes de perfuração e ensaios sobre as massas de água subterrâneas locais (Tabela 3.12).

3.3.9.4 ENSAIOS DE BOMBAGEM

O programa de ensaios de bombagem foi concebido em três fases:

- Ensaios escalonados de caudal (*step rate tests*) para definição do caudal constante;
- Ensaios de caudal constante (*constant rate test*);
- Ensaio de recuperação do nível freático após bombagem.

Seis furos de produção instalados (cada um com um furo de monitorização associado) foram submetidos a ensaios de bombagem. Entre os furos originais, dois foram substituídos por furos de produção com maior diâmetro, instalados o mais próximo possível das localizações iniciais. Um ensaio de bombagem foi realizado em 2023 e cinco em 2024. Os dados foram analisados com o software AQTESOLV, estando os resultados sintetizados na Tabela 3.13 e na Tabela 3.14. As análises detalhadas encontram-se no Anexo III.5.

Tabela 3.12 – Parâmetros obtidos no decurso dos ensaios de caudal realizados.

ID FURO	ESTE (PT-TM06/ ETRS89)	NORTE (PT-TM06/ ETRS89)	K (m/dIa)	ESPESSURA DO AQUÍFERO (m)	SOLUÇÃO	T (m²/d)	DEPÓSITO
18 NOA WB001	26892	217977	60,47	100	Bouwer Rice	6,0047	NOA
17GRARC009	29675	216269	0,005676	15	Bouwer Rice	0,08514	Grandão
18GRARC074	29369	216446	0,01685	106	Bouwer Rice	1,7861	Grandão
18GRARC080	29294	216475	0,09312	193	Bouwer Rice	17,97216	Grandão
18GRARC081	29320	216496	0,0005327	163	Bouwer Rice	0,086301	Grandão
18GRARC087	29712	216386	0,001278	43	Bouwer Rice	0,054954	Grandão
EX10	27144	217804	0,01992	145	Bouwer Rice	2,8884	NOA/ Reservatório
EX11	27179	217784	0,096	146	Bouwer Rice	14,016	NOA/Reservatório
EX12	27140	217815	0,06741	155	Bouwer Rice	10,44855	NOA/ Reservatório
RES18	27410	217521	0,02699	24	Bouwer Rice	0,64776	Reservatório
PRESRES 030	27477	217738	0,04097	93	Bouwer Rice	3,81021	Reservatório
PRESRES 061	27356	217757	0,003309	154	Bouwer Rice	0,509586	Reservatório
SP2 (1)	29323	215428	0,01563	120	Bouwer Rice	1,8756	Pinheiro
SP2 (2)	29323	215428	0,06006	120	Bouwer Rice	7,2072	Pinheiro
PGRARES-008	29705	216352	0,03958	50	Bouwer Rice	1,979	Grandão

EX2

O primeiro ensaio de bombagem foi realizado no furo EX2 (em 19/12/2023), utilizando o EX1 como furo de monitorização. A bomba foi instalada a 90 m de profundidade. Foram efetuados três ensaios escalonados com caudais de 0,5 L/s, 1 L/s e 1,5 L/s, cada um com duração de 30 minutos, para determinar o caudal constante a aplicar.

Posteriormente, foi realizado um ensaio de caudal constante de 23,3 horas com caudal de 1 L/s, seguindo-se um ensaio de recuperação de 20 horas. O rebaixamento máximo atingido após 23,3 horas foi de 39,87 m abaixo do topo do revestimento; o nível de água recuperou para 1,75 m de profundidade após 20 horas.

Os valores estimados de transmissividade para o EX2 variaram entre 3,52 m²/dia e 4,14 m²/dia, e os valores derivados de armazenamento entre 0,0001182 e 0,0002089.

EX11

Os ensaios de caudal realizados em EX11 iniciaram-se em 24/02/2024. No total, foram realizados quatro ensaios escalonados, respetivamente a: 0,1 L/s, 0,2 L/s, 0,3 L/s e 0,4 L/s. Cada um destes ensaios teve 60 minutos de duração. Posteriormente, realizou-se um ensaio de caudal constante de 24 horas a 0,3 L/s, seguido de um ensaio de recuperação com a mesma duração (24 horas).

O rebaixamento máximo registado foi de 45,1 m após 15,7 horas de bombagem, a partir do qual o nível de água começou a recuperar ligeiramente, atingindo 44,4 m no final das 24 horas de teste. O nível de água recuperou totalmente ao fim de 5,9 horas, e cerca de 24 horas após o ensaio encontrava-se aproximadamente 58 cm acima do nível original pré-ensaio.

No furo de monitorização EX10, registou-se um rebaixamento máximo de 4,12 m após 24,7 horas, com recuperação total ao fim de 12 horas. No furo próximo EX12 não se registou descida do nível de água.

Os dados foram analisados e os parâmetros do aquífero derivado. Os valores estimados de transmissividade para o EX11 variam entre 0,95 m²/dia e 2,75 m²/dia, com armazenamento entre 0,00001237 e 0,0000227.

EX4

Os ensaios de bombagem realizados em EX4 iniciaram-se em 29/02/2024. Devido ao tamanho da bomba (4”) e ao diâmetro do revestimento (5”), surgiram dificuldades durante a instalação.

A bomba foi instalada a 80 m de profundidade. Procurou realizar-se um ensaio escalonado a 4 L/s, mas o nível de água desceu até à entrada da bomba (79,5 m de profundidade) em menos de um minuto. A 2 L/s, o nível atingiu a entrada da bomba após 1,4 minutos, e a 1 L/s atingiu a entrada após 8 minutos. Após o ensaio a 1 L/s, o nível de água recuperou de 79,5 m para 3 m de profundidade em 23 minutos.

Uma possível explicação para a rápida descida do nível de água poderá ser a falta de espaço entre a bomba, a coluna e o revestimento, bem como a entrada limitada de água através do revestimento ranhurado (ralo) - apesar de o ensaio de *airlift* realizado durante a perfuração ter indicado um caudal de 17 L/s. Nota-se que o ensaio de *arilift* foi efetuado antes da instalação do revestimento e da camada filtrante (*gravel pack*).

A bomba foi depois colocada a 65 m de profundidade onde se tentou novamente realizar um ensaio a 1 L/s. Após 2 minutos, o nível de água desceu para 63,2 m de profundidade, pelo que se decidiu instalar uma bomba mais pequena para prosseguir com os ensaios.

Foi então instalada uma bomba mais pequena a 80 m de profundidade. Três ensaios escalonados foram então realizados, respetivamente: a 0,5 L/s, 1 L/s e 1,5 L/s em 06/02/2024. Os dois primeiros escalões tiveram 1 hora de duração cada, mas a 1,5 L/s o nível de água atingiu a entrada da bomba após 24 minutos. O nível recuperou totalmente em 34 minutos, e foi então iniciado o ensaio de caudal constante a 1 L/s. Os furos EX5, EX1 e 18GRAWB002 foram utilizados como furos de monitorização.

O rebaixamento inicial até 31 m foi relativamente rápido, embora os dados mostrem vários pequenos eventos de recuperação. A descida do nível de água foi-se tornando mais lenta até aos 198 minutos. Nesse momento verificou-se uma descida súbita de aproximadamente 2 m, que poderá indicar a rápida drenagem de uma fratura ou zona fraturada. Entre os 221 minutos e o final do ensaio, o nível de água foi muito irregular, registando-se uma recuperação de cerca de 3 m, entre os 609 e os 679 minutos. Em geral, durante a bombagem, o nível foi recuperando lentamente desde os 221 minutos até ao final do ensaio de 24 horas.

O nível de água recuperou 99% do nível original pré-ensaio ao fim de 60 minutos após o fim da bombagem.

No furo de monitorização EX5, não se verificou rebaixamento significativo, registando-se um máximo de 47 cm ao fim de 24 horas. Nos furos EX1 e 18GRAWB002 não se registaram efeitos de rebaixamento relacionados com a bombagem.

Não foi possível analisar completamente os dados resultantes do ensaio devido às limitações de bombagem (dimensão da bomba limitada pelo diâmetro do revestimento). Foi recomendada a perfuração de um furo adjacente ao EX4, o mais próximo possível, visando a mesma estrutura de elevada produtividade, mas construído com revestimento de 8” (20,32 cm), de modo a permitir a instalação de uma bomba de maior diâmetro e capaz de operar a caudais mais elevados.

O furo de substituição, 24GRAWB007 (EX4 R), foi instalado e testado com sucesso em 2024.

24GRAWB007 (EX4 R)

Foi realizado um ensaio de caudal constante (CRT) com duração de 46 horas a 10 L/s, que foi reduzido para 7 L/s (no decurso do ensaio) devido à rápida descida do nível de água, seguido de um ensaio de recuperação de 12 horas. O rebaixamento máximo atingido foi de 104 m após 12 horas de bombagem; o nível de água recuperou para 3,1

m de profundidade no final do ensaio de recuperação de 12 horas. No furo de monitorização EX5, registou-se um rebaixamento máximo de 7,75 m durante o CRT, com recuperação para o nível de 2,71 m ao fim de 12 horas de recuperação. Os dados foram analisados e os parâmetros hidráulicos determinados são os seguintes: transmissividade variam entre 30,28 m²/dia e 35,35 m²/dia; e os coeficientes de armazenamento variam entre 0,0178 e 0,02524.

EX9

Com base na informação obtida no ensaio de bombagem do furo EX4 e na possibilidade de um caudal inferior ao valor de 19 L/s L/s obtido por *airlift* durante a perfuração do furo EX9, decidiu-se instalar inicialmente a bomba mais pequena no EX9 de forma a realizar os ensaios escalonados.

A bomba foi instalada a 100 m de profundidade e os ensaios escalonados iniciaram-se em 13/03/2024. Ao caudal máximo da bomba (3 L/s), o rebaixamento foi de apenas 2,7 m antes de o nível de água estabilizar.

Decidiu-se então instalar a bomba maior e iniciar diretamente o ensaio de caudal constante (CRT), à capacidade máxima da bomba, durante 48 horas, sem ensaios escalonados. A bomba foi instalada a 76,5 m de profundidade e o CRT foi realizado a caudal de 5,7 L/s. O furo EX7 foi utilizado como furo de monitorização durante o ensaio.

O rebaixamento inicial foi rápido - aproximadamente 3 m após 12 minutos -, seguindo-se uma descida lenta do nível de água. O rebaixamento máximo foi de 3,66 m após 36 horas e 23 minutos. Ao fim de 20 horas e 52 minutos de ensaio verificou-se um pequeno evento de recarga, tendo o nível de água recuperado 10 cm em 10 minutos. O gerador avariou ao fim de 36 horas e 23 minutos do Ensaio de Caudal Constante (CRT) planeado (48 h), pelo que o nível de água iniciou a recuperação.

Após a paragem da bombagem, a recuperação inicial foi rápida, ou seja, o nível de água recuperou até 86% do nível pré-ensaio em 93 minutos. Depois, a recuperação abrandou, atingindo 94% do nível original ao fim de 24 horas e 27 minutos.

O rebaixamento máximo registado no furo de monitorização EX7 foi de 1,16 m, e o nível de água recuperou totalmente após 23 horas e 17 minutos.

Os dados foram analisados e determinados os parâmetros hidráulicos do aquífero. Os valores estimados, para o EX9, foram: transmissividade entre 184,9 m²/dia e 285 m²/dia; armazenamento entre 0,01713 e 0,001219.

No furo EX9, o caudal máximo de bombagem atingível (5,7 L/s) foi insuficiente para induzir um rebaixamento significativo, quer no furo de bombagem, quer no furo de monitorização, que permitisse gerar o stress adequado sobre o aquífero.

Tal como no sucedeu no furo EX4, as limitações impostas pelo revestimento de 5” (12,7 cm) impediram a utilização de uma bomba de maior capacidade. O ensaio de bombagem ideal é aquele em que o nível de água no furo de bombagem desce até ficar

imediatamente acima da entrada da bomba após 24 ou 48 horas (ou o período de ensaio definido).

Embora os dados tenham podido ser analisados, o rebaixamento final foi de apenas 3,66 m num total disponível de 120 m, pelo que foi recomendado perfurar um furo com revestimento de 8”, direcionado para a mesma estrutura do furo EX9, e repetir o ensaio a um caudal suficiente para provocar stress efetivo no aquífero.

24PNRWB003 (EX9 R)

Com base na recomendação resultante dos ensaios no EX9 para perfurar um novo furo e repetir o teste, foi perfurado um furo o mais próximo possível do EX9 e realizado o ensaio do aquífero.

Foram efetuados quatro ensaios escalonados a, respetivamente: 5 L/s, 8 L/s, 10 L/s e 14 L/s. Posteriormente, realizou-se um ensaio de caudal constante de 48 horas a 9 L/s, seguido de um ensaio de recuperação de 5 horas.

O rebaixamento máximo registado foi de 15,48 m após 48 horas de bombagem. Durante o ensaio de recuperação, o nível de água começou a recuperar quase até ao nível original pré-ensaio ao fim de 5 horas, atingindo 0,97 m.

No furo de monitorização EX7, registou-se um rebaixamento máximo de 6,78 m ao fim de 5 horas, com recuperação para 2,11 m no mesmo período de 5 horas. Os dados foram analisados e os parâmetros do aquífero estimados: transmissividade entre 29,06 m²/dia e 53,99 m²/dia; armazenamento entre 0,0021 e 0,03337.

Com base na análise da Tabela 3.11 evidencia-se ainda (sobre os demais parâmetros obtidos) um valor de condutividade hidráulica (K) no furo 18 NOA WB001 que, à partida, não será compatível com os valores típicos de aquíferos presentes no Maciço Antigo Ibérico. Trata-se de um valor na ordem de 60 m/dia o qual, considerando uma espessura de aquífero de 100 m, resulta numa transmissividade superior a 6000 m^2/dia. Estes valores de condutividade hidráulica e transmissividade correspondem, efetivamente, *outliers* no contexto dos dados obtidos nos ensaios de caudal realizados. O facto de se estar na presença de aquíferos heterogéneos (fissurados) e anisotrópicos não justifica, suficientemente, esta disparidade de valores em relação à norma dos dados obtidos. De facto, para estes índices de condutividade hidráulica e transmissividade, poderão estar a contribuir fatores como: interseção de diferentes camadas aquíferas, interseção de várias estruturas tectónicas permeáveis, e elevados gradientes hidráulicos.

Entre os fatores acima veiculados, parece ganhar força a possibilidade do furo de monitorização em causa (18 NOA WB001) ter intersetado diferentes camadas aquíferas. Neste pressuposto, a conceção acima elencada sobre a existência de aquíferos subsuperficiais, com vários tipos de porosidades (primária, fissural e vesicular), ganha especial relevância. Em suma, é possível que o caso em concreto, corresponda uma evidência de combinação de fatores que tornem (pontualmente) os aquíferos subsuperfiais locais como equivalentes a meios porosos.

Tabela 3.13 – Síntese de parâmetros obtidos e interpretados 1.

ID FURO	TIPO DE FURO	NÍVEL HIDROSTÁTICO (m)	ESPESSURA DO AQUÍFERO (m)	ENSAIO DE CAUDAL CONSTANTE (hr)	CAUDAIS À TAXA CONSTANTE (L/s)	NÍVLE DE REBAIXAMENTO MÁXIMO (m)	RECUPERAÇÃO MÁXIMA (m)	DURAÇÃO DA RECUPERAÇÃO (hr)
24GRAWB007 (EX4 R)	Furo de bombeamento	6,29	140	46	10 - 7	110,59	9,37	12
23GRAWB006 (EX5)	Furo de observação	2,39	140			10,14	5,1	12
24PNRWB003 (EX9 R)	Furo de bombeamento	6,13	140	48	9	21,61	7,1	5
24PNRWB001 (EX7)	Furo de observação	2,08	140			8,86	4,19	5
EX2	Furo de bombeamento	5,64	180	24	1	45,501	7,39	20
EX1	Furo de observação	5,65	180	24		14,964	7,04	20
MB11 (EX11)	Furo de bombeamento	23,77	150	24	0,3	68,15	23,18	6
EX10	Furo de observação	25,43	150	24		29,54	25,06	12

Tabela 3.14 – Síntese de parâmetros obtidos e interpretados 2.

ID FURO	COOPER JACOB	COOPER JACOB S	THEIS T (m^2/dia)	THEIS S	NEUMAN T (m^2/dia)	NEUMAN S	FRACTURED AQUIFER MOENCH K (m/dia)	OBSERVAÇÕES
24GRAWB007 (EX4 R)	-	-	25,54	-	20,79	-	0,1799	Furo de substituição. O ensaio de caudal constante (CRT) começou a 10 L/s e foi reduzido para 7 L/s
23GRAWB006 (EX5)	35,01	0,02482	30,28	0,02524	35,35	0,0178	0,2109	-
24PNRWB003 (EX9 R)	-	-	88,67	-	76,38	-	0,5742	Furo de substituição
24PNRWB001 (EX7)	29,06	0,03337	53,99	0,003788	32,14	0,0021	0,4033	-
EX2	3,651		3,468	-	-	-	-	-
EX1	3,522	0,0002066	4,136	0,0001182	3,516	0,0002089	-	-
MB11 (EX11)	0,3108		0,586		0,4943	-	0,003999	Chuva durante o ensaio
EX10	2,749	1,24E-05	2,542	2,27E-05	0,9524	1,66E-05	0,0179	Chuva durante o ensaio

3.3.9.5 Representação Final do Modelo Hidrogeológico Concetual

Após a determinação dos parâmetros hidráulicos, determinados a partir dos ensaios de caudal realizados, foi então possível concluir a "construção" modelo hidrogeológico concetual. Efetivamente, trata-se da representação pictográfica final que foi iniciada na Secção 3.3.7. Na mesma representação, não foram considerados os valores de condutividade hidráulica e de transmissividade obtidos no furo de monitorização 18 NOA WB001 por poder ser considerado um *outlier*.

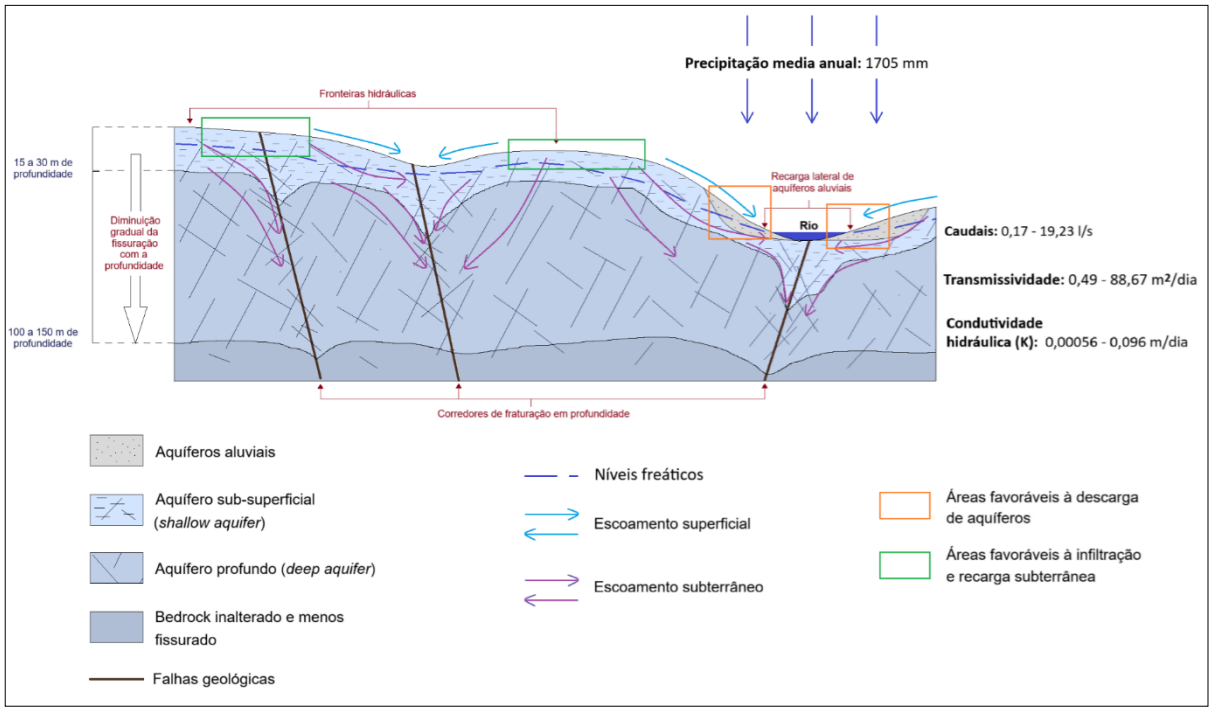


Figura 3.16 – Modelo hidrogeológico concetual.

3.3.10 Modelação Numérica

3.3.10.1 Contexto e Âmbito

Foi realizada uma modelação numérica preditiva de águas subterrâneas para o Barroso, em conformidade com os requisitos da legislação portuguesa. Os objetivos técnicos da modelação foram os seguintes:

- Determinar os caudais de *dewatering* (rebaixamento necessário dos níveis freáticos) necessários para garantir condições adequadas de exploração mineira durante toda a vida útil da mina (LOM – *Life of Mine*);
- Avaliar os potenciais impactes ambientais do projeto mineiro proposto, nas áreas envolventes e nos recetores de águas subterrâneas;

- Estimar os tempos de recuperação do aquífero após a fase de exploração e no encerramento;

- Analisar os potenciais impactes de contaminação associados à Instalação de Rejeitados (*Tailings Storage Facility – TSF*) e às escombreiras (*Waste Rock Landforms – WRLs*).

3.3.10.2 CONFIGURAÇÃO DO MODELO

O modelo de águas subterrâneas original foi desenvolvido em 2023 para avaliar as necessidades de *dewatering* da mina e a migração (nas águas subterrâneas) de potenciais contaminantes associados à instalação de rejeitados (*Tailings Storage Facility* – TSF) e às escombreiras/aterros estéreis (*Waste Rock Landforms* – WRLs). O modelo original foi determinístico, tendo sido desenvolvido utilizando o código de elementos finitos FEFLOW. Para este estudo, o modelo foi convertido para MODFLOW-USG e operado através da interface *Groundwater Vistas*. A principal diferença neste estudo assenta na abordagem de modelação estocástica.

O código MODFLOW-USG (versão Transport, desenvolvida por Sorab Panday) foi escolhido pela sua flexibilidade em relação ao desenho da malha. Ele utiliza malhas não estruturadas, permitindo criar modelos que podem ser refinados em áreas de interesse sem necessidade de refinamentos desnecessários em toda a malha do modelo. Esta abordagem é altamente eficiente em termos do número de nós necessários para simular o sistema de forma precisa. O tempo necessário para executar uma simulação com o código MODFLOW-USG é significativamente menor comparado com outros códigos, o que é importante ao realizar análises de sensibilidade e incerteza.

O domínio do modelo é apresentado na Figura 3.17 e resumido na Tabela 3.15. O modelo e todos os dados associados são especificados utilizando o sistema de coordenadas EPSG:32629 – WGS84 / UTM Zona 29N. Os resultados da modelação são apresentados com a utilização do sistema de coordenadas EPSG:3763 – ETRS89 / Portugal TM09.

Tabela 3.15 – Extensão do modelo (malha EPSG 3763).

	ESTE (m)	NORTE (m)
Canto Noroeste	23577	222201
Canto Nordeste	32843	222201
Canto Sudoeste	23577	212155
Canto Sudeste	32843	212155

A malha do modelo utilizada é do tipo *quadtree*, tendo sido refinada na corta, TSF, WRLs e nas áreas de drenagem para aproximadamente 50 m x 50 m. Fora dessas áreas, o tamanho da malha adotado é de 100 m x 100 m. O total de células ativas no modelo é de 7 629 nós ativos distribuídos por uma camada do modelo (Figura 3.17).

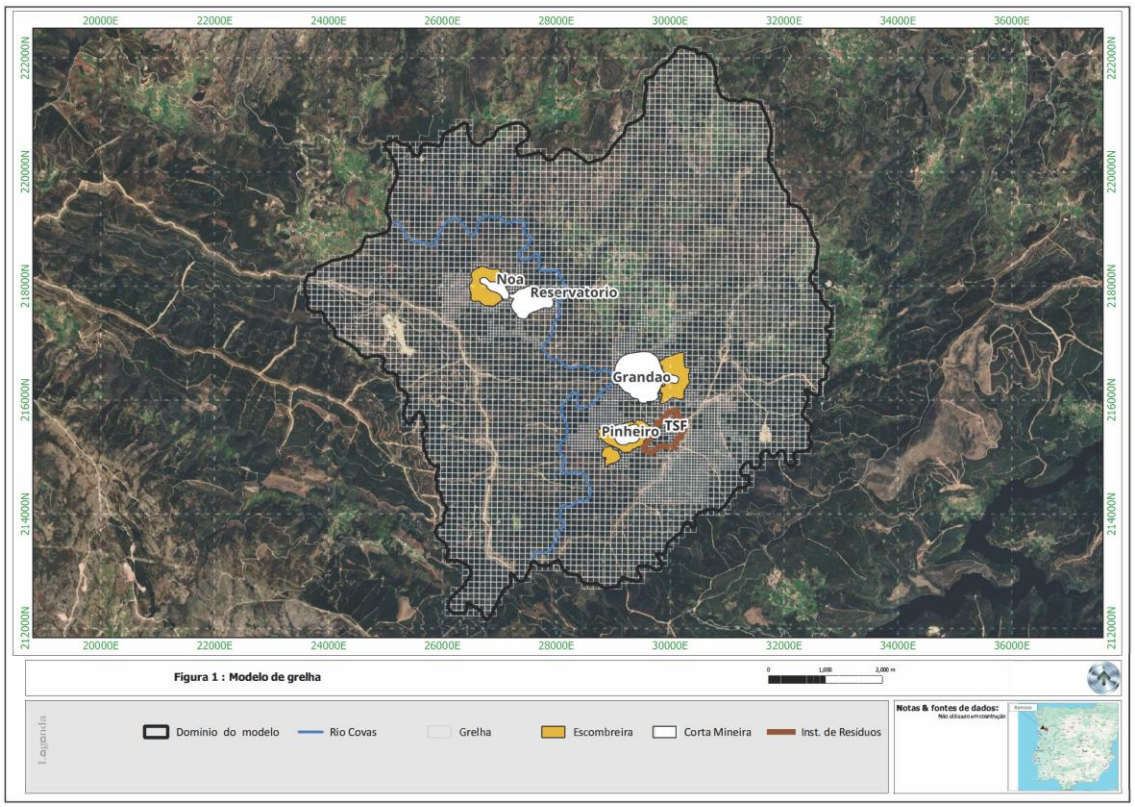


Figura 3.17 – Domínio do modelo numérico e malha definida.

A distribuição inicial dos parâmetros no modelo atual é consistente com o modelo original. A distribuição das unidades hidroestratigráficas simuladas no modelo atual é apresentada na Figura 3.18.

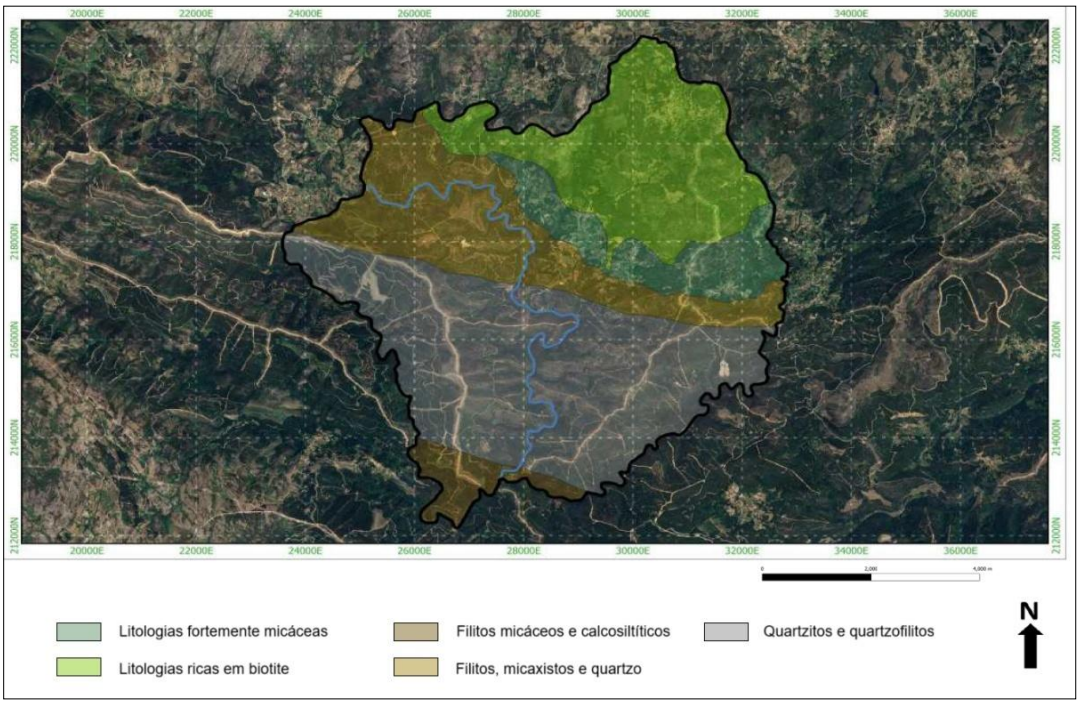


Figura 3.18 – Distribuição das unidades hidroestratigráficas definidas para o modelo.

A topografia no modelo é fornecida como dados LiDAR para uma parte do modelo (Figura 3.19) Para o restante do modelo, foram utilizados dados SRTM.

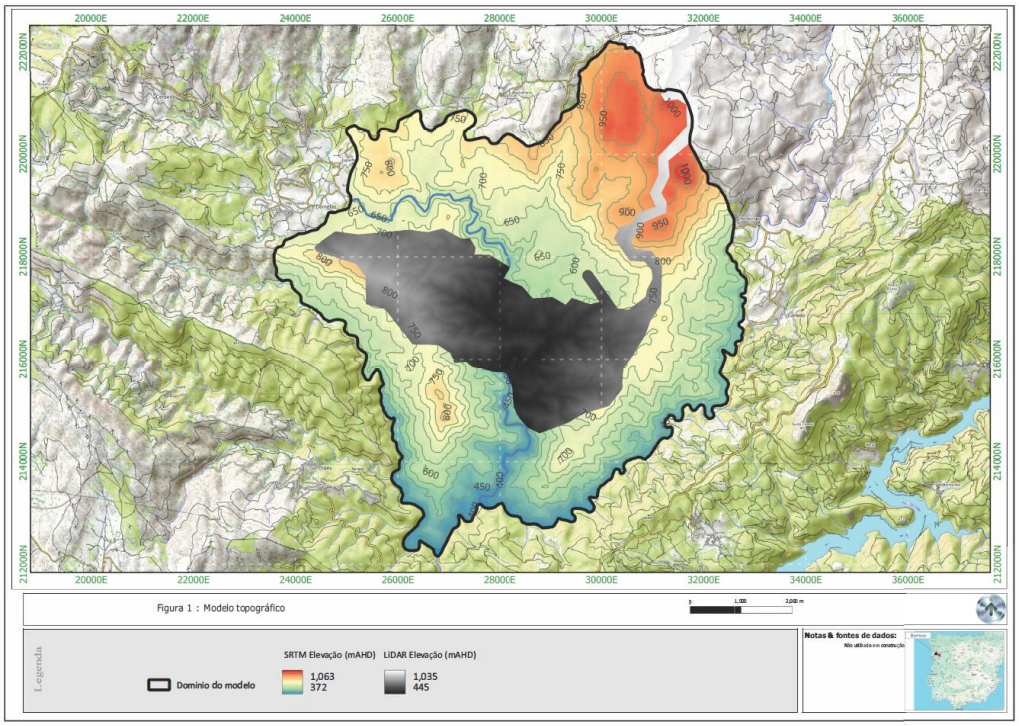


Figura 3.19 – Topografia do modelo, definida a partir de dados LIDAR.

A topografia final do modelo é apresentada na Figura 3.20. As análises topográficas, apresentadas na Figura 3.21 e Figura 3.22, sugerem que existe uma diferença significativa de elevação entre as cortas propostas e o Rio Covas.

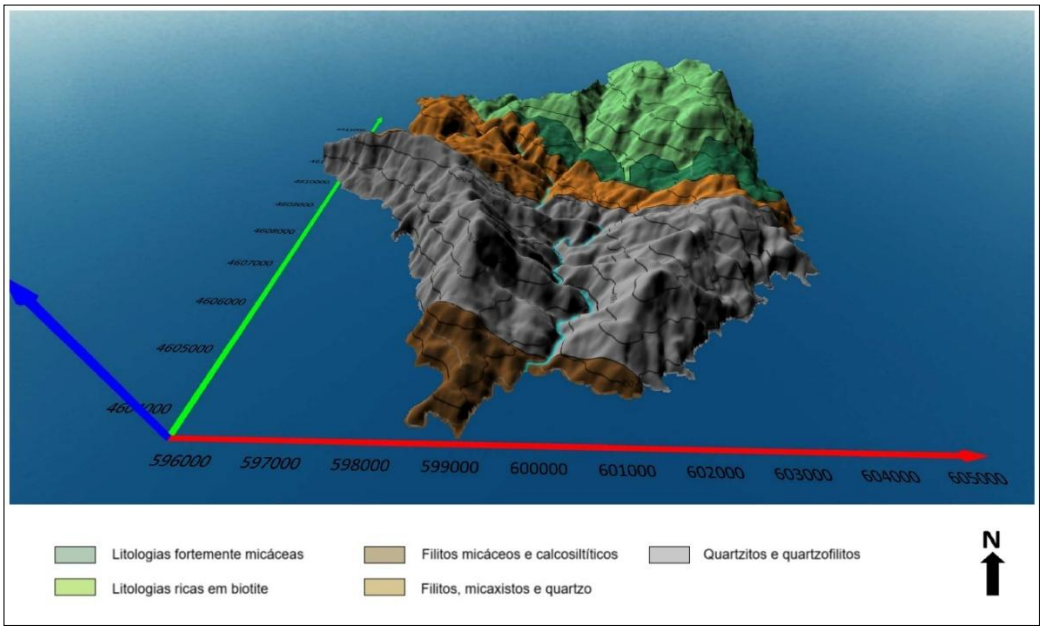


Figura 3.20 – Topografia final do modelo, em perspetiva tridimensional.

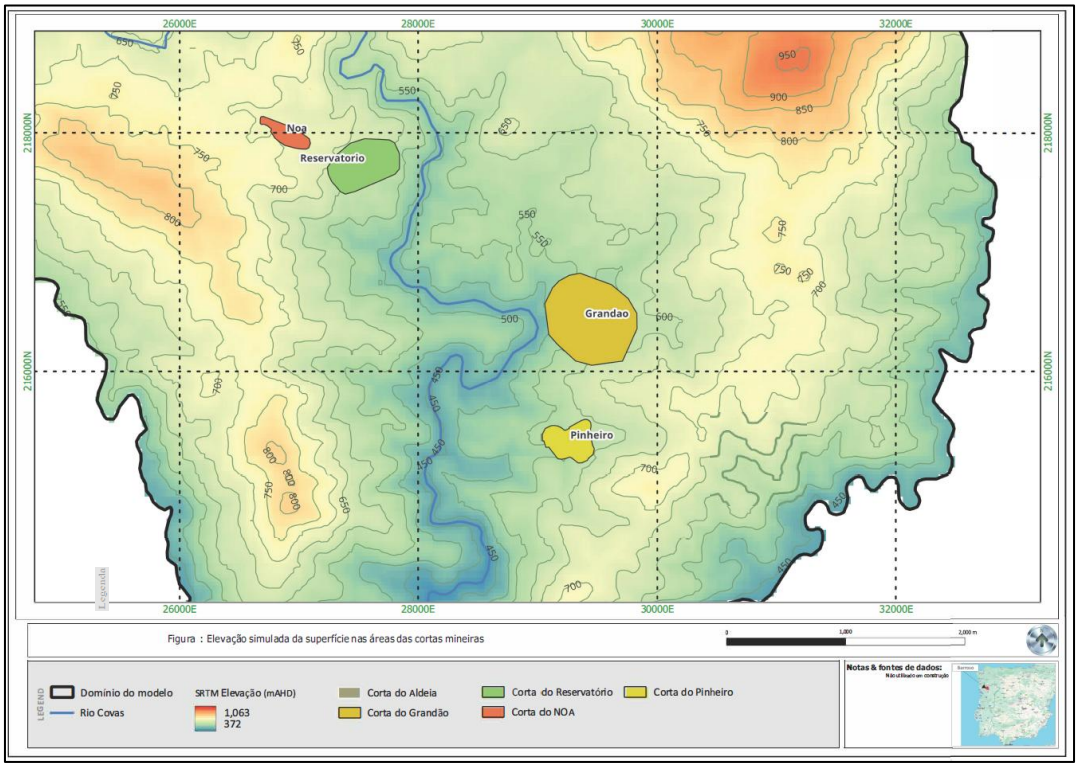
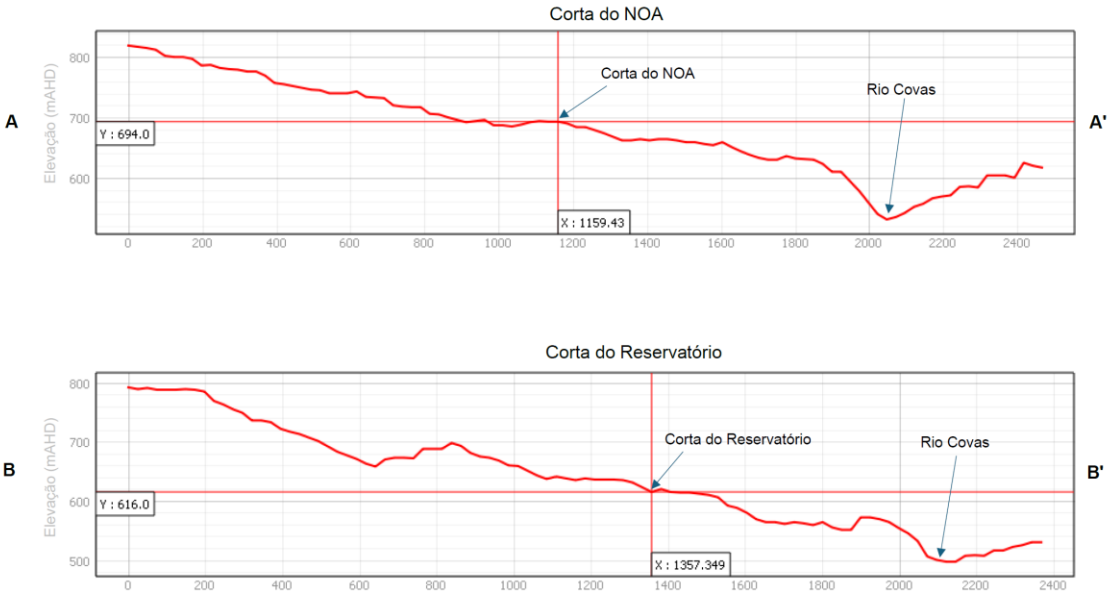


Figura 3.21 – Simulação da elevação de superfície em mapa.



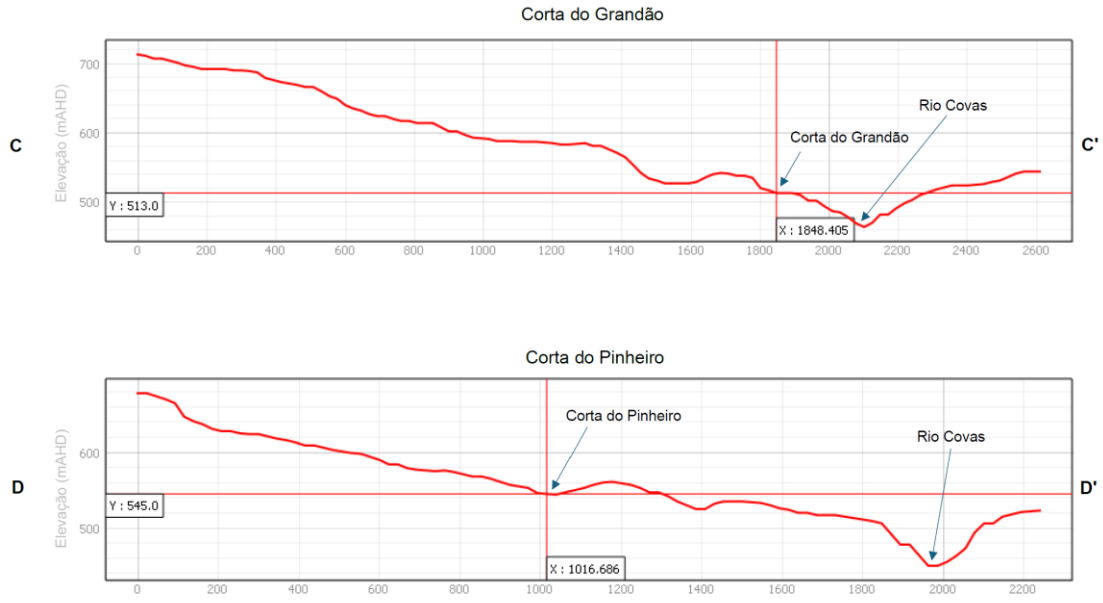


Figura 3.22 – Perfis topográficos.

3.3.10.3 ENTRADA E SAÍDA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

No período em que foram realizados os trabalhos de perfuração e investigação, num levantamento expedito (em 2023), identificaram-se cinco nascentes na área definida para o modelo numérico. No entanto, não foram registados dados de escoamento nem de variações sazonais. Conforme ficou demonstrado na Secção 3.3.5.2, as cinco nascentes aqui reportadas (Figura 3.23) foram posteriormente validadas.

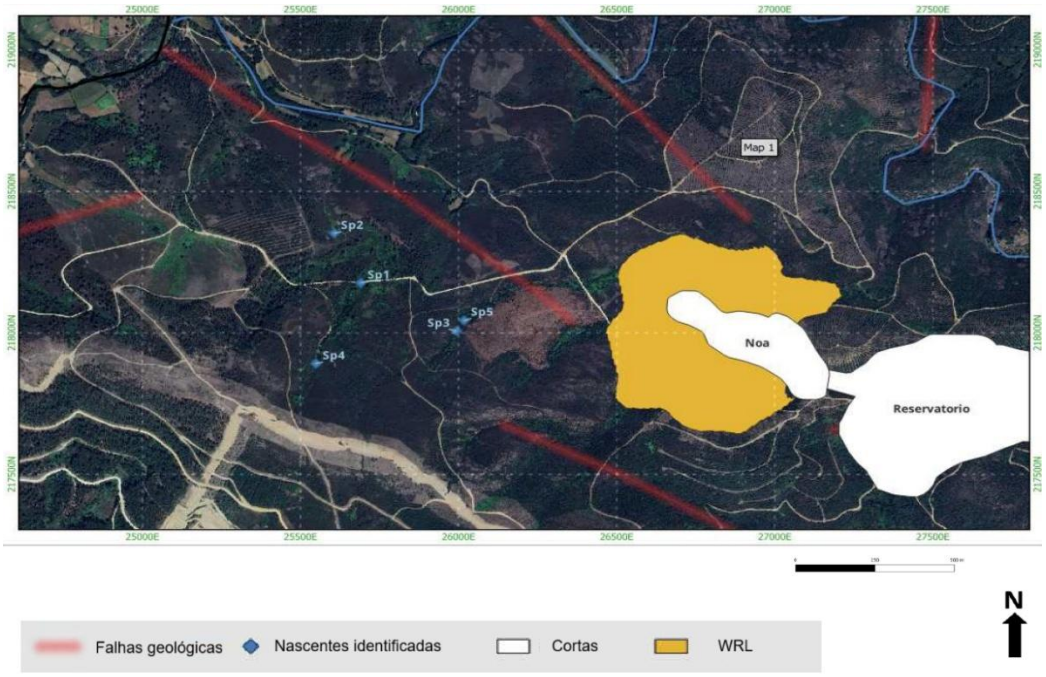


Figura 3.23 – Nascentes identificadas no decurso dos trabalhos de perfuração e pesquisa.

Pela análise da figura anterior, parece evidenciar-se um controlo estrutural da distribuição das nascentes por parte de falhas geológicas e outros lineamentos tectónicos locais. Essas estruturas não estão mapeadas nem apresentadas na cartografia geológica de referência da região. Com base na localização e posicionamento, a corta NOA poderá estar hidraulicamente conectada às nascentes SP3 e SP5, pelo que as futuras atividades de *dewatering* poderão impactar essas duas nascentes.

No período em que foram realizados os trabalhos de perfuração e investigação, devido ao facto de não terem sido registados dados de caudais (escoamentos gravíticos) nas cinco nascentes, as mesmas não foram consideradas na definição dos padrões de fluxo do modelo numérico. No entanto, foram atribuídos furos de monitorização nominais na vizinhança destas nascentes, de forma a monitorizar o rebaixamento previsto resultante das atividades de mineração e *dewatering*.

O troço do ribeiro de Lousas, até à junção com o ribeiro de Gondiães, materializa o limite (fronteira hidráulica) oeste do domínio do modelo. Este limite prolonga-se até à junção com o rio Beça. O flanco este do modelo é demarcado por outra fronteira hidráulica, o curso principal do rio Beça.

O rio Covas corresponde ao principal curso de água entre os que intersetam o domínio ativo do modelo. A sua extensão no contexto do modelo numérico está representada na Figura 3.24. Todos os cursos de água do modelo foram representados utilizando a ferramenta Drain (DRN) do MODFLOW-USG. As elevações de drenagem atribuídas aos rios foram definidas 1 m abaixo do nível do solo. Os canais tributários que se ligam ao Rio Covas também foram simulados utilizando a ferramenta de drenagem (DRN). As

elevações de drenagem atribuídas aos tributários foram assumidas a 0,5 m abaixo do nível do solo. Todos os outros limites do modelo foram considerados sem que fosse assumida a presença de fluxo.

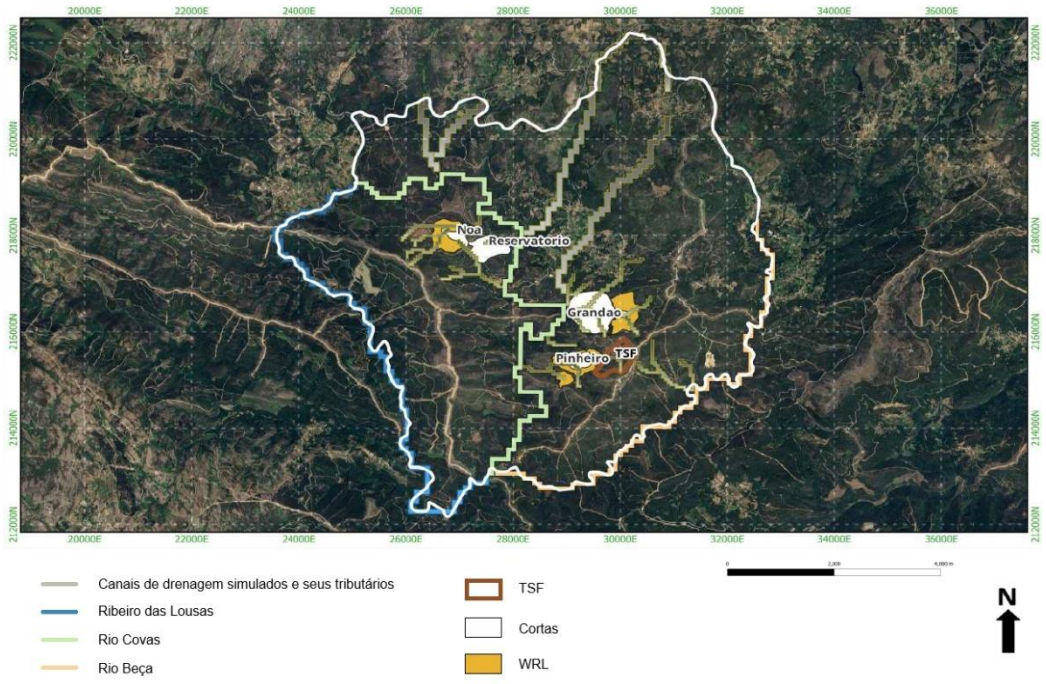


Figura 3.24 – Principais fronteiras hidráulicas assumidas na definição do modelo.

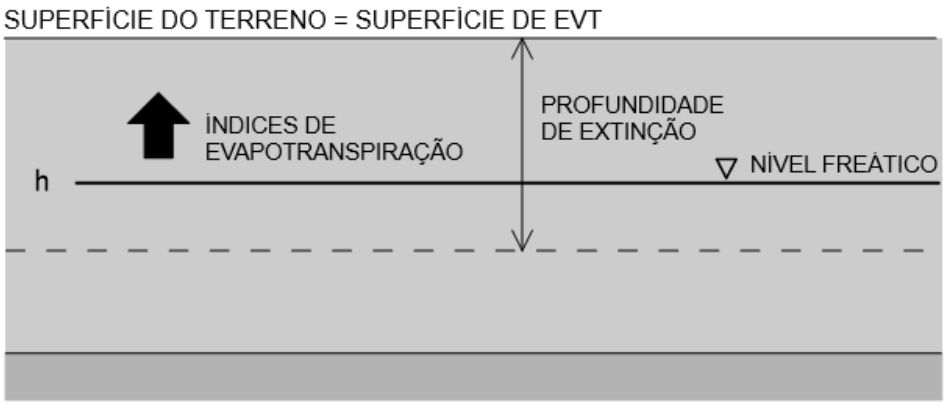
3.3.10.4 RECARGA PLUVIOMÉTRICA

A recarga pluviométrica (proveniente da precipitação) representa a principal fonte de entrada de água no modelo atual. A ferramenta de recarga (RCH) do MODFLOW-USG foi a utilizada para simular as entradas de água no sistema hidrogeológico, e é resultante de eventos de precipitação. A distribuição da recarga foi atribuída a todo o domínio do modelo e simulada como uma percentagem da chuva medida.

3.3.10.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Os volumes de evaporação e transpiração (das plantas) do aquífero subsuperficial foram simulados com recurso à ferramenta de evapotranspiração (EVT) do MODFLOW-USG. Esta ferramenta corrresponde a uma relação dependente da profundidade para calcular a evapotranspiração, pelo que (conforme está esquematizado na Figura 3.25):

- Sempre que os níveis de água subirem até um nível máximo concebível, ocorrem índices máximos de evapotranspiração;
- Se os níveis de água descerem até um nível mínimo concebível, os índices de evapotranspiração descem linearmente até zero.



h - Nível de água modelado no aquífero

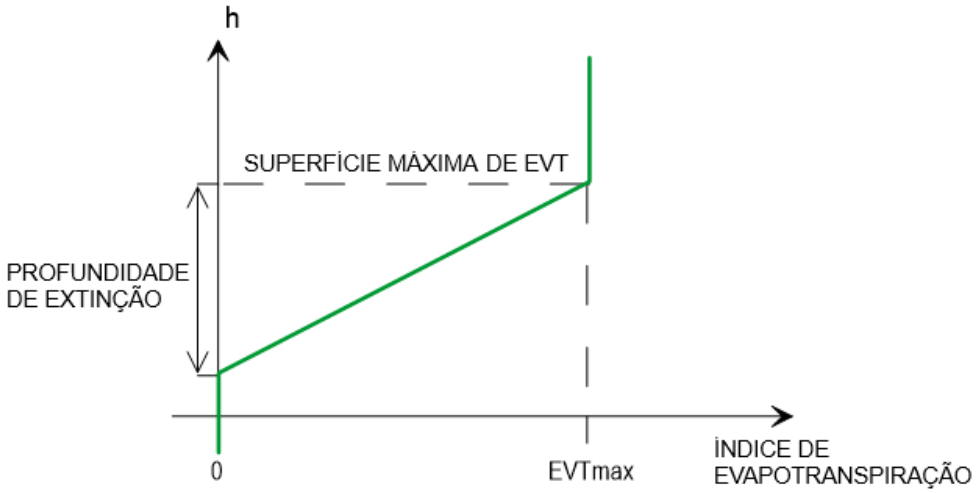


Figura 3.25 – Diagrama concetual de evapotranspiração.

A EVT foi distribuída por todo o domínio do modelo, e a superfície EVT foi atribuída de acordo com o relevo do terreno.

3.3.10.6 CALIBRAGEM DO MODELO

3.3.10.7 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Importa destacar que os termos “calibração do modelo” e “correlação histórica” têm significados diferentes. O termo “calibração do modelo” busca uma solução única e determinística para o problema inverso de estimativa das propriedades hidráulicas do aquífero. A busca pela unicidade pode ser justificada se for projetada para encontrar um

campo de parâmetros que forneça a melhor calibração possível ou uma "variância de erro minimizada". É altamente improvável que este campo de parâmetros seja "correto", pois não é possível medir parâmetros-chave como condutividade hidráulica, armazenamento, recarga, evapotranspiração, entre outros, em todo o domínio do modelo. No entanto, o processo de inversão pelo qual ele é obtido deve ser projetado para garantir que o potencial de incorreção seja minimizado. O "campo de parâmetros calibrado", neste caso, situa-se próximo ao centro da distribuição de probabilidade *a posteriori* dos parâmetros.

A abordagem bayesiana, por outro lado, adota a estratégia oposta. Esta busca um conjunto de campos de parâmetros (100 neste caso) em que todos forneçam um bom ajuste aos dados aferidos e, coletivamente, reflitam a diversidade completa de caminhos pelos quais esse ajuste pode ser alcançado. Esta abordagem é referida como "Correlação Histórica" nas diretrizes da Iniciativa de Apoio à Decisão de Modelagem de Águas Subterrâneas (*Groundwater Modelling Decision Support Initiative – GMDSI*)

Os métodos de junção, como os implementados pelo PEST-IES, podem acomodar facilmente campos de parâmetros que envolvem um grande número de elementos. Estes métodos permitem a total expressão dos parâmetros e o seu uso aumenta o potencial de subestimação das incertezas nas previsões do modelo.

O modelo atual foi calibrado usando uma abordagem estocástica ou altamente parametrizada, referida como "Correlação Histórica".

Para lidar com as incertezas dos parâmetros, a correlação histórica foi realizada com recurso ao PEST-IES. A avaliação de incerteza relacionada com o processo de *dewatering* previsto, envolveu a população do modelo com um conjunto de campos de parâmetros que promovem um bom ajuste entre as saídas do modelo e os componentes de dados brutos (*hard data*), do conjunto de dados de correlação histórica.

Os elementos em bruto referem-se a dados factuais e medições reais realizadas, até ao momento, em toda a área. Neste caso, os dados brutos incluem:

Níveis de água medidos;

Precipitação medida;

Ensaios de bombeamento realizados até à data.

A correlação histórica e o ajuste concomitante de parâmetros foram implementados em estado estacionário, uma vez que dados de monitorização de longo prazo (plurianuais) não estavam disponíveis na época deste estudo. Novos registos de níveis de água têm vindo a ser coletados de forma a melhorar a base de dados.

Pontos piloto foram utilizados para a parametrização espacial durante a execução da correlação histórica. Esses pontos serviram para parametrizar a condutividade hidráulica e a recarga no modelo. As localizações dos pontos piloto são apresentadas na Figura 3.26. A interpolação destes pontos para os centros das células do modelo foi realizada utilizando o pré-processador PLPROC fornecido com a ferramenta PEST. Os

termos de evapotranspiração e de condutância dos drenos associados aos rios e seus afluentes foram fornecidos ao PEST-IES como parâmetros globais.

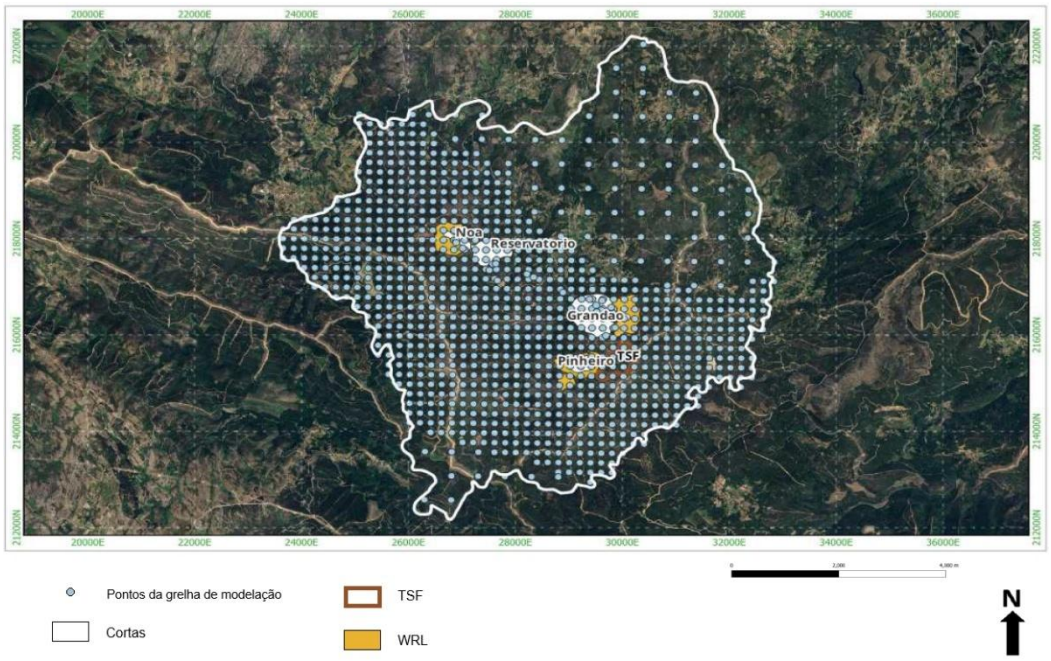


Figura 3.26 – Localização dos pontos da grelha de modelação.

A base de dados de monitorização compreende medições de nível de água de 79 pontos de água dentro do domínio do modelo, principalmente próximos das cortas propostas. As localizações dos furos de monitorização utilizados na tarefa de correlação histórica são apresentadas na Figura 3.27.

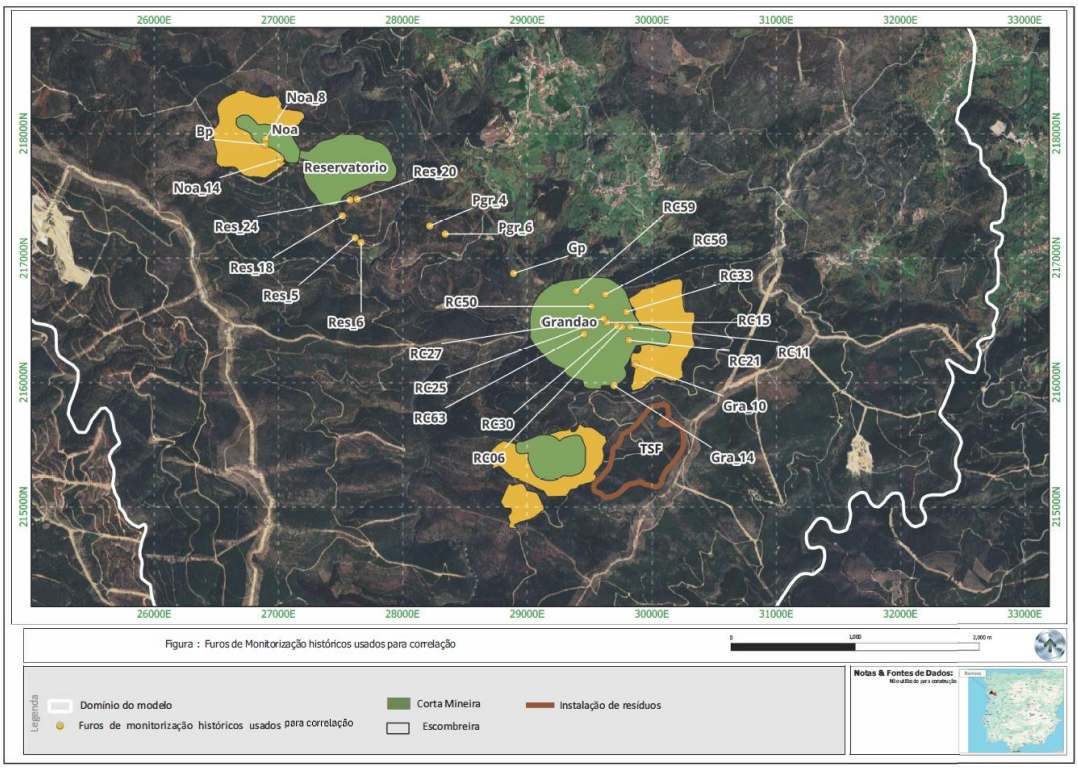


Figura 3.27 – Calibração do modelo - Alvos residuais.

3.3.10.8 DESEMPENHO DA CALIBRAGEM

Os erros do modelo ou diferenças entre os níveis de água medidos e previstos na correlação histórica são apresentados na Figura 3.28. Os resultados mostram que o modelo alcançou um bom nível de ajuste entre os níveis de água medidos e simulados. Todavia, salientam-se algumas diferenças de pequena escala entre os níveis de água medidos, como nos furos Bp (ou NOA 8) e NOA 14. Nestes a diferença nos níveis medidos é de cerca de 5 m. No furo NOA 14, os níveis simulados ajustaram-se muito bem ao modelo (resíduo de 0,4 m), enquanto no NOA 8, os níveis simulados foram subestimados pelo modelo em aproximadamente 8 m. Isto pode indicar a presença de algumas feições estruturais que atuam como barreiras ao fluxo de água subterrânea, ainda não mapeadas. Todavia, há que relembrar que se está na presença de meios hidrogeológicos heterogéneos e anisotrópicos.

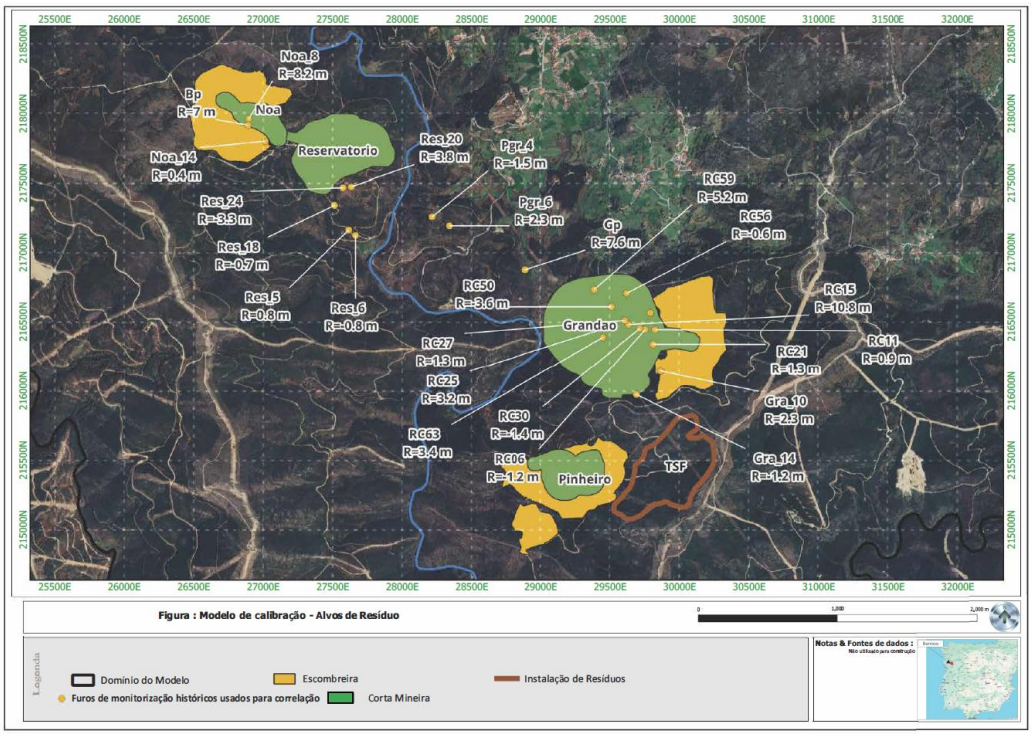


Figura 3.28 – Erros do modelo ou diferenças entre os níveis de água medidos e previstos na correlação histórica.

O balanço hídrico, em estado estacionário, é apresentado na Tabela 3.16 – Balanço hídrico em estado estacionário. Os resultados mostram que a recarga pluviométrica é a única fonte de entrada no modelo atual. Em áreas onde o nível hidrostático é raso ou próximo da superfície. Prevê-se que a evapotranspiração consuma cerca de 52% do afluxo simulado. O restante da entrada (48%) é previsto terminar no sistema de águas superficiais simulado, principalmente no Rio Covas e nos seus afluentes.

Tabela 3.16 – Balanço hídrico em estado estacionário.

COMPONENTES DO BALANÇA HÍDRICO	ENTRADAS (kL/d)	SAÍDAS (kL/d)
Interação Rio – Aquífero (DRN)	-	35,828
Recarga Pluviométrica	75,534	-
Evapotranspiração	-	39,706
TOTAL	**75,534**	**75,534**

3.3.10.9 AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE *DEWATERING*

O modelo hidrogeológico considera as cortas NOA, Reservatório, Grandão e Pinheiro e o calendário de exploração apresentado na Tabela 3.17. Esse calendário corresponde à base temporal do estudo hidrogeológico de base. O programa de exploração adotado

no presente Plano de Lavra é apresentado no Capítulo 4; a comparação entre os dois calendários é apresentada na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 – Calendário adotado na modelação hidrogeológica e comparação com o cronograma de lavra do PDL.

Corta	Início no estudo hidrogeológico	Fim no estudo hidrogeológico	Início no cronograma de lavra	Fim no cronograma de lavra
Grandão	Fim do ano -1, 4º trimestre	Fim do ano 14	Ano -1, 2.º trimestre	Ano 10, 2.º semestre
Pinheiro	Fim do ano -1, 1º trimestre	Fim do ano 5, 4º trimestre	Ano -1, 1.º trimestre	Ano 3, 2.º trimestre
NOA	Fim do ano 3, 4º trimestre	Fim do ano 4, 3º trimestre	Ano 8, 2.º semestre	Ano 10, 2.º semestre
Reservatório	Fim do ano 4, 3º trimestre	Fim do ano 10	Ano 9, 2.º semestre	Ano 15, 2.º semestre

O modelo de águas subterrâneas atual simula o processo de *dewatering* das áreas de mineração ativas, necessário para reduzir os níveis de água subterrânea até ou abaixo da base da mineração ao longo de toda a vida útil da mina (*Life of Mine* – LOM). Para os propósitos desta avaliação, assumiu-se que o rebaixamento hidrostático em todas as cortas simuladas continuaria por um ano adicional após o fim da mineração, permitindo condições secas para o preenchimento das cortas.

3.3.10.10 CONFIGURAÇÃO DA PREVISÃO

Os detalhes da configuração da previsão do modelo encontram-se resumidos seguidamente:

As condições iniciais foram obtidas a partir da execução do modelo em estado estacionário;

O processo de *dewatering* das cortas foi simulado utilizando a ferramenta de drenagem (DRN) do MODFLOW-USG. Esta ferramenta simula, de forma eficaz, o bombeamento de sumidouros como método preferencial de *dewatering*. A condutância (transmissividade) do leito do dreno foi definida suficientemente alta (1000 m²/d) de modo que a única resistência ao fluxo de água subterrânea fosse fornecida pelo aquífero circundante, e não pelas propriedades atribuídas às células de drenagem (ou seja, condutância do leito do dreno).

A extração mecânica de água por meio de furos de abastecimento, supressão de poeiras ou qualquer outro propósito não foi simulada no modelo atual;

As simulações de previsão utilizaram incrementos mensais e anuais, ou períodos de stress, correspondentes ao calendário do estudo hidrogeológico indicado na Tabela 3.17;

Como o modelo em estado estacionário não pôde ser calibrado em relação ao rendimento específico (*Specific yield – Sy*), este foi o cenário base da previsão assumido como 1%, conforme indicado nos ensaios de bombeamento históricos. O intervalo de todos os valores de parâmetros, incluindo Sy, será avaliado e discutido no capítulo de análises de incerteza deste relatório (Secção 3.3.10.12);

3.3.10.11 RESULTADOS DO CENÁRIO DE BASE DO PROCESSO DE *DEWATERING*

O modelo de águas subterrâneas foi utilizado para simular as entradas de água subterrânea nas cortas propostas. Os resultados são apresentados nas Figura 3.29 e Figura 3.30 ilustram a taxa de rebaixamento (*dewatering*) ao longo da vida útil da mina.

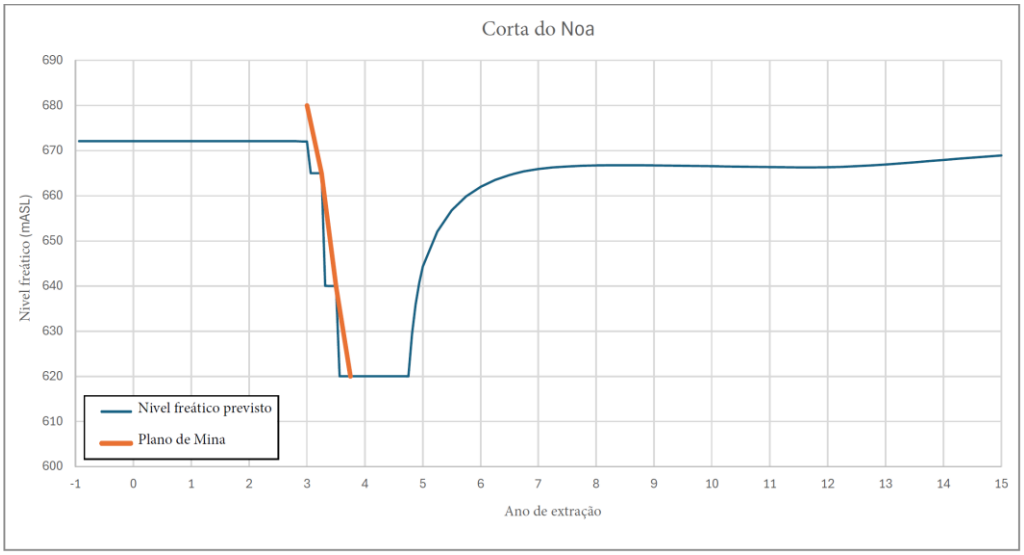


Figura 3.29 – Níveis de rebaixamento (*dewatering*) ao longo da vida útil da mina 1.

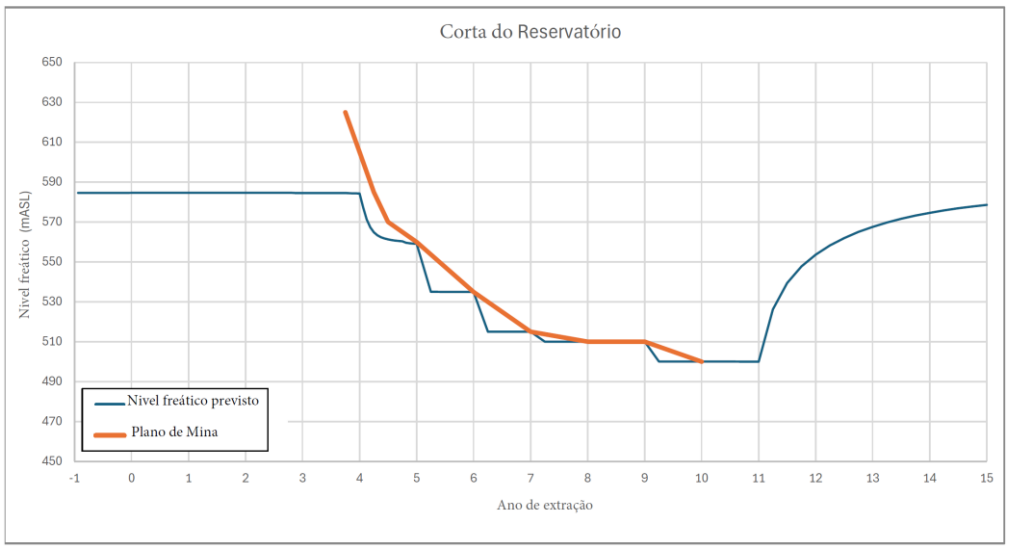


Figura 3.30 – Níveis de rebaixamento(*dewatering*) ao longo da vida útil da mina 2.

A taxa máxima de bombeamento prevista para o processo de *dewatering* é de 73 L/s. Este volume é previsível para o fim do ano 3, 3º trimestre, e é aplicável às cortas Grandão e Pinheiro. Outro pico de bombeamento mecânico está previsto para o fim do ano 5, 1º trimestre, e deriva do processo de *dewatering* a implementar nas cortas Reservatório, Grandão e Pinheiro, assim como e do rebaixamento residual necessário para preenchimento da corta NOA.

Os drenos simulados, usados para representar o rebaixamento de níveis freáticos (*dewatering*), foram eficazes em reduzir os níveis de água dentro das cortas para níveis abaixo da base da mineração ao longo de toda a vida útil da mina. Os níveis de água subterrânea previstos nas áreas das cortas são apresentados nas Figura 3.31 e Figura 3.32.

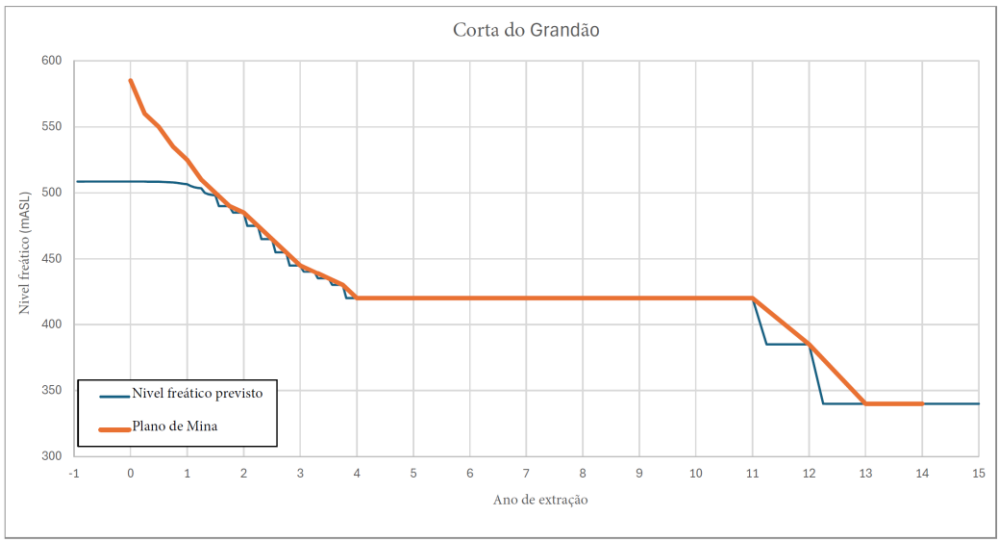


Figura 3.31 – Níveis de água subterrânea previstos para as cortas NOA e Reservatório.

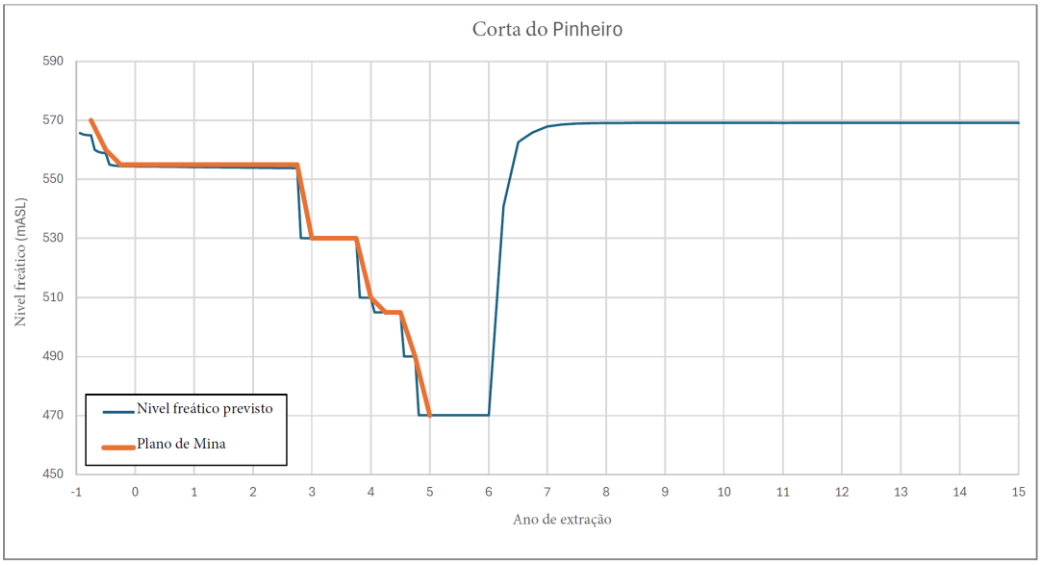
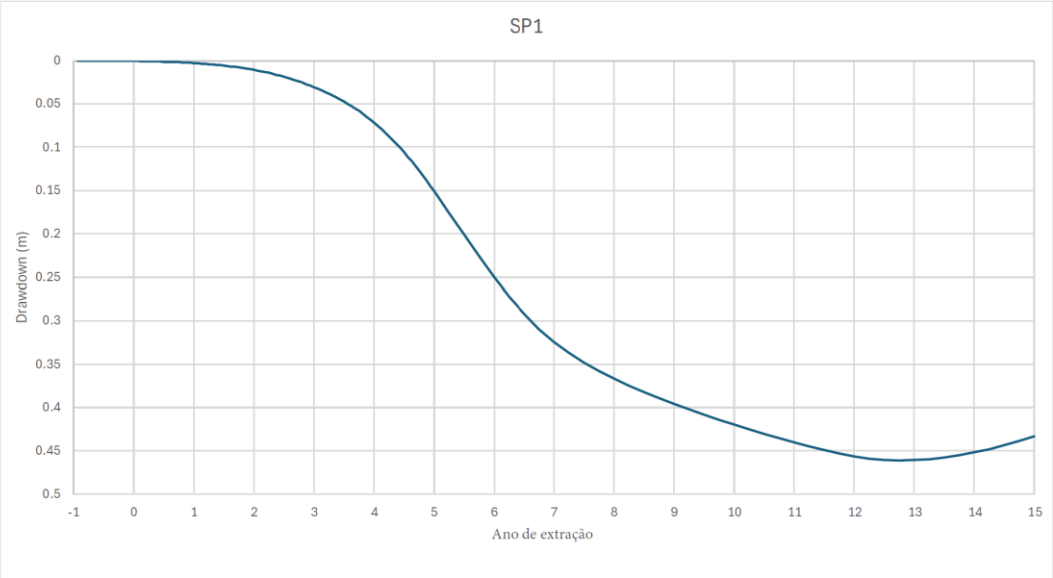
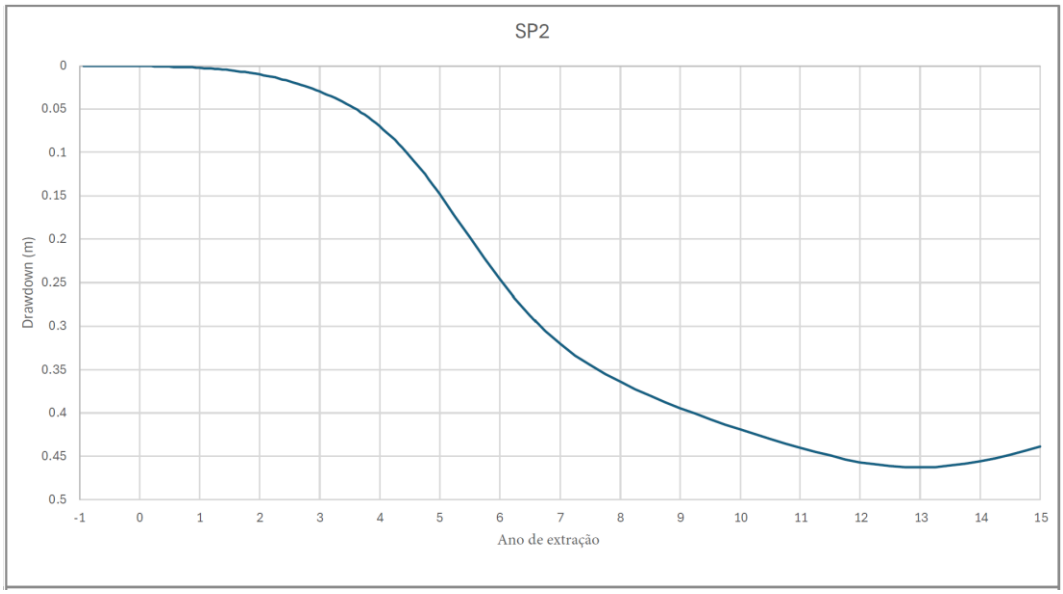


Figura 3.32 – Níveis de água subterrânea previstos para as cortas Grandão e Pinheiro.

O rebaixamento previsto ao longo da vida útil da mina, nos locais das nascentes (SP1 a SP5), encontra-se apresentado nas Figura 3.33 e Figura 3.34. Durante a mineração, o rebaixamento máximo previsto em todas as nascentes foi inferior a 0,55 m, conforme resumido na Tabela 3.18.


SP1
Drawdown (m)
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
0.4
0.45
0.5
-1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
Ano de extração


SP2
Drawdown (m)
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
0.4
0.45
0.5
-1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
Ano de extração

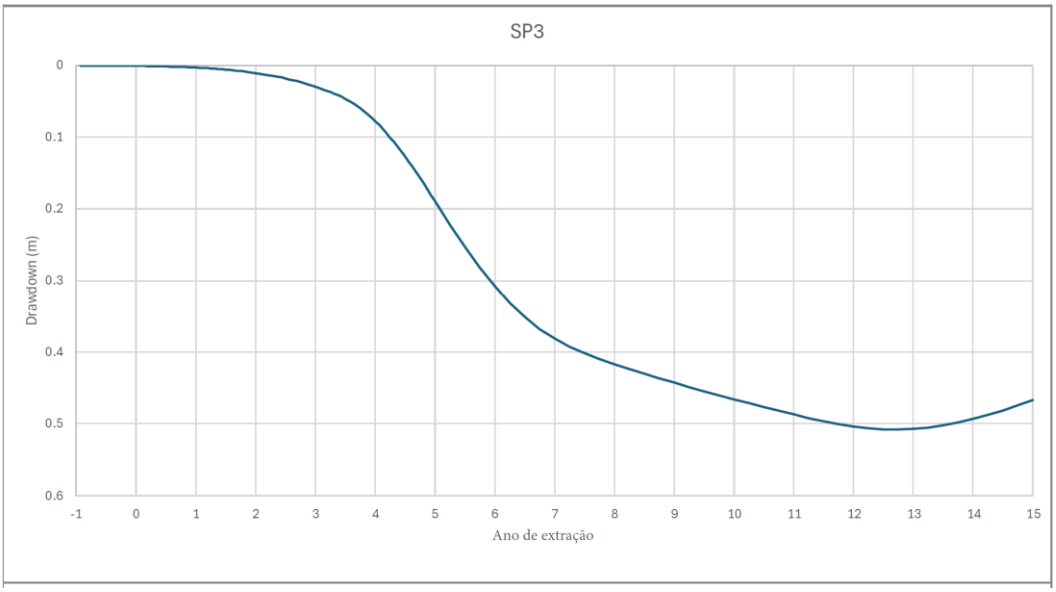
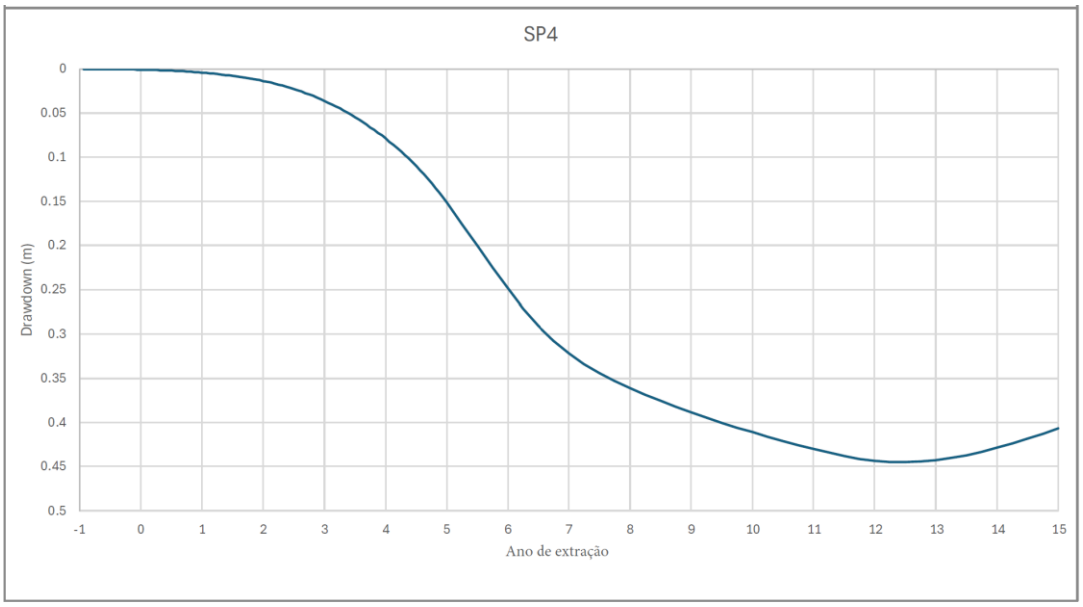


Figura 3.33 – Rebaixamento previsto ao longo da vida útil da mina para SP1, SP2 e SP3.



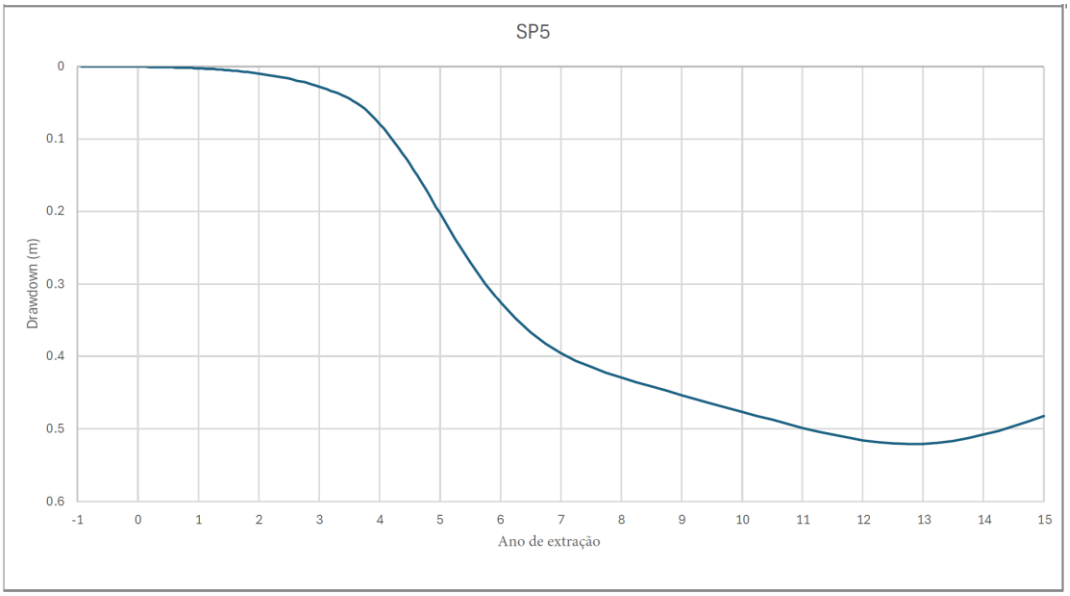


Figura 3.34 – Rebaixamento previsto ao longo da vida útil da mina para SP4 e SP5.

Tabela 3.18 – Rebaixamento previsto ao longo da vida útil da mina, nos locais das nascentes.

NASCENTE	REBAIXAMENTO MÁXIMO PREVISTO (m)
SP1	0,46
SP2	0,46
SP3	0,51
SP4	0,44
SP5	0,52

Os contornos do rebaixamento previsto ao final da mineração em cada umas das cortas simuladas estão ilustradas da Figura 3.35 à Figura 3.38. As extensões do rebaixamento (linha de contorno de 2 m) estão resumidas na Tabela 3.19 que se encontra em abaixo.

Tabela 3.19 – Extensão máxima do rebaixamento previsto ao final do preenchimento das cortas.

CORTA	REBAIXAMENTO MÁXIMO PREVISTO (m)			
DIREÇÃO	ESTE	OESTE	NORTE	SUL
NOA	0,8	0	0,2	0,3
Reservatório	0,2	0,5	0,4	0,3
Grandão	1,9	0,8	0,5	0,6
Pinheiro	1,9	0,9	1,8	0,9

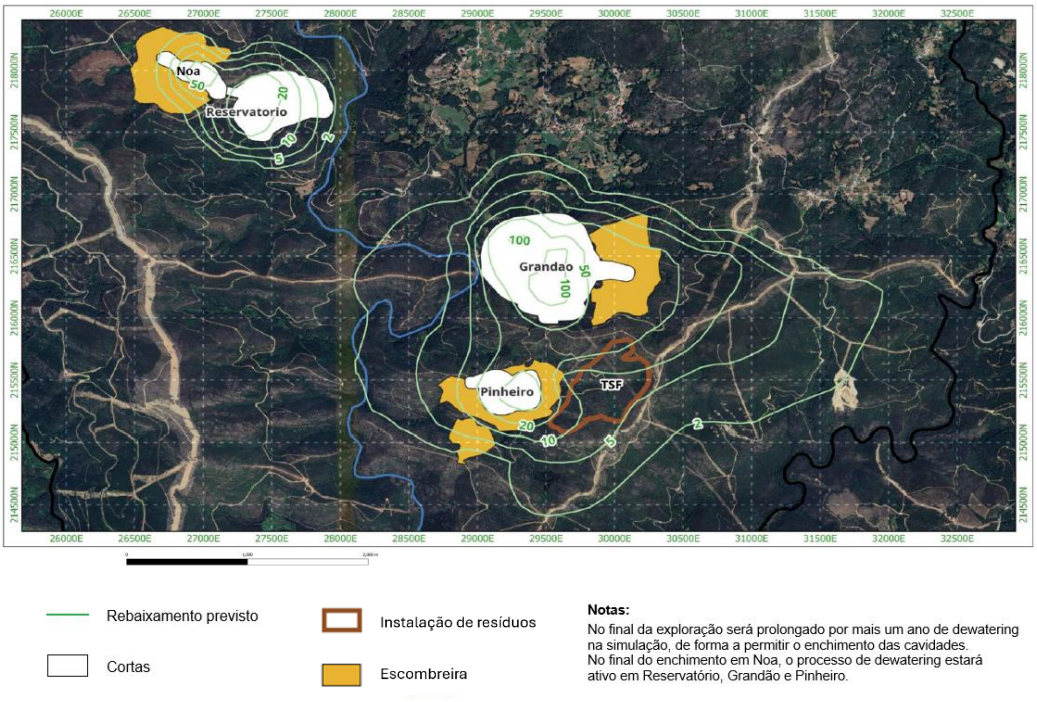


Figura 3.35 – Rebaixamento previsto no final do preenchimento da corta NOA.

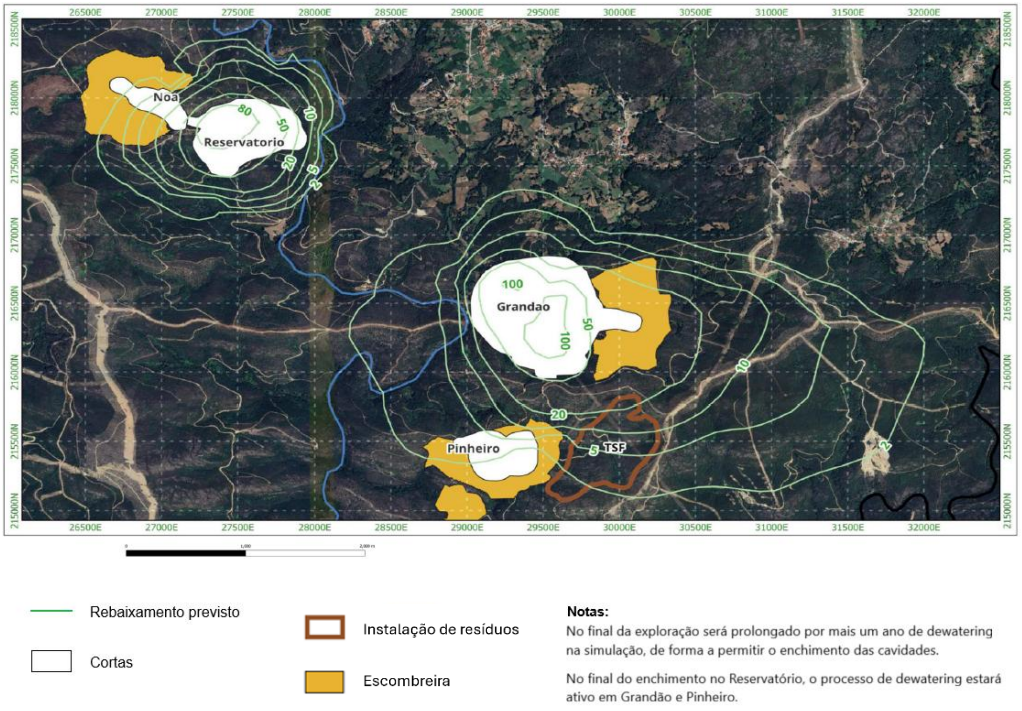


Figura 3.36 – Rebaixamento previsto no final do preenchimento da corta Reservatório.

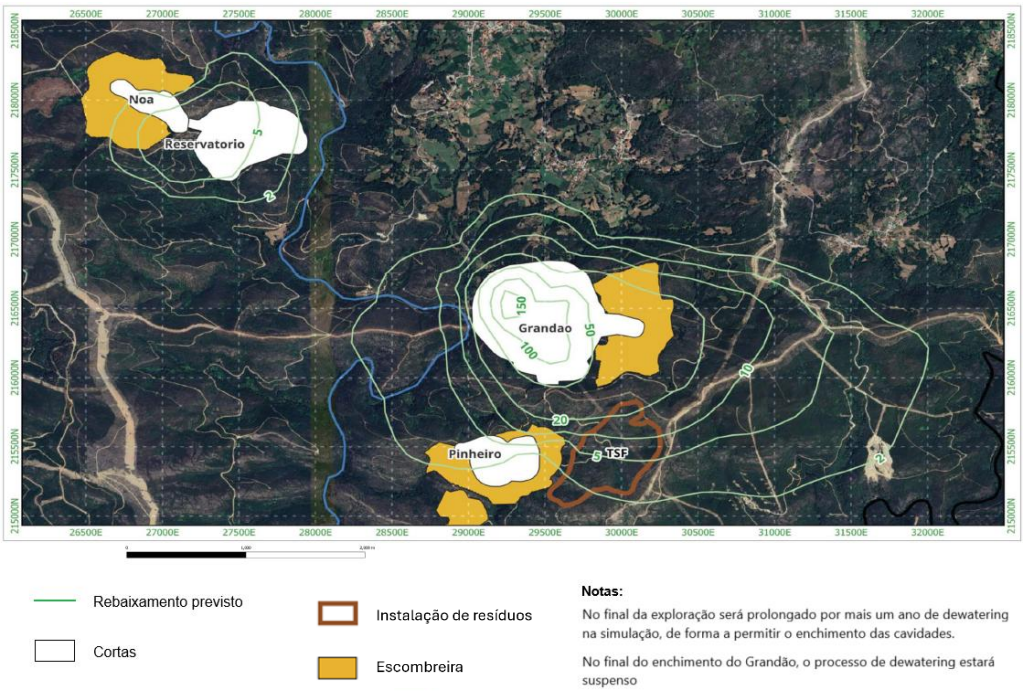


Figura 3.37 – Rebaixamento previsto no final do preenchimento da corta Grandão.

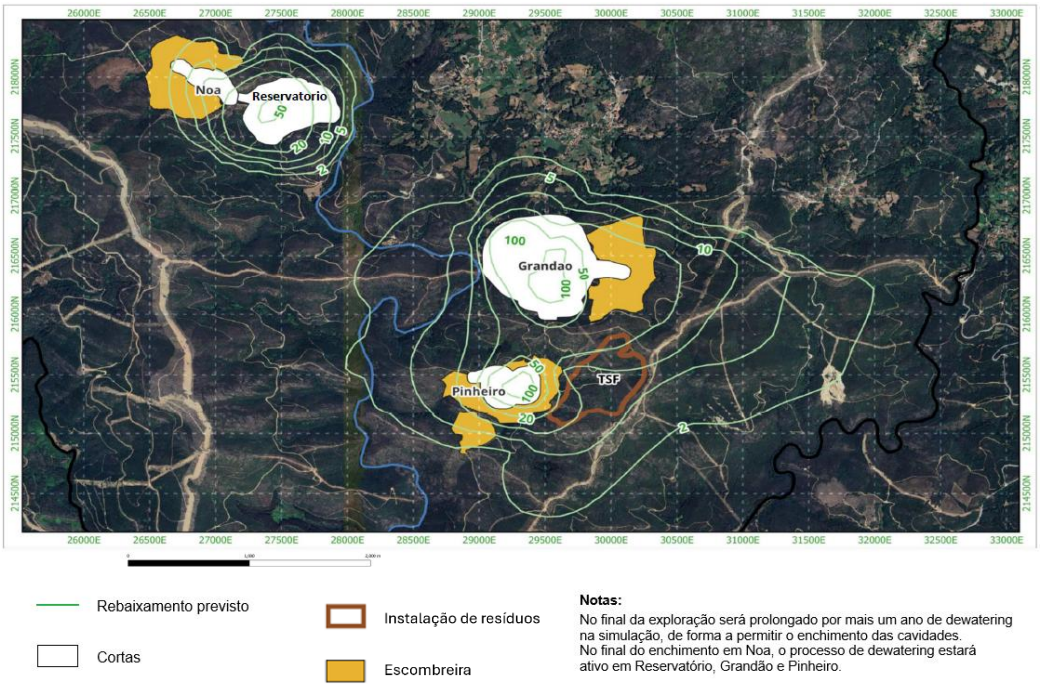


Figura 3.38 – Rebaixamento previsto no final do preenchimento da corta Pinheiro.

Salienta-se que o rebaixamento máximo previsto apresentado na Tabela 3.19 acima não representa necessariamente o rebaixamento decorrente das atividades de *dewatering*

de uma única corta; em vez disso, representa o rebaixamento cumulativo resultante do processo de *dewatering* em duas ou mais cortas.

3.3.10.12 ANÁLISE DE INCERTEZA

Conforme descrito na Secção 3.3.10.6 deste relatório, o PEST-IES foi utilizado para calibrar o modelo, produzindo uma variedade de parâmetros (condutividade hidráulica, recarga e transmissividade dos drenos) que forneceram um bom ajuste aos níveis de água medidos em todo o domínio do modelo.

Foram geradas 100 combinações de campos de parâmetros que calibraram igualmente bem o modelo. Esses campos foram incorporados ao modelo preditivo para avaliar a variação do rebaixamento previsto.

Como o modelo atual foi calibrado em modo estacionário, a distribuição do armazenamento não confinado (Sy) não pôde ser avaliada durante a calibração. Para a avaliação de incerteza preditiva, o intervalo atribuído ao Sy foi entre 0,1% e 3%. O valor base de Sy foi de 1%.

Os resultados da avaliação de incerteza encontram-se apresentados nas Figuras 1 a 13 do Anexo III.6. Os resultados sugerem que o rebaixamento máximo previsto no cenário base é consistente com a média (P50) do rebaixamento previsto, considerando a variedade de campos de parâmetros simulados na avaliação de incerteza (Tabela 3.20).

A única exceção é a corta NOA, onde o rebaixamento máximo previsto no modelo do cenário base foi quase 50% menor em comparação com o P50. Considerando que o rebaixamento máximo do cenário base na corta NOA é de 2,9 L/s, o que não é considerado significativo.

Tabela 3.20 – Caudais máximos previstos para *dewatering.*

CORTA	REBAIXAMENTO MÁXIMO PREVISTO (L/s)	
BASE	CENÁRIO BASE	MÉDIA (P50)
NOA	2,9	5,3
Reservatório	16,8	15,0
Grandão	50,5	50,3
Pinheiro	22,3	20,4

Deve assinalar-se que a análise de incerteza realizada forneceu um intervalo de dados consistente, tanto em termos de necessidades de *dewatering* como em termos de rebaixamentos de níveis hidrostáticos necessários. As simulações de incerteza assentaram nos parâmetros de calibração do modelo numérico pelo que deverão ser consideradas como realistas.

Os resultados acima do P50 são classificados como "avessos ao risco" e os resultados abaixo do P50 são classificados como "tolerantes ao risco". Na maioria dos casos, as soluções abaixo do P20 e acima do P80 representam, respetivamente, os *outliers* de melhor e pior cenário. No entanto, em alguns casos, um desvio padrão acima e abaixo da média também pode ser usado como limite.

Na Tabela 3.21 estão sumarizados os intervalos de incerteza dos caudais máximos previstos para o processo de *dewatering*.

Tabela 3.21 – Caudais máximos previstos para *dewatering* (intervalos de incerteza).

CORTA	*DEWATERING* MÁXIMO PREVISTO (L/s)				
PROBABILIDADE	1 DESVIO PADRÃO ABAIXO DA MÉDIA	P20	MÉDIA (P50)	P80	1 DESVIO PADRÃO ACIMA DA MÉDIA
NOA	0,37	4,2	5,3	6,6	6,9
Reservatório	9,7	11,8	15,0	20,5	20,6
Grandão	-	39,0	50,3	84,0	92,0
Pinheiro	12,8	14,2	20,4	27,9	28,0

Na Tabela 3.22 resumem-se os intervalos de incerteza dos caudais máximos previstos para o processo de *dewatering* total.

Tabela 3.22 – Caudais máximos previstos para *dewatering* (intervalos de incerteza).

CORTA	*DEWATERING* MÁXIMO PREVISTO (L/s)				
PROBABILIDADE	1 DESVIO PADRÃO ABAIXO DA MÉDIA	P20	MÉDIA (P50)	P80	1 DESVIO PADRÃO ACIMA DA MÉDIA
NOA	39,0	62,0	76,0	111	113
Reservatório	709	809	1,15	1,471	1,592
Grandão	12,48	12,98	15,22	17,80	17,97
Pinheiro	437	807	1,37	2,25	2,31
Total	13,97	14,66	17,82	21,64	21,98

As séries temporais de *dewatering* previsto, estimadas na avaliação de incerteza, também são apresentadas nas Figuras 5 a 7 do Anexo III.6.

A avaliação de incerteza também foi utilizada para analisar o rebaixamento previsto nos locais das nascentes SP1 a SP5. Os resultados são apresentados nas Figuras 8 a 10 do Anexo III.6.

Tabela 3.23 – Caudais máximos previstos para *dewatering* (intervalos de incerteza).

CORTA	*DEWATERING* MÁXIMO PREVISTO (L/s)				
PROBABILIDADE	1 DESVIO PADRÃO ABAIXO DA MÉDIA	P20	MÉDIA (P50)	P80	1 DESVIO PADRÃO ACIMA DA MÉDIA
SP1	0,13	0,20	0,26	0,38	0,40

CORTA	*DEWATERING* MÁXIMO PREVISTO (L/s)				
SP2	0,12	0,17	0,24	0,32	0,36
SP3	0,18	0,30	0,40	0,65	0,62
SP4	0,13	0,17	0,25	0,34	0,37
SP5	0,19	0,32	0,42	0,69	0,65

Os resultados sugerem que o rebaixamento máximo está previsto para as nascentes SP5 e SP3, que são os locais mais próximos da corta NOA. No entanto, o rebaixamento máximo previsível em todos os cinco pontos de água é inferior a 1 m, o que indica que é pouco provável que as nascentes venham efetivamente a ser impactadas com o desenvolvimento proposto.

As séries temporais do rebaixamento previsto em todas as cinco nascentes estão apresentadas nas Figuras 11 a 13 do Anexo III.6.

À data da realização do presente estudo ainda não havia sido feito o levantamento de nascentes e outros pontos de água da envolvência. Todavia, o modelo numérico realizado encerra robustez suficiente para se poder interpolar índices de rebaixamento para a generalidade dos demais pontos de água entretanto validados e inventariados.

Tabela 3.24 – Caudais máximos previstos para *dewatering* (intervalos de incerteza).

CORTA	*DEWATERING* MÁXIMO PREVISTO (L/s)				
PROBABILIDADE	1 DESVIO PADRÃO ABAIXO DA MÉDIA	P20	MÉDIA (P50)	P80	1 DESVIO PADRÃO ACIMA DA MÉDIA
SP1	0,13	0,20	0,26	0,38	0,40
SP2	0,12	0,17	0,24	0,32	0,36
SP3	0,18	0,30	0,40	0,65	0,62
SP4	0,13	0,17	0,25	0,34	0,37
SP5	0,19	0,32	0,42	0,69	0,65

3.3.10.13 AVALIAÇÃO DE ENCERRAMENTO

Quando a fase de exploração terminar e o processo de *dewatering* ficar encerrado, os níveis hidrostáticos irão recuperar gradualmente até que seja alcançado um novo ponto de equilíbrio entre entradas e saídas de água subterrânea. Considerando que as cortas irão ser preenchidas com material rejeitado, é provável que os níveis de água retornem gradualmente até aos níveis prévios ao desenvolvimento do projeto mineiro.

O modelo desenvolvido preditivo, para a avaliação de incerteza, foi executado para um cenário de mais 30 anos após a mineração e o preenchimento, até fim do ano 45, 4º trimestre. A avaliação de encerramento foi iniciada para o início da mineração, uma vez que algumas cortas provavelmente começarão a recuperar antes da cessação da mineração e do preenchimento (fim do ano 15, 4º trimestre).

O modelo de encerramento foi executado até ao momento em que os níveis de água subterrânea recuperem (em todas as cortas) até ao ponto equilíbrio final.

Os resultados da avaliação de encerramento são apresentados nas Figuras 14 a 18 do Anexo III.6. Eles sugerem que os níveis de água dentro das cortas simuladas retornarão aos níveis pré-mineração (Figuras 14 e 15 do Anexo III.6).

Tabela 3.25 – Recuperação prevista para as cortas (intervalos de incerteza).

CORTA	RECUPERAÇÃO AMBIENTAL PREVISTA PARA AS CORTAS (ANO DE MINERAÇÃO)				
PROBABILIDADE	1 DESVIO PADRÃO ABAIXO DA MÉDIA	P20	MÉDIA (P50)	P80	1 DESVIO PADRÃO ACIMA DA MÉDIA
NOA	14,2	16,8	19,	23,3	23,8
Reservatório	17,3	19,5	22,5	26,8	27,7
Grandão	17,3	17,8	18,3	19,3	19,2
Pinheiro	13,5	15,5	17,8	19,0	22,0

Os resultados apresentados na Tabela 3.25 revelam que o Pinheiro será a primeira corta a recuperar, e isso terá efeito ao fim de 17,8 anos, ou seja, 2,8 anos após o início do encerramento dos trabalhos mineiros.

A este nível interessa realçar-se que o preenchimento da corta do Pinheiro (com material estéril) ficará concluído no final do ano 6 (4º trimestre), todavia, devido à proximidade com a corta do Grandão (que estará ativa durante esse período) a recuperação será mais lenta. Em suma, o rebaixamento para *dewatering* da corta do Grandão retardará a recuperação do Pinheiro.

Resultados semelhantes são também previstos para a interação entre as cortas NOA e Reservatório. Efetivamente, espera-se que a corta do Reservatório funcione como fator retardador da recuperação da corta NOA, o mesmo sucedendo em relação à recuperação dos locais das nascentes SP1 a SP5.

No que concerne às nascentes, os resultados obtidos (resumidos na Tabela 3.26) sugerem que os níveis hidrostáticos dos locais onde elas se encontram recuperarão até aos níveis pré-mineração (Figuras 14 a 18 do Anexo III.6).

Tabela 3.26 – Recuperação prevista nos locais das nascentes (intervalos de incerteza).

	RECUPERAÇÃO PREVISTA (ANO DE MINERAÇÃO)				
NASCENTE	1 DESVIO PADRÃO ABAIXO DA MÉDIA	P20	P50	P80	1 DESVIO PADRÃO ACIMA DA MÉDIA
SP1	16,2	18,8	21,8	26,0	27,3
SP2	16,2	18,5	21,8	26,0	27,3
SP3	16,8	19,5	22,5	27,3	28,2
SP4	16,0	18,5	21,3	25,5	26,5
SP5	16,8	19,5	22,5	27,5	28,2

Os resultados apresentados na Tabela 3.26 revelam que os tempos de recuperação previstos, em todos os locais das nascentes, são semelhantes (cerca de 22 anos desde o início das operações).

Os tempos de recuperação mais longos estão previstos para SP5 e SP3, pois estes dois locais são os mais próximos das áreas da futura exploração.

O tempo de recuperação mais curto é previsto em SP4, pois este local é o mais distante da mina.

Os tempos de recuperação das nascentes estão diretamente correlacionados com a recuperação da corta Reservatório, conforme demonstrado na Tabela 3.26.

3.3.11 AVALIAÇÃO DE TRAJETÓRIAS DE PARTÍCULAS (CONTAMINANTES)

O modelo de encerramento apresentado na Secção 3.3.10.13 foi utilizado para avaliar os prováveis caminhos de fluxo associados à área proposta para Depósito de Rejeitos (TSF) e ao Aterro de Inertes (WRLs).

A avaliação das trajetórias de partículas foi realizada com recurso à ferramenta MOD-PATH3DU. De forma a completar a monitorização das partículas foram definidos vários indicadores (partículas) ou pontos de origem de fluxo nas áreas da TSF e WRLs propostas, próximas das cortas.

As partículas associadas à TSF proposta foram liberadas desde o início da mineração na corta Pinheiro (fim do ano -1, 1º Trimestre) e seguidas até à cessação ou até o final do período de encerramento (fim do ano 45, 4º Trimestre).

As partículas associadas às WRLs propostas foram libertadas desde o início da mineração numa corta específica e monitorizadas até à cessação ou até à conclusão do preenchimento naquela corta. Posteriormente, partículas dentro das cortas foram libertadas no modelo e monitorizadas até à cessação ou até ao final do período de encerramento (fim do ano 45, 4º Trimestre).

A monitorização do percurso de partículas é uma forma de modelação do transporte de contaminantes que simula apenas advecção. Processos como sorção, dispersão ou reações químicas estão fora do âmbito e das capacidades do MOD-PATH3DU. Este depende da porosidade do aquífero ou do coeficiente de armazenamento específico, que não estavam disponíveis aquando da realização deste estudo. Nesta etapa, a avaliação do percurso de partículas deve ser considerada indicativa e dinâmica, pelo que será revista quando estiverem disponíveis mais dados. Estão previstos programas contínuos de monitorização de águas subterrâneas, de forma a melhorar a base de dados das águas subterrâneas, que será usada para informar e refinar o modelo hidrogeológico.

Os resultados da avaliação de monitorização de partículas sugerem que todos os percursos de fluxo originados abaixo da TSF proposta dirigem-se para a corta Pinheiro

(Figura 3.39). A TSF está a ser projetada para ser uma instalação impermeabilizada, o que deve mitigar a migração de materiais. O modelo prevê que, uma vez concluído o preenchimento da corta Pinheiro, as partículas dentro da corta poderiam migrar para jusante em direção ao Rio Covas, seguindo os canais de drenagem naturais, de superfície.

De modo similar, a corta Grandão foi capacitada para capturar partículas associadas à WRL no decurso do rebaixamento dos níveis freáticos, no entanto, só após a conclusão do preenchimento desta é que se espera que as partículas alcancem o Rio Covas. Os resultados também sugerem que partículas associadas a esta WRL possam migrar para leste ao longo de canais de drenagem localizados a jusante.

A corta NOA foi capacitada para capturar partículas associadas à WRL e ao seu redor (Figura 3.39). No entanto, após a conclusão do preenchimento no NOA e no Reservatório, é previsível que as partículas originadas na corta do Reservatório se movam na direção do rio Covas, ao longo dos canais de drenagem naturais, situados a jusante desta corta. Os resultados também sugerem que, durante o período simulado de encerramento, as partículas associadas às atividades do Reservatório não alcançarão o rio Covas.

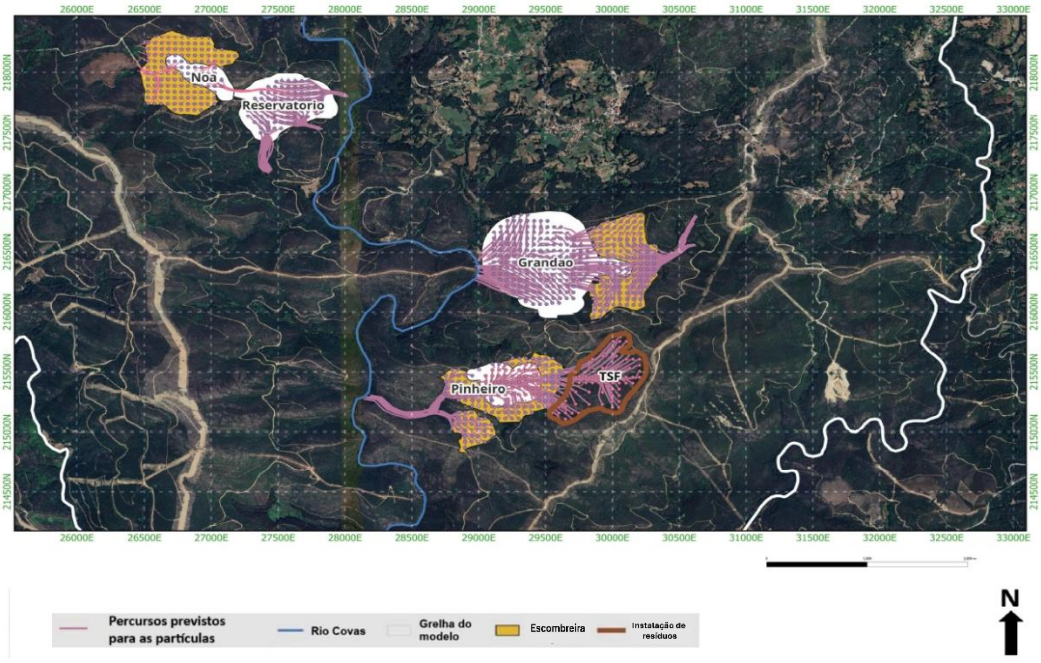


Figura 3.39 – Rebaixamento previsto no final do preenchimento da corta NOA.

Será projetada uma rede de monitorização de águas subterrâneas ajustada à situação e um plano de gestão para garantir monitorização operacional contínua em toda a área. Esta rede permitirá aferir, através da observação e análise das amostras, possíveis variações relevantes na qualidade das águas subterrâneas. Sempre que nas amostras de águas subterrâneas forem registados indícios de elementos que afetem a qualidade, então poderão ser implantados furos com bombeamento mecânico (devidamente

direcionados) de forma a intersetar o caminho e a migração de águas contaminadas. Estas águas, depois de captadas (por bombeamento mecânico) poderão então ser alvo de tratamento.

Durante o período simulado de encerramento não ficou previsto que qualquer partícula de contaminantes alcançasse ou se movesse em direção às nascentes consideradas na modelação.

3.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em jeito de conclusão do capítulo podemos referir que foi realizado um estudo hidrogeológico preliminar com base em trabalhos anteriores ao Projeto Mineiro do Barroso, assim como um programa de exploração assente na interpretação das principais estruturas geológicas que intersetam e se encontram na envolvência das massas mineralizadas: Grandão, Reservatório, Pinheiro e NOA. Essas estruturas foram assumidas como potenciadoras de fluxo subterrâneo em direção às cortas, quando estas forem alvo de rebaixamento de níveis freáticos (processo de *dewatering*) para permitir a exploração das massas minerais.

Entre 2023 e 2024 foi desenvolvido um programa de sondagens hidrogeológicas exploratórias, e foram instalados com sucesso seis furos de pesquisa que foram alvo de ensaios de bombagem, e cujos dados obtidos permitiram determinar parâmetros hidráulicos dos aquíferos locais. Os caudais obtidos variaram entre 5 e 20 L/s em mais de 30 % dos furos do programa de sondagens. No total, foram efetuadas 11 perfurações, sendo que as profundidades variaram entre 112 e 240 m.

Com base nos dados obtidos nos estudos realizados, juntamente com os dados de monitorização de águas subterrâneas e informações de estudos anteriores, foi possível elaborar um modelo numérico do aquífero local. Paralelamente, foi também possível efetuar uma modelação preditiva e interpolar fluxos subterrâneos induzidos pelo rebaixamento mecânico de níveis freáticos (processo de *dewatering*) nas cortas e impactes sobre os sistemas hidrogeológicos locais.

A preparação de um esboço hidrogeológico, corolado com um modelo hidrogeológico concetual, visou constituir uma antecâmara para a compreensão da modelação numérica (preditiva). Por outro lado, visou representar uma síntese pictográfica da hidrogeologia da região.

A inclusão de um esboço cartográfico ilustrativo a piezometria local, pretendeu constituir uma *baseline* dos níveis freáticos e piezométricos existentes do processo de *dewatering*. Além disso, permitiu definir os padrões naturais de fluxo hídrico subterrâneo e gradientes, determinados pelas condicionantes físicas e naturais.

A modelação desenvolvida teve por base a informação espacial e temporal disponível, integrando dados de monitorização de diferentes estações e séries temporais de longo prazo, o que permitiu sustentar a caracterização do sistema hidrogeológico e a avaliação dos processos em análise. Embora a informação relativa aos gradientes hidráulicos e aos níveis piezométricos apresente menor cobertura nas áreas mais afastadas das cortas,

esta circunstância foi considerada na interpretação dos resultados, particularmente no que respeita às estimativas de rebaixamento piezométrico e à avaliação dos fluxos subterrâneos e do transporte de contaminantes nessas áreas. Assim, os resultados constituem uma base técnica para a avaliação dos impactes potenciais, devendo as estimativas relativas às zonas mais afastadas ser interpretadas tendo em conta a disponibilidade e a distribuição espacial dos dados de suporte.

De forma a assegurar a avaliação de alguns destes aspetos, e seguindo as diretrizes da GMDSI foi adotada uma abordagem estocástica em muitas das avaliações realizadas. A avaliação da monitorização de partículas foi uma exceção a esta abordagem a qual assumiu um cariz essencialmente indicativo, pelo que será alvo de reavaliações futuras à medida que forem disponibilizados mais dados. A modelação constitui uma base técnica do estudo de viabilidade. A sua utilização na demonstração de conformidade ambiental considera os pressupostos, as limitações e a correspondência com a configuração e o calendário do projeto de execução.

Os resultados obtidos revelaram que o modelo alcançou uma boa correspondência entre os níveis de água medidos e simulados. As principais conclusões da modelação apresentam-se nos pontos que se seguem:

O volume total de *dewatering* previsto para a futura Mina Barroso é de 14 658 a 21 636 ML ao longo da vida útil da mina;

O pico de caudal de *dewatering* previsto é de 73 L/s, e foi estimado para o 3º trimestre do 3º ano de mineração, sendo resultante das necessidades combinadas de *dewatering* nas cortas Grandão e Pinheiro;

Durante a exploração, não são previsíveis rebaixamentos significativos nas nascentes identificadas devido ao processo de *dewatering* das cortas. Os rebaixamentos previstos nas nascentes variam entre: 0,5 m, na nascente SP5 e 0,44 m, na nascente SP4;

- A modelação prevê a recuperação dos níveis piezométricos em direção às condições pré-exploração, com tempos variáveis entre cortas e locais das nascentes. Para as nascentes, os valores centrais apresentados na Tabela 3.26 situam-se entre os anos 21,3 e 22,5, contados desde o início das operações. Estes valores não constituem prazos máximos de recuperação, devendo ser considerados os intervalos de incerteza na definição da monitorização e da gestão de águas após o encerramento.

- Dois dos furos instalados no âmbito do Estudo de Viabilidade Definitivo (DFS) poderão ser úteis para o fornecimento de água durante a fase de construção do Projeto e, simultaneamente, auxiliar nas ações de rebaixamento dos níveis freáticos. Os detalhes técnicos desses dois furos encontram-se sintetizados na Tabela 3.27.

Tabela 3.27 – Detalhes técnicos dos furos de fornecimento de água.

ID DO FURO	COORDENADAS (ETRS89 / PORTUGAL TM06)		PROFUNDIDADE DE REVESTIMENTO (m)	DIÂMETRO DO REVESTIMENTO (mm)	INSTALAÇÃO DA BOMBA (m)	CAUDAL À BOCA DE FURO (L/s)
	X	Y				
24GRAWB00 7 (EX4R)	29516	216676	128	203	120	6
24PNRWB00 3 (EX9R)	29140	215402	130	203	120	8

4 MÉTODO DE EXPLORAÇÃO, INFRAESTRUTURA MINEIRA E DESENHO DAS CORTAS

O projeto da mina e a estimativa das Reservas Mineiras foram concluídos a um nível adequado para o estudo de viabilidade económica. As Reservas Mineiras declaradas derivam de Recursos Minerais Medidos e Indicados e não incluem Recursos Inferidos.

4.1 DECLARAÇÃO DE RESERVAS MINEIRAS

4.1.1 ENQUADRAMENTO E BASE DE CLASSIFICAÇÃO

As Reservas Mineiras do Projeto da Mina do Barroso foram estimadas e declaradas em conformidade com o Código JORC, edição de 2012.

Os Recursos Minerais utilizados como base para a conversão encontram-se reportados de forma inclusiva das Reservas Mineiras, ou seja, as reservas não são adicionais aos recursos – estão contidas nestes. Foi realizada uma visita ao projeto em novembro de 2025 pela pessoa competente (QP) responsável pela declaração, o Sr. Allan Earl, tendo verificado *in situ* as condições do depósito e validado os pressupostos de conversão adotados.

A classificação das reservas como Reservas Prováveis reflete o grau de confiança adequado ao nível de estudo e à qualidade dos dados disponíveis, considerando os Fatores Modificadores aplicados, nomeadamente fatores de mineração, de processamento metalúrgico, de geotecnia, ambientais, económicos e legais. Não foram utilizados Recursos Inferidos na estimativa das Reservas Mineiras declaradas. O programa de exploração e o caso económico apresentados no Capítulo 8 incluem, contudo, 0,476 Mt de Recursos Inferidos, que não constituem Reservas Mineiras.

4.1.2 RESERVAS MINEIRAS DECLARADAS

A estimativa de Reservas Minerais (a julho de 2026) do Projeto foi preparada em conformidade com o Código JORC (2012) e é classificada como Reservas Minerais Prováveis, derivadas de Recursos Minerais Medidos e Indicados e sustentadas por estudos ao nível de Estudo de Viabilidade. As Reservas Minerais baseiam-se numa lavra convencional a céu aberto, com métodos de perfuração, desmonte, carga e transporte operados por empreiteiro, e num processo padrão de flotação de espodumena, visando produzir um concentrado com 5,5% de Li_2O. Os principais pressupostos da estimativa de

Reservas Minerais incluem um preço de longo prazo do lítio de US$1 200/t de concentrado SC6,0, recuperações metalúrgicas de aproximadamente 65–73%, custos operacionais de lavra derivados de cotações de empreiteiros e custos de processamento derivados de estimativas de primeiros princípios elaboradas pela Sedgman. A declaração de certificação das Reservas Mineiras encontra-se no Anexo IV.1.

O plano de lavra incorpora o desenvolvimento faseado das cortas, lavra seletiva para controlo da diluição e gestão progressiva de estéril, incluindo deposição em escombreiras exteriores e enchimento no interior da corta. O planeamento sustenta um ritmo de processamento de 1,5 Mtpa. As considerações ambientais e de licenciamento foram integradas na conceção. O projeto é detido ao abrigo da concessão mineira C-100, concedida pelo Estado Português, abrangendo aproximadamente 542 ha, com extensões propostas para aumentar a área de exploração.

O projeto progrediu ao longo de fases regulamentares fundamentais, incluindo a aprovação da Avaliação de Impacte Ambiental (DIA) e o avanço na preparação do processo de RECAPE, com vista à obtenção da licença ambiental final necessária ao desenvolvimento.

As Reservas Mineiras são classificadas como Prováveis e derivam de Recursos Medidos e Indicados, com os Fatores Modificadores aplicáveis. O programa de exploração utilizado no caso económico inclui também 0,476 Mt de Recursos Inferidos, correspondentes a 2,73% do inventário. Esta parcela não integra as Reservas Mineiras declaradas.

As Reservas Minerais Prováveis da Savannah para licenciamento do projeto (julho de 2026) são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Reserva Mineral Provável para Licenciamento do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, julho de 2026.

Classificação	Item	Unidade	NOA	Res	Gra	Pin	Total
Provável	Toneladas	Mt	0,5	3,8	11,4	1,3	17,0
	Li_2O (teor)	%	0,90	0,97	0,98	0,96	0,98
	Fe_2O_3 (teor)	%	1,66	1,12	0,94	1,20	1,02

4.1.3 CRITÉRIOS CÓDIGO JORC

A tabela seguinte apresenta os critérios considerados na estimativa de Reservas, em conformidade com o Código JORC (2012). Estes critérios refletem a base técnica e económica que sustentou a declaração de Reservas, não correspondendo ao cenário económico atualizado do Plano de Lavra. Este último é apresentado nas secções de custos e avaliação económica e no Capítulo 8. A sua atualização não constitui, por si só, uma nova declaração de Reservas.

Tabela 4.2 – Critérios considerados na estimativa de Reservas, em conformidade com o Código JORC (2012).

Critérios	Explicação do Código JORC	Comentário
Estimativa de Recursos Minerais para conversão em Reservas Minerais	*Descrição da estimativa de Recursos Minerais utilizada como base para a conversão em Reservas Minerais.* *Declaração clara sobre se os Recursos Minerais são reportados como adicionais às Reservas Minerais ou inclusivos destas.*	A estimativa de Reservas Minerais baseia-se nas estimativas de Recursos Minerais do Projeto de Lítio do Barroso. Os Recursos Minerais encontram-se alojados em pegmatitos com espodumena intrusivos em litologias predominantemente xistosas, sendo sustentados por registo geológico, amostragem, dados analíticos e interpretação geológica tridimensional dos corpos pegmatíticos. A geometria da mineralização é definida por diques pegmatíticos de inclinação suave e acentuada, com boa continuidade demonstrada através de sondagens e mapeamento de afloramentos. As estimativas de Recursos Minerais foram desenvolvidas com recurso a um modelo de blocos Surpac, com a estimativa de teores realizada através de krigagem ordinária para os domínios pegmatíticos principais e interpolação pelo inverso do quadrado da distância para os domínios secundários. Os wireframes geológicos delimitaram as zonas mineralizadas utilizando um limiar nominal de 0,5% de Li_2O, com as amostras compositadas em intervalos de 1 m e parâmetros de pesquisa adequados aplicados com base no espaçamento das sondagens e na geometria do depósito. O modelo de blocos Surpac tem dimensões de célula-mãe de 20 m (E–O) × 10 m (N–S) × 5 m (vertical), com subdivisão até 5 m × 2,5 m × 1,25 m. Não foram explicitamente modeladas unidades seletivas de lavra. Os Recursos Minerais são classificados como Medidos, Indicados e Inferidos. Os Recursos Minerais são reportados de forma inclusiva das Reservas Minerais. Os Recursos Minerais Medidos e Indicados são adequados ao planeamento da mina ao nível de Estudo de Viabilidade e à conversão em Reservas Minerais.

Critérios	Explicação do Código JORC	Comentário
Visitas ao local	*Comentário sobre eventuais visitas ao local realizadas pela Pessoa Competente e o respetivo resultado.* *Caso não tenham sido realizadas visitas ao local, indicar o motivo.*	A Pessoa Competente, o Sr. Allan Earl, realizou uma visita ao Projeto em novembro de 2025. Durante essa visita, o Sr. Earl visitou o armazém de testemunhos, as localizações das cavas a céu aberto e o local da unidade de processamento proposta. As localizações das instalações de armazenamento de rejeitados, do abastecimento de energia e de outras infraestruturas foram observadas e discutidas com o Gestor de Projeto da Savannah. Não foram identificadas questões materiais durante a visita ao local.
Estado do estudo	*O tipo e o nível de estudo realizado para permitir a conversão de Recursos Minerais em Reservas Minerais.* *O Código exige que tenha sido realizado, no mínimo, um estudo ao nível de Estudo de Pré-Viabilidade para converter Recursos Minerais em Reservas Minerais. Tais estudos deverão ter determinado um plano de lavra tecnicamente exequível e economicamente viável, e ter considerado os Fatores Modificadores materiais.*	O estudo encontra-se ao nível de Estudo de Viabilidade (Feasibility Study).
Parâmetros de teor de corte	*A base do(s) teor(es) de corte ou dos parâmetros de qualidade aplicados.*	Um teor de corte marginal de aproximadamente 0,43–0,46% de Li_2O foi calculado com base em parâmetros económicos específicos do projeto. Uma vez que os Recursos Minerais são reportados a um teor de corte de 0,5% de Li_2O, foi aplicado um teor de corte de reporte de 0,5% de Li_2O.

Fatores ou pressupostos de lavra

O método e os pressupostos utilizados, conforme reportados no Estudo de Pré-Viabilidade ou de Viabilidade, para converter os Recursos Minerais em Reservas Minerais (ou seja, através da aplicação de fatores adequados por otimização ou por projeto preliminar ou de detalhe).

A escolha, a natureza e a adequação do(s) método(s) de lavra selecionado(s) e de outros parâmetros de lavra, incluindo questões de conceção associadas, tais como a pré-decapagem, o acesso, etc.

Os pressupostos assumidos relativamente aos parâmetros geotécnicos (por exemplo, taludes da Corta, dimensões de câmaras, etc.), ao controlo de teor e às sondagens de pré-produção.

Os principais pressupostos assumidos e o modelo de Recursos Minerais utilizado para a otimização das cortas e câmaras (se aplicável).

Os fatores de diluição de lavra utilizados.

Os fatores de recuperação de lavra utilizados.

Quaisquer larguras mínimas de lavra utilizadas.

A forma como os Recursos Minerais Inferidos são utilizados nos estudos de lavra e a sensibilidade do resultado à sua inclusão.

Os requisitos de infraestrutura dos métodos de lavra selecionados.

Os Recursos Minerais foram convertidos num plano de lavra através da otimização de corta Whittle (algoritmo de Lerch-Grossmann), seguida de conceção de detalhe da corta e planeamento da vida da mina. O estudo baseia-se sobretudo em Recursos Medidos e Indicados, com uma proporção reduzida (~3%) de material Inferido incluído na conceção e no plano.

Foi selecionado um método convencional de lavra a céu aberto por perfuração, desmonte, carga e transporte. Este método é adequado à mineralização pegmatítica rasa e lateralmente contínua e à escala do projeto. A lavra seletiva é aplicada em zonas mais estreitas para controlar a diluição. O acesso é feito através de rampas de faseadas, com requisitos de pré-decapagem moderados. O estéril é gerido através de escombreiras exteriores e enchimento progressivo no interior das cortas.

O inventário das cortas a céu aberto para efeitos de planeamento (incluindo Recursos Minerais Inferidos) e de reporte está resumido na tabela abaixo.

Corta a céu aberto	**Minério (Mt)**	**Razão estéril/minério**
Grandão	11,7	4,6
Pinheiro	1,4	6,8
NOA	0,5	5,5
Reservatório	3,9	4,0
Total	**17,4**	**4,6**

Os parâmetros geotécnicos baseiam-se em sondagens, ensaios laboratoriais e análises de estabilidade em múltiplos domínios. Os principais parâmetros incluem ângulos de face de banco de ~55–75°, ângulos entre rampas de ~36–56°, alturas de bancada até 20 m e larguras de berma até 8,5 m. Os ângulos gerais de talude utilizados na otimização são de ~30–48°. Considera-se que o controlo de teor é realizado através de sondagens RC e supervisão

Critérios	Explicação do Código JORC	Comentário
		geológica. A confiança geotécnica é moderada a elevada, sendo os riscos geridos através da conceção e da monitorização. A otimização da corta foi realizada com recurso ao software Whittle, com pressupostos que incluem: preço do concentrado de lítio SC6,0 (equivalente) de US$1 200/t, custo de processamento de US$22,8/t, outros custos de minério de cerca de $11/t, recuperação metalúrgica de 65–74%, custos de lavra baseados em empreiteiro, e condicionantes de talude baseadas em domínios. A diluição é aplicada através de uma camada de 1 m e de uma zona contaminada adicional, refletindo a seletividade prática da lavra. Não foi aplicado nenhum fator explícito de recuperação de lavra para além dos pressupostos de diluição; a recuperação é incorporada através do desempenho metalúrgico. Foi aplicada uma largura mínima de lavra de cerca de 20 m, com larguras típicas de patamar de 60 m, de modo a garantir a escavação prática e o acesso de equipamentos. A lavra requer infraestrutura convencional de Corta a céu aberto, incluindo estradas de transporte, rampas de acesso, plataformas de ROM, escombreiras exteriores e enchimento no interior da Corta. A conceção da infraestrutura está integrada com as condicionantes ambientais e de licenciamento, sendo considerada adequada ao método de lavra selecionado.

Fatores ou pressupostos metalúrgicos	*O processo metalúrgico proposto e a adequação desse processo ao estilo de mineralização.* *Se o processo metalúrgico corresponde a tecnologia amplamente testada ou de natureza inovadora.* *A natureza, a quantidade e a representatividade dos ensaios metalúrgicos realizados, a natureza da zonagem metalúrgica (domaining) aplicada e os correspondentes fatores de recuperação metalúrgica aplicados.* *Quaisquer pressupostos ou margens consideradas para elementos deletérios.* *A existência de eventuais amostras a granel ou ensaios à escala piloto e o grau em que tais amostras são consideradas representativas do corpo mineralizado no seu conjunto.* *No caso de minerais definidos por uma especificação, a estimativa da reserva mineral baseou-se na mineralogia adequada para cumprir as especificações?*	A unidade de processamento proposta utiliza um fluxograma convencional de beneficiação de espodumena, compreendendo britagem, moagem, separação por meio denso (DMS), separação magnética e flotação, para produzir um concentrado de espodumena (5,5% de Li_2O). O processo é adequado à mineralização de lítio pegmatítica dominada por espodumena e baseia-se em tecnologia bem estabelecida e amplamente utilizada, sem operações unitárias inovadoras. Foi concluído um programa faseado de ensaios metalúrgicos, incluindo cominuição, DMS, separação magnética, flotação de mica e de espodumena, ensaios de variabilidade e ensaios de ciclo fechado e à escala piloto. Os ensaios confirmam a suscetibilidade do minério ao processamento convencional e sustentam a seleção do fluxograma. Os resultados são considerados globalmente representativos, embora os ensaios estejam mais direcionados para o depósito de Grandão. As recuperações metalúrgicas são consideradas em função do teor de Li_2O de alimentação, variando tipicamente entre aproximadamente 65% e 74%, com recuperações mais elevadas (aproximadamente 77–82%) demonstradas em ensaios de ciclo fechado. As recuperações da etapa de flotação situam-se tipicamente entre 87–93% de Li_2O. São consistentemente alcançados teores de concentrado de aproximadamente 5,5–6,0% de Li_2O. Os principais pressupostos incluem a pré-concentração por DMS, que rejeita aproximadamente 23% da massa com uma perda de ~4% de Li_2O, a uma densidade de corte ótima de 2,65. A flotação sucede à moagem (150 µm), deslamagem (20 µm) e separação magnética. O desempenho é sensível ao teor de alimentação, ao teor de mica e à dosagem de reagentes, exigindo controlo operacional e eventual mistura (blending). Os ensaios de variabilidade em vários depósitos indicam, de um modo geral, um teor de produto consistente, com a variabilidade da recuperação associada ao teor de alimentação, ao teor de mica e ao tipo de material. O material de teor mais baixo apresenta um potencial de recuperação reduzido. Foram realizados alguns ensaios metalúrgicos de escalonamento (scale-up), proporcionando validação adicional do fluxograma de processo proposto e confirmando o seu desempenho a maior escala. Incluíram-se campanhas conduzidas pela Nagrom, que produziram com sucesso concentrados de espodumena a granel (incluindo aproximadamente 55 kg e 200 kg de produto SC 6,0), utilizando amostras de minério do Projeto de Lítio do Barroso.

Critérios	Explicação do Código JORC	Comentário
		Foram consideradas margens limitadas para elementos deletérios. O ferro (Fe_2O_3) é parcialmente contabilizado na modelação de recursos, com teores típicos de cerca de 1% no minério e cerca de 4% no estéril.
Ambiental	*O estado dos estudos relativos aos potenciais impactes ambientais da operação de lavra e processamento. Devem ser reportados os detalhes da caracterização do estéril e a consideração de potenciais localizações, o estado das opções de conceção consideradas e, quando aplicável, o estado das aprovações relativas ao armazenamento de resíduos de processo e às escombreiras.*	O plano de lavra foi desenvolvido de modo a alinhar-se com a pegada aprovada e a minimizar o desvio relativamente às aprovações governamentais prévias. O estéril foi caracterizado como quimicamente estável e inerte, tendo os ensaios confirmado tratar-se de material não gerador de ácido e um risco negligenciável de drenagem ácida de mina ou de lixiviação significativa de metais. As potenciais localizações e opções de conceção para escombreiras, enchimento no interior da corta, depósitos de solo, áreas de ROM e a instalação de armazenamento de rejeitados foram incorporadas no layout da mina, prevendo-se um enchimento progressivo para restabelecer a drenagem natural e apoiar os objetivos de encerramento. As conceções das escombreiras e do enchimento, a infraestrutura de controlo de sedimentos e a conceção de drenagem e estabilidade foram concluídas ao nível de FS pela Knight Piésold. As condicionantes ambientais e de licenciamento influenciam materialmente a conceção da mina, incluindo a extensão das cavas, a localização dos depósitos e o layout da infraestrutura. Prevê-se que os resíduos de processo sejam depositados por via seca (*dry stack*) na Instalação de Armazenamento de Rejeitados (*TSF*), e embora os conceitos de conceção estejam definidos, é necessário trabalho adicional para finalizar a engenharia de detalhe, confirmar a adequação do material de estéril e assegurar o cumprimento dos requisitos de licenciamento e encerramento. A geoquímica do estéril indica material não gerador de ácido, com baixo teor de sulfuretos e elevada capacidade de neutralização, não tendo sido identificado risco significativo de drenagem ácida de mina ou de lixiviação de metais deletérios.

Critérios	Explicação do Código JORC	Comentário
Infraestrutura	*A existência de infraestrutura adequada: disponibilidade de terreno para o desenvolvimento da unidade, energia, água, transporte (particularmente para matérias-primas a granel), mão de obra, alojamento; ou a facilidade com que a infraestrutura pode ser disponibilizada ou acedida.*	O Projeto de Lítio do Barroso dispõe de acesso a infraestrutura adequada para sustentar as operações de lavra e processamento. Existe terreno adequado disponível dentro da pegada aprovada do projeto para o desenvolvimento das cortas, da unidade de processamento, das escombreiras, da instalação de armazenamento de rejeitados e da infraestrutura associada, embora as condicionantes espaciais exijam uma otimização cuidadosa do layout. O projeto é bem servido pelas redes rodoviárias existentes e está localizado a aproximadamente 145 km do Porto de Leixões, proporcionando acesso para a exportação do concentrado de espodumena e a importação de fornecimentos. O acesso a mão de obra é considerado favorável, existindo uma força de trabalho local disponível e pessoal especializado adicional obtido externamente e alojado em localidades próximas. O abastecimento de água é sustentado pelas condições hidrológicas locais, tendo sido incorporados na conceção do projeto a gestão de águas superficiais e a eventual captação de águas subterrâneas. Os estudos de licenciamento e conceção da energia foram concluídos e submetidos ao regulador para aprovação.

Custos	*A derivação, ou os pressupostos assumidos, relativamente aos custos de capital projetados no estudo.* *A metodologia utilizada para estimar os custos operacionais.* *Margens consideradas para o teor de elementos deletérios.* *A fonte das taxas de câmbio utilizadas no estudo.* *Derivação dos custos de transporte.* *A base para a previsão ou a fonte dos custos de tratamento e refinação, penalizações por incumprimento das especificações, etc.* *As margens consideradas para royalties a pagar, tanto ao Estado como a privados.*	Não foram aplicadas penalizações explícitas por elementos deletérios nos pressupostos de receita. O custo de capital de pré-produção é de $423 milhões, incluindo $40 milhões de contingências. Os custos de capital para a unidade de processamento e o abastecimento de energia, no valor de $181 milhões, foram estimados pela Sedgman em dólares norte-americanos, a maio de 2026, com uma precisão de +/- 15%. Os custos de capital de pré-produção do Dono de Obra para pré-decapagem, movimentação de terras e infraestrutura do local totalizam $203 milhões. Não é considerada qualquer margem para custos afundados (sunk costs). Os custos de capital de sustentação ao longo da vida da mina totalizam $85 milhões. Os custos de capital de encerramento, incluindo o enchimento e a conformação das cavas, totalizam $158 milhões. Durante a produção, os custos de lavra no modelo económico têm uma média de $6,61/t de rocha e baseiam-se numa tabela de preços fixos e variáveis de um empreiteiro local para 2026. Os custos de processamento têm uma média de $25,17/t de minério e os custos de G&A totalizam $9,75/t de minério ao longo da vida da mina. Considerou-se a entrega do concentrado em instalações de exportação, refletindo o transporte do local até ao Porto de Leixões através da infraestrutura rodoviária existente. Os custos logísticos têm uma média de $27,1/t de concentrado SC 5,5 ao longo da vida da mina. O fluxo de caixa inclui um subsídio do Governo português no valor de $126,5 milhões, pago em duas tranches durante a construção e a produção. O projeto produz um concentrado de espodumena comercializável (5,5% Li_2O), com o preço baseado diretamente no concentrado SC5,5 e sem penalizações aplicadas ao teor. O caso económico considera a comercialização de determinadas frações de matérias-primas secundárias. As correntes abrangidas e as quantidades previstas para venda devem ser reconciliadas com o balanço de materiais e de deposição do Capítulo 7 e com as receitas do Capítulo 8. A capacidade da TSF depende das quantidades efetivamente encaminhadas para deposição. Foi aplicado um royalty de 3,0% sobre a receita na avaliação económica. Não foram aplicados royalties privados ou de terceiros adicionais. Os custos de venda, incluindo royalties,

Critérios	Explicação do Código JORC	Comentário
		totalizam $73 milhões ao longo da vida da mina.
Fatores de receita	*A derivação, ou os pressupostos assumidos, relativamente aos fatores de receita, incluindo teor de alimentação, preço(s) do metal ou da matéria-prima, taxas de câmbio, custos de transporte e tratamento, penalizações, retornos líquidos de fundição (net smelter returns), etc.* *A derivação dos pressupostos assumidos para o(s) preço(s) do metal ou da matéria-prima, relativamente aos principais metais, minerais e coprodutos.*	Os pressupostos de receita baseiam-se num preço de longo prazo do concentrado de espodumena de US$1 200/t (base SC6,0). A recuperação metalúrgica é aplicada em função do teor de alimentação, variando tipicamente entre aproximadamente 59% e 72%, resultando numa produção de concentrado consistente com a mineralogia do projeto. Os teores de alimentação derivam do modelo de Recursos Minerais, incorporando a diluição através de uma camada de estéril de 1 m. A potencial receita de matérias-primas secundárias, de cerca de $175 milhões, proveniente dos flotados do DMS e das rejeitadas de flotação, foi avaliada com base em estudos independentes do mercado ibérico de cerâmica, com pressupostos de preço e comercialização baseados em produtos comparáveis de feldspato e areia feldspática. O modelo de fluxo de caixa da Savannah inclui $126,5 milhões em subsídios do Governo português, uma vez que o projeto é designado como estratégico ao abrigo do Regulamento europeu das Matérias-Primas Críticas.

Avaliação de mercado	*A situação de procura, oferta e stocks da matéria-prima em causa, as tendências de consumo e os fatores suscetíveis de afetar a oferta e a procura no futuro.* *Uma análise de clientes e concorrentes, juntamente com a identificação de janelas de mercado prováveis para o produto.* *Previsões de preço e volume e a base dessas previsões.* *No caso de minerais industriais, a especificação do cliente, os ensaios e os requisitos de aceitação previamente à celebração de um contrato de fornecimento.*	A procura de lítio é impulsionada pela eletrificação global, em particular pelo crescimento dos veículos elétricos (EVs) e dos sistemas de armazenamento de energia, que se prevê venham a sustentar uma forte procura de longo prazo por concentrado de espodumena, enquanto matéria-prima fundamental para produtos químicos de lítio. O crescimento da procura é sustentado pelas políticas de descarbonização e pela expansão da capacidade de fabrico de baterias, prevendo-se que os EVs venham a dominar o consumo de lítio nas próximas décadas. A oferta é atualmente dominada por operações em rocha dura (sobretudo na Austrália) e por operações de salmoura na América do Sul, encontrando-se a oferta concentrada num número reduzido de jurisdições. Embora o mercado tenha atravessado períodos de excesso de oferta e volatilidade de preços, as previsões apontam para um aperto das condições de mercado no curto a médio prazo, podendo surgir défices de oferta caso novos projetos sejam adiados. Os fatores suscetíveis de afetar a oferta e a procura futuras incluem as taxas de adoção de EVs, a evolução da tecnologia das baterias, considerações geopolíticas, os prazos de licenciamento e o ritmo de desenvolvimento de novos projetos. Em geral, os fundamentos de longo prazo do lítio permanecem positivos, embora se preveja que os preços continuem voláteis no curto prazo. A União Europeia identificou o lítio como uma matéria-prima crítica, apoiando ativamente o seu desenvolvimento através de iniciativas políticas como o Regulamento das Matérias-Primas Críticas (Critical Raw Materials Act), que visa aumentar a capacidade de extração, processamento e reciclagem a nível doméstico. Mecanismos de apoio financeiro, incluindo a Aliança Europeia das Baterias, o financiamento IPCEI e o financiamento do Banco Europeu de Investimento, destinam-se a reforçar uma cadeia de abastecimento de baterias segura e sustentável. Embora os requisitos de licenciamento e ambientais permaneçam exigentes, estes enquadramentos proporcionam um contexto favorável ao desenvolvimento de projetos de lítio na Europa. Os estudos de mercado do concentrado de espodumena foram obtidos junto de agências experientes e reputadas de análise de mercado e de previsão de preços. Foi utilizado no modelo económico um preço de longo prazo do concentrado de espodumena de aproximadamente US$1 200/t (base SC6,0).

Critérios	Explicação do Código JORC	Comentário
Económico	*Os dados de entrada da análise económica utilizados para produzir o valor atual líquido (VAL/NPV) no estudo, a fonte e o grau de confiança desses dados económicos, incluindo a inflação estimada, a taxa de desconto, etc.* *Intervalos de VAL (NPV) e sensibilidade a variações nos pressupostos e dados de entrada significativos.*	O modelo económico do projeto baseia-se no plano de lavra (incluindo 3% de Inferidos) e em cotações recentes de tabelas de preços de empreiteiros de lavra, bem como em custos de capital e operacionais de processamento e G&A estimados pela Sedgman e pela Savannah, utilizando taxas recentes de consumíveis, manutenção e mão de obra.

Critérios	Explicação do Código JORC	Comentário
Social	*O estado dos acordos com as partes interessadas relevantes e as questões conducentes à licença social para operar.*	O Projeto de Lítio do Barroso permanece sujeito a um envolvimento contínuo com as partes interessadas e a processos regulamentares associados à aprovação ambiental. Foi emitida pela autoridade ambiental portuguesa uma decisão favorável de Declaração de Impacte Ambiental (DIA), permitindo ao projeto avançar para a fase de RECAPE, durante a qual a conceção do projeto é avaliada quanto à conformidade com as condições da DIA. A consulta pública fez parte do processo de licenciamento, tendo sido utilizada para identificar e responder a preocupações ambientais, comunitárias e de acesso ao solo. O projeto está localizado próximo de várias comunidades locais, encontrando-se algumas comunidades a cerca de 2 km do desenvolvimento proposto, permanecendo a licença social para operar uma consideração fundamental do projeto. O envolvimento das partes interessadas encontra-se em curso com as comunidades locais, os proprietários de terrenos, os reguladores e outras entidades relevantes. As questões fundamentais incluem a gestão ambiental, os impactes na comunidade, o acesso ao solo, eventuais necessidades de aquisição de terrenos e o cumprimento das condições de licenciamento. Será necessária a consulta contínua, a gestão transparente dos impactes ambientais e sociais, e a satisfação dos requisitos regulamentares, para obter e manter a licença social para operar. Com base na evolução do projeto ao longo do processo de avaliação ambiental, incluindo a obtenção de uma DIA favorável e o avanço do processo de RECAPE, a Savannah tem uma base razoável para acreditar que as restantes aprovações ambientais e governamentais poderão ser obtidas dentro do calendário do projeto. Esta expectativa está sujeita à conclusão satisfatória do processo de RECAPE, ao cumprimento das condições da DIA, ao envolvimento contínuo com reguladores e partes interessadas, e à resolução atempada de quaisquer questões pendentes relativas ao acesso ao solo, ambientais, sociais ou de licenciamento.

Critérios	Explicação do Código JORC	Comentário
Outros	*Na medida do relevante, o impacto dos seguintes fatores no projeto e/ou na estimativa e classificação das Reservas Minerais:* *Quaisquer riscos materiais de ocorrência natural identificados.* *O estado dos acordos legais materiais e das disposições de comercialização.* *O estado dos acordos e aprovações governamentais fundamentais para a viabilidade do projeto, tais como o estado dos títulos mineiros e as aprovações governamentais e estatutárias. Deve existir uma base razoável para esperar que todas as aprovações governamentais necessárias sejam obtidas dentro dos prazos previstos no Estudo de Pré-Viabilidade ou de Viabilidade. Deve realçar-se e discutir-se a materialidade de qualquer questão não resolvida, dependente de terceiros, da qual dependa a extração da reserva.*	Foram identificados vários riscos de ocorrência natural suscetíveis de impactar o projeto. A topografia e a variabilidade do terreno são significativas, com condições de terreno íngremes e acidentadas a influenciar a conceção da mina, a localização das escombreiras e o acesso, podendo impactar a eficiência operacional e os requisitos de construção. A variabilidade geológica e metalúrgica, incluindo a dependência de pressupostos derivados do depósito de Grandão e a informação limitada sobre material meteorizado e de teor mais baixo, introduz incerteza na recuperação, no controlo de teor e no desempenho global do projeto. O Projeto de Lítio do Barroso é detido ao abrigo da concessão mineira C-100, concedida pelo Estado português, abrangendo aproximadamente 542 ha, com extensões propostas para aumentar a área de exploração. O projeto progrediu ao longo de fases regulamentares fundamentais, incluindo a aprovação da Avaliação de Impacte Ambiental (DIA) e o avanço do processo de RECAPE, com vista à obtenção da licença ambiental final necessária ao desenvolvimento.
Classificação	*A base para a classificação das Reservas Minerais em diferentes categorias de confiança.* *Se o resultado reflete adequadamente a visão da Pessoa Competente sobre o depósito.* *A proporção de Reservas Minerais Prováveis derivadas de Recursos Minerais Medidos (caso existam).*	As Reservas Minerais foram classificadas em conformidade com o Código JORC (2012), com base no nível de confiança dos Recursos Minerais subjacentes e na aplicação de Fatores Modificadores derivados de dados de entrada ao nível de FS, tendo sido classificadas como Reservas Minerais Prováveis. As Reservas Minerais Prováveis derivam de Recursos Minerais Medidos e Indicados. A classificação reflete a consideração de fatores de lavra, metalúrgicos, geotécnicos, ambientais, económicos e legais, incluindo a otimização de cavas, a conceção da mina, os pressupostos de processamento, os dados de custo e o estado do licenciamento. A confiança nos Fatores Modificadores é considerada suficiente para sustentar a classificação ao nível de Reserva Mineral Provável. Não foram derivadas Reservas Minerais de Recursos Minerais Inferidos.
Auditorias ou revisões	*Os resultados de quaisquer auditorias ou revisões das estimativas de Reservas Minerais.*	Não foram reportadas auditorias independentes nem revisões externas das estimativas de Reservas Minerais. Foram realizados processos de revisão interna e de revisão por pares no âmbito da preparação do estudo, por consultores experientes

Critérios	Explicação do Código JORC	Comentário
Discussão sobre a exatidão/confiança relativa	*Quando aplicável, uma declaração sobre a exatidão relativa e o nível de confiança da estimativa de Reservas Minerais, utilizando uma abordagem ou procedimento considerado adequado pela Pessoa Competente. Por exemplo, a aplicação de procedimentos estatísticos ou geoestatísticos para quantificar a exatidão relativa da reserva dentro de limites de confiança estabelecidos ou, caso tal abordagem não seja considerada adequada, uma discussão qualitativa dos fatores suscetíveis de afetar a exatidão e a confiança relativa da estimativa. A declaração deve especificar se se refere a estimativas globais ou locais e, no caso de estimativas locais, indicar as tonelagens relevantes, que devem ser pertinentes para a avaliação técnica e económica. A documentação deve incluir os pressupostos assumidos e os procedimentos utilizados. As discussões sobre exatidão e confiança devem estender-se a discussões específicas sobre quaisquer Fatores Modificadores aplicados que possam ter um impacto material na viabilidade das Reservas Minerais, ou para os quais subsistam áreas de incerteza na fase atual do estudo.* *Reconhece-se que tal poderá não ser possível ou adequado em todas as circunstâncias. Estas declarações de exatidão e confiança relativa da estimativa devem ser comparadas com dados de produção, quando disponíveis.*	Considera-se que a estimativa de Reservas Minerais apresenta um nível de exatidão e confiança consistente com uma Reserva Mineral Provável, derivada de Recursos Minerais Medidos e Indicados e sustentada por Fatores Modificadores ao nível de FS. A declaração de confiança aplica-se à estimativa global de Reservas Minerais, adequada ao planeamento da mina e à avaliação económica à escala do projeto. O nível de confiança reflete a qualidade dos Recursos Minerais subjacentes, a conceção da mina, o planeamento e os dados de custo, incluindo os custos de lavra baseados em empreiteiros e os pressupostos de processamento estabelecidos. No entanto, subsiste alguma incerteza em Fatores Modificadores fundamentais, incluindo a variabilidade metalúrgica entre depósitos e os ensaios limitados sobre material meteorizado e de teor mais baixo, o que poderá afetar a exatidão local. Outros fatores suscetíveis de influenciar a exatidão relativa incluem os pressupostos relativos à modelação de diluição e perda de minério, à recuperação em função do teor, aos requisitos de gestão de estéril e enchimento, e às condicionantes de licenciamento e de acesso ao solo. Estes fatores permanecem sujeitos a refinamento através de engenharia, ensaios e validação operacional em curso. Não estão disponíveis dados de produção para comparação nesta fase. Em geral, a estimativa é considerada adequada para a avaliação do projeto ao nível de Estudo de Viabilidade, prevendo-se um refinamento adicional durante o desenvolvimento do projeto e as operações iniciais

4.2 METODOLOGIA DE CÁLCULO DAS RESERVAS MINEIRAS

4.2.1 RECURSOS MINERAIS

A estimativa de Reservas Minerais baseia-se na estimativa de Recursos Minerais, elaborada em conformidade com o Código JORC (2012) pela Payne Geological Services Pty Ltd, uma consultora independente. Os Recursos Minerais são definidos a partir de sondagens de circulação inversa e de um número limitado de sondagens de diamante, realizadas pela Savannah Resources nos depósitos de Grandão, Pinheiro, Reservatório e NOA.

Foram definidas estimativas de Recursos Minerais para os seguintes depósitos:

- Grandão
- Pinheiro
- Reservatório
- NOA.

Estes quatro depósitos constituem, em conjunto, a base de Recursos Minerais reportada para o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso.

Os Recursos Minerais encontram-se alojados em pegmatitos com espodumena intrusivos em litologias predominantemente xistosas, sendo sustentados por registo geológico, amostragem, dados analíticos e interpretação geológica tridimensional dos corpos pegmatíticos. A geometria da mineralização é definida por diques pegmatíticos de inclinação suave e acentuada, com boa continuidade demonstrada através de sondagens e mapeamento de afloramentos.

As estimativas de Recursos Minerais foram desenvolvidas com recurso a um modelo de blocos Surpac, com a estimativa de teores realizada através de krigagem ordinária para os domínios pegmatíticos principais e interpolação pelo inverso do quadrado da distância para os domínios secundários. Os wireframes geológicos delimitaram as zonas mineralizadas utilizando um limiar nominal de 0,5% de Li_2O, com as amostras compositadas em intervalos de 1 m e parâmetros de pesquisa adequados aplicados com base no espaçamento das sondagens e na geometria do depósito.

A estimativa de Recursos Minerais foi concluída utilizando um modelo de blocos Surpac com dimensões de célula-mãe de 20 m (E–O) × 10 m (N–S) × 5 m (vertical), com subdivisão até 5 m × 2,5 m × 1,25 m. A dimensão dos blocos foi selecionada com base em aproximadamente 50% do espaçamento médio das sondagens. Não foram explicitamente modeladas unidades seletivas de lavra, não tendo sido identificadas questões materiais relativamente à dimensão dos blocos ou à configuração do modelo.

Os Recursos Minerais são classificados como Medidos, Indicados e Inferidos, com base no espaçamento das sondagens, na qualidade dos dados e na continuidade geológica e de teores demonstrada. Os Recursos Indicados são definidos em áreas sondadas com um espaçamento de aproximadamente 40 m a 60 m, sendo os Recursos Inferidos

atribuídos a áreas de menor confiança ou extrapoladas para além da cobertura de sondagens.

Os Recursos Minerais foram reportados a um teor de corte de 0,5% de Li_2O, refletindo perspetivas razoáveis de eventual extração económica através de métodos de lavra a céu aberto. Não foram aplicados à estimativa de Recursos Minerais quaisquer Fatores Modificadores, tais como diluição de lavra, perda de minério ou recuperação metalúrgica.

Os Recursos Minerais são considerados adequados para o planeamento da lavra quando os Recursos Minerais Indicados são utilizados como base, sendo os Recursos Minerais Inferidos excluídos do processo de estimativa da reserva.

4.2.2 GEOTECNIA

A Knight Piésold concluiu a avaliação geotécnica inicial do Projeto, incluindo sondagens, ensaios laboratoriais e uma análise preliminar de estabilidade de taludes, de apoio à conceção inicial das cortas. Este trabalho forneceu o modelo geotécnico de base e os parâmetros de talude iniciais, que foram posteriormente atualizados e refinados no âmbito do atual estudo ao nível de viabilidade.

As investigações geotécnicas incluíram a avaliação de 131 furos de sondagem, ensaios laboratoriais e o desenvolvimento de um modelo geotécnico que define seis domínios. As análises de estabilidade (equilíbrio limite e cinemática) indicam condições de maciço rochoso predominantemente competentes, com todos os taludes a cumprir os critérios de conceção (FoS ≥1,2–1,3) no cenário base e na maioria dos cenários de sensibilidade.

A Snowden Optiro concluiu, posteriormente, um estudo geotécnico ao nível de Estudo de Viabilidade, incorporando sondagens adicionais, modelos geológicos e estruturais atualizados, e ensaios laboratoriais alargados, de modo a refinar o modelo geotécnico e os parâmetros de conceção de taludes. O estudo da Snowden Optiro definiu seis domínios geotécnicos com base na litologia e na meteorização, e aplicou análises de equilíbrio limite e cinemáticas, incluindo testes de sensibilidade relativos à água subterrânea, aos controlos estruturais e à resistência do material. Os resultados indicam, de um modo geral, condições de maciço rochoso competentes, cumprindo todas as cavas os critérios de aceitação de conceção (FoS tipicamente ≥1,2–1,3) no cenário base e apresentando um desempenho aceitável na maioria dos cenários de sensibilidade. A confiança geotécnica global é avaliada como moderada a elevada, sendo os principais riscos relacionados com a água subterrânea, a variabilidade estrutural e o xisto meteorizado considerados geríveis através da conceção e da monitorização.

Os parâmetros de conceção de taludes recomendados variam consoante a corta e o setor geotécnico, mas são globalmente consistentes em todo o projeto. Os parâmetros típicos incluem alturas de bancada de 10 – 20 m, larguras de berma de 6 – 8,5 m, ângulos de face de banco entre 55°, em condições estruturais meteorizadas ou desfavoráveis, e 70 – 75°, em rocha sã competente, e ângulos entre rampas geralmente entre 36° e 55°. Grandão e Reservatório incluem setores mais inclinados, com Ângulo Entre Rampas (IRA) até 55° e Ângulo de Face de Banco (BFA) de 75° em domínios competentes, sendo

aplicados taludes mais suaves (36 – 42° IRA; 55 – 65° BFA) em áreas meteorizadas ou estruturalmente desfavoráveis. Sendo mais rasa, a NOA suporta taludes mais inclinados em rocha sã (até 75° BFA; 55° IRA), enquanto a Pinheiro apresenta maior variabilidade, com BFAs entre 55° e 75°, consoante o domínio estrutural. Estes parâmetros são considerados adequados para a conceção da mina ao nível de FS e permitem um desenvolvimento seguro e estável da corta a céu aberto.

4.2.3 ESTUDOS DE LAVRA

Um teor de corte marginal de aproximadamente 0,43–0,46% de Li_2O foi calculado com base em parâmetros económicos específicos do projeto. Uma vez que os Recursos Minerais são reportados a um teor de corte de 0,5% de Li_2O, foi aplicado um teor de corte de reporte de 0,5% de Li_2O.

A otimização das cortas foi realizada com recurso ao software Whittle, padrão da indústria, aplicando o algoritmo de Lerch-Grossmann. Os principais parâmetros incluíram um preço do concentrado de lítio de US$1 100/t (SC5,5), custos de lavra baseados em cotações de empreiteiros, custos de processamento de US$22,8/t, outros custos de minério de $11/t, recuperação metalúrgica até 74% para um concentrado de 5,5% de Li_2O, e condicionantes geotécnicas de talude variáveis (aproximadamente 30 – 48°, consoante o domínio). A diluição foi aplicada utilizando uma camada de estéril de 1 m com uma zona de minério de contacto de 2 m, criando uma zona mista de 3 m. Não foi aplicada qualquer perda de lavra adicional.

Foi selecionado um método convencional de lavra a céu aberto (perfuração, desmonte, carga e transporte), adequado à mineralização de lítio pegmatítica, rasa e lateralmente contínua, e à escala do projeto. A lavra é realizada com recurso a escavadoras hidráulicas e camiões de transporte, aplicando-se lavra seletiva em zonas de minério estreitas para controlar a diluição, apoiada por sondagens de controlo de teor e uma supervisão geológica próxima.

O inventário de conceção da corta a céu aberto para efeitos de planeamento (incluindo Recursos Minerais Inferidos) está resumido na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Inventário da corta a céu aberto do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso para planeamento.

Corta a céu aberto	Minério (Mt)	Razão estéril/minério
Grandão	11,7	4,6
Pinheiro	1,4	6,8
NOA	0,5	5,5
Reservatório	3,9	4,0
Total	**17,4**	**4,6**

Os requisitos de pré-decapagem são moderados, estando a lavra inicial focada na remoção de estéril para estabelecer o acesso e fornecer material de construção,

particularmente em Pinheiro e Grandão. O acesso é feito através de rampas de corta faseadas, concebidas para as frotas de lavra do empreiteiro, sendo o estéril gerido através de escombreiras exteriores.

A análise de estabilidade de taludes indica, de um modo geral, rocha sã competente, com a estabilidade a cumprir os critérios de conceção; os principais parâmetros de conceção incluem ângulos de face de banco de 55 – 75°, ângulos entre rampas tipicamente de 36 – 56°, alturas de bancada até 20 m e larguras de berma até 8,5 m, variando consoante o domínio e as condições estruturais em todas as cavas.

A confiança geotécnica global é moderada a elevada, sendo os riscos relacionados com a água subterrânea, a variabilidade estrutural e o xisto meteorizado geridos através de uma conceção de taludes conservadora, monitorização e recolha contínua de dados.

As conceções das cortas foram desenvolvidas a partir das envolventes de otimização Whittle e refinadas em fase de projeto de detalhe, de modo a refletir as condicionantes geotécnicas, o acesso de lavra, a topografia, os limites da pegada ambiental e o desenvolvimento faseado prático. As conceções finais recorrem a uma lavra faseada para melhorar a exposição precoce de minério, diferir a decapagem de estéril e manter a flexibilidade operacional. Os parâmetros de conceção incluem ângulos de parede baseados em setores geotécnicos e configurações de rampa de faixa dupla e simples.

Foi aplicada uma largura mínima de lavra de aproximadamente 20 m na conceção das cavas, de modo a garantir a escavação prática e o acesso de equipamentos, com larguras típicas de patamar de aproximadamente 60 m. Estes parâmetros são considerados adequados à escala da operação e aos requisitos de lavra seletiva da mineralização pegmatítica.

A Figura 4.1 apresenta a movimentação anual de materiais, incluindo a extração de minério e estéril, a movimentação de construção, a retoma de minério e a removimentação de estéril. Os anos são contabilizados de outubro a setembro, com os Anos −2 e −1 de pré-produção, seguidos dos Anos 1 a 20, sem Ano 0. A extração termina no Ano 15; a movimentação subsequente corresponde às atividades previstas de encerramento. O planeamento utiliza períodos trimestrais na pré-produção e nos primeiros cinco anos de produção, e semestrais a partir do Ano 6.

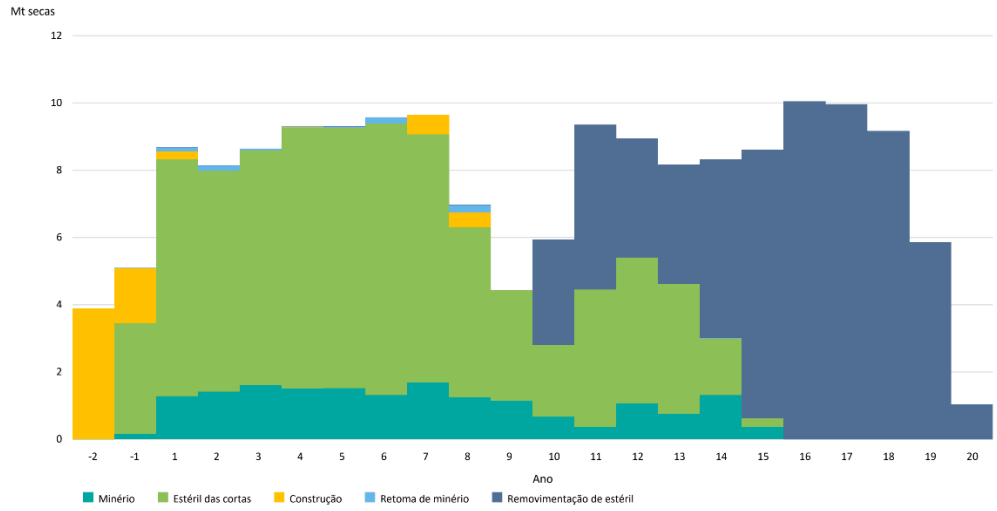


Figura 4.1 – Movimentação anual de materiais na lavra, construção e encerramento.

As considerações de planeamento incluem a necessidade de lavra seletiva das zonas de minério para controlar a diluição, o espaço limitado para *stockpiles* de longo prazo, e a utilização de escombreiras exteriores seguida de enchimento no interior da Corta. O estudo indica que a lavra seletiva e a granel se dividem em aproximadamente 50:50, que a Grandão fornece a maior parte da alimentação de minério, e que o planeamento deve equilibrar os ritmos de lavra, o armazenamento de estéril, a utilização de equipamento e os requisitos de encerramento.

O programa de exploração considerado na avaliação económica compreende 17,436 Mt de material mineralizado, incluindo 16,960 Mt classificados como Recursos Medidos e Indicados e 0,476 Mt classificados como Recursos Inferidos. A parcela inferida representa 2,73% do inventário do programa e não integra as Reservas Mineiras declaradas. A reconciliação com as 17,0 Mt de Reservas Prováveis reportadas é apresentada no Capítulo 8, considerando os arredondamentos aplicáveis.

A pré-produção e os primeiros anos concentram-se na decapagem de estéril, de modo a estabelecer o acesso, fornecer material de construção e abrir zonas de minério, sendo a Pinheiro lavrada precocemente para fornecer estéril para infraestrutura e servir como bacia de sedimentação temporária.

O comissionamento da lavaria inicia-se no quarto trimestre de 2028, correspondente ao primeiro trimestre do Ano 1 e ao período 9 do cronograma mineiro. Nesse trimestre são processadas 225 000 t de minério e produzidas 13 300 t de concentrado SC5,5. O modelo financeiro adota janeiro de 2029 como início operacional. A capacidade nominal é de 1,5 Mt/ano, atingida nos Anos 2 a 7 do plano. O Grandão fornece a maior parte da alimentação durante a principal fase de produção.

A lavra transita posteriormente para a NOA e, em seguida, para a Reservatório, sendo incorporados o remanuseamento de estéril e o enchimento progressivo no interior da corta para apoiar os objetivos de encerramento e restabelecer as linhas de drenagem.

O plano inclui condicionantes práticas de lavra, tais como a rotação de bancadas, a precedência de lavra, os limites de *stockpile* de ROM, os limites de alimentação de minério provenientes da NOA e da Reservatório, e os limites máximos de movimentação anual de lavra e de remanuseamento de estéril.

4.2.4 CONCEÇÃO DE PROCESSO

A unidade de processamento tem capacidade nominal de 1,5 Mt/ano de minério pegmatítico litinífero, para produção de concentrado de espodumena SC5,5. A Figura 4.2 apresenta o esquema conceptual de processo e uma repartição ilustrativa de massas à capacidade nominal. Os valores inscritos nas correntes não representam a produção média nem a produção máxima do cronograma de lavra. O faseamento e as quantidades programadas constam do plano de produção e do balanço de massas do Capítulo 5.

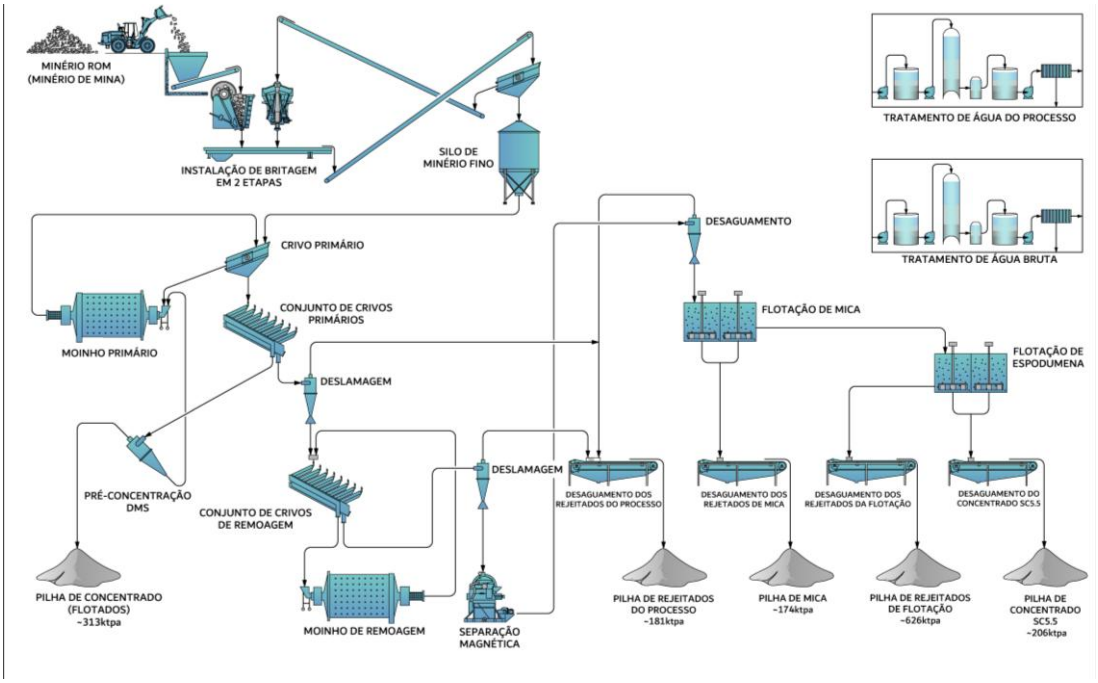


Figura 4.2 – Esquema conceptual da lavaria e repartição ilustrativa de massas para 1,5 Mt/ano.

O processamento inicia-se com um circuito de britagem em duas etapas, reduzindo o minério ROM a uma granulometria adequada para a moagem. O material britado é armazenado num silo de minério fino e recuperado para um circuito de moagem primária, onde um moinho de bolas, operando em circuito fechado com classificação, reduz a granulometria do material.

O fluxograma incorpora a separação por meio denso (DMS) como etapa de pré-concentração. A fração mais grosseira é tratada no circuito de DMS para rejeitar uma parte da ganga estéril, valorizando assim a alimentação do circuito de flotação a jusante, reduzindo o caudal mássico e melhorando a eficiência global do processo.

O material não tratado pelo DMS, juntamente com o produto (afundados) do DMS, é posteriormente processado através de moagem secundária e classificação, de modo a atingir a granulometria alvo para a flotação. A polpa moída é depois submetida a deslamagem, para remoção de material ultrafino, seguida de separação magnética, para remoção de minerais ferrosos e de outros contaminantes suscetíveis de afetar a qualidade do concentrado.

O circuito de flotação é constituído por duas etapas principais. Em primeiro lugar, um circuito de flotação de mica remove a mica e outros minerais de ganga deletérios, melhorando a recuperação de espodumena e a qualidade do concentrado. Em segundo lugar, um circuito de flotação de espodumena (compreendendo etapas de desbaste e apuramento, com previsão para limpeza adicional) recupera os minerais de lítio num produto de concentrado final.

O concentrado de espodumena é desaguado por ciclonagem e filtração antes do armazenamento e expedição. As frações fina, de mica e de flotação dispõem de espessamento e filtração. A fração flotante da DMS é desaguada no respetivo circuito. As quatro frações são encaminhadas para comercialização como matérias-primas secundárias ou para a TSF, nas quantidades do balanço apresentado no Capítulo 5.

A conceção da unidade incorpora sistemas de recuperação e reciclagem de água, incluindo múltiplos circuitos de água de processo, de modo a minimizar o consumo de água e gerir o arrastamento de reagentes entre circuitos.

4.2.5 ENSAIOS METALÚRGICOS

Foi realizado um programa abrangente e faseado de ensaios com o objetivo de:

- Confirmar a suscetibilidade do minério ao processamento convencional (DMS + flotação).
- Desenvolver e otimizar um fluxograma.
- Avaliar a variabilidade entre depósitos e tipos de minério.
- Validar o desempenho através de ensaios piloto e de ciclo fechado.

Os programas incluíram separação gravítica (HLS/DMS), flotação (mica e espodumena), separação magnética, ensaios de cominuição, ensaios à escala piloto e estudos de variabilidade.

O processo metalúrgico proposto compreende britagem, moagem e flotação convencionais, para produzir um concentrado de espodumena (~5,5% Li_2O), adequado à mineralização de lítio pegmatítica dominada por espodumena. Os ensaios metalúrgicos indicam recuperações médias de aproximadamente 70 – 73% (variáveis com o teor), corroborando a adequação do processo à mineralogia e à especificação de produto esperada.

Foi selecionado um fluxograma convencional de DMS + flotação, que inclui:

- Pré-concentração por DMS.

- Moagem e deslamagem.
- Separação magnética.
- Flotação de mica seguida de flotação de espodumena.

Foi concebido um regime de reagentes que evita ácidos/bases fortes e utiliza reagentes ambientalmente aceitáveis.

O DMS (pré-concentração) obteve os seguintes resultados:

- O DMS rejeita cerca de 23% da massa, com uma perda de cerca de 4% de Li_2O.
- Densidade de corte ótima de 2,65 para a maioria dos compósitos.

Os ensaios demonstraram que o DMS é eficaz em:

- Valorizar o teor de alimentação.
- Reduzir a variabilidade e a carga de processamento a jusante.

A flotação em duas etapas será realizada após a moagem (~150 µm), a deslamagem (20 µm) e a separação magnética:

- Flotação de mica (remoção de ganga).
- Flotação de espodumena.

As principais conclusões dos ensaios foram:

- Recuperação típica da etapa de flotação de espodumena de ~87–93% Li_2O.
- Foram consistentemente alcançados teores de concentrado de ~5,5–6% Li_2O.

Os ensaios identificaram que o desempenho metalúrgico é sensível a:

- Teor de mica.
- Taxa de dosagem de reagentes, exigindo otimização e eventual controlo por mistura (blending).

A recuperação global média (a uma moagem de 150 µm):

- Média bruta de 66%.
- Média ajustada de 71,6%.

Os ensaios de ciclo fechado e à escala piloto alcançaram uma recuperação global de 77 – 82%. As recuperações globais mais baixas devem-se sobretudo a perdas anteriores à flotação (DMS, deslamagem, separação magnética), e não à ineficiência da flotação.

Os ensaios de variabilidade realizados em vários depósitos e tipos de minério demonstraram:

- Capacidade consistente de atingir o teor de produto.
- Alguma variabilidade associada a:
    - Teor de alimentação

- Teor de mica
- Material aplítico.

- O minério de teor mais baixo apresenta um potencial de recuperação reduzido, salientando a importância do controlo do teor de alimentação e da mistura (blending).

Os ensaios de ciclo fechado confirmaram:

- Operação estável com fluxos de reciclagem.
- Robustez do circuito de flotação.
- Recuperação global de 77,7%–81,8% para um concentrado de ~5,5% de Li_2O.
- Capacidade de reduzir o consumo de reagentes em até ~40% com a reciclagem.

Foram consideradas margens limitadas para elementos deletérios. O ferro é parcialmente contabilizado através de um valor de Fe_2O_3 nos modelos de recursos. O teor de Fe_2O_3 no estéril é de cerca de 4% e o Fe_2O_3 global no minério é de cerca de 1%.

Foram realizados alguns ensaios metalúrgicos de escalonamento (*scale-up*), proporcionando validação adicional do fluxograma de processo proposto e confirmando o seu desempenho a maior escala. Incluíram-se campanhas conduzidas pela Nagrom, que produziram com sucesso concentrados de espodumena a granel (incluindo aproximadamente 55 kg e 200 kg de produto SC 6,0), utilizando amostras de minério do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso.

4.2.6 AMBIENTAL

Foram realizados estudos ambientais de apoio ao Projeto, quer na fase de Estudo Prévio, durante a Avaliação de Impacte Ambiental (EIA), até à obtenção da DIA, quer em fase de Projeto de Execução, com a elaboração do presente RECAPE, constituindo a base para o licenciamento ambiental e o desenvolvimento do projeto. O plano de lavra, o layout de infraestrutura e o planeamento foram especificamente concebidos para se manterem próximos da pegada aprovada do projeto, minimizando a perturbação e limitando os desvios relativamente aos impactes ambientais previamente avaliados.

Foram concluídos os ensaios de caracterização de estéreis, demonstrando que o estéril é quimicamente estável e classificado como não gerador de ácido (NAF). O material apresenta baixo teor de sulfuretos e elevada capacidade de neutralização, indicando um potencial negligenciável de drenagem ácida de rocha (ARD) e um risco limitado de lixiviação de metais deletérios, nas condições esperadas do local. Tal reduz os passivos ambientais de longo prazo e sustenta a utilização do estéril em atividades de construção e reabilitação.

O layout da mina integra considerações ambientais fundamentais, com localizações designadas para as escombreiras (WRLs), as áreas de enchimento no interior da corta, os depósitos de solo, as plataformas de ROM e a TSF. Estas instalações foram posicionadas de modo a otimizar a eficiência operacional, minimizando simultaneamente a perturbação ambiental, o impacte visual e os requisitos de transporte. Em particular, o plano de lavra incorpora o enchimento progressivo das

cavas esgotadas, com o objetivo de reduzir a pegada superficial de longo prazo do armazenamento de estéril, restabelecer as formas de relevo naturais e restaurar os padrões de drenagem pré-existentes, no âmbito do encerramento.

Foram desenvolvidas as conceções das escombreiras e do enchimento, incorporando parâmetros geotécnicos de conceção convencionais e conceitos de reabilitação. No entanto, é necessário trabalho adicional durante o projeto de detalhe para refinar aspetos tais como:

- Infraestrutura de gestão de sedimentos e de águas superficiais, incluindo valas de desvio e estruturas de contenção
- Acessos à TSF e interfaces operacionais, particularmente no que respeita ao transporte e à sequência de deposição
- Projeto de detalhe de drenagem, geotecnia e estabilidade, sustentado por investigações adicionais no local.

As condicionantes ambientais e de licenciamento constituem um fator determinante da conceção do projeto, exercendo uma influência material sobre os limites das cavas, a localização da infraestrutura e dos depósitos. Estas condicionantes exigem um equilíbrio cuidadoso entre a eficiência da lavra e a conformidade ambiental, particularmente no que respeita à perturbação do solo, à gestão da água e aos impactes visuais.

As frações de processamento destinadas à TSF são geridas numa instalação de rejeitados filtrados (*dry stack*), com transporte, espalhamento e compactação. A solução de engenharia e as condições de preparação da fundação, drenagem, impermeabilização, estabilidade, monitorização e encerramento são descritas no Capítulo 7. A afetação das frações à comercialização e à TSF segue o balanço do programa de exploração.

Em geral, os estudos ambientais indicam que o projeto pode ser desenvolvido recorrendo a medidas de mitigação convencionais e a práticas de engenharia estabelecidas. A integração da gestão de estéreis, do controlo da água e do planeamento do encerramento na conceção da mina proporciona uma base sólida para alcançar a conformidade regulamentar e a estabilidade ambiental de longo prazo.

4.2.7 INFRAESTRUTURA

O projeto inclui um conjunto de infraestruturas de apoio, compreendendo uma TSF, movimentação de terras no local da unidade, estradas de acesso internas e sistemas de gestão de águas superficiais.

O estéril e os rejeitados de processo são geridos através de uma combinação de escombreiras (WRLs), enchimento no interior da corta e instalações de armazenamento de rejeitados. O estéril de lavra é inicialmente depositado em escombreiras exteriores, localizadas próximo de cada corta, de modo a minimizar as distâncias de transporte. Estas escombreiras são estruturas convencionais de enrocamento em bancadas, concebidas para estabilidade, sendo também utilizadas como fonte de material de construção para infraestruturas como o dique da TSF e a movimentação de terras do local.

À medida que a lavra avança, é realizado o enchimento progressivo das cavas esgotadas, sempre que a capacidade o permita. Esta estratégia reduz a pegada superficial de longo prazo do armazenamento de estéril e apoia os objetivos de encerramento, incluindo o restabelecimento da drenagem natural. Contudo, devido aos fatores de empolamento, nem todo o estéril pode ser devolvido aos vazios das cortas, permanecendo uma parte em escombreiras exteriores para reabilitação final.

O balanço do programa de exploração gera 3,698 Mt secas de fração DMS, das quais 2,617 Mt são afetas à comercialização como matérias-primas secundárias e 1,081 Mt à TSF. No conjunto das quatro frações, são geradas 15,319 Mt, repartidas entre 5,721 Mt afetas à comercialização e 9,598 Mt destinadas à TSF. A afetação física no cronograma de lavra distingue-se do calendário de expedição e dos stocks representados no modelo financeiro.

A TSF é concebida como um sistema de rejeitados filtrados (dry stack), pelo qual os rejeitados são desaguados antes do transporte e depositados como material parcialmente saturado. Esta abordagem reduz o volume de água armazenado na instalação, melhora a estabilidade geotécnica e minimiza o risco de infiltração e o risco ambiental, relativamente às barragens de rejeitados convencionais em polpa. A TSF compreende uma bacia impermeabilizada e um dique de aterro de engenharia, construído em fases ao longo da vida da mina, com sistemas integrados de recolha de infiltrações, subdrenagem e desvio de águas superficiais. A instalação é concebida em conformidade com normas internacionais (incluindo ANCOLD, Eurocódigo e GISTM) e incorpora sistemas de monitorização e reabilitação progressiva, de modo a garantir a estabilidade de longo prazo e o desempenho ambiental.

A movimentação de terras do local da unidade compreende uma série de plataformas e terraços de engenharia, destinados a acomodar a unidade de processamento e a infraestrutura associada. Estas plataformas foram concebidas para otimizar o equilíbrio de escavação e aterro, proporcionar fundações estáveis para a infraestrutura e garantir um acesso seguro e fiável em todas as condições climatéricas. Foram incorporados sistemas de drenagem para controlar o escoamento superficial e minimizar a erosão, sendo o material de escavação reutilizado sempre que possível, de modo a reduzir os requisitos globais de construção.

Foi concebida uma rede de estradas de acesso internas, para ligar a unidade de processamento, a TSF, as estruturas de gestão de água e as áreas de lavra. As estradas são predominantemente não pavimentadas, construídas com materiais de origem local, e concebidas para seguir a topografia natural, minimizando a movimentação de terras. São adequadas tanto para tráfego de veículos ligeiros como pesados, com declives adequados, drenagem (incluindo bueiros e valetas laterais) e características de segurança incorporadas na conceção.

O projeto inclui ainda infraestrutura de gestão de águas superficiais, incluindo canais de desvio, reservatórios de retenção e estruturas de controlo de sedimentos. Estes sistemas são concebidos para gerir o escoamento superficial, controlar o transporte de sedimentos, maximizar a reciclagem de água na operação e minimizar a descarga para o ambiente em condições normais de operação.

4.2.8 CUSTOS

Não foram aplicadas penalizações explícitas por elementos deletérios nos pressupostos de receita.

O investimento inicial bruto, incluindo descobertura e custos capitalizados, totaliza 423,477 MUSD: 390,396 MUSD de CAPEX inicial e 33,080 MUSD de descobertura e custos capitalizados. O CAPEX inicial inclui 39,994 MUSD de contingência.

Os custos de capital para a unidade de processamento e o abastecimento de energia, no valor de $181 milhões, foram estimados pela Sedgman em dólares norte-americanos, a maio de 2026, com uma precisão de +/- 15%. Os custos de capital de pré-produção do Dono de Obra para pré-decapagem, movimentação de terras e infraestrutura do local totalizam $203 milhões. Não é considerada qualquer margem para custos afundados (sunk costs).

Os custos de capital de sustentação ao longo da vida da mina totalizam $85 milhões. Os custos de capital de encerramento, incluindo o enchimento e a conformação das cavas, totalizam $158 milhões.

Os custos de lavra considerados no modelo financeiro totalizam 641,633 MUSD, equivalentes a 6,61 USD por tonelada extraída das cortas. Os custos de processamento totalizam 437,128 MUSD, equivalentes a 25,07 USD/t de alimentação; os custos gerais e administrativos totalizam 171,783 MUSD, equivalentes a 9,85 USD/t de alimentação.

Considerou-se a entrega do concentrado em instalações de exportação, refletindo o transporte do local até ao Porto de Leixões através da infraestrutura rodoviária existente. Os custos logísticos têm uma média de $27,1/t de concentrado SC 5,5 ao longo da vida da mina.

O fluxo de caixa inclui um subsídio do Governo português no valor de $126,5 milhões, pago em duas tranches durante a construção e a produção.

O concentrado comercial tem um teor de 5,5% de Li_2O. O caso económico utiliza 1 100 USD/t de SC5,5, equivalente a 1 200 USD/t de SC6,0. As matérias-primas secundárias são avaliadas a um preço médio global de 21,85 EUR/t, convertido em 24,909 USD/t à taxa de 1,14 USD/EUR. As quantidades geradas, destinadas à venda e encaminhadas para a TSF seguem o cronograma de lavra final; o calendário de vendas e os stocks seguem o modelo financeiro final.

Foi aplicado um royalty de 3,0% sobre a receita na avaliação económica. Não foram aplicados royalties privados ou de terceiros adicionais. Os custos de venda, incluindo royalties, totalizam $73 milhões ao longo da vida da mina.

4.2.9 FATORES DE RECEITA

Apenas para efeitos das estimativas de Reservas Minerais, os pressupostos de receita baseiam-se num preço de longo prazo do concentrado de espodumena de $1 200/t

(base SC6,0). A recuperação metalúrgica é aplicada em função do teor de alimentação, variando tipicamente entre aproximadamente 65% e 74%, resultando numa produção de concentrado consistente com a mineralogia do projeto.

O Projeto prevê a comercialização de matérias-primas secundárias das frações DMS, mica, flotação e fina. O modelo financeiro considera a venda de 5,721 Mt, com uma receita acumulada de 142,510 MUSD. O preço médio global representa uma premissa de avaliação do conjunto comercializado, mantendo a discriminação das quantidades por fração.

A avaliação económica incorpora a premissa de subsídios descrita na secção de custos e no Capítulo 8, nos montantes e períodos constantes do modelo financeiro final.

4.2.10 AVALIAÇÃO DE MERCADO

Os estudos de mercado do concentrado de espodumena foram obtidos junto de agências experientes e reputadas de análise de mercado e de previsão de preços.

A procura de lítio é impulsionada pela eletrificação global, em particular pelo crescimento dos veículos elétricos (EVs) e dos sistemas de armazenamento de energia, que se prevê venham a sustentar uma forte procura de longo prazo por concentrado de espodumena, enquanto matéria-prima fundamental para produtos químicos de lítio. O crescimento da procura é sustentado pelas políticas de descarbonização e pela expansão da capacidade de fabrico de baterias, prevendo-se que os EVs venham a dominar o consumo de lítio nas próximas décadas.

A oferta é atualmente dominada por operações em rocha dura (sobretudo na Austrália) e por operações de salmoura na América do Sul, encontrando-se a oferta concentrada num número reduzido de jurisdições. Embora o mercado tenha atravessado períodos de excesso de oferta e volatilidade de preços, as previsões apontam para um aperto das condições de mercado no curto a médio prazo, podendo surgir défices de oferta caso novos projetos sejam adiados.

Os fatores suscetíveis de afetar a oferta e a procura futuras incluem as taxas de adoção de EVs, a evolução da tecnologia das baterias, considerações geopolíticas, os prazos de licenciamento e o ritmo de desenvolvimento de novos projetos. Em geral, os fundamentos de longo prazo do lítio permanecem positivos, embora se preveja que os preços continuem voláteis no curto prazo.

Os estudos de mercado realizados pelo Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV) e revistos pela *First Test Minerals* avaliaram a adequação dos flotados do DMS e dos rejeitados de flotação do Projeto quanto ao mercado ibérico de cerâmica. Os estudos concluíram que os flotados do DMS constituem o fluxo de matérias-primas secundárias comercialmente mais atrativo, com características comparáveis às de produtos de feldspato de qualidade média/baixa, utilizados sobretudo no fabrico de porcelana e de ladrilhos cerâmicos. Os rejeitados de flotação foram avaliados como comparáveis a areias feldspáticas, adequadas a aplicações cerâmicas de menor valor, onde os requisitos visuais são menos exigentes. Os estudos identificaram ainda que o

mercado ibérico é vasto e maduro, com um consumo de feldspato de aproximadamente 3,5 Mtpa e uma procura de areia feldspática de 0,5 Mtpa, sustentando potenciais oportunidades de venda local para estas matérias-primas secundárias.

4.2.11 ECONÓMICO

A avaliação económica utiliza o programa de 17,436 Mt de material mineralizado, incluindo 0,476 Mt de Recursos Inferidos, correspondentes a 2,73% do inventário e excluídos das Reservas Mineiras declaradas. No caso de referência, o VAL após impostos é de 170,053 MUSD, à taxa de desconto de 8%; a TIR após impostos é de 19,08% e o prazo de recuperação do investimento após impostos é de 4,00 anos, contado a partir do início operacional adotado no modelo financeiro, em janeiro de 2029.

4.2.12 SOCIAL

O Projeto de Ampliação da Mina do Barroso permanece sujeito ao envolvimento contínuo das partes interessadas e ao processo de conformidade ambiental do RECAPE. Foi emitida uma Declaração de Impacte Ambiental (DIA) condicionalmente favorável pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) em 30 de maio de 2023, permitindo ao projeto avançar para a fase de RECAPE, durante a qual o projeto de execução é avaliado quanto à conformidade com as condições da DIA. O desempenho social é gerido em conformidade com o enquadramento legal português e, numa base voluntária, com as Normas de Desempenho do IFC (PS1, PS2, PS4, PS5 e PS8), os Princípios do Equador (EP4) e os Princípios Orientadores das Nações Unidas sobre Empresas e Direitos Humanos.

A linha de base social do projeto é estabelecida por uma Avaliação de Impacte Social (SIA) independente, elaborada pela *Community Insights Group* e concluída em fevereiro de 2026, com base num inquérito porta-a-porta a 333 agregados familiares, em 11 freguesias num raio de 5 km da concessão. A área de influência direta compreende quatro freguesias – Covas do Barroso, Dornelas e Vilar e Viveiro (Boticas) e Canedo (Ribeira de Pena) – situando-se as residências mais próximas a aproximadamente 550 m e 950 m das cavas de Grandão e Reservatório, respetivamente. A SIA identifica 33 impactes sociais e sustenta um conjunto de nove planos de gestão integrados, alinhados com as Normas de Desempenho do IFC.

Em julho de 2026, a Savannah tinha formalizado um conjunto de quinze Memorandos de Entendimento celebrados com partes interessadas relevantes, abrangendo a administração local, os detentores de baldios (comunitários), associações de caça e pesca, entidades religiosas e comunitárias, desporto, saúde e cooperação entre operadores. Entre os acordos de particular relevância incluem-se um acordo de cooperação com o Município de Boticas (28 de abril de 2026), relativo à Estrada de Acesso Norte, com 10,9 km, que desvia o tráfego de lavra dos centros das aldeias e é integralmente financiada pela Savannah (obras previstas desde o segundo semestre de 2026 até ao final de 2027); acordos de uso do solo com o Baldio de Couto de Dornelas (6 de maio de 2026) e o Baldio das Aldeias de Alijó, Canedo e Penalonga, prevendo o pagamento de renda e um orçamento anual mínimo vinculativo de €500 000 para a

Fundação Savannah, a partir do primeiro ano operacional; uma parceria de gestão agroflorestal com a federação regional de baldios SBTMAD (6 de maio de 2026); e um acordo-quadro com o Hospital Terra Quente (22 de maio de 2025), para uma unidade de cuidados de saúde primários ao serviço da força de trabalho do projeto e da comunidade local.

Os principais aspetos e compromissos sociais incluem:

- O acesso ao solo – compreendendo a aquisição de terrenos privados e o arrendamento de terrenos comunitários (baldios) – gerido através de um Plano de Restabelecimento de Meios de Subsistência, alinhado com a Norma PS5 do IFC, com base no custo de reposição integral e numa conceção participativa.
- A gestão dos impactes na saúde, segurança e amenidade da comunidade (poeira, ruído, vibração e tráfego), através de um Plano de Saúde e Segurança Comunitária alinhado com a Norma PS4 do IFC e da Estrada de Acesso Norte dedicada.
- O emprego local e a participação económica são apoiados por planos de contratação local, de desenvolvimento de fornecedores e de aquisição local. A organização dos recursos humanos por fase e área funcional é apresentada na secção 6.8.
- A partilha de benefícios e a gestão transparente de reclamações, através da Fundação Savannah, regida pelo CLCM (mínimo de €500 000 por ano), do Plano de Boa Vizinhança, dos royalties municipais legalmente devidos, e de um Mecanismo de Reclamações gratuito.

O projeto tem mantido um envolvimento contínuo com a comunidade desde 2017, incluindo um Centro de Informação, sessões públicas de informação anuais e Agentes de Ligação Comunitária recrutados localmente. O «Projeto Modificado» de 2023 – que eliminou a captação de água no rio Covas, introduziu a Estrada de Acesso Norte, relocalizou a unidade de processamento para reduzir a intrusão visual e restringiu a operação ao período diurno – demonstra que o feedback da comunidade moldou materialmente a conceção do projeto.

Não obstante este progresso, a licença social para operar continua a ser uma consideração fundamental do projeto, persistindo uma oposição comunitária localizada numa pequena parte da área de influência. Com base na evolução do projeto ao longo do processo de avaliação ambiental, na obtenção de uma DIA favorável e no conjunto de acordos já estabelecidos, a Savannah tem uma base razoável para acreditar que as restantes aprovações e o acesso ao solo poderão ser assegurados dentro do calendário do projeto, sujeito à conclusão satisfatória do processo de RECAPE, ao cumprimento das condições da DIA, ao envolvimento contínuo com reguladores e partes interessadas, e à resolução atempada das questões pendentes relativas ao acesso ao solo, sociais e de licenciamento.

4.2.13 OUTROS

Foram identificados vários riscos de ocorrência natural suscetíveis de impactar o projeto:

- A topografia e a variabilidade do terreno são significativas, com condições de terreno íngremes e acidentadas a influenciar a conceção da mina, a localização das escombreiras e o acesso, podendo impactar a eficiência operacional e os requisitos de construção.
- O projeto é detido ao abrigo da concessão mineira C-100, concedida pelo Estado português, abrangendo aproximadamente 542 ha, com extensões propostas para aumentar a área de exploração. O projeto progrediu ao longo de fases regulamentares fundamentais, incluindo a aprovação da Avaliação de Impacte Ambiental (DIA) e o avanço do processo de RECAPE, com vista à obtenção da licença ambiental final necessária ao desenvolvimento.

4.2.14 CLASSIFICAÇÃO

As Reservas Minerais foram classificadas em conformidade com o Código JORC (2012), com base no nível de confiança dos Recursos Minerais subjacentes e na aplicação de Fatores Modificadores derivados de dados de entrada ao nível de FS, tendo sido classificadas como Reservas Minerais Prováveis. As Reservas Minerais Prováveis derivam de Recursos Minerais Medidos e Indicados.

A classificação reflete a consideração de fatores de lavra, metalúrgicos, geotécnicos, ambientais, económicos e legais, incluindo a otimização de cavas, a conceção da mina, os pressupostos de processamento, os dados de custo e o estado do licenciamento. A confiança nos Fatores Modificadores é considerada suficiente para sustentar a classificação ao nível de Reserva Mineral Provável. Não foram derivadas Reservas Minerais de Recursos Minerais Inferidos.

4.2.15 AUDITORIAS OU REVISÕES

Não foram reportadas auditorias independentes nem revisões externas das estimativas de Reservas Minerais. Foram realizados processos de revisão interna e de revisão por pares no âmbito da preparação do estudo, por consultores experientes.

4.2.16 DISCUSSÃO SOBRE A EXATIDÃO E CONFIANÇA RELATIVA

Considera-se que a estimativa de Reservas Minerais apresenta um nível de exatidão e confiança consistente com uma Reserva Mineral Provável derivada de Recursos Minerais Medidos e Indicados e sustentada por estudos ao nível de FS. A declaração de confiança aplica-se à estimativa global de Reservas Minerais, adequada ao planeamento da mina e à avaliação económica à escala do projeto.

O nível de confiança reflete a qualidade dos Recursos Minerais subjacentes, a conceção da mina, o planeamento e os dados de custo, incluindo os custos de lavra baseados em empreiteiros e os pressupostos de processamento estabelecidos. Os fatores suscetíveis de influenciar a exatidão relativa incluem os pressupostos relativos à modelação de diluição e perda de minério, à recuperação em função do teor, aos requisitos de gestão de estéril e enchimento, e às condicionantes de licenciamento e acesso ao solo. Estes

fatores foram incorporados ao nível do estudo, permanecendo sujeitos a refinamento através de validação operacional.

Não estão disponíveis dados de produção para comparação nesta fase.

4.3 EXPLORAÇÃO

4.3.1 METODOLOGIA

Os modelos de lavra foram desenvolvidos a partir dos modelos de recursos geológicos existentes, com recurso ao *software* Datamine Studio RM.

Os modelos resultantes foram posteriormente importados para o GEOVIA Whittle Four-X (Whittle), onde foi aplicado o algoritmo de Lerchs-Grossmann, com o objetivo de gerar uma série de limites economicamente viáveis de exploração a céu aberto, obtidos através da variação do preço do metal de entrada.

Para o conjunto de pressupostos técnicos e económicos da otimização, o fator de receita igual a 1 corresponde à utilização do preço base. Fatores inferiores ou superiores representam preços proporcionalmente inferiores ou superiores ao preço base e permitem gerar envolventes de otimização alternativas. Um fator de receita igual a 1 não significa, por si só, fluxo de caixa ou margem económica nulos.

A análise dos diferentes limites de escavação permitiu identificar o cenário ótimo de exploração, que foi utilizado como base para a definição das fases de lavra e para a delimitação dos recursos passíveis de extração económica.

Com base neste cenário, foram desenhadas as diferentes fases da escavação utilizando o *software* MinePlan, da Hexagon, que também foi utilizado para definir acessos e apoiar o sequenciamento preliminar da extração.

4.3.2 MODELO DE LAVRA

O plano da mina baseia-se nos modelos apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Modelos utilizados o Plano da Mina.

Parâmetros	Grandão	Pinheiro	Reservatório	NOA
Modelo de Recursos	201902_grandao.mdl	201803_pinheiro.mdl	201905_reservatorio.mdl	noa_ok_202404.mdl
Tamanhos das células do modelo de recursos	10 mX by 20 mY by 5 mZ with sub-celling to 2,5 m by 5 m by 2,5 m	5 mX by 20 mY by 5 mZ with sub-celling to 1,25 m by 5 m by 1,25 m	20 mX by 10 mY by 5 mZ with sub-celling to 5 m by 2,5 m by 1,25 m	20 mX by 5 mY by 5 mZ with sub-celling to 5 m by 1,25 m by 1,25 m
Malha de furação	20 a 60 m	40 a 60 m	40 a 50 m	20 a 40 m
Domínio de Li_2O (%)	0,5	0,35	0,5	0,35
Modelo de lavra	GRD_SK800.dm	PIN_SK800.dm	RES_SK800.dm	NOA_SK800.dm
Modelo de otimização da Corta	GRDCWH3.dm	PINWH2.dm	RESCWH3.dm	NOA24CCWH2.dm

Os modelos de recursos incluem um campo designado “Fe_factored”, calculado a partir do valor original de ferro (Fe) ajustado com base numa estimativa de contaminação, onde:

$$Fe_contaminação = (0{,}1734 \times \text{teor de } Li_2O) + 0{,}2308$$

Todos os modelos de recursos foram reportados com um teor de corte de 0,5% Li_2O.

Para a conversão dos modelos de recursos em modelos de lavra, foram seguidos os seguintes passos:

- Uniformização dos nomes dos campos nos modelos e eliminação de atributos considerados irrelevantes para efeitos de engenharia. A Tabela 4.5 apresenta os campos finais incluídos nos modelos de lavra.
- Aplicação de diluição operacional, considerando uma “camada externa” (skin) de 800 mm em torno da zona mineralizada definida por subcélulas.

- Rebloqueamento dos modelos para uma malha de 10 m (X) × 10 m (Y) × 5 m (Z), atribuindo-se a categoria dominante a cada novo bloco. O modelo mantém o registo da percentagem de minério diluído, assegurando que apenas a fração correspondente ao minério da célula rebloqueada foi considerada no cálculo do teor médio.

- É importante salientar que não foram atribuídos teores aos materiais de estéril fora da zona de pegmatito. Esta abordagem é considerada aceitável no caso do Li_2O, dado que os litótipos da rocha encaixante dificilmente conterão lítio recuperável. No entanto, esta simplificação implica que elementos penalizadores, como o ferro (Fe), possam estar subestimados nas zonas de estéril.

Tabela 4.5 - Campos considerados no plano da mina.

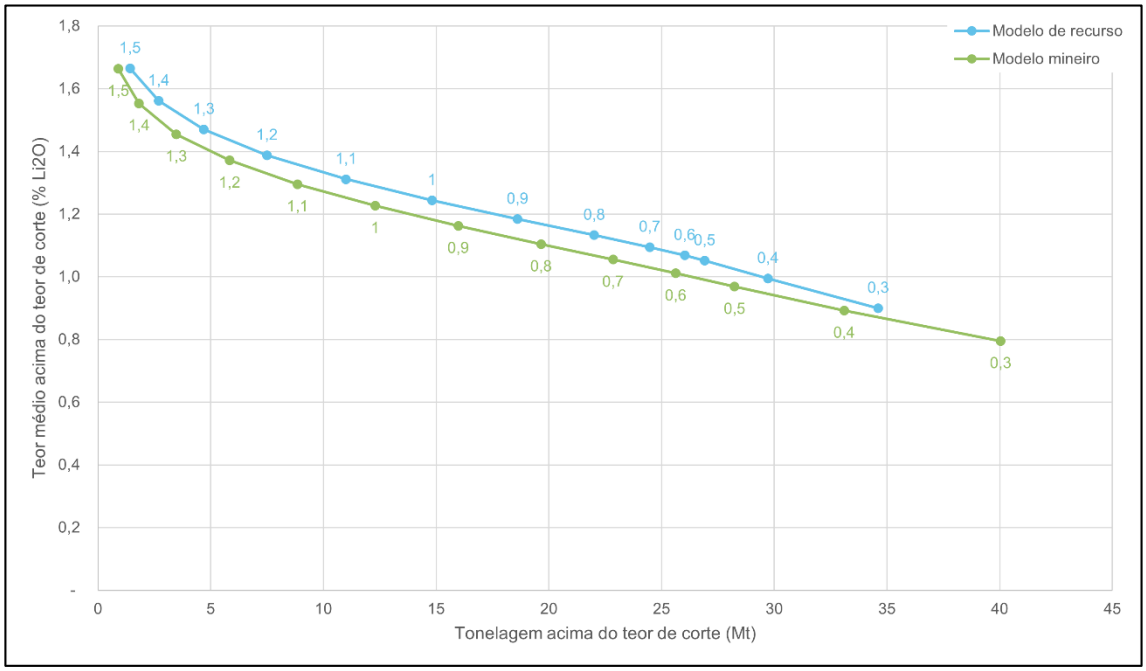
Campo	Unidade	Descrição
PROPN	0 a 1	Proporção do Bloco
DENSITY	t/m³	Densidade Seca
ORE	0 or 1	Indicador de Minério (flag)
PORE	0 to 1	Proporção de minério no bloco
LI2O	%	Teor de lítio
FE	%	Teor de ferro
FF	%	Teor de ferro corrigido
TA	ppm	Teor de tântalo
PEG	0 a 1	Proporção de pegmatito
MN	0 a 1	Proporção mineralizada
LIC	0 ou 1	Área da licença C100
RESCAT	Inteiro	Categoria de recurso 1 Medido 2 Indicada 3 Inferida 4 Não classificada
WEATH	Inteiro	Intemperismo 0 Desconhecido 1 Intemperizado 2 Fresco

A Tabela 4.6 apresenta uma comparação entre os modelos de recursos e de lavra. No geral, o modelo de lavra acrescenta 6% de massa com um teor 9% inferior. A maior parte do material de diluição é rocha encaixante. A diluição é mais elevada no depósito do NOA e semelhante nos restantes depósitos.

Tabela 4.6 – Análise comparativa dos modelos de recursos e de lavra.

Itens	Unidades	Modelo de Recurso	Modelo de Lavra	Diferença
Grandão				
Volume	M.m³	6,73	7,09	+5%
Massa Mineral	Mdt	17,75	18,74	+6%
Li_2O	%	1,02	0,94	-8%
Rocha Encaixante	%	-	8,35	
Pinheiro				
Volume	M.m³	0,74	0,80	+8%
Massa Mineral	Mdt	1,96	2,12	+8%
Li_2O	%	1,02	0,91	-11%
Rocha Encaixante	%	-	12,30	
Reservatório				
Volume	M.m³	2,40	2,58	+8%
Volume	Mdt	6,33	6,82	+8%
Massa Mineral	%	0,96	0,88	-7%
Li_2O	%	-	4,09	
NOA				
Volume	M.m³	0,26	0,28	+8%
Massa Mineral	Mdt	0,68	0,74	+9%
Li_2O	%	1,03	0,82	-21%
Rocha Encaixante	%	-	19,32	
Total				
Volume	M.m³	10,13	10,74	+6%
Massa Mineral	Mdt	26,73	28,43	+6%
Li_2O	%	1,01	0,92	-9%
Rocha Encaixante	%	-	7,91	

O gráfico abaixo apresenta a curva teor-tonelagem para todos os depósitos, para os modelos de recursos (azul) e de lavra (verde), relativamente ao Li_2O.



Nota: Os dados indicam o teor de corte. Inclui recursos Medidos, Indicados e Inferidos.

Figura 4.3 – Comparação das curvas teor-tonelagem para todos os depósitos.

4.3.3 CICLO DE PRODUÇÃO

O ciclo de produção proposto baseia-se num método convencional de exploração mineira a céu aberto, envolvendo as etapas sequenciais de perfuração, desmonte com recurso a explosivos, carregamento e transporte do material. Adicionalmente, prevê-se a etapa complementar de retrabalho dos estéreis, com a sua deposição de retorno nos desmontes já lavrados, contribuindo para a reabilitação progressiva da área mineira. A Figura 4.4 apresenta um esquema resumido do ciclo de produção previsto.

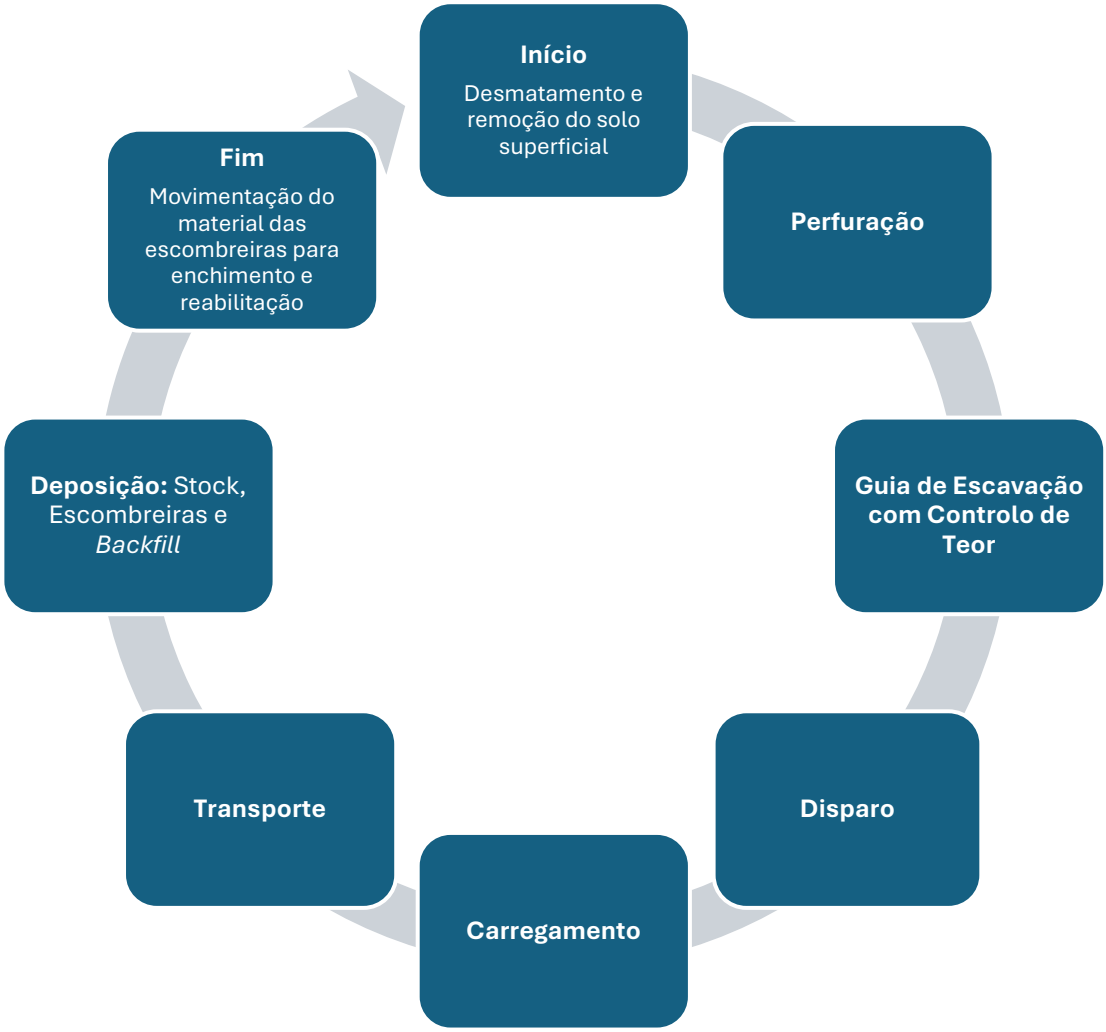


Figura 4.4 – Ciclo de Produção da Mina do Barroso.

4.3.3.1 Desmatação e Remoção da Camada de Solo Inicial

A preparação das áreas de intervenção inicia-se com a desmatação e a recuperação do solo vivo, com acompanhamento ambiental e arqueológico das operações de mobilização de solos. A decapagem abrange a totalidade dos horizontes orgânicos e superficiais O e A efetivamente existentes em cada local. A espessura a remover é identificada no terreno e ajustada à variação local desses horizontes. O valor de 0,20 m constitui uma referência de planeamento e não limita a profundidade da decapagem. O solo recuperado é conservado separadamente para utilização na reabilitação progressiva.

A decapagem é realizada progressivamente, por camadas de espessura ajustada ao solo vivo existente, utilizando balde liso ou outro método que preserve a estrutura do solo. São privilegiados equipamentos sobre pneumáticos, com circulação em terreno já decapado e em percursos definidos, evitando a compactação do solo vivo. O recurso a máquinas de rastos fica limitado às situações de maior declive em que seja necessário para a execução segura dos trabalhos. Nessas situações, reduzem-se as passagens e exclui-se a circulação sobre as pargas. O solo é recolhido e transportado separadamente para os locais de armazenamento ou para aplicação direta na recuperação.

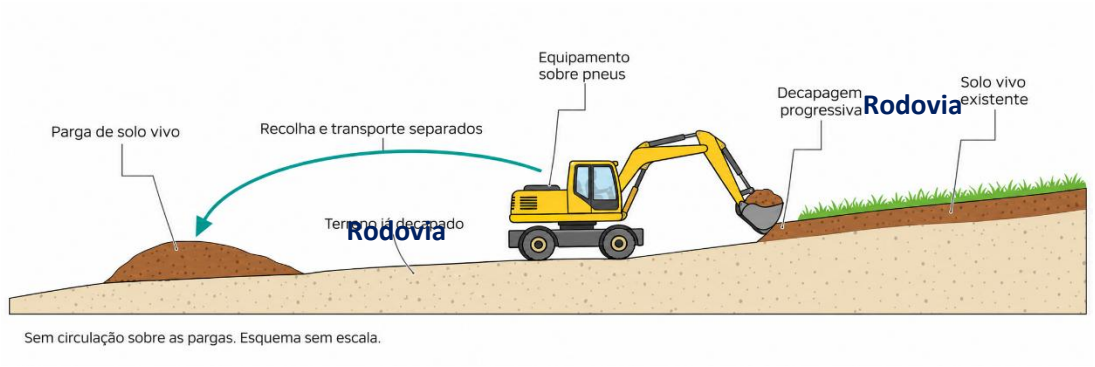


Figura 4.5 – Pilhas de solo.

A vegetação limpa e o solo removido serão armazenados em zonas de armazenamento designadas. Estas pilhas foram concebidas para terem uma altura máxima de 1 m, assegurando a estabilidade e mantendo a qualidade do solo armazenado. Nas zonas mais íngremes, o solo terá de ser empurrado para a encosta com recurso a *bulldozers* de rastos. Devido ao potencial volume de solo, o solo também será armazenado na berma dos aterros de rocha residual (Figura 4.6).

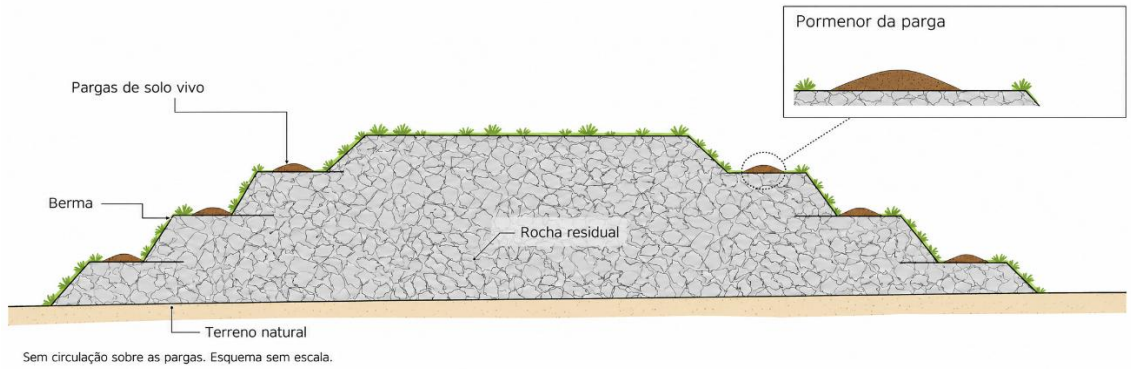


Figura 4.6 – Representação das pilhas de solo nas bermas das escombreiras.

4.3.3.2 CONTROLO DE TEOR

O controlo de teor para o projeto foca-se na otimização da extração do mineral, minimizando a diluição, assegurando uma qualidade consistente do material a ser processado nas lavarias. O controlo de teores será realizado através de campanhas de sondagens com equipamentos de circulação inversa (RC – *reverse circulation*).

Está previsto que múltiplos patamares, ou eventualmente fases inteiras da lavra, sejam perfurados em simultâneo, com os furos aproximadamente perpendiculares ao mergulho do corpo mineralizado.

As amostras obtidas serão sujeitas a análises químicas para determinação dos teores de lítio, permitindo assim a distinção entre zonas mineralizadas e material estéril. O mapeamento geológico e a avaliação visual complementarão este processo, auxiliando na identificação dos pegmatitos – rochas hospedeiras da mineralização de lítio – em contraste com os xistos encaixantes.

Os limites entre zonas com diferentes teores serão devidamente marcados no interior do desmonte, permitindo uma escavação precisa por parte dos operadores de equipamento, sob supervisão direta dos geólogos da mina.

4.3.3.3 PERFURAÇÃO E DESMONTE COM EXPLOSIVOS

O desmonte do maciço rochoso será realizado por perfuração e utilização de explosivos, articulando as necessidades de produção com a seletividade da exploração, a preservação dos taludes finais e o controlo dos efeitos ambientais. A organização dos trabalhos compreenderá perfuração de produção, perfuração seletiva e perfuração de pré-corte, de acordo com a função de cada frente e com as condições geológicas e geotécnicas locais. Os detalhes dos explosivos a utilizar encontram-se no Anexo IV.2.

4.3.3.4 TIPOLOGIAS DE DESMONTE

O desmonte de produção destina-se ao desmonte de escombro em bancadas de 10 m. O desmonte seletivo será aplicado em bancadas de 5 m, nas zonas em que o controlo dos contactos geológicos e a separação dos materiais exijam maior seletividade. A seleção desta tipologia dependerá das condições da frente e dos objetivos de controlo da diluição, podendo abranger minério ou estéril.

O pré-corte destina-se ao controlo dos limites de escavação e à preservação do maciço remanescente. A sua implantação será articulada com a geometria dos taludes e com o faseamento da lavra. A Figura 4.7 sintetiza as finalidades das três tipologias.

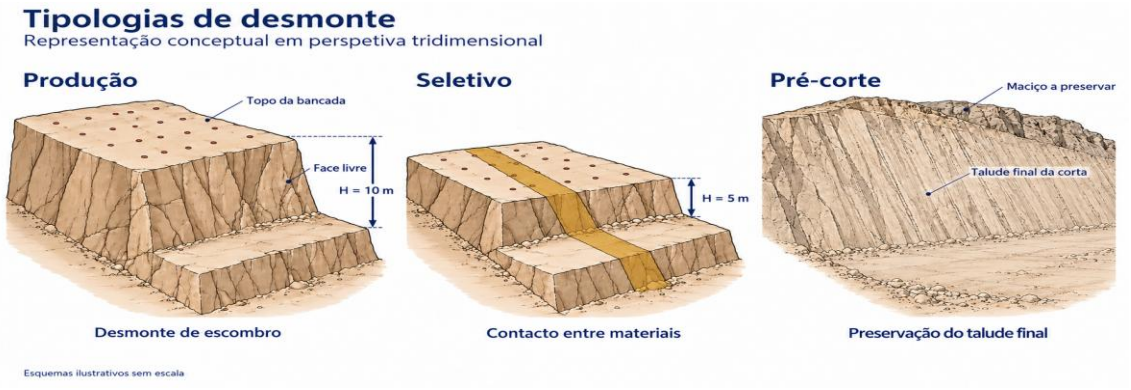


Figura 4.7 – Tipologias de desmonte em perspetiva tridimensional.

4.3.3.5 PARÂMETROS DE PERFURAÇÃO

Para a perfuração de produção e seletiva consideram-se quatro casos, distinguindo rocha alterada e rocha sã. Os parâmetros da Tabela 4.7 constituem a base de referência para a preparação dos planos de perfuração de cada frente.

Tabela 4.7 – Parâmetros de referência da perfuração.

Parâmetro	Símbolo	Produção – Rocha alterada	Produção – Rocha sã	Seletivo – Rocha alterada	Seletivo – Rocha sã
Altura da bancada (m)	H	10	10	5	5
Diâmetro do furo (mm)	Ø	127	127	115	115
Afastamento (m)	B	4,3	3,6	3,35	2,65
Espaçamento (m)	S	4,9	4,3	3,9	3,4
Afastamento pré-corte (m)	B_p	2,15	1,8	–	–
Espaçamento pré-corte (m)	S_p	1,5	1,0	–	–
Subperfuração (m)	C_s	1,0	1,0	0,5	0,5
Comprimento do furo (m)	C	11,0	11,0	5,5	5,5

Nota: o símbolo «–» identifica parâmetros não especificados nesta tabela; a sua definição, quando aplicável, constará dos planos específicos.

A nomenclatura será uniforme em todos os planos e registos: H representa a altura da bancada; Ø, o diâmetro do furo; B, o afastamento entre fiadas ou a distância à face livre; S, o espaçamento entre furos da mesma fiada; C, o comprimento do furo; e C_s, a subperfuração. No pré-corte, B_p representa o afastamento da fiada de pré-corte e S_p o espaçamento dos respetivos furos. Nas representações do carregamento, A designa o comprimento do atacamento, C_f o comprimento da carga de fundo e C_c o comprimento da carga de coluna. Os comprimentos são expressos em metros e as massas de explosivo em quilogramas. A inclinação será identificada por α, acompanhada da indicação expressa do referencial angular.

A inclinação, o azimute, o desfasamento entre fiadas e a implantação dos furos serão explicitados nos planos de perfuração. A compatibilidade entre esses elementos, a altura da bancada e o comprimento dos furos será verificada na emissão de cada plano. A Figura 4.8 apresenta os esquemas em planta das três tipologias. As quantidades de furos e os alinhamentos representados são ilustrativos e não correspondem automaticamente a todas as combinações de parâmetros da Tabela 4.7.

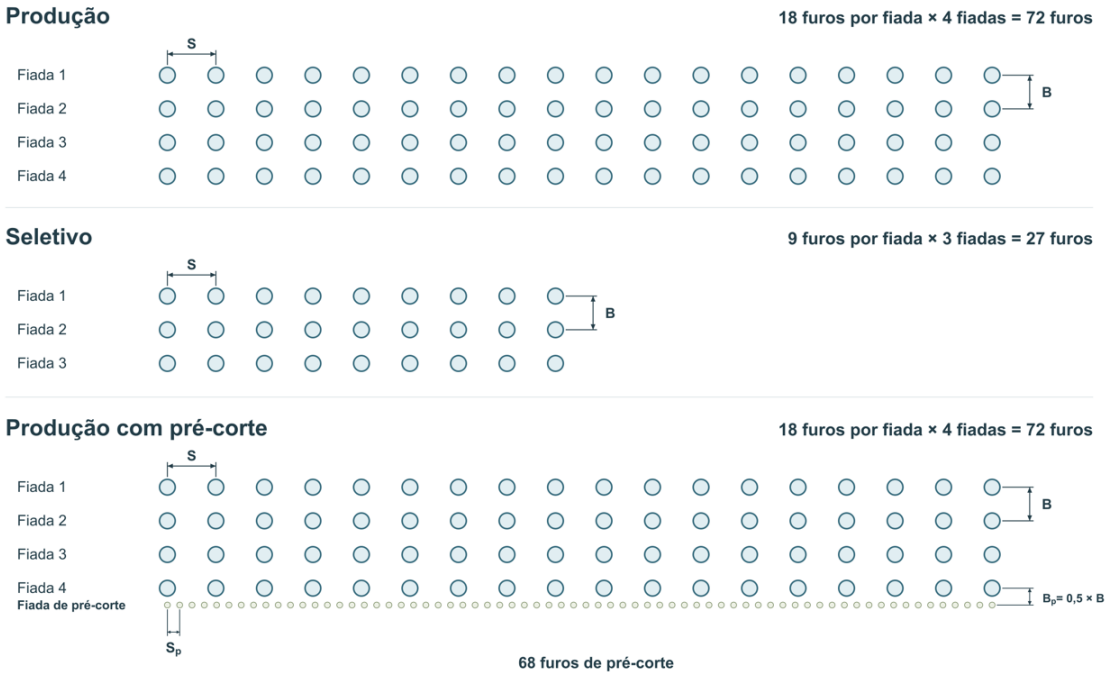


Figura 4.8 – Diagramas conceptuais de perfuração em planta.

4.3.3.6 PERFURAÇÃO DE PRÉ-CORTE

Prevê-se a utilização de furos de pré-corte com 89 mm de diâmetro, com espaçamento de 1,0 m em rocha sã e de 1,5 m em rocha alterada. As bancadas terão alturas de 10 m ou 5 m, de acordo com a tipologia de desmonte e o faseamento da lavra. A inclinação dos furos de pré-corte será igual à inclinação do talude final no troço correspondente. O comprimento dos furos, a subperfuração e os encontros dos alinhamentos serão definidos para cada troço, em função da geometria do talude a preservar. Estes parâmetros serão tratados separadamente dos previstos para os furos de produção e seletivos.

Nos esquemas conceptuais, o afastamento da fiada de pré-corte é representado por B_p = 0,5 × B e o espaçamento dos seus furos por S_p. A relação gráfica entre os diâmetros dos símbolos não constitui uma escala dimensional. A implantação definitiva será estabelecida nos planos específicos de cada frente.

4.3.3.7 CARREGAMENTO DE EXPLOSIVOS

O carregamento dos furos de produção e seletivos será efetuado com emulsão a granel na coluna e emulsão encartuchada na carga de fundo. Para efeitos de planeamento, os quatro casos de referência são definidos pela tipologia do desmonte e pelo estado de alteração da rocha. A aplicação destes casos em cada frente será enquadrada nos planos de carregamento emitidos pela Savannah e nas características do produto aceite para utilização.

A representação do carregamento distingue o comprimento da carga de fundo, o comprimento da carga de coluna e o comprimento do atacamento. A subperfuração corresponde a uma grandeza geométrica do furo e não designa, por si só, uma carga de fundo distinta. A Tabela 4.8 apresenta separadamente os comprimentos e as massas adotados para cada caso. O fator de carga é expresso em quilogramas de explosivo por metro cúbico de rocha in situ.

Tabela 4.8 – Parâmetros de referência de carregamento (valores por furo).

Parâmetro	Produção – Rocha alterada	Produção – Rocha sã	Seletivo – Rocha alterada	Seletivo – Rocha sã
Tipo de explosivo – Carga de fundo	Emulsão encartuchada			
Tipo de explosivo – Carga de coluna	Emulsão a granel			
Tipo de detonadores e iniciação	Sistema definido no plano específico, conforme os critérios de sequenciação e temporização			
Diâmetro (mm)	127	127	115	115
Atacamento (m) - A	4,5	4,5	2,3	2,65
Comprimento da carga de fundo (m) – C_f	0,5	0,5	0,5	0,5
Comprimento da carga de coluna (m) – C_c	6,0	6,0	2,7	2,35
Massa da carga de fundo (kg)	3,1	3,1	3,1	3,1
Massa da carga de coluna (kg)	91,2	91,2	33,7	29,3
Quantidade total de explosivo por furo (kg)	94,3	94,3	36,8	32,4
Fator de carga (kg/m³ in situ)	0,45	0,61	0,57	0,74

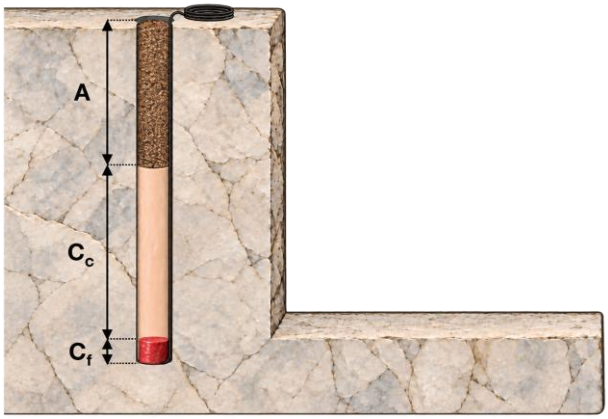


Figura 4.9 – Representação conceptual do carregamento de um furo de produção ou seletivo.

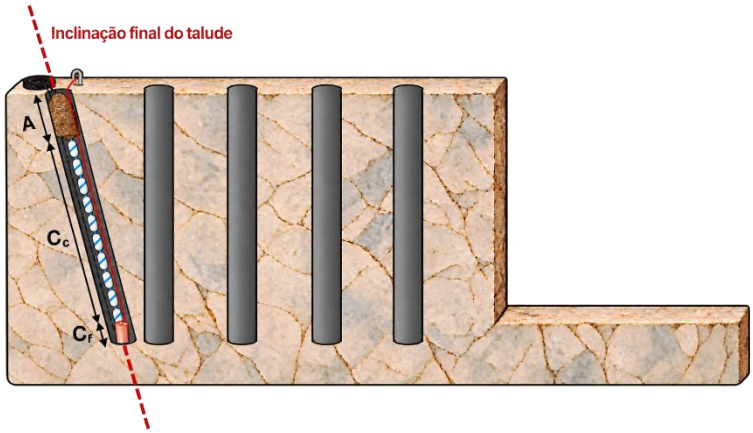


Figura 4.10 – Representação conceptual de um furo de pré-corte, inclinado segundo o talude final.

As imagens de produtos e equipamentos apresentadas nas Figura 4.11 à Figura 4.13 a têm caráter ilustrativo e não constituem uma seleção de fornecedor nem um compromisso de utilização das marcas representadas. Os produtos e equipamentos a utilizar serão definidos antes do início dos trabalhos.



Figura 4.11 – Exemplo ilustrativo de emulsão encartuchada Senatel™ Pulsar™ – 80 mm × 500 mm (fotografia: Orica).



Figura 4.12 – Exemplo ilustrativo de equipamento de carregamento com emulsão a granel (fotografia: Orica).



Figura 4.13 – Exemplo ilustrativo de produto para pré-corte Senatel™ Powersplit™ – 22 mm × 500 mm (fotografia: Orica).

A Figura 4.14 apresenta os comprimentos da Tabela 4.8, distinguindo a carga de fundo de 0,5 m, correspondente a um cartucho, a carga de coluna e o atacamento. A origem vertical do gráfico corresponde ao fundo do furo. Os pontos centrados nas barras representam os fatores de carga, lidos no eixo secundário, em quilogramas de explosivo por metro cúbico de rocha in situ. Os segmentos das barras representam comprimentos e não massas de explosivo.

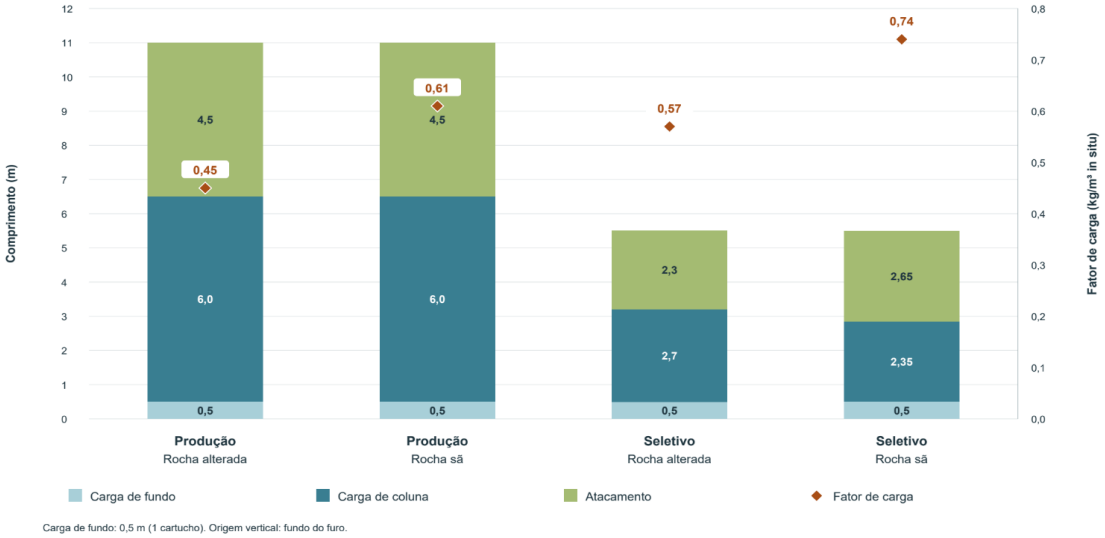


Figura 4.14 – Comprimentos das zonas de carregamento e do atacamento e fatores de carga dos quatro casos de referência.

4.3.3.8 SEQUENCIAÇÃO E TEMPORIZAÇÃO

A sequenciação organiza a ordem de iniciação prevista para cada tipologia de desmonte. Os esquemas apresentados têm caráter conceptual e serão enquadrados nos planos específicos de cada frente, tendo em conta as condições do maciço, a geometria da escavação e as condicionantes de segurança e ambientais. A representação da ordem de iniciação não substitui a definição das temporizações.

A numeração apresentada nas Figura 4.15 à Figura 4.17 indica a ordem de iniciação dos furos e não representa tempos de retardo. As contagens e os agrupamentos representados são ilustrativos; a sua aplicação será definida e verificada no plano específico de cada desmonte.

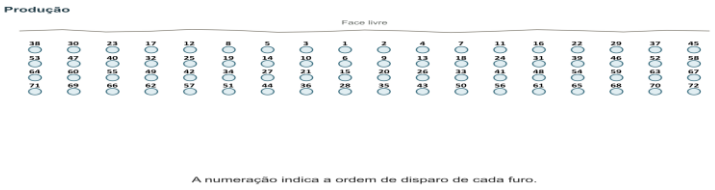


Figura 4.15 – Esquema conceptual de ordem de iniciação – produção.

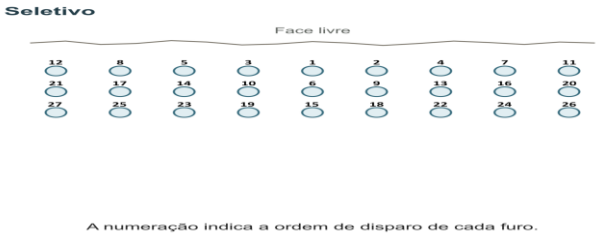


Figura 4.16 – Esquema conceptual de ordem de iniciação – seletivo.

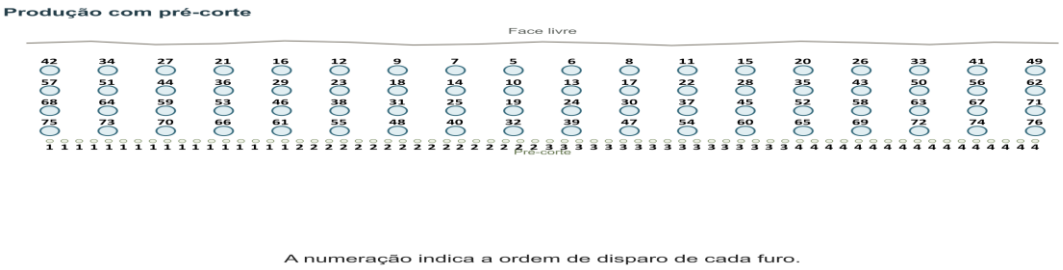


Figura 4.17 – Esquema conceptual de ordem de iniciação – produção com pré-corte.

As temporizações específicas serão definidas caso a caso pelo responsável técnico habilitado, considerando as condições geológicas e geotécnicas, as condições de segurança do local e a proximidade de pessoas, edificações e infraestruturas. A sua definição será integrada nos planos de carregamento e temporização da Savannah, tendo em conta os critérios ambientais e os resultados da monitorização dos desmontes anteriores.

O cumprimento do limite de 100 kg de carga instantânea será objeto de verificação documentada em cada plano de carregamento e temporização, antes da respetiva execução. O limite será atualizado em função das conclusões do estudo específico de

vibrações e ajustado em função dos resultados da monitorização durante a exploração. A adoção de uma sequência de iniciação não constitui, por si só, demonstração de conformidade. Prevê-se a utilização de detonadores eletrónicos nas situações em que a carga por furo se aproxime daquele limite; a seleção do sistema e a sua compatibilidade serão verificadas no plano específico.

A sequenciação do pré-corte será definida especificamente para cada troço, com o objetivo de preservar o maciço remanescente e a geometria do talude final. Prevê-se a utilização de detonadores eletrónicos no pré-corte. Os agrupamentos de furos serão objeto de justificação técnica e de verificação dos critérios de segurança e ambientais aplicáveis, sem fixação de um número máximo genérico de furos a iniciar em simultâneo.

4.3.3.9 PLANEAMENTO E RESPONSABILIDADES

A equipa da Savannah será responsável pelo desenho das malhas de perfuração e pela definição dos planos de carregamento e temporização. O empreiteiro mineiro executará a perfuração de acordo com o plano emitido. O carregamento será executado pelo empreiteiro mineiro ou pelo fornecedor de explosivos, conforme a repartição contratual estabelecida, respeitando os planos de carregamento e temporização da Savannah. A Tabela 4.18 representa a distribuição de responsabilidades e o controlo documental.

A escolha do fornecedor e a definição da entidade executante do carregamento serão formalizadas antes do início dos trabalhos. A aprovação dos planos e das suas alterações caberá ao Diretor Técnico ou a pessoa por ele delegada, com as habilitações adequadas. A organização da operação identificará igualmente o responsável habilitado pela execução do disparo e as interfaces com a equipa de planeamento, a operação mineira e a monitorização ambiental.

Os planos específicos identificarão a frente, a tipologia de desmonte, a implantação dos furos, os parâmetros geométricos, o produto a utilizar e os elementos de carregamento e temporização necessários à execução. O carregamento e a iniciação do pré-corte serão objeto de definição própria. Os parâmetros de produção e seletivos não serão aplicados automaticamente ao pré-corte.

4.3.3.10 PROCEDIMENTOS GERAIS DE CARREGAMENTO

A atividade de carregamento será organizada pela entidade executante em articulação com a equipa técnica da Savannah e realizada por operadores habilitados, sob a supervisão do responsável designado. Antes do início dos trabalhos, serão confirmados os planos aplicáveis, os registos de perfuração e as condições da frente. As divergências suscetíveis de afetar a execução serão submetidas à avaliação da Savannah antes da realização dos trabalhos correspondentes.

O fornecimento de explosivos e a mobilização dos meios de carregamento serão coordenados com o programa de trabalhos. A receção, a movimentação e o controlo dos produtos serão assegurados pelas entidades responsáveis, de acordo com os procedimentos aplicáveis e as instruções do fornecedor. Os registos permitirão identificar os produtos recebidos, utilizados e remanescentes, bem como o destino autorizado destes últimos.

Durante o carregamento, a área de trabalho permanecerá delimitada e com acesso reservado ao pessoal autorizado. A circulação de pessoas e equipamentos e as atividades nas proximidades serão coordenadas para evitar interferências. Será proibido fumar, fazer fogo ou introduzir fontes de ignição na zona de trabalho. A ocorrência de condições incompatíveis com a segurança determinará a suspensão da atividade e a avaliação pelo responsável designado.

A colocação da emulsão e o atacamento dos furos serão executados de acordo com o plano de carregamento emitido pela Savannah e com os procedimentos aprovados para os produtos e equipamentos utilizados. As condições observadas e as quantidades efetivamente utilizadas serão registadas e confrontadas com o plano. Qualquer anomalia será comunicada ao Diretor Técnico ou a pessoa por ele delegada, para avaliação e aprovação das alterações necessárias. Os elementos de iniciação serão tratados no âmbito do plano específico e exclusivamente por pessoal habilitado.

Concluído o carregamento, o controlo da área será mantido até à conclusão da operação de desmonte. A preparação do disparo compreenderá a confirmação da retirada de pessoas e equipamentos das zonas definidas no plano de segurança, o controlo dos acessos e a sinalização de aviso. O horário será articulado com as restantes atividades e com as condicionantes do projeto. Após o disparo, a retoma dos trabalhos dependerá da verificação das condições de segurança e da autorização expressa do Diretor Técnico ou de pessoa por ele delegada. As ocorrências serão registadas e tratadas segundo os procedimentos aplicáveis.

4.3.3.11 CONTROLO DA EXECUÇÃO

A execução da perfuração será acompanhada por registos que permitam comparar os furos realizados com o plano emitido. Serão identificados os desvios geométricos e as ocorrências que possam condicionar o carregamento, incluindo alterações do maciço e as condições observadas no interior dos furos. As não conformidades serão comunicadas à equipa técnica da Savannah para avaliação e, quando necessário, revisão do plano.

Cada desmonte disporá de um registo que associe os planos utilizados à sua execução, identificando a localização, a data, os intervenientes e as revisões documentais aplicáveis. A documentação incluirá os registos de perfuração e carregamento, a identificação dos produtos, as ocorrências e os resultados da monitorização. As alterações aprovadas serão incorporadas nos documentos aplicáveis e comunicadas às entidades executantes.

4.3.3.12 CONTROLO AMBIENTAL E ACOMPANHAMENTO DOS RESULTADOS

O planeamento dos desmontes será articulado com as condicionantes ambientais do projeto e com o programa de monitorização, considerando os recetores sensíveis, a proteção das estruturas e a incomodidade das populações. A emissão dos planos de execução ficará sujeita à verificação da sua compatibilidade com os critérios ambientais aplicáveis.

A monitorização abrangerá todos os desmontes e incluirá as velocidades de vibração nas três direções, a grandeza resultante e a frequência dominante. Os resultados serão

associados à identificação do desmonte e dos pontos de medição, permitindo a avaliação da conformidade e a análise das tendências ao longo da exploração.

Serão estabelecidos níveis de alerta adequados aos recetores e ao edificado a salvaguardar, associados a medidas de acompanhamento e resposta. A ocorrência de desvios, a ultrapassagem dos níveis aplicáveis ou a receção de reclamações será comunicada ao Diretor Técnico ou a pessoa por ele delegada, para avaliação, registo e determinação das medidas necessárias. Sempre que as condições o exijam, a atividade será suspensa até à verificação das condições de segurança e à autorização da retoma. Os resultados da monitorização e as decisões tomadas ficarão associados ao registo do desmonte.

A avaliação conjunta dos registos de execução, da fragmentação, da seletividade, do estado dos taludes e dos resultados ambientais apoiará a revisão dos planos pela Savannah. Os parâmetros apresentados nesta secção constituem referências de planeamento; as adaptações às condições de cada frente serão formalizadas nos planos específicos antes da sua execução.

4.3.3.13 ORGANIZAÇÃO E CONTROLO DOCUMENTAL

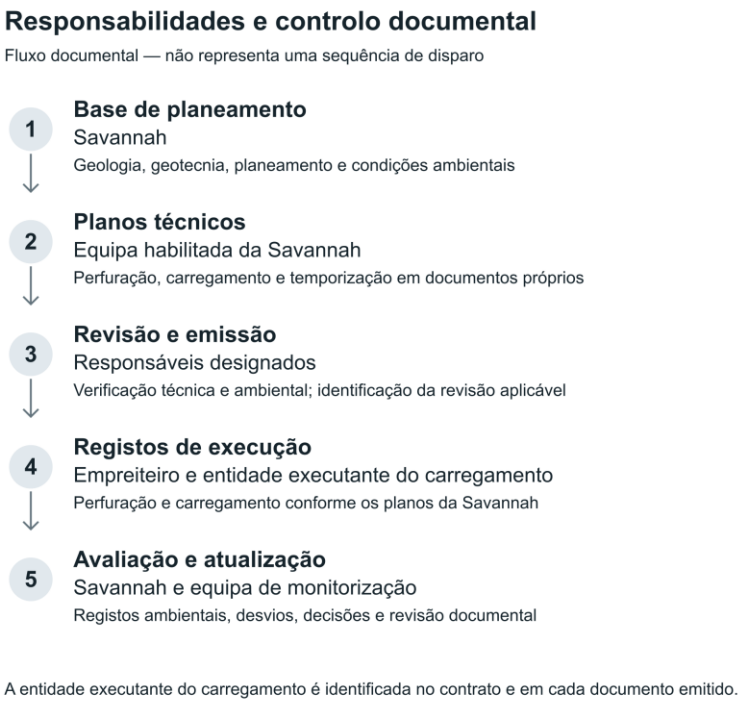


Figura 4.18 – Distribuição de responsabilidades e controlo documental.

4.3.3.14 CONTROLO DE TALUDES

Para assegurar a estabilidade e a integridade dos taludes finais dos desmontes, serão implementadas técnicas de controlo de desmonte, nomeadamente o pré-corte (*pre-split*) e as cargas de acabamento (*trim shots*).

O **pré-corte** consiste na perfuração e detonação de uma linha de furos paralelos, com carga reduzida e espaçamento controlado, ao longo do limite do talude final. Esta técnica cria uma fratura limpa e contínua que atua como barreira à propagação de fraturas resultantes do desmonte principal.

As **cargas de acabamento** são aplicadas nas zonas próximas dos limites finais após o desmonte principal, utilizando menor carga por furo e espaçamento reduzido. O objetivo desta técnica é remover o material remanescente com mínima vibração e danos, permitindo o refinamento do perfil do talude conforme projetado.

Estas práticas permitem limitar os danos induzidos pela fragmentação explosiva e manter a geometria projetada da escavação, sendo essenciais para a segurança e eficiência da operação mineira.

- **Guia de Escavação**

  Em geral, a orientação da escavação irá envolver os seguintes passos:

- Recolha de dados de controlo de qualidade:
  - Recolha de amostras de controlo de qualidade (por exemplo, furos de sondagem, furos de desmonte).
  - Análise laboratorial das amostras.
- Determinação de minério/resíduos:
  - Modelação dos blocos de controlo de qualidade.
  - Elaboração do plano de escavação.
  - Disponibilização da informação do plano de escavação ao engenheiro de perfuração e desmonte antes da detonação, para garantir que o desenho da carga explosiva otimize a fragmentação do minério e minimize movimentos indesejados.
- Controlo do minério:
  - Demarcação por parte da equipa de topógrafos.
  - Avaliação dos deslocamentos provocados pela detonação e ajuste da demarcação pela equipa de geólogos.
  - Identificação visual do minério, se necessário.
- Reconciliação:
  - Comparação entre os volumes extraídos e processados e os modelos de blocos de controlo de qualidade e de recursos.

4.3.3.15 CARREGAMENTO

Por forma a extrair o minério dentro dos parâmetros de diluição modelados no modelo de lavra, será necessária uma elevada seletividade. Prevê-se que:

- O material de tipo **"*bulk*"** corresponde a estéreis que poderão ser perfurados e detonados em patamares de 10 m e carregados em patamares até 10 m.

- O material **"selectivo"**, que pode ser minério ou estéril, será perfurado e detonado em patamares de 5 m e escavado em pelo menos dois cortes (2 cortes de 2,5 m cada, sem expansão volumétrica) durante o período diurno, de forma a minimizar a diluição e maximizar a recuperação do minério.

As Figura 4.19 e Figura 4.20 apresentam secções exemplares através dos desmontes, onde os blocos verdes correspondem ao material **"selectivo"** e as áreas sombreadas indicam blocos com 100% de minério. Note-se que, comparativamente às figuras, as quantidades de material **"selectivo"** no planeamento foram inflacionadas para contemplar zonas isoladas de estéril, bem como áreas onde a topografia tem menos de 10 metros.

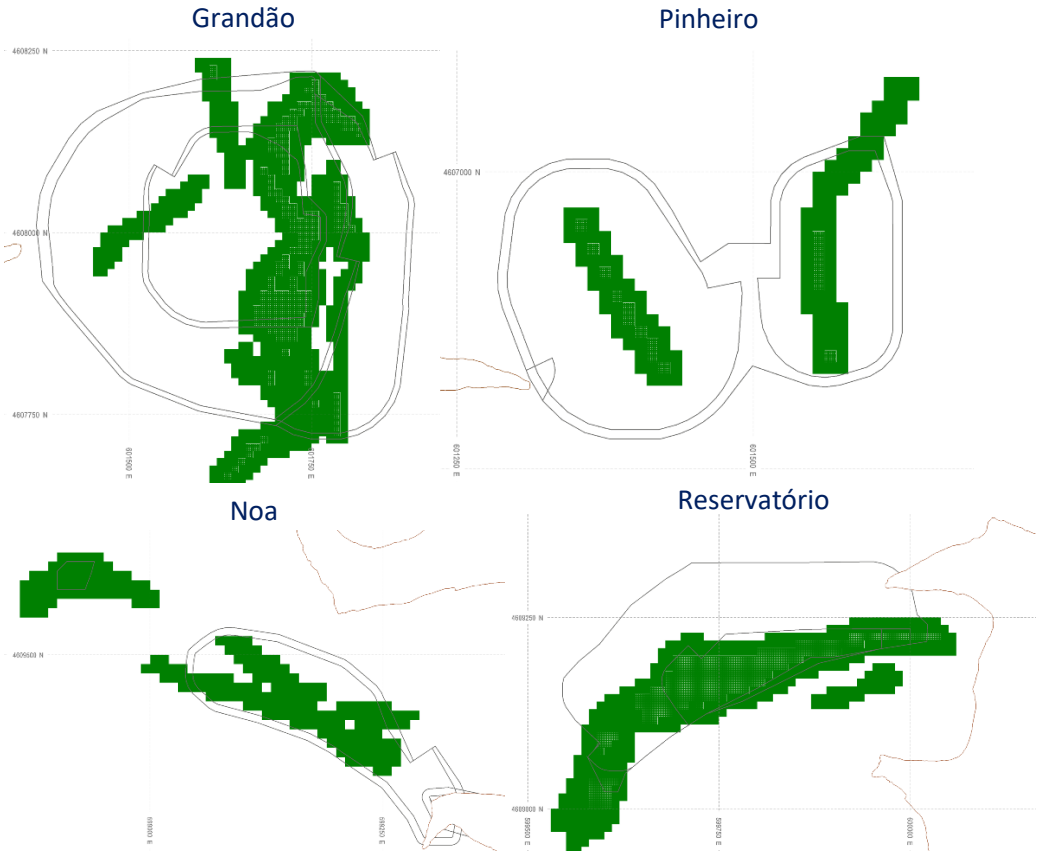
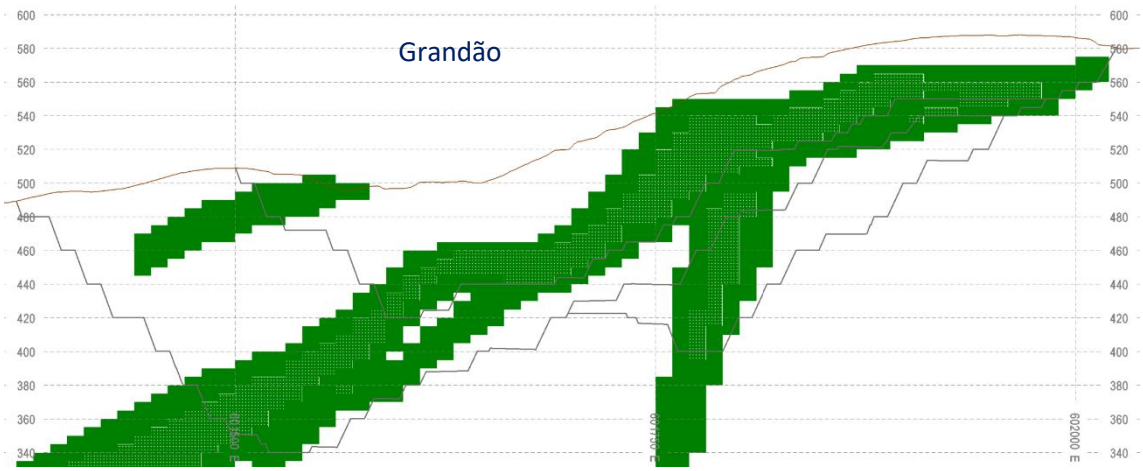
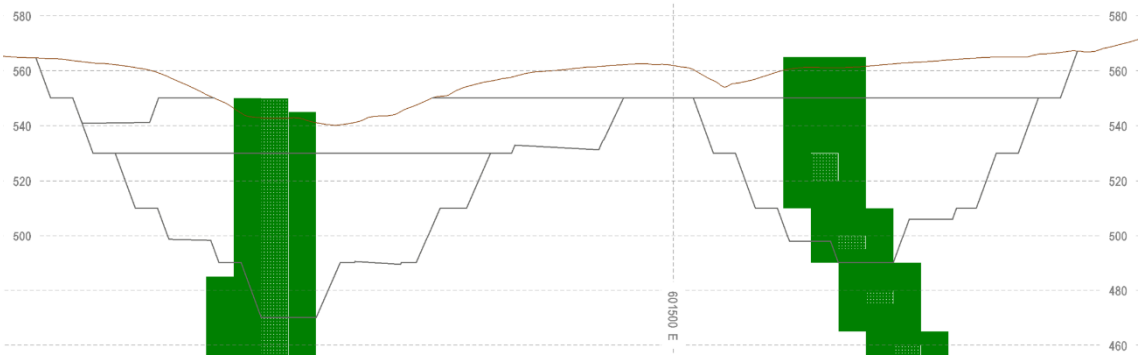


Figura 4.19 – Tipos de escavação nos diferentes depósitos - Vista de planta.

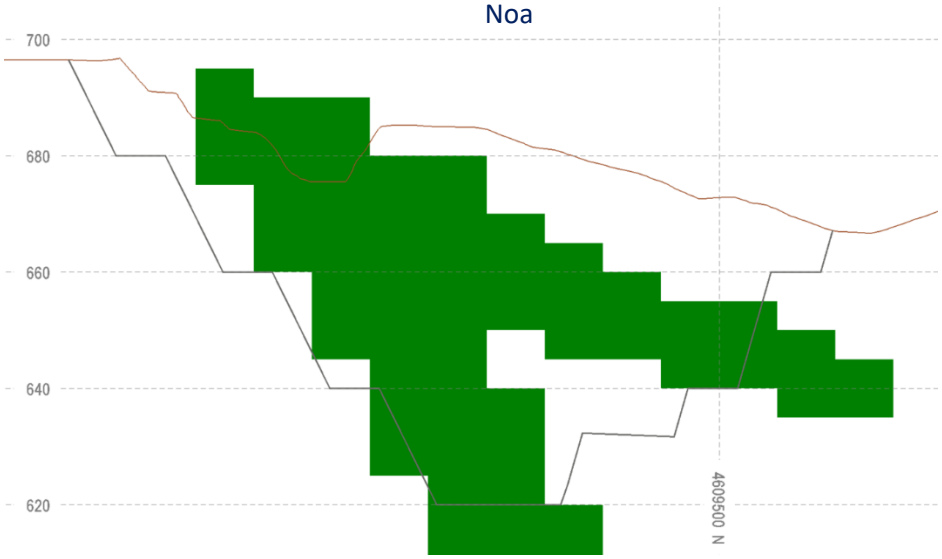
Grandão



Pinheiro



Noa



Reservatório

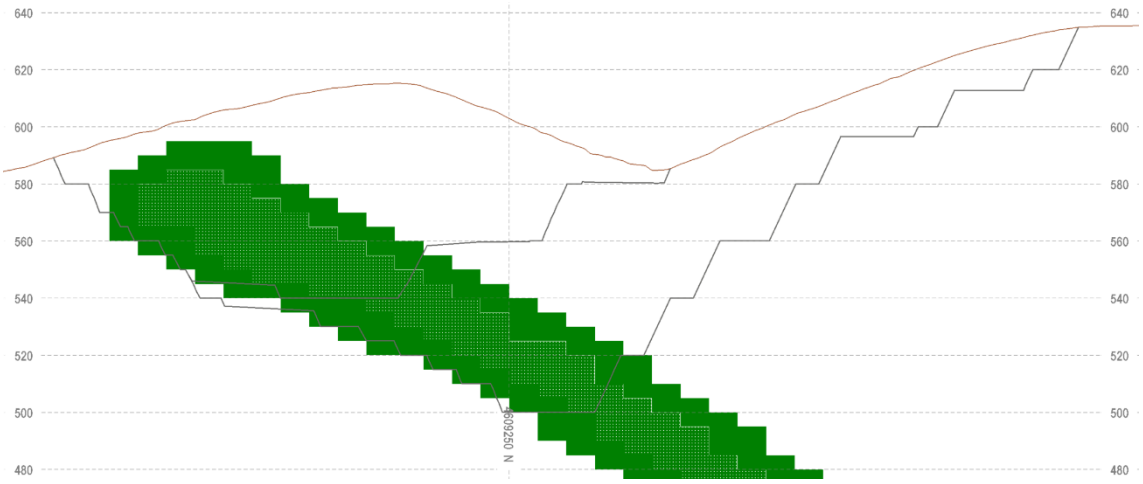


Figura 4.20 – Tipos de escavação nos diferentes depósitos - Vista em Corte.

4.3.3.16 DEPOSIÇÃO

Enchimento (*Backfill*):

Em conformidade com os requisitos de encerramento da mina, será efetuado o enchimento progressivo das cortas, com o objetivo de restabelecer as linhas naturais de drenagem e contribuir para a reabilitação ambiental da área intervencionada.
O material estéril será introduzido nas cortas vazias assim que estas forem exploradas e consoante a disponibilidade operacional dos equipamentos de lavra.

Gestão de Estéril (*Overburden*)

O estéril gerado pelas operações mineiras é considerado material inerte, não exigindo segregação. Este será depositado em escombreiras externas ou utilizado para enchimento dos desmontes explorados, conforme as necessidades operacionais.

Dada a morfologia do terreno, a implantação das escombreiras poderá exigir a escavação de patamares de base, recorrendo, se necessário, a operações de perfuração e desmonte. A preparação destas fundações será realizada faseadamente, acompanhando a progressão vertical das escombreiras (ou seja, a fundação do patamar seguinte será desenvolvida a partir do patamar atual).

Construção - Utilização de Estéril para Infraestruturas de Apoio

O estéril será também aproveitado para a construção das infraestruturas mineiras, nomeadamente:

- **Contraforte e fundações da Instalação de Depósito de Rejeitados (TSF)**: A construção será realizada de forma ascendente, em camadas horizontais com espessura máxima de

1 metro, desde a cota de fundação até à crista. Serão utilizados *bulldozers* de rastos e rolos compactadores para garantir a homogeneização e densificação adequada do material. A humidade será controlada com recurso a camião-cisterna, tanto para a compactação eficaz como para controlo de poeiras. Não foram especificados tipos particulares de estéril para estas utilizações, assumindo-se a utilização de material disponível localmente.

- **Áreas de parqueamento de equipamentos de operação**.
- **Construção de vias de transporte (*haul roads*).**
- **Barreiras acústicas (*bunds*).**
- **Pilhas de Longa Duração:** Não se prevê a criação de pilhas de estéril ou minério de longa duração, atendendo às limitações espaciais da área do projeto.
- **Pilhas de Minério (*Run of Mine* – ROM)**: O minério proveniente das jazidas do Grandão e Pinheiro será descarregado diretamente no ROM principal da instalação de tratamento.
  Para os depósitos do NOA e Reservatório, a estratégia de descarga dependerá da tipologia de frota selecionada. O minério poderá ser descarregado localmente (ROM no NOA) e posteriormente transportado para o ROM principal, ou, alternativamente, descarregado diretamente na instalação de tratamento, se as condições logísticas assim o permitirem. Atendendo à necessidade de assegurar um rigoroso controlo de teor, as operações de extração serão preferencialmente realizadas durante o período diurno. Assim, será necessário manter pilhas de minério suficientes no ROM no início do turno noturno para garantir alimentação contínua ao britador. Sempre que possível, serão implementadas pilhas tipo "*finger stockpiles*", dispostas de forma linear e paralela, permitindo uma gestão mais eficiente do teor de alimentação da planta.
- **Rejeitados de Planta de Processo:** O material rejeitado da planta de processamento será empilhado a seco na TSF, com uma inclinação de talude de 3H:1V. A deposição será realizada em camadas com espessura máxima de 300 mm, inclinadas a 2% para facilitar a drenagem, e compactadas a um mínimo de 95% da Densidade Seca Máxima, de forma a garantir a estabilidade geotécnica e a eficiência volumétrica do depósito.

4.3.3.17 MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAL

ROMs (*Run of Mine*)

A instalação de tratamento foi projetada para processar até 1,5 Mt/ano de minério. O silo de alimentação do ROM possui capacidade para 150 toneladas, garantindo o abastecimento contínuo da britagem primária. Esta etapa tem uma capacidade máxima de receção de até 315 toneladas por hora (t/h).

O transporte de minério até ao ROM principal será assegurado por equipamento de carregamento adequado à escala da operação, podendo envolver soluções de grande ou média capacidade, conforme a disponibilidade e condições operacionais.

Durante as fases de exploração dos depósitos NOA e Reservatório, poderá ser necessário integrar até 1 Mt/ano de minério adicional proveniente dessas zonas. Contudo, a distância entre o NOA e o ROM principal é de aproximadamente 8 km e a estrada de acesso atual não permite a circulação de veículos de transporte mineiro de

grande porte. Por isso, será necessário recorrer a uma etapa de movimentação intermédia (*rehandle*), que poderá incluir o uso de equipamentos de carregamento e transporte com dimensões compatíveis com a via existente, assegurando a continuidade do abastecimento à planta.

Rejeitados da Lavaria

Os rejeitados da lavaria serão movimentados com uma pá carregadora de cerca de 40 toneladas, que fará a recolha a partir de silos de armazenamento com capacidade para 12 a 24 horas, localizados na zona de Filtração e Manuseamento de Produto. Os rejeitados serão então carregados em camiões de construção e transportados para a TSF.

A planta de processamento mineral gera três correntes distintas de rejeitados, com diferentes teores de humidade. Embora a mistura destas correntes na TSF não seja obrigatória, a sua combinação poderá promover uma humidade mais homogénea e facilitar a compactação.

Uma quarta corrente, designada *DMS Floats*, será armazenada num silo interno à instalação de processamento. Esta será também transportada para a TSF com recurso a camiões basculantes.

Na TSF, serão utilizados *bulldozers* de rastos e rolos compactadores para espalhar e compactar os rejeitados, garantindo as densidades adequadas. O teor de humidade adequado será assegurado com recurso a camião-cisterna, tanto para garantir a eficácia da etapa de compactação como para mitigar a emissão de poeiras.

Concentrado (Produto Final)

O concentrado produzido será armazenado em silos com capacidade para 24 horas, situados na área de Filtração e Manuseamento de Produto. Será posteriormente manuseado com pá carregadora de cerca de 40 toneladas e carregado em camiões rodoviários (*on-highway*) para expedição fora do local da mina.

Movimentação de Estéril (*Waste Rehandle*)

De forma a garantir a reabilitação ambiental das áreas lavradas, as cortas devem ser preenchidas para reconstituir as linhas de drenagem naturais aquando do encerramento da mina.

Sempre que o estéril não seja diretamente depositado nos desmontes explorados, será necessário proceder à movimentação posterior (*rehandle)* a partir das escombreiras externas, assim que a Corta estiver disponível e os equipamentos tenham capacidade operacional.

Importa salientar que nem todo o estéril poderá ser devolvido às cortas, uma vez que o volume total aumenta após a escavação (efeito de expansão do material), excedendo o volume correspondente ao minério removido.

4.3.3.18 REABILITAÇÃO

Transporte de Estéril

Ao longo da vida útil da mina, parte do estéril será depositado em escombreiras externas. Durante a fase de encerramento, será necessário proceder ao transporte deste estéril para o interior das cortas exploradas, de forma a cumprir os objetivos de reabilitação ambiental e restabelecimento das condições naturais de drenagem.

Estas operações serão realizadas com recurso a escavadoras mineiras ou pás carregadoras frontais (FELs), que carregarão o estéril para camiões de transporte adequados para a sua deposição nas cortas.

Reabilitação Final

No final das operações de lavra, todas as escombreiras externas que não forem utilizadas para enchimento das cortas serão objeto de intervenções de reabilitação final.

4.4 GEOTECNIA

O estudo geotécnico desenvolvido para o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso teve como objetivo fornecer recomendações definitivas de design de taludes globais, compreendendo as quatro cortas mineiras: Grandão, NOA, Reservatório e Pinheiro. Este estudo utilizou toda a informação disponível, incluindo resultados de sondagens diamantadas e ensaios laboratoriais, de modo a desenvolver e atualizar a avaliação anterior realizada pela Knight Piésold Limited (KPL, 2019).

Os principais objetivos deste estudo foram:

- Rever os dados geológicos e geotécnicos existentes e os relatórios de suporte.
- Compilar e avaliar todos os dados disponíveis de investigação geotécnica de campo e os resultados de ensaios laboratoriais.
- Desenvolver domínios geotécnicos, bem como modelos geotécnicos e estruturais.
- Fornecer recomendações de design de taludes globais para as quatro cortas mineiras.
- Identificar e avaliar lacunas e riscos do projeto relacionados com as cortas a céu aberto

Durante a elaboração do estudo e relatório, a Savannah continuou os trabalhos de campo e complementou a informação com dados detalhados de cartografia e interpretação de lineações à superfície, interpretação estrutural 3D com recurso aos dados de sondagens mais atuais, e modelação digital dos blocos estruturais.

Este capítulo tem a informação mais relevante do estudo geotécnico, sendo que o relatório completo e os resultados dos ensaios encontram-se no Anexo IV.3.

4.4.1 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

O programa de sondagens, registo (*logging*) e amostragem geotécnica no Barroso foi executado por geólogos e engenheiros entre 2017 e 2025. O âmbito do programa e a base de dados resultante compreenderam o seguinte:

- Dados de logging de 186 furos de sondagem, registados por geólogos/engenheiros de campo e validados por um engenheiro geotécnico;
- Ensaios laboratoriais de UCS, triaxial de Hoek, ensaio de cisalhamento direto, ensaio de tração e determinações de densidade em amostras de testemunho, realizados pelo Instituto Superior Técnico (Portugal) e pela Tecnología del Suelo y Materiales S.L. (Espanha)

A localização dos furos executados no âmbito do programa é apresentada nas Figura 4.21 a Figura 4.24. Os detalhes de conclusão das sondagens encontram-se nas Tabela 4.9 a Tabela 4.12. As fotografias dos testemunhos das sondagens geotécnicas são apresentadas no Anexo IV.3.

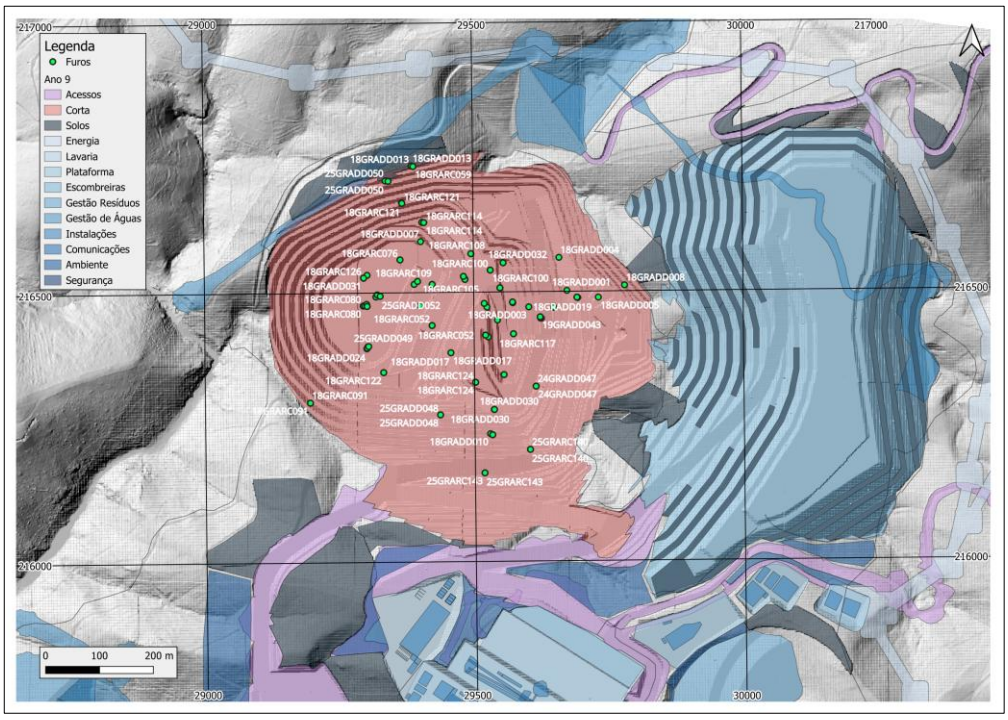


Figura 4.21 – Planta de localização das sondagens geotécnicas no Grandão incluindo sondagens RCDD e DD. MDT do ano 9.

Tabela 4.9 – Detalhes de conclusão das sondagens geotécnicas executadas no Grandão. Os furos "RC" correspondem a RCDD, ou seja, com cauda diamantada. Coordenadas em ETRS89.

ID do furo	"Boca" da sondagem (m)			Profundidade (m)	Orientação do furo (°)	
	Este	Norte	RL		Azimute	Inclinação
17GRARC025	29524,379	216471,938	533,069	240,3	000	-89
17GRARC035	29625,349	216450,542	559,933	119,0	000	-89
17GRARC040	29543,686	216447,774	532,551	171,7	000	-88
18GRADD001	29673,037	216501,654	584,98	77,1	000	-89
18GRADD002	29648,585	216470,410	573,76	64,7	000	-89
18GRADD003	29602,012	216471,718	563,51	132	227	-88
18GRADD004	29658,789	216563,088	568,505	119	000	-90
18GRADD005	29731,305	216488,595	587,733	67,6	000	-89
18GRADD006	29572,432	216479,658	553,401	176,4	000	-89
18GRADD007	29402,351	216594,715	513,666	115,2	000	-89
18GRADD008	29780,208	216510,892	591,88	100,3	231	-65
18GRADD009	29400,079	216476,035	502,08	111,15	073	-65
18GRADD010	29528,727	216237,044	566,12	157,8	092	-65
18GRADD011	29318,440	216492,815	505,2	179,3	080	-65
18GRADD012	29532,827	216235,014	566,06	183,15	264	-70
18GRADD013	29386,142	216735,505	545,85	130,15	130	-60
18GRADD014	29484,079	216524,384	525,57	119,2	311	-65
18GRADD015	29571,909	216481,033	553,31	60,1	256	-90
18GRADD016	29548,829	216507,583	547,38	63,4	000	-90
18GRADD017	29456,718	216387,965	528,44	100,1	090	-65
18GRADD018	29693,029	216488,262	585,17	53,15	198	-90
18GRADD019	29691,599	216488,903	585,11	53,7	171	-90
18GRADD024	29300,779	216396,875	507,91	152,9	054	-77
18GRADD026	29526,288	216416,703	517,74	121,5	115	-60
18GRADD027	29302,759	216400,486	507,83	162,1	263	-71
18GRADD028	29521,428	216420,023	517,86	150,7	295	-65
18GRADD029	29536,163	216281,896	541,595	134,9	090	-70
18GRADD030	29536,523	216281,892	541,584	137,25	090	-80
18GRADD031	29295,846	216528,063	518,266	89,7	270	-70
18GRADD032	29555,104	216554,047	547,104	14,1	082	-75
18GRARC051	29389,726	216515,538	503,615	144,9	000	-89
18GRARC052	29422,251	216438,780	520,828	150,5	000	-90
18GRARC059	29389,403	216734,382	545,83	130,6	000	-90
18GRARC060	29404,990	216630,431	524,66	130	000	-89
18GRARC061	29367,620	216667,434	526,751	109	000	-89
18GRARC076	29363,811	216561,161	512,31	176,3	000	-90
18GRARC080	29294,744	216476,176	502,497	203,2	000	-89
18GRARC081	29321,088	216496,569	505,198	173,3	000	-89

ID do furo	"Boca" da sondagem (m)			Profundidade (m)	Orientação do furo (°)	
	Este	Norte	RL		Azimute	Inclinação
18GRARC089	29301,450	216397,903	507,834	145,7	000	-90
18GRARC091	29195,021	216296,968	522,634	187,6	000	-90
18GRARC092	29554,888	216346,440	522,866	112	051	-59
18GRARC094	29302,359	216533,059	518,076	212,2	000	-89
18GRARC100	29531,071	216540,654	539,632	128,4	090	-66
18GRARC105	29483,906	216523,782	525,357	173,2	310	-65
18GRARC106	29481,223	216529,511	525,342	190,4	121	-65
18GRARC108	29495,379	216571,433	522,935	157,9	270	-60
18GRARC109	29396,000	216520,905	503,95	115,6	090	-61
18GRARC114	29408,567	216629,904	524,598	114,4	060	-60
18GRARC117	29573,158	216422,113	533,78	116	105	-60
18GRARC120	29519,267	216478,952	528	250,4	119	-76
18GRARC121	29368,167	216666,052	526,636	139,7	358	-89
18GRARC122	29331,542	216352,295	537,271	200,3	270	-72
18GRARC124	29502,023	216332,736	530,96	188	103	-72
18GRARC125	29297,442	216476,840	502,368	212	291	-70
18GRARC126	29295,846	216528,063	518,266	191	090	-70
19GRADD033	29623,715	216450,810	559,629	50,4	000	-90
19GRADD043	29623,056	216453,072	559,73	190,8	100	-60
24GRADD047	29614,187	216324,466	546,78	79,8	080	-75
25GRADD048	29436,326	216272,871	567,918	128,25	189,2	-50
25GRADD049	29304,152	216400,863	507,07	120,7	229,2	-50
25GRADD050	29337,600	216708,030	536,201	165,8	000	-90
25GRADD051	29343,011	216707,224	536,439	167,3	184,2	-60
25GRADD052	29326,353	216493,895	519	210,75	309,2	-50
25GRARC140	29602,568	216207,214	562,221	70,75	000	-90
25GRARC143	29517,767	216164,407	597,375	146,55	000	-90
25GRARC146	29423,130	216515,111	504,892	122,25	119,2	-60
25GRARC152	29301,035	216479,086	503,451	175,75	219,2	-80
25GRARC153	29301,949	216475,413	503,463	161,2	139,2	-70
18GRADD011	29318,440	216492,815	505,2	179,3	080	-65
18GRADD012	29532,827	216235,014	566,06	183,15	264	-70
18GRADD013	29386,142	216735,505	545,85	130,15	130	-60
18GRADD014	29484,079	216524,384	525,57	119,2	311	-65
18GRADD015	29571,909	216481,033	553,31	60,1	256	-90
18GRADD016	29548,829	216507,583	547,38	63,4	000	-90
18GRADD017	29456,718	216387,965	528,44	100,1	090	-65
18GRADD018	29693,029	216488,262	585,17	53,15	198	-90
18GRADD019	29691,599	216488,903	585,11	53,7	171	-90

ID do furo	"Boca" da sondagem (m)			Profundidade (m)	Orientação do furo (°)	
	Este	Norte	RL		Azimute	Inclinação
18GRADD024	29300,779	216396,875	507,91	152,9	054	-77
18GRADD026	29526,288	216416,703	517,74	121,5	115	-60
18GRADD027	29302,759	216400,486	507,83	162,1	263	-71
18GRADD028	29521,428	216420,023	517,86	150,7	295	-65
18GRADD029	29536,163	216281,896	541,595	134,9	090	-70
18GRADD030	29536,523	216281,892	541,584	137,25	090	-80
18GRADD031	29295,846	216528,063	518,266	89,7	270	-70
18GRADD032	29555,104	216554,047	547,104	14,1	082	-75
18GRARC051	29389,726	216515,538	503,615	144,9	000	-89
18GRARC052	29422,251	216438,780	520,828	150,5	000	-90
18GRARC059	29389,403	216734,382	545,83	130,6	000	-90
18GRARC060	29404,990	216630,431	524,66	130	000	-89
18GRARC061	29367,620	216667,434	526,751	109	000	-89
18GRARC076	29363,811	216561,161	512,31	176,3	000	-90
18GRARC080	29294,744	216476,176	502,497	203,2	000	-89
18GRARC081	29321,088	216496,569	505,198	173,3	000	-89
18GRARC089	29301,450	216397,903	507,834	145,7	000	-90
18GRARC091	29195,021	216296,968	522,634	187,6	000	-90
18GRARC092	29554,888	216346,440	522,866	112	051	-59
18GRARC094	29302,359	216533,059	518,076	212,2	000	-89
18GRARC100	29531,071	216540,654	539,632	128,4	090	-66
18GRARC105	29483,906	216523,782	525,357	173,2	310	-65
18GRARC106	29481,223	216529,511	525,342	190,4	121	-65
18GRARC108	29495,379	216571,433	522,935	157,9	270	-60
18GRARC109	29396,000	216520,905	503,95	115,6	090	-61
18GRARC114	29408,567	216629,904	524,598	114,4	060	-60
18GRARC117	29573,158	216422,113	533,78	116	105	-60
18GRARC120	29519,267	216478,952	528	250,4	119	-76
18GRARC121	29368,167	216666,052	526,636	139,7	358	-89
18GRARC122	29331,542	216352,295	537,271	200,3	270	-72
18GRARC124	29502,023	216332,736	530,96	188	103	-72
18GRARC125	29297,442	216476,840	502,368	212	291	-70
18GRARC126	29295,846	216528,063	518,266	191	090	-70
19GRADD033	29623,715	216450,810	559,629	50,4	000	-90
19GRADD043	29623,056	216453,072	559,73	190,8	100	-60
24GRADD047	29614,187	216324,466	546,78	79,8	080	-75
25GRADD048	29436,326	216272,871	567,918	128,25	189,2	-50
25GRADD049	29304,152	216400,863	507,07	120,7	229,2	-50
25GRADD050	29337,600	216708,030	536,201	165,8	000	-90

ID do furo	"Boca" da sondagem (m)			Profundidade (m)	Orientação do furo (°)	
	Este	Norte	RL		Azimute	Inclinação
25GRADD051	29343,011	216707,224	536,439	167,3	184,2	-60
25GRADD052	29326,353	216493,895	519	210,75	309,2	-50
25GRARC140	29602,568	216207,214	562,221	70,75	000	-90
25GRARC143	29517,767	216164,407	597,375	146,55	000	-90
25GRARC146	29423,130	216515,111	504,892	122,25	119,2	-60
25GRARC152	29301,035	216479,086	503,451	175,75	219,2	-80
25GRARC153	29301,949	216475,413	503,463	161,2	139,2	-70
Profundidade total				**9 400,55**		

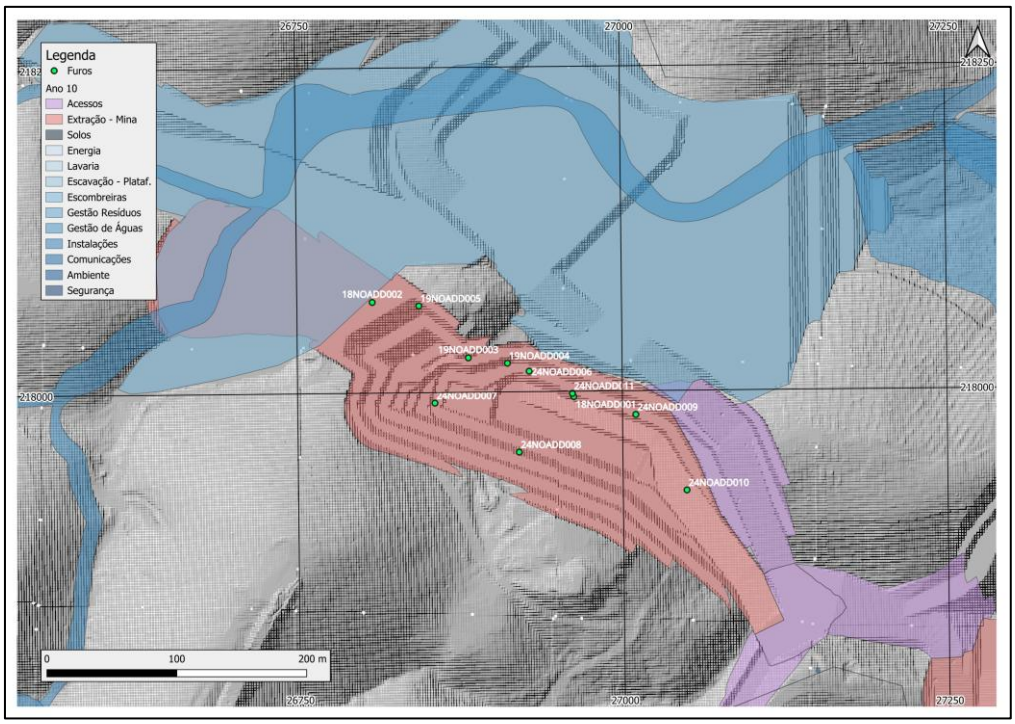


Figura 4.22 – Planta de localização das sondagens geotécnicas no NOA, no ano 10. Na qual estão representadas sondagens RCDD e DD.

Tabela 4.10 – Detalhes de conclusão das sondagens geotécnicas executadas no NOA. Os furos "RC" correspondem a RCDD, ou seja, com cauda diamantada. Coordenadas em ETRS89.

ID do furo	"Boca" da sondagem (m)			Profundidade (m)	Orientação do furo (°)	
	Este	Norte	RL		Azimute	Inclinação
18NOADD001	26962,603	217995,942	676,663	90,1	200	-75
18NOADD002	26808,127	218069,868	689,686	39,1	200	-60
19NOADD003	26881,708	218026,508	682,7141	119,6	198	-60
19NOADD004	26911,770	218022,099	674,3177	122,3	198	-72
19NOADD005	26843,989	218066,801	693,2485	176,2	198	-60
24NOADD006	26928,479	218015,801	673,76	80	000	-70
24NOADD007	26855,685	217991,974	682,23	70,11	265	-50
24NOADD008	26920,221	217953,593	673,5	74,25	200	-60
24NOADD009	27010,264	217981,717	679,56	100,25	135	-50
24NOADD010	27049,089	217923,227	689,07	60,15	202	-60
24NOADD011	26961,615	217998,412	676,56	65,55	203	-60
Profundidade total				**997,61**		

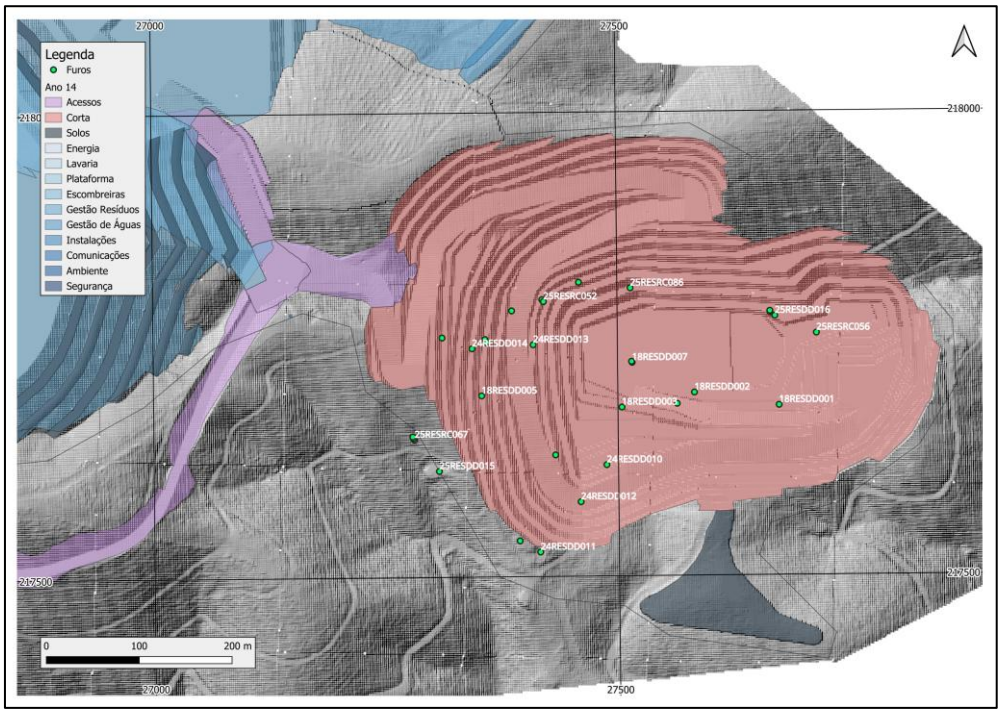


Figura 4.23 – Planta de localização das sondagens geotécnicas no Reservatório, no ano 14. Na qual estão representadas sondagens RCDD e DD.

Tabela 4.11 – Detalhes de conclusão das sondagens geotécnicas executadas no Reservatório. Os furos "RC" correspondem a RCDD, ou seja, com cauda diamantada. Coordenadas em ETRS89.

ID do furo	"Boca" da sondagem (m)			Profundidade (m)	Orientação do furo (°)	
	Este	Norte	RL		Azimute	Inclinação
18RESDD001	27673,631	217683,021	602,379	68	150	-60
18RESDD002	27582,587	217697,253	612,579	91,2	150	-61
18RESDD003	27504,388	217681,841	610,45	97,4	150	-60
18RESDD004	27393,280	217538,589	604,25	79,7	150	-61
18RESDD005	27353,441	217695,275	636,6	162,1	150	-75
18RESDD006	27432,470	217630,964	599,62	78,1	150	-60
18RESDD007	27515,824	217729,892	616,199	129,2	150	-75
18RESDD008	27515,215	217730,978	616,212	129,8	000	-90
23RESDD009	27563,902	217685,254	610,5	90,5	151	-60
23RESRC039	27311,308	217758,057	655,09	193,9	151	-70
23RESRC040	27357,453	217756,032	649,39	192,6	000	-90
23RESRC041	27359,248	217752,463	649,26	175	149	-70
24RESDD010	27487,529	217619,879	590,37	40	151	-60
24RESDD011	27415,336	217526,463	599,1	50	151	-60
24RESDD012	27459,361	217580,219	589,77	50	151	-60
24RESDD013	27409,358	217749,808	636,49	200,2	147	-70
24RESDD014	27343,479	217746,119	650,44	140,05	328	-50
25RESDD015	27307,087	217614,334	617,907	150,8	221,2	-50
25RESDD016	27669,890	217779,184	577,255	90,8	349,2	-50
25RESRC047	27386,506	217786,541	639,213	178,7	149,2	-65
25RESRC051	27419,204	217798,267	620,822	160,4	149,2	-80
25RESRC052	27420,803	217796,256	619,913	158,8	149,2	-70
25RESRC055	27458,849	217816,762	604,364	145,1	149,2	-70
25RESRC056	27714,487	217760,518	577,257	136,25	359,2	-80
25RESRC067	27280,690	217648,395	628,064	160,8	149,2	-65
25RESRC071	27279,652	217650,048	628,108	164,1	149,2	-75
25RESRC073	27278,822	217651,681	628,264	177,25	149,2	-85
25RESRC075	27664,682	217783,049	577,275	93,9	149,2	-70
25RESRC078	27664,580	217784,437	577,241	111,8	000	-90
25RESRC086	27514,348	217810,135	593,722	136,9	149,2	-80
Profundidade total				**3 833,35**		

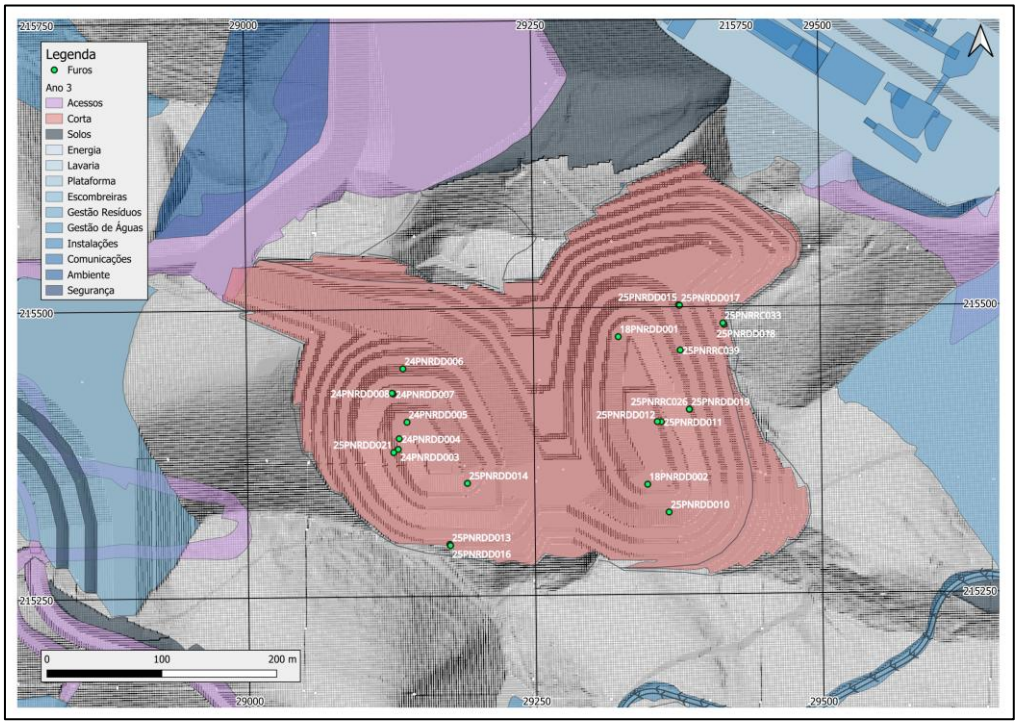


Figura 4.24 – Planta de localização das sondagens geotécnicas no Pinheiro, no ano 3. Na qual estão representadas sondagens RCDD e DD.

Tabela 4.12 – Detalhes de conclusão das sondagens geotécnicas executadas no Pinheiro.

ID do furo	"Boca" da sondagem (m)			Profundidade (m)	Orientação do furo (°)	
	Este	Norte	RL		Azimute	Inclinação
18PNRDD001	29323,991	215474,438	564,557	46,05	-60	090
18PNRDD002	29348,437	215345,779	584,783	59,5	-65	270
24PNRDD003	29131,500	215378,239	537,4	101,15	-60	090
24PNRDD004	29132,364	215387,504	537,58	80	-60	060
24PNRDD005	29139,300	215401,809	539,42	70,11	-60	248
24PNRDD006	29136,195	215448,296	542,73	60,1	-50	020
24PNRDD007	29127,564	215426,555	540,74	50	-60	070
24PNRDD008	29126,440	215427,176	540,69	112,7	-90	000
25PNRDD010	29366,822	215321,403	584,335	110,35	-57	214,2
25PNRDD011	29360,832	215400,116	575,789	120,75	-50	262,2
25PNRDD012	29357,337	215400,232	575,799	101,2	-50	062,2
25PNRDD013	29175,597	215295,088	538,852	124,9	-60	089,2
25PNRDD014	29191,408	215348,090	561,412	111,8	-50	184,2
25PNRDD015	29376,861	215501,650	583,653	126,8	-50	309,2
25PNRDD016	29176,166	215294,113	538,834	108,3	-50	109,2
25PNRDD017	29377,644	215501,167	583,444	100,1	-62	309,2
25PNRDD018	29416,209	215484,227	572,932	179,55	-55	229,2
25PNRDD019	29385,443	215410,656	573,28	140,19	-50	294,2
25PNRDD021	29127,476	215375,505	537,381	152,5	-75	089,2
25PNRRC026	29385,294	215410,700	573,142	120	-70	269,2
25PNRRC033	29415,250	215485,491	573,179	131,5	-60	269,2
25PNRRC039	29377,891	215462,325	572,369	143,35	-64	219,2
Profundidade total				**2 350,9**		

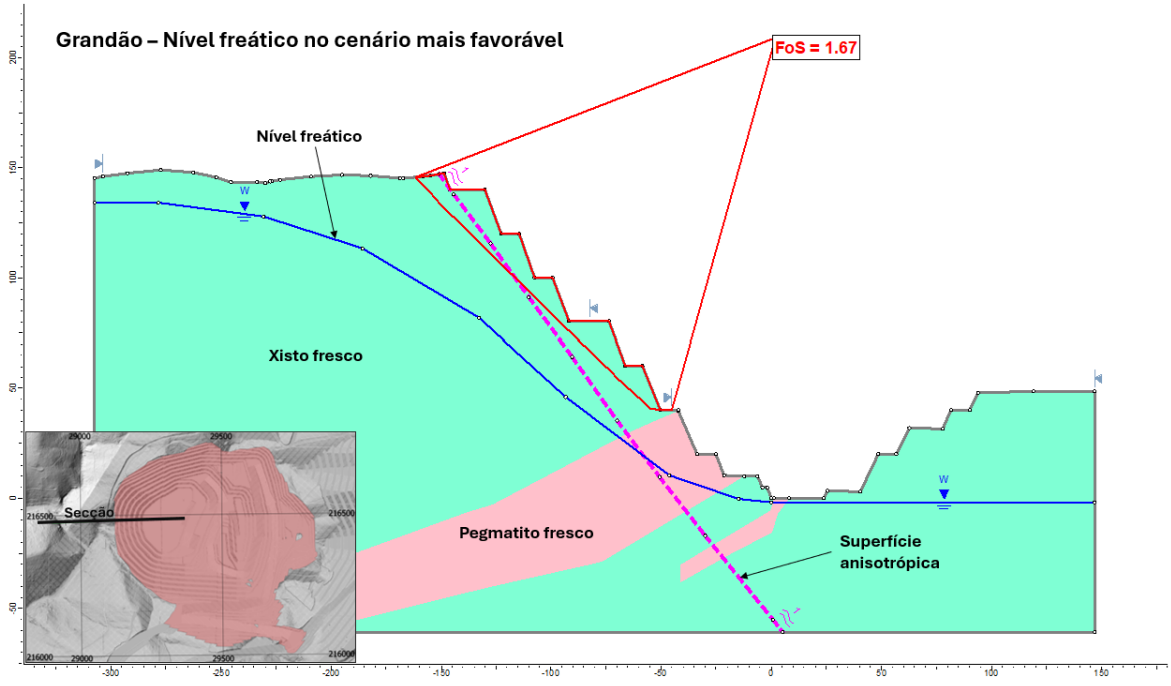
4.4.2 INFORMAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Os dados hidrogeológicos dos depósitos do Barroso, foram obtidos a partir de furos de recursos e geotécnicos. Estes registos indicam que o nível estático médio da água se situa a aproximadamente 11 m abaixo da superfície, embora esta profundidade varie em função da topografia envolvente.

O relevo acidentado, a presença de linhas de água encaixadas e de nascentes naturais em torno das cortas mineiras propostas, bem como a elevada precipitação, criam condições que podem intensificar a recarga em estruturas geológicas fracas e porosas. Estes processos podem resultar em afluências transitórias elevadas para as cortas mineiras, aumentando assim o risco de instabilidade dos taludes globais e colocando desafios operacionais significativos ao nível da gestão e controlo da água nas cortas.

Para efeitos de modelação, desenvolveu-se uma superfície piezométrica de rebaixamento proposta, considerando três critérios de aceitação: caso central, caso pessimista e caso otimista. Estes cenários foram revistos e aprovados pela Savannah Resources, tendo sido posteriormente aplicados nas análises iniciais de estabilidade (Figura 4.25).

Salienta-se ainda que, mesmo no cenário de nível freático em pior caso, o Fator de Segurança (FoS) calculado se mantém elevado, sugerindo que os níveis freáticos deverão ter uma influência limitada na estabilidade dos taludes globais.



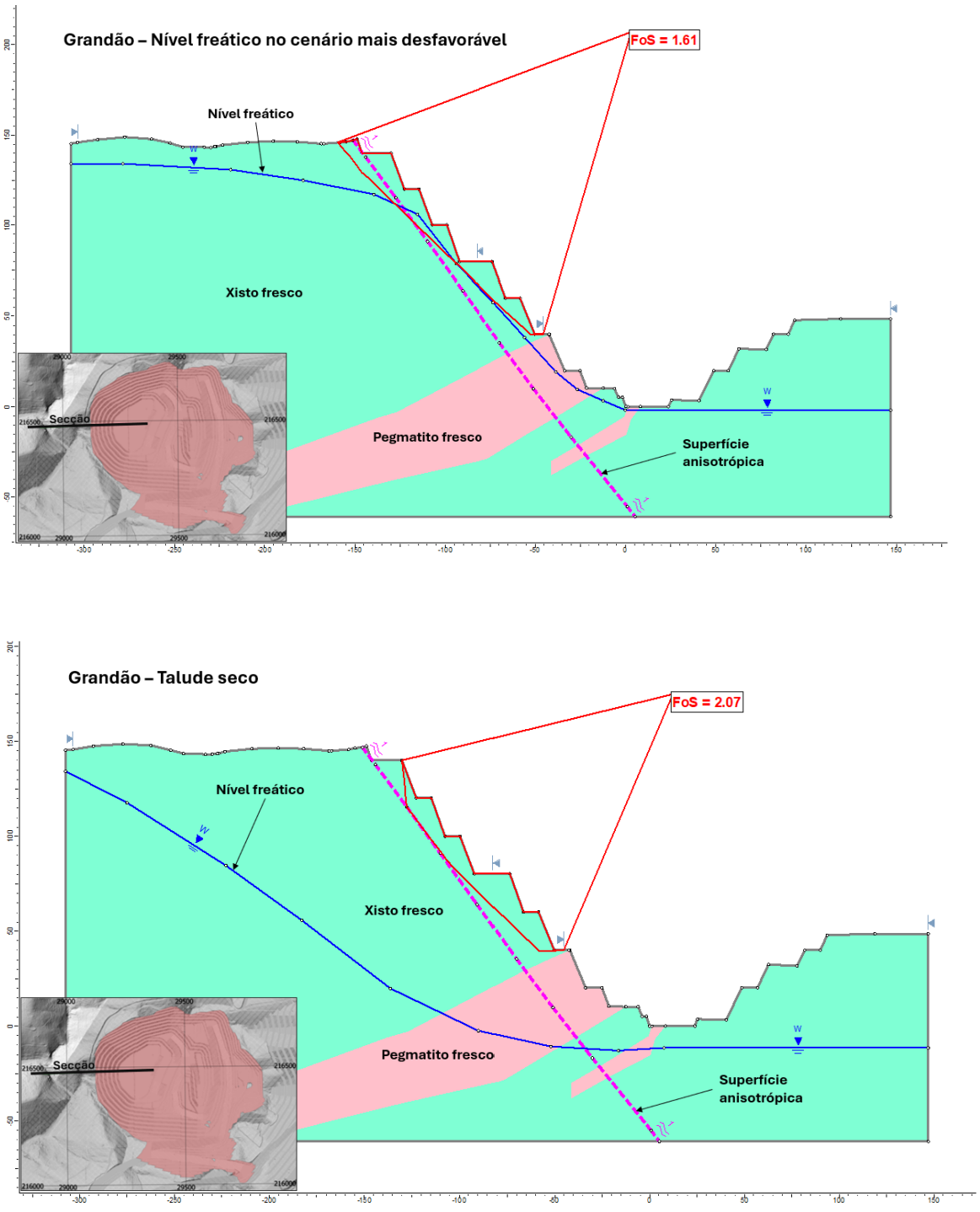


Figura 4.25 – Três cenários potenciais de nível freático para o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso.

4.4.3 Ensaios Geotécnicos Laboratoriais

Os ensaios geotécnicos laboratoriais foram realizados em amostras recolhidas no âmbito do programa de sondagens geotécnicas executado entre 2018 e 2025. Um total de 471 amostras de carote foi selecionado por geólogos e engenheiros do Barroso, tendo os ensaios sido realizados pelo Instituto Superior Técnico (Portugal) e pela Tecnología del Suelo y Materiales S.L. (Espanha). O âmbito do programa de ensaios incluiu:

Resistência à compressão uniaxial (UCS): 79 amostras ensaiadas, incluindo a determinação do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson. Destas, 40 amostras foram consideradas fiáveis, uma vez que a rotura ocorreu através de material intacto e não ao longo de descontinuidades pré-existentes.

- Ensaios triaxiais em célula de Hoek: 47 amostras ensaiadas em Xisto Fresco e Pegmatito.
- Ensaios de cisalhamento direto: 31 ensaios realizados ao longo de descontinuidades naturais em Xisto Fresco e Alterado, bem como em Pegmatito.
- Ensaios brasileiros de resistência à tração: 71 amostras ensaiadas em Xisto Fresco e Alterado, e em Pegmatito.
- Determinação da densidade: 379 amostras ensaiadas, incluindo as utilizadas nos ensaios de UCS, cisalhamento direto, triaxiais e resistência à tração.

4.4.3.1 Síntese e discussão dos resultados dos ensaios

Todos os certificados dos ensaios laboratoriais encontram-se apresentados no Anexo IV.3. Nas secções seguintes são apresentados resumos dos resultados dos tipos de ensaios considerados relevantes para o presente estudo, bem como a respetiva discussão, sempre que aplicável.

4.4.3.2 Resistência à Compressão Uniaxial (UCS)

A Tabela 4.13 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial (UCS) para todos os materiais. Este conjunto de dados foi utilizado para validar as estimativas de resistência da rocha intacta obtidas em campo. De um modo geral, os resultados dos ensaios UCS não foram considerados diretamente no desenvolvimento do modelo geotécnico.

Importa referir que, após a realização do ensaio, um resultado de UCS é considerado válido quando se verifica uma distribuição uniforme das tensões ao longo da amostra. Em termos simples, as fraturas devem propagar-se através do centro do provete, quer sob a forma de fendas de tração, quer como novos planos de cisalhamento desenvolvidos no material intacto. Em materiais anisotrópicos, como os existentes na zona de concessão, as amostras de UCS podem romper ao longo de planos de estratificação ou diaclases pré-existentes. Este tipo de rotura não representa a

verdadeira resistência à compressão uniaxial e, por esse motivo, deve ser excluído da utilização como dado de entrada.

Tabela 4.13 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial (UCS).

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal como recebido (kg/m³)	Estimativa de resistência em campo	UCS em Lab. (MPa)	Modulo de elasticidade (GPa)	Coeficiente de Poisson	Validade do ensaio
GEO-GRA-S35 16,55-16,80	16,55	FGP	2,453	R4	40,685	_	_	Inválido
GEO-GRA-S42 37,75-38,00	37,75	SCH	2,694	R1	22,451	_	_	Inválido
GEO-GRA-S43 69,70-69,95	69,70	SCH	2,816	R5	43,371	_	_	Inválido
GEO-NOA-S06 10,04-10,30	10,04	SCH	2,585	R1	3,344	_	_	Válido
GEO-NOA-S07 69,42-69,72	69,42	SCH	2,702	R4	21,65	_	_	Inválido
GEO-NOA-S09 46,45-46,70	46,45	SCH	2,690	R3	20,405	_	_	Inválido
GEO-NOA-S13 32,60-32,87	32,60	SCH	2,720	R4	21,099	_	_	Inválido
GEO-NOA-S19 20,25-20,50	20,25	SCH	2,522	R3	25,404	_	_	Válido
GEO-NOA-S20 31,55-31,80	31,55	SCH	2,612	R3	42,197	_	_	Válido
GEO-NOA-S21 69,75-70,00	69,75	SCH	2,694	R4	44,047	_	_	Válido
GEO-NOA-S37 13,44-13,69	13,44	SCH	2,762	R3	19,017	_	_	Inválido
GEO-NOA-S38 58,69-58,94	58,69	SCH	2,721	R4	33,409	_	_	Inválido
GEO-NOA-S51 14,46-14,71	14,46	SCH	2,645	R4	17,932	_	_	Inválido
GEO-NOA-S53 22,83-23,08	22,81	FGP	2,626	R5	48,833	_	_	Inválido

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal como recebido (kg/m³)	Estimativa de resistência em campo	UCS em Lab. (MPa)	Modulo de elasticidade (GPa)	Coeficiente de Poisson	Validade do ensaio
GEO-NOA-S57 43,87-44,20	43,87	SCH	2,255	R2	1,904	_	_	Inválido
GEO-NOA-S60 54,20-54,50	54,20	SCH	2,743	R4	42,162	_	_	Inválido
GEO-NOA-S64 70,10-70,35	70,10	SCH	2,812	R4	35,686	_	_	Inválido
GEO-PNR-S02 19,22-19,47	19,22	SCH	2,738	R3	23,144	_	_	Válido
GEO-PNR-S03 13,01-13,31	13,01	SCH	2,652	R2	15,833	_	_	Válido
GEO-PNR-S06 51,78-52,05	51,78	SCH	2,831	R4	55,451	_	_	Válido
GEO-PNR-S19 24,94-25,21	24,94	SCH	2,617	R3	11,777	_	_	Inválido
GEO-PNR-S20 66,72-66,97	66,72	SCH	2,867	R4	13,289	_	_	Inválido
GEO-RES-S12 172,00-172,27	172,00	FGP	2,636	R5	47,712	_	_	Inválido
GEO-RES-S13 189,25-189,98	189,65	SCH	2,829	R4	39,920	_	_	Inválido
GEO-RES-S14 39,17-39,49	39,17	SCH	2,543	R3	6,564	_	_	Inválido
GEO-RES-S16 133,93-134,19	133,93	SCH	2,840	R4	26,186	_	_	Inválido
GEO-RES-S18 107,18-107,43	107,18	SCH	2,758	R4	11,350	_	_	Inválido
GEO-RES-S20 61,98-62,25	61,98	SCH	2,695	R4	125,702	_	_	Válido
GEO-RES-S28 30,87-31,12	30,87	SCH	2,669	R3	13,753	7,458	0,217	Válido

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal como recebido (kg/m³)	Estimativa de resistência em campo	UCS em Lab. (MPa)	Modulo de elasticidade (GPa)	Coeficiente de Poisson	Validade do ensaio
GEO-RES-S29 70,57-70,82	70,57	SCH	2,792	R3	41,224	30,267	0,204	Válido
GEO-RES-S30 119,97-120,22	119,97	SCH	2,841	R4	13,213	7,415	0,336	Inválido
GEO-PNR-S36 13,00-13,25	13,00	FGP	1,934	R2	1,024	11,374	0,322	Inválido
GEO-PNR-S37 35,40-35,65	35,40	SCH	2,506	R3	10,139	0,811	0,208	Inválido
GEO-PNR-S38 43,80-44,05	43,80	SCH	2,703	R3	19,755	6,173	0,125	Inválido
GEO-PNR-S39 96,89-97,14	96,89	FGP	2,617	R6	18,742	37,786	0,250	Inválido
GEO-PNR-S40 69,12-69,37	69,12	SCH	2,720	R5	7,543	30,170	0,040	Inválido
GEO-PNR-S57 9,45-9,70	9,45	SCH	2,599	R3	12,594	10,583	0,259	Válido
GEO-PNR-S58 22,73-23,00	22,73	FGP	2,248	R4	4,341	11,130	0,231	Inválido
GEO-PNR-S59 50,74-51,00	50,74	FGP	2,822	R5	66,970	63,418	0,235	Inválido
GEO-PNR-S61 79,76-80,01	79,76	SCH	2,697	R4	4,287	3,062	0,099	Inválido
GEO-PNR-S63 99,20-99,45	99,20	SCH	2,234	R4	24,488	31,394	0,210	Válido
GEO-PNR-S72 10,75-11,00	10,75	SCH	2,605	R3	14,996	9,755	0,113	Válido
GEO-PNR-S74 25,92-26,17	25,92	SCH	2,734	R3	15,883	20,520	0,212	Válido
GEO-PNR-S78 89,60-89,85	89,60	SCH	2,841	R3	16,756	12,160	0,097	Válido

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal como recebido (kg/m³)	Estimativa de resistência em campo	UCS em Lab. (MPa)	Modulo de elasticidade (GPa)	Coeficiente de Poisson	Validade do ensaio
GEO-PNR-S88 34,07-34,32	34,07	FGP	2,864	R2	11,475	5,464	0,331	Válido
GEO-PNR-S92 66,10-66,35	66,10	SCH	2,800	R3	16,412	10,797	0,116	Inválido
GEO-PNR-S96 102,81-103,06	102,81	FGP	2,609	R4	18,193	11,97	0,116	Inválido
GEO-PNR-S101 18,85-19,10	18,85	SCH	2,236	R2	7,506	2,208	0,184	Válido
GEO-PNR-S102 21,31-21,56	21,31	SCH	2,396	R2	7,471	0,936	0,241	Válido
GEO-PNR-S103 32,90-33,15	32,90	SCH	2,809	R3	27,363	50,115	0,059	Válido
GEO-PNR-S105 40,10-40,35	40,10	FGP	2,632	R4	33,282	33,149	0,335	Válido
GEO-PNR-S108 64,75-65,00	64,75	SCH	2,817	R3	20,108	23,38	0,581	Válido
GEO-RES-S41 26,30-26,55	26,30	FGP	2,536	R3	40,127	8,800	0,263	Válido
GEO-RES-S44 29,91-30,16	29,92	SCH	2,609	R3	28,929	10,143	0,550	Válido
GEO-RES-S52 102,15-102,40	102,15	SCH	2,809	R4	26,169	3,585	0,138	Inválido
GEO-RES-S53 122,70-122,95	122,70	FGP	2,629	R4	41,200	28,611	0,257	Válido
GEO-RES-S56 129,53-129,78	129,53	SCH	2,554	R3	4,511	1,556	0,552	Inválido
GEO-RES-S59 14,37-14,62	14,37	SCH	2,665	R2	14,709	5,814	0,182	Válido
GEO-RES-S63 38,70-38,95	38,70	SCH	2,914	R3	32,667	33,678	0,247	Válido

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal como recebido (kg/m³)	Estimativa de resistência em campo	UCS em Lab. (MPa)	Modulo de elasticidade (GPa)	Coeficiente de Poisson	Validade do ensaio
GEO-RES-S68 67,20-67,45	67,20	SCH	2,728	R4	61,500	63,032	0,151	Válido
GEO-GRA-S59 22,17-22,42	22,17	SCH	2,350	R3	14,748	12,937	0,153	Inválido
GEO-GRA-S64 53,28-53,53	53,28	SCH	2,743	R3	41,041	14,657	0,127	Válido
GEO-GRA-S67 85,50-85,75	85,50	SCH	2,749	R4	74,435	26,584	0,127	Válido
GEO-GRA-S73 21,34-21,57	21,34	SCH	2,739	R3	35,953	25,786	0,328	Válido
GEO-GRA-S77 39,27-39,52	39,27	SCH	2,833	R3	19,514	11,088	0,193	Válido
GEO-GRA-S79 58,42-58,67	58,42	SCH	2,809	R4	24,648	25,675	0,165	Inválido
GEO-GRA-S88 10,07-10,32	10,07	SCH	2,303	R3	4,734	14,304	0,332	Inválido
GEO-GRA-S93 69,30-69,55	69,30	SCH	2,777	R4	46,652	48,595	0,165	Válido
GEO-GRA-S95 110,23-110,48	110,23	FGP	2,717	R5	144,231	72,478	0,375	Válido
GEO-GRA-S101 157,71-157,96	157,71	SCH	2,772	R3	25,578	46,337	0,148	Válido
GEO-GRA-S105 27,35-27,60	27,35	SCH	2,792	R3	45,417	39,153	0,190	Válido
GEO-GRA-S112 99,32-99,57	99,32	SCH	2,785	R4	69,441	42,085	0,155	Válido
GEO-GRA-S114 113,6-113,85	113,60	FGP	2,721	R5	92,872	60,939	0,278	Válido
GEO-GRA-S120 202,20-202,45	202,20	SCH	2,790	R4	35,941	52,646	0,287	Inválido
GEO-GRA-S7	70,85	SCH	2,755	R4	30,60	_	_	Inválido

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal como recebido (kg/m³)	Estimativa de resistência em campo	UCS em Lab. (MPa)	Modulo de elasticidade (GPa)	Coeficiente de Poisson	Validade do ensaio
GEO-GRA-S10	4,70	SCH	_	R3	46,10	_	_	Válido
GEO-GRA-S12	21,65	SCH	_	R3	46,70	_	_	Válido
GEO-GRA-S16	94,30	SCH	2,728	R4	28,62	_	_	Inválido
GEO-GRA-S18	3,92	SCH	_	R2	20,04	_	_	Válido
GEO-GRA-S21	53,06	FGP	2,775	R5	130,60	_	_	Válido
GEO-GRA-S26	136,70	SCH	2,739	R4	42,9	_	_	Válido
GEO-GRA-S28	13,00	FGP	2,445	R3	31,30	_	_	Válido
GEO-GRA-S35	123,90	SCH	_	R3	8,30	_	_	Inválido

4.4.3.3 ENSAIOS TRIAXIAIS EM CÉLULA DE HOEK DE ESTÁGIO ÚNICO

A seguinte tabela apresenta os resultados dos ensaios triaxiais de rocha em célula de Hoek, de estágio único. Estes dados foram utilizados para estimar e validar os parâmetros de resistência ao cisalhamento do maciço rochoso, conforme discutido na Secção 8.5. Cada provete de carote foi ensaiado sob três níveis de pressão de confinamento – 1 MPa, 2 MPa e 3 MPa. Para cada estágio foram posteriormente construídos os respetivos círculos de Mohr, os quais foram utilizados para a determinação dos parâmetros lineares de resistência ao cisalhamento segundo o critério de Mohr–Coulomb, conforme indicado na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Resultados dos ensaios triaxiais em célula de Hoek de estágio único.

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal com recebido (kg/m³)	Tensão principal menor σ_3 (MPa)	Tensão principal de rotura σ_1 (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (MPa)
GEO-GRA-S37 6,20-6,40	6,20	FGP	2,677	1	21,330	54,49	2,13
GEO-GRA-S38 6,42-6,68	6,42	FGP	2,696	2	33,032		
GEO-GRA-S39 10,07-10,27	10,07	FGP	2,674	3	41,023		
GEO-GRA-S40A 34,06-34,26	34,06	SCH	2,819	1	22,113	59,97	1,01
GEO-GRA-S40B 34,37-34,57	34,37	SCH	2,765	2	34,921		
GEO-GRA-S40C 34,57-34,77	34,57	SCH	2,834	3	49,936		
GEO-GRA-S41A 55,80-56,00	55,33	SCH	2,752	1	27,040	*31,97*	6,55
GEO-GRA-S41B 56,63-56,83	56,63	SCH	2,726	2	19,157		
GEO-GRA-S41C 57,14-57,34	57,14	SCH	2,841	3	33,783		
GEO-NOA-S05A 6,80-7,00	6,80	FGP	2,478	1	27,983	65,29	1,39
GEO-NOA-S05B 7,70-7,92	7,70	FGP	2,535	2	55,611		
GEO-NOA-S05C 7,27-7,50	7,27	FGP	2,513	3	70,394		

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal com recebido (kg/m³)	Tensão principal menor σ_3 (MPa)	Tensão principal de rotura σ_1 (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (MPa)
GEO-NOA-S08A 60,45-60,68	60,45	SCH	2,677	1	17,256	35,68	3,40
GEO-NOA-S08B 58,38-58,58	58,38	SCH	2,704	2	20,707		
GEO-NOA-S08C 57,94-58,14	57,94	SCH	2,665	3	24,870		
GEO-NOA-S17A 28,77-28,97	28,77	SCH	2,519	1	39,102	61,09	3,43
GEO-NOA-S17B 29,10-29,30	29,10	SCH	2,704	2	57,336		
GEO-NOA-S17C 29,50-29,70	29,50	SCH	2,665	3	69,433		
GEO-NOA-S18A 65,73-65,93	65,73	SCH	2,696	1	44,688	45,21	7,94
GEO-NOA-S18B 66,60-66,80	66,60	SCH	2,683	2	50,078		
GEO-NOA-S18C 66,80-67,00	66,80	SCH	2,688	3	56,482		
GEO-NOA-S35A 19,14-19,34	19,14	SCH	2,690	1	12,809	49,55	1,20
GEO-NOA-S35B 20,01-20,21	20,00	SCH	2,659	2	21,597		
GEO-NOA-S35C 20,78-20,98	20,78	SCH	2,670	3	27,645		
GEO-NOA-S36A 36,30-36,50	36,35	SCH	2,800	1	14,605	50,02	1,31

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal com recebido (kg/m³)	Tensão principal menor σ_3 (MPa)	Tensão principal de rotura σ_1 (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (MPa)
GEO-NOA-S36B 36,67-36,87	36,69	SCH	2,874	2	22,433		
GEO-NOA-S36C 36,88-37,08	37,00	SCH	2,825	3	29,727		
GEO-NOA-S55A 23,38-23,60	23,40	FGP	2,662	1	56,144		
GEO-NOA-S55B 23,60-23,83	23,60	FGP	2,649	2	62,144	52,24	8,01
GEO-NOA-S55C 23,83-24,03	23,83	FGP	2,685	3	73,436		
GEO-NOA-S58A 44,45-44,65	44,45	SCH	2,335	1	11,955		
GEO-NOA-S58B 45,45-45,70	45,45	SCH	2,410	2	22,006	52,65	0,70
GEO-NOA-S58C 47,76-47,94	47,76	SCH	2,656	3	29,531		
GEO-NOA-S61A 58,84-59,05	58,84	SCH	2,768	1	15,673		
GEO-NOA-S61B 59,20-59,42	59,20	SCH	2,751	2	24,319	47,27	2,13
GEO-NOA-S61C 61,41-61,63	61,41	SCH	2,810	3	28,997		
GEO-NOA-S65A 70,57-70,77	70,57	SCH	2,823	1	26,133		
GEO-NOA-S65B 71,41-71,63	71,41	SCH	2,834	2	50,292	65,54	0,71

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal com recebido (kg/m³)	Tensão principal menor σ_3 (MPa)	Tensão principal de rotura σ_1 (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (MPa)
GEO-NOA-S65C 72,32-72,57	72,32	SCH	2,832	3	69,166		
GEO-PNR-S01A 28,20-28,40	28,20	SCH	2,765	1	31,879		
GEO-PNR-S01B 28,67-28,87	28,67	SCH	2,728	2	36,949	33,94	8,04
GEO-PNR-S01C 29,50-29,70	29,50	SCH	2,727	3	39,209		
GEO-PNR-S04A 9,61-9,81	9,60	SCH	2,626	1	15,175		
GEO-PNR-S04B 9,90-10,10	9,90	SCH	2,581	2	22,362	46,84	1,85
GEO-PNR-S04C 10,79-11,02	10,81	SCH	2,627	3	28,001		
GEO-PNR-S05A 50,10-50,30	50,10	SCH	2,823	1	34,476		
GEO-PNR-S05B 50,30-50,50	50,30	SCH	2,810	2	44,261	52,86	4,42
GEO-PNR-S05C 50,90-51,10	50,90	SCH	2,847	3	52,231		
GEO-PNR-S17A 2,52-2,77	2,52	SCH	2,538	1	12,453		
GEO-PNR-S17B 3,04-3,24	3,03	SCH	2,526	2	18,804	46,18	1,28
GEO-PNR-S17C 3,53-3,73	3,53	SCH	2,590	3	24,817		

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal com recebido (kg/m³)	Tensão principal menor σ_3 (MPa)	Tensão principal de rotura σ_1 (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (MPa)
GEO-PNR-S18A 64,07-64,27	64,07	SCH	2,750	1	19,177	31,38	4,67
GEO-PNR-S18B 64,40-64,60	64,40	SCH	2,834	2	23,091		
GEO-PNR-S18C 65,50-65,70	65,50	SCH	2,813	3	25,599		
GEO-RES-S11A 156,48-156,72	156,48	FGP	2,642	1	48,086	44,09	9,34
GEO-RES-S11B 156,80-157,00	156,80	FGP	2,659	2	55,202		
GEO-RES-S11C 158,69-158,92	158,69	FGP	2,661	3	59,400		
GEO-RES-S15A 28,30-28,50	28,30	SCH	2,579	1	14,143	52,07	0,76
GEO-RES-S15B 27,80-28,00	27,80	SCH	2,567	2	20,387		
GEO-RES-S15C 29,96-30,16	29,96	SCH	2,673	3	31,346		
GEO-RES-S22A 125,46-125,66	125,46	SCH	2,768	1	21,864	62,80	1,06
GEO-RES-S22B 125,92-126,17	125,92	SCH	2,810	2	44,012		
GEO-RES-S22C 126,17-126,38	126,17	SCH	2,767	3	56,536		
GEO-RES-S26A 23,70-23,90	23,70	SCH	2,522	1	16,100	37,64	3,30

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal com recebido (kg/m³)	Tensão principal menor σ_3 (MPa)	Tensão principal de rotura σ_1 (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (MPa)
GEO-RES-S26B 24,15-24,35	24,15	SCH	2,560	2	21,828		
GEO-RES-S26C 24,80-25,00	24,80	SCH	2,480	3	24,621		
GEO-RES-S27A 90,66-90,86	90,66	SCH	2,771	1	65,039		
GEO-RES-S27B 90,94-91,14	90,94	SCH	2,718	2	80,267	56,59	8,75
GEO-RES-S27C 91,95-92,15	91,95	SCH	2,695	3	87,775		
GEO-PNR-S32A 6,10-6,39	6,1	SCH	2,584	1	16,516		
GEO-PNR-S32B 7,10-7,32	7,1	SCH	2,616	2	21,932	42,26	2,57
GEO-PNR-S32C 7,95-8,15	7,95	SCH	2,551	3	26,738		
GEO-PNR-S33A 51,59-51,85	51,59	FGP	2,026	1	6,280		
GEO-PNR-S33B 52,00-52,20	52	FGP	2,025	2	12,920	40,86	0,68
GEO-PNR-S33C 52,34-52,54	52,34	FGP	2,071	3	16,130		
GEO-PNR-S34A 59,44-59,64	59,44	SCH	2,627	1	10,603		
GEO-PNR-S34B 60,20-60,40	60,2	SCH	2,718	2	18,092	51,03	0,41

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal com recebido (kg/m³)	Tensão principal menor σ_3 (MPa)	Tensão principal de rotura σ_1 (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (MPa)
GEO-PNR-S34C 60,65-60,85	60,65	SCH	2,654	3	26,596		
GEO-PNR-S35A 101,40-101,60	101,4	SCH	2,826	1	16,477	46,49	1,98
GEO-PNR-S35B 103,10-103,30	103,1	SCH	2,921	2	22,325		
GEO-PNR-S35C 103,62-103,82	103,62	SCH	2,873	3	29,048		
GEO-PNR-S55A 3,03-3,23	3,03	SCH	2,467	1	11,662	38,86	1,88
GEO-PNR-S55B 3,70-3,90	3,7	SCH	2,544	2	16,780		
GEO-PNR-S55C 6,03-6,23	6,03	SCH	2,449	3	20,453		
GEO-PNR-S66A 113,80-114,00	113,8	SCH	2,711	1	21,523	63,31	0,18
GEO-PNR-S66B 114,76-114,96	114,76	SCH	2,745	2	35,521		
GEO-PNR-S66C 115,70-115,90	115,7	SCH	2,724	3	57,383		
GEO-PNR-S71A 6,54-6,74	6,54	SCH	2,675	1	19,276	43,37	3,02
GEO-PNR-S71B 7,00-7,20	7	SCH	2,731	2	24,840		
GEO-PNR-S71C 7,72-7,92	7,72	SCH	2,714	3	30,047		

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal com recebido (kg/m³)	Tensão principal menor σ_3 (MPa)	Tensão principal de rotura σ_1 (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (MPa)
GEO-PNR-S76A 70,57-70,77	70,57	SCH	2,815	1	16,067	59,59	0,54
GEO-PNR-S76B 71,37-71,57	71,37	SCH	2,776	2	31,616		
GEO-PNR-S76C 72,30-72,50	72,3	SCH	2,796	3	43,242		
GEO-PNR-S90A 53,05-53,25	53,05	FGP	2,591	1	18,420	64,64	0,23
GEO-PNR-S90B 53,75-53,95	53,75	FGP	2,630	2	42,672		
GEO-PNR-S90C 54,55-54,75	54,55	FGP	2,639	3	58,275		
GEO-PNR-S94A 81,60-81,79	81,6	SCH	2,602	1	10,539	39,95	1,37
GEO-PNR-S94B 82,17-82,37	82,17	SCH	2,629	2	14,800		
GEO-PNR-S94C 82,42-82,62	82,42	SCH	2,635	3	19,597		
GEO-PNR-S99A 13,05-13,30	13,05	FGP	2,710	1	62,412	68,66	2,78
GEO-PNR-S99B 13,60-13,85	13,6	FGP	2,702	2	77,640		
GEO-PNR-S99C 14,55-14,80	14,55	FGP	2,607	3	121,417		

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal com recebido (kg/m³)	Tensão principal menor σ_3 (MPa)	Tensão principal de rotura σ_1 (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (MPa)
GEO-PNR-S109A 71,36-71,61	71,36	SCH	2,794	1	34,487	63,00	4,58
GEO-PNR-S109B 72,60-72,85	72,6	SCH	2,799	2	68,082		
GEO-PNR-S109C 73,75-74,00	73,75	SCH	2,782	3	73,966		
GEO-GRA-S60A 28,62-28,82	28,62	SCH	2,736	1	24,324	35,78	5,16
GEO-GRA-S60B 29,37-29,57	29,37	SCH	2,631	2	27,327		
GEO-GRA-S60C 31,30-31,50	31,3	SCH	2,617	3	32,048		
GEO-GRA-S66A 67,34-67,54	67,34	SCH	2,881	1	32,434	53,80	4,55
GEO-GRA-S66B 67,56-67,76	67,56	SCH	2,833	2	46,463		
GEO-GRA-S66C 67,86-68,06	67,86	SCH	2,926	3	51,951		
GEO-GRA-S70A 110,5-110,7	110,5	SCH	2,838	1	68,624	13,70	26,50
GEO-GRA-S70B 111,4-111,6	111,4	SCH	2,844	2	69,761		
GEO-GRA-S70C 112,63-112,83	112,63	SCH	2,813	3	71,972		
GEO-GRA-S75A 29,68-29,88	29,68	SCH	2,789	1	32,372	56,37	3,36

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal com recebido (kg/m³)	Tensão principal menor σ_3 (MPa)	Tensão principal de rotura σ_1 (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (MPa)
GEO-GRA-S75B 30,45-30,65	30,45	SCH	2,775	2	44,421		
GEO-GRA-S76 31,36-31,40	31,36	SCH	2,702	3	54,308		
GEO-GRA-S82A 93,20-93,40	93,2	SCH	2,715	1	31,210		
GEO-GRA-S82B 94,40-94,60	94,4	SCH	2,730	2	75,144	67,32	2,68
GEO-GRA-S82C 95,30-95,50	95,3	SCH	2,735	3	82,296		
GEO-GRA-S90A 58,40-58,60	58,4	SCH	2,759	1	29,923		
GEO-GRA-S90B 58,90-59,10	58,9	SCH	2,751	2	35,549	45,98	4,75
GEO-GRA-S91T 60,92-61,07	60,92	SCH	2,744	3	42,179		
GEO-GRA-S96A 112,65-112,85	112,65	FGP	2,703	1	166,751		
GEO-GRA-S96B 115,05-115,25	115,05	FGP	2,656	2	185,337	50,94	33,83
GEO-GRA-S96C 117,10-117,30	117,1	FGP	2,647	3	187,981		
GEO-GRA-S102A 159,22-159,42	159,22	SCH	2,732	1	28,111		
GEO-GRA-S102B 159,52-159,72	159,52	SCH	2,771	2	44,703	57,66	2,96

ID da Amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal com recebido (kg/m³)	Tensão principal menor σ_3 (MPa)	Tensão principal de rotura σ_1 (MPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (MPa)
GEO-GRA-S102C 159,75-159,95	159,75	SCH	2,737	3	52,531		
GEO-GRA-S106A 43,39-43,59	43,39	FGP	2,663	1	67,637		
GEO-GRA-S106B 44,35-44,55	44,35	FGP	2,698	2	80,739	54,39	9,90
GEO-GRA-S106C 45,17-45,37	45,17	FGP	2,662	3	87,450		
GEO-GRA-S107A 51,51-51,71	51,51	SCH	2,703	1	21,199		
GEO-GRA-S107B 51,76-51,96	51,76	SCH	2,695	2	44,864	59,18	2,70
GEO-GRA-S107C 54,16-54,36	54,16	SCH	2,729	3	50,119		
GEO-GRA-S111A 89,30-89,50	89,3	SCH	2,846	1	26,499		
GEO-GRA-S111B 90,30-90,50	90,3	SCH	2,869	2	42,412	63,79	0,76
GEO-GRA-S111C 91,50-91,70	91,3	SCH	2,856	3	63,536		
GEO-GRA-S117A 194,03-194,23	194,03	SCH	2,771	1	25,815		
GEO-GRA-S117A 194,61-194,81	194,61	SCH	2,773	2	32,420	49,53	3,32
GEO-GRA-S117A 195,77-195,97	195,77	SCH	2,741	3	40,564		

4.4.3.4 ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO

A Tabela 4.15 apresenta os resultados dos ensaios de cisalhamento direto realizados em amostras com descontinuidades naturais. Estes dados foram utilizados para validar as estimativas de campo da resistência ao cisalhamento das descontinuidades. Os resultados dos ensaios foram posteriormente aplicados na estimativa dos parâmetros de resistência ao cisalhamento das descontinuidades do maciço rochoso.

Tabela 4.15 – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto.

ID da amostra	Profundidade (m)	Litologia	Tipo de ensaio	Coesão de pico (kPa)	Ângulo de atrito de pico (°)
GEO-GRA-S52B 56,40-56,56	56,40	SCH	Descontinuidade natural	30,36	10,49
GEO-GRA-S53B 51,12-51,26	50,12	SCH	Descontinuidade natural	50,64	42,56
GEO-NOA-S10B 38,50-38,62	38,50	SCH	Descontinuidade natural	34,83	18,34
GEO-NOA-S11B 33,97-34,12	33,97	SCH	Descontinuidade natural	24,88	10,10
GEO-NOA-S12B 18,84-18,98	18,84	SCH	Descontinuidade natural	41,11	7,16
GEO-NOA-S32B 25,42-25,60	25,42	SCH	Descontinuidade natural	20,60	7,85
GEO-NOA-S33B 41,73-41,90	41,73	SCH	Descontinuidade natural	33,28	21,97
GEO-NOA-S34B 93,38-93,58	93,38	FGP	Descontinuidade natural	44,83	13,14
GEO-NOA-S47B 27,17-27,30	27,17	SCH	Descontinuidade natural	28,78	6,86
GEO-NOA-S48B 38,85-38,98	38,85	SCH	Descontinuidade natural	30,34	8,04
GEO-NOA-S49B 48,07-48,23	47,94	SCH	Descontinuidade natural	43,33	10,49
GEO-NOA-S67B 31,30-31,42	31,30	SCH	Descontinuidade natural	33,84	27,65
GEO-NOA-S68B 55,83-56,11	55,83	SCH	Descontinuidade natural	42,41	24,81
GEO-NOA-S69B 60,23-60,35	60,23	SCH	Descontinuidade natural	35,32	22,56
GEO-PNR-S14B 24,60-24,77	24,60	SCH	Descontinuidade natural	19,30	47,17
GEO-PNR-S15B 47,70-47,86	47,70	SCH	Descontinuidade natural	44,46	27,75
GEO-PNR-S16B 52,22-52,38	52,22	SCH	Descontinuidade natural	36,88	33,34
GEO-PNR-S29B 8,61-8,77	8,60	SCH	Descontinuidade natural	30,28	6,77

ID da amostra	Profundidade (m)	Litologia	Tipo de ensaio	Coesão de pico (kPa)	Ângulo de atrito de pico (°)
GEO-PNR-S30B 21,84-21,94	21,84	SCH	Descontinuidade natural	27,81	15,40
GEO-PNR-S31B 65,95-66,11	65,95	SCH	Descontinuidade natural	20,24	13,24
GEO-RES-S23B 129,00-129,14	129,00	SCH	Descontinuidade natural	28,08	23,44
GEO-RES-S24B 47,14-47,30	47,14	SCH	Descontinuidade natural	37,04	11,38
GEO-RES-S25B 70,55-70,71	70,55	SCH	Descontinuidade natural	31,24	18,14
GEO-PNR-S50 T 58,60-58,75	58,6	SCH	Descontinuidade natural	23,40	31,48
GEO-PNR-S51 T 71,95-72,16	71,95	SCH	Descontinuidade natural	30,56	21,57
GEO-PNR-S52 T 88,77-88,93	88,77	SCH	Descontinuidade natural	25,27	32,46
GEO-PNR-S53 T 100,42-100,57	100,42	SCH	Descontinuidade natural	52,04	26,28
GEO-PNR-S67T 68,85-69,00	68,85	SCH	Descontinuidade natural	46,84	27,26
GEO-PNR-S68T 98,43-98,58	98,43	SCH	Descontinuidade natural	41,44	12,36
GEO-PNR-S80T 22,59-22,74	22,59	SCH	Descontinuidade natural	50,71	18,53
GEO-PNR-S81T 53,55-53,70	53,55	SCH	Descontinuidade natural	43,44	15,00
GEO-PNR-S82T 60,00-60,15	60	SCH	Descontinuidade natural	28,98	16,77
GEO-PNR-S83T 66,25-66,40	66,25	SCH	Descontinuidade natural	45,89	25,01
GEO-PNR-S89T 49,94-50,09	49,94	FGP	Descontinuidade natural	57,81	37,46
GEO-PNR-S107T 49,39-49,54	49,39	FGP	Descontinuidade natural	38,18	23,34
GEO-PNR-S110T 85,03-85,18	85,03	SCH	Descontinuidade natural	38,68	38,83
GEO-RES-S46T 40,70-40,85	40,7	SCH	Descontinuidade natural	35,79	29,81
GEO-RES-S47T 44,75-44,90	44,75	SCH	Descontinuidade natural	37,38	34,72
GEO-RES-S57T 137,85-138,00	137,85	SCH	Descontinuidade natural	34,76	11,67
GEO-RES-S62T 35,83-35,98	35,83	SCH	Descontinuidade natural	47,13	17,06
GEO-RES-S64T 41,63-41,78	41,63	SCH	Descontinuidade natural	38,26	24,32

ID da amostra	Profundidade (m)	Litologia	Tipo de ensaio	Coesão de pico (kPa)	Ângulo de atrito de pico (°)
GEO-GRA-S61T 40,62-40,92	40,62	SCH	Descontinuidade natural	36,80	31,87
GEO-GRA-S62T 49,16-49,46	49,16	SCH	Descontinuidade natural	51,27	31,38
GEO-GRA-S68T 94,34-94,64	94,34	SCH	Descontinuidade natural	44,37	13,63
GEO-GRA-S71T 120,13-120,43	120,13	FGP	Descontinuidade natural	51,44	28,05
GEO-GRA-S78T 46,63-46,78	46,63	SCH	Descontinuidade natural	38,10	34,03
GEO-GRA-S80T 66,97-67,12	66,97	SCH	Descontinuidade natural	49,78	22,65
GEO-GRA-S83T 111,96-112,11	111,96	SCH	Descontinuidade natural	56,25	38,44
GEO-GRA-S91T 60,92-61,07	60,92	SCH	Descontinuidade natural	38,53	20,69
GEO-GRA-S92T 65,46-65,61	65,46	SCH	Descontinuidade natural	25,94	26,38
GEO-GRA-S99T 150,28-150,43	150,28	SCH	Descontinuidade natural	41,10	19,02
GEO-GRA-S108T 55,23-55,38	55,23	SCH	Descontinuidade natural	53,94	13,83
GEO-GRA-S115T 129,92-130,07	129,92	SCH	Descontinuidade natural	34,65	36,58
GEO-GRA-S116T 130,81-130,96	130,81	SCH	Descontinuidade natural	50,23	20,01
GEO-GRA-S121T 204,91-205,06	204,91	SCH	Descontinuidade natural	40,32	37,76

4.4.3.5 ENSAIO BRASILEIRO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Ensaio brasileiro foi realizado com o objetivo de determinar indiretamente a resistência à tração dos provetes de rocha. A Tabela 4.16 apresenta os resultados dos ensaios.

Tabela 4.16 – Resultados dos ensaios brasileiros de resistência à tração.

ID da amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal como recebido (kg/m³)	Ensaio brasileiro de resistência à tração (MPa)
GEO-GRA-S45 25,20-25,30	25,20	SCH	2,521	0,476
GEO-GRA-S46 31,40-31,50	31,40	SCH	2,662	5,003
GEO-GRA-S47 64,14-64,24	64,14	SCH	2,804	8,571
GEO-NOA-S14 2,15-2,25	2,15	SCH	2,691	1,535
GEO-NOA-S15 6,02-6,17	6,02	FGP	2,253	0,274
GEO-NOA-S16 61,90-62,00	61,90	SCH	_	5,291
GEO-NOA-S22 31,53-31,63	31,53	SCH	2,725	8,950

ID da amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal como recebido (kg/m³)	Ensaio brasileiro de resistência à tração (MPa)
GEO-NOA-S23 48,20-48,30	48,20	SCH	2,882	6,718
GEO-NOA-S24 56,35-56,43	56,35	SCH	2,807	3,000
GEO-NOA-S25 84,05-84,15	84,05	FGP	2,899	6,664
GEO-NOA-S39 3,39-3,49	3,41	SCH	2,811	3,838
GEO-NOA-S40 8,45-8,55	8,45	SCH	2,638	0,992
GEO-NOA-S41 48,47-48,57	48,50	SCH	2,829	12,152
GEO-NOA-S54 23,20-23,38	23,26	FGP	2,726	8,634
GEO-NOA-S56 43,33-43,64	43,23	SCH	2,524	0,208
GEO-NOA-S66 71,20-71,38	71,20	SCH	2,850	3,029
GEO-PNR-S07 9,30-9,50	9,43	SCH	2,539	1,248
GEO-PNR-S08 27,45-27,55	27,35	SCH	2,651	3,106
GEO-PNR-S09 54,26-54,36	54,36	SCH	2,861	7,521
GEO-PNR-S21 13,30-13,40	13,30	SCH	2,580	2,954
GEO-PNR-S22 29,31-29,41	29,21	SCH	2,645	2,040
GEO-PNR-S23 56,07-56,17	56,07	SCH	2,870	5,319
GEO-RES-S17 169,95-170,10	169,95	FGP	2,650	8,468
GEO-RES-S19 113,86-113,96	113,86	SCH	2,533	0,059
GEO-RES-S21 29,56-29,66	29,56	SCH	2,600	2,830
GEO-RES-S31 33,58-33,68	33,58	SCH	2,601	1,136
GEO-RES-S32 112,15-112,25	122,15	SCH	2,699	0,854
GEO-PNR-S41 19,80-19,90	19,8	SCH	2,625	1,449
GEO-PNR-S42 31,35-31,45	31,35	SCH	2,555	1,683
GEO-PNR-S43 44,15-44,25	44,15	SCH	2,772	6,593
GEO-PNR-S44 73,80-73,90	73,8	SCH	2,720	7,302
GEO-PNR-S56 4,90-5,00	4,9	SCH	2,541	1,256
GEO-PNR-S62 85,73-85,83	85,73	SCH	2,826	4,271
GEO-PNR-S64 101,96-102,06	101,96	SCH	2,820	3,739
GEO-PNR-S69 2,20-2,30	2,2	SCH	2,606	1,146
GEO-PNR-S77 81,80-81,90	81,8	SCH	2,686	2,725
GEO-PNR-S85 21,84-21,94	21,84	FGP	2,512	1,779
GEO-PNR-S86 31,73-31,83	31,73	FGP	2,453	2,133
GEO-PNR-S93 77,40-77,50	77,4	SCH	2,714	2,813
GEO-PNR-S98 7,10-7,20	7,1	SCH	2,396	0,691
GEO-PNR-S104 35,90-36,00	35,9	FGP	2,723	4,963
GEO-PNR-S111 88,53-88,63	88,53	SCH	2,784	9,688
GEO-RES-S40 16,47-16,57	16,47	SCH	2,195	0,589
GEO-RES-S42 27,60-27,70	27,6	FGP	2,451	2,508
GEO-RES-S55 123,30-123,40	123,3	FGP	2,619	6,428
GEO-RES-S61 20,52-20,62	21,71	SCH	2,635	3,118
GEO-RES-S65 43,04-43,14	43,04	SCH	2,856	5,653

ID da amostra	Profundidade (m)	Litologia	Densidade tal como recebido (kg/m³)	Ensaio brasileiro de resistência à tração (MPa)
GEO-RES-S67 53,50-53,60	53,5	SCH	2,360	0,263
GEO-GRA-S54 2,74-2,84	2,74	SCH	2,365	1,750
GEO-GRA-S56 9,64-9,74	9,64	SCH	2,737	10,778
GEO-GRA-S63 49,81-49,91	49,81	SCH	2,787	8,801
GEO-GRA-S72 126,18-126,28	126,18	SCH	2,777	11,838
GEO-GRA-S84 115,78-115,88	115,78	SCH	2,820	9,369
GEO-GRA-S85 1,80-1,90	1,8	SCH	2,192	1,391
GEO-GRA-S89 11,15-11,25	11,15	SCH	2,486	4,104
GEO-GRA-S97 117,55-117,65	117,55	FGP	2,725	9,482
GEO-GRA-S98 147,43-147,53	147,43	SCH	2,747	7,079
GEO-GRA-S103 13,55-13,65	13,55	SCH	2,789	4,325
GEO-GRA-S109 74,05-74,15	74,05	SCH	2,918	8,490
GEO-GRA-S119 200,50-200,60	200,5	SCH	2,837	5,262
GEO-GRA-S7	70,85	SCH	2,755	9,49
GEO-GRA-S8	86,00	SCH	2,812	6,69
GEO-GRA-S11	10,76	SCH	2,567	6,69
GEO-GRA-S15	75,50	SCH	2,780	3,49
GEO-GRA-S16	94,30	SCH	2,728	6,63
GEO-GRA-S20	36,68	SCH	2,723	6,17
GEO-GRA-S21	53,06	FGP	2,775	17,17
GEO-GRA-S22	69,15	SCH	2,761	7,52
GEO-GRA-S26	136,70	SCH	2,739	6,31
GEO-GRA-S27	151,85	SCH	2,704	21,96
GEO-GRA-S28	13,00	FGP	2,445	3,81

4.4.3.6 Densidade Aparente

Foram ensaiadas amostras selecionadas com o objetivo de determinar a sua densidade aparente. Estes resultados, em conjunto com os dados apresentados na tabela anterior, foram utilizados para calcular o peso volúmico (γ) do material, o qual constitui um parâmetro físico fundamental nas análises geotécnicas de estabilidade do talude global.

4.4.4 Modelo Geotécnico

4.4.4.1 Geologia da Engenharia

O resumo seguinte da geologia de engenharia dos depósitos do Barroso baseia-se nos dados de descrição geotécnica e litológica (*logging*), bem como no modelo geológico desenvolvido pelos geólogos do Barroso. Os dados geotécnicos incluíram:

- Dados intervalares, tais como litologia, índice de qualidade da rocha (RQD), frequência de fraturas e resistência do material (UCS);
- Dados pontuais, que compreendem as características das superfícies de descontinuidade.

Anteriormente no relatório, temos cortes transversais típicos através das principais unidades de mineralização e litológicas intersetadas no depósito do Grandão. As secções seguintes abordam a geologia de engenharia destes depósitos.

4.4.4.2 METEORIZAÇÃO

A zona de rególito nos depósitos do Barroso é relativamente pouco espessa, estando a oxidação geralmente limitada ao horizonte superficial ou à vizinhança imediata dos depósitos. A base do material alterado estende-se desde a superfície até cerca de 50 m abaixo do terreno natural. Os perfis de alteração mais profundos são observados nos depósitos do Reservatório e do Grandão, particularmente nos setores norte e sul das respetivas cortas mineiras.

De um modo geral, a sequência típica de alteração nos diferentes depósitos (com espessura variável consoante a localização) pode ser descrita da seguinte forma:

- Solo superficial/coluvião (0–0,5 m+): horizonte delgado, rico em matéria orgânica, com cobertura coluvial local;
- Zona oxidada/Saprolito (≈0,5–10 m): material xistoso fortemente a moderadamente alterado, de coloração castanho-avermelhada devido à presença de óxidos de ferro; os diques pegmatíticos mantêm-se relativamente frescos, com alteração argilosa limitada;
- Saprólito de transição (≈10–20 m, localmente até 50 m): rocha moderadamente alterada, parcialmente desagregada, mas ainda preservando a estrutura rochosa; a resistência mecânica aumenta com a profundidade;
- Rocha fresca (>20 m, menos profunda em algumas áreas): unidades de xisto e xisto quartzítico-micáceo não alteradas, intruídas por diques pegmatíticos portadores de espodumena, geralmente competentes;

4.4.4.3 CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO ROCHOSO

As características do maciço rochoso das diversas unidades litológicas suscetíveis de serem intersetadas nas cortas mineiras são discutidas em termos da competência e das propriedades do material intacto, bem como do grau de fracturação. O sistema de classificação da resistência dos materiais utilizado encontra-se descrito no Anexo IV.3. O índice RQD é utilizado para descrever o grau de fracturação e a qualidade do maciço rochoso, conforme definido na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 – Classificação do RQD dos maciços rochosos.

RQD (%)	Qualidade da rocha
<25	Muito fraca
25 to 50	Fraca

RQD (%)	Qualidade da rocha
50 to 75	Razoável
75 to 90	Boa
90 to 100	Excelente

Xisto de Transição

Imediatamente abaixo do solo superficial ocorre uma zona de metassedimentos alterados e transicionais correspondente à unidade de Xisto. A espessura deste material, modelada pela Savannah Resources, varia significativamente entre os depósitos, estendendo-se desde a superfície até profundidades de cerca de 50 m, com o desenvolvimento mais expressivo observado nos depósitos do Grandão e do Reservatório. Um resumo estatístico da descrição de carote é apresentado na Figura 4.26.

No interior desta zona, a intensidade de alteração apresenta uma variação ampla, sendo, no entanto, dominada por rocha moderadamente alterada. A resistência do material varia de muito fraca a forte, sendo as classes de resistência média as mais frequentes. O RQD médio é de aproximadamente 44%, com uma frequência média de fracturação de 24 fraturas por metro.

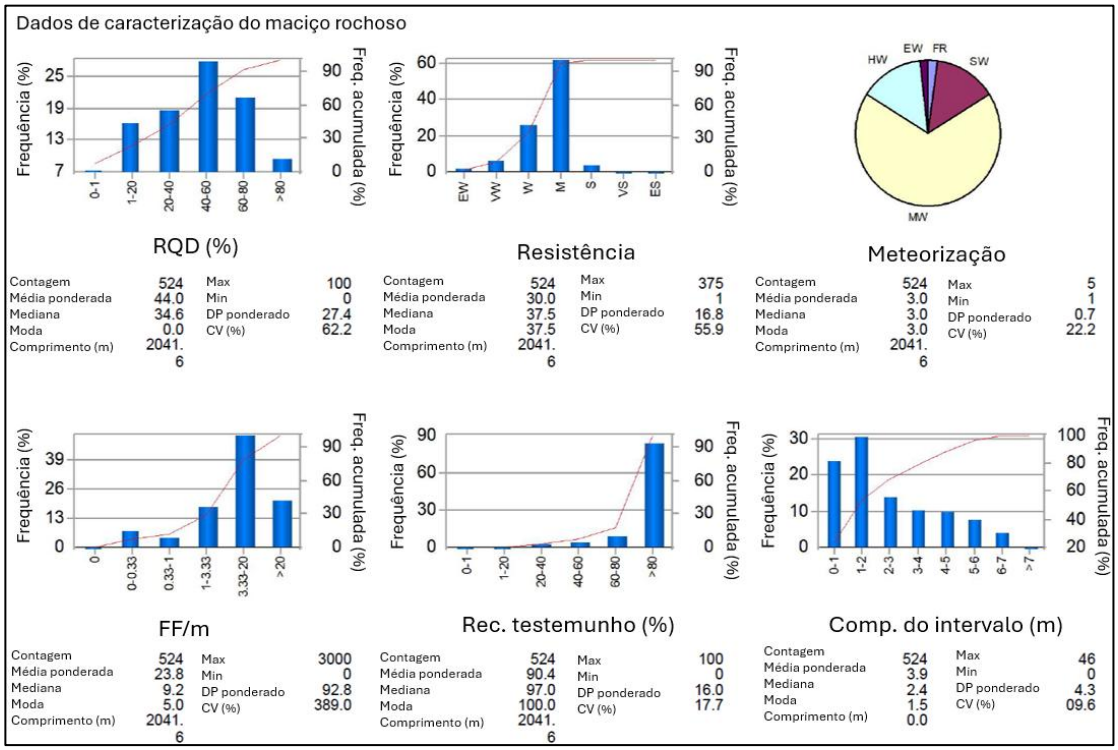


Figura 4.26 – Resumo estatístico dos dados de descrição do maciço rochoso para o Xisto de Transição. Quanto ao grau de alteração do maciço rochoso, este é classificado como fresco

(FR), pouco alterado (SW), moderadamente alterado (MW), muito alterado (HW) e extremamente alterado (EW).

Xisto Fresco

À medida que a exploração mineira progride para maiores profundidades, o Xisto Fresco deverá tornar-se o material predominante na formação dos taludes globais das cortas mineiras. Conforme ilustrado na Figura 4.27, que apresenta o resumo estatístico da descrição de carote, esta unidade é caracterizada essencialmente por rocha fresca e de elevada resistência. Apresenta um RQD elevado, de cerca de 72%, e uma frequência média de fracturação de 7 fraturas por metro.

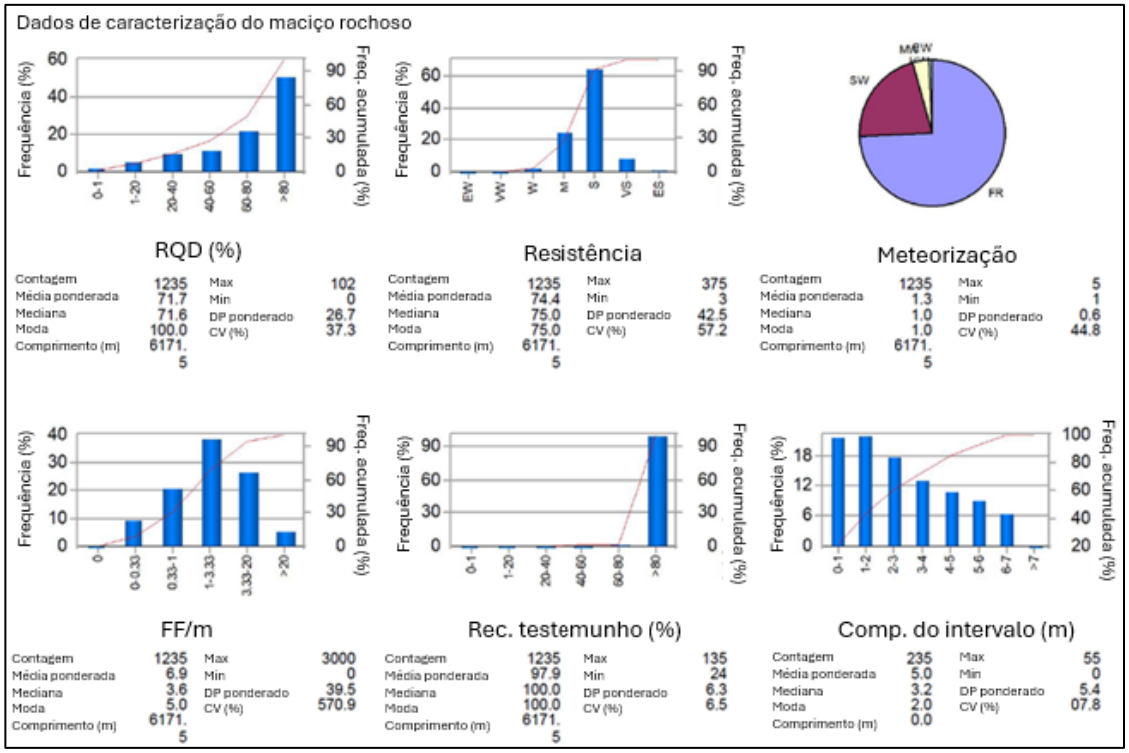


Figura 4.27 – Resumo estatístico dos dados de descrição do maciço rochoso para o Xisto Fresco. Quanto ao grau de alteração do maciço rochoso, este é classificado como fresco (FR), pouco alterado (SW), moderadamente alterado (MW), muito alterado (HW) e extremamente alterado (EW).

Pegmatito de Transição

A zona alterada encontra-se, de um modo geral, confinada aos horizontes superficiais, raramente se estendendo para além de cerca de 5 m abaixo do nível do terreno. Conforme apresentado na Figura 4.28, que ilustra o resumo estatístico da descrição de carote, o material varia de extremamente alterado a ligeiramente alterado, sendo a

rocha moderadamente alterada a mais comum. A resistência da rocha varia de extremamente fraca a muito forte, sendo, no entanto, tipicamente classificada como de resistência média. Os valores de RQD são altamente variáveis, com uma média em torno de 44%, e uma frequência média de fracturação de 34 fraturas por metro

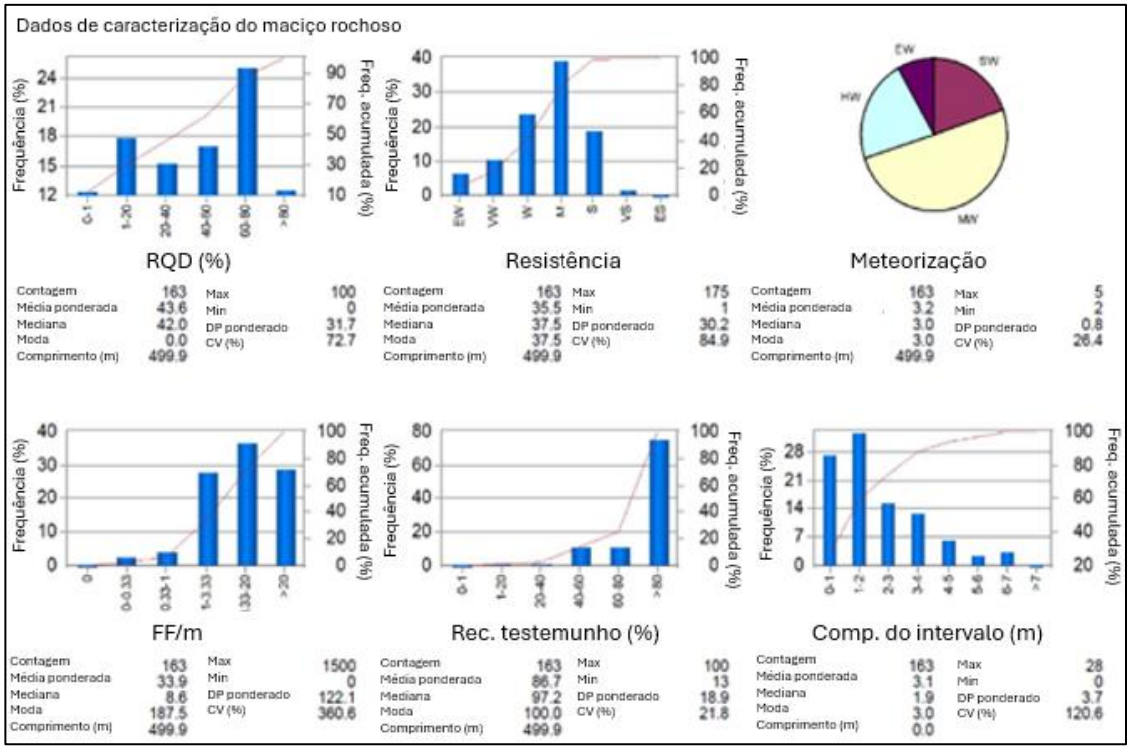


Figura 4.28 – Resumo estatístico dos dados de descrição do maciço rochoso para a Pegmatito de Transição. Quanto ao grau de alteração do maciço rochoso, este é classificado como fresco (FR), pouco alterado (SW), moderadamente alterado (MW), muito alterado (HW) e extremamente alterado (EW).

Pegmatito fresco

Esta unidade é interpretada como um dique ou soleira intrusiva que Corta a unidade principal de Xisto do Barroso. Trata-se de uma rocha de elevado teor em sílica, notavelmente resistente à alteração. As sondagens indicam que a maioria do material se mantém fresco, apresentando um intervalo de resistência desde média até extremamente forte, sendo tipicamente classificado como muito forte. Conforme ilustrado na Figura 4.29, o RQD médio é de cerca de 77%, com uma frequência média de fracturação de 7 fraturas por metro.

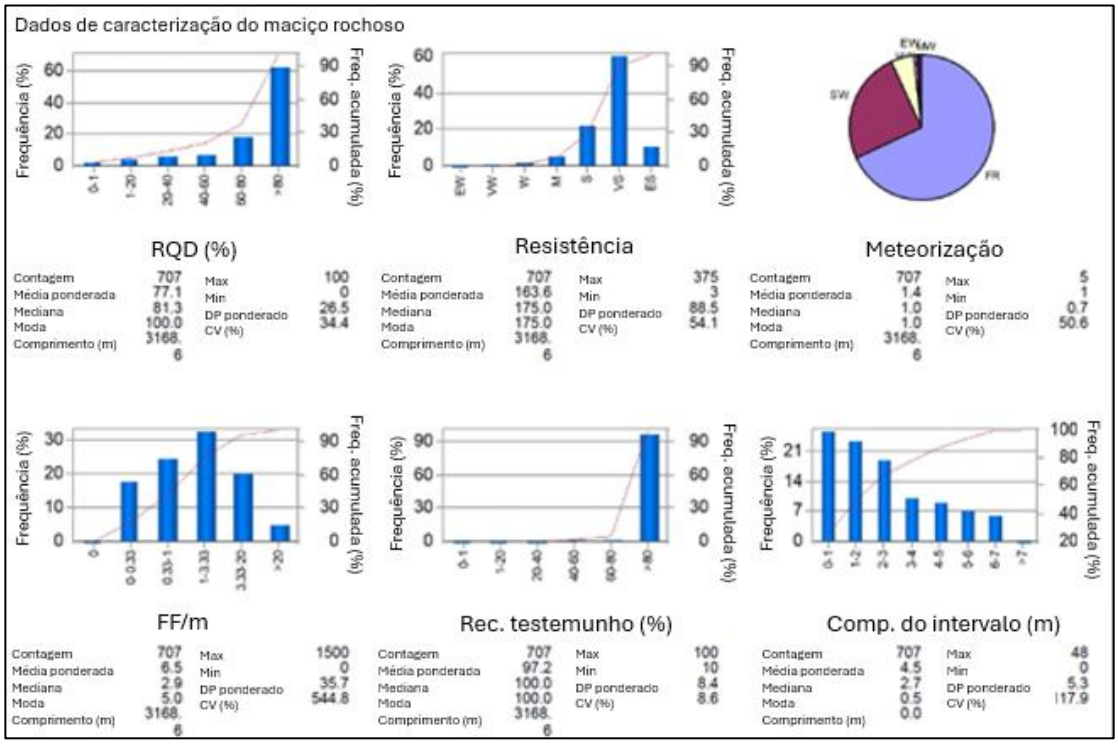


Figura 4.29 – Resumo estatístico dos dados de descrição do maciço rochoso para o Pegmatito Fresco. Quanto ao grau de alteração do maciço rochoso, este é classificado como fresco (FR), pouco alterado (SW), moderadamente alterado (MW), muito alterado (HW) e extremamente alterado (EW).

4.4.5 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS FUNDAMENTAIS

As secções seguintes abordam as características geotécnicas fundamentais dos domínios geotécnicos que serão intersetados pelas cortas mineiras do Barroso. Estas características dizem respeito a:

- O peso volúmico do material intacto;
- O maciço rochoso, apresentado em termos da resistência do material intacto (UCS), da classificação do maciço rochoso e dos parâmetros m_i do critério de Hoek–Brown; estes parâmetros são posteriormente utilizados para estimar a resistência ao cisalhamento do maciço rochoso com base no critério de resistência ao cisalhamento de Hoek–Brown;
- As descontinuidades do maciço rochoso, apresentadas em termos dos parâmetros do critério de resistência ao cisalhamento de descontinuidades de Barton–Bandis, utilizados para estimar a resistência ao cisalhamento das descontinuidades.

Os dados que suportam estas características encontram-se apresentados no Anexo IV.3. O referido apêndice inclui igualmente histogramas dos parâmetros geotécnicos

fundamentais. Recomenda-se que estes sejam analisados em conjunto com as estatísticas apresentadas nas secções seguintes.

4.4.5.1 PESO VOLÚMICO

A Tabela 4.18 apresenta os pesos volúmicos dos materiais correspondentes aos domínios identificados no Barroso, com base em medições laboratoriais de densidade realizadas em 378 sondagens diamantadas de recursos e geotécnicas, recorrendo ao método de deslocamento de água.

Tabela 4.18 – Estatísticas do peso volúmico por domínio.

Domínio	Laboratório tal como recebido				
	Média (kN/m³)	Mínimo (kN/m³)	Máximo (kN/m³)	Desvio Padrão	Contagem
T_PEG	24	19	28	3	24
F_PEG	26	24	28	1	39
W_SCH	23	18	26	2	30
T_SCH	25	21	27	1	98
F_SCH	27	22	29	1	187

4.4.5.2 RESISTÊNCIA DO MATERIAL INTACTO

O estudo estimou a resistência do material intacto principalmente a partir da extensa base de dados de resistências estimadas em campo, obtidas durante o programa de descrição geotécnica. Os dados laboratoriais de UCS são menos numerosos, frequentemente enviesados e, por esse motivo, nem sempre representativos das resistências dos domínios. Assim, os resultados laboratoriais de UCS são geralmente utilizados apenas para validar as estimativas de campo nos intervalos correspondentes. Quando necessário, a base de dados de campo é posteriormente calibrada utilizando ferramentas internas, com base nos resultados dessa validação. Para além deste propósito, os dados laboratoriais de UCS não são utilizados adicionalmente.

A Figura 4.30 apresenta uma comparação entre os valores de UCS obtidos em laboratório e as resistências estimadas em campo correspondentes aos intervalos de onde foram recolhidas as amostras. Idealmente, todos os resultados de ensaio válidos deverão situar-se dentro da zona alvo sombreada a verde, indicando elevada precisão das estimativas de resistência em campo. Atendendo à inerente imprecisão associada à estimativa de resistências em campo, o estudo considera aceitáveis as estimativas quando os dados se situam maioritariamente dentro de uma classe de resistência acima ou abaixo da zona alvo – isto é, entre as linhas tracejadas, vermelha e azul.

Conforme ilustrado na Figura 4.30, este critério é cumprido, com exceção de um conjunto reduzido de amostras que se situam ligeiramente abaixo da linha pontilhada vermelha, as quais foram consideradas resultados de ensaio inválidos. De um modo

geral, estes resultados confirmam que as estimativas de resistência efetuadas em campo são fiáveis.

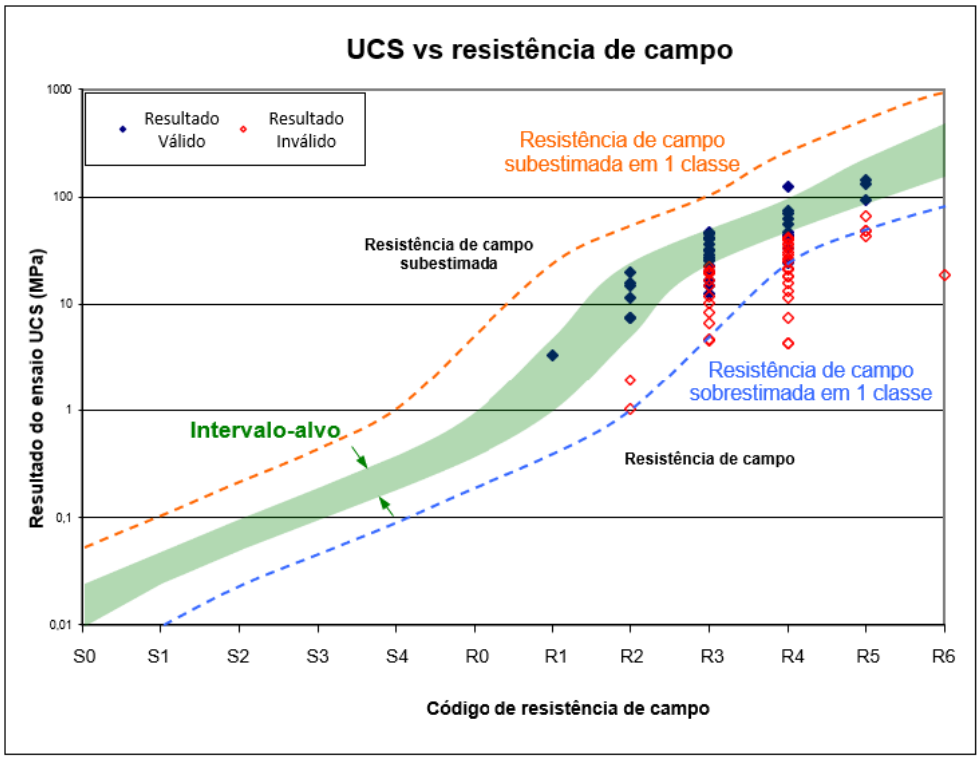


Figura 4.30 – Validação das estimativas de UCS de campo e de laboratório.

A Tabela 4.19 apresenta os resultados da resistência de campo estimada para os vários domínios geotécnicos.

Tabela 4.19 – Resultados das resistências estimadas por domínio geotécnico.

Domínio	Média ponderada (MPa)	Mediana (MPa)	Mínimo (MPa)	Máximo (MPa)	Desvio Padrão	Comprimento de carote descrito (m)
T_PEG	35,5	37,5	1,0	175,0	30,2	499,9
F_PEG	163,6	175,0	3,0	375,0	88,5	3168,6
W_SCH	3,8	0,6	1,0	15,0	4,9	45,6
T_SCH	30,0	37,5	1,0	375,0	16,8	2041,6
F_SCH	74,4	75,0	3,0	375,0	42,5	6171,5

4.4.5.3 CLASSIFICAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO SEGUNDO O GSI

A classificação do maciço rochoso para o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso foi realizada utilizando o Índice de Resistência Geológica (*Geological Strength Index* – GSI),

um sistema amplamente aplicado para estimar a resistência e os parâmetros de deformação do maciço rochoso (Hoek et al., 1995). O sistema GSI baseia-se em dois parâmetros fundamentais:

- Estrutura da rocha;
- Condição das superfícies das descontinuidades.

Os valores de GSI podem ser estimados diretamente através da inspeção de exposições rochosas ou, de forma indireta, por análise dos dados de *logging* de carote, incluindo a conversão a partir de outros sistemas de classificação do maciço rochoso, como o RMR e o Q (ver Hoek et al., 1995 para definições e procedimentos).

Para o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, determinaram-se os valores de GSI principalmente a partir dos dados de *logging*, abordagem que constitui prática corrente em projetos *greenfield*, onde as exposições são limitadas e a observação direta é, regra geral, inviável.

Os sistemas de classificação do maciço rochoso incorporam parâmetros como a resistência do material intacto, o RQD, a frequência de fracturação (indiretamente) e as características das superfícies das descontinuidades. Para maciços rochosos com qualidade superior à classificação RMR "razoável", o GSI é geralmente derivado do RMR. Por outro lado, para maciços rochosos de qualidade inferior a "razoável", o GSI é estimado a partir do sistema Q.

Os dados de entrada para este processo foram extraídos da base de dados de caracterização de carote. As descrições de geologia de engenharia fornecem uma visão geral das características geotécnicas que sustentam a classificação para as diferentes unidades litológicas.

As estimativas de GSI resultantes encontram-se resumidas na Tabela 4.20. De um modo geral, são esperadas condições de terreno de fraca qualidade no Xisto Alterado, onde o maciço rochoso se encontra fortemente alterado e apresenta baixa resistência. A zona de transição é classificada como apresentando condições de terreno razoáveis. O Pegmatito Fresco e o Xisto Fresco são classificados como maciços rochosos de boa qualidade

Tabela 4.20 – Estatísticas de GSI por domínio geotécnico.

Domínio	Média ponderada	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Comprimento de carote descrito (m)	Descrição do maciço segundo RMR
T_PEG	47,5	43,6	28	76	13,2	483,5	Razoável
F_PEG	71,0	67,0	31	91	13,1	2983,3	Bom
W_SCH	30,2	26,5	23	39	3,6	45,6	Pobre
T_SCH	46,7	42,0	24	82	11,9	1848,8	Razoável
F_SCH	63,3	58,8	29	88	12,5	5807,1	Bom

4.4.5.4 PARÂMETRO m_i DE HOEK-BROWN

O parâmetro m_i de Hoek–Brown, um fator integrante do critério de rotura de Hoek–Brown (Hoek et al., 1995), depende da litologia e da textura da rocha. Para o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, os valores de m_i foram selecionados com base em literatura publicada, critérios de engenharia e nas razões UCS/ITS apresentadas na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 – Valores estimados de m_i a partir de diferentes fontes.

Domínio	UCS	ITS	Razão UCS/ITS	Valor de resistência
W_SCH	4,0	1,0	4,1	_
T_SCH	30,0	3,0	10,01	_
F_SCH	74,0	6,7	11,1	12 ±3[1]
SCH (all data)	74,0	5,5	13,5	12 ±3[1]
PEG (all data)	164	6,0	27,1	27 ±3[1]

[1] *Read and Stacey, 2009*

4.4.5.5 RESISTÊNCIA DO MACIÇO ROCHOSO AO CISALHAMENTO PELOS ENSAIOS TRIAXIAIS DE HOEK

Foram realizados ensaios triaxiais em célula de Hoek de estágio único em amostras de Pegmatito e de Xisto. Foi recolhido e preparado um conjunto representativo de provetes, tendo sido ensaiadas três amostras em cada nível de pressão de confinamento – 1 MPa, 2 MPa e 3 MPa. Os resultados obtidos nestes estágios foram utilizados para construir envolventes de rotura segundo Mohr–Coulomb, a partir das quais foram derivados parâmetros lineares de resistência ao cisalhamento. Estes resultados foram comparados com os parâmetros de Mohr–Coulomb estimados a partir do critério de Hoek–Brown, ao longo do intervalo relevante de tensões normais. A comparação é apresentada na Tabela 4.22.

Tabela 4.22 – Comparação das resistências ao cisalhamento do maciço rochoso obtidas a partir dos parâmetros de Hoek–Brown vs ensaios triaxiais de Hoek.

Domínio	Mohr-Coulomb (parâmetros de Hoek-Brown)			Mohr-Coulomb (Triaxial de Hoek)		
	Intervalo de tensão normal (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)	Contagem
T_PEG	800–3 300	900	49	7 000	53	5
F_PEG	1 800–8 000	4 300	60	8 000	55	9
W_SCH	_	_	_	_	_	_
T_SCH	750–3 000	650	39	2 000	47	17
F_SCH	1 400–5 500	2 000	50	5 000	52	30

4.4.5.6 RESISTÊNCIA DAS DESCONTINUIDADES

O critério de resistência ao cisalhamento de descontinuidades de Barton–Bandis (Barton, 1973) foi utilizado para estimar os parâmetros de resistência ao cisalhamento das descontinuidades. Os parâmetros deste critério incluem a Resistência à Compressão das Paredes da Diaclase (Joint Wall Compressive Strength – JCS), o Coeficiente de Rugosidade da Diaclase (Joint Roughness Coefficient – JRC) e o Ângulo de Atrito Básico/Residual (ϕ_r):

- **JCS** é estimado a partir da resistência do material registada no *logging*, ajustado de acordo com os graus relativos de alteração do material descrito e da descontinuidade;
- **JRC** baseia-se nas características das superfícies das descontinuidades registadas no *logging*;
- **ϕ_r** é estimado a partir dos ensaios de cisalhamento direto e de tabelas para os tipos de rocha mais comuns disponibilizadas no programa Rocscience RSData.

Estimativa do Ângulo de Atrito Residual (ϕ_r)

Foram realizados ensaios de cisalhamento direto em pegmatitos e xistos. A estimativa do valor de ϕ_r para estes ensaios baseou-se no seguinte procedimento:

- Ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades naturais:
  - Não foram determinados ângulos corrigidos de acordo com o método de Hencher (ou seja, ângulos de atrito básico/residual) (Hencher, 1995), a partir dos ensaios em descontinuidades naturais nas unidades de pegmatito e de xisto;
  - Os resultados de resistência ao cisalhamento de pico das descontinuidades naturais foram representados graficamente, conforme apresentado na Figura 4.31 e na Figura 4.33. Estes resultados foram posteriormente utilizados para estimar as resistências ao cisalhamento das unidades de pegmatito e de xisto e para validar os resultados de Mohr–Coulomb através do critério de Barton–Bandis.

- Valores de ϕ_r publicados por Read e Stacey (2009) para pegmatito e xisto:
  - Pegmatito fresco: 31° to 35°
  - Xisto fresco: 26° to 29°.

Os resultados desta análise indicam que as estimativas de resistência ao cisalhamento que melhor se ajustam (regressão linear) aos ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades naturais, bem como os parâmetros de Barton–Bandis, permitem estimar de forma consistente as resistências ao cisalhamento segundo Mohr–Coulomb, tanto para as unidades de pegmatito como de xisto.

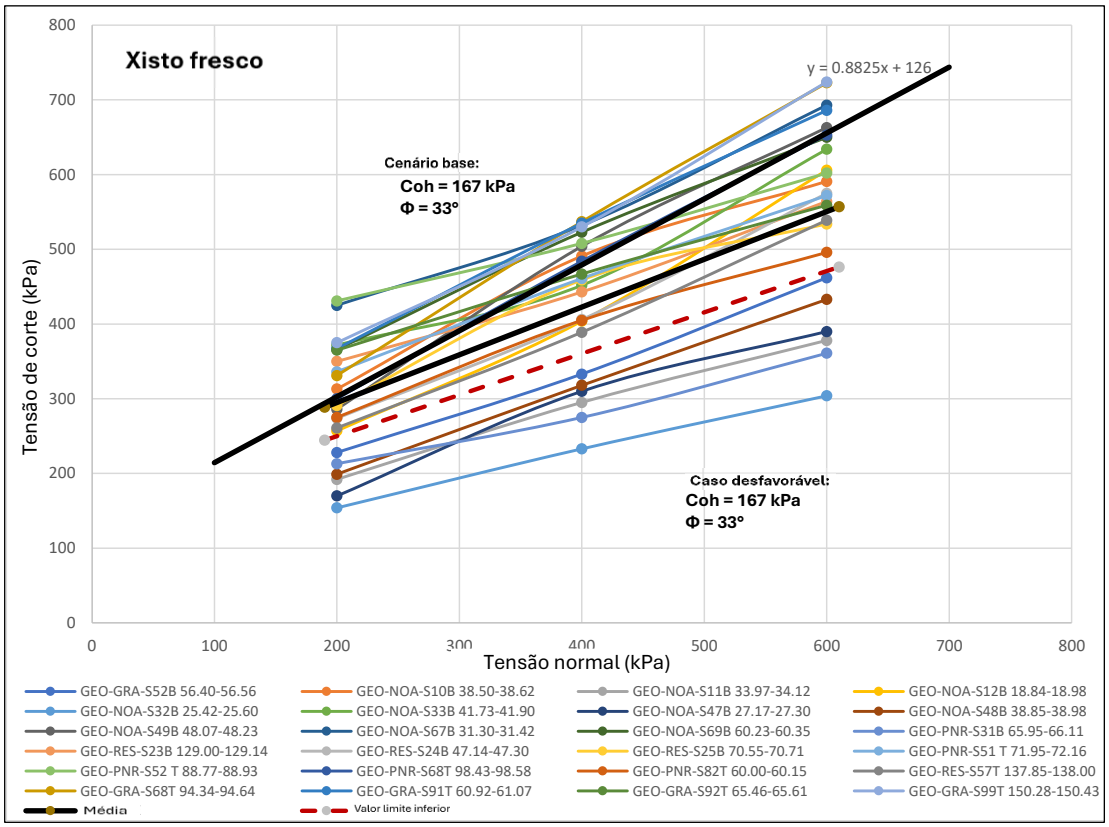


Figura 4.31 – Resultados de pico dos ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades naturais para o Xisto Fresco.

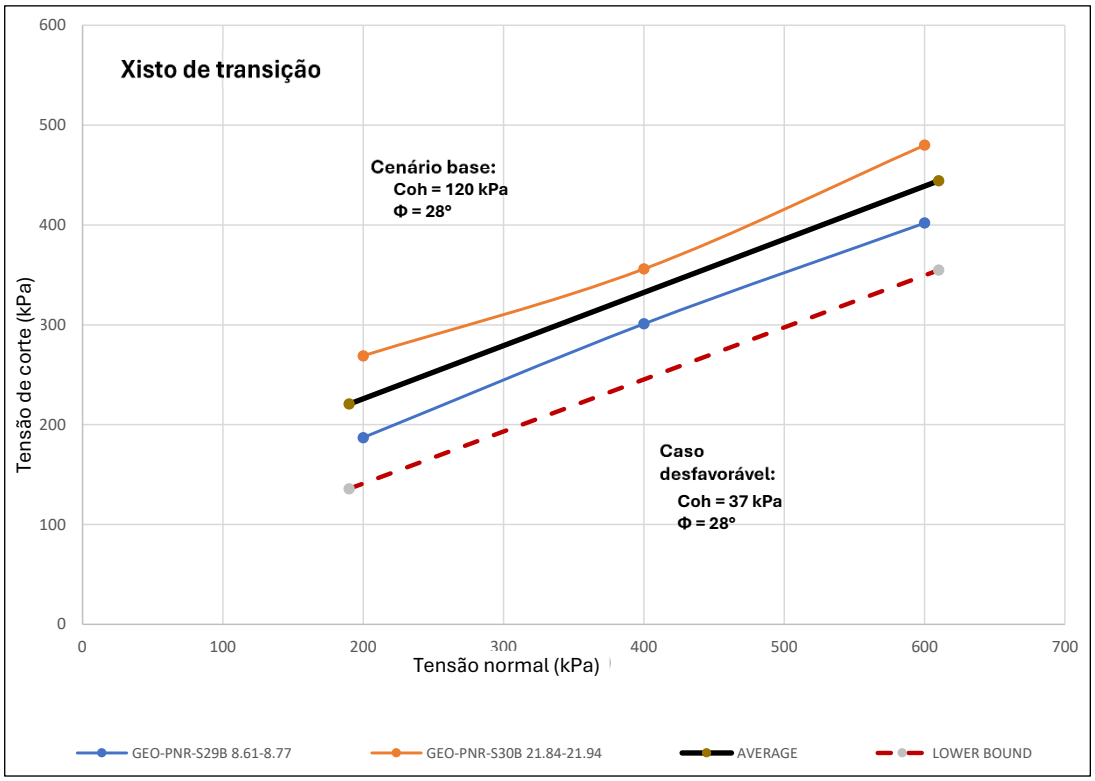


Figura 4.32 – Resultados de pico dos ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades naturais para o Xisto de Transição.

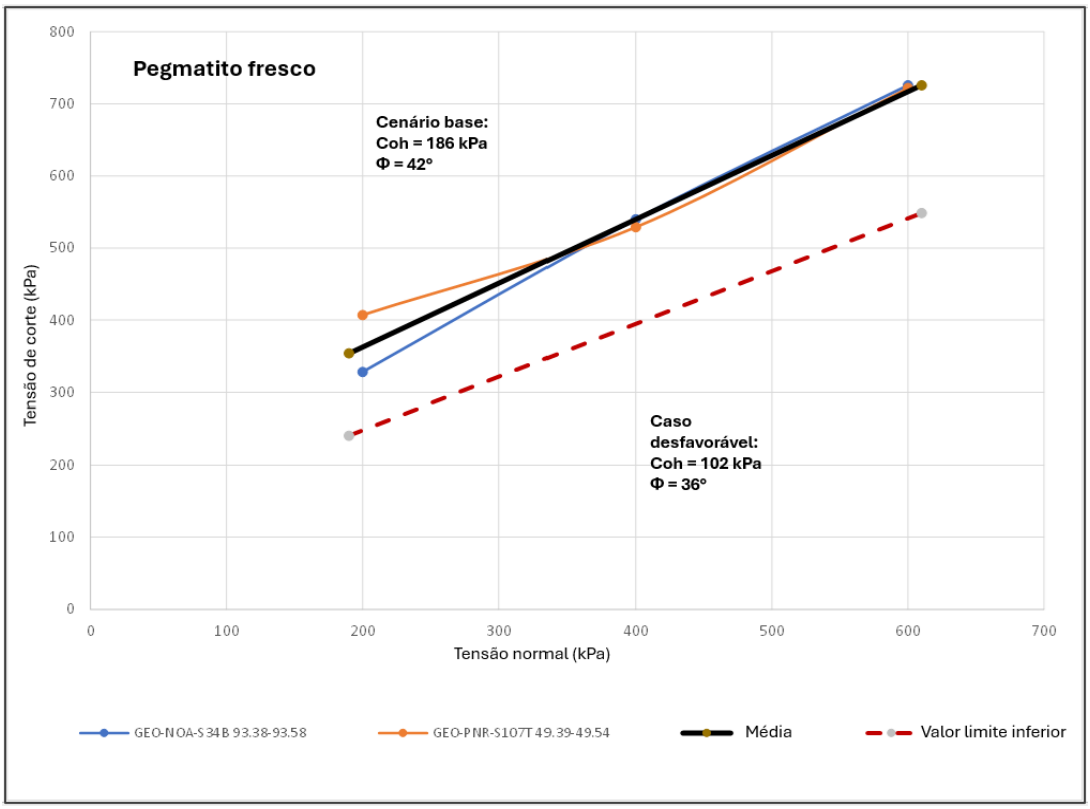


Figura 4.33 – Resultados de pico dos ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades naturais para a pegmatito.

Características de resistência das descontinuidades

As Tabela 4.23, Tabela 4.24 e Tabela 4.25 apresentam, respetivamente, as estatísticas de JRC, JCS e os valores de ϕ_r para os diferentes domínios.

Tabela 4.23 – Estatísticas de JRC por domínio.

Domínio	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Contagem
T_PEG	2,0	2,0	2,0	3,0	0,5	428
F_PEG	4,5	2,5	1,0	20,0	4,9	1 536
W_SCH	9,3	11,0	2,0	20,0	6,2	14
T_SCH	4,9	1,5	1,0	20,0	5,1	1 480
F_SCH	5,1	2,5	1,0	20,0	5,1	3 105

Tabela 4.24 – Estatísticas de JCS por domínio.

Domínio	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Contagem
T_PEG	23,0	18,8	0,0	88,0	20,8	428

Domínio	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Contagem
F_PEG	106,0	87,5	3,0	375,0	80,8	1 536
W_SCH	3,3	0,6	0,0	15,0	4,9	14
T_SCH	21,5	18,8	0,0	75,0	14,9	1 480
F_SCH	49,4	37,5	2,0	375,0	83,1	3 105

Tabela 4.25 – Ângulo de atrito residual por domínio.

Domínio	Phir (°)
T_PEG[1]	30
F_PEG	31
W_SCH[1]	25
T_SCH[1]	26
F_SCH	27

[1]Resistência inferior à do material fresco

4.4.6 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DE DESIGN

Os parâmetros geotécnicos de *design* são utilizados nas análises de estabilidade dos taludes globais e incluem o seguinte:

- Peso volúmico;
- Resistência ao cisalhamento do maciço rochoso fresco e alterado;
- Resistência ao cisalhamento das descontinuidades em material fresco e alterado.

Estes parâmetros são discutidos nas secções seguintes.

4.4.6.1 PESO VOLÚMICO

A Tabela 4.26 apresenta os pesos volúmicos do *design*. Estes correspondem aos valores médios dos ensaios laboratoriais, conforme apresentado na Tabela 4.18.

Tabela 4.26 – Peso volúmico do *design*.

Dmonínio	Grau de meteorização	Peso Volúmico (kN/m³)
T_PEG	Meteorizado	24
F_PEG	Fresco	26
W_SCH	Meteorizado	23
T_SCH	Meteorizado	25
F_SCH	Fresco	27
Fault[1]	Meteorizado	21

[1]*Extraido de Wyllie & Norrish (1996)*

4.4.6.2 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO MACIÇO ROCHOSO

Os parâmetros apresentados na secção 4.4.5 foram utilizados para estimar as resistências ao cisalhamento dos maciços rochosos, tanto em condições frescas como alteradas. Estes valores de resistência ao cisalhamento são aplicados nas análises de estabilidade dos taludes globais às escalas global e inter-rampa. As análises de estabilidade por equilíbrio limite para materiais frescos e alterados foram realizadas utilizando o programa Slide2 da Rocscience. As resistências de *design* do maciço rochoso foram derivadas com base no critério de Hoek–Brown, que incorpora como parâmetros de entrada a UCS, o GSI e o m_i.

Taludes globais às escalas global e inter-rampa

As resistências ao cisalhamento do maciço rochoso não perturbado são aplicadas nas análises de estabilidade dos taludes globais às escalas global e inter-rampa. A Tabela 4.27 apresenta os parâmetros de entrada de Hoek–Brown de *design* utilizados para definir a resistência do maciço rochoso para cada domínio.

O parâmetro de perturbação (*disturbance factor*, D) reflete os efeitos de dano no maciço rochoso próximo da superfície resultantes do alívio de tensões e do desmonte, assumindo valores entre zero (não perturbado) e um (altamente perturbado). Considerou-se adequado adotar um valor de D = 0 para a escala global e inter-rampa dos taludes globais em todas as unidades frescas e alteradas do Barroso. No entanto, foi igualmente adotado um valor para o limite inferior de D = 0,7 para efeitos de análise de sensibilidade.

Com exceção dos parâmetros m_i e D (que assumem valores únicos), as distribuições dos parâmetros UCS e GSI são, de um modo geral, assimétricas. Assim, foram utilizados valores medianos, em vez de valores médios.

As resistências ao cisalhamento do maciço rochoso segundo Mohr–Coulomb resultantes, bem como os intervalos válidos de tensão normal, são apresentados na Tabela 4.27, enquanto a Tabela 4.28 apresenta os parâmetros de limite inferior adotados para as análises de sensibilidade.

Tabela 4.27 – Parâmetros de design de Hoek–Brown e equivalentes de Mohr–Coulomb para a análise de estabilidade do talude global – caso base.

	Parâmetros de entrada Hoek–Brown	Resistência ao cisalhamento equivalente Mohr–Coulomb	
Domínio	**Intervalo de tensão normal (kPa)**	**Coesão (kPa)**	**Ângulo de atrito (°)**
T_PEG	800–3 300	900	49
F_PEG	1 800–8 000	4 300	60
W_SCH	-	-	-
T_SCH	750–3 000	650	39
F_SCH	1 400–5 500	2 000	50
Fault[1]	-	25	25

[1]*Extraído de Wyllie & Norrish (1996).*

Tabela 4.28 – Parâmetros de design de Hoek–Brown e equivalentes de Mohr–Coulomb para a análise de estabilidade do talude global – caso de limite inferior.

	Parâmetros de entrada Hoek–Brown		Resistência ao cisalhamento equivalente Mohr–Coulomb	
Domínio	**UCS (MPa)**	**GSI**	**Coesão (kPa)**	**UCS (MPa)**
T_PEG	0,7	-	-	-
F_PEG	0,7	-	-	-
W_SCH	0,7	-	-	-
T_SCH	0,7	-	-	-
F_SCH	0,7	-	-	-
Fault[1]	-	-	20	20

[1]*Valores reduzidos relativamente ao caso base.*

Nota: Apenas os valores de UCS e do fator de perturbação D foram considerados na análise de sensibilidade, uma vez que estes dois parâmetros são os mais influentes em comparação com os restantes. Consequentemente, não foram estimadas resistências ao cisalhamento segundo Mohr–Coulomb para este caso.

4.4.6.3 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DAS DESCONTINUIDADES

A resistência ao cisalhamento das descontinuidades é aplicada nas análises de estabilidade do talude à escala da face de patamar, em particular para mecanismos cinemáticos de escorregamento planar e em cunha. As resistências de *design* das descontinuidades foram estimadas com base nos parâmetros de Barton–Bandis discutidos na secção da resistência das descontinuidades.

Os parâmetros de *design* de Barton–Bandis resultantes são apresentados na Tabela 4.29 e definem a resistência das descontinuidades para cada um dos domínios Fresco e Meteorizado, respetivamente, à escala da face de patamar. Com exceção do parâmetro ϕ_r (valor único), a maioria das distribuições dos parâmetros é assimétrica ou bimodal; por esse motivo, foram adotados valores medianos em vez de valores médios.

As tabelas apresentam igualmente parâmetros indicativos de resistência ao cisalhamento segundo Mohr–Coulomb para intervalos de tensão normal relevantes para análises à escala da face de patamar. Os resultados indicam que ambas as abordagens – quer baseadas em dados de logging, quer em resultados de ensaios laboratoriais – produziram resultados consistentes (Figura 4.31 a Figura 4.33).

As Tabela 4.30 e Tabela 4.31 apresentam as resistências de design ao cisalhamento das descontinuidades derivadas de ambas as fontes de dados para as escalas de face de patamar e global. Para a escala global, as resistências ao cisalhamento incluem igualmente o caso de limite inferior, que será aplicado na análise de sensibilidade.

Importa salientar que o Xisto de Transição e o Xisto Fresco foram incluídos nas análises cinemáticas, uma vez que estas duas litologias são expectavelmente dominantes nas paredes expostas das cortas mineiras do Barroso.

Tabela 4.29 – Parâmetros de Barton–Bandis e resultados equivalentes de Mohr–Coulomb à escala da face de patamar.

Domínio	Parâmetros de Barton-Bandis			Equivalent Mohr-Coulomb cisalhamento strength		
	JCS (MPa)	JRC	Phi_r (°)	Normal stress range (kPa)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
T_PEG	23	1,5	30	50–250	4	32
F_PEG	87,5	2,5	31	50–250	8	36
W_SCH	1	1,5	25	50–250	4	26
T_SCH	18,8	1,5	26	50–250	4	28
F_SCH	37,5	2,5	27	50–250	7	31

Tabela 4.30 – Resistências de *design* ao cisalhamento das descontinuidades – escala da face de patamar.

Domínio	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
T_PEG	6	32
F_PEG	12	36
W_SCH	5	25
T_SCH	5	28
F_SCH	10	31

Tabela 4.31 – Resistências de *design* ao cisalhamento das descontinuidades – escalas globais e inter-rampa.

Domínio	Caso Base		Caso de limite inferior	
	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
T_PEG	52	36	25	33
F_PEG	95	39	55	35
W_SCH	4	26	4	25
T_SCH	60	28	20	28
F_SCH	85	32	70	29

4.4.7 MODOS POTENCIAIS DE INSTABILIDADE

Foram realizadas análises de estabilidade dos taludes globais às escalas global, inter-rampa e da face de patamar no âmbito deste estudo. Os modos potenciais de instabilidade nas diferentes escalas de talude são discutidos nas secções seguintes.

4.4.7.1 ESCALA DE TALUDE GLOBAL E INTER-RAMPA

Da análise anterior, são possíveis vários modos de instabilidade às escalas global e inter-rampa nas cortas mineiras do Barroso:

- Instabilidade controlada estruturalmente, em que o escorregamento ocorre maioritariamente ao longo de diaclases principais e da foliação, nos seguintes domínios:
  - GRA_Structural_Domain_03 and 04
  - NOA_Structural_Domain_03
  - RES_Structural_Domain_01 and 04
  - PIN_Structural_Domain_01, 02 and 07.

- Modo de rotura combinado com controlo estrutural parcial, em que o escorregamento pode ocorrer parcialmente através do maciço rochoso ou do

solo e parcialmente ao longo das estruturas. Este modo foi identificado nos seguintes domínios:

- GRA_Structural_Domain_03
- RES_Structural_Domain_01, 02, and 04
- PIN_Structural_Domain_01 and 02.

- Instabilidade com controlo estrutural limitado, em que o escorregamento ocorre predominantemente através do maciço rochoso ou do solo. Esta condição verifica-se quando o material se encontra meteorizado ou desagregado e/ou quando as principais estruturas ou diaclases mergulham para o interior do talude global e/ou apresentam direção oblíqua relativamente ao talude. Este modo aplica-se a todo o material meteorizado exposto nas cortas mineiras.

4.4.7.2 Escala da Face de Patamar

Os modos potenciais de instabilidade à escala da face de patamar no Barroso são semelhantes aos observados a escalas de talude maiores:

- Escorregamento controlado estruturalmente ao longo de diaclases, quando a direção das diaclases é semelhante à do talude global;
- Escorregamento controlado estruturalmente de cunhas tetraédricas, formadas pela interseção de conjuntos de diaclases;
- Escorregamento rotacional através do maciço rochoso ou do solo, quando materiais aluvionares ou completamente meteorizados estão expostos nas paredes e as diaclases mergulham para o interior da parede e/ou apresentam direção oblíqua relativamente ao talude global;
- Modo de instabilidade combinado com controlo estrutural parcial, em que o escorregamento ocorre parcialmente através do maciço rochoso ou do solo e parcialmente ao longo das estruturas

4.4.8 Âmbito da Análise de Estabilidade

As secções seguintes descrevem o âmbito das análises de estabilidade, incluindo:

- Método de análise aplicado;
- Secções transversais dos taludes globais no desenho atual das cortas mineiras consideradas nas análises;
- Fator de Segurança (FoS) ou Probabilidade de Rotura (PoF) adotados no projeto;
- Parâmetros geotécnicos de *design* e modelos hidrogeológicos utilizados;
- *Software* de análise de estabilidade utilizado e os procedimentos aplicados nesse *software*.

4.4.8.1 Métodos de Análise

Análise determinística

A análise determinística de estabilidade constitui o método principal utilizado para as cortas mineiras do Barroso. Estas análises foram realizadas para:

- Escorregamento controlado estruturalmente ao longo de diaclases;
- Escorregamento rotacional através do maciço rochoso e/ou do solo;
- Combinações destes modos de instabilidade.

A escala destas análises abrangeu:

- Taludes à escala da face de patamar;
- Taludes à escala inter-rampa;
- Taludes à escala global.

Análise cinemática

A análise cinemática é o método principal utilizado para a análise à escala da face de patamar nos xistos meteorizados e frescos. Para esta análise foram utilizados os programas Rocscience RocSlope2 e Dips.

4.4.9 Análise da Estabilidade dos Taludes Globais

Conforme referido nas secções anteriores, foi realizada uma análise rigorosa da estabilidade para o desenho atual das cortas mineiras (ou da envolvente da Corta, no caso do Pinheiro). O programa de análise seguiu as etapas descritas abaixo:

- Análise de talude global à grande escala: a estabilidade do desenho inicial das cortas mineiras foi avaliada em cada secção à escala do talude global. Os resultados foram revistos com o objetivo de avaliar a estabilidade global das cortas mineiras e identificar setores de talude que necessitassem de avaliação adicional.
- Análise e conceção à escala da face de patamar: foram realizadas análises detalhadas de estabilidade à escala da face de patamar, bem como a conceção das faces de patamar e bermas.
- Modificações de conceção: sempre que necessário, foram implementadas modificações ao desenho nas secções relevantes para alcançar uma configuração otimizada. Salienta-se que, em alguns domínios geotécnicos, a conceção do talude inter-rampa pode ser condicionada pela configuração face de patamar–berma, mais do que por critérios de estabilidade global.

4.4.9.1 Análise do desenho inicial dos taludes inter-rampa e globais

As Figura 4.34 a Figura 4.37 apresentam os resultados das análises iniciais de estabilidade dos taludes inter-rampa e globais das cortas mineiras. Os resultados indicam que o Fator de Segurança (FoS) para todas as secções excede o critério de conceção de 1,3, na maioria dos casos por uma margem significativa. Este resultado reflete a extensão geralmente reduzida dos materiais de cobertura meteorizados, com

os taludes das cortas mineiras a serem predominantemente desenvolvidos em Xisto Fresco competente.

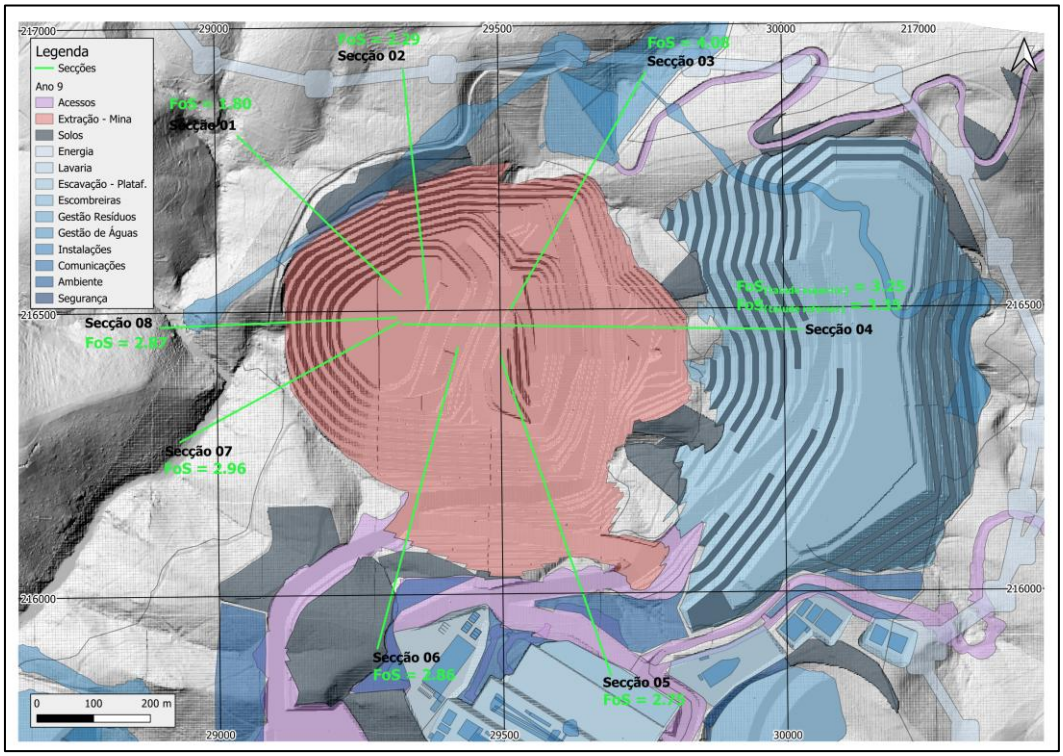


Figura 4.34 – Resultados das análises da Corta Mineira do Grandão utilizando o cenário de Caso Base, no ano 9.

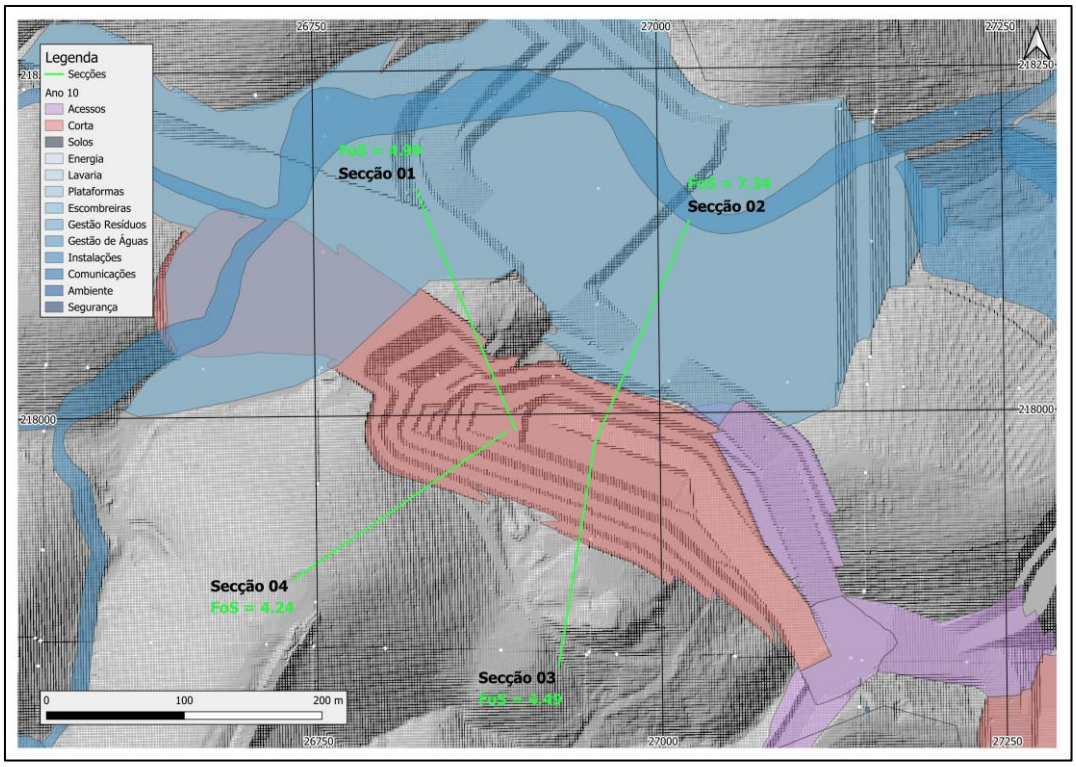


Figura 4.35 – Resultados das análises das Cortas Mineiras do NOA utilizando o cenário de Caso Base, no ano 10.

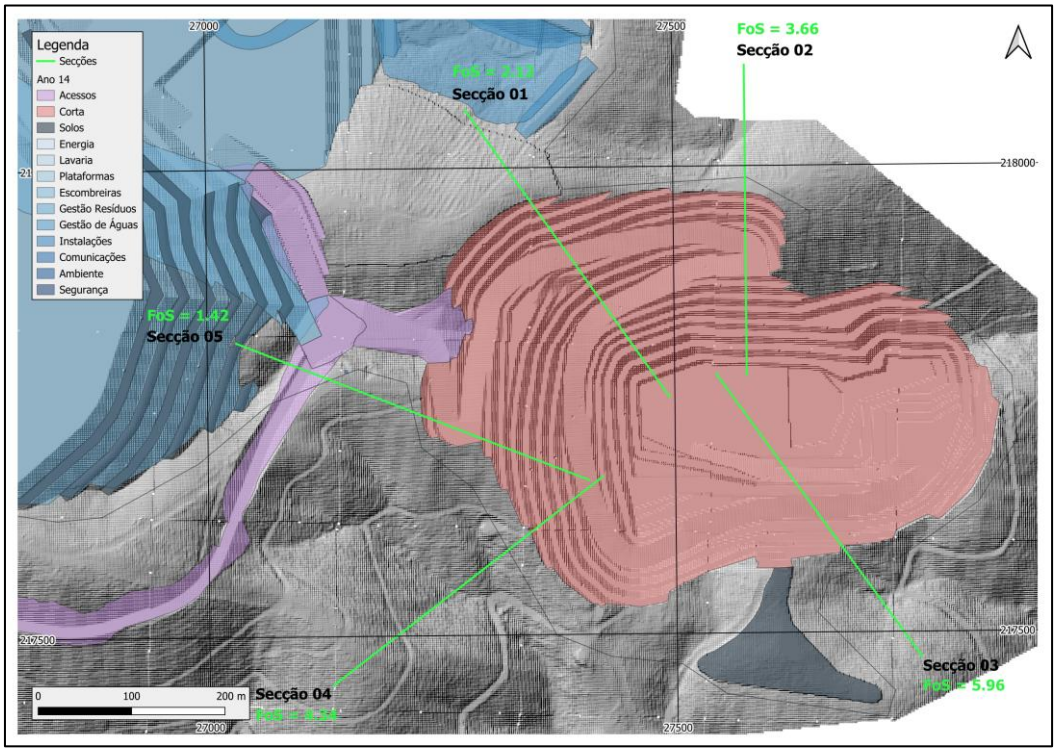


Figura 4.36 – Resultados das análises das Cortas Mineiras do Reservatório utilizando o cenário de Caso Base, no ano 14.

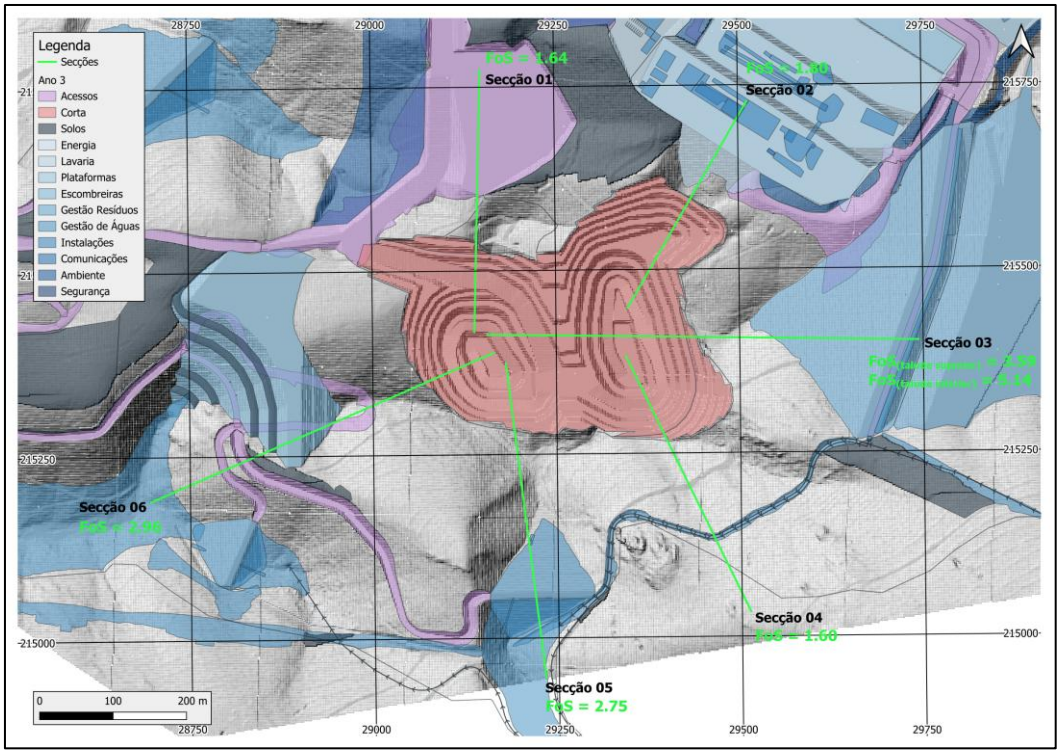


Figura 4.37 – Resultados das análises da Corta Mineira do Pinheiro utilizando o cenário de Caso Base, no ano 3.

4.4.9.2 ANÁLISE À ESCALA DA FACE DE PATAMAR

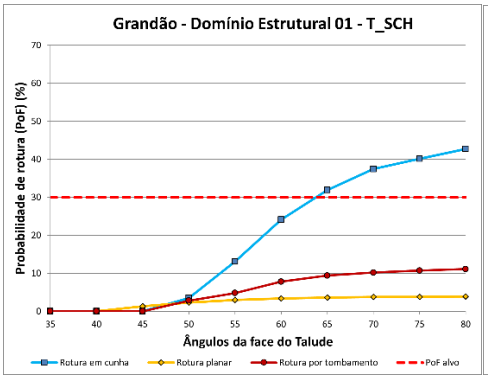
Foi realizada uma análise cinemática da estabilidade à escala da face de patamar para Xisto Meteorizado e Xisto Fresco, materiais que se prevê dominarem as paredes dos taludes globais nas cortas mineiras do Barroso. As análises foram efetuadas utilizando os programas RocSlope2 e Dips. Não foi realizada análise por equilíbrio limite de rotura do maciço rochoso, uma vez que as alturas das faces de patamar são relativamente reduzidas e os maciços rochosos são, em geral, competentes.

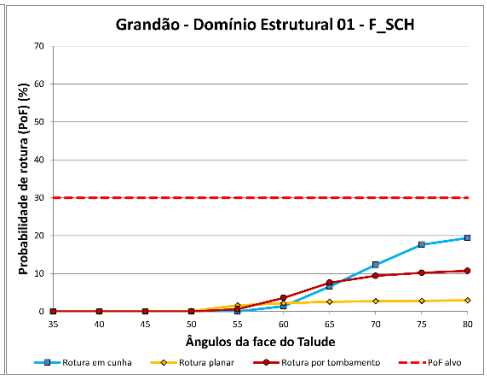
Com base nas projeções estereográficas, assume-se que os ambientes estruturais identificados a partir dos dados de *logging* são representativos de cada Corta mineira. Cada ambiente é considerado aplicável a todos os domínios de maciço rochoso intersetados na correspondente Corta mineira e no respetivo domínio estrutural.

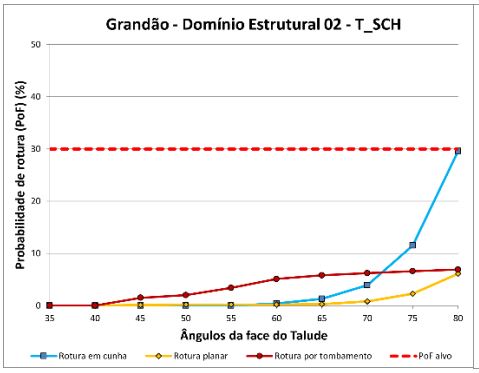
As análises em Dips foram utilizadas para identificar os principais conjuntos estruturais de cada depósito. Estes dados foram depois transferidos para o RocSlope2, onde os parâmetros das descontinuidades – incluindo ângulo de atrito, coesão, mergulho e direção de mergulho relativamente ao ângulo e direção do talude global – foram utilizados para estimar a Probabilidade de Rotura (PoF). Todos os registos de descontinuidades foram considerados na análise, incluindo as orientações e distribuições dos conjuntos identificados. As estimativas de PoF resultantes para o escorregamento cinemático, para diferentes ângulos e orientações de talude, são apresentadas nas Figura 4.38 a Figura 4.41.

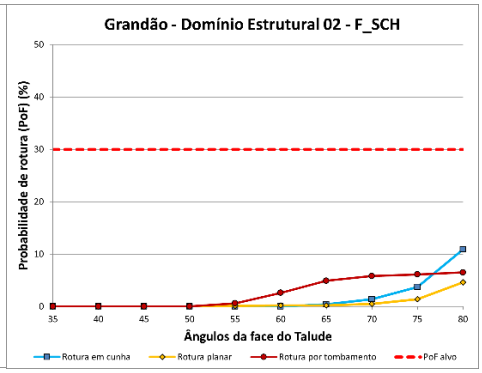
Para além do conjunto de dados estruturais, foram aplicados os seguintes parâmetros na determinação da configuração ótima da face de patamar, tanto para unidades meteorizadas como frescas:

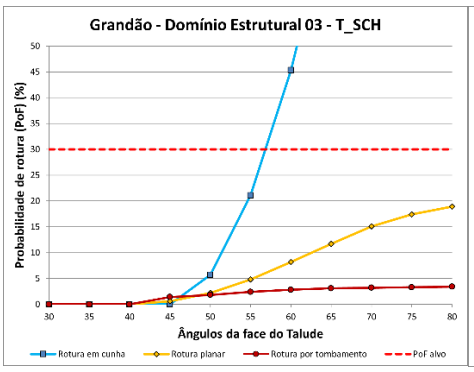
- Ângulos de face de patamar: 35° a 80°, com incrementos de 5°;
- Direção de mergulho do talude global: com base no rumo dominante do talude global no desenho inicial das cortas mineiras;
- Ângulo de atrito e coesão;
- Limite lateral: 20°, definido como a diferença máxima admissível entre a direção de mergulho da descontinuidade e a direção de mergulho do talude global, acima da qual o escorregamento planar não é considerado possível.

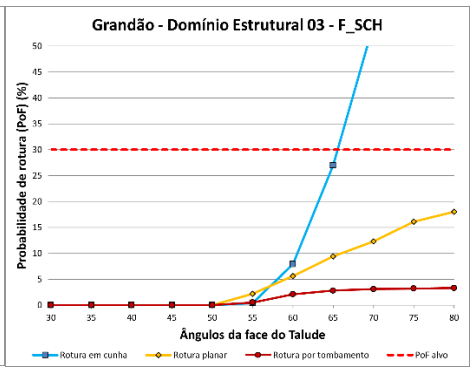

Grandão - Domínio Estrutural 01 - T_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo


Grandão - Domínio Estrutural 01 - F_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo


Grandão - Domínio Estrutural 02 - T_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo


Grandão - Domínio Estrutural 02 - F_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo


Grandão - Domínio Estrutural 03 - T_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo


Grandão - Domínio Estrutural 03 - F_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo

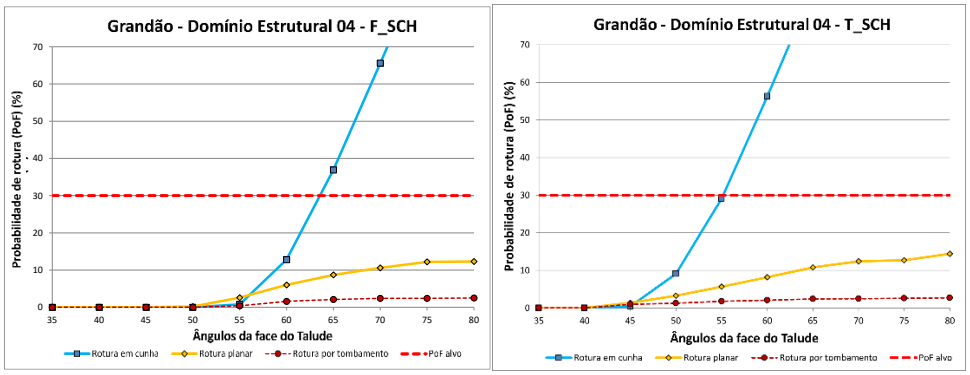
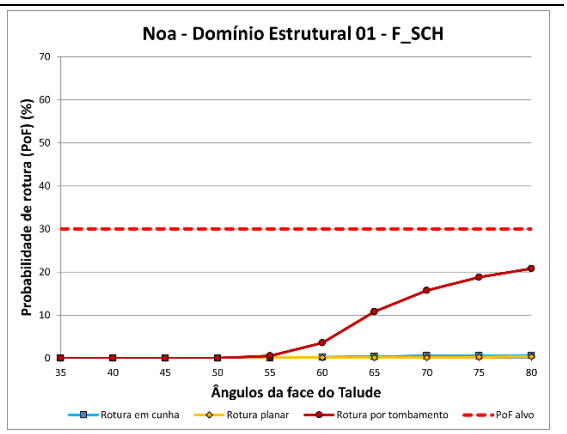
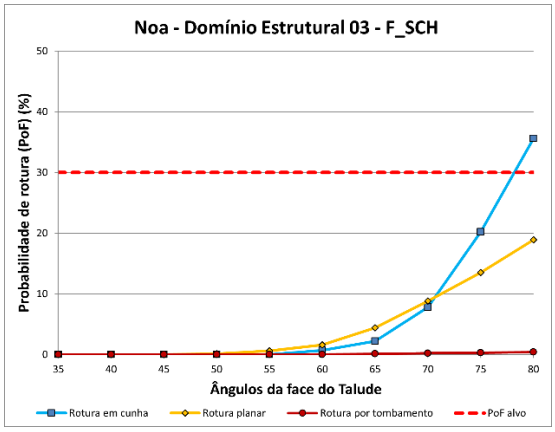


Figura 4.38 – Análises cinemáticas à escala da face de patamar no Grandão (aplicáveis a faces de patamar com 10 m e 20 m de altura).

Sem exposição de material meteorizado	
NOA_Domínio_Estrutural_02 (T_SCH) – não viável do ponto de vista cinemático	NOA_Structural_Domain_02 (F_SCH) – não viável do ponto de vista cinemático
Sem exposição de material meteorizado	

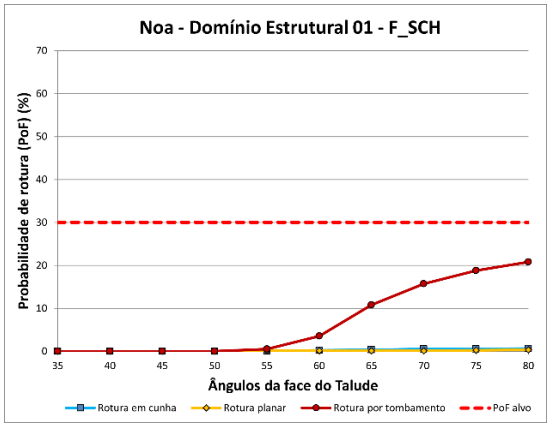
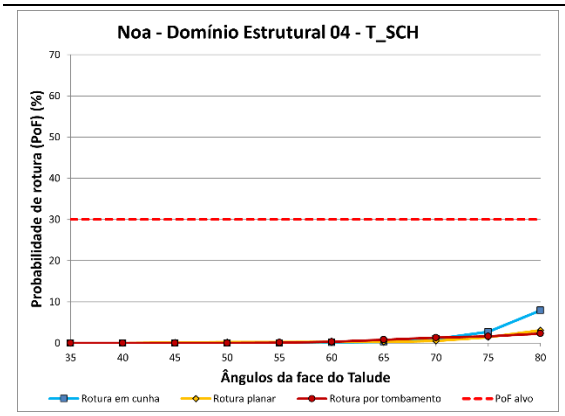
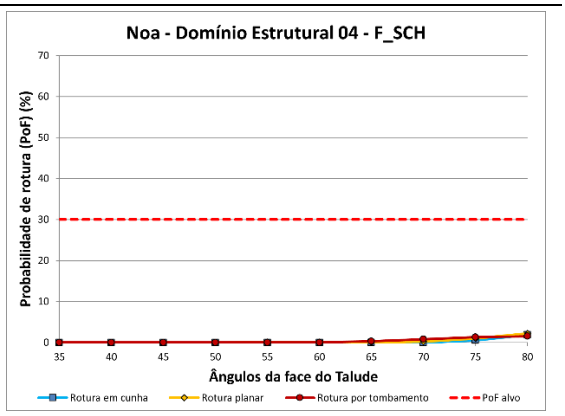
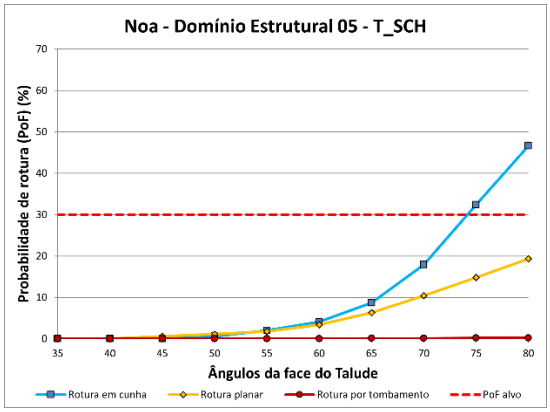
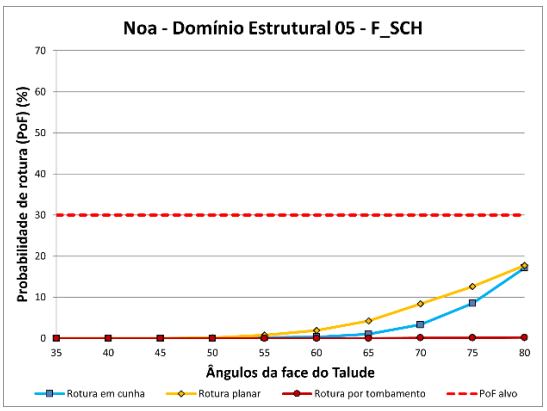
Sem exposição de material meteorizado	
	
	
	
	

Figura 4.39 – Análises cinemáticas à escala da face de patamar no Reservatório (aplicáveis a faces de patamar com 10 m e 20 m de altura).

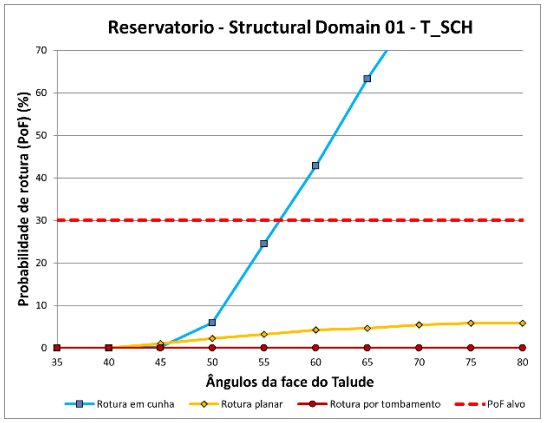
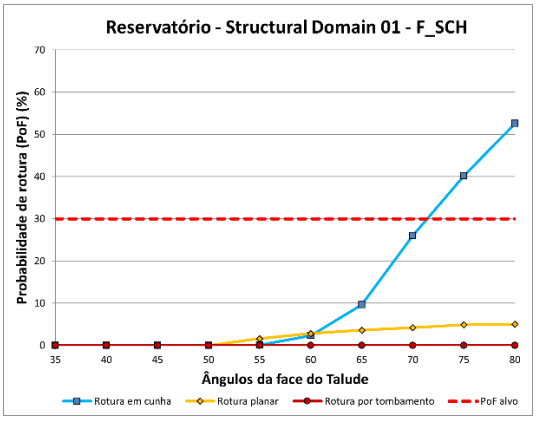
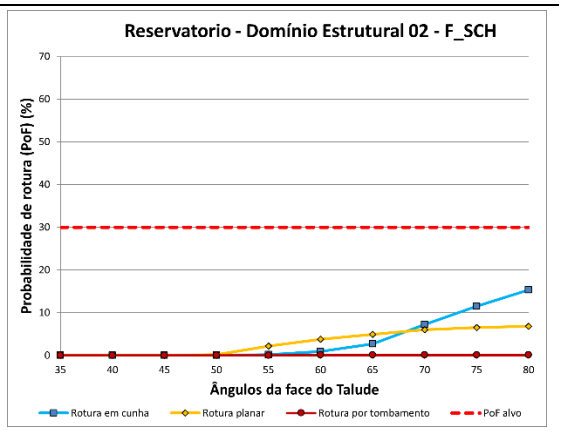
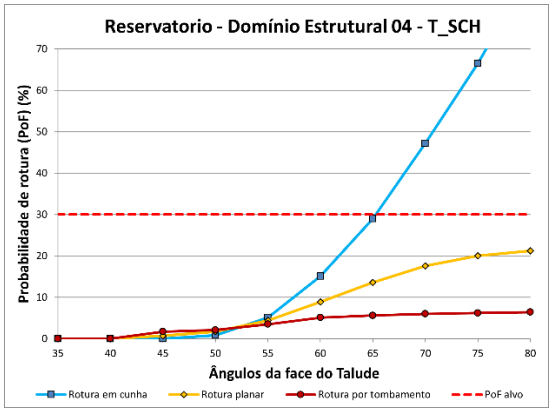
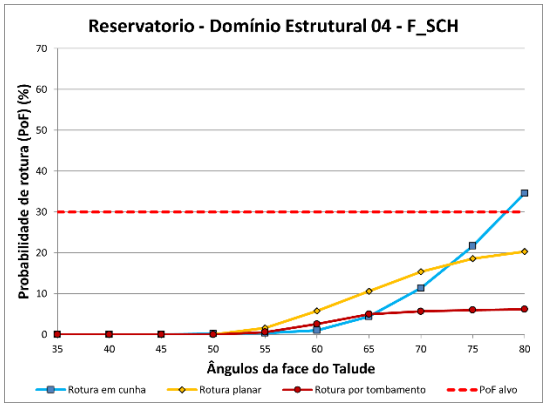
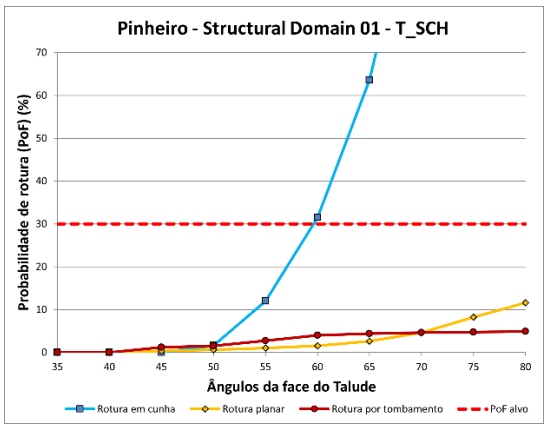
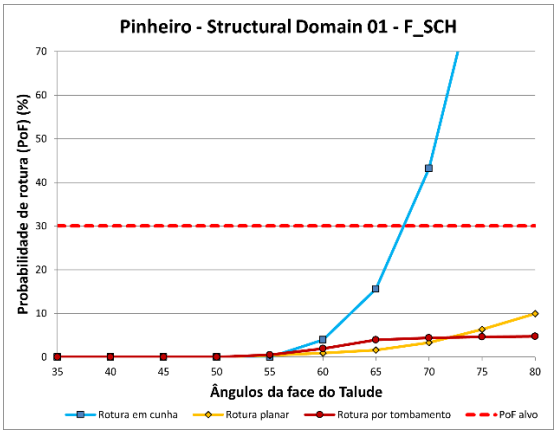
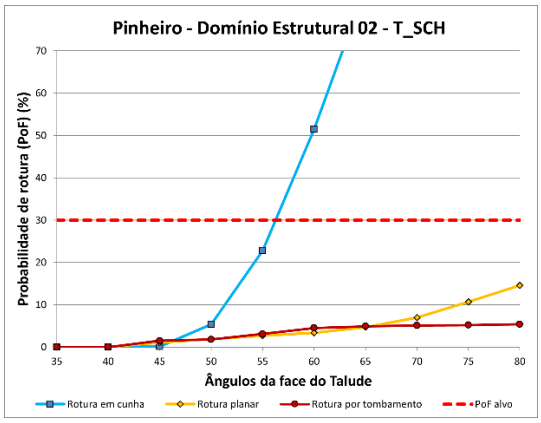
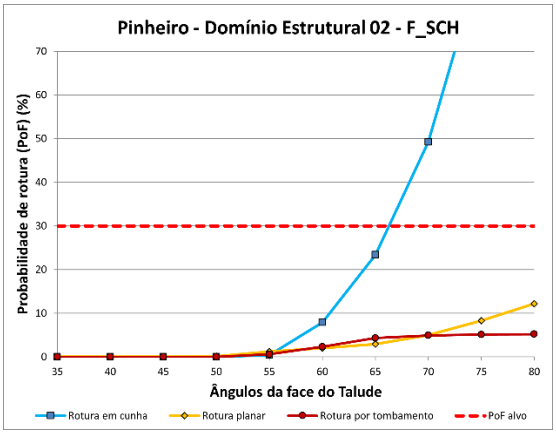
	
Sem exposição de material meteorizado	
Res_Structural_ Domínio_03 (T_SCH) – não viável do ponto de vista cinemático	Res_Structural_ Domínio_03 (F_SCH) – não viável do ponto de vista cinemático
	

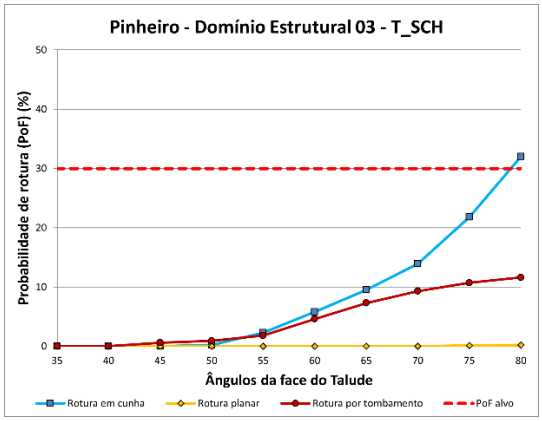
Figura 4.40 – Análises cinemáticas à escala da face de patamar no Pinheiro (aplicáveis a faces de patamar com 10 m e 20 m de altura).

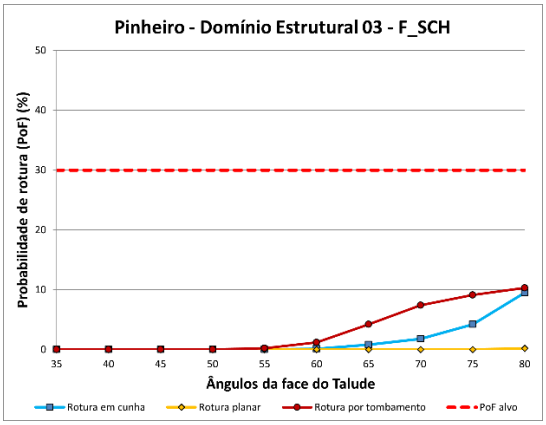

Pinheiro - Structural Domain 01 - T_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo

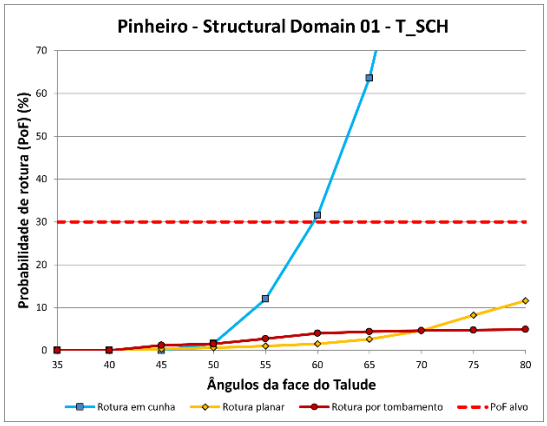

Pinheiro - Structural Domain 01 - F_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo

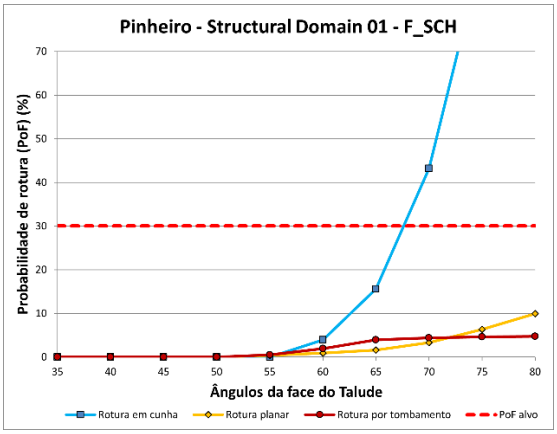

Pinheiro - Domínio Estrutural 02 - T_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo


Pinheiro - Domínio Estrutural 02 - F_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo

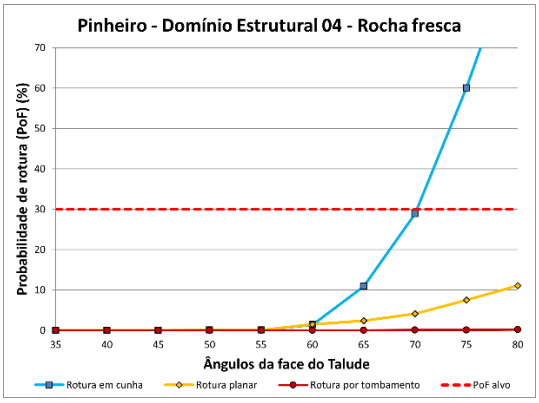

Pinheiro - Domínio Estrutural 03 - T_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo


Pinheiro - Domínio Estrutural 03 - F_SCH
Probabilidade de rotura (PoF) (%)
Ângulos da face do Talude
Rotura em cunha
Rotura planar
Rotura por tombamento
PoF alvo

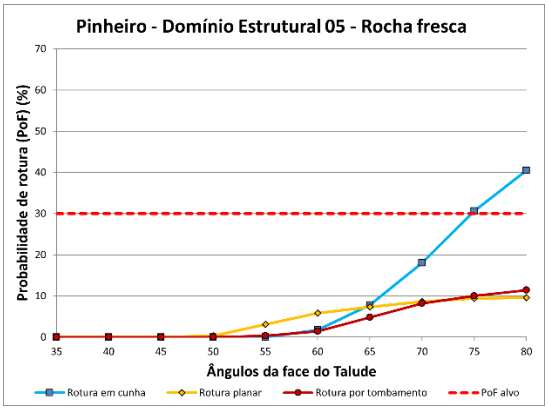


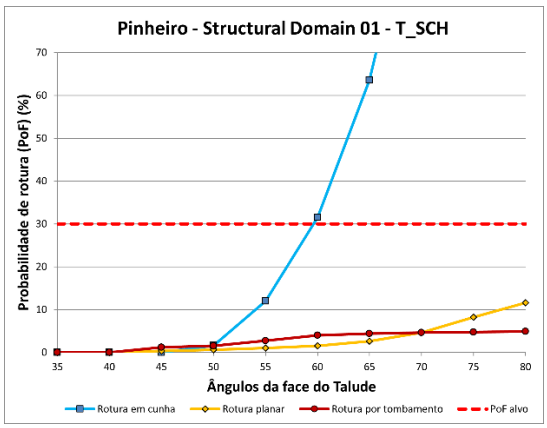


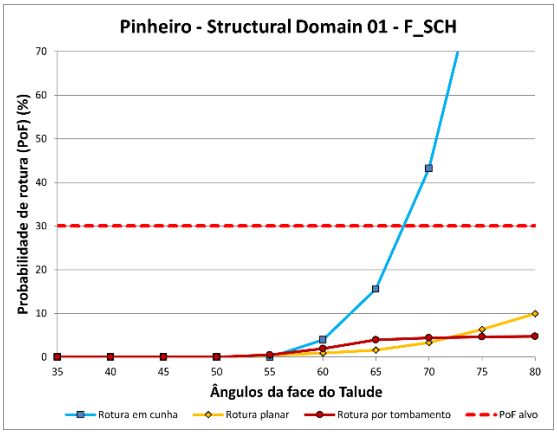
Com base numa Corta mineira de menor dimensão – sem exposição de material meteorizado



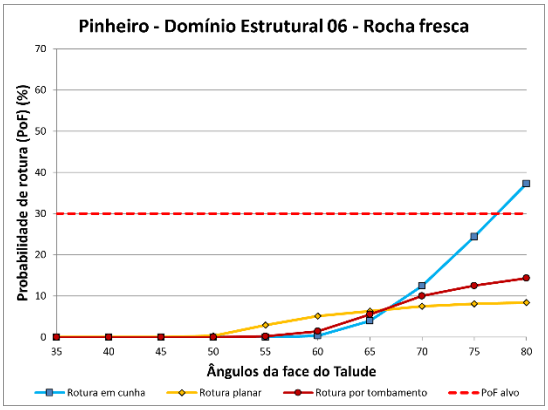
Com base numa Corta mineira de menor dimensão – sem exposição de material meteorizado

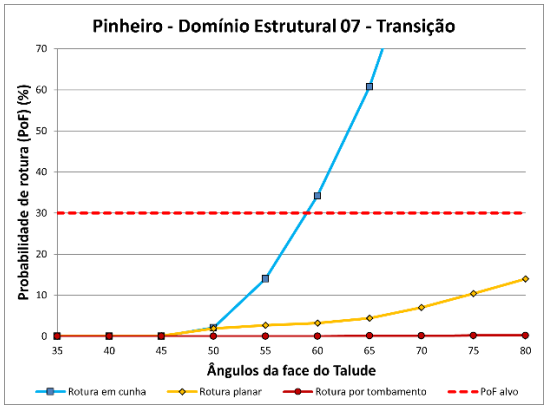


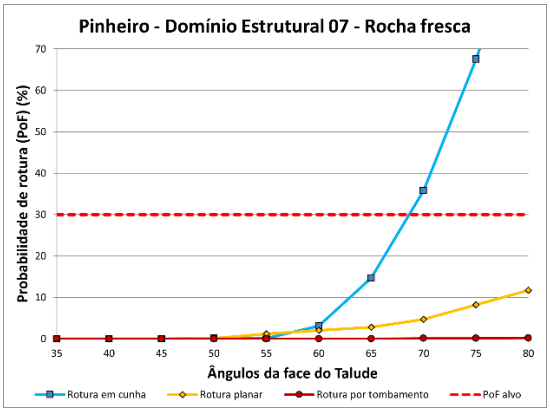


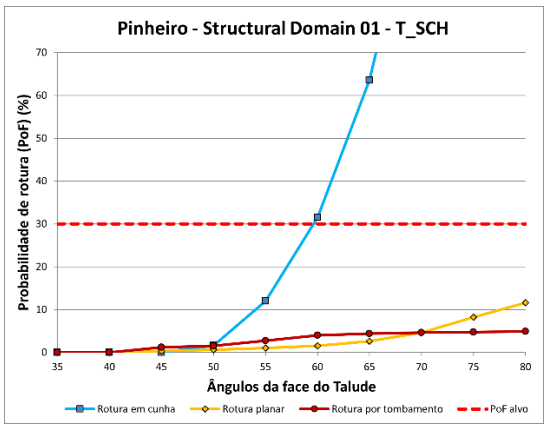


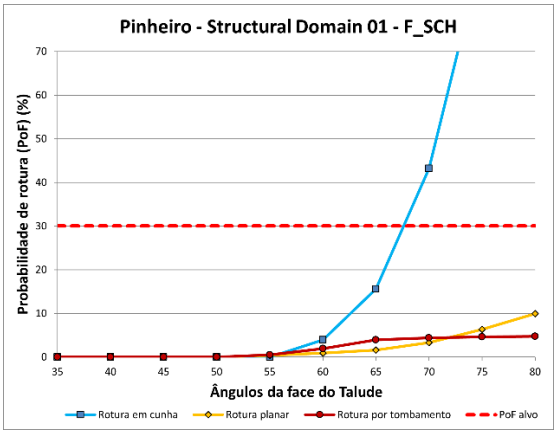
Com base numa Corta mineira de menor dimensão – sem exposição de material meteorizado











Com base numa Corta mineira de menor dimensão – sem exposição de material meteorizado

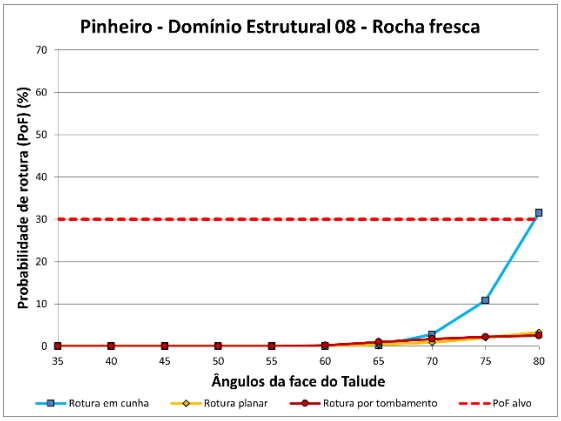


Figura 4.41 – Análises cinemáticas à escala da face de patamar no Pinheiro (aplicáveis a faces de patamar com 10 m e 20 m de altura).

4.4.9.3 SÍNTESE DA ANÁLISE À ESCALA DA FACE DE PATAMAR

O resumo das análises é o seguinte:

- Grandão:
  - Domínio Estrutural 01 – um BFA máximo de 65° e 80° para o Xisto de Transição e o Xisto Fresco, respetivamente.
  - Domínio Estrutural 02 – orientação estrutural favorável, um máximo de 80° de BFA pode ser alcançado tanto para material de transição como para material fresco.
  - Domínio Estrutural 03 – espera-se uma orientação estrutural desfavorável nesta área. Assim, um BFA máximo de 55° e 65° para o Xisto de Transição e Xisto Fresco, respetivamente.
  - Domínio Estrutural 04 – semelhante ao Domínio 03, espera-se uma redução de BFA de 55° e 65° tanto para o material de Transição como para o material Fresco, respetivamente.

- NOA:
  - Espera-se uma exposição limitada de material meteorizado nos Domínios 01 e 03. Assim, um BFA máximo de 80° para a unidade do Xisto Fresco para ambos os Domínios.
  - Domínio Estrutural 02 – orientação estrutural favorável e cinematicamente inviável.
  - Domínio Estrutural 04 – orientação estrutural favorável, pode ser atingido um máximo de 80° de BFA tanto para o material de Transição como para o material fresco.

- Reservatório:
  - Domínio Estrutural 01 – um BFA máximo de 55° e 70° para o Xisto de Transição e o Xisto Fresco, respetivamente.
  - Domínio Estrutural 02 – exposição limitada de material Meteorizado. No entanto, é possível atingir um BFA máximo de 80° para o material do Fresco.
  - Domínio Estrutural 03 – orientação estrutural favorável e cinematicamente inviável.
  - Domínio Estrutural 04 – um BFA máximo de 65° e 80° é aceitável para o Xisto de Transição e o Xisto Fresco, respetivamente.

- Pinheiro:
  - Domínio Estrutural 01 – um BFA máximo de 60° e 65° para o Xisto de Transição e fresco, respetivamente.
  - Domínio Estrutural 02 – espera-se uma orientação estrutural desfavorável nesta área. Assim, um BFA máximo de 55° e 65° para o Xisto de Transição e o Xisto Fresco, respetivamente.
  - Domínio Estrutural 03 – orientação estrutural favorável, um máximo de 80° BFA pode ser alcançado tanto para material de Transição como para fresco.
  - Não houve exposição de material Meteorizado (baseado num design mais pequeno da Corta mineira). No entanto, é aceitável um máximo de BFA de 70° e 75° para o Domínio 04 e para ambos os Domínios 05 e 06, respetivamente.
  - Domínio Estrutural07 – um BFA máximo de 60° e 70° é aceitável para o Xisto de Transição e o Xisto Fresco, respetivamente.
  - Espera-se uma orientação estrutural favorável no Domínio 08. No entanto, é possível alcançar uma exposição limitada de material Meteorizado (Corta mineira mais pequena) e BFA de 80° para material de Fresco.

4.4.9.4 REANÁLISE DOS TALUDES INTER-RAMPA E GLOBAIS

Com base nos resultados apresentados nas figuras anteriores, foram realizadas análises de estabilidade do desenho atual das cortas mineiras para todas as secções do Barroso, incorporando todos os parâmetros sensíveis e cenários de nível freático. Conforme demonstrado, o Fator de Segurança (FoS) de aceitação de conceção de 1,3 foi excedido em todas as secções.

Consequentemente, o desenho do talude global na secção mais crítica da Corta mineira inicial foi modificado de acordo com as recomendações de conceção à escala da face de patamar. Estas modificações incluíram a adoção de larguras de berma reduzidas às dimensões mínimas necessárias. As secções modificadas foram posteriormente reanalisadas, encontrando-se os respetivos modelos Slide2 e os resultados das análises de estabilidade apresentados integralmente no Anexo IV.3.

Uma das secções de talude global reanalisadas é discutida nas páginas seguintes. Este exemplo não pretende representar as condições mais críticas à escala inter-rampa ou global; é apresentado com o objetivo de demonstrar o processo de análise de estabilidade e de salientar os fatores geotécnicos e litológicos específicos que influenciaram a conceção e, quando aplicável, as modificações do talude global.

A Secção GRA_Section_01 foi selecionada para representar o processo de análise de estabilidade. Neste caso, o desenho do talude global é controlado simultaneamente pela resistência do maciço rochoso e pelas características estruturais do Xisto Fresco.

Os resultados das análises para esta secção são discutidos na secção seguinte.

4.4.9.5 EXEMPLO DE ANÁLISE CONDICIONADA PELO MACIÇO ROCHOSO E PELA ORIENTAÇÃO ESTRUTURAL

O modelo Slide2 do desenho atual da Corta mineira para a GRA_Section_01 é apresentado na Figura 4.42. A escavação planeada irá formar um talude global que expõe predominantemente Xisto Fresco, com apenas uma cobertura delgada de Xisto Meteorizado no topo. Um corpo de Pegmatito Fresco intrui a unidade encaixante e encontra-se localizado na parte inferior da Corta mineira. A Figura 4.42 apresenta igualmente os resultados das análises não circulares com pesquisa *cuckoo*, que indicaram um FoS estimado de 1,80 para os parâmetros de Caso Base. Estes resultados sugerem que o talude global pode ser inclinado de forma mais íngreme, particularmente no interior da unidade de Xisto Fresco.

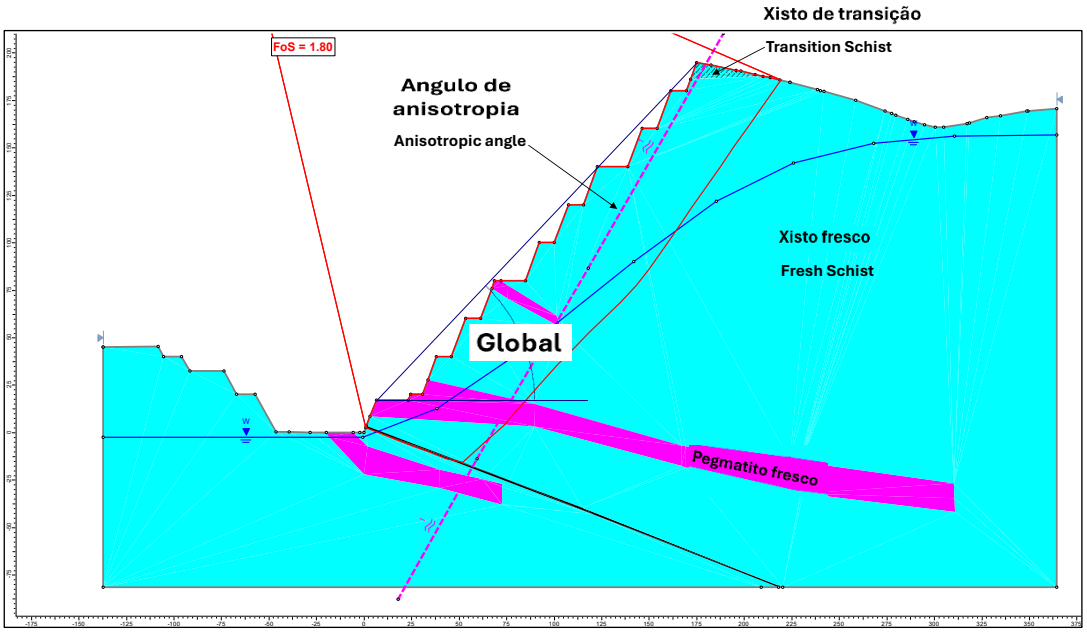


Figura 4.42 – GRA_Section_01 – Estabilidade em Caso Base no desenho inicial da Corta mineira utilizando o Slide2.

Procedeu-se posteriormente ao redesenho e à reanálise do talude global, com o objetivo de determinar o ângulo inter-rampa máximo aceitável (IRA) através do maciço rochoso. Os resultados, apresentados nas Figura 4.43 a Figura 4.49, mostram análises em Slide2 que incorporam todos os parâmetros sensíveis e os diferentes cenários de nível freático. Para um IRA de 55°, o talude global atingiu o FoS de aceitação de conceção de 1,3 em condições de Caso Base e excedeu 1,10 na maioria dos cenários de sensibilidade, com exceção dos casos associados ao Ângulo Anisotrópico A e ao nível freático em cenário de pior caso.

Os parâmetros que não cumpriram o FoS de conceção evidenciam a sensibilidade do talude global à orientação da foliação principal, particularmente quando combinada com níveis freáticos elevados. Embora as recomendações de conceção do talude global se baseiem principalmente nos parâmetros de Caso Base, os resultados da análise de sensibilidade sublinham os riscos potenciais associados à subestimação destes parâmetros.

Este processo de conceção demonstra o IRA máximo teórico que pode ser atingido para esta secção.

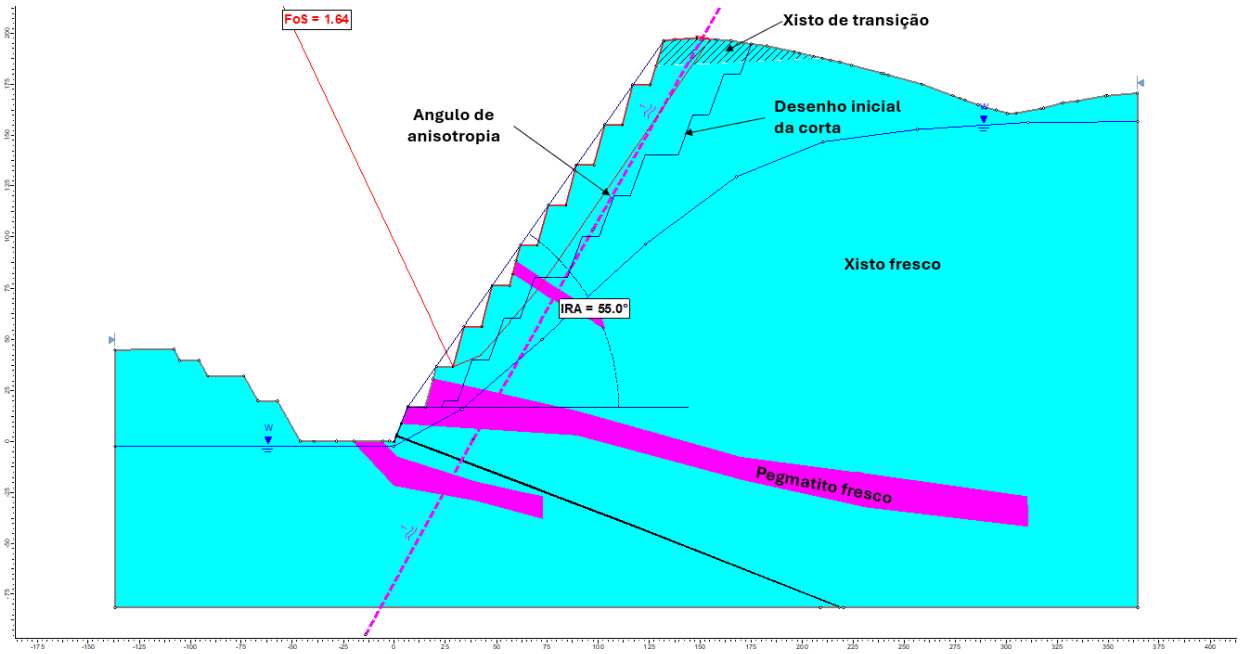


Figura 4.43 – GRA_Section_01 – Estabilidade em Caso Base do talude global redesenhado.

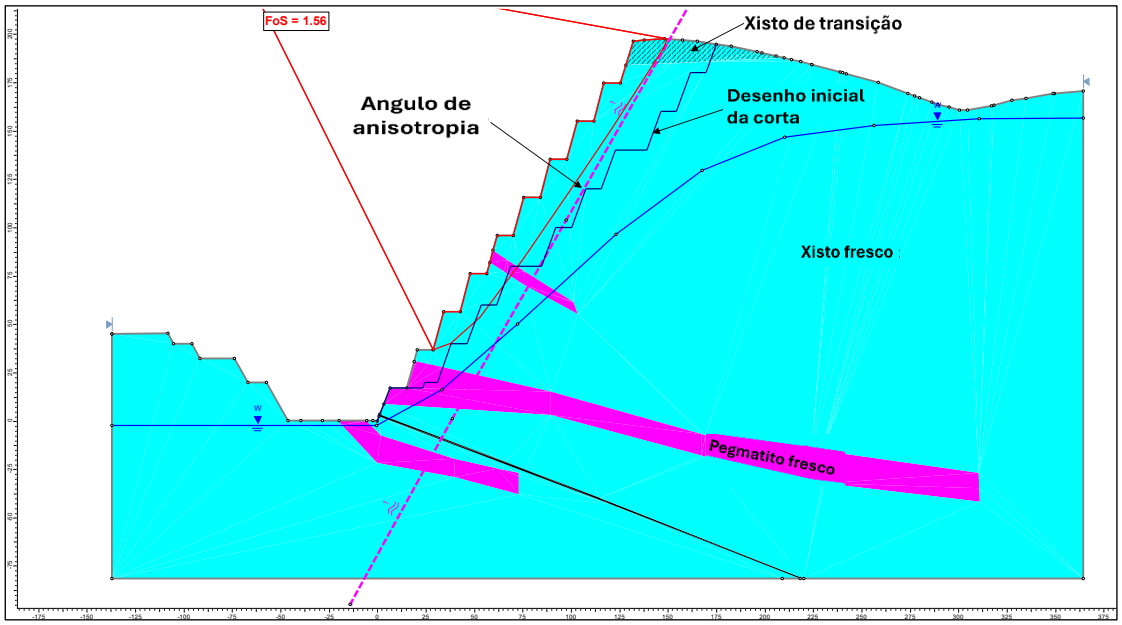


Figura 4.44 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando resistências ao cisalhamento das descontinuidades no caso de limite inferior.

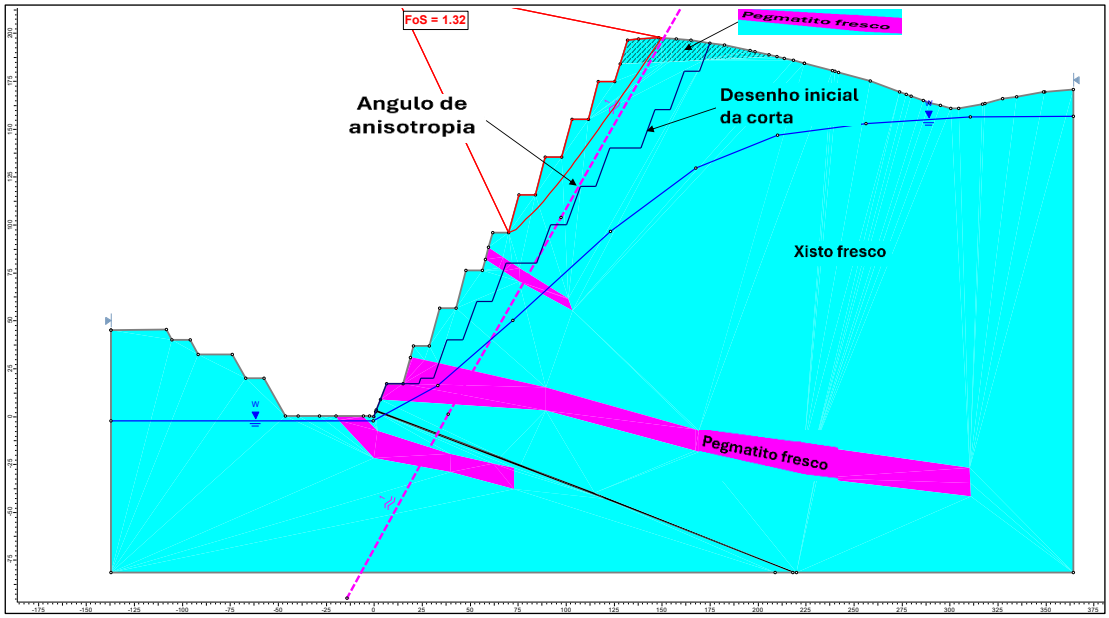


Figura 4.45 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando resistências ao cisalhamento das descontinuidades no caso de limite inferior.

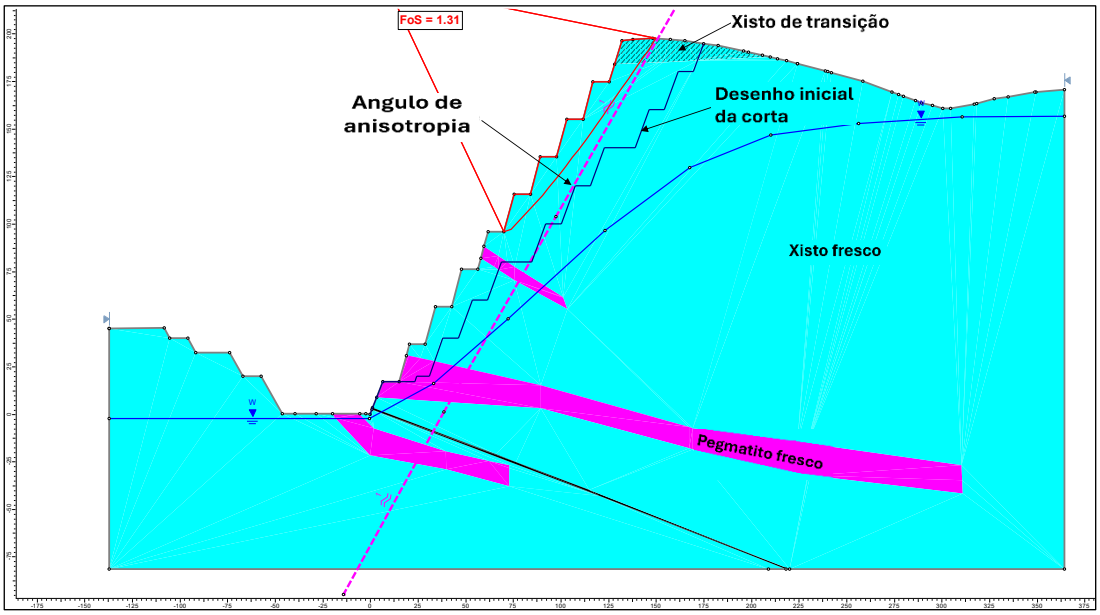


Figura 4.46 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando um fator de perturbação D = 0,7.

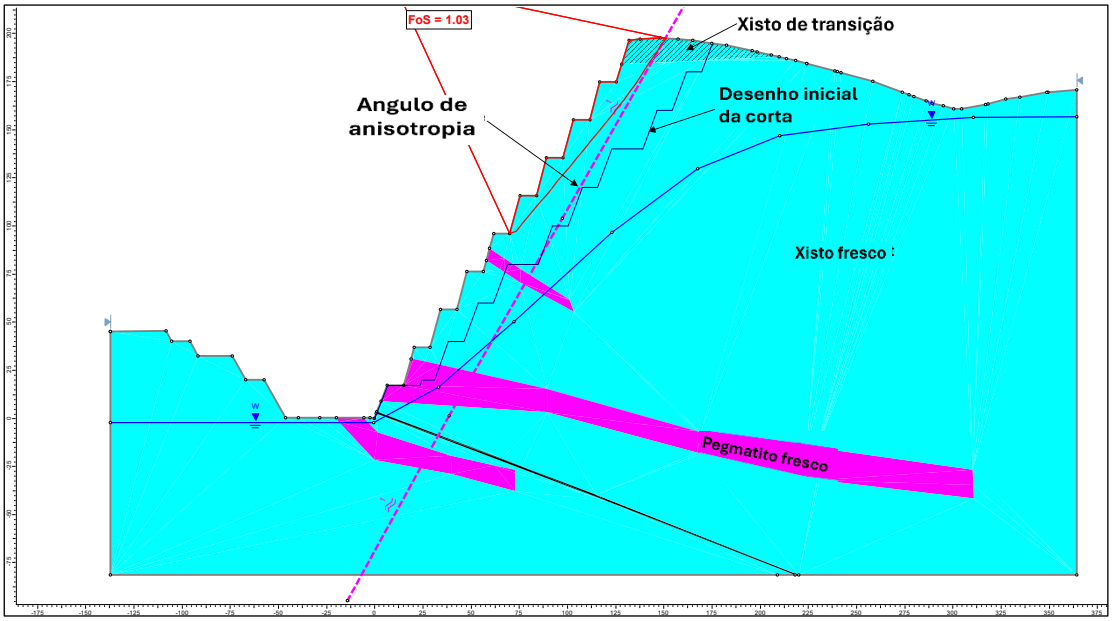


Figura 4.47 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando um ângulo anisotrópico A = 10°.

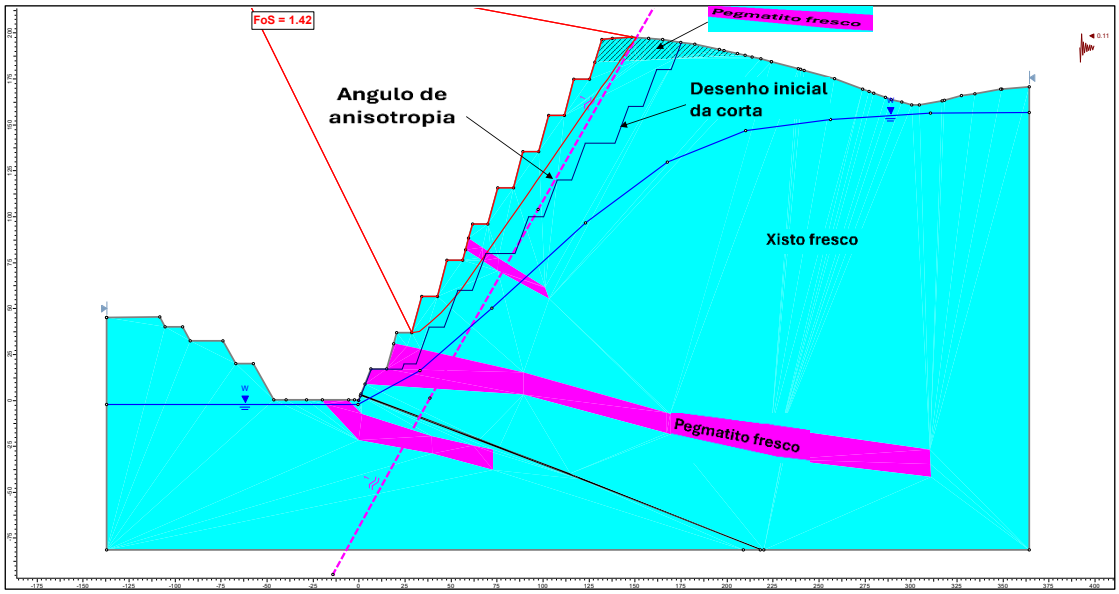


Figura 4.48 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando o coeficiente de carga sísmica.

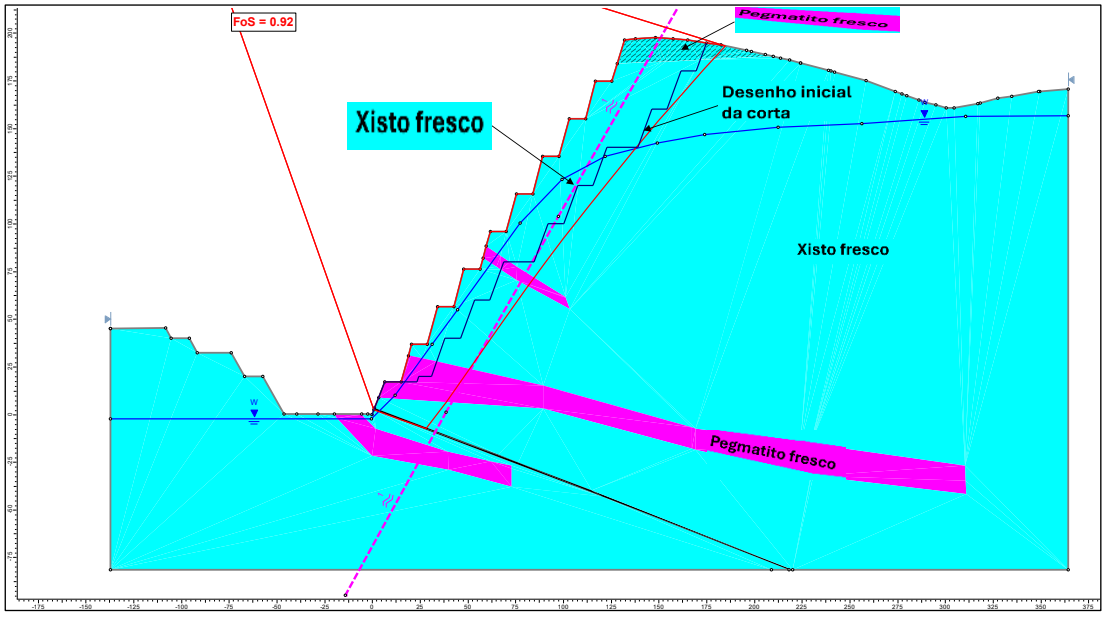


Figura 4.49 – GRA_Section_01 – Estabilidade do talude global redesenhado considerando o nível freático em cenário de pior caso.

Nota: Salienta-se que a GRA_Section_01 é a única secção que não cumpriu os Critérios de Aceitação de Conceção (DAC). Todas as restantes secções das cortas mineiras do Barroso atingiram o FoS exigido no cenário de nível freático em pior caso.

4.4.9.6 RESULTADOS DE TODAS AS SECÇÕES ANALISADAS

As Tabela 4.32 a Tabela 4.35 apresentam um resumo dos resultados de estabilidade face aos diferentes critérios de aceitação para todas as cortas mineiras do Barroso. Estes resultados de FoS constituem a base das recomendações de conceção dos taludes globais discutidas nas secções seguintes. Os modelos completos em Slide2 e os respetivos resultados das análises de estabilidade encontram-se apresentados no Anexo IV.3.

Tabela 4.32 – Resultados de todas as secções analisadas no Grandão, com os respetivos critérios de aceitação.

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		FoS
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
GRA_Section_01	195	47–49	Esperado	Esperado	1,80
GRA_Section_01 (modified)	196	55	Esperado	Esperado	1,64
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	1,56
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,32
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,31
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	1,03
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	1,41
			Esperado	Pior cenário	0,92
GRA_Section_02	186	46	Esperado	Esperado	2,29
GRA_Section_02 (modified)	167	55	Esperado	Esperado	2,27
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	2,16
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,95
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,88
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	2,08

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		FoS
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	1,84
			Esperado	Pior cenário	1,74
GRA_Section_03	155	35–50	Esperado	Esperado	4,08
GRA_Section_03 (modified)	141	55	Esperado	Esperado	3,03
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	3,00
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	2,38
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	2,32
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	3,01
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	2,64
			Esperado	Pior cenário	2,41
GRA_Section_04 (mid to upper Talude global)	238	27–37	Esperado	Esperado	4,27
GRA_Section_04 (modified – upper Talude global)	177	55	Esperado	Esperado	3,25
GRA_Section_04 (modified – lower Talude global)	84	55	Esperado	Esperado	3,55

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		FoS
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
GRA_Section_04 (modified – upper Talude global)	177	55	Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	2,82
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	2,26
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	2,26
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	2,82
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	2,44
			Esperado	Pior cenário	2,33
GRA_Section_05	197	35–48	Esperado	Esperado	2,75
GRA_Section_05 (modified)	165	55	Esperado	Esperado	2,80
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	2,72
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	2,35
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	2,29
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	2,63
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	2,31
			Esperado	Pior cenário	2,52
GRA_Section_06	165	44–46	Esperado	Esperado	2,86
	170	55	Esperado	Esperado	1,34

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		FoS
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
GRA_Section_06 (modified)			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	1,27
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,16
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,15
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	0,87
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	1,20
			Esperado	Pior cenário	1,27
GRA_Section_07	167	49	Esperado	Esperado	2,96
GRA_Section_07 (modified)	155	55	Esperado	Esperado	1,55
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	1,50
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,28
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,26
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	0,98
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	1,38
			Esperado	Pior cenário	1,43
GRA_Section_08	148	49	Esperado	Esperado	2,87

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		FoS
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
GRA_Section_08 (modified)	153	55	Esperado	Esperado	1,69
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	1,63
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,35
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,32
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	1,00
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	1,55
			Esperado	Pior cenário	1,75

Tabela 4.33 – Resultados de todas as secções analisadas no NOA com os respetivos critérios de aceitação.

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		FoS
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
NOA_Section_01	73	50–54	Esperado	Esperado	4,99
NOA_Section_01 (modified)	68	55	Esperado	Esperado	5,17
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	5,17
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	3,84

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		FoS
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	3,77
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	5,17
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	4,45
			Esperado	Pior cenário	4,64
NOA_Section_02	50	42–51	Esperado	Esperado	7,34
NOA_Section_02 (modified)	52	55	Esperado	Esperado	5,48
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	5,48
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	3,88
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	3,81
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	5,48
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	4,95
			Esperado	Pior cenário	4,80
NOA_Section_03	75	48	Esperado	Esperado	4,49
NOA_Section_03 (modified)	75	55	Esperado	Esperado	4,05
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	4,03
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	3,02

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		FoS
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	2,95
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	3,92
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	3,59
			Esperado	Pior cenário	3,41
NOA_Section_04	85	48	Esperado	Esperado	4,24
NOA_Section_04 (modified)	74	55	Esperado	Esperado	4,02
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	4,02
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	2,99
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	2,96
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	3,95
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	3,37
			Esperado	Pior cenário	3,21

Tabela 4.34 – Resultados de todas as secções analisadas no Reservatório com os respetivos critérios de aceitação.

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		Secção
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
RES_Section_01	143	27 - 45	Esperado	Esperado	2,12
RES_Section_01 (modified)	108	55	Esperado	Esperado	2,12
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	1,92
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,96
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,95
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	1,76
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	1,76
			Esperado	Pior cenário	1,85
RES_Section_02	136	29 - 45	Esperado	Esperado	3,66
RES_Section_02 (modified)	100	55	Esperado	Esperado	3,50
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	3,34
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	2,90
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	2,88
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	3,32
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	2,67
			Esperado	Pior cenário	2,92

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		Secção
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
RES_Section_03[1]	91	24 - 33	Esperado	Esperado	5,96
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	2,83
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	2,69
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	2,69
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	2,59
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	4,82
			Esperado	Pior cenário	5,43
RES_Section_04	96	48	Esperado	Esperado	4,34
RES_Section_04[2] (modified – overall)	108	55	Esperado	Esperado	3,19
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	3,19
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	2,92
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	2,91
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	2,84
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	2,91
			Esperado	Pior cenário	3,04
	108	55	Esperado	Esperado	1,35

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		Secção
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
RES_Section_04[3] (modified – Meteorizado Schist)			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	1,20
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,36
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,21
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	1,17
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	1,24
			Esperado	Pior cenário	1,32
RES_Section_05	144	44 - 47	Esperado	Esperado	1,42
RES_Section_05 (modified)	139	45 (upper Talude global) 55 (lower Talude global	Esperado	Esperado	1,83
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	1,71
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,51
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,51
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	1,66
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	1,58
			Esperado	Pior cenário	1,56

[1]Sem margem para aumentar o IRA. Seguir a orientação do minério. [2]Com duplos limites para avaliar a estabilidade global do talude. [3]Limites simples e superfícies críticas ao longo do Xisto Meteorizado (talude global superior).

Tabela 4.35 – Resultados de todas as secções analisadas no Pinheiro com os respetivos critérios de aceitação.

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		Secção
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
PIN_Section_01	212	45	Esperado	Esperado	1,64
PIN_Section_01 (modified)	198	55	Esperado	Esperado	1,66
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	1,54
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,46
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,45
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	1,45
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	1,30
			Esperado	Pior cenário	**1,01**
PIN_Section_02	155	45	Esperado	Esperado	1,80
PIN_Section_02 (modified)	144	55	Esperado	Esperado	1,87
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	1,69

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		Secção
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,72
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,60
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	1,54
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	1,30
			Esperado	Pior cenário	1,35
PIN_Section_03 (upper Talude global)	150	45	Esperado	Esperado	3,59
PIN_Section_03 (lower Talude global)	125	45	Esperado	Esperado	5,14
PIN_Section_03 (modified, upper Talude global)			Esperado	Esperado	3,06
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	3,07
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	2,33

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		Secção
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	2,26
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	3,06
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	2,58
			Esperado	Pior cenário	2,48
PIN_Section_03 (modified, lower Talude global)			Esperado	Esperado	3,54
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	3,54
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	2,65
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	2,58
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	3,50
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	3,09
			Esperado	Pior cenário	2,99
PIN_Section_04	125	48	Esperado	Esperado	1,60
	118	55	Esperado	Esperado	1,65

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		Secção
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
PIN_Section_04 (modified)			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	1,49
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,56
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,56
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	1,38
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	1,20
			Esperado	Pior cenário	1,41
PIN_Section_05	197	36	Esperado	Esperado	2,75

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		Secção
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
PIN_Section_05 (modified)	165	55	Esperado	Esperado	2,80
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	2,72
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	2,35
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	2,29
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	2,63
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	2,36
			Esperado	Pior cenário	2,52
PIN_Section_05	169	47	Esperado	Esperado	2,96
PIN_Section_05 (modified)	170	55	Esperado	Esperado	2,52
			Caso de limite inferior – descontinuidades em F_SCH	Esperado	2,50
			Caso de limite inferior – maciço rochoso em F_SCH	Esperado	1,97
			Fator de perturbação aplicado ao Xisto Fresco (F_SCH)	Esperado	1,91

Secção	Altura (m)	Ângulo inter-rampa (IRA) (°)	Parâmetro utilizado		Secção
			Resistência ao cisalhamento/cenário	Nível freático	
			Ângulo anisotrópico A = 10°	Esperado	2,42
			Coeficiente de carga sísmica	Esperado	2,25
			Esperado	Pior cenário	2,02

4.4.10 RECOMENDAÇÕES DE CONCEÇÃO DOS TALUDES GLOBAIS

4.4.10.1 PRESSUPOSTOS E ENQUADRAMENTO

Os seguintes fatores devem ser considerados na revisão e aplicação das recomendações de conceção dos taludes globais:

- Sempre que sejam recomendadas modificações ao desenho do talude global, estas dizem respeito à cota e à posição do pé do talude global final atualmente previsto e foram modeladas em cada uma das secções transversais analisadas.
- As conceções recomendadas das faces de patamar destinam-se a controlar os IRAs recomendados nos maciços rochosos. Estas conceções baseiam-se no enquadramento estrutural atualmente modelado; a incorporação de novos dados poderá alterar os requisitos de conceção das faces de patamar.
- Cada sólido geotécnico é definido por orientações de rumo do talude a montante (*upslope bearing*) e deve ser aplicado apenas aos taludes globais localizados dentro dos limites do respetivo sólido.
- Caso o enquadramento geológico ou geotécnico se altere, ou ocorram modificações significativas ao desenho das cortas mineiras, deverá ser prevista uma revisão geotécnica e o ajustamento do desenho das cortas mineiras em conformidade com os critérios de aceitação de conceção.

4.4.10.2 RECOMENDAÇÕES

Esta análise geotécnica considerou as quatro cortas mineiras do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso. As recomendações resultantes para a conceção dos taludes globais estão ilustradas nas Figura 4.50 a Figura 4.53, com os respetivos parâmetros de conceção dos taludes globais resumidos nas Tabela 4.36 a Tabela 4.38 para o Grandão, NOA, Reservatório e Pinheiro, respetivamente.

As principais considerações associadas a estas recomendações incluem:

- As opções apresentadas refletem configurações alternativas de altura de face de patamar, tanto para patamares simples como para patamares duplos, de modo a apoiar o planeamento mineiro.
- As recomendações são adequadas para utilização na otimização das cortas mineiras, bem como no planeamento mineiro de curto e longo prazo.
- Uma vez desenvolvidos os desenhos das cortas mineiras com base nestas recomendações, é fortemente aconselhável que sejam sujeitos a uma revisão geotécnica adicional.
- Os IRAs são definidos de crista de face de patamar a crista de face de patamar, ou de pé a pé.
- Os ângulos globais de talude irão variar em função do número e da posição das rampas.

As Tabela 4.40 a Tabela 4.43 apresentam as modificações propostas aos taludes globais, juntamente com a respetiva fundamentação, destacando as melhorias nos setores

adjacentes das cortas mineiras quando se comparam os desenhos de taludes globais anteriores com os desenhos recomendados.

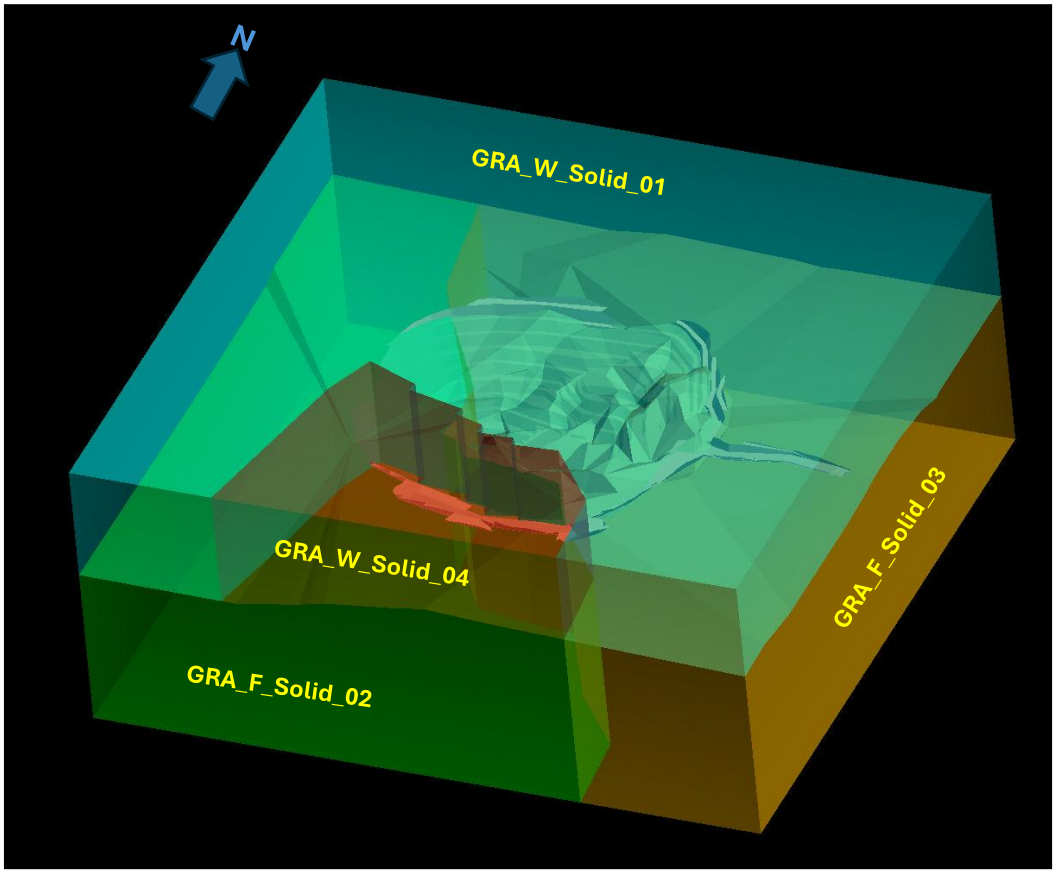


Figura 4.50 – Setores de conceção dos taludes globais do Grandão.

Tabela 4.36 – Parâmetros de conceção recomendados para os taludes globais do Grandão.

Setor da Corta mineira (solid)	Direção de rumo do talude global a montante (sentido horário)	IRA (°)	BFA (°)	Altura da face de patamar (m)	Largura da berma (m	Comentários
GRA_W_Solid_01	205–155°	41,9	65	10	6,5	Zona meteorizada e de transição, ou qualquer material acima das unidades frescas
GRA_F_Solid_02	155–325°	41,9	65	10	6,5	Os parâmetros do talude global foram controlados por análise cinemática à escala da face de patamar
		48,3	65	20	8,5	
GRA_F_Solid_03	325–155°	47,4	75	10	6,5	Orientações estruturais favoráveis e material competente
		55,3	75	20	8,5	

Setor da Corta mineira (solid)	Direção de rumo do talude global a montante (sentido horário)	IRA (°)	BFA (°)	Altura da face de patamar (m)	Largura da berma (m	Comentários
GRA_W_Solid_04	155–205°	36,5	55	10	6,5	Orientações estruturais desfavoráveis, composto predominantemente por xisto meteorizado e de transição

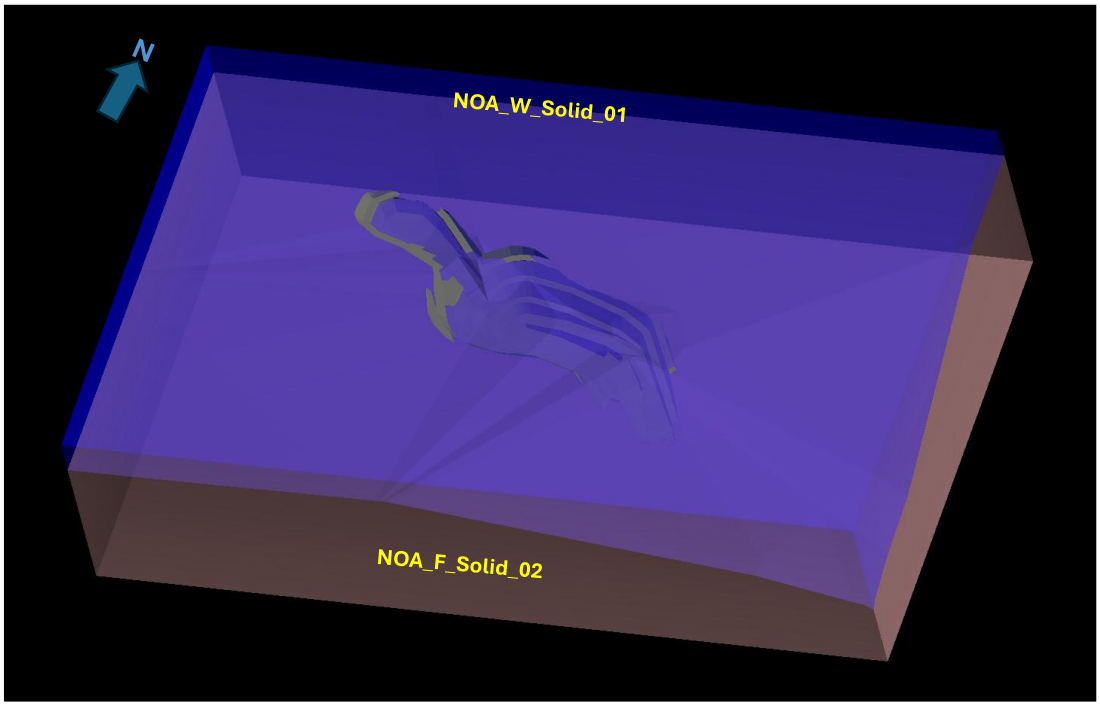


Figura 4.51 – Setores de conceção dos taludes globais do NOA.

Tabela 4.37 – Parâmetros de conceção recomendados para os taludes globais do NOA.

Setor da Corta mineira (solid)	Direção de rumo do talude global a montante (sentido horário)	IRA (°)	BFA (°)	Altura da face de patamar (m)	Largura da berma (m)	Comentários
NOA_W_Solid_01	Todos os setores	41,9	65	10	6,5	Zona meteorizada e de transição, ou qualquer material acima das unidades frescas

Setor da Corta mineira (solid)	Direção de rumo do talude global a montante (sentido horário)	IRA (°)	BFA (°)	Altura da face de patamar (m)	Largura da berma (m)	Comentários
NOA_F_Solid_02	Todos os setores	47,4	75	10	6,5	Corta mineira pouco profunda, com orientações estruturais favoráveis e unidades rochosas competentes

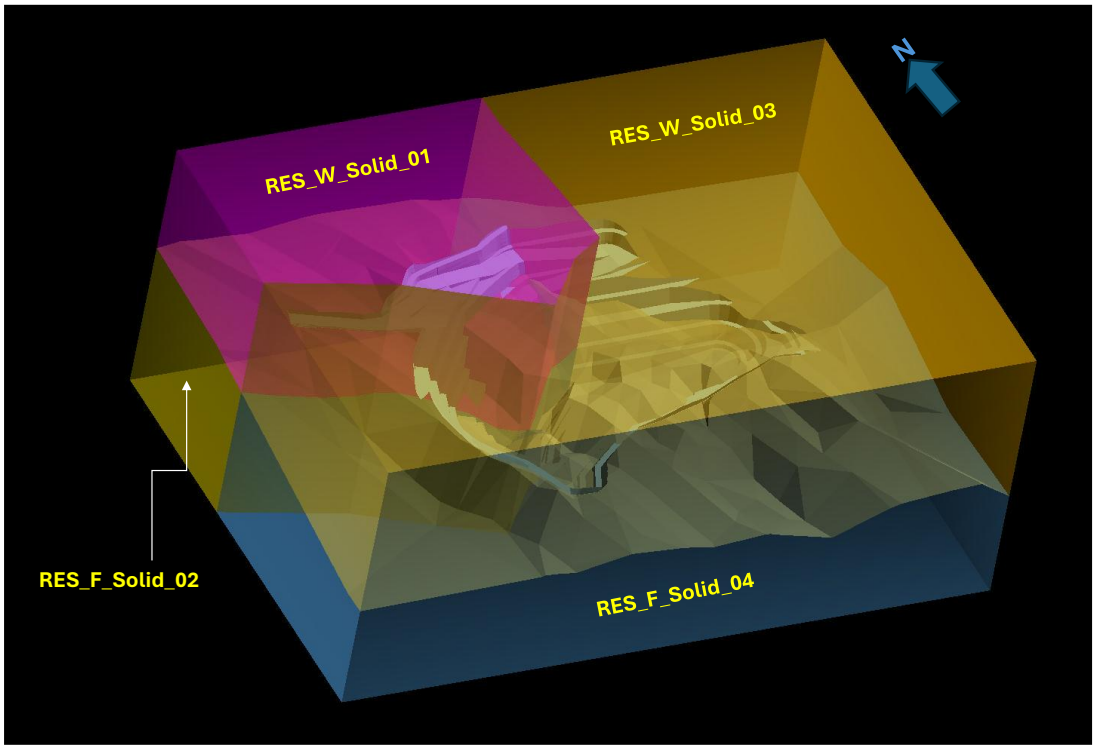


Figura 4.52 – Setores de conceção dos taludes globais do Reservatório.

Tabela 4.38 – Parâmetros de conceção recomendados para os taludes globais do Reservatório.

Setor da Corta mineira (solid)	Direção de rumo do talude global a montante (sentido horário)	IRA (°)	BFA (°)	Altura da face de patamar (m)	Largura da berma (m)	Comentários
RES_W_Solid_01	295–355°	36,5	55	10	6,5	Orientações estruturais desfavoráveis, sendo o material constituído predominantemente por xisto meteorizado e de transição.

Setor da Corta mineira (solid)	Direção de rumo do talude global a montante (sentido horário)	IRA (°)	BFA (°)	Altura da face de patamar (m)	Largura da berma (m)	Comentários
RES_F_Solid_02	295–355°	44,6	70	10	6,5	Material competente; os parâmetros do talude global foram controlados por análise cinemática à escala da face de patamar.
		51,7	70	20	8,5	
RES_W_Solid_03	355–295°	36,5	55	10	6,5	Orientações estruturais desfavoráveis, sendo o material constituído predominantemente por xisto meteorizado e de transição.
RES_F_Solid_04	355–295°	47,4	75	10	6,5	Orientações estruturais favoráveis e material competente. No setor sul da Corta mineira não existe margem para aumentar o IRA; recomenda-se seguir a orientação do minério. No entanto, o xisto meteorizado encontra-se exposto ao longo do setor nordeste desta Corta mineira, podendo potencialmente entrar em rotura caso seja adotado um BFA mais íngreme.

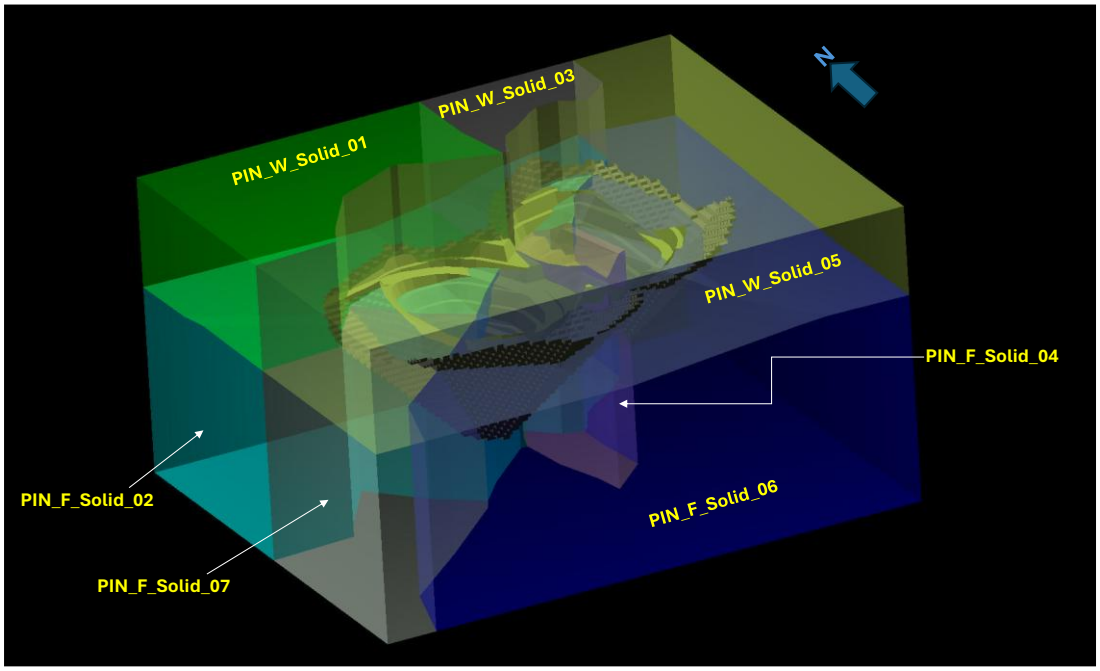


Figura 4.53 – Setores de conceção dos taludes globais do Pinheiro.

Tabela 4.39 – Setores de conceção dos taludes globais do Pinheiro.

Setor da Corta mineira (solid)	Direção de rumo do talude global a montante (sentido horário)	IRA (°)	BFA (°)	Altura da face de patamar (m)	Largura da berma (m)	Comentários
PIN_W_Solid_01	265–350°	39,6	60	10	6,5	Zona meteorizada e de transição, ou qualquer material acima das unidades frescas.
PIN_F_Solid_02	265–045°	41,9	65	10	6,5	Os parâmetros do talude global foram condicionados por análises cinemáticas à escala da face do patamar.
		48,3	65	20	8,5	
PIN_W_Solid_03	350–045°	36,5	55	10	6,5	Orientações estruturais desfavoráveis, sendo o maciço constituído predominantemente por material xistoso meteorizado e de transição.
PIN_F_Solid_04	225–265°	44,6	70	10	6,5	Material competente; os parâmetros do talude global foram geridos com base em análises cinemáticas à escala da face do patamar.
		51,7	70	20	8,5	

Setor da Corta mineira (solid)	Direção de rumo do talude global a montante (sentido horário)	IRA (°)	BFA (°)	Altura da face de patamar (m)	Largura da berma (m)	Comentários
PIN_W_Solid_05	045–265°	41,9	65	10	6,5	Zona meteorizada e de transição, ou qualquer material situado acima das unidades de rocha fresca.
PIN_F_Solid_06	045–225°	47,4	75	10	6,5	Orientações estruturais favoráveis e material competente.
		55,3	75	20	8,5	
PIN_F_Solid_07	225–265°	44,6	70	10	6,5	Material competente; os parâmetros do talude global foram definidos com base em análises cinemáticas à escala da face do patamar.
		51,7	70	20	8,5	

Nota: Os setores Solid_04 e Solid_07 apresentam os mesmos parâmetros; no entanto, o Solid_04 localiza-se na zona central da Corta mineira.

Tabela 4.40 – Modificações e alterações ao desenho da Corta mineira – Grandão.

Setor da Corta mineira (solid)	IRA anterior	IRA atual	Justificação da diferença
GRA_W_Solid_01	49°	41,9°	Dois patamares dos setores norte e este são constituídos por material xistoso meteorizado e de transição.
GRA_F_Solid_02	46°	48,3°	O dimensionamento do talude global foi condicionado por análises à escala da face do patamar. A estabilidade global do talude é assegurada para um IRA ≥ 55°.
GRA_F_Solid_03	37–50°	55,3°	A área é constituída maioritariamente pelos setores norte e este da Corta mineira. A foliação central mergulha para o interior do talude, sendo o maciço constituído por material fresco competente.
GRA_W_Solid_04	38–46°	36,5°	Localiza-se ao longo da porção superior da parede sul, sendo constituído maioritariamente por material xistoso meteorizado e de transição.

Fonte: IRA anterior da KPL (2019).

Tabela 4.41 – Modificações e alterações ao desenho da Corta mineira – NOA.

Setor da Corta mineira (solid)	IRA anterior	IRA atual	Justificação da diferença
NOA_W_Solid_01	48°	41,9°	Um ou dois patamares, constituídos maioritariamente por xisto meteorizado e de transição.
NOA_F_Solid_02	42–50°	55,3°	Orientações estruturais favoráveis e material xistoso competente.

Fonte: IRA anterior da KPL (2019).

Tabela 4.42 – Modificações e alterações ao desenho da Corta mineira – Reservatório.

Setor da Corta mineira (solid)	IRA anterior	IRA atual	Justificação da diferença
RES_W_Solid_01	42–52°	36,5°	Orientações estruturais desfavoráveis, sendo o maciço constituído maioritariamente por xisto meteorizado e de transição.
RES_F_Solid_02	46°	51,7°	O dimensionamento do talude global foi condicionado por análises à escala da face do patamar. A estabilidade global do talude é assegurada para um IRA ≥ 55°.
RES_W_Solid_03	42–49°	41,9°	Constituído predominantemente por xisto meteorizado e de transição.
RES_F_Solid_04	44–48°	55,3°	Material xistoso fresco e competente.

Fonte: IRA anterior da KPL (2019).

Tabela 4.43 – Modificações e alterações ao desenho da Corta mineira – Pinheiro.

Setor da Corta mineira (solid)	IRA anterior	IRA atual	Justificação da diferença
PIN_W_Solid_01	45°	39,2°	O IRA foi reduzido devido à presença de material meteorizado, sendo condicionado por análises cinemáticas à escala da face do patamar.
PIN_F_Solid_02	45°	48,3°	O dimensionamento do talude global foi condicionado por análises à escala da face do patamar. A estabilidade global do talude é garantida para um IRA ≥ 55°.
PIN_W_Solid_03	45°	36,5°	Orientações estruturais desfavoráveis, sendo o maciço constituído maioritariamente por xisto meteorizado e de transição.
PIN_F_Solid_04	45°	51,7°	Material xistoso competente; contudo, os parâmetros de dimensionamento são condicionados por análises cinemáticas à escala da face do patamar.
PIN_W_Solid_05	36–48°	41,9°	Constituído maioritariamente por xisto meteorizado e de transição.
PIN_F_Solid_06	36–48°	55,3°	Material fresco e competente, com orientações estruturais favoráveis.
PIN_F_Solid_07	47°	51,7°	Material xistoso competente; no entanto, os parâmetros de dimensionamento são condicionados por análises cinemáticas à escala da face do patamar.

Fonte: IRA anterior da KPL (2019).

4.4.11 CARACTERÍSTICAS DE ESCAVAÇÃO

O estudo indica que os materiais no Barroso são constituídos por uma combinação de domínios fracos a moderados e domínios resistentes; contudo, de um modo geral, os domínios resistentes dominam a totalidade do talude global. Os materiais fracos a moderados, que correspondem a alguns patamares, são caracterizados por xisto e pegmatito meteorizados e de transição, com graus de alteração que variam de rocha extremamente a moderadamente meteorizada. Os materiais mais resistentes correspondem a unidades de rocha fresca, geralmente associadas às litologias de base.

Prevê-se que, para os materiais mais fracos, sejam adequados métodos convencionais de ripagem, combinados com escavação por pá ou retroescavadora, enquanto para os materiais mais duros será necessária perfuração e desmonte com explosivos.

No âmbito deste estudo, foi realizada uma avaliação preliminar da escavabilidade para o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso. Estas avaliações fornecem uma apreciação qualitativa da influência relativa das propriedades dos materiais nos métodos de escavação e na produtividade.

Para esta avaliação, aplicaram-se as seguintes abordagens:

- Índice de Escavabilidade (N), conforme definido por Kirsten (1998);
- Método do gráfico de escavabilidade, conforme definido por Pettifer e Fookes (1994).

4.4.11.1 ÍNDICE DE ESCAVABILIDADE

Com base no procedimento descrito por Kirsten (1998), a classificação do Índice de Escavabilidade (N) integra cinco parâmetros fundamentais do maciço rochoso, calibrados com base na experiência de campo, para avaliar a escavabilidade dos materiais. O índice é calculado através da seguinte equação:

$$N = M_s \times \left(\frac{RQD}{Jn}\right) \times J_s \times \left(\frac{J_r}{J_a}\right)$$

Onde:

- **M_s** – resistência do maciço;
- **RQD** – índice de qualidade da rocha (Rock Quality Designation);
- **Jn** – número de conjuntos de descontinuidades;
- **J_r** – índice de rugosidade das descontinuidades;
- **J_a** – índice de alteração das descontinuidades;
- **J_s** – número relativo da estrutura do maciço (variando entre 0,37 e 1,5; para rocha intacta, J_s = 1,0).

Os parâmetros J_n, J_r e J_a são derivados do sistema Q (classificação de maciços rochosos) e foram obtidos a partir dos dados de registo geotécnico.

O Índice de Escavabilidade (N) classifica a escavabilidade dos maciços rochosos em cinco categorias, conforme resumido na Tabela 4.44. Os maciços rochosos do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, abrangendo tanto domínios de materiais fracos como resistentes, foram avaliados ao longo dos respetivos intervalos de propriedades, sendo os resultados apresentados na Tabela 4.45.

Tabela 4.44 – Categorias do índice de escavabilidade N segundo Kirsten.

Intervalo N	Escavabilidade
1 < N < 10	Ripagem fácil
10 < N < 100	Ripagem difícil
100 < N < 1000	Ripagem muito difícil
1000 < N < 10000	Ripagem extremamente difícil / desmonte
N > 10000	Desmonte com explosivos

Tabela 4.45 – Categorias de escavabilidade pelo método de Kirsten.

Domínio	UCS (MPa)		Q'		Intervalo N	Categoria de escavação
	Média	Superior	média	superior		
T_PEG	36	175	6,5	50	234 to 8750	Ripagem muito difícil a ripagem extremamente difícil/desmonte
F_PEG	164	375	20	88	3280 to 33000	Ripagem extremamente difícil a desmonte com explosivos
W_SCH	4	15	0,6	3	2,4 to 45	Ripagem fácil a difícil
T_SCH	30	375	6,8	50	204 to 18750	Ripagem muito difícil a desmonte com explosivos
F_SCH	74	375	15	98	1110 to 36750	Ripagem extremamente difícil a desmonte com explosivos

4.4.11.2 MÉTODO DO GRÁFICO DE ESCAVABILIDADE

De acordo com o procedimento descrito por Pettifer e Fookes (1994), o método do gráfico de escavabilidade utiliza dois parâmetros principais do maciço rochoso – a resistência à compressão uniaxial (UCS) e a contagem volumétrica de descontinuidades (Jv) – para avaliar a escavabilidade, calibrados com base na experiência de campo. Este método relaciona estes parâmetros com dados empíricos de escavabilidade.

A contagem volumétrica de descontinuidades (Jv) representa a soma do número de descontinuidades por unidade de comprimento para todos os conjuntos de diaclases (ou descontinuidades). Está também relacionada com o parâmetro RQD através da seguinte relação empírica:

$$RQD = 115 - 3{,}3(Jv)$$

Para o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, cada domínio geotécnico foi avaliado utilizando valores médios e valores máximos das propriedades dos materiais. Conforme ilustrado na Figura 4.54, a escavabilidade dos diferentes domínios varia entre **escavação difícil e desmonte com explosivos**.

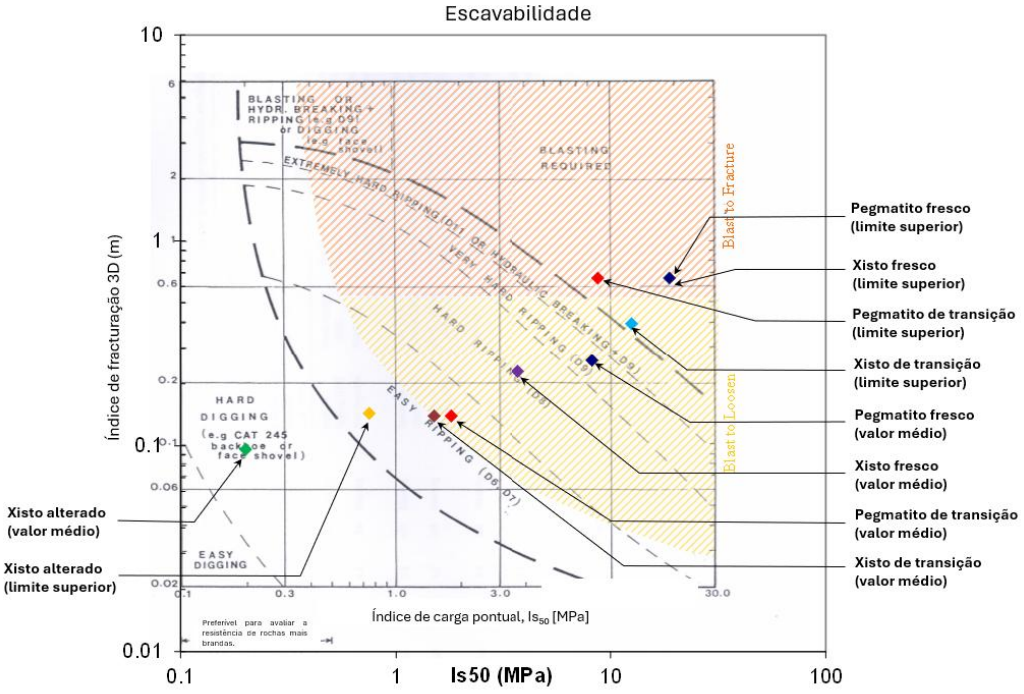


Figura 4.54 – Categorias de escavabilidade utilizando o método do gráfico de escavabilidade.

4.4.11.3 SÍNTESE DA ESCAVABILIDADE

Com base nos resultados obtidos através dos dois métodos de avaliação, as condições de escavabilidade esperadas por domínio são as seguintes:

- Pegmatito de Transição (T_PEG): a escavabilidade varia de ripagem fácil a ripagem extremamente difícil;
- Pegmatito Fresco (F_PEG): as condições variam de ripagem muito difícil a desmonte pesado;
- Xisto Meteorizado (W_SCH): varia de escavação fácil a ripagem difícil;
- Xisto de Transição (T_SCH): ripagem muito difícil a desmonte com explosivos;
- Xisto Fresco (F_SCH): varia de ripagem difícil a desmonte pesado.

4.4.12 Conclusões e Considerações para a fase de operação

4.4.12.1 Níveis de Confiança

No final desta avaliação, os níveis de confiança nos diferentes componentes geotécnicos do projeto são resumidos da seguinte forma:

- Modelo geológico: Elevado
- Modelo do maciço (solo, rocha e meteorização): Elevado
- Modelo estrutural: Moderado (alguns depósitos não dispunham de modelo)
- Modelo da superfície freática: Baixo

De um modo geral, espera-se que os níveis de confiança melhorem significativamente à medida que a exploração mineira progrida e que sejam recolhidos dados adicionais através de cartografia, ensaios e revisão contínua da informação existente. Este processo permitirá o desenvolvimento de modelos estruturais para depósitos onde não existiam modelos de falhas ou zonas de cisalhamento à data deste estudo, bem como estudos adicionais sobre a influência dos modelos hidrogeológicos no enquadramento geotécnico.

4.4.12.2 Riscos Geotécnicos

Durante a avaliação efetuada, foram identificados vários riscos:

Águas subterrâneas e hidrologia

Embora esta questão possa não ser crítica do ponto de vista da estabilidade global do talude, a combinação de níveis freáticos elevados próximos da superfície e a baixa permeabilidade da unidade de xisto implica que a drenagem eficaz antes da exploração possa ser difícil de alcançar. Como resultado, poderá desenvolver-se uma superfície freática persistentemente elevada (próxima da superfície) ou mesmo pressões intersticiais excessivas nesta unidade durante as fases iniciais da exploração. Esta condição terá implicações importantes, particularmente na estabilidade das faces de patamar e dos taludes globais faseados das cortas mineiras escavadas em zonas meteorizadas ou de transição. Uma despressurização inadequada dos taludes não só comprometerá a estabilidade dos taludes como também terá impactos negativos nas operações e no planeamento mineiro, incluindo a movimentação de materiais, o desmonte, a transitabilidade e o cumprimento de prazos.

As cortas mineiras localizam-se numa topografia acidentada e ondulada. Atendendo à elevada precipitação anual (aproximadamente 1 650 mm), o escoamento superficial através de ravinas, combinado com descargas de nascentes, pode recarregar estruturas geológicas fracas e porosas a jusante. Este processo poderá originar afluxos transitórios elevados para o interior da Corta mineira, potenciando instabilidade dos taludes e criando desafios operacionais ao nível da gestão e controlo da água.

Os cenários de águas subterrâneas descritos foram incorporados na modelação geotécnica, adotando-se uma hipótese conservadora de nível freático próximo do

talude (pior cenário). As análises indicam que, embora os taludes globais sejam sensíveis às condições hidrogeológicas, permanecem dentro de limites de desempenho aceitáveis, com os fatores de segurança calculados a satisfazerem os critérios de projeto. Investigações de campo contínuas – incluindo a instalação de piezómetros nos xistos meteorizados e frescos – permitirão refinar o conhecimento sobre o comportamento de rebaixamento transitório e a longo prazo. Os resultados destes estudos, juntamente com eventuais medidas de mitigação adequadas, poderão ser integrados em avaliações geotécnicas subsequentes e no planeamento mineiro, suportando uma tomada de decisão informada e baseada no risco.

Estrutura

Um risco residual importante para a estabilidade das cortas mineiras no Barroso prende-se com a definição explícita das principais orientações da foliação, bem como das falhas e zonas de cisalhamento localizadas que intersetam as paredes das cortas. Este risco pode ser mitigado através do desenvolvimento de modelos estruturais do xisto foliado, das falhas e dos cisalhamentos, com base numa revisão detalhada de fotografias de testemunhos existentes e na cartografia de afloramentos acessíveis. Programas futuros de sondagens deverão integrar ferramentas de furação orientada e/ou levantamentos geofísicos (por exemplo, OTV/ATV), de modo a identificar e caracterizar de forma fiável estas estruturas.

Embora as foliações, falhas principais e zonas de cisalhamento tenham sido identificadas como apresentando mergulhos moderados a íngremes – particularmente no Grandão – as falhas principais nesta área foram interpretadas como fortemente inclinadas e não são se considera que afetem negativamente a estabilidade global dos taludes. No entanto, a foliação do xisto foi incorporada no modelo geotécnico, tendo sido efetuados ajustamentos locais ao dimensionamento global do talude sempre que foram identificadas orientações de foliação desfavoráveis. A mesma abordagem de projeto foi aplicada a outros depósitos onde não existia um modelo estrutural detalhado.

Xisto Meteorizado

A espessura da zona meteorizada varia entre as quatro cortas mineiras, desde ausência de afloramento em algumas áreas até vários patamares noutras. Dependendo da orientação estrutural e da exposição, os ângulos da face do patamar (BFA) situam-se tipicamente entre 55° e 75°, com alturas de patamar entre 10 e 20 m. Considera-se que uma face de patamar com 10 m de altura é adequada para manter a estabilidade e reduzir o potencial de desagregação localizada.

Esta consideração é particularmente relevante no Grandão (GRA_GT_Solid_03), onde existe uma zona limitada de Xisto Meteorizado ao longo das paredes orientais. Condições semelhantes poderão ocorrer caso o aprofundamento futuro da Corta implique o recuo da crista, alargando a Corta e aumentando a exposição a este material. Ainda assim, prevê-se que a manutenção dos parâmetros atuais de projeto do talude global nas áreas onde ocorre Xisto Meteorizado seja eficaz na gestão dos riscos associados.

4.4.12.3 CONSIDERAÇÕES OPERACIONAIS

Tal como em operações mineiras convencionais a céu aberto, será necessário implementar diversos sistemas e controlos durante a fase operacional, de forma a garantir que a operação atinge os mais elevados padrões de segurança. Estes incluirão:

- Sistemas críticos de monitorização de segurança geotécnica, tais como prismas e/ou radares de Corta mineira;
- Outros sistemas de monitorização, incluindo piezómetros e monitorização de fissuras;
- Controlos operacionais e procedimentos de trabalho seguro, incluindo:
  - Manual de gestão do *design* dos taludes globais;
  - Manual de gestão operacional;
  - Procedimentos de desmonte para proteção dos taludes globais;
  - Monitorização por prismas e/ou radar;
  - Processos de validação/libertação de paredes (*wall sign-off*);
  - Protocolos de encerramento e reentrada;
  - Gestão de quedas de blocos e instabilidades;
  - Definição de funções e responsabilidades geotécnicas, incluindo inspeções às cortas mineiras;
  - Elaboração de relatórios regulares (semanais, mensais, etc.);
  - Auditorias e revisões operacionais independentes.

Estes sistemas e controlos não foram incluídos no âmbito do presente estudo de viabilidade. No entanto, serão desenvolvidos com maior detalhe em estudos subsequentes e refinados à medida que o projeto avance para a fase de implementação operacional.

4.4.12.4 CONSIDERAÇÕES PARA A FASE DE OBRA

Numa operação deste tipo as condições geotécnicas e os modelos são continuamente reavaliadas, e, por conseguinte, o estudo e monitorização contínua fazem parte das boas práticas. As considerações seguintes destinam-se aos trabalhos durante as fases de exploração mineira (construção e operação) que permitem a avaliação permanente das condições geotécnicas:

- **Dados estruturais de xistos foliados** – As futuras sondagens nas quatro cortas mineiras deverão priorizar a obtenção de informação estrutural dos xistos foliados. Para aumentar os níveis de confiança dos modelos estruturais e do maciço rochoso, a Snowden Optiro recomenda que as sondagens sejam posicionadas e orientadas perpendicularmente às paredes planeadas das cortas mineiras, maximizando a recolha de dados a montante dos taludes globais.
- **Prospeções geofísicas** – Todas as futuras sondagens deverão integrar levantamentos geofísicos em furo com OTV/ATV (*optical televiewer/acoustic televiewer*), de modo a caracterizar com precisão as estruturas.
- **Ensaios laboratoriais** – Qualquer programa futuro de sondagens diamantadas e seleção de amostras deverá incorporar os ensaios laboratoriais recomendados, em particular ensaios de cisalhamento direto, ensaios triaxiais de Hoek e

ensaios de cisalhamento em caixa com superfícies serradas. Adicionalmente, recomenda-se o ensaio de Índice de Carga Pontual (*Point Load Index*) como método custo-eficiente para validar as resistências estimadas em campo das diferentes unidades geológicas do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso.

- **Avaliação hidrogeológica** – Uma compreensão aprofundada das condições hidrogeológicas durante a exploração é crítica para a estabilidade das paredes das cortas mineiras. A natureza transitória da superfície freática e a eficácia do desaguamento em xistos alterados e frescos deverão ser rigorosamente investigadas, modeladas e validadas. Uma vez desenvolvidos modelos fiáveis, a estabilidade dos taludes globais das cortas mineiras em condições transitórias/faseadas deverá ser analisada e revista.
- **Monitorização e controlo** – A implementação de sistemas adequados de controlo e monitorização é essencial para garantir operações mineiras seguras. Em particular, deverá ser instalada, o mais cedo possível, uma rede de monitorização de águas subterrâneas, incluindo piezómetros.
- **Avaliação de danos de desmonte e alteração a longo prazo** – Recomenda-se que estudos futuros avaliem a extensão dos danos induzidos por desmonte e o seu potencial impacto na estabilidade dos taludes globais, especialmente em áreas com padrões de desmonte apertados ou unidades rochosas mais fracas. Adicionalmente, deverão ser realizadas avaliações de alteração a longo prazo para analisar a possível degradação da resistência e da estrutura da rocha ao longo do tempo, assegurando que as conceções dos taludes globais permanecem estáveis e cumprem os DAC durante toda a vida da mina.
- **Registo de riscos geotécnicos e planos de mitigação** – Deverá ser desenvolvido um registo abrangente de riscos geotécnicos para identificar, avaliar e priorizar sistematicamente os perigos geotécnicos potenciais ao longo da vida da mina. Este registo deverá ser atualizado regularmente à medida que novos dados se tornem disponíveis e utilizado para suportar o desenvolvimento de planos de mitigação direcionados. Estes planos deverão definir medidas de controlo específicas, estratégias de monitorização e planos de resposta a gatilhos (TARPs), de modo a gerir eficazmente os riscos identificados e manter a estabilidade dos taludes globais em conformidade com os DAC.
- **Validação contínua dos modelos geológicos** – É expectável a ocorrência de discrepâncias locais entre os modelos estruturais, os dados de sondagem e as condições reais. Durante a fase operacional, recomenda-se a cartografia contínua das faces expostas das cortas mineiras, permitindo a validação, atualização e reconciliação contínuas dos modelos geotécnicos e estruturais, podendo ser necessários ajustamentos às conceções dos taludes globais à medida que a exploração avança.

Para além dos parâmetros de *design* dos taludes globais, as seguintes considerações são críticas para a implementação bem-sucedida das conceções:

- **Práticas de desmonte e saneamento** – A obtenção das faces de patamar projetadas requer práticas eficazes de desmonte e saneamento de faces, uma vez que as conceções assumem a preservação, em grande medida, da resistência do maciço rochoso intacto e das resistências ao cisalhamento das descontinuidades.

- **Estratégias de desmonte** – A formação dos taludes globais deverá recorrer a métodos de desmonte que minimizem os danos nas faces e cristas dos patamares. Este aspeto é particularmente importante onde a cartografia geotécnica indica a possibilidade de adoção de faces de patamar mais íngremes sem aumentos excessivos da largura das bermas. Recomenda-se a utilização de técnicas de desmonte controlado (por exemplo, *limit blasting*) para reduzir os danos induzidos pelo desmonte que possam comprometer a estabilidade das faces de patamar para além da linha de projeto. Poderão ser necessários ensaios *in situ* para otimizar o espaçamento dos furos e as cargas explosivas.
- **Saneamento final das faces de patamar** – As faces de patamar deverão ser saneadas mecanicamente com escavadora, removendo material solto que possa constituir um perigo de queda de blocos durante a escavação de patamares subsequentes. Assume-se a disponibilidade de uma escavadora dedicada para tarefas inadequadas a pás carregadoras de frente, especialmente onde os ângulos das faces de patamar são inferiores a 65°.
- **Faces múltiplas de patamar de grande altura** – Sempre que sejam desenvolvidas faces de patamar muito elevadas (por exemplo, patamares triplos de 30 m), o saneamento deverá ser realizado de forma progressiva à medida que os patamares são formados, dado que os equipamentos de saneamento não conseguem atingir estas alturas após a sua conclusão.
- **Manutenção das bermas** – As bermas deverão ser limpas antes da execução do patamar seguinte, de modo a preservar a capacidade de retenção das bermas e reduzir os riscos de queda de blocos.
- **Despressurização** – A despressurização eficaz dos taludes globais das cortas mineiras será crítica para atingir os ângulos de parede recomendados. As recomendações assumem uma parede parcialmente despressurizada, com base na melhor estimativa da curva provável de rebaixamento do nível freático. A experiência da Snowden Optiro indica que a curva de rebaixamento deverá ser mantida com inclinação inferior a ~24°, geralmente equivalente a uma distância horizontal mínima de cerca de 20 m a montante do pé de cada face de patamar.

4.5 DESENHO DAS CORTAS

O desenho das cortas constitui a etapa de engenharia que converte as envolventes de otimização em geometrias operacionais exequíveis, servindo de base à estimativa das Reservas Mineiras, ao cronograma de lavra e ao dimensionamento das infraestruturas mineiras. O Projeto de Ampliação da Mina do Barroso integra quatro cortas a céu aberto – Grandão, Pinheiro, Reservatório e NOA –, exploradas por um método convencional de perfuração, desmonte, carga e transporte.

As cortas foram desenhadas a partir das envolventes de otimização obtidas no software Whittle (algoritmo de Lerch-Grossmann) e refinadas em projeto de detalhe, de modo a incorporar os parâmetros geotécnicos de conceção dos taludes recomendados, os requisitos de acesso e circulação dos equipamentos de lavra, a topografia, os limites da concessão C-100 e da pegada ambiental, bem como um desenvolvimento faseado que

favorece a exposição precoce de minério, difere a decapagem de estéril e mantém a flexibilidade operacional.

Os parâmetros geométricos adotados variam consoante a corta e o setor geotécnico, compreendendo alturas de face de patamar de 10 m ou 20 m (patamares simples ou duplos), larguras de berma de 6,5 m a 8,5 m, ângulos de face de patamar entre 55° e 75° e ângulos inter-rampa entre 36,5° e 55,3°. Os valores mais conservadores aplicam-se às zonas de xisto meteorizado e de transição ou com orientações estruturais desfavoráveis. Foi ainda considerada uma largura mínima de lavra de aproximadamente 20 m e configurações de rampa de faixa simples e dupla, dependendo os ângulos globais de talude resultantes do número e da posição das rampas em cada setor.

Nas secções seguintes apresentam-se a massa mineral contida nas cortas projetadas e a implantação das cortas e das infraestruturas mineiras associadas.

4.5.1 Massa Mineral

A massa mineral considerada no desenho das cortas resulta da conversão dos modelos de recursos em modelos de lavra, com aplicação de diluição operacional e consideração de uma malha de 10 m × 10 m × 5 m. A Tabela 4.3 resume o inventário das cortas para efeitos de planeamento, que totaliza 17,4 Mt de minério, com uma razão estéril/minério global de 4,6.

O Grandão concentra cerca de dois terços da massa mineral (11,7 Mt), constituindo a principal fonte de alimentação da lavaria, seguido do Reservatório (3,9 Mt), do Pinheiro (1,4 Mt) e do NOA (0,5 Mt). O Pinheiro apresenta a razão estéril/minério mais elevada (6,8), seguido do NOA (5,5), do Grandão (4,6) e do Reservatório (4,0).

Deste inventário, 16,960 Mt correspondem a Recursos Medidos e Indicados e 0,476 Mt (2,73%) a Recursos Inferidos, parcela que não integra as Reservas Mineiras declaradas. As Reservas Mineiras Prováveis totalizam 17,0 Mt, com teores médios de 0,98% de Li_2O e 1,02% de Fe_2O_3 (Tabela 4.1), variando o teor de Li_2O entre 0,90% no NOA e 0,98% no Grandão.

A mineralização ocorre em corpos pegmatíticos pouco profundos e lateralmente contínuos. Nas zonas de minério mais estreitas aplica-se lavra seletiva para controlo da diluição, prevendo-se uma repartição aproximada de 50:50 entre lavra seletiva e lavra em massa.

4.5.2 Implantação das Cortas

A **Figura 4.55** apresenta a implantação das quatro cortas na área do projeto. As cortas organizam-se em dois núcleos distintos: a sudeste, as cortas do Grandão e do Pinheiro, situadas na proximidade da lavaria e da instalação de gestão de rejeitados (TSF); e a noroeste, a uma distância de aproximadamente 2,5 a 3 km, as cortas do NOA e do Reservatório, adjacentes entre si. Os desenhos das cortas (planos e secções) encontram-se no Anexo IV.4.

A localização das cortas condiciona a implantação das restantes infraestruturas mineiras – áreas de armazenamento de solos, depósitos de estéril, parques de minério (ROM pad) e acessos –, que foram dispostas de forma a minimizar as distâncias de transporte, respeitar os limites da concessão e da pegada ambiental e permitir o enchimento progressivo das cortas com estéril. O Pinheiro, lavrado numa fase inicial, fornece estéril para a construção de infraestruturas e funciona temporariamente como bacia de sedimentação, sendo posteriormente preenchido com material proveniente do Grandão.

Nas subsecções seguintes descrevem-se os critérios de desenho e a implantação de cada uma destas componentes: armazenamento de solos, depósitos de estéril, enchimento das cortas e armazenamento de minério.

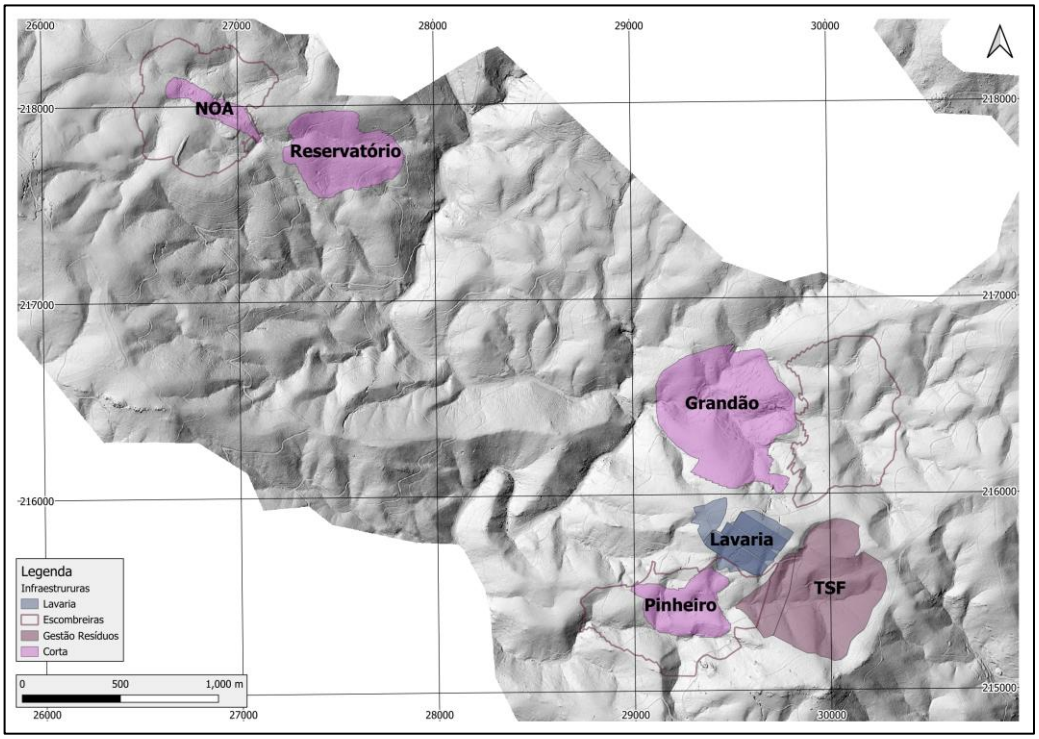


Figura 4.55 – Localização das Cortas.

A Figura 4.56 e a Tabela 4.46 apresentam as áreas a limpar durante a vida útil da mina.

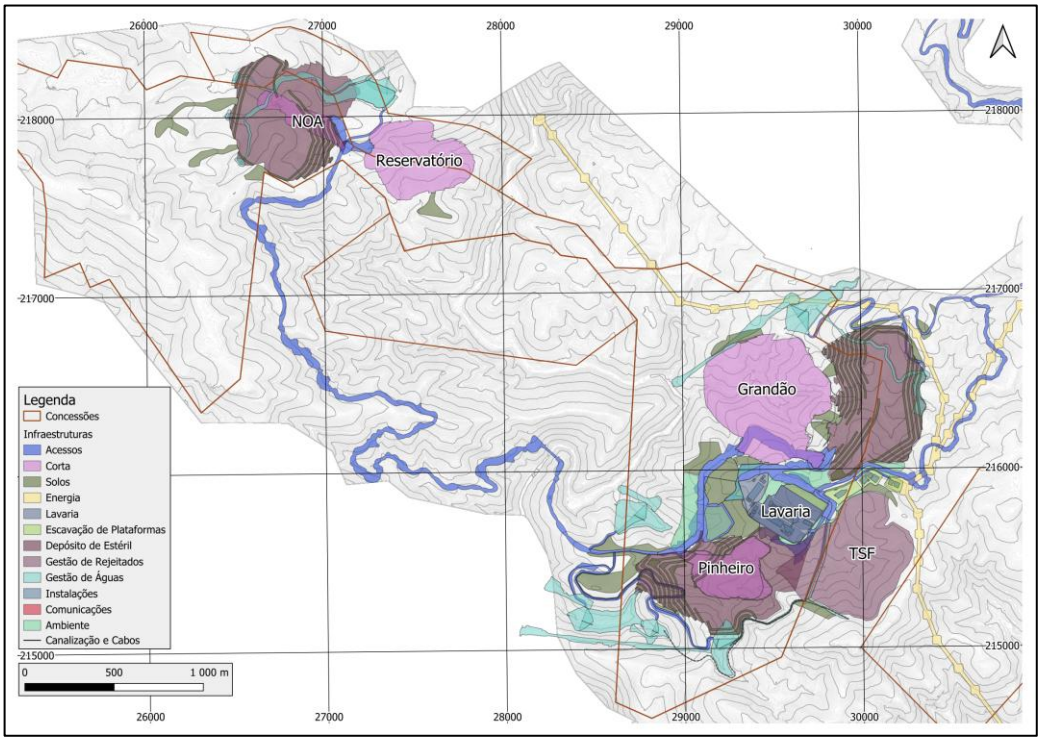


Figura 4.56 – Áreas a limpar durante a vida útil da mina.

Tabela 4.46 – Volume de solo recuperado previsto no cronograma de lavra.

Descrição	Volume de solo recuperado (m³)
Total previsto no cronograma de lavra	562 815

A preparação das áreas de implantação compreende operações de limpeza e decapagem, das quais se prevê recuperar aproximadamente 563 000 m³ de solo. O solo recuperado será armazenado de acordo com os critérios descritos na secção seguinte e posteriormente reutilizado nas operações de reabilitação.

4.5.2.1 Armazenamento de Solos

Os critérios de desenho utilizados para armazenamento de solos consideram os parâmetros listados na tabela abaixo:

Tabela 4.47 – Critérios de Desenho para o Armazenamento de Solo.

Parâmetro	Unidades	Camada de solo superficial
Altura Máxima	m	2
Ângulo do Talude	°	15

A Figura 4.57 apresenta as áreas previstas para armazenamento de solo, em relação à localização das cortas, do depósito de estéril e do limite da concessão, incluindo a representação da topografia através de uma escala de cores correspondente à inclinação do terreno, expressa em graus. As áreas de armazenamento foram preferencialmente selecionadas em zonas de menor declive, procurando minimizar a inclinação dos taludes das pargas. O acesso ao topo e à base destas áreas é assegurado por caminhos existentes, com larguras entre 4 e 5 m.

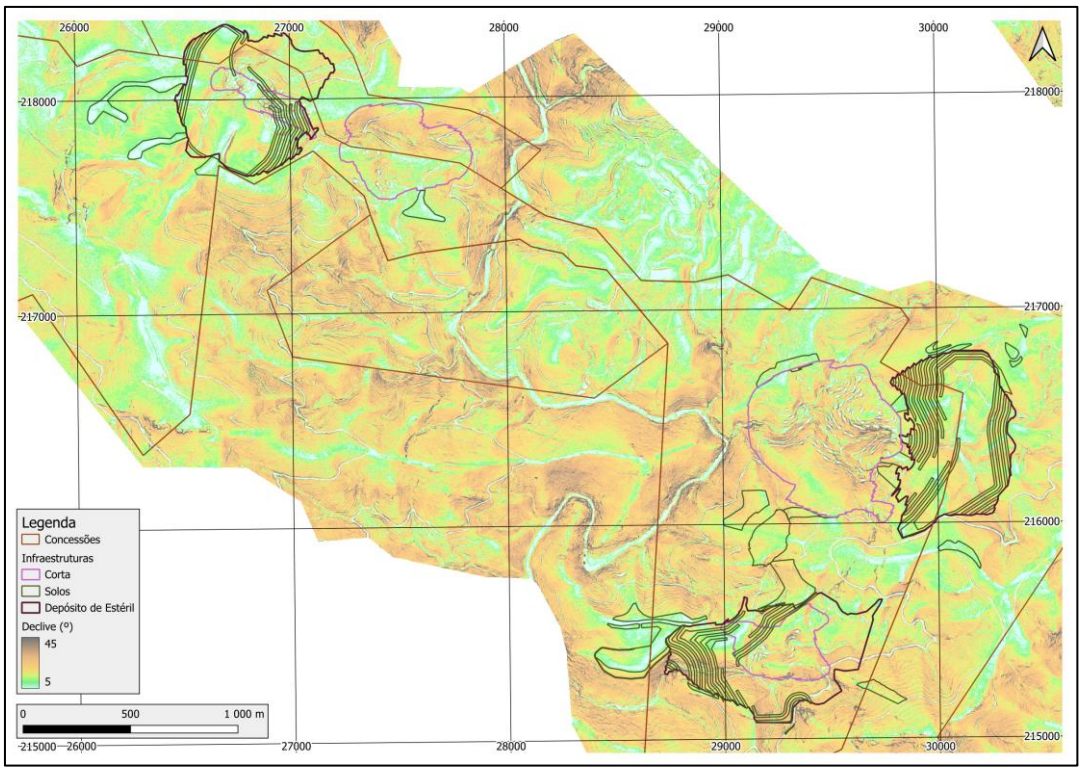


Figura 4.57 – Localizações do Armazenamento de Solos.

4.5.2.2 DEPÓSITOS DE ESTÉRIL

Os critérios de desenho utilizados para os depósitos de estéril consideram os parâmetros listados na Tabela 4.48. A Figura 4.58 e **a** Figura 4.59 mostram as localizações dos depósitos de estéril ao longo da vida útil da mina.

Tabela 4.48 – Critérios de Desenho dos Depósitos de Estéril.

Parâmetro	Unidades	Estado na Deposição (*As-dumped*)	Estado na Reabilitação (*As-rehablitated*)
Ângulo do Talude	°	35	26,6
Altura	m	10	10
Intervalo entre Bermas	m	10	10
Largura da Berma	m	10,7	5,0
Inclinação global	°	21,8	21,8

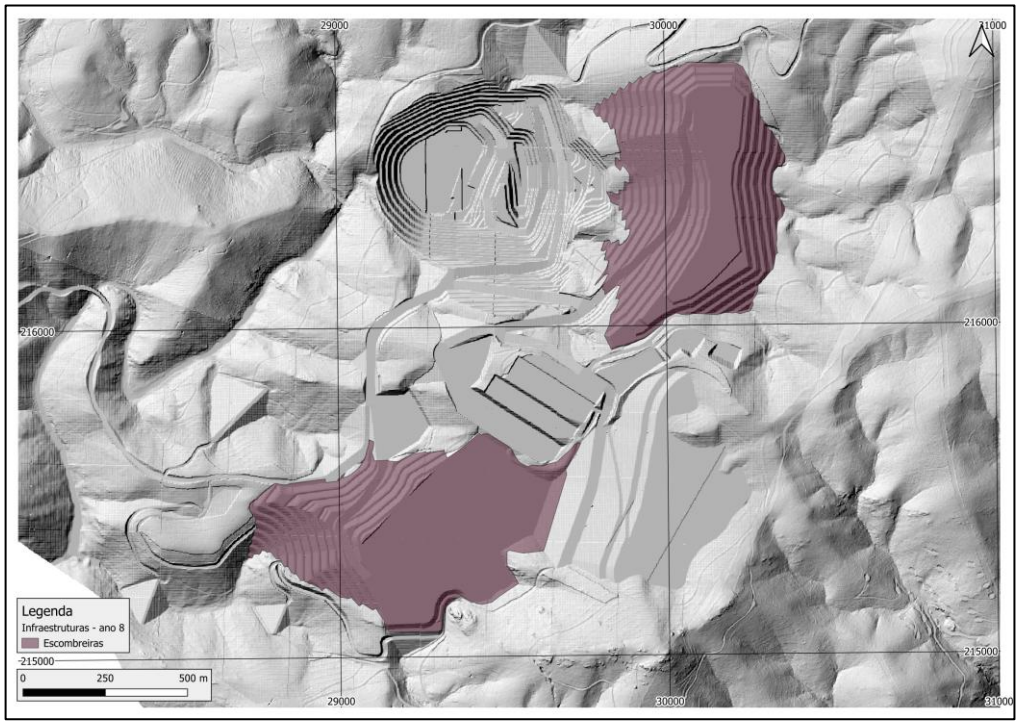


Figura 4.58 – Localização dos Depósitos de Estéril – Grandão (Norte) e Pinheiro (Sul). MDT do ano 8.

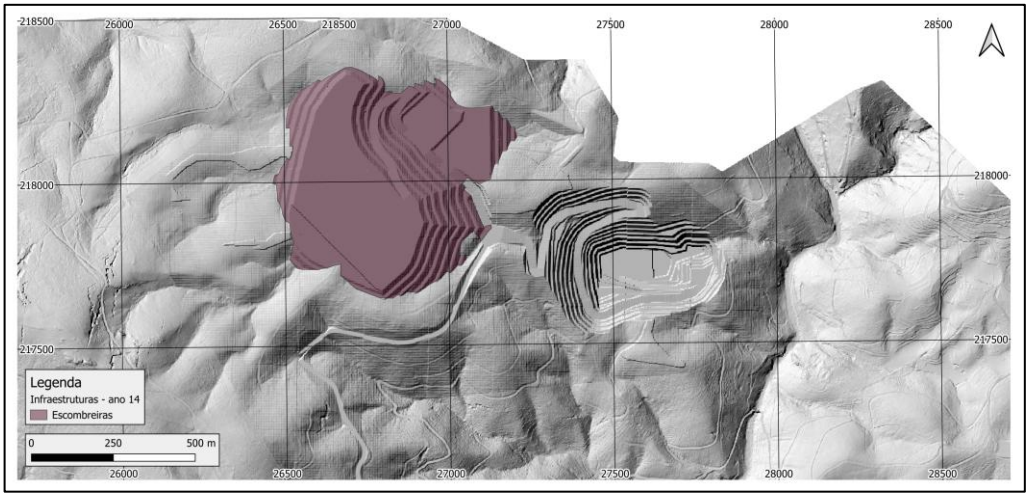


Figura 4.59 – Localização dos Depósitos de Estéril – Reservatório (Este) e NOA (Oeste). MDT do ano 14.

Na Tabela 4.49 representam-se as capacidades dos depósitos de estéril.

Tabela 4.49 – Capacidade Volumétrica dos Depósitos de Estéril.

Depósito de Estéril	Volume (m^3)
Grandão (temporário)	13 100 000
Pinheiro (definitivo)	15 500 000
NOA (definitivo)	11 100 000
Total	**39 700 000**

4.5.2.3 ENCHIMENTO – CRITÉRIOS DE DESENHO

Os parâmetros considerados para o desenho do enchimento são os que constam na Tabela 4.48 e em alguns casos foram adotados valores ainda mais conservadores.

Nas Figura 4.60 e Figura 4.61 apresenta-se a distribuição espacial do enchimento das cortas ao longo da vida útil da mina, evidenciando:

- Áreas de enchimento implementadas;
- Depósitos temporários de estéril;
- O depósito de estéril permanente, no Pinheiro.

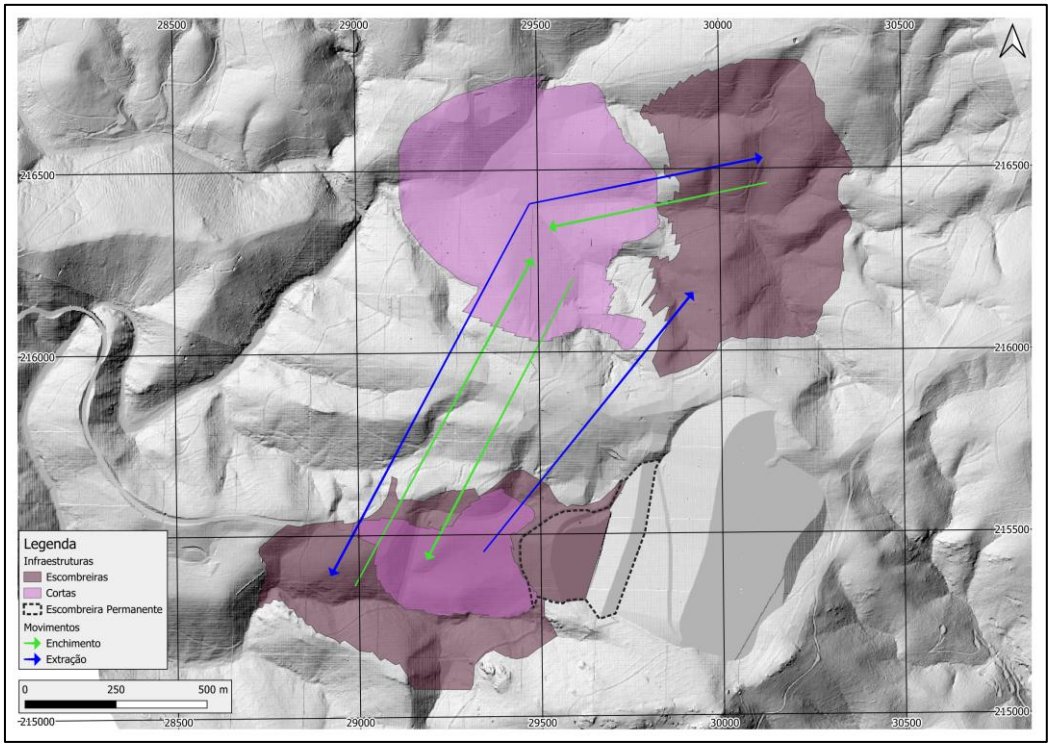


Figura 4.60 – Localização do Enchimento – Grandão (Norte) e Pinheiro (Sul). A Corta do Pinheiro será preenchida com material direto da Corta do Grandão.

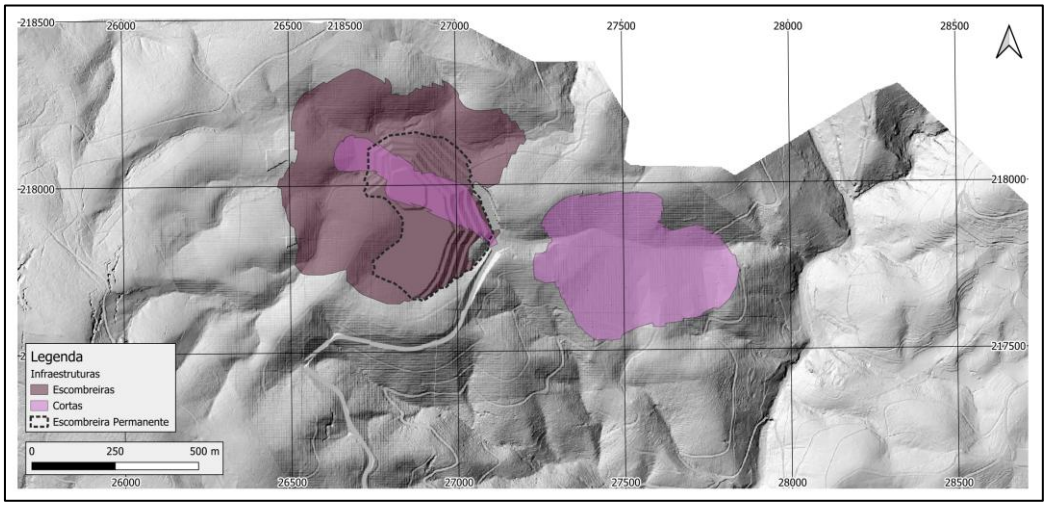


Figura 4.61 – Localização do Enchimento – Reservatório (Este) e NOA (Oeste). As cortas mineiras correspondem aos locais de enchimento, no fim da sua exploração.

A Tabela 4.50 sumariza as capacidades de enchimento para as diferentes cortas.

Tabela 4.50 – Capacidade de Enchimento para as diferentes cortas.

Enchimento	Volume Mínimo (m^3)	Volume Máximo (m^3)
Grandão	22 900 000	27 300 000
Pinheiro	900 000	900 000
Reservatório	6 300 000	8 400 000
Total	**30 100 000**	**36 600 000**

4.5.2.4 Armazenamento de Minério

A Figura 4.62 mostra a localização principal do parque de minério (ROM *pad* – Zona de Descarga + Zona de Recuperação) entre o Grandão e o Pinheiro. A figura indica ainda a localização da área de filtração e de carregamento do produto, bem como a do silo de separação por meio denso.

Esta representação permite visualizar a disposição das principais infraestruturas da planta em relação às áreas de receção de minério e aos pontos de processamento, facilitando o planeamento operacional e logístico da mina.

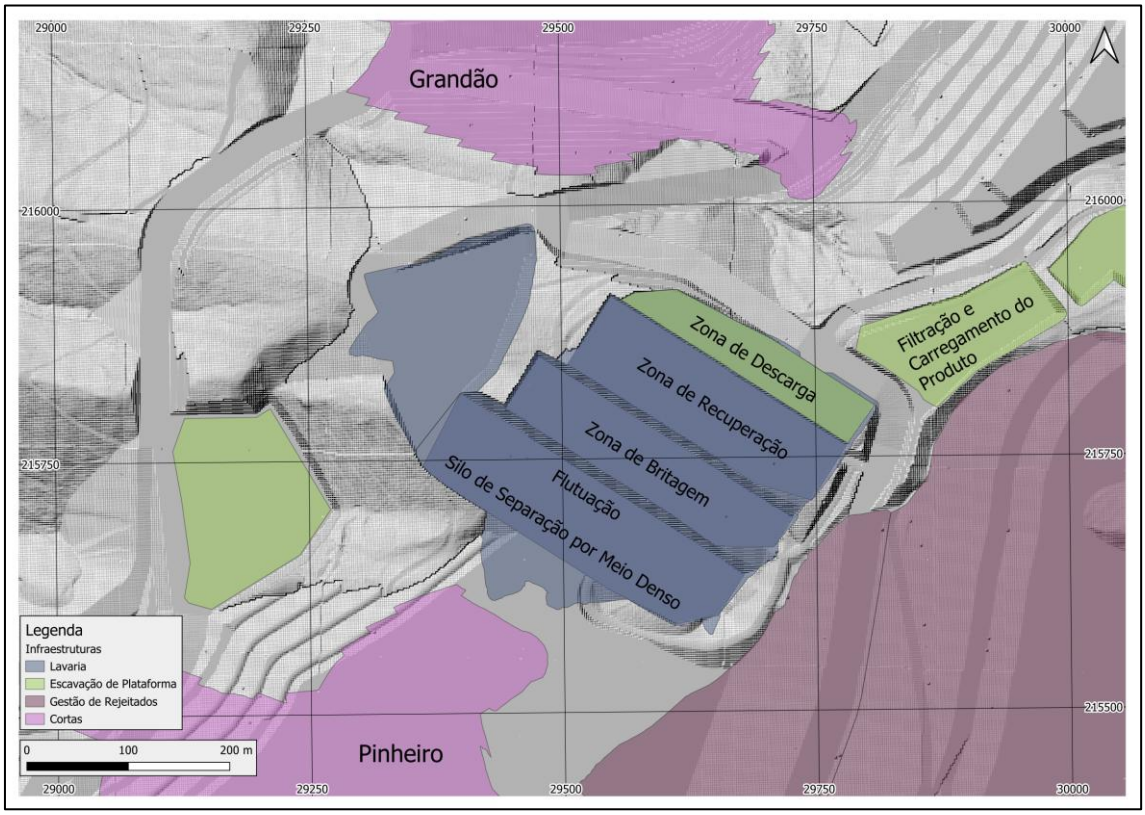


Figura 4.62 – Localização do parque de minério da planta e das instalações de processamento. MDT do ano 9.

A configuração representada na Figura 4.63 proporciona uma capacidade aproximada de 100 kt para uma altura de armazenamento de 4 m. O faseamento utiliza limites flexíveis de stock de 150 kt e 300 kt. A solução representada admite elevações adicionais de 4 m; a sua correspondência com os volumes de stock do cronograma e com as condições de mistura constitui uma verificação específica do dimensionamento do ROM.

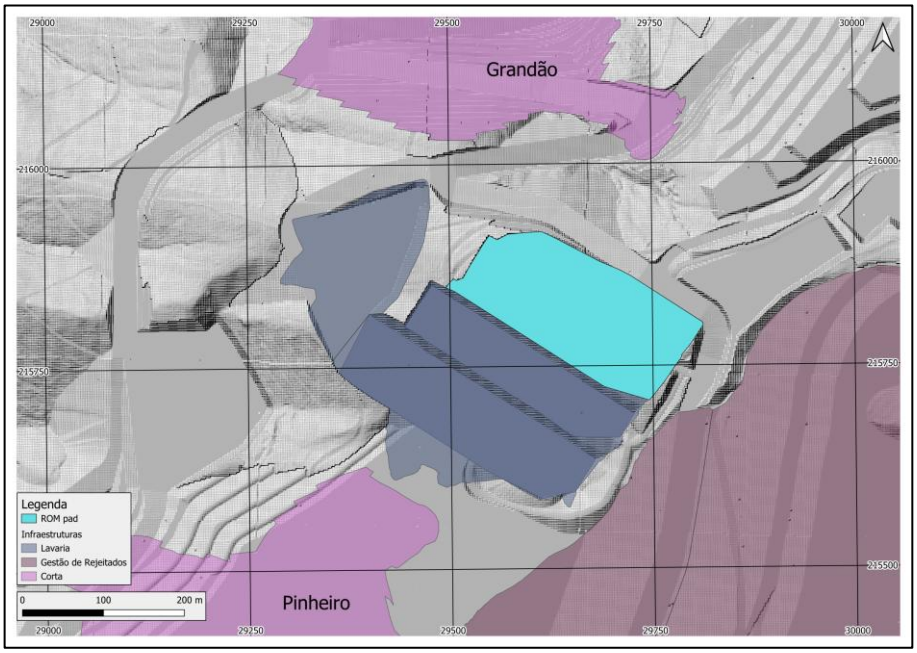


Figura 4.63 – Disposição do ROM pad da Planta de Processamento, no ano 9.

A Figura **4.64** representa a localização do ROM *pad* do NOA. O dimensionamento final desta área depende do planeamento do cronograma e do equipamento selecionado.

A utilização de camiões mais pequenos, capazes de percorrer a estrada NOA–Pinheiro, eliminaria a necessidade de múltiplas movimentações e, consequentemente, do ROM *pad* do NOA. Contudo, esta opção aumentaria a área necessária para parqueamento de equipamentos, devido ao maior número de unidades necessárias.

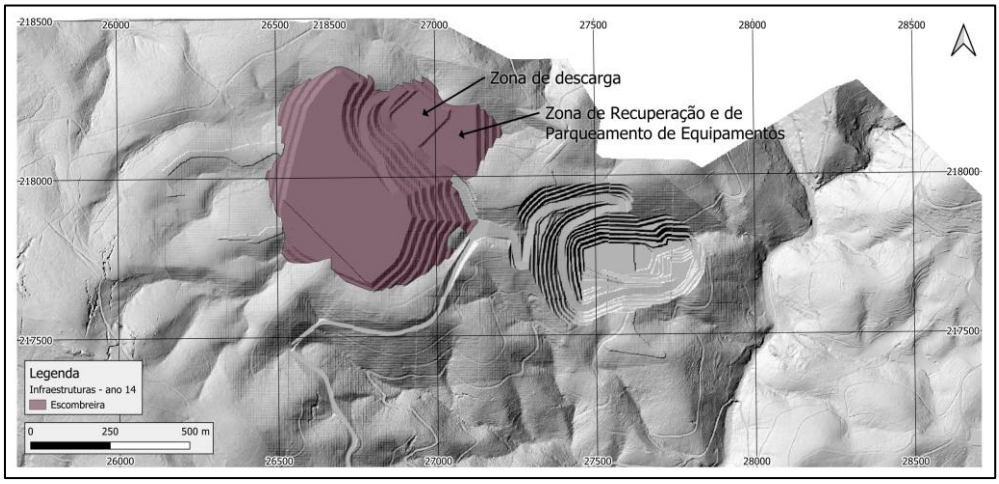


Figura 4.64 – Localização do ROM da Corta do NOA, no ano 14.

4.6 CRONOGRAMA DOS TRABALHOS

4.6.1 METODOLOGIA

O planeamento da vida útil da mina (Life Of Mine - LOM) foi gerado com recurso ao software de programação Evaluator, pela Snowden Optiro e pode ser consultado no Anexo VIII.1. A síntese do faseamento dos trabalhos é apresentada no Anexo IV.5. Este software utilizou um modelo baseado em Programação Linear Inteira Mista (Mixed Integer Linear Programming – MILP), cujo objetivo é maximizar globalmente o valor atual líquido (VAL), dentro de uma determinada tolerância, respeitando as restrições definidas, como quantidade física e teor do minério.

Foram executados múltiplos cenários de programação antes de se selecionar o cronograma final reportado. As atividades de agendamento de deposição de estéril (*dump scheduling*) e recuperação de estéril (*waste reclamation*) foram realizadas posteriormente em Excel, como atividades pós-planeamento.

O cronograma de referência compreende 58 períodos: trimestres nos Anos -2, -1 e 1 a 5, seguidos de semestres nos Anos 6 a 20. Os anos do plano decorrem de outubro a setembro; o Ano 1 corresponde a outubro de 2028 a setembro de 2029. A Tabela 4.51 apresenta as datas de início e fim de cada período. A reconciliação com o modelo financeiro utiliza as datas trimestrais efetivas. A agregação julho–junho usada no Capítulo 11 para os custos de encerramento é identificada separadamente.

Tabela 4.51 – Correspondência dos 58 períodos do cronograma de lavra com os anos do plano e as datas civis.

Período	Ano do plano	Início	Fim	Meses
1	-2	01/10/2026	31/12/2026	3

Período	Ano do plano	Início	Fim	Meses
2	-2	01/01/2027	31/03/2027	3
3	-2	01/04/2027	30/06/2027	3
4	-2	01/07/2027	30/09/2027	3
5	-1	01/10/2027	31/12/2027	3
6	-1	01/01/2028	31/03/2028	3
7	-1	01/04/2028	30/06/2028	3
8	-1	01/07/2028	30/09/2028	3
9	1	01/10/2028	31/12/2028	3
10	1	01/01/2029	31/03/2029	3
11	1	01/04/2029	30/06/2029	3
12	1	01/07/2029	30/09/2029	3
13	2	01/10/2029	31/12/2029	3
14	2	01/01/2030	31/03/2030	3
15	2	01/04/2030	30/06/2030	3
16	2	01/07/2030	30/09/2030	3
17	3	01/10/2030	31/12/2030	3
18	3	01/01/2031	31/03/2031	3
19	3	01/04/2031	30/06/2031	3
20	3	01/07/2031	30/09/2031	3
21	4	01/10/2031	31/12/2031	3
22	4	01/01/2032	31/03/2032	3
23	4	01/04/2032	30/06/2032	3
24	4	01/07/2032	30/09/2032	3
25	5	01/10/2032	31/12/2032	3
26	5	01/01/2033	31/03/2033	3
27	5	01/04/2033	30/06/2033	3
28	5	01/07/2033	30/09/2033	3
29	6	01/10/2033	31/03/2034	6
30	6	01/04/2034	30/09/2034	6
31	7	01/10/2034	31/03/2035	6

Período	Ano do plano	Início	Fim	Meses
32	7	01/04/2035	30/09/2035	6
33	8	01/10/2035	31/03/2036	6
34	8	01/04/2036	30/09/2036	6
35	9	01/10/2036	31/03/2037	6
36	9	01/04/2037	30/09/2037	6
37	10	01/10/2037	31/03/2038	6
38	10	01/04/2038	30/09/2038	6
39	11	01/10/2038	31/03/2039	6
40	11	01/04/2039	30/09/2039	6
41	12	01/10/2039	31/03/2040	6
42	12	01/04/2040	30/09/2040	6
43	13	01/10/2040	31/03/2041	6
44	13	01/04/2041	30/09/2041	6
45	14	01/10/2041	31/03/2042	6
46	14	01/04/2042	30/09/2042	6
47	15	01/10/2042	31/03/2043	6
48	15	01/04/2043	30/09/2043	6
49	16	01/10/2043	31/03/2044	6
50	16	01/04/2044	30/09/2044	6
51	17	01/10/2044	31/03/2045	6
52	17	01/04/2045	30/09/2045	6
53	18	01/10/2045	31/03/2046	6
54	18	01/04/2046	30/09/2046	6
55	19	01/10/2046	31/03/2047	6
56	19	01/04/2047	30/09/2047	6
57	20	01/10/2047	31/03/2048	6
58	20	01/04/2048	30/09/2048	6

4.6.2 PARÂMETROS E RESTRIÇÕES

O modelo de lavra foi codificado com diferentes tipos de material, permitindo o planeamento separado de minério e estéril. A Tabela 4.52 apresenta os tipos de material codificados e os critérios associados a cada um.

Tabela 4.52 – Tipo de Material Considerado no Planeamento.

Tipo de Material	Li_2O (%)	Alteração	Classe de Recurso
Minério meteorizado de baixo teor	≥0,5<0,8	Meteorizado	Medido, Indicado, Inferido
Minério meteorizado de teor médio	≥0,8<1,1	Meteorizado	Medido, Indicado, Inferido
Minério meteorizado de alto teor	≥1,1	Meteorizado	Medido, Indicado, Inferido
Estéril meteorizado	<0,5	Meteorizado	-
Minério fresco de baixo teor	≥0,5<0,8	Fresco	Medido, Indicado, Inferido
Minério fresco de teor médio	≥0,8<1,1	Fresco	Medido, Indicado, Inferido
Minério fresco de alto teor	≥1,1	Fresco	Medido, Indicado, Inferido
Estéril fresco	<0,5	Fresco	-

A distribuição por classes de teor da Figura 4.65 utiliza os limites de 0,8% e 1,1% de Li_2O, aplicados ao minério identificado no plano mineiro. O estéril e o material de enchimento são apresentados separadamente.Os intervalos de teor de Li_2O foram selecionados com base na atribuição aproximada de um terço da massa de minério a cada faixa de teor, utilizando incrementos de 0,1 %.

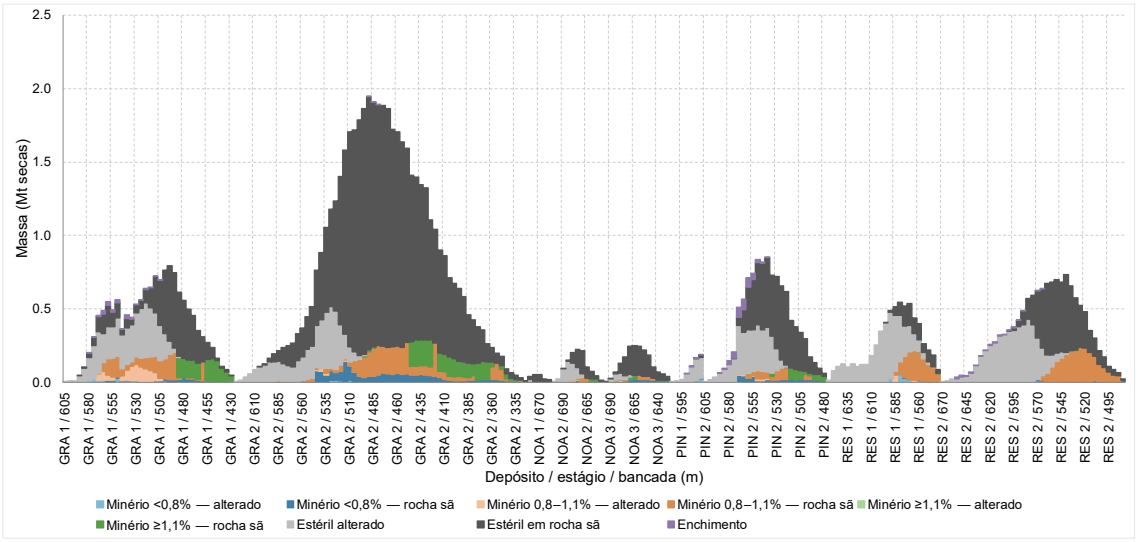


Figura 4.65 – Distribuição das massas por tipo de material, depósito, estágio e bancada.

A divisão entre material seletivo (incluindo a estimativa preliminar de abertura) e material em massa foi realizada após o planeamento.

A Figura 4.66 apresenta a distribuição de material por depósito, estágio e bancada, distinguindo lavra seletiva e lavra em massa. O cenário contempla dois estágios no Grandão, dois no Pinheiro, três no NOA e dois no Reservatório.

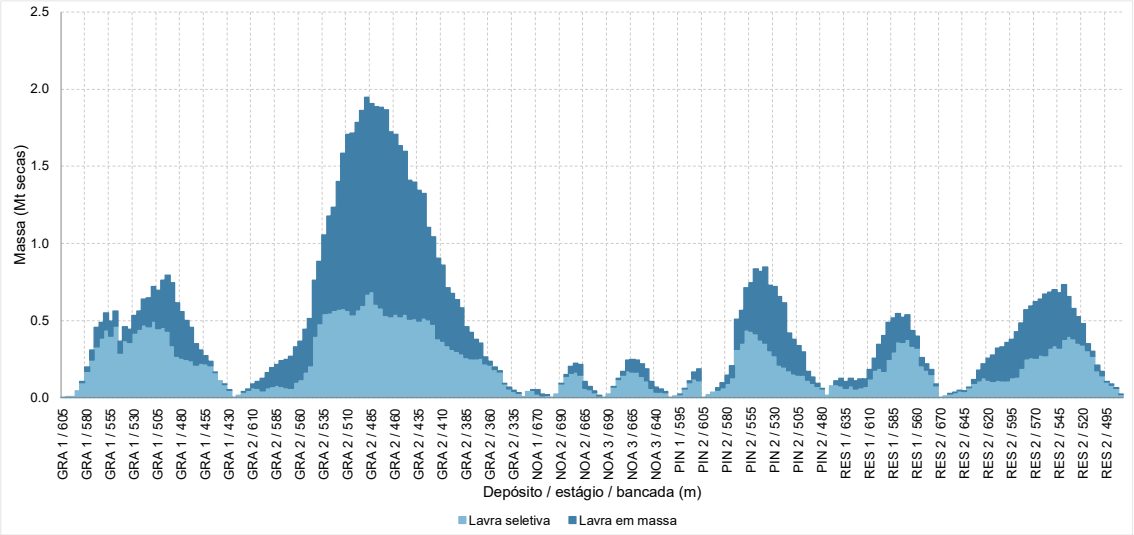


Figura 4.66 – Distribuição das massas de lavra seletiva e em massa por depósito, estágio e bancada.

O cronograma foi elaborado em incrementos trimestrais para a fase de pré-produção e para os primeiros cinco anos de produção. A partir do sexto ano, o planeamento passou a ser realizado semestralmente.

No entanto, neste relatório, os resultados são apresentados em base anual, de forma a facilitar as comparações entre anos.

Com base na escala temporal selecionada, as quantidades foram agregadas ao nível de bancada, por estágio e tipo de material.

Não foi aplicado um limite específico ao número de depósitos ou estágios de corta ativos em simultâneo, embora se tenha procurado minimizar esse número sempre que possível.

Foram aplicadas as seguintes precedências operacionais:

- Todas as bancadas dentro de um estágio dependem da conclusão da lavra da bancada imediatamente superior.
- As bancadas de estágios subsequentes não podem ser exploradas abaixo do estágio atual.
- Os subestágios do Pinheiro devem ser explorados sequencialmente.
- Os subestágios do NOA devem ser explorados sequencialmente.
- Grandão 1 inicia-se no período 6, entre janeiro e março de 2028.
- Grandão 2 inicia-se no período 9, entre outubro e dezembro de 2028.

- O NOA inicia-se no período 34, entre abril e setembro de 2036.
- O Reservatório inicia-se no período 36, entre abril e setembro de 2037, após a conclusão do estágio 2 do NOA.

A Figura 4.67 apresenta, por depósito, estágio e bancada, o intervalo calendarizado entre o início do primeiro período com extração e o fim do último período com extração, em anos, juntamente com as massas total e seletiva. As datas decorrem dos períodos trimestrais e semestrais do plano mineiro. O intervalo inclui eventuais interrupções e a atividade dos subestágios agregados na mesma bancada; não corresponde ao tempo líquido de escavação.

O intervalo calendarizado caracteriza a distribuição temporal da lavra e não permite, por si só, calcular a velocidade de avanço vertical.

A execução da lavra considera os condicionamentos topográficos, a inclinação dos corpos mineralizados e os horários operacionais, que influenciam a organização das frentes e o cumprimento do programa.

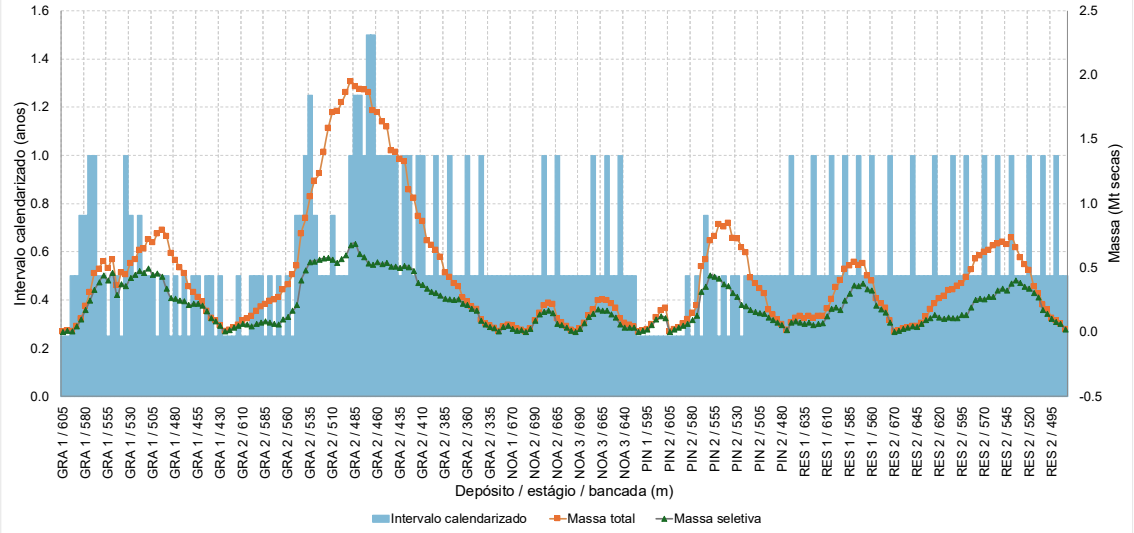


Figura 4.67 – Intervalo calendarizado de extração e massas total e seletiva por depósito, estágio e bancada.

Para a Lavra foram aplicadas as seguintes restrições:

- O planeamento aplica, separadamente aos grupos Grandão–Pinheiro e NOA–Reservatório, limites flexíveis de armazenamento de 150 kt e 300 kt, com penalizações crescentes para a sua ultrapassagem.
- As restrições de programação são definidas separadamente para Grandão, Pinheiro e NOA-Reservatório. A Tabela 4.53 regista os parâmetros do cenário

de referência, distinguindo estes limites dos resultados de movimentação apresentados na Tabela 4.54.

- A removimentação de estéril para enchimento totaliza 64,493 Mt. O máximo anual programado é de 10,045 Mt no Ano 16, correspondente a 5,022 milhões de m³ de material solto.
- O depósito do Pinheiro foi esgotado antecipadamente para atuar como depósito temporário de controlo de sedimentos.

Tabela 4.53 – Restrições para a lavra.

Períodos	Descrição do período	Valor	Unidades
Grandão			
1 a 10	Ano -2, T1 ao Ano 1, T2	Máx. 813	h/trimestre
11 a 17	Ano 1, T3 ao Ano 3, T1	Máx. 1 626	h/trimestre
18 a 28	Ano 3, T2 ao Ano 5, T4	Máx. 2 439	h/trimestre
29 a 33	Ano 6, S1 ao Ano 8, S1	Máx. 4 878	h/semestre
34 em diante	Ano 8, S2 em diante	Máx. 1 626	h/semestre
16 a 24	Ano 2, T4 ao Ano 4, T4	Mín. 1 400	h/trimestre
NOA e Reservatório			
1 a 28	Ano -2, T1 ao Ano 5, T4	Máx. 813	h/trimestre
29 a 32	Anos 6 e 7	Máx. 1 626	h/semestre
33 a 34	Ano 8	Máx. 3 252	h/semestre
35 em diante	Ano 9 em diante	Máx. 4 878	h/semestre
Pinheiro			
1 a 7	Ano -2, T1 ao Ano -1, T3	Máx. 813	h/trimestre
8 a 28	Ano -1, T4 ao Ano 5, T4	Máx. 1 626	h/trimestre
29 em diante	Ano 6 em diante	Máx. 1 626	h/semestre

Os valores exprimem horas de carregamento por período, não toneladas. T: trimestre; S: semestre. Os anos do plano decorrem de outubro a setembro. São parâmetros de referência inscritos no programa. O limite mínimo do Grandão aplica-se em simultâneo com o máximo indicado para o respetivo período.

4.6.3 PLANEAMENTO MINEIRO

Com base nos parâmetros e restrições definidos, foi elaborado o programa de produção ao longo da vida da mina. O programa distingue a extração de material das cortas, discriminada entre material mineralizado e estéril, das movimentações para construção e das removimentações posteriores. A transferência de material previamente extraído para enchimento das cortas, escombreiras ou outras infraestruturas é contabilizada

como removimentação, não como nova extração. O rácio estéril/minério é calculado sobre as quantidades extraídas.

Na página seguinte encontra-se uma tabela resumo com os principais indicadores de produção.

A Figura 4.68 apresenta a movimentação total de material, discriminada por tipo de movimentação.

A extração das cortas inicia-se no Ano -1 e prossegue até ao Ano 15. O volume anual de extração varia ao longo do programa, atingindo o máximo de 9,393 Mt no Ano 6. Ao longo da vida da mina são extraídos 97,015 Mt, dos quais 17,436 Mt de material mineralizado e 79,579 Mt de estéril.

A removimentação de estéril para enchimento inicia-se no Ano 10 e prolonga-se até ao Ano 20, com intensidade variável. O máximo anual ocorre no Ano 16, com 10,045 Mt. Estas quantidades são contabilizadas separadamente da extração das cortas.

Tabela 4.54 – Plano de produção e movimentação de materiais por ano do plano.

		Ano	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
		Unid																							
MINA																									
Total Movimentado		**kdt**	**3 890**	**5 092**	**8 678**	**8 143**	**8 643**	**9 306**	**9 297**	**9 577**	**9 646**	**6 971**	**4 431**	**5 934**	**9 358**	**8 955**	**8 173**	**8 325**	**8 607**	**10 045**	**9 967**	**9 169**	**5 850**	**1 038**	**169 095**
Movimentação de construção		kdt	3 890	1 643	230	-	-	-	-	-	575	448	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 786
Movimentação Total das Cortas		kdt	-	3 449	8 324	7 980	8 598	9 279	9 260	9 393	9 071	6 301	4 431	2 806	4 457	5 408	4 627	3 004	627	-	-	-	-	-	97 015
	Por Depósito																								
	Grandão	kdt	-	718	3 521	5 085	8 245	9 279	9 260	9 393	9 071	5 503	2 860	827	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63 762
	Pinheiro	kdt	-	2 731	4 803	2 895	354	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10 782
	Noa	kdt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	797	1 517	830	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 145
	Reservatório	kdt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	1 149	4 457	5 408	4 627	3 004	627	-	-	-	-	-	19 325
Movimentação de Estéril		**kdt**	**-**	**3 296**	**7 045**	**6 561**	**6 987**	**7 771**	**7 738**	**8 074**	**7 385**	**5 053**	**3 286**	**2 144**	**4 091**	**4 337**	**3 871**	**1 685**	**256**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**79 579**
	Por Depósito																								
	Grandão	kdt	-	685	2 757	4 244	6 804	7 771	7 738	8 074	7 385	4 316	1 963	343	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52 080
	Pinheiro	kdt	-	2 610	4 288	2 317	183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9 398
	Noa	kdt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	737	1 269	652	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 658
	Reservatório	kdt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	1 149	4 091	4 337	3 871	1 685	256						15 443
Movimentação de Minério		**kdt**	**-**	**154**	**1 279**	**1 419**	**1 611**	**1 508**	**1 523**	**1 319**	**1 685**	**1 248**	**1 145**	**662**	**366**	**1 071**	**755**	**1 319**	**371**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**17 436**
	Teores																								
	Li2O	%	-	0,74	0,91	0,97	0,89	0,99	0,95	0,90	1,03	1,05	1,09	0,99	0,89	1,03	0,88	0,98	0,98	-	-	-	-	-	0,97
	Fe2O3	%	-	1,92	0,98	0,91	0,87	0,92	1,00	1,25	1,03	1,13	0,99	1,08	1,02	1,08	1,11	1,12	1,37	-	-	-	-	-	1,04
	Ca	%	-	0,12	0,16	0,19	0,23	0,27	0,27	0,29	0,27	0,29	0,26	0,25	0,12	0,23	0,31	0,34	0,36	-	-	-	-	-	0,26
	Ta	ppm	-	22,54	19,36	16,88	16,27	16,18	15,80	17,25	16,32	16,43	15,67	15,12	17,62	15,76	15,03	15,74	16,03	-	-	-	-	-	16,46
	K	%	-	2,40	2,31	2,37	2,28	2,30	2,26	2,21	2,19	2,29	2,34	2,43	2,38	2,33	2,40	2,42	2,43	-	-	-	-	-	2,31
	Por Depósito																								
	Grandão	kdt	-	33	764	841	1 441	1 508	1 523	1 319	1 685	1 188	897	484	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11 682
	Pinheiro	kdt	-	121	515	579	170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 384
	Noa	kdt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	248	178	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	487
	Reservatório	kdt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	366	1 071	755	1 319	371	-	-	-	-	-	3 883
Rácio Estéril/Minério		est/min	-	21,47	5,51	4,62	4,34	5,15	5,08	6,12	4,38	4,05	2,87	3,24	11,18	4,05	5,12	1,28	0,69	-	-	-	-	-	4,56
	Por Depósito																								
	Grandão	est/min	-	20,79	3,61	5,05	4,72	5,15	5,08	6,12	4,38	3,63	2,19	0,71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,46
	Pinheiro	est/min	-	21,65	8,33	4,00	1,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,79
	Noa	est/min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,29	5,11	3,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,46
	Reservatório	est/min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,18	4,05	5,12	1,28	0,69	-	-	-	-	-	3,98
Removimentação de Estéril		**kdt**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**3 128**	**4 902**	**3 547**	**3 547**	**5 320**	**7 980**	**10 045**	**9 967**	**9 169**	**5 850**	**1 038**	**64 493**
	Por Depósito																								
	Grandão	kdt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 128	4 902	3 547	3 547	5 320	6 580	91	-	306	70	291	27 781
	Pinheiro	kdt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 151	5 501	8 863	5 780	633	23 928
	Noa	kdt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 400	6 803	4 467	-	-	114	12 784
	Reservatório	kdt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

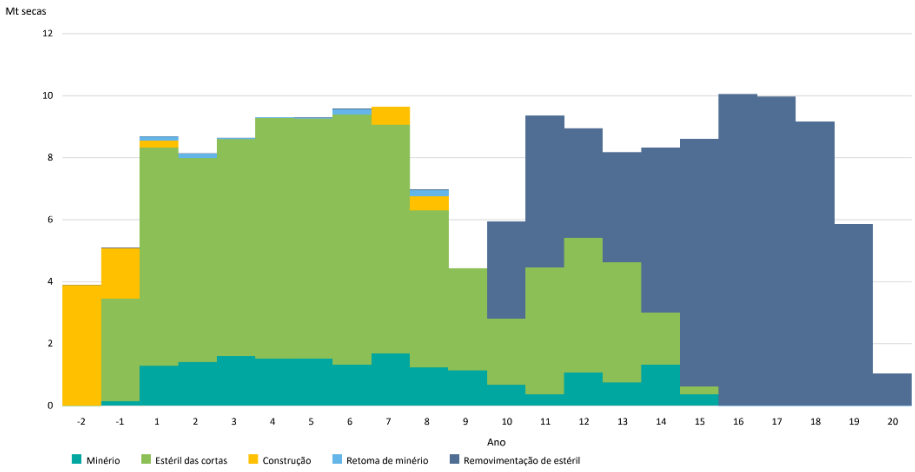


Figura 4.68 – Movimentação Total de Material por Tipo.

A Figura 4.69 apresenta a movimentação de material por depósito.

Inicialmente, a exploração do Pinheiro é realizada com o objetivo de produzir estéril para utilização em obras de construção. Após o início da produção, a prioridade recai sobre o depósito do Grandão, onde a lavra se mantém durante vários anos.

A extração no NOA inicia-se no segundo semestre do Ano 8, entre abril e setembro de 2036. A extração no Reservatório inicia-se no segundo semestre do Ano 9, entre abril e setembro de 2037, após a conclusão do estágio 2 do NOA.

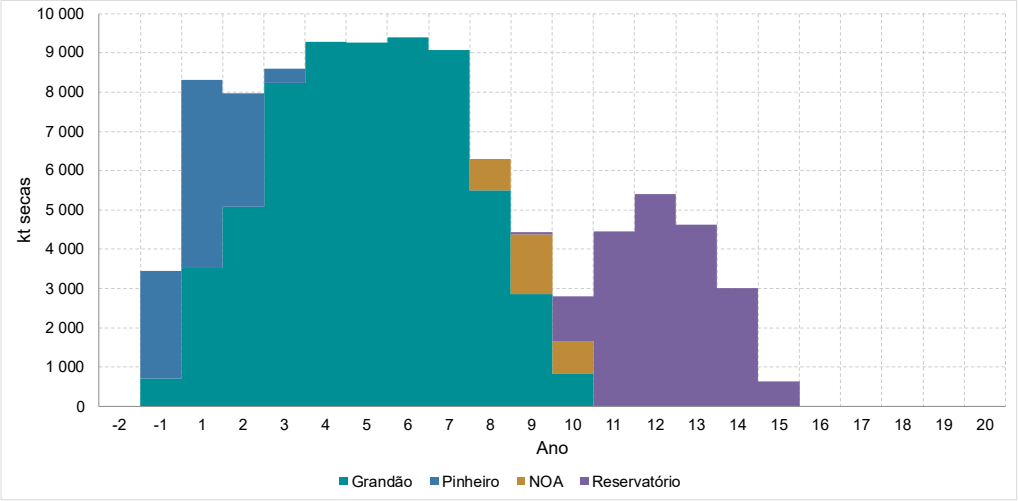


Figura 4.69 – Movimentação de Material por Depósito.

A Figura 4.70 apresenta a movimentação de material discriminada por estágio de lavra em cada Corta, permitindo visualizar a sequência e a intensidade da atividade mineira ao longo do tempo.

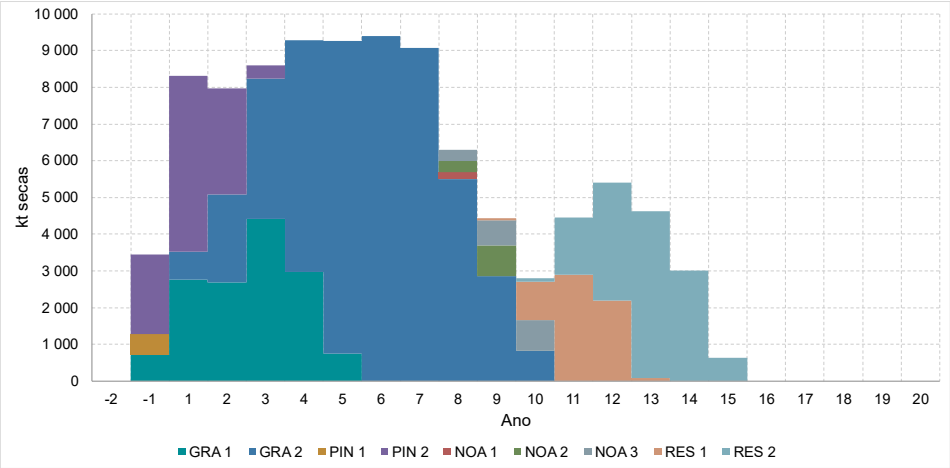


Figura 4.70 – Extração das Cortas por Estágio de Lavra.

A Figura 4.71 apresenta a movimentação de material das cortas discriminada por grau de alteração. Na maioria dos anos, uma parte do material extraído encontra-se alterada.

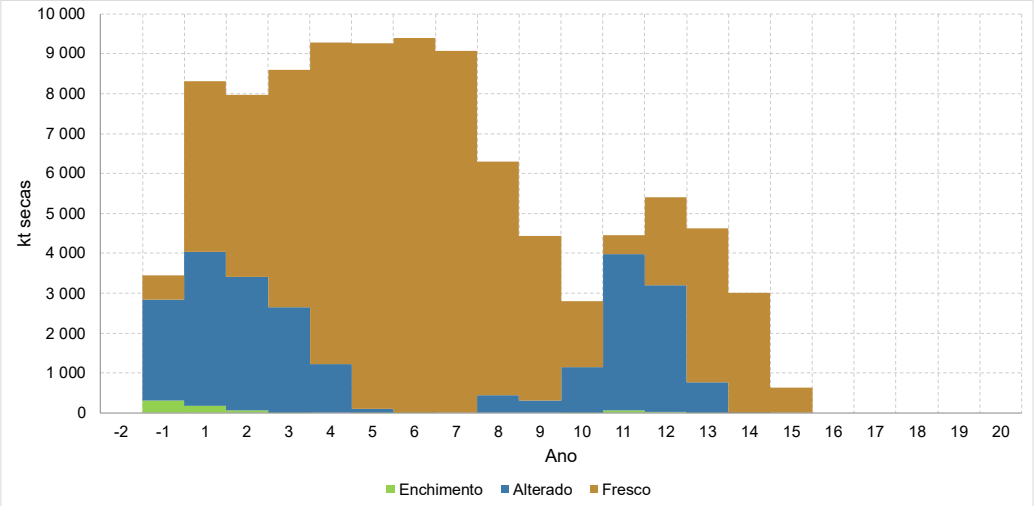


Figura 4.71 – Movimentação de Material por grau de Alteração.

A Figura 4.72 apresenta a extração das cortas, distinguindo minério limpo, minério de contacto, pegmatito mineralizado classificado como estéril e restante estéril. O rácio estéril/minério é calculado a partir das massas extraídas em cada ano.

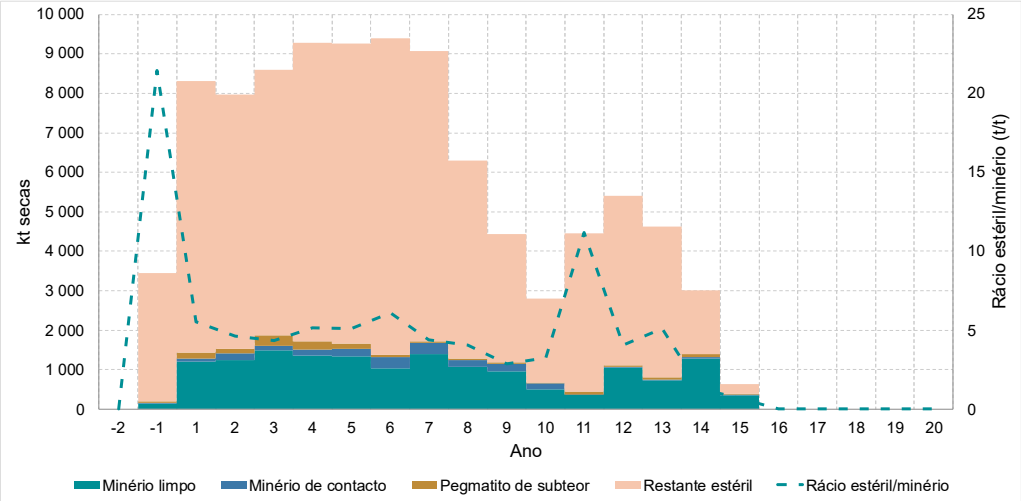


Figura 4.72 – Movimentação de Material das Cortas por Tipo.

A Figura 4.73 distingue a extração por lavra seletiva e por lavra em massa. A lavra em massa predomina nos Anos 4 a 8 e no Ano 13. Ao longo do programa, as duas modalidades representam, respetivamente, 48,095 Mt de lavra seletiva e 48,920 Mt de lavra em massa.

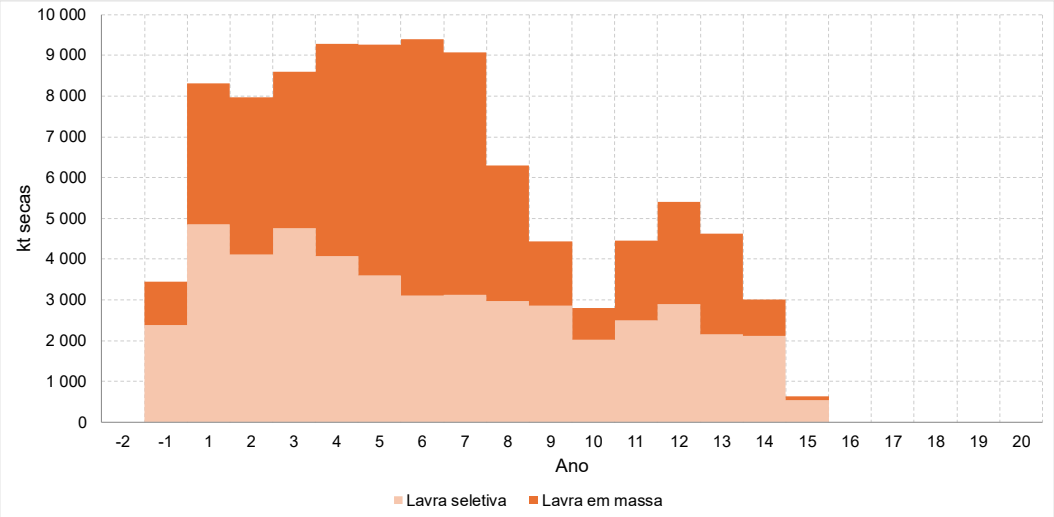


Figura 4.73 – Extração das Cortas por Modalidade de Lavra.

A Figura 4.74 apresenta o número de depósitos e estágios com atividade em cada ano do plano. O máximo anual é de três depósitos nos Anos 9 e 10 e de quatro estágios nos Anos 8, 9 e 10. A presença de várias áreas no mesmo ano não implica a sua operação simultânea durante todo esse ano. A frota é apresentada separadamente na secção de equipamentos móveis.

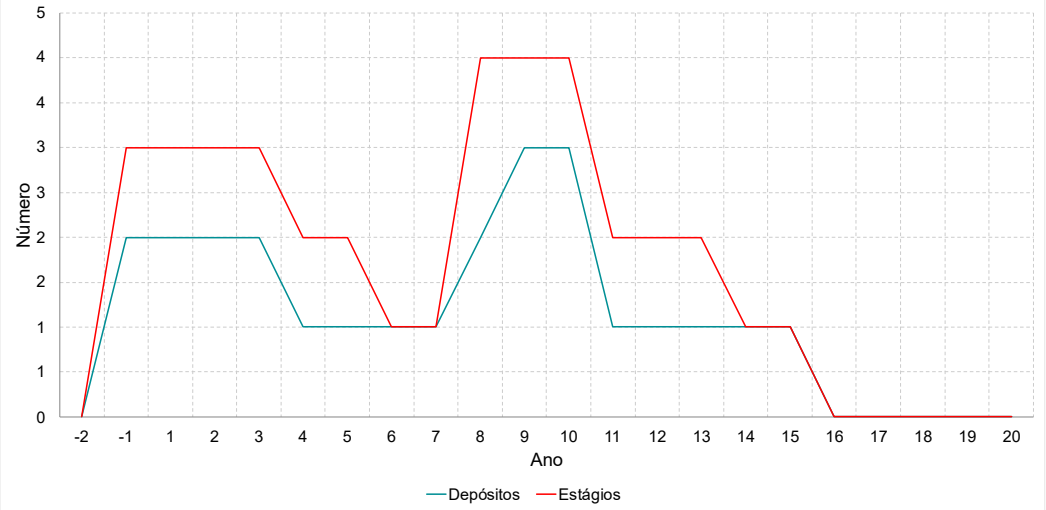


Figura 4.74 – Áreas de Lavra Ativas.

A Figura 4.75 apresenta o stock de minério no final de cada ano, discriminado por tipo de material. O saldo no final do Ano -1 é de 153,542 kt; o máximo dos saldos anuais é de 185,224 kt, no Ano 7. A análise anual não caracteriza os picos intranuais nem comprova a continuidade diária da alimentação da lavaria.

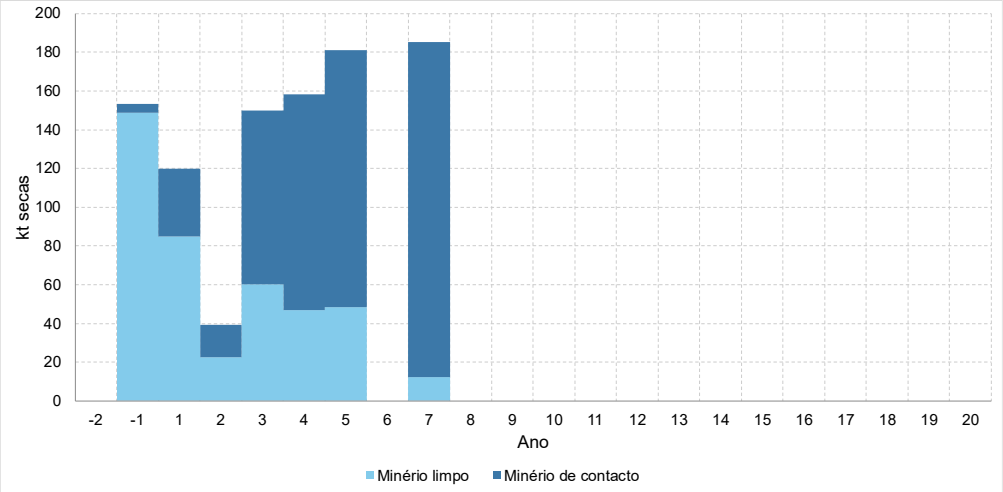


Figura 4.75 – Dimensão das Pilhas por Tipo de Material.

A Figura 4.76 apresenta, em massa seca, o minério do bloco Oeste alimentado à lavaria e os rejeitados encaminhados para a TSF, discriminados por corrente. São fluxos de referência para as movimentações complementares; o dimensionamento do transporte utiliza as massas húmidas e as condições operacionais próprias de cada material.

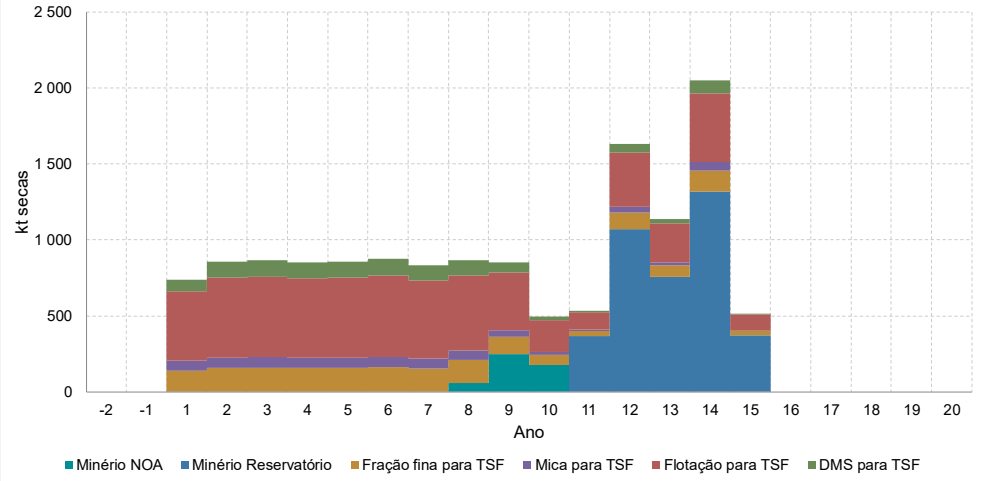


Figura 4.76 – Alimentação proveniente do bloco Oeste e materiais encaminhados para a TSF.

4.6.4 PLANEAMENTO DA PLANTA DE PROCESSAMENTO

A Figura 4.77 apresenta a alimentação da lavaria por depósito. A alimentação totaliza 1,313 Mt no Ano 1 e atinge 1,5 Mt/ano nos Anos 2 a 7. No Ano 8 é de 1,433 Mt, permanecendo abaixo da capacidade nominal nos anos seguintes. O processamento termina no Ano 15, em setembro de 2043.

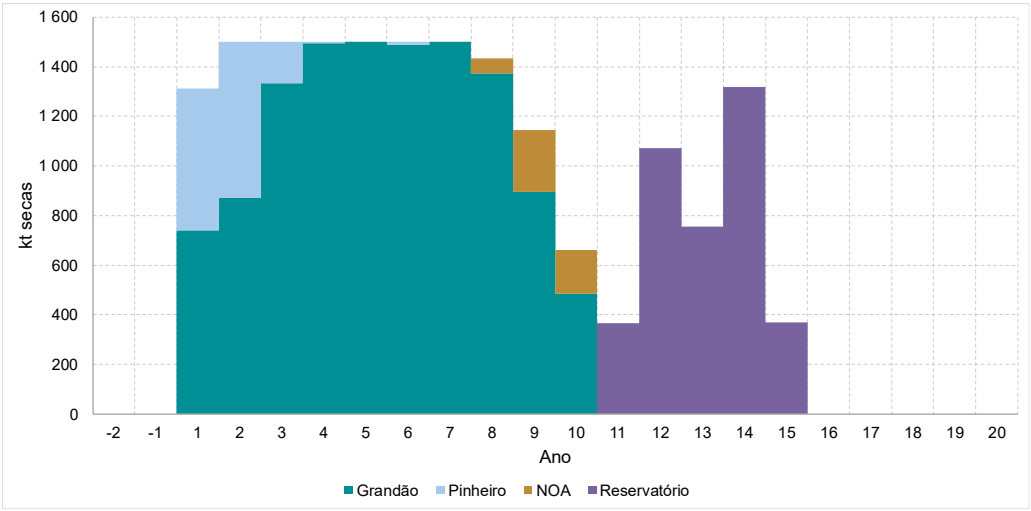


Figura 4.77 – Alimentação da Lavaria por Depósito.

A Figura 4.78 apresenta a alimentação de minério para a lavaria, discriminada pelo grau de alteração. A maior parte do minério meteorizado é processada nos três primeiros anos de operação da lavaria, representando um risco caso o desempenho deste minério seja diferente do minério fresco.

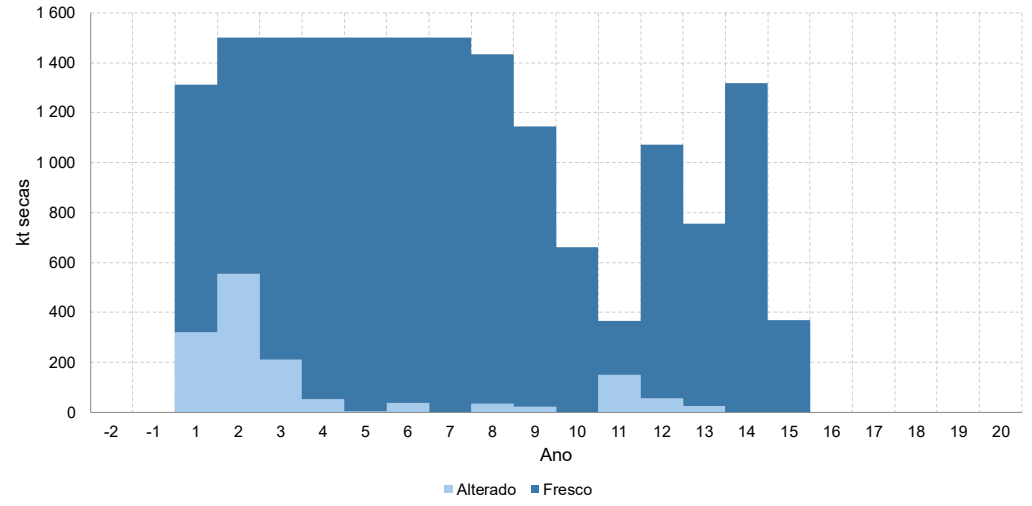


Figura 4.78 – Alimentação de Minério por Grau de Alteração.

A Figura 4.79 apresenta a alimentação de minério para a planta discriminada pela categoria de recurso.

A maior parte do minério processado inicialmente provém de Recursos Medidos, alternando para Recursos Indicados aproximadamente a meio do planeamento.

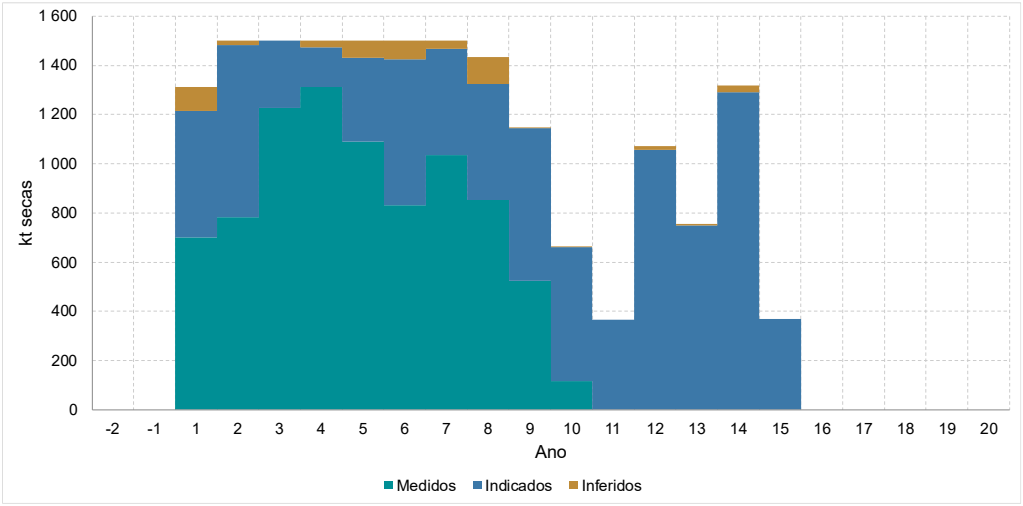


Figura 4.79 – Alimentação de Minério por Classe de Recurso.

A Figura 4.80 apresenta o teor de Li_2O do minério alimentado à planta, considerando a diluição.

O teor de alimentação varia em função da proveniência do minério e da sequência de alimentação. O cronograma inclui armazenamento intermédio e retoma de minério, contabilizados nas rubricas de stock e de retoma do modelo. O teor médio ponderado de Li_2O da alimentação, ao longo da vida da operação, é de 0,971%.

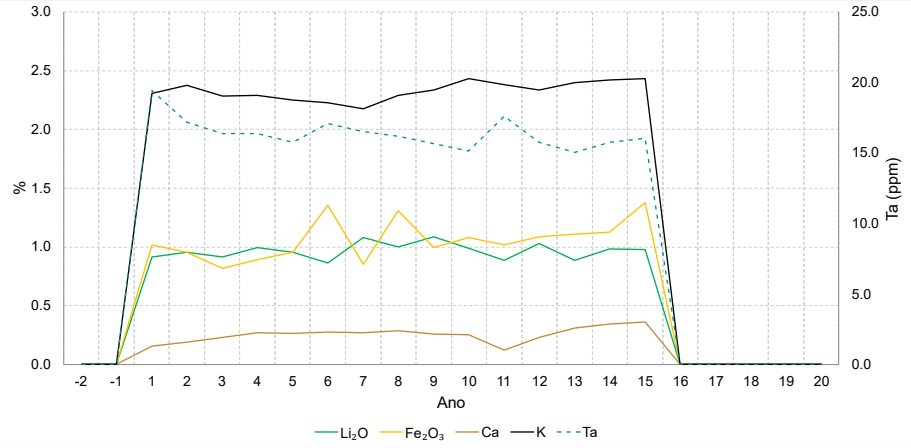


Figura 4.80 – Teor de Alimentação da Planta de Processamento.

4.6.5 PLANEAMENTO DO PRODUTO

A Figura 4.81 apresenta a produção de concentrado SC5,5, o rendimento mássico e a recuperação de Li_2O. A produção acumulada é de 2,117 Mt. O máximo por ano do plano é de 211,719 kt no Ano 7, entre outubro de 2034 e setembro de 2035. A recuperação global de Li_2O, ponderada pela quantidade contida na alimentação, é de 68,77%.

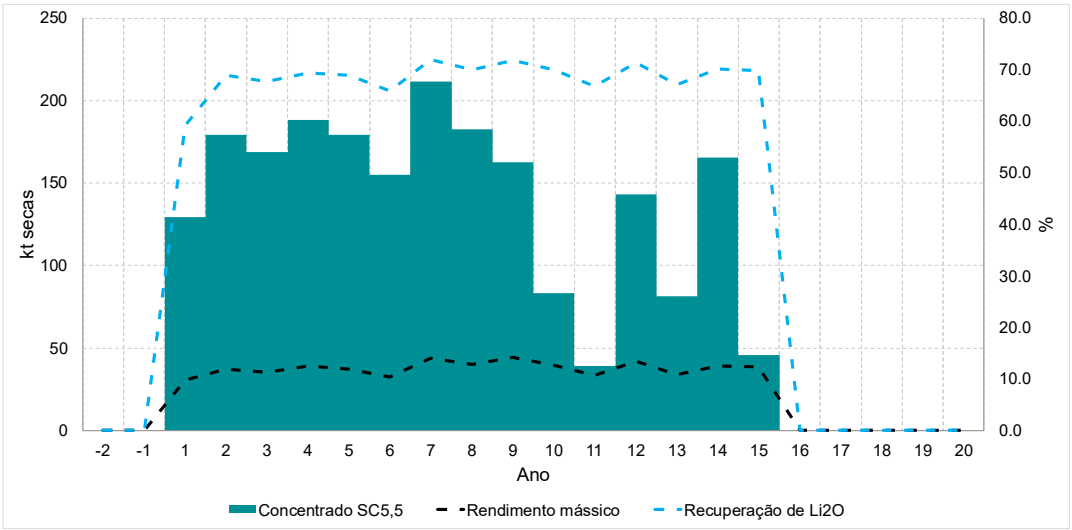


Figura 4.81 – Produção de SC5,5 e Recuperação da Planta de Processamento.

4.6.6 PLANEAMENTO DOS REJEITADOS

O processamento gera 15,319 Mt de materiais além do concentrado SC5,5, em massa seca, repartidos pelas frações fina, de mica, de flotação e DMS. O cronograma de lavra destina 5,721 Mt à comercialização como matérias-primas secundárias e 9,598 Mt à TSF.

A Figura 4.82 apresenta os destinos no período de geração; as vendas efetivas e os stocks de MPS seguem o modelo financeiro. O balanço por fração é comum aos Capítulos 4 e 5. O pegmatito mineralizado classificado como estéril constitui uma corrente distinta e não integra estes totais.

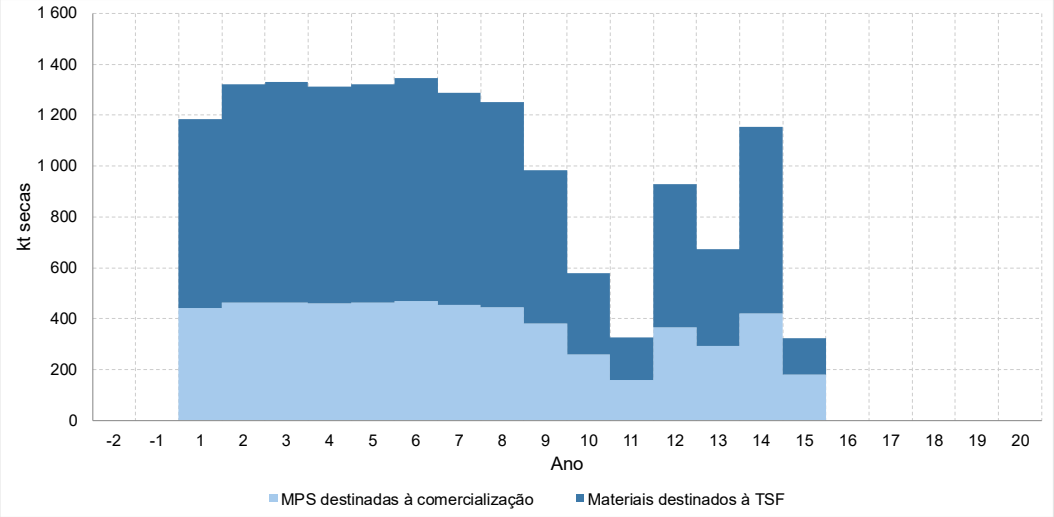


Figura 4.82 – Frações de processamento destinadas à comercialização como MPS e à TSF.

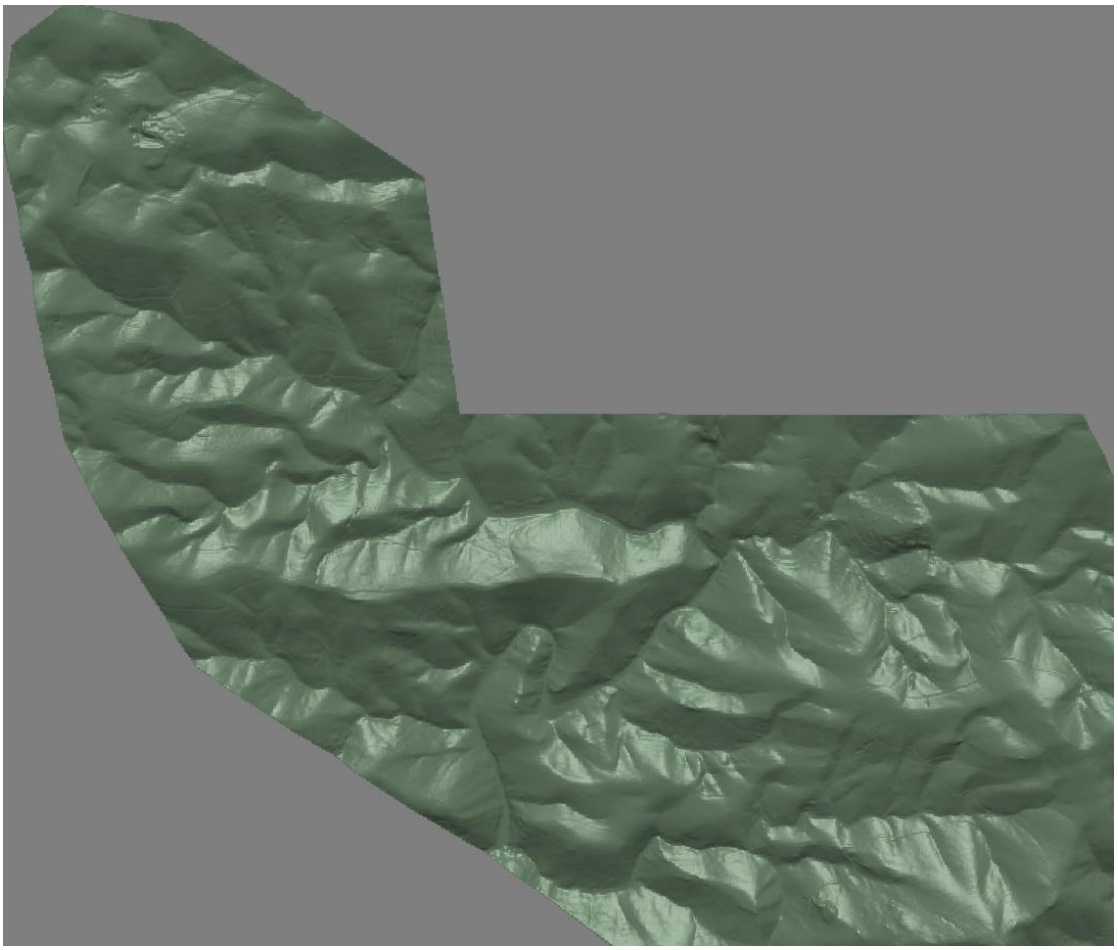
O balanço das frações de processamento, discriminado por matéria-prima secundária e destino (comercialização ou deposição na TSF), é apresentado no capítulo 5, em termos acumulados e anuais.

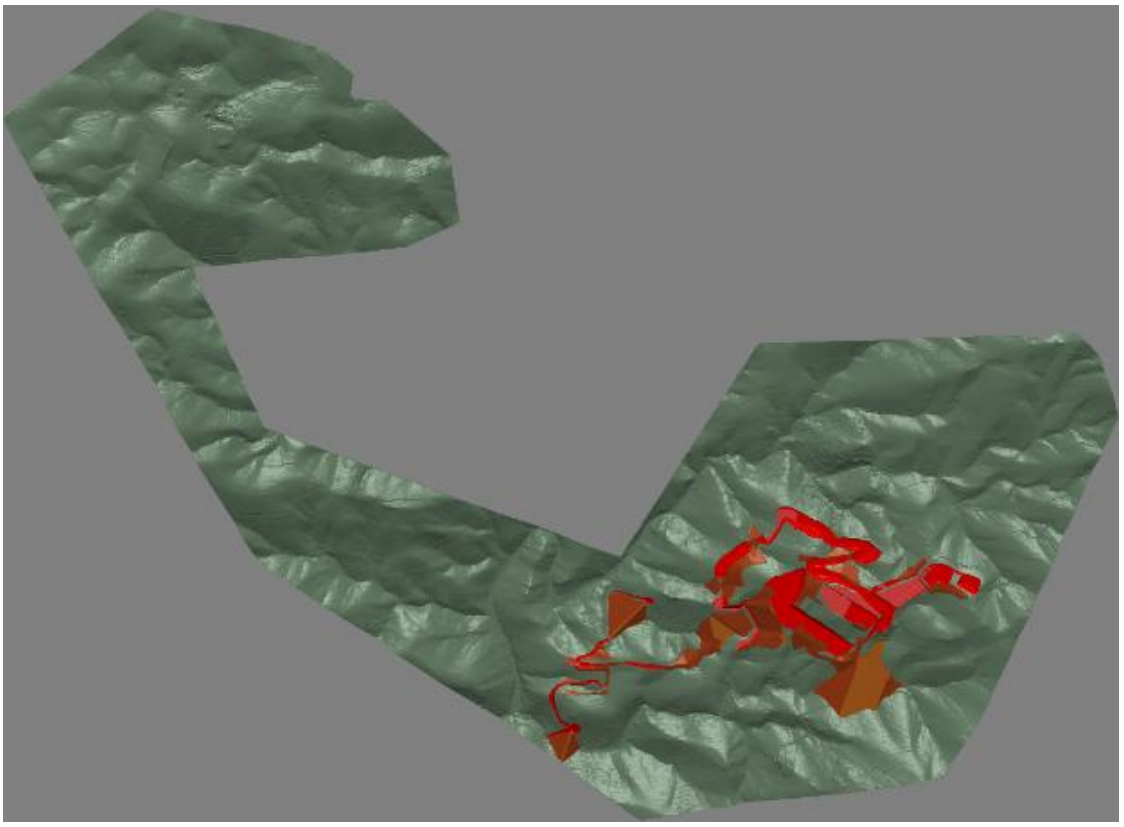
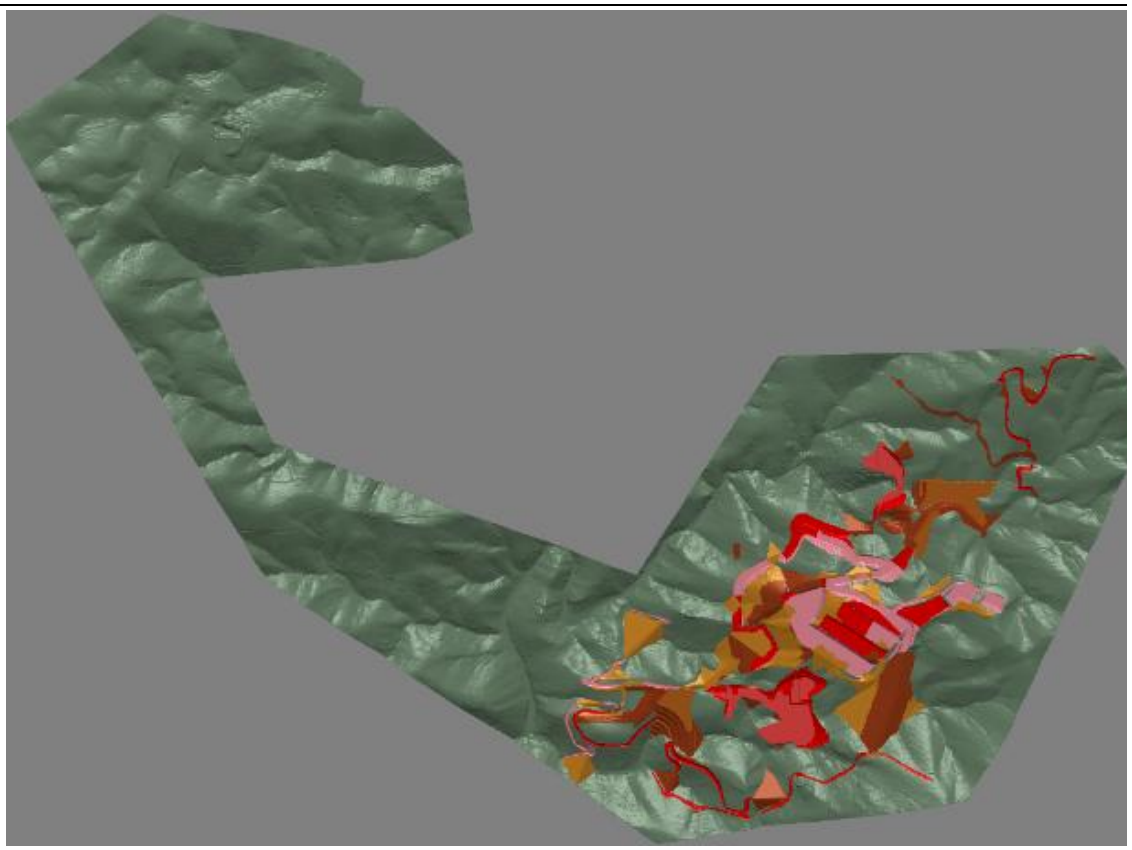
4.6.7 SEQUÊNCIA DE LAVRA

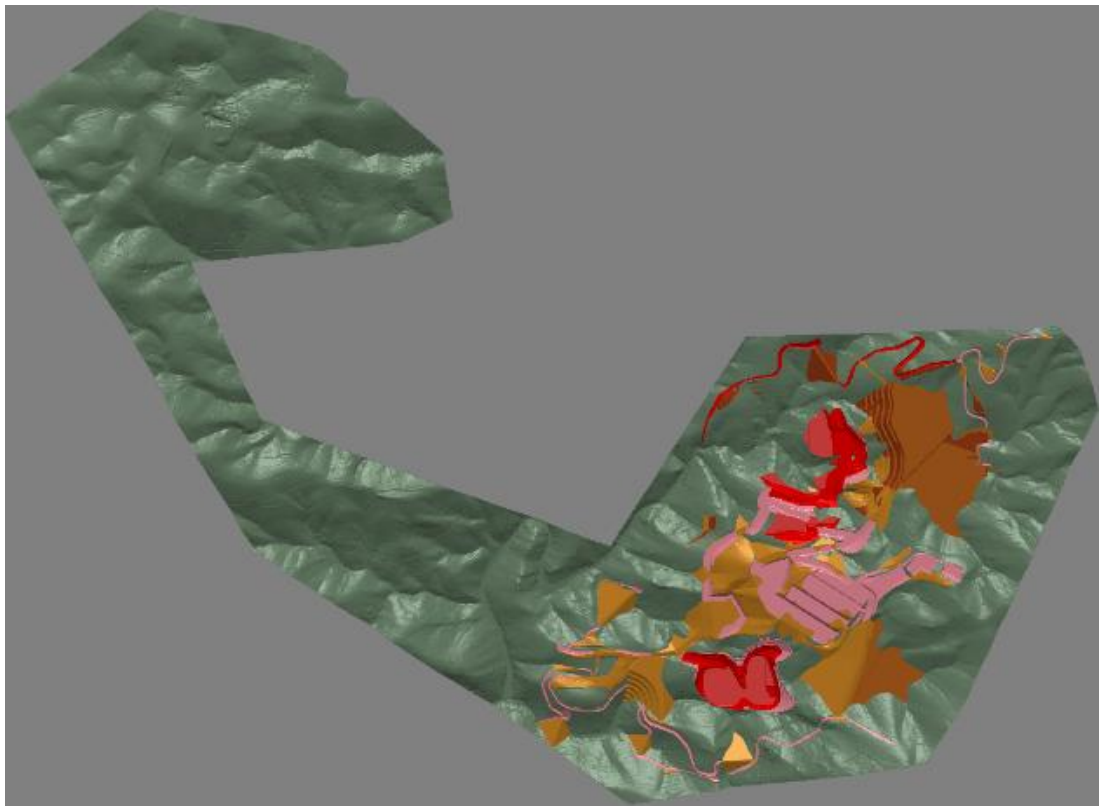
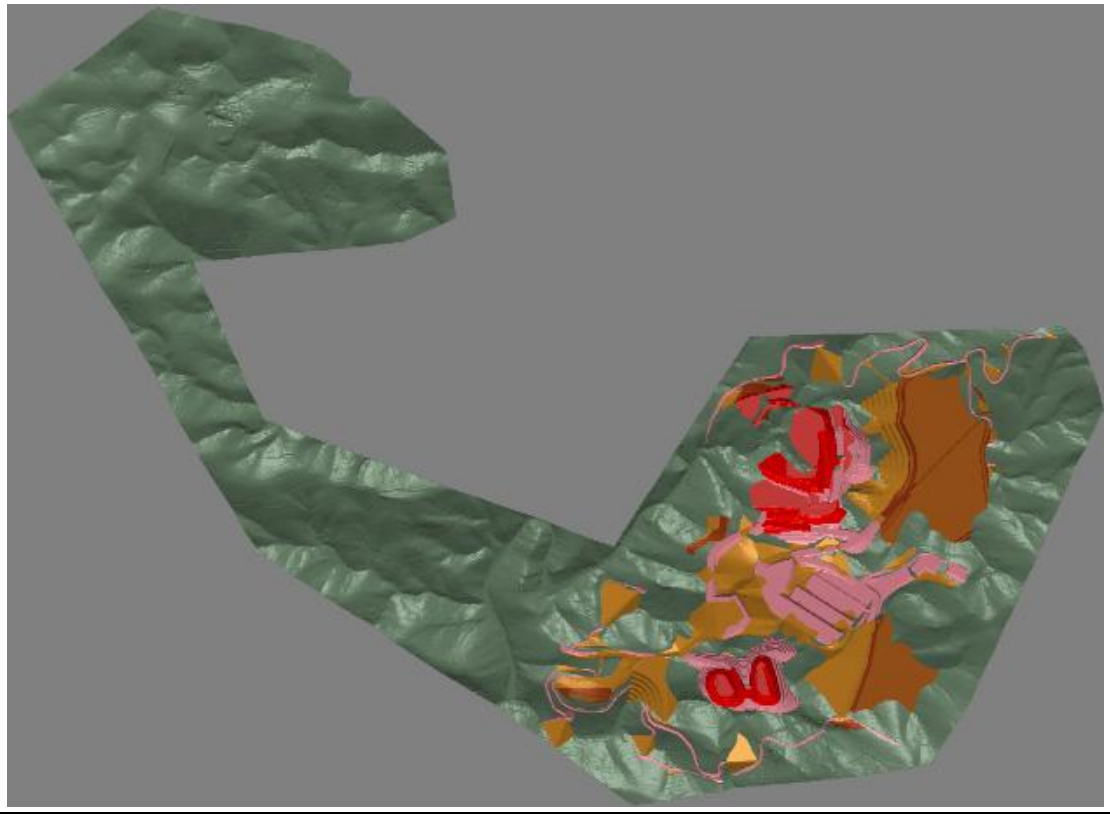
As plantas da Tabela 4.55 representam a situação no final de cada ano do plano, identificado pela correspondência temporal da Tabela 4.51. A sequência distingue a extração das cortas, a deposição e o enchimento.

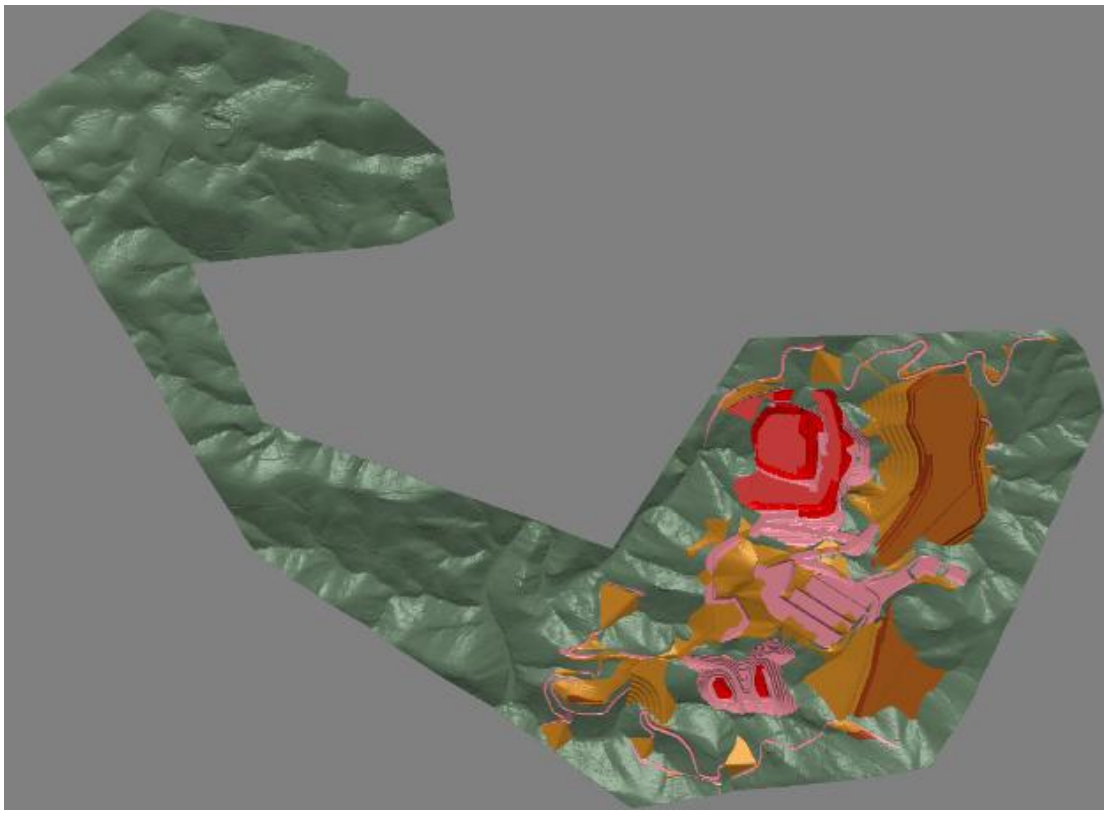
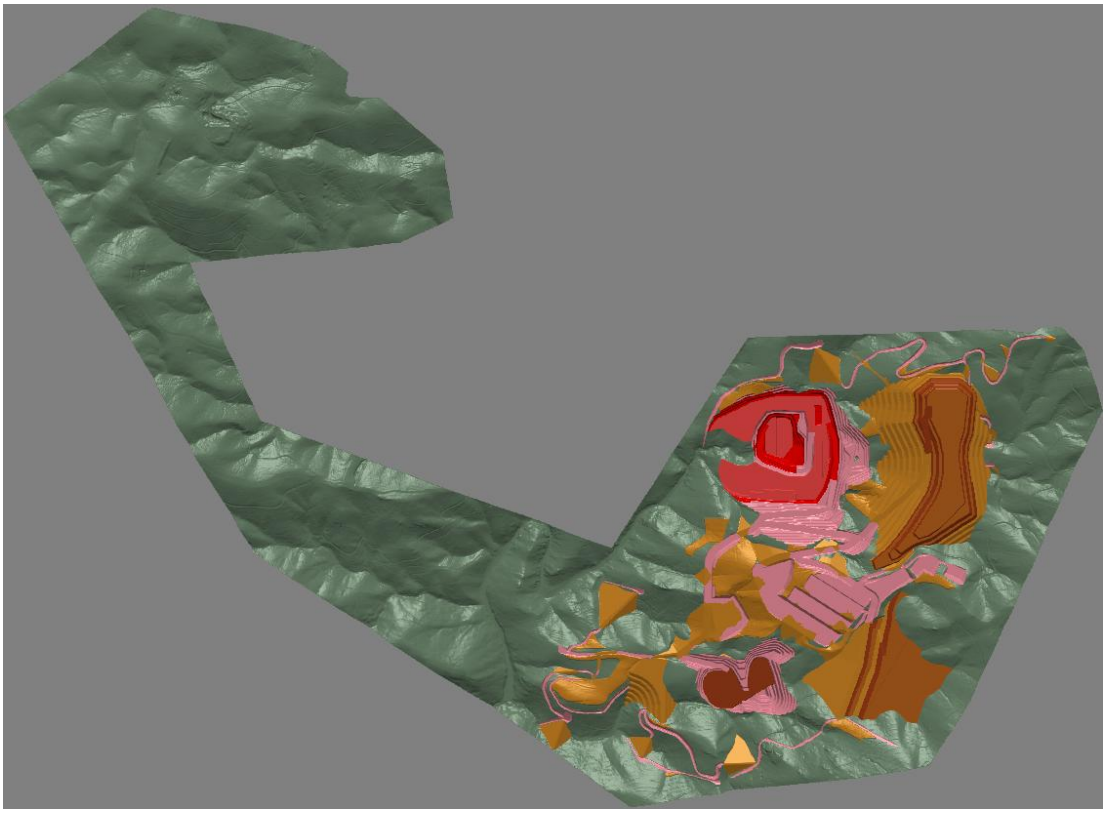
Tabela 4.55 – Cronograma de Progressão de Lavra.

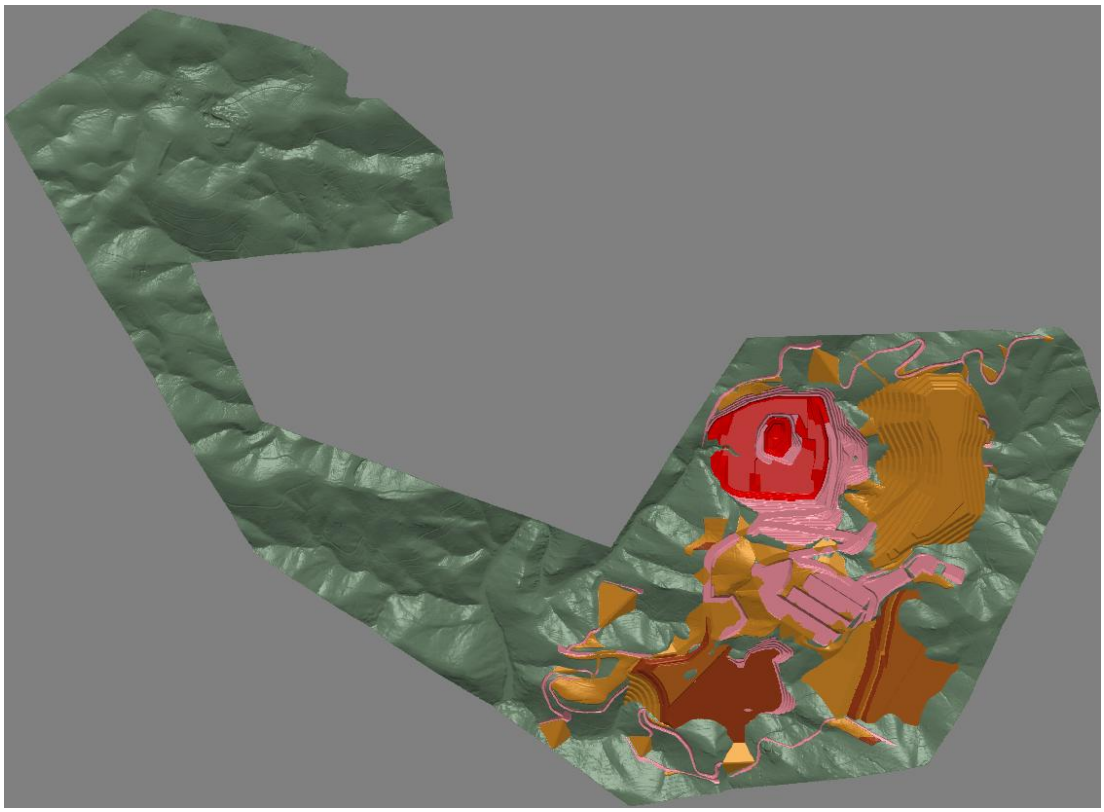
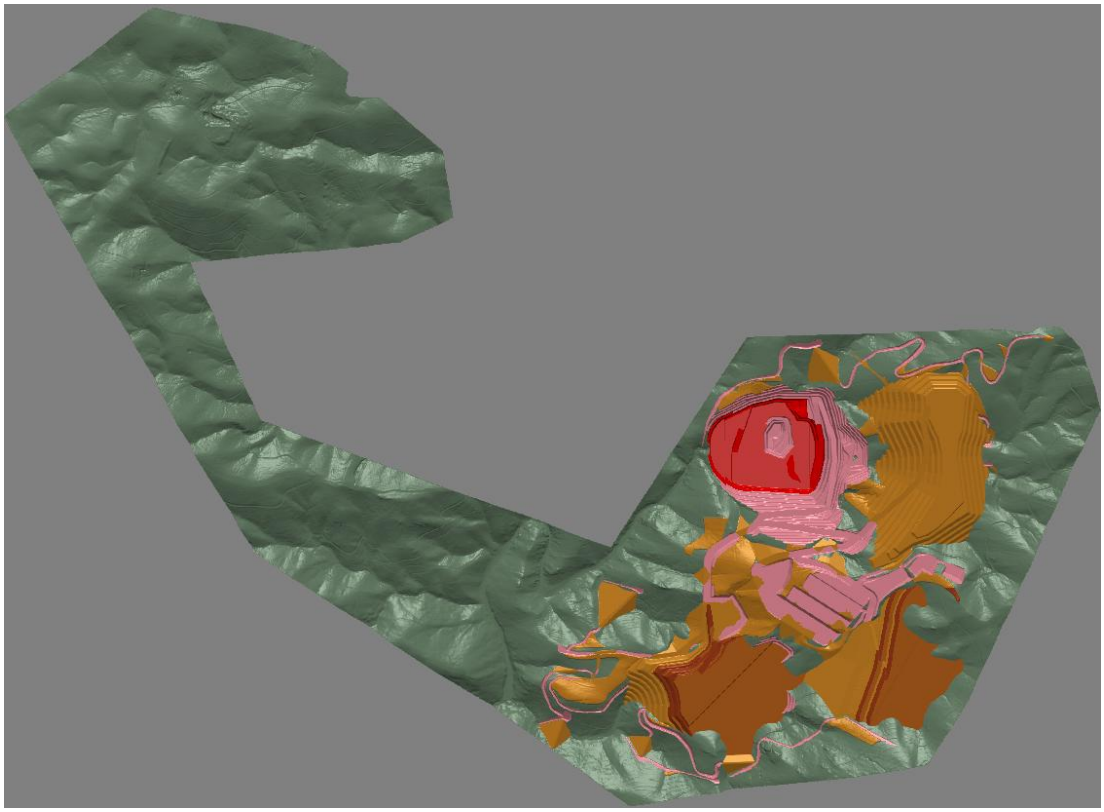
Fim do Ano	**Barroso**	
Legenda	Explorado nesse período	Depositado nesse período
	Explorado no período anterior	Depositado no período anterior

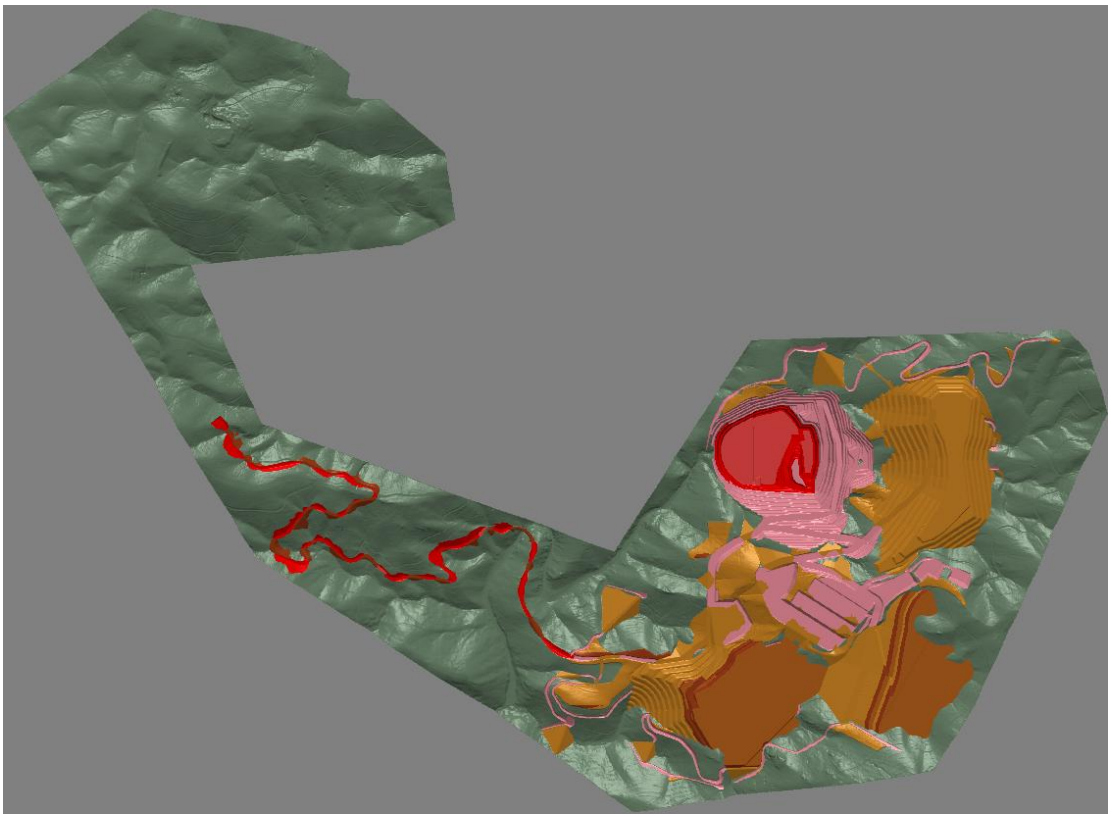
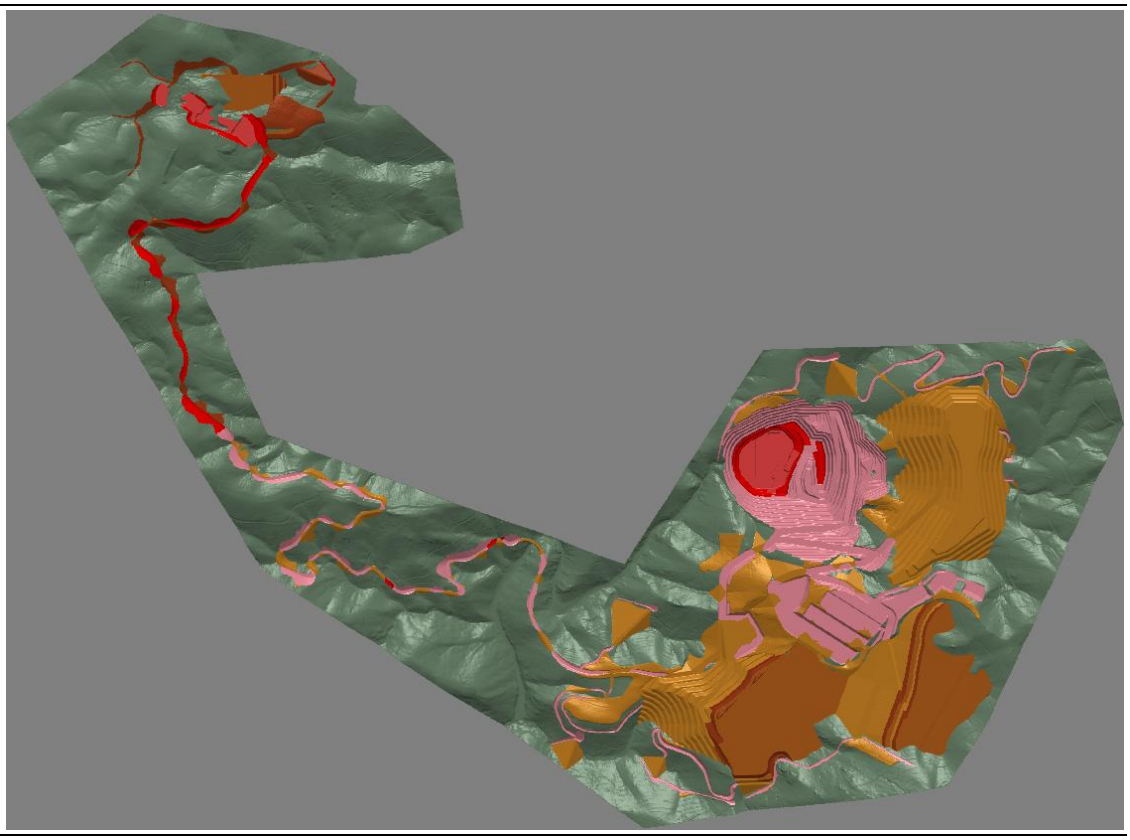
Fim do Ano	Barroso
Início	

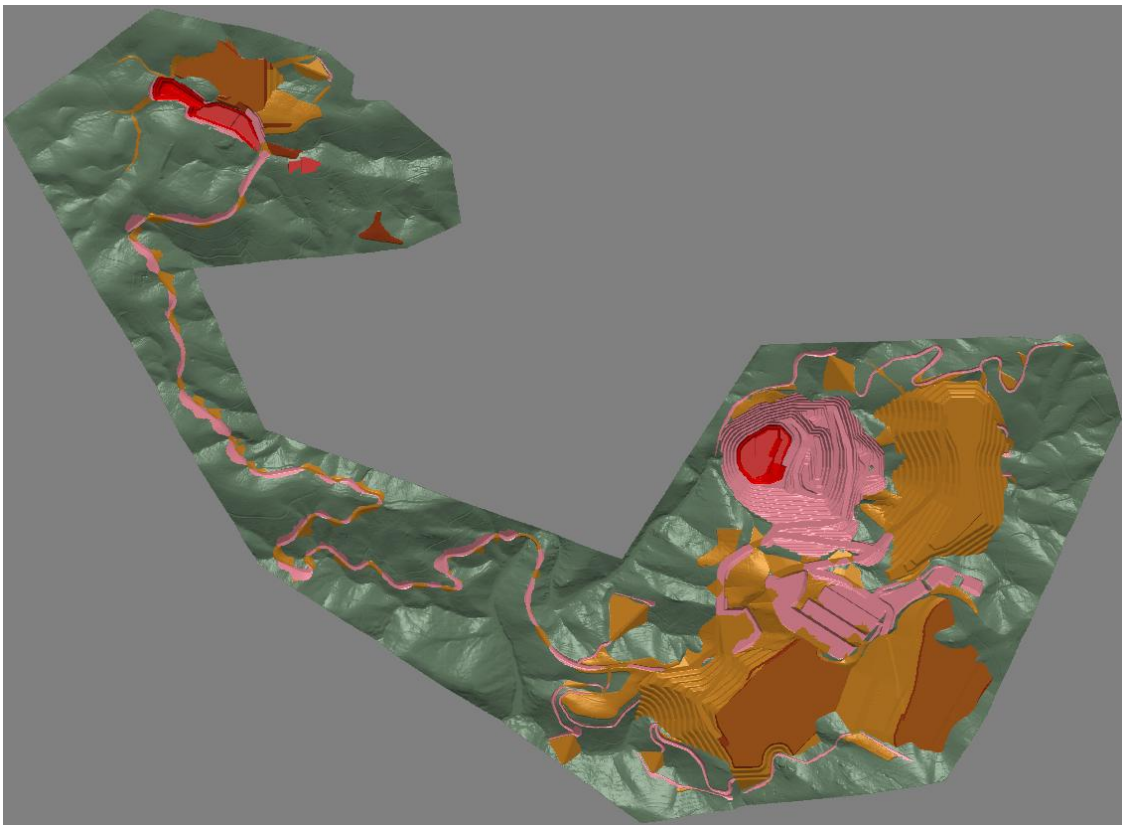
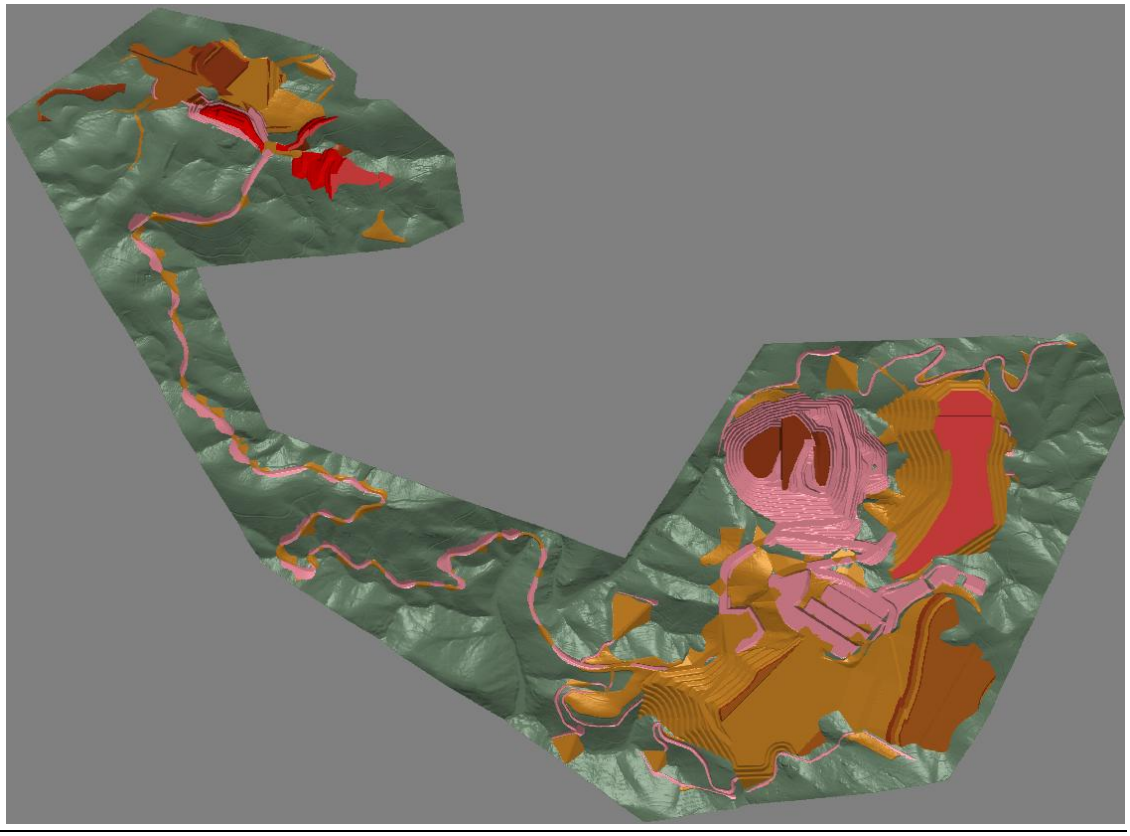
Fim do Ano	Barroso
-2	
-1	

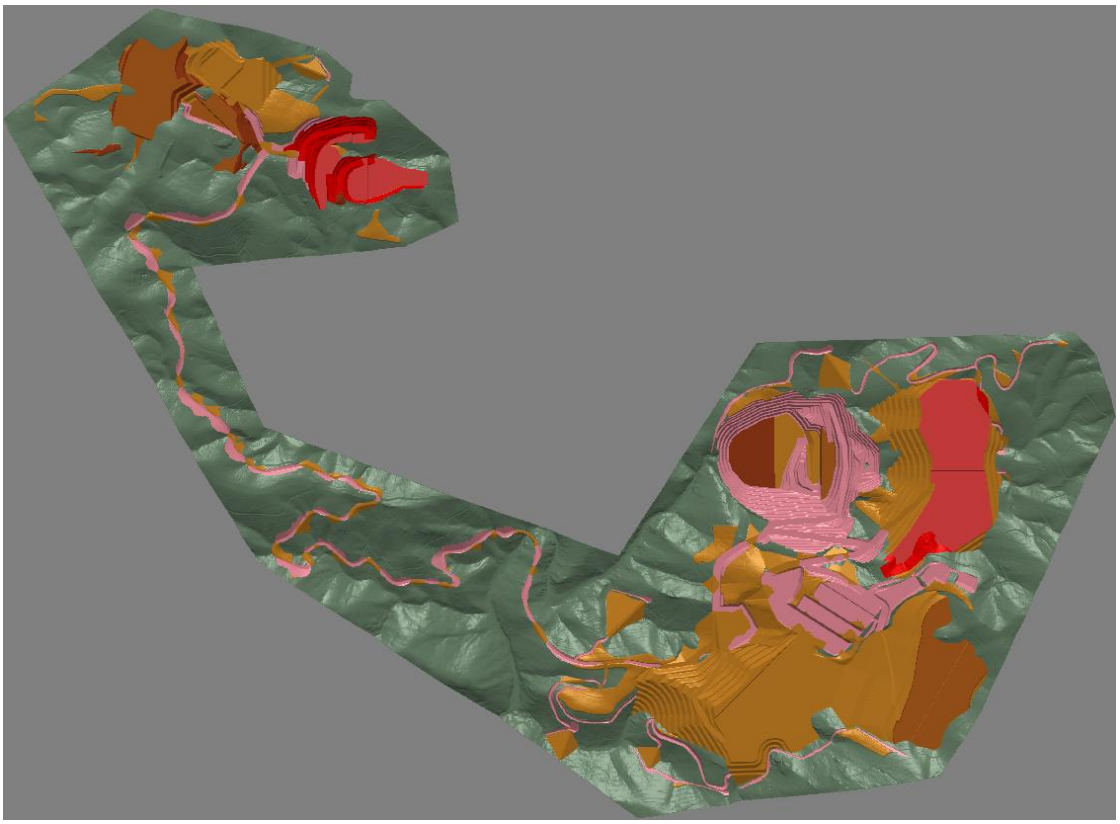
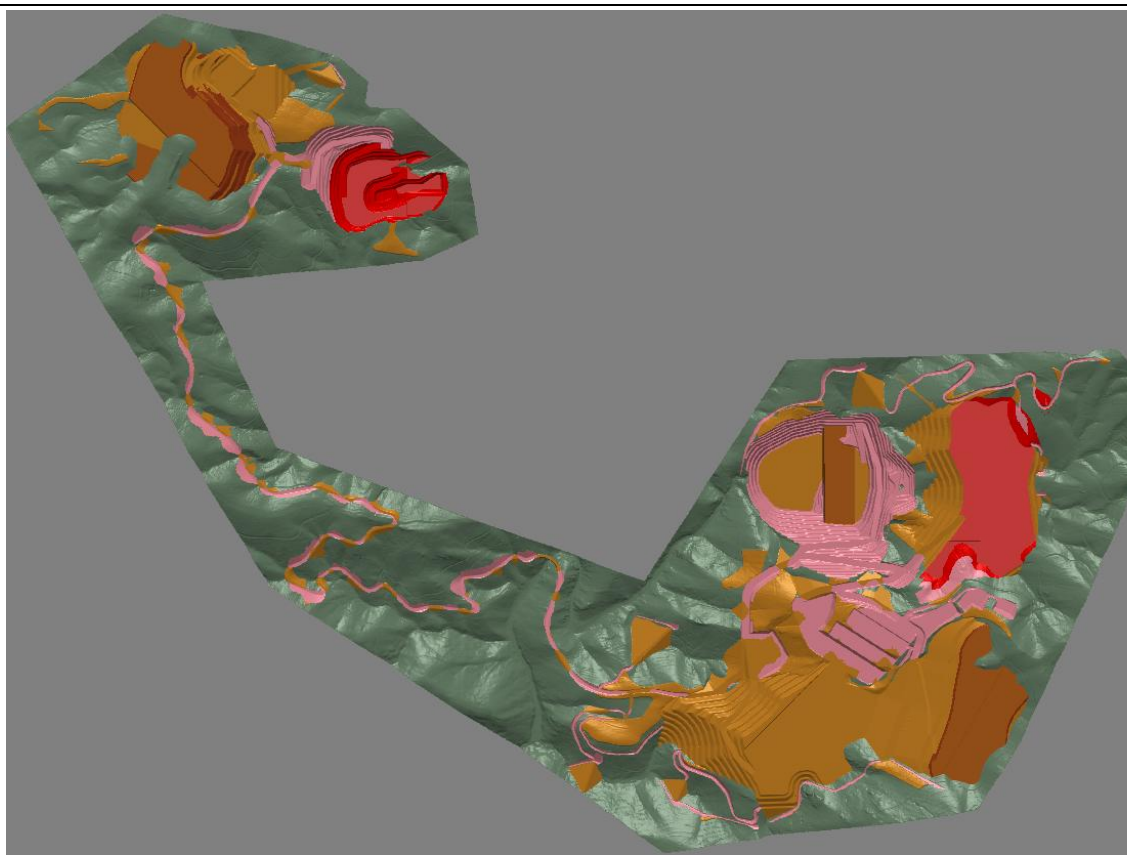
Fim do Ano	Barroso
1	
2	

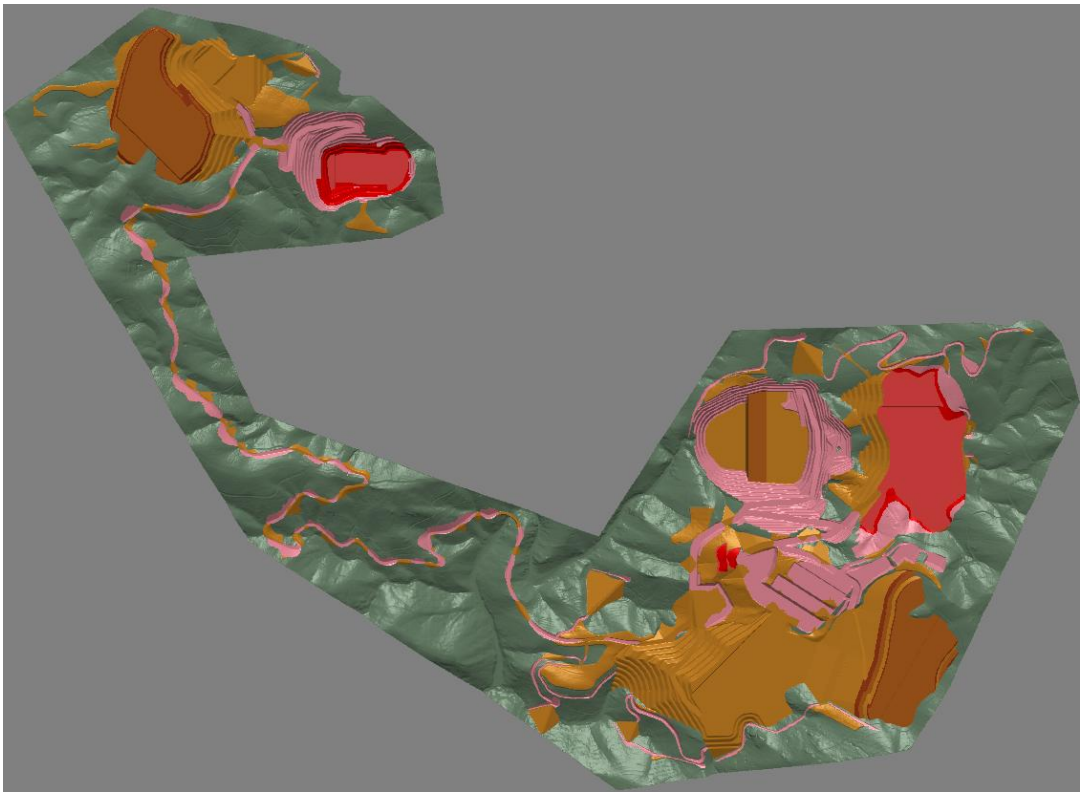
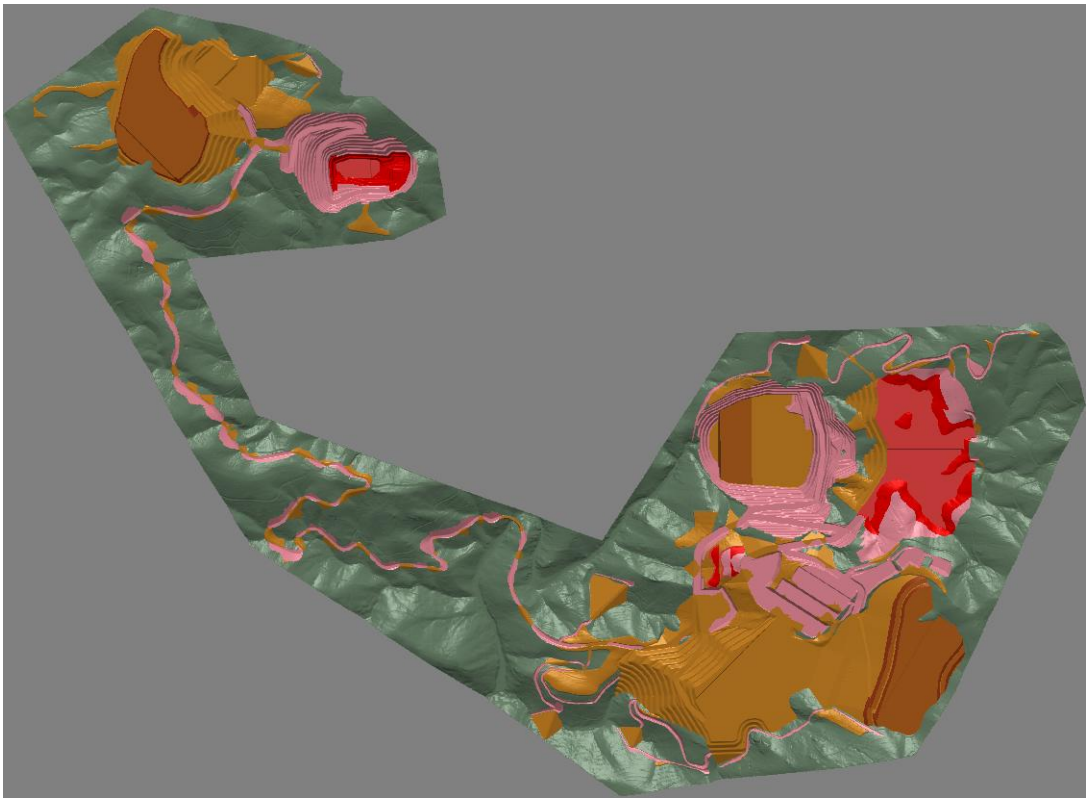
Fim do Ano	Barroso
3	
4	

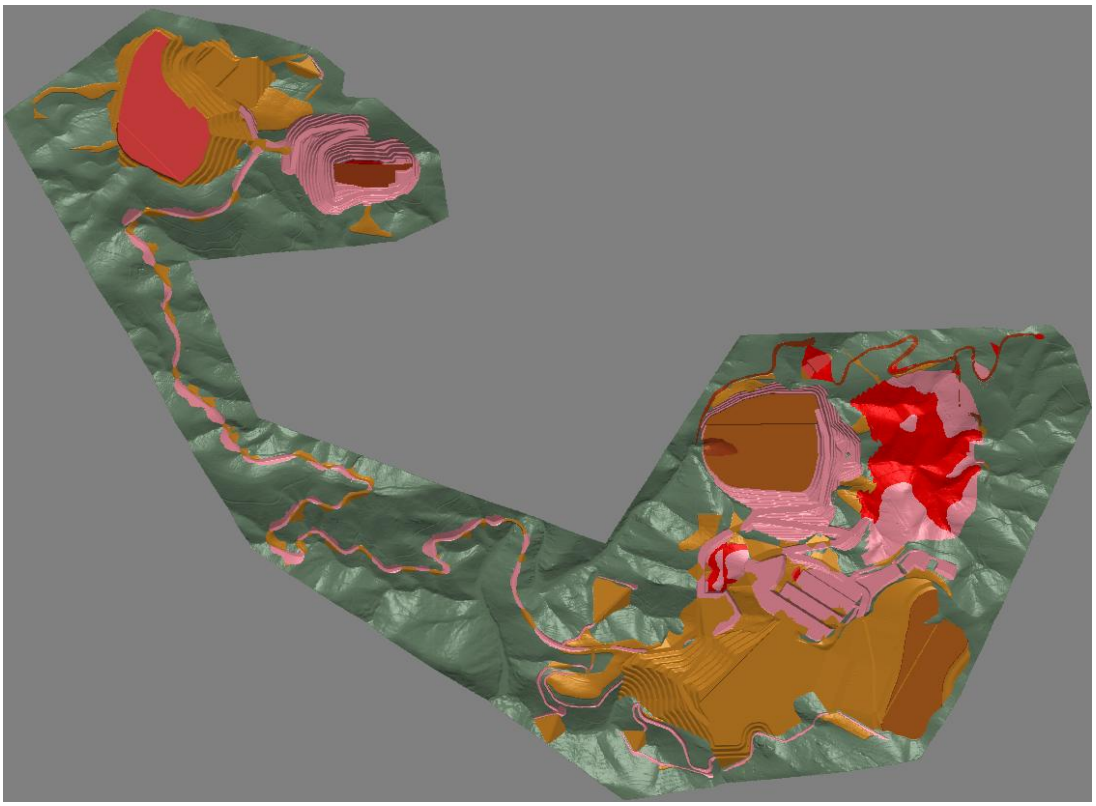
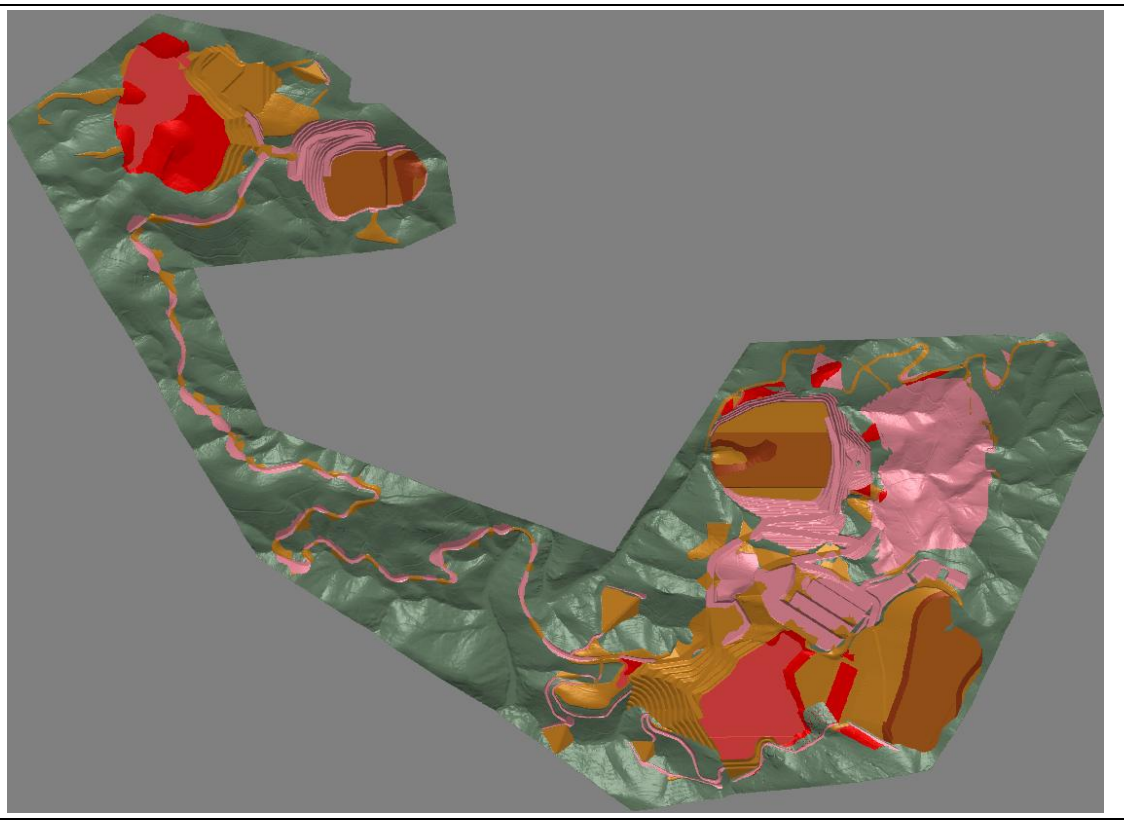
Fim do Ano	Barroso
5	
6	

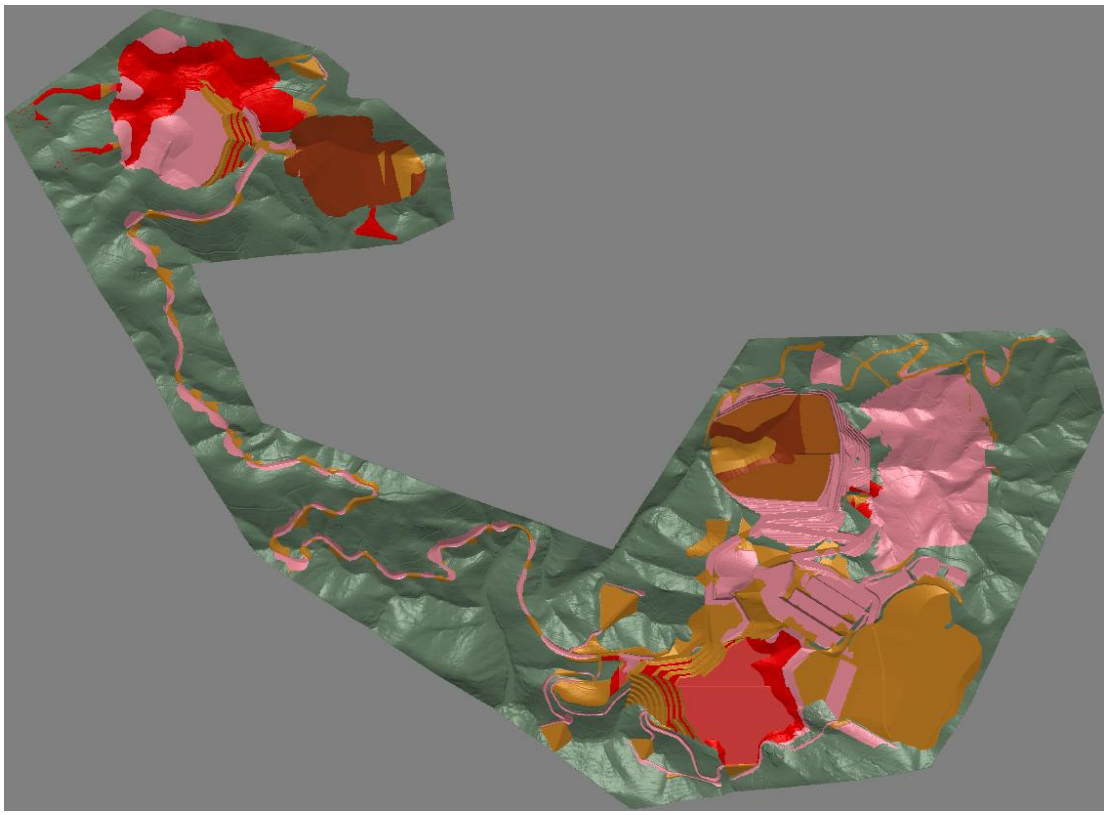
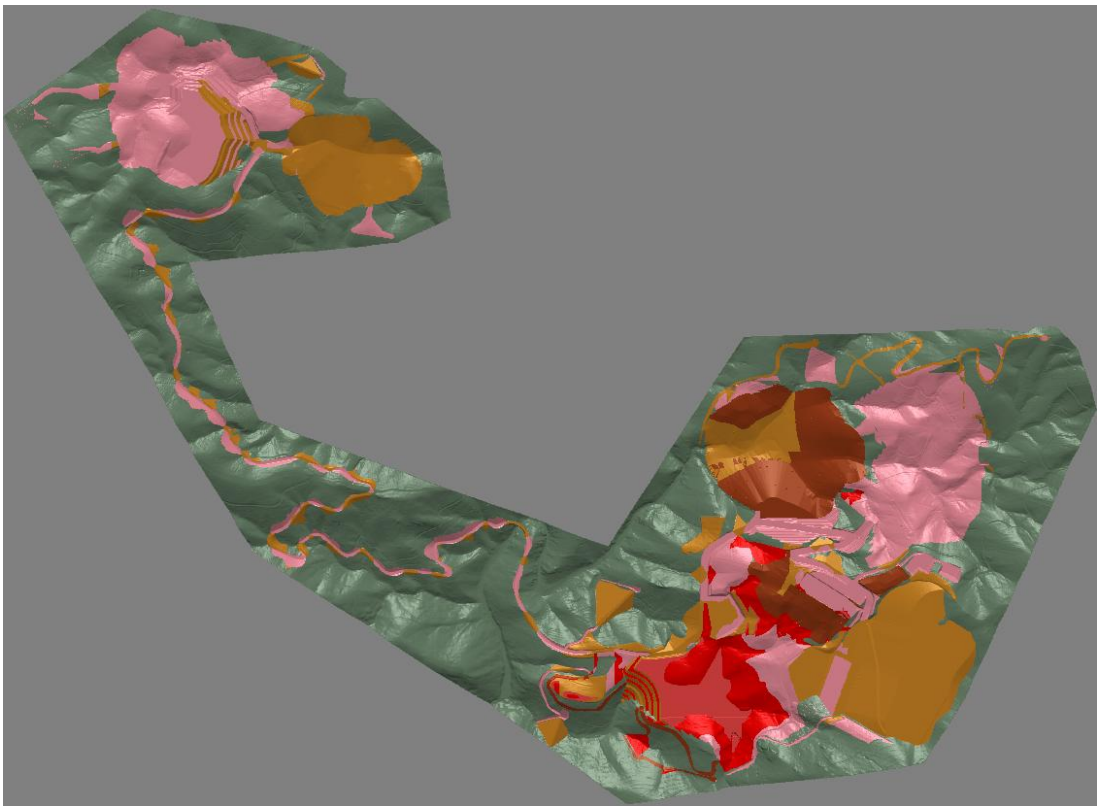
Fim do Ano	Barroso
7	
8	

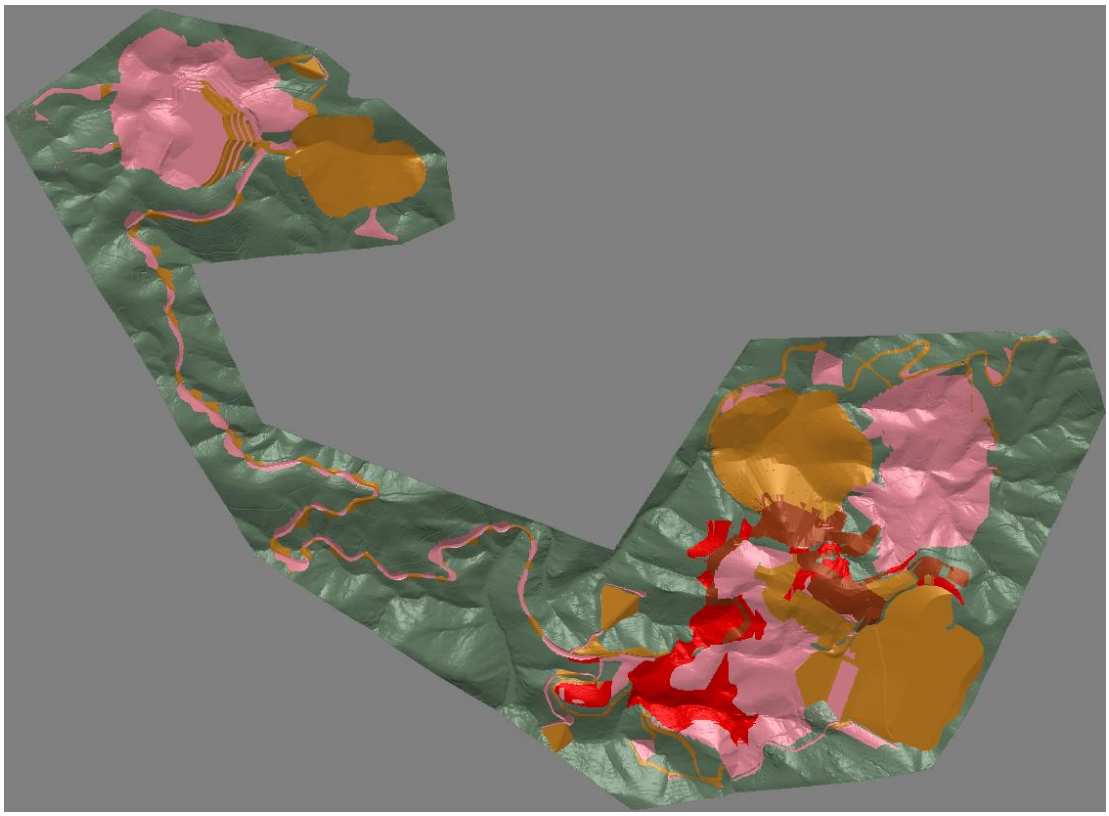
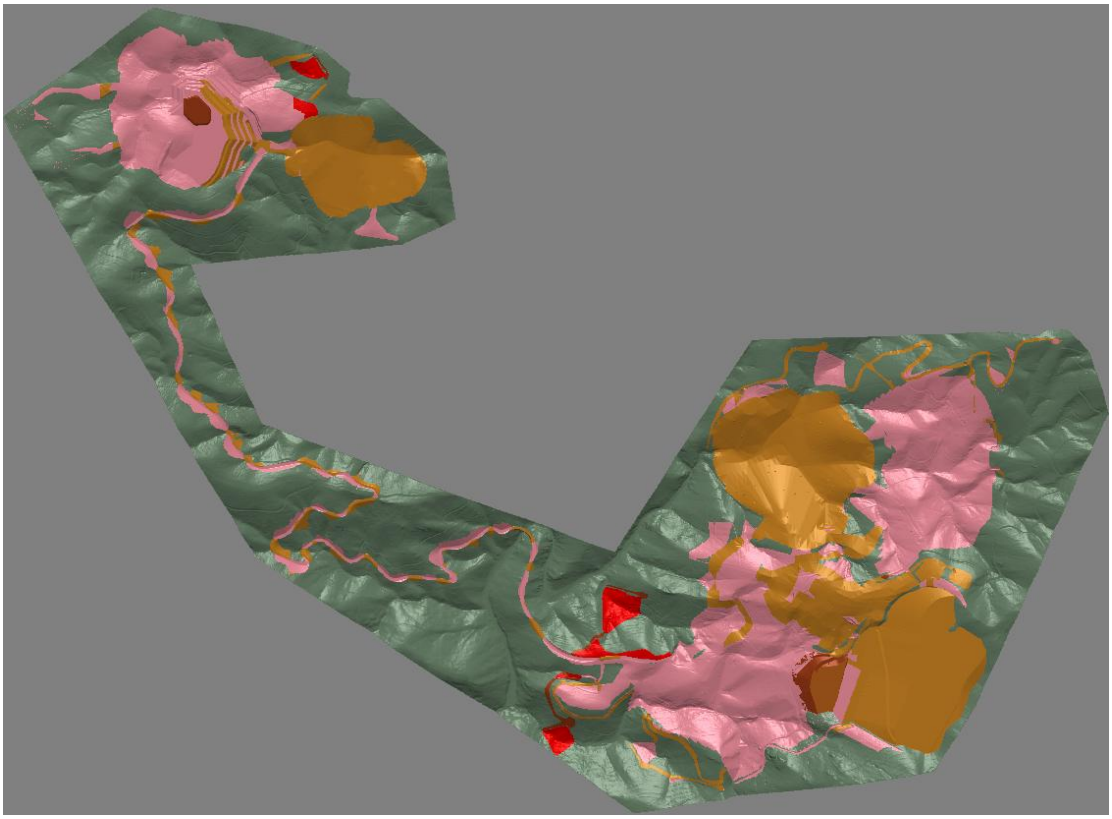
Fim do Ano	Barroso
9	
10	

Fim do Ano	Barroso
11	
12	

Fim do Ano	Barroso
13	
14	

Fim do Ano	Barroso
15	
16	

Fim do Ano	Barroso
17	
18	

Fim do Ano	Barroso
19	
20	

4.7 EQUIPAMENTOS MÓVEIS

4.7.1 EQUIPAMENTOS DE PRODUÇÃO

Os equipamentos de produção desempenham um papel fundamental na operação mineira, assegurando a execução eficiente das atividades de extração, carregamento, transporte e alimentação da planta de tratamento. A seleção destes equipamentos tem em conta a natureza das operações, as condições do terreno e os volumes a movimentar, procurando sempre otimizar o desempenho operacional e a continuidade do processo produtivo. Nesta secção abordam-se alguns dos equipamentos considerados para o projeto.

Equipamento de Perfuração

Para assegurar a fragmentação adequada do maciço rochoso e garantir a eficiência das operações subsequentes de desmonte, está prevista a utilização de equipamentos de perfuração rotativa e roto-percussiva, adaptados às características geomecânicas dos materiais a escavar. Estes equipamentos serão utilizados na execução de furos de produção com diâmetros e profundidades variáveis, em função do plano de fogo e da geometria das bancadas. Os diâmetros de perfuração selecionados para esta operação são 89, 102 e 115 mm.

A seleção e dimensionamento dos equipamentos de perfuração tiveram em consideração diversos fatores operacionais, nomeadamente o ritmo de produção previsto, a altura das bancadas, a malha de perfuração, bem como as condições geológicas e geotécnicas do depósito. Adicionalmente, foram considerados aspetos relacionados com a organização dos turnos de trabalho e a necessidade de garantir elevada disponibilidade e fiabilidade dos equipamentos.

Em termos de frota, foram definidas diferentes tipologias de perfuradoras ao longo da vida útil da mina, incluindo equipamentos de grande porte para furos de produção em bancadas principais e equipamentos de menor dimensão para zonas de geometria mais complexa ou trabalhos auxiliares. Estima-se a operação simultânea de até 10 unidades de perfuração, cuja distribuição temporal e operacional se encontra detalhada na Tabela 4.56.

Equipamento de Carregamento:

Para garantir a eficiência das operações de carregamento e simultaneamente controlar a diluição durante a escavação, está prevista a utilização de escavadoras hidráulicas em dois tipos de configuração, retroescavadora e carregadoras frontais

A dimensão final do equipamento a utilizar foi definida com base em diversos fatores operacionais, tais como o planeamento da produção (volume total de movimentação, número de depósitos e fases a lavrar em simultâneo), a organização dos turnos de trabalho. A Figura 4.83 apresenta um exemplo representativo deste tipo e dimensão de escavadora.

Em termos de escavadoras foram definas 5 tipologias diferentes a utilizar durante a vida da mina. Nas retroescavadoras utilizar-se-ão equipamentos com capacidade de 130 toneladas e 50 toneladas, sendo que teremos um máximo de três unidades em operação simultânea. Nas carregadoras frontais serão usadas capacidades de 25, 50 e 100 toneladas, sendo que serão utilizadas uma de cada tipo em operação. A distribuição do equipamento ao longo do tempo pode ser observada na Tabela 4.56.



Figura 4.83 – Retroescadora Hidráulica (esquerda) e Carregadora Frontal (direita).
Fonte: Komatsu e Caterpillar.

Equipamento de Transporte de Material (Desmontes):

Com base nas potenciais dimensões das unidades de carregamento, o material dos desmontes poderá ser transportado utilizando camiões rígidos basculantes traseiros, com capacidade até aproximadamente 90 toneladas.

Apesar dos camiões de maior dimensão apresentarem, em geral, uma maior eficiência operacional – especialmente no que respeita a custos de mão de obra elevados – a necessidade de movimentar, novamente, uma parte significativa dos estéreis para o interior dos desmontes reduz essa eficiência, uma vez que obriga à construção de acessos e rampas mais largas, aumentando o volume de retrabalho. Além disso, a nova movimentação de minério e estéreis exigirá a utilização de camiões rodoviários, pelo que poderão ser alcançadas sinergias operacionais com a adoção de uma frota única. A utilização de camiões de menor capacidade implicará obrigatoriamente uma avaliação económica considerando o impacto direto nas exigências de movimentação de estéreis. A distribuição do equipamento ao longo do tempo pode ser observada na Tabela 4.56.

A Figura 4.84, apresenta um exemplo representativo deste tipo e dimensão de equipamento.



Figura 4.84 – Exemplo de camião rígido de transporte mineiro.
Fonte: Caterpillar.

<u>Movimentação de Material (*Rehandle*):</u>

O transporte de minério no ROM principal será efetuado com recurso a pá carregadora frontal de grande porte, com peso operacional mínimo de 100 toneladas. Em alternativa, poderão ser utilizadas múltiplas pás carregadoras de menor capacidade, conforme a disponibilidade de equipamento e as exigências operacionais.

Dado que a distância entre o depósito do NOA e o ROM principal é de aproximadamente 8 km (sentido único) e a estrada de ligação existente não possui largura suficiente para a circulação de camiões de transporte mineiro de grande porte, será necessário implementar uma operação de movimentação intermédia (*rehandle*). Esta operação poderá envolver:

- Utilização de pá carregadora com peso operacional na ordem das 40 toneladas;
- Carregamento de camiões de construção com configuração 8x4 ou de veículos com largura reduzida, compatíveis com a via existente;
- Transporte do minério até ao ROM principal da planta.

A Figura 4.85 ilustra um exemplo de camião de construção apropriado para este tipo de operação.



Figura 4.85 – Exemplo de camião de construção (8x4).
Fonte: Renault.

4.7.2 EQUIPAMENTOS AUXILIARES

Todas as fases do ciclo de produção serão apoiadas com a utilização de equipamentos auxiliares, os quais foram selecionados de forma a serem compatíveis com os equipamentos principais de furação, escavação e transporte previstos para a operação mineira.

***Bulldozers* de Rastos**

Os *bulldozers* de rastos serão equipamentos chave no apoio às operações mineiras, estando previstos para executar as seguintes tarefas:

- Limpeza e decapagem da camada superficial de solo nas áreas a serem intervencionadas;
- Construção de acessos, rampas e vias de transporte internas, quer temporárias, quer permanentes;
- Nivelamento e manutenção das superfícies das cavas, pilhas de minério (ROM) e escombreiras;
- Limpeza de derrames de material nas zonas de trabalho (cortas, pilhas, escombreiras);
- *Ripping* de materiais escaváveis a céu aberto, quando necessário;
- Modelação de taludes e faces das escombreiras em preparação para as ações de reabilitação;
- Dispersão de solo arável, escarificação e sementeira durante as atividades de recuperação ambiental.

A dimensão dos *bulldozer* a utilizar será de 40 e 65 toneladas. A Figura 4.86 apresenta um exemplo de bulldozer com estas características. A distribuição do equipamento ao longo do tempo pode ser observada na Tabela 4.56.



Figura 4.86 – Exemplo de *Bulldozer*.
Fonte: Caterpillar.

Motoniveladoras

As motoniveladoras serão utilizadas para apoio às operações de infraestrutura e manutenção das vias de acesso internas da mina. Está previsto que estes equipamentos executem as seguintes atividades:

- Decapagem da camada superficial de solo nas áreas de intervenção;
- Construção e nivelamento de vias de transporte e rampas, quer em fase temporária, quer em soluções permanentes;
- Manutenção das superfícies de trabalho nas cortas, pilhas de minério (ROM) e escombreiras;
- Limpeza de material disperso ou derramado nas zonas de operação e de circulação;
- Manutenção de condições seguras de trânsito nas estradas e rampas internas.

A dimensão da motoniveladora utilizará uma lâmina com cerca de 4,8 metros de largura. A Figura 4.87 apresenta um exemplo de motoniveladora a ser considerada na operação. A distribuição do equipamento ao longo do tempo pode ser observada na Tabela 4.56.



Figura 4.87 – Exemplo de Motoniveladora.
Fonte: Caterpillar.

Camiões-Cisterna de Água

Os **camiões-cisterna** serão fundamentais para o controlo da poeira em toda a operação mineira, com atuação nas seguintes áreas:

- Frentes de lavra,
- Vias de transporte internas;
- Áreas de basculamento.

Consoante a frota principal de transporte utilizada, os camiões-cisterna poderão ser:

- Camiões de construção equipados com tanque, ou
- Camiões de mina convertidos para transporte de água.

A Figura 4.88 e a Figura 4.89 ilustram respetivamente um camião-cisterna de construção e um camião utilizado na exploração mineira adaptado para transporte de água.



Figura 4.88 – Exemplo de camião de construção equipado com tanque de água.
Fonte: Shermac.



Figura 4.89 – Exemplo de um camião utilizado na exploração mineira adaptado para transporte de água.
Fonte: Caterpillar.

<u>Equipamento de Compactação</u>

Para garantir a adequada preparação e estabilidade das superfícies de trabalho, bem como a correta execução de aterros e vias de circulação na mina a céu aberto, está prevista a utilização de rolos compactadores do tipo *drum compactor* (rolo liso) e *padfoot drum compactor* (rolo pé-de-carneiro). Estes equipamentos desempenham um papel fundamental na melhoria das propriedades geotécnicas dos materiais, assegurando níveis adequados de densidade e resistência.

Os rolos lisos serão preferencialmente utilizados na compactação de materiais granulares e superfícies de circulação, proporcionando um acabamento uniforme e

adequado para o tráfego de equipamentos pesados. Por sua vez, os rolos pé-de-carneiro serão aplicados na compactação de solos mais finos e coesivos, promovendo uma melhor homogeneização e eliminação de vazios através da ação de amassamento.

A seleção e dimensionamento destes equipamentos foram realizados com base em fatores como o volume de material a compactar, a tipologia dos materiais presentes, os requisitos de densidade especificados e a organização das frentes de trabalho. Prevê-se a utilização de diferentes classes de compactadores ao longo da vida da mina, podendo operar em simultâneo até 4 unidades, distribuídas conforme as necessidades operacionais e as fases do plano de lavra, conforme apresentado na Tabela 4.56.

Equipamento de Fragmentação Secundária

Para assegurar a adequada redução de blocos de grandes dimensões resultantes das operações de desmonte, bem como garantir a continuidade e eficiência dos processos de carregamento e transporte, está prevista a utilização de equipamentos do tipo *rock breaker* (martelo hidráulico). Estes equipamentos serão aplicados na fragmentação secundária de matacões e zonas localizadas com fragmentação insuficiente, evitando constrangimentos operacionais nas frentes de escavação.

Os *rock breakers* serão instalados em escavadoras hidráulicas ou equipamentos dedicados, permitindo elevada flexibilidade na sua mobilização entre diferentes áreas da mina. A sua utilização será particularmente relevante em materiais mais competentes ou em situações onde o desmonte primário não atinja os resultados esperados em termos de granulometria.

A seleção e dimensionamento destes equipamentos tiveram em consideração fatores como a dureza e resistência dos materiais, a frequência de ocorrência de blocos sobredimensionados e os requisitos de produtividade das operações a jusante. Prevê-se a operação de até 3 unidades em simultâneo, distribuídas de acordo com as necessidades das frentes de lavra ao longo do tempo, conforme detalhado na Tabela 4.56.

Tabela 4.56 – Frota calculada por ano do plano de lavra.

		Ano	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Unid																						
Perfuração																								
	Por Tipo																							
	115 mm	Unid	-	0,7	2,1	2,4	2,3	3,2	3,5	3,9	3,6	1,9	0,8	0,5	1,2	1,5	1,4	0,4	0,1	-	-	-	-	-
	102 mm	Unid	-	3,0	5,3	4,6	5,4	4,8	4,2	3,7	3,8	3,6	3,4	2,3	2,7	3,3	2,6	2,5	0,5	-	-	-	-	-
	89 mm	Unid	-	0,2	0,3	0,6	1,0	1,9	1,3	1,0	1,6	1,2	1,5	0,5	0,1	0,7	0,6	1,1	0,2	-	-	-	-	-
	Total	**Unid**	**-**	**3,1**	**7,7**	**7,6**	**8,8**	**9,8**	**9,0**	**8,6**	**9,0**	**6,7**	**5,8**	**3,2**	**4,0**	**5,5**	**4,7**	**4,0**	**1,0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
	Necessário	**Unid**	**-**	**3,8**	**8,3**	**9,0**	**10,0**	**10,0**	**10,0**	**10,0**	**9,5**	**8,0**	**7,0**	**6,0**	**6,0**	**6,0**	**5,0**	**4,5**	**1,0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Carregamento																								
	Por Tipo																							
	Escavadora 130t	Unid	-	1,1	2,7	2,6	2,8	3,0	3,0	3,1	2,9	2,2	1,5	1,8	2,8	2,8	2,5	2,5	2,4	3,0	3,0	3,0	2,5	-
	Escavadora 50t	Unid	2,5	1,0	0,2	-	-	-	-	-	0,4	0,3	-	-	-	-	-	-	0,2	0,1	-	0,5	1,3	0,7
	Carregadora Frontal 100t	Unid	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	-	0,3	0,2	0,3	0,1	-	-	-	-	-
	Carregadora Frontal 50t	Unid	0,2	0,2	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,5	0,4	-	0,5	0,4	0,6	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1
	Carregadora Frontal 25t	Unid	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,2	0,2	-	0,9	0,7	1,1	0,3	-	-	-	-	-
	Total	**Unid**	**2,7**	**2,4**	**3,9**	**3,7**	**3,8**	**4,0**	**4,0**	**4,1**	**4,3**	**3,6**	**2,5**	**2,5**	**2,8**	**4,5**	**3,8**	**4,6**	**3,2**	**3,3**	**3,3**	**3,2**	**2,3**	**0,8**
	Necessário	**Unid**	**3,5**	**4,0**	**5,0**	**5,0**	**5,0**	**5,0**	**5,0**	**5,5**	**5,5**	**6,0**	**4,5**	**5,5**	**6,0**	**6,0**	**6,0**	**6,0**	**6,0**	**5,0**	**4,0**	**4,0**	**3,5**	**1,5**
Transporte																								
	Por Tipo																							
	Dumper 90 t	Unid	-	5,1	8,5	9,7	12,8	11,4	10,6	13,2	12,0	11,5	15,5	12,3	7,2	8,1	8,0	9,1	11,8	7,0	7,3	6,1	3,6	-
	Dumper 24 t	Unid	7,8	3,6	2,1	1,6	1,5	1,4	1,5	1,6	2,6	2,8	2,5	1,7	2,5	7,3	5,1	8,9	3,4	0,5	0,7	2,1	2,8	2,8
	Total	**Unid**	**7,8**	**8,7**	**10,5**	**11,3**	**14,2**	**12,8**	**12,1**	**14,7**	**14,6**	**14,3**	**18,0**	**14,0**	**9,7**	**15,3**	**13,1**	**18,0**	**15,1**	**7,4**	**8,0**	**8,2**	**6,4**	**2,8**
	Necessário	**Unid**	**8,5**	**11,0**	**11,5**	**12,0**	**15,0**	**14,0**	**13,0**	**16,0**	**15,5**	**16,0**	**20,0**	**16,5**	**12,5**	**17,0**	**17,5**	**19,0**	**16,0**	**11,0**	**11,5**	**10,5**	**9,0**	**3,0**
Auxiliares																								
	Por Tipo																							
	Niveladora	Unid	3,6	2,9	1,6	1,2	1,5	1,4	1,3	1,6	2,8	2,7	2,0	1,8	1,5	2,0	2,1	2,3	1,9	1,5	1,6	1,5	1,3	0,4
	Bulldozer 65t	Unid	3,7	3,4	3,3	3,1	3,1	3,1	3,1	3,4	4,0	4,4	2,7	3,7	4,3	4,6	4,3	4,6	4,6	3,6	3,2	3,2	2,8	1,2
	Bulldozer 40t	Unid	1,1	2,5	4,3	4,8	4,8	4,8	4,8	5,2	4,3	4,7	4,3	3,8	2,9	3,1	2,9	3,1	3,1	-	-	-	-	-
	Camião Rega 75kl	Unid	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,9	0,9	1,0	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,2
	Camião Rega 25kl	Unid	2,3	1,8	0,7	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	1,5	1,4	0,6	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-	-	-	-
	Compactador de rolo	Unid	-	1,6	0,7	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	1,4	1,3	0,6	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
	Compactador pé de carneiro	Unid	-	-	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6	0,4	0,2	2,6	0,4	0,7	0,2	-	-	-	-	-
	Fragmentação Secundária	Unid	2,1	2,3	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	3,0	3,1	3,4	2,5	2,2	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8	0,1	-	-	-	-
	Total	**Unid**	**15,5**	**14,8**	**14,7**	**13,8**	**14,4**	**14,0**	**14,0**	**15,7**	**18,6**	**19,3**	**14,1**	**13,4**	**11,6**	**13,7**	**12,9**	**14,2**	**13,1**	**6,1**	**5,8**	**5,6**	**4,9**	**1,9**
	Necessário	**Unid**	**19,5**	**18,0**	**18,0**	**17,0**	**17,0**	**17,0**	**17,0**	**18,5**	**21,5**	**22,0**	**17,0**	**16,5**	**16,0**	**16,5**	**16,5**	**17,5**	**16,5**	**9,0**	**9,0**	**9,0**	**8,0**	**3,5**

A tabela acima apresenta a distribuição de equipamentos móveis ao longo das fases de construção, operação e encerramento, abrangendo os anos relativos -2 a 20, estruturada nas categorias de Perfuração, Carregamento, Transporte e Auxiliares. Nas fases de pré-produção (anos -2 e -1), a frota é ainda reduzida e dominada por equipamentos de menor porte, nomeadamente dumpers de 24 t, escavadoras de 50 t e auxiliares como bulldozers e niveladoras, refletindo as necessidades de preparação de acessos e infraestruturas iniciais.

A frota acompanha as necessidades de extração, removimentação e encerramento, com máximos por categoria de 7 equipamentos de carregamento, 22 de transporte e 26 auxiliares ao longo do plano. Estes máximos não representam uma frota mobilizada em simultâneo.

A frota auxiliar varia com as necessidades de preparação, manutenção de vias, gestão de materiais e encerramento. O máximo da frota auxiliar necessária é de 26 unidades.

A utilização calculada e a frota necessária são apresentadas separadamente, conforme as definições e os resultados do cronograma de lavra. Estes indicadores agregados não constituem, isoladamente, uma verificação da disponibilidade por turno ou da capacidade de cada circuito de transporte.

Após o termo da extração e do processamento, a frota mantém-se afeta às movimentações de materiais e ao encerramento previstos no cronograma de lavra. O Ano 20 termina em setembro de 2048; o modelo financeiro mantém encargos de encerramento até ao primeiro trimestre de 2049.

4.7.3 PLANOS DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Proceder à manutenção e revisão periódica (com uma periodicidade mínima trimestral) de todas as máquinas e veículos afetos à obra, de forma a manter as normais condições de funcionamento e assegurar a minimização das emissões gasosas, dos riscos de contaminação dos solos e das águas, e de forma a dar cumprimento às normas relativas à emissão de ruído. As revisões e manutenção da devem ser realizadas em oficinas licenciadas, cumprindo com os planos de manutenção preventiva dos fornecedores, tal como definido nos manuais do equipamento que for selecionado. E serão mantidos os registos atualizados dessa manutenção e/ou revisão por equipamento também de acordo com as especificações do respetivo fabricante.

Efetuar as operações de manutenção e de abastecimento de maquinaria, sempre que possível, no interior dos estaleiros em local previamente definido e com as condições necessárias para o efeito, e não na frente de obra.

Inspecionar, devidamente, toda a maquinaria por forma a garantir o seu correto funcionamento, diminuindo risco de fugas e derrames acidentais e consequente contaminação dos solos e recursos hídricos.

Retirar, de imediato, todo o equipamento que revele indícios de derrame de óleos ou combustível do circuito de extração. Esta medida deve também ser aplicada às restantes fases do projeto.

4.8 RECURSOS HUMANOS

A força de trabalho prevista para o projeto será dimensionada de acordo com as diferentes fases de execução, nomeadamente: construção/implementação, operação e encerramento. O planeamento da equipa terá em consideração a natureza das atividades, a necessidade de especialização técnica e a otimização de recursos humanos, existindo uma estrutura organizacional distinta para cada fase, conforme elaborado nas secções que se seguem.

4.8.1 FASE DE CONSTRUÇÃO/IMPLEMENTAÇÃO

Nesta fase, a estrutura é liderada por um **Diretor de Projeto**, sob a supervisão do CEO e CFO, e organiza-se em torno de duas grandes frentes de obra – a construção principal (EPC/EPCM) e a construção da via (*Bypass Road*) – além das áreas de suporte corporativo. As principais categorias incluem:

- **Gestão de Projeto:** Diretor de Projeto, Gestores de Projeto (EPC/EPCM e Via de Acesso), Gestor de Integração Técnica, Responsável de Contratos, Planeador EPCM e Administrativos/Controlador de Documentação.
- **Equipa Técnica e de Engenharia:** Engenheiros de obra sénior e júnior nas especialidades de Civil, Estruturas, Eletromecânica, Eletricidade e Instrumentação, e Alta Tensão.
- **Topografia:** Coordenador de Topografia, Topógrafos e Assistentes de Topografia, em equipas dedicadas às diferentes frentes de obra.
- **Gestão Operacional Futura:** Gestor de Operações, Gestor de Processamento e Gestor de Mina, responsáveis por preparar a transição para a fase de operação, apoiados por coordenadores de Planeamento de Mina, Geologia e Geotecnia.
- **Higiene, Segurança e Ambiente:** Gestor de HSE, Assessores de Higiene e Segurança e Assessores Ambientais.
- **Apoio Administrativo, Financeiro e Logístico:** Controlador Financeiro de Grupo, Responsável de Finanças do Projeto, Analista de Tesouraria, Controladores de Custos, Contabilista de Projeto, Chefe de Compras e Contratos, Compradores, Analistas P2P (Procurement-to-Pay), e equipa de Informática (Coordenador e Engenheiros de TI).

4.8.2 FASE DE OPERAÇÃO

Na fase de operação, a estrutura organizacional integra equipas dedicadas e multidisciplinares, sob a liderança do Diretor-Geral (CEO), Diretor de Operações (COO) e Diretor Financeiro (CFO), organizadas pelas seguintes áreas funcionais:

- **Direção e Gestão Corporativa:** Gestor de Recursos Humanos, Gestor de Desenvolvimento de Negócio, Gestor de Segurança, Gestor de Planeamento e Controlo Financeiro (FP&A), Gestor Jurídico, Gestor de Relações com Investidores, Gestor de Comunicação e Gestor de Risco e Conformidade.

- **Mina:** Gestor de Mina, coordenadores de Planeamento de Mina, Geologia e Geotecnia, Engenheiros de Planeamento e de Perfuração e Desmonte, Geólogos de Mina, Técnicos de Mina e Supervisores de Empreiteiros.

- **Exploração:** Gestor de Exploração, Geólogos e Assistentes de Exploração, e equipa de preparação de amostras (testemunhos/amostras).

- **Processamento:** Gestor de Processamento, Superintendente de Processamento, Metalurgistas seniores e técnicos, Coordenador e Técnicos de Laboratório, Ensaiadores, e Operadores de Sala de Controlo e dos circuitos de britagem, moagem, DMS, flotação e filtração – organizados em equipas de turno rotativas (Supervisor de Turno, Eletricista de Turno, Serralheiro de Turno), de forma a garantir a continuidade operacional 24 horas por dia.

- **Manutenção:** Gestor de Manutenção e Instalações, Supervisor de Manutenção, Eletricistas, Técnicos de Instrumentação e Automação, Serralheiros Mecânicos, Caldeireiros, apoiados por um Planeador de Manutenção e um Coordenador de Tecnologia Operacional (OT).

- **Higiene, Segurança e Ambiente:** Gestor de Segurança, Supervisores de Segurança e de Resposta a Emergências, Técnicos de Segurança, Técnico de Saúde Ocupacional, e equipa de Ambiente (Gestor, Supervisor, Engenheiro e Técnicos Ambientais).

- **Administrativo e Financeiro:** Parceiro de Negócio de RH e Generalista de RH, Processamento Salarial e Administrativo, Controladores de Custos, Gestor de Tesouraria, Chefe de Contabilidade, Contabilistas (Geral, AP/AR), Especialista Fiscal, Auditor Interno e Analista de ERP.

- **Compras e Logística:** Gestor de Compras e P2P, Compradores, Coordenador de Armazém, Técnicos e Assistentes de Armazém.

- **Relações Comunitárias e Desenvolvimento Local:** Gestor de Relações Comunitárias, Coordenador da Fundação, Assistente Comunitário, Coordenador de Reclamações (*Grievance*), especialistas em Agricultura e Desenvolvimento Local e em Património Cultural, e Oficiais de Ligação Comunitária.

- **Prestadores de Serviços Contratados:** contratada de mina, limpeza industrial, eletricidade/alta tensão, manutenção de instalações, serviços médicos, sondagem de diamante, gestão de reciclagem, segurança física e serviços de informática.

- Para o planeamento da ocupação do local, considera-se uma referência de 200 pessoas em simultâneo, que incorpora uma margem de flexibilidade face à presença máxima prevista. Este valor refere-se à ocupação simultânea e distingue-se do efetivo total associado ao Projeto, cuja distribuição depende da organização dos turnos e das atividades.

4.8.3 Origem e Composição da Força de Trabalho

A força de trabalho para o projeto mineiro será constituída, na sua maioria, por trabalhadores provenientes das localidades circundantes, promovendo a integração e o desenvolvimento socioeconómico da região envolvente. Sempre que possível, será dada prioridade à contratação local, aproveitando as competências disponíveis na área e contribuindo para a criação de emprego sustentável – nomeadamente nas funções operacionais, de manutenção e de apoio administrativo.

No entanto, determinadas funções que exigem competências técnicas especializadas ou experiência específica no setor – como engenharia sénior, geologia, metalurgia, gestão de topo e funções técnicas de instrumentação e automação – poderão requerer a mobilização de profissionais oriundos de fora da região, incluindo, eventualmente, pessoal expatriado. Estes colaboradores deverão ser alojados em habitações arrendadas nas localidades próximas, garantindo a sua integração temporária na comunidade local sem a necessidade de infraestruturas dedicadas.

A composição da força de trabalho concilia a contratação local com a mobilização das competências especializadas necessárias ao Projeto. A dimensão e a organização das equipas são ajustadas às atividades de construção, operação e encerramento, incluindo as equipas próprias e os prestadores de serviços, de acordo com as necessidades de cada fase e o regime de turnos aplicável.

4.9 Estrutura dos Turnos de Trabalho

As atividades mineiras decorrerão em horários variados, dependendo da tipologia das atividades, regra geral 7 dias por semana, durante 16 horas diárias (das 7h00 às 23h00), estando previstos turnos de 8 horas. As operações de deposição de rejeitados e de carregamento de produto seguirão a mesma estrutura das atividades mineiras.

A perfuração realiza-se entre as 7h00 e as 20h00, exclusivamente em dias úteis. As detonações são programadas de dois em dois dias, exclusivamente em dias úteis, entre as 12h00 e as 15h00. Não se realizam operações de perfuração ou detonação aos fins de semana e feriados.

O carregamento do minério bruto (ROM) será realizado 24 horas por dia.

5 PROCESSO DE TRATAMENTO MINERAL

5.1 PROCESSOS METALÚRGICOS

A definição do processo metalúrgico adequado ao tratamento do minério é um dos pilares fundamentais para a viabilidade técnica e económica do projeto mineiro. No caso do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, foi desenvolvido um fluxograma de processo específico com base nas características físico-químicas do minério, tendo como objetivo maximizar a recuperação de lítio e garantir a qualidade do produto final. A seleção do circuito de processamento foi suportada por um conjunto abrangente de ensaios metalúrgicos e por critérios de conceção rigorosos, adequados às especificidades do depósito.

Foram realizados ensaios laboratoriais e de bancada com o objetivo de validar o fluxograma de processo selecionado e os critérios de conceção associados, conforme resumido no relatório B069-D02-02054-RT-0001, incluído no Anexo V.2. Os principais programas de ensaios que sustentam a conceção do processo incluem o Desenvolvimento do Fluxograma (Testes de Variabilidade e Ensaios em Ciclo Fechado – Locked Cycle Tests), todos estes conduzidos entre 2021 e 2022. Estes programas são detalhados nas secções seguintes e nos respetivos relatórios de síntese.

Os programas complementares abrangem amostras de baixo teor, variabilidade do minério, efeito da temperatura na flotação e tratamento de águas. O quadro de programas de ensaios identifica, à data de emissão deste capítulo, os trabalhos concluídos.

Os programas de ensaios metalúrgicos apresentados neste capítulo foram desenvolvidos em diferentes fases de estudo, abrangendo um conjunto de amostras mais alargado do que os depósitos incluídos no presente Plano de Lavra. Este conjunto compreende amostras provenientes da concessão C-190 (Aldeia), externa à concessão C-100, identificadas nos relatórios e quadros de resultados pelo código ALD.

Os resultados destas amostras são mantidos como informação técnica complementar para a comparação do comportamento metalúrgico dos materiais ensaiados. A sua análise permite ampliar o conjunto de respostas experimentais disponíveis e apoiar a interpretação da sensibilidade do fluxograma a diferenças de teor, composição mineralógica, libertação dos minerais e condições de processamento, nomeadamente granulometria de moagem, remoção de mica e minerais portadores de ferro e dosagem de reagentes. Esta informação complementa a caracterização dos minérios abrangidos pelo Plano de Lavra, sem substituir os ensaios realizados sobre amostras desses depósitos.

A identificação das amostras e as referências temporais associadas aos compósitos conservam a nomenclatura dos programas experimentais e dos planos mineiros utilizados à data da sua preparação. Estas referências asseguram a rastreabilidade dos resultados e não correspondem ao cronograma de lavra atual. A inclusão dos resultados do Aldeia tem natureza exclusivamente documental e técnico-experimental, não

integrando essa concessão no âmbito do presente Plano de Lavra nem prevendo a alimentação da unidade de processamento com minério dessa proveniência.

Tabela 5.1 – Programa de Testes Realizados.

Programa de Testes	Ano(s)	Objetivo dos Testes
Nagrom T2287	2017	Determinar a aptidão do minério para separação gravítica (HLS) nas frações +1 mm e -1 mm, seguida de flotação.
Nagrom T2454	2018	Avaliar os benefícios associados à etapa de pré-concentração por DMS para uso em estudo de viabilidade inicial.
Nagrom T2525	2018	Determinar características principais do minério (densidade aparente, resistência à compressão - UCS, índice de trabalho - CWi). Testes de variabilidade com HLS (2,7; 2,9).
Nagrom T2525	2018	Testes de variabilidade. Ensaios com *reflux classifier* para remoção de mica. Fracionamento por DMS. Flotação de *undersize* da crivagem e *sinks* do DMS. Separação magnética a 3000, 6000 e 9000G.
ALS A19379	2019	Estabelecimento da moagem ideal. Testes de separação magnética. Flotação de mica e flotação de espodumena.
Nagrom T2688 - Variability Testwork	2019	Avaliar o desempenho metalúrgico do minério integral utilizando o fluxograma provisório MdB, com amostras de diferentes características geológicas e de diferentes depósitos.
GTK Pilot Part 1	2019	Flotação de minério integral (WOO), com deslamagem, separação magnética de baixa intensidade (LIMS) e flotação de mica. Operação piloto para produzir 55 kg de SC6,0.
Nagrom T2688	2020	Avaliação preliminar de reagentes para flotação de mica em pH ácido, neutro e alcalino. Avaliar o impacto da flotação de mica na flotação de espodumena. Testes em batelada com *reflux classifier* para rejeição de mica.
GTK Pilot Part 2	2020	Operação piloto para produzir 200 kg de SC6,0.
Nagrom T2922	2021-2022	Desenvolvimento de fluxograma de processo e programa de testes utilizando minério do Grandão.
Nagrom LCT	2022	Testes em ciclo fechado (*Locked Cycle Test*) para verificar se a recirculação de sólidos não impacta negativamente o desempenho da flotação.
Nagrom T3032	2022-2024	Avaliação da variabilidade do tamanho de moagem conforme os recursos. Produção de amostras de concentrado em massa.
Nagrom T3496	2024-2025	Estudo de variabilidade da flotação em amostras de baixo teor e teor comercial. Avaliação dos efeitos da temperatura na flotação.

5.1.1 DESENVOLVIMENTO DO FLUXOGRAMA DE PROCESSAMENTO

5.1.1.1 ASPETOS PRINCIPAIS

O desenvolvimento do fluxograma de processamento foi realizado com base num compósito representativo do depósito do Grandão (GRA), com o objetivo de definir a rota mais eficiente, segura e ambientalmente responsável para o beneficiamento do minério de espodumena. Este trabalho focou-se nos seguintes aspetos principais:

- Remoção eficiente de mica, mineral penalizante, com avaliação comparativa entre flotação e classificação por refluxo;
- Desempenho da Separação por Meio Denso (DMS) como etapa de pré-concentração, visando melhorar o teor de alimentação à flotação;
- Seleção de reagentes ambientalmente sustentáveis, eliminando o uso de ácidos ou bases fortes e restringindo-se a reagentes registados ou isentos segundo o regulamento REACH.
- Avaliação da qualidade da água local e dos seus impactos no desempenho metalúrgico;
- Determinação dos requisitos de pré-tratamento, incluindo separação magnética e deslamagem.

5.1.1.2 RESULTADOS E DECISÕES TÉCNICAS

- Foi definido um regime de flotação otimizado, compatível com as restrições ambientais do projeto, que evita o uso de reagentes agressivos, sem comprometer o desempenho;
- O uso de DMS como etapa de pré-concentração foi incorporado ao fluxograma preferencial, garantindo maior robustez do circuito frente a variações na composição do minério, além de melhorar o grau da alimentação à flotação;
- A remoção de mica por pré-flotação foi considerada essencial, devido à granulometria fina predominante no depósito, que inviabiliza a sua remoção eficiente apenas nas frações mais grosseiras;
- A água do local mostrou-se de boa qualidade, com baixos teores de cálcio e magnésio – elementos que, em outras operações, têm gerado desafios significativos na flotação da espodumena;
- A separação magnética foi incluída como medida preventiva contra contaminação por ferro, com base em experiências operacionais anteriores e visando maior flexibilidade do circuito, especialmente em cenários de diluição crescente ao longo da vida útil da mina;
- A deslamagem a 20 µm antecede a flotação. O programa de ensaios avaliou diferentes granulometrias de moagem, incluindo P80 de 106 µm. O critério nominal de

dimensionamento da alimentação à flotação apresentado na Tabela 5.16 é P80 de 150 µm.

Como desdobramento deste trabalho, foi desenvolvido um programa de testes de variabilidade, com o objetivo de avaliar a robustez e a adequação do fluxograma selecionado frente aos diferentes tipos de minério esperados durante os primeiros dez anos de operação. Os resultados detalhados encontram-se no relatório técnico 10504-U-RP-001 do Anexo V.2.

5.1.2 REDUÇÃO GRANULOMÉTRICA

No âmbito do programa de variabilidade descrito na secção do *Programa de Variabilidade*, foram realizados ensaios de redução de tamanho em 10 amostras representativas dos primeiros 10 anos da mina, bem como numa amostra de estéril interno e numa de estéril externo.

Os valores de projeto recomendados foram definidos com base nos resultados obtidos, adotando-se o percentil 75 (P75) dos valores medidos como critério de dimensionamento para os limites superiores.

O programa incluiu ensaios físicos e ensaios de redução granulométrica, com os resultados detalhados no relatório técnico 10504-0000-U-RP-005, incluído no Anexo V.2. Os valores de projeto recomendados encontram-se na Tabela 5.2 apresentada abaixo.

Tabela 5.2 – Parâmetros Físicos e de Redução Granulométrica.

Parâmetro Primário	Parâmetro Secundário	Unidades	Valor
Densidade aparente (solta)	P100 19mm	t/m³	1,55
	P100 3,35mm	t/m³	1,52
Densidade aparente (compactada)	P100 19mm	t/m³	1,75
	P100 3,35mm	t/m³	1,85
Ângulo de repouso	Minério	graus	41
Sólidos (SG)	Minério	-	2,72
Ângulo de repouso	Minério	graus	41
Sólidos (SG)	Minério	-	2,72
Índice de trabalho de britagem (*Bond*)	Minério	kWh/t	17,5
Índice de moagem em moinho de bolas (*Bond*)	Minério	kWh/t	14,8
Índice de abrasão (*Bond*)	Minério		0,29

Os índices de abrasão, britagem e moagem em moinho de bolas foram definidos com base no percentil 75 dos dados obtidos experimentalmente, para consultar de forma mais detalhada os resultados obtidos, ver Anexo V.2, documento B069-D02-02054-RT-

0001. Esta abordagem visa assegurar uma margem de segurança no dimensionamento do circuito de redução de tamanho, tendo em conta a presença de minério mais duro e abrasivo ao longo da vida útil da exploração.

A aplicação destes valores implica a necessidade de uma gestão adequada da mistura de minérios ao longo da lavra, de forma a manter uma alimentação com características compatíveis com a capacidade instalada da unidade de tratamento. Caso esta homogeneização não seja realizada de forma eficaz e contínua, deverá ser considerado que as taxas de produção previstas poderão não ser atingidas em zonas com minério de maior resistência mecânica ou abrasividade.

5.1.3 PROGRAMA DE VARIABILIDADE

O programa de variabilidade foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a adequação do fluxograma e dos parâmetros selecionados no âmbito do estudo do Desenvolvimento do Fluxograma, face à variação dos tipos de minério previstos para os primeiros 10 anos de operação. Paralelamente, o programa permitiu otimizar parâmetros operacionais, com destaque para o tamanho de moagem.

Adicionalmente, o programa permitiu a geração de amostras de produto destinadas a ensaios de processamento a jusante, bem como a produção de matérias-primas secundárias para ensaios de caracterização e ensaios de desaguamento.

Os detalhes completos do programa encontram-se resumidos no relatório técnico 10504-0000-J-RP-008 do Anexo V.2.

5.1.3.1 SELEÇÃO DE AMOSTRAS

As amostras foram colhidas a partir dos níveis de bancada relevantes, conforme definidos no plano de exploração vigente à data da campanha, assegurando a representatividade de minérios de alto e baixo teor, bem como diferentes graus de alteração (oxidação ou meteorização).

Os compósitos foram nomeados de forma a indicar, no mínimo, o depósito e o ano de exploração correspondente. Nos casos de depósitos com múltiplas fases, como o Grandão, essa informação adicional também foi incluída. Para zonas da mina em que se prevê a presença de material de transição e material fresco, como por exemplo Grandão Fase 1 no Ano 1, essa distinção também foi incorporada na designação do compósito. Por exemplo: GRA-S1-Y1-T, indica que a amostra compósita representa material de transição previsto para o primeiro ano de exploração da Fase 1 do depósito do Grandão.

A descrição detalhada de cada compósito, bem como a comparação com o plano de lavra à data, pode ser consultada na Secção 4.0 do relatório técnico 10504-0000-J-RP-008 do Anexo V.2.

5.1.3.2 FLUXOGRAMA LABORATORIAL

O fluxograma e os parâmetros desenvolvidos durante o programa de Desenvolvimento do Fluxograma de Processamento foram utilizados como ponto de partida para os trabalhos de teste de variabilidade. O plano geral de ensaios seguiu, normalmente, o procedimento detalhado na Figura 5.1.

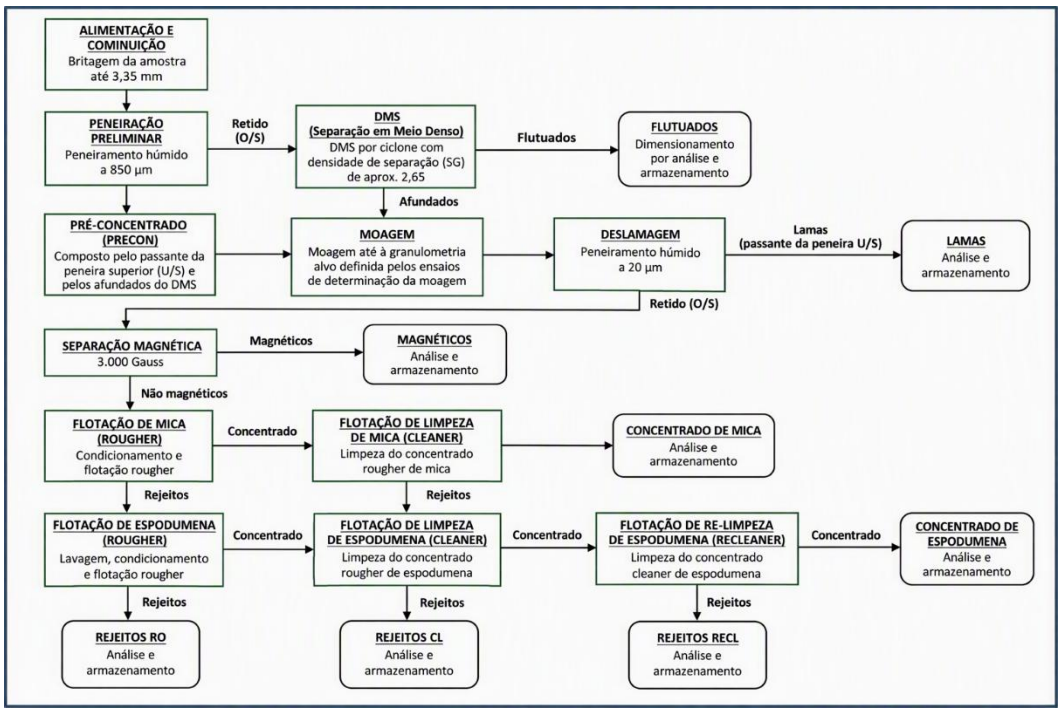


Figura 5.1 – Fluxograma Laboratorial.

5.1.3.3 BRITAGEM E PRÉ-CRIVAGEM

O material foi britado até uma granulometria inferior a 3,35 mm e posteriormente classificado a 0,85 mm para gerar o alimentador da planta DMS. A repartição do material para o rejeitado da crivagem (alimentação da planta DMS) está resumida na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Repartição na etapa de pré-crivagem para a fração +0,85 mm (Alimentação da planta DMS).

Estágios de Repartição	Min (%)	Média (%)	Max (%)
Produção em massa	57,6	63,7	69,3
Li_2O	58,2	64,9	68,6
Fe_2O_3	44,9	53,0	62,9
Rb	55,4	62,7	68,4

Os resultados mostram uma ligeira concentração de Li_2O na fração grossa, embora não tenha sido consistente em todos os compósitos. Como esperado, verificou-se também uma tendência evidente do ferro a concentrar-se na fração fina. Nesta fase do programa não foi identificada variabilidade significativa, pelo que a fração +0,85 mm foi encaminhada para a planta DMS.

5.1.3.4 Separação por Meio Denso (DMS)

A etapa DMS foi incorporada no projeto com o objetivo de rejeitar a ganga, proporcionando um aumento do teor de alimentação da planta, minimizar a variabilidade da alimentação para melhorar a capacidade de atingir os teores do concentrado desejados e reduzir os custos operacionais.

Os resultados indicaram que na etapa de DMS se conseguiu rejeitar cerca de 23% da massa, com perdas de aproximadamente 4% de Li_2O, embora tenha apresentado alguma variabilidade entre os compósitos. Os resultados globais estão resumidos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Desempenho Global da etapa de DMS.

Compósito	Teor de alimentação Li_2O (%)	Enriquecimento de alimentação para flotação (%)	Massa global para flotação (%)	Li_2O global para flotação (%)	Fe_2O_3 global para flotação (%)	Rb global para flotação (%)
PNR-Y1	1,07	123,9	23,8%	5,6%	8,0%	31,6%
GRA-S1-Y1-T	1,03	126,3	24,3%	4,4%	9,7%	31,2%
GRA-S1-Y2-T	1,14	128,0	25,0%	3,9%	8,5%	37,7%
GRA-S1-Y1-F	1,10	126,5	26,6%	6,9%	15,3%	30,6%
GRA-S1-Y3	1,11	130,5	26,1%	3,6%	8,4%	34,1%
ALD-Y1/2	1,19	132,3	27,5%	4,1%	12,2%	39,5%
ALD-Y3/4	1,46	125,4	22,9%	3,3%	9,7%	33,8%
GRA-S2-Y1/2	0,76	116,9	18,7%	5,0%	11,1%	19,6%
GRA-S2-Y3	1,78	116,9	17,2%	3,2%	10,8%	25,4%
RES-S1	1,08	121,7	20,0%	2,6%	11,0%	25,9%
Média	-	124,8	23,2	4,3	10,5	31,0

Duas das amostras analisadas, nomeadamente **PNR-Y1** e **GRA-S1-Y1-F**, apresentaram uma rejeição de Li_2O mais elevada, para uma perda de massa semelhante, do que qualquer outro compósito. Após análise da composição destas amostras, verificou-se que continham o maior número de amostras aplíticas nos seus compósitos, o que está associado a uma granulometria mais fina e a maiores perdas de espodumena não libertada.

Os resultados indicam que, quanto mais baixo for o teor de alimentação e maior o conteúdo aplítico, pior será o desempenho expectável da amostra.

5.1.3.5 FLOTAÇÃO

Os materiais de maior densidade retidos na etapa de Separação por Meio Denso (DMS) foram combinados com o material remanescente da fração <0,85 mm, sendo posteriormente moídos até à granulometria desejada, definida em 106 µm para o caso base.

Os compósitos foram então deslamados por crivagem húmida a 20 µm e submetidos a separação magnética, antes de entrarem no circuito de flotação.

O regime inicial de reagentes foi estabelecido com base nos resultados obtidos no programa de Desenvolvimento do Fluxograma de Processamento. O processo de flotação seguiu o fluxograma definido nos ensaios históricos, conforme apresentado na Figura 5.2.

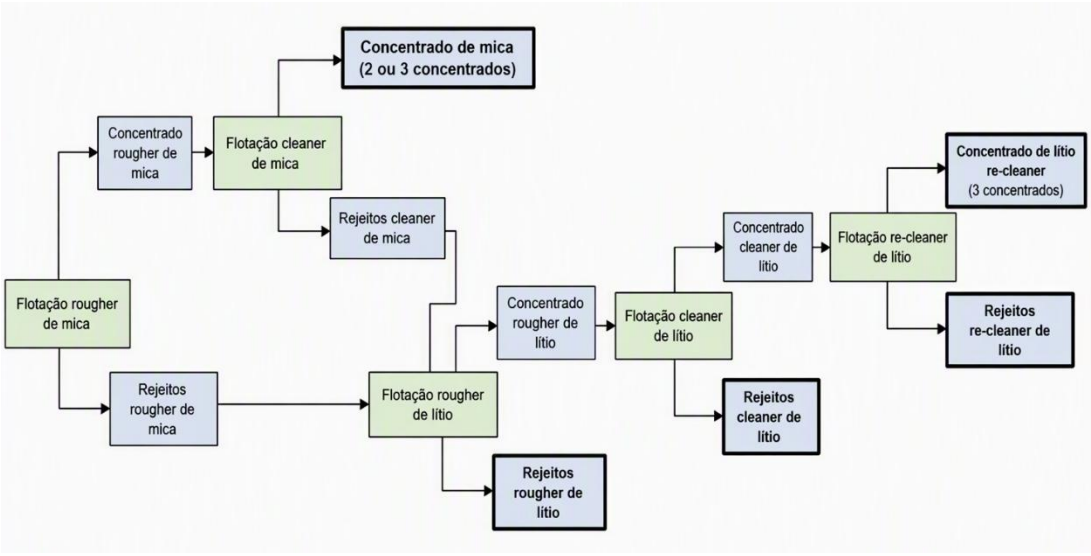


Figura 5.2 – Fluxograma dos ensaios de Flotação.

A etapa de flotação das micas – que também permite a remoção de outros minerais de ganga suscetíveis à flotação – foi analisada em primeiro lugar, dada a reconhecida sensibilidade do seu desempenho à dosagem de reagentes e o impacto significativo que esta pode ter na performance global do circuito de flotação.

Após os ensaios iniciais, verificou-se que a aplicação de uma dosagem fixa de *Armeen T* não é a solução mais adequada, devido à variabilidade do teor estimado de mica nas amostras. Assim, a dosagem deve ser ajustada com base na relação entre o rubídio (Rb) e a mica, identificada no programa de Desenvolvimento do Fluxograma de Processamento. O impacto da dosagem de reagente e da recuperação de Rb (utilizado como indicador da presença de mica) e de Li_2O encontra-se ilustrado nos gráficos representados na Figura 5.3 e na Figura 5.4.

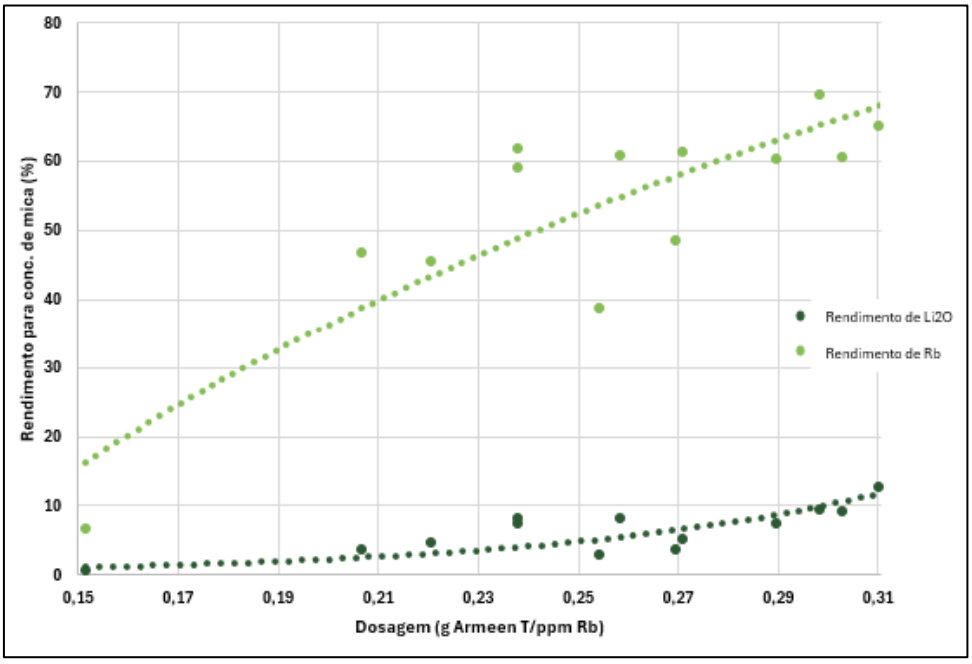


Figura 5.3 – Rendimento no concentrado de mica em função da taxa de dosagem.

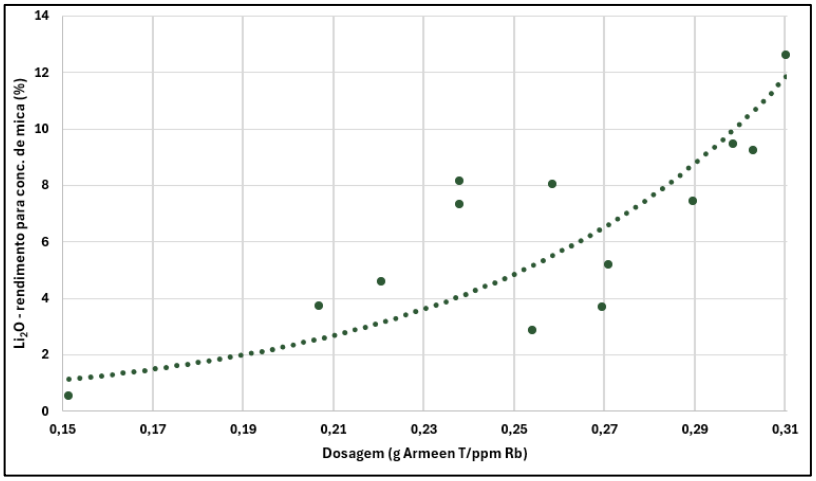


Figura 5.4 – Rendimento de Li_2O no concentrado de mica em função da taxa de dosagem.

Os resultados mostram uma tendência consistente que indica a existência de um ponto a partir do qual as perdas de Li_2O para o concentrado de mica ultrapassam os benefícios da rejeição adicional de mica. Uma dosagem demasiado baixa limita a capacidade de atingir o teor final do produto; por outro lado, dosagens excessivas resultam em perdas acrescidas de Li_2O, comprometendo a recuperação global, além de poderem impedir o cumprimento das especificações de teor, devido à escassez de unidades de Li_2O disponíveis para competir com outros minerais flutuáveis nas mesmas condições.

Apesar da variabilidade observada entre o teor estimado de mica e o desempenho da flotação nas diferentes amostras, os resultados mostram que é possível gerir adequadamente as variações na alimentação da planta ajustando as taxas de dosagem de reagente. Embora exista uma condição ideal específica para cada compósito – a qual poderia ser determinada através de testes repetidos – os dados recolhidos foram suficientes para validar o conceito.

Deverá ser considerada a possibilidade de realizar a homogeneização do minério na fase de ROM (*Run of Mine*) para minimizar o teor total de mica na alimentação, uma vez que a remoção acrescida de mica acarreta perdas superiores de Li_2O, conforme ilustrado na Figura 5.5.

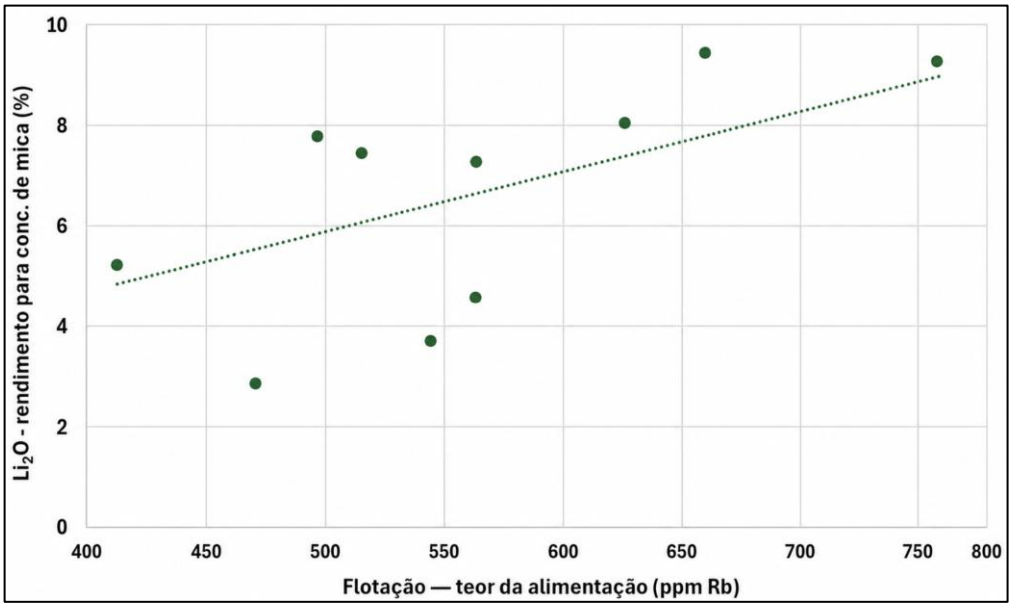


Figura 5.5 – Relação entre as perdas de Li_2O e o teor estimado de mica.

A identificação de uma janela estreita para a dosagem ideal sugere que a operação bem-sucedida da planta dependerá de um controlo rigoroso do teor de mica na alimentação – através da homogeneização (*blending*) – aliado à utilização de análises em linha para ajustar a taxa de dosagem. Confiar apenas nos tempos de resposta dos métodos padrão de amostragem da planta e nas metas de divisão de massa numa alimentação variável poderá resultar em perdas excessivas de Li_2O para o concentrado de mica, ou em períodos em que não seja possível atingir o teor desejado de concentrado de espodumena devido à diluição por mica.

O desempenho da etapa de flotação da espodumena revelou-se relativamente estável, conforme detalhado na Tabela 5.5 e na Tabela 5.6.

Tabela 5.5 – Recuperação na etapa de Flotação da Espodumena.

Compósito	Resíduos do Desbaste		Concentrado RC1-3	
	Teor Li_2O (%)	**Recuperação Li_2O (%)**	**Teor Li_2O (%)**	**Recuperação Li_2O (%)**
PNR-Y1	0,05	1,95	5,54	87,65
GRA-S1-Y1-T	0,07	3,06	5,51	87,70
GRA-S1-Y2-T	0,03	1,10	5,23	92,78
GRA-S1-Y1-F	0,05	1,53	4,82	90,33
GRA-S1-Y3	0,04	1,42	6,24	89,72
ALD-Y1/2	0,08	3,04	5,80	91,47
ALD-Y3/4	0,05	1,29	6,27	88,40
GRA-S2-Y1/2	0,05	3,64	5,21	89,65
GRA-S2-Y3	0,06	1,43	6,38	89,71
RES-S1	0,06	2,79	5,82	92,60

Tabela 5.6 – Desempenho da etapa de flotação – ajustado para SC5,5.

Compósito	Concentrado de mica		Resíduos ajustados SC5,5		Resíduos ajustados SC5,5	
	Teor Li_2O (%)	**Recuperação Li_2O (%)**	**Teor Li_2O (%)**	**Recuperação Li_2O (%)**	**Teor Li_2O (%)**	**Recuper-ação Li_2O (%)**
PNR-Y1	0,46	9,23	0,07	3,04	5,50	87,73
GRA-S1-Y1-T	0,53	8,03	0,09	4,25	5,50	87,72
GRA-S1-Y2-T	0,45	4,57	0,47	20,14	5,50	75,29
GRA-S1-Y1-F	0,46	7,31	0,60	27,70	5,50	64,99
GRA-S1-Y3	0,56	7,44	0,04	1,75	5,50	90,82
ALD-Y1/2	0,47	3,70	0,10	4,19	5,50	92,11
ALD-Y3/4	0,59	9,46	0,04	1,37	5,50	89,17
GRA-S2-Y1/2	0,28	5,27	0,21	17,22	5,50	77,51
GRA-S2-Y3	0,67	7,74	0,06	1,86	5,50	90,40
RES-S1	0,45	2,84	0,07	3,61	5,50	93,55

Os resultados mostram consistentemente que é possível atingir teores muito baixos nos resíduos da flotação de desbaste (*rougher*) para todos os compósitos, o que indica que o tempo de condicionamento e as dosagens de reagentes estão a proporcionar um excelente condicionamento.

Os resultados típicos apontam para uma recuperação nesta etapa, incluindo as perdas associadas à flotação da mica, entre 87% e 93% do Li_2O num produto SC5,5 (excluindo os três valores atípicos identificados na tabela de resultados), sendo as perdas para o concentrado de mica geralmente superiores às perdas na etapa de flotação da espodumena. Os valores atípicos são discutidos mais detalhadamente no resumo global.

O desempenho global revelou-se inferior ao esperado, devido às perdas significativas registadas na etapa de preparação para flotação, associadas à moagem até 106 µm. Os resultados encontram-se detalhados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Recuperação global a 106 µm.

Compósito	Teor de alimentação (% Li_2O)	Recuperação ajustada SC5,5 (% Li_2O)
PNR-Y1	1,05	63,9
GRA-S1-Y1-T	1,03	67,4
GRA-S1-Y2-T	1,05	59,8
GRA-S1-Y1-F	1,08	50,3
GRA-S1-Y3	1,17	72,9
ALD-Y1/2	1,14	73,5
ALD-Y3/4	1,37	71,2
GRA-S2-Y1/2	0,76	58,4
GRA-S2-Y3	1,66	70,0
RES-S1	1,07	74,6
Média	-	**66,2**
Média (Ajustada)	-	**71,6**

O compósito PNR-Y1 foi historicamente identificado como estando afetado por um "efeito de margem" e não é representativo do minério do Pinheiro.

Após repetição do ensaio e ajuste das dosagens de reagentes, este compósito apresentou um bom desempenho na etapa de flotação, atingindo uma recuperação por etapa de 87,73% de Li_2O. No entanto, as perdas na fase de pré-preparação resultaram numa recuperação global de apenas 72,8% de Li_2O para a alimentação da flotação, o que indica que a maioria das perdas de Li_2O está associada ao DMS, deslamagem e separação magnética. Não foram planeadas investigações adicionais neste compósito para esta granulometria, dado que o potencial de melhoria na flotação é reduzido e as perdas associadas à preparação da alimentação da flotação são praticamente fixas para a granulometria selecionada. Este compósito e as perdas na preparação foram posteriormente investigados nos trabalhos de variabilidade de granulometria. Como são necessárias amostras adicionais mais representativas do corpo mineralizado do Pinheiro, este compósito foi excluído do cálculo da recuperação global média para todas as granulometrias estudadas.

O compósito GRA-S1-Y2-T foi submetido à flotação antes de ser estabelecida a relação ideal de dosagem do reagente Armeen T, sendo assim a única amostra processada sem otimização de dosagem.

O compósito GRA-S1-Y1-F continha cerca de 30% de material aplítico, o qual é historicamente difícil de processar, mas que se estima não ter expressão significativa no

depósito. Por esse motivo, esta amostra não é considerada representativa do minério do Grandão.

Adicionalmente, foi identificado excesso de diluição por mica no concentrado, o que exigiu maiores perdas na etapa de flotação da mica para alcançar a qualidade do concentrado, apesar da recuperação por etapa de >60% de Rb observada na flotação da mica. Tal como no caso do PNR-Y1, apenas 77,4% de Li_2O global foi reportada à alimentação da flotação, sugerindo que poderá ser necessária uma granulometria mais fina para melhor desempenho.

O compósito GRA-S2-Y1/2 apresentou um teor de apenas 0,76% de Li_2O, consideravelmente inferior aos restantes compósitos testados, mas representativo do período correspondente no plano de exploração à data. Apesar do baixo teor, alcançou uma recuperação na flotação de 77,51%, embora apenas 75,3% de Li_2O global tenha sido reportada à alimentação da flotação. Foi igualmente detetada diluição por mica no concentrado de flotação de espodumena.

Esta amostra permitiu a obtenção de concentrado com qualidade de produto final; contudo, o potencial de recuperação a este teor de alimentação é limitado. Foi recomendada a reavaliação do plano de exploração de forma a garantir um teor mínimo de alimentação mais elevado para a planta.

Foram realizados ensaios complementares com amostras de minério de baixo teor do Grandão, Pinheiro, NOA e Reservatório, no final de 2025 e no primeiro semestre de 2026. O programa, as condições dos ensaios e os resultados encontram-se documentados no relatório B069-D03-06020-REP-0001, incluído no Anexo V.2.

Segundo os resultados apresentados, o desempenho das amostras de baixo teor depende das condições de moagem e da dosagem de reagentes. As amostras do Pinheiro, NOA e Grandão apresentaram resultados considerados aceitáveis nas condições ensaiadas, com ajuste da dosagem de Armeen T. Na amostra do Reservatório não foram atingidos os objetivos de recuperação e de teor do concentrado nas condições testadas. Estes resultados evidenciam a necessidade de controlar a variabilidade da alimentação e de avaliar a mistura de materiais de diferentes teores, bem como os ajustes de moagem e dosagem de reagentes. As condições a adotar no projeto devem ser explicitamente relacionadas com os resultados dos ensaios.

No geral, o fluxograma típico a 106 µm permitiu alcançar qualidade de produto final para todos os 10 compósitos testados, mostrando a adequabilidade do minério ao fluxograma de processamento selecionado.

5.1.3.6 Variabilidade da Granulometria de Moagem

Verificou-se que poderá existir uma oportunidade significativa de otimização do fluxograma de processamento através do aumento da granulometria de moagem. Esta alteração poderia trazer os seguintes benefícios operacionais e económicos:

- Redução do consumo energético e do trabalho necessário para atingir os 106 µm atualmente utilizados como base.

- Melhor desempenho nas etapas de espessamento e filtração, fator particularmente relevante tendo em conta a estratégia de rejeitados empilhados a seco.

- Produção de um concentrado mais grosseiro, com características físicas mais favoráveis.

- Redução na geração de lamas e das perdas potenciais de espodumena associadas à separação magnética. A menor sensibilidade às perdas em lamas poderá também permitir um controlo menos exigente da deslamagem a 20 µm, reduzindo assim o risco de perdas metalúrgicas nesta etapa.

É reconhecido, no entanto, que o aumento da granulometria pode afetar negativamente o desempenho do processo de flotação, devido à distribuição de partículas mais grosseiras e eventual libertação incompleta dos minerais. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar a granulometria ideal de moagem, considerando simultaneamente os benefícios nas etapas de preparação da alimentação e os impactos na eficiência da flotação.

Para tal, a condição base de moagem a 106 µm foi comparada com duas alternativas: 150 µm e 212 µm.

A maior melhoria esperada com o aumento da granulometria prende-se com a etapa de deslamagem, estando as perdas de Li_2O associadas apresentadas na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Perdas em Lamas vs Granulometria de Moagem.

Compósito	Teor de Alimentação (% Li_2O)	Perdas de Li_2O a 106 µm (%)	Perdas de Li_2O a 150 µm (%)	Perdas de Li_2O a 212µm (%)
PNR-Y1	1,13	12,3	8,2	5,7
GRA-S1-Y1-T	0,97	9,0	7,1	4,7
GRA-S1-Y2-T	1,24	9,9	6,5	4,4
GRA-S1-Y1-F	1,02	8,5	6,4	5,2
GRA-S1-Y3	1,18	8,7	8,1	4,8
ALD-Y1/2	1,30	9,6	6,9	5,4
ALD-Y3/4	1,50	9,8	6,4	2,6
GRA-S2-Y1/2	0,76	10,0	7,4	4,7
GRA-S2-Y3	1,74	10,3	7,0	4,9
RES-S1	1,08	9,7	7,4	6,8
Média	-	9,8	7,1	4,9

Os resultados obtidos mostram que os benefícios do aumento da granulometria de moagem variam consoante o compósito analisado. Em alguns casos, como no compósito

GRA-S1-Y3, observou-se apenas um benefício marginal ao passar de 106 µm para 150 µm, com ganhos significativos a partir de 212 µm. Este comportamento poderá indicar a presença de espodumena de granulometria mais grosseira, que estaria a ser moída em excesso nas condições de base, sendo assim mais favorável à flotação com partículas de maior dimensão.

Por outro lado, compósitos como o RES-S1 revelaram melhorias mais expressivas entre 106 µm e 150 µm, com benefícios praticamente nulos ao aumentar para 212 µm. Este padrão pode indicar que o minério do RES-S1 é mais fino e menos adequado à flotação a 212 µm, o que foi posteriormente confirmado nos ensaios de flotação.

Apesar da variabilidade observada entre compósitos, a tendência geral confirma a vantagem de adotar uma moagem mais grosseira, mostrando que uma granulometria superior resulta em menores perdas de Li_2O para a fração fina (<20 µm).

O impacto da granulometria de moagem nas perdas de Li_2O na etapa de separação magnética encontra-se detalhado na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Perdas na Separação Magnética vs Granulometria de Moagem.

Compósito	Teor de Alimentação (% Li_2O)	Perdas de Li_2O a 106 µm (%)	Perdas de Li_2O a 150 µm (%)	Perdas de Li_2O a 212µm (%)
PNR-Y1	1,13	9,2	5,5	3,9
GRA-S1-Y1-T	0,97	9,7	6,4	4,6
GRA-S1-Y2-T	1,24	6,8	3,4	4,0
GRA-S1-Y1-F	1,02	7,0	4,9	2,6
GRA-S1-Y3	1,18	7,6	7,7	5,6
ALD-Y1/2	1,30	6,4	5,8	3,6
ALD-Y3/4	1,50	6,9	6,1	4,0
GRA-S2-Y1/2	0,76	9,8	7,8	5,7
GRA-S2-Y3	1,74	8,8	6,6	5,8
RES-S1	1,08	8,2	5,9	4,5
Média	-	8,0	6,0	4,4

Os resultados obtidos confirmam que, com o aumento da granulometria de moagem, se verificam menores perdas de Li_2O na etapa de separação magnética, quando processado na unidade Nagrom WHGMS145.

Foi realizada uma investigação adicional sobre o desempenho desta unidade, bem como sobre a aparente concentração de Li_2O no concentrado magnético, cujos detalhes se encontram descritos no relatório técnico 10504-0000-J-RP-008.

Um resumo completo das perdas nas etapas de preparação para flotação, incluindo separação por meio denso (DMS), deslamagem e separação magnética, encontra-se apresentado na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Recuperação Global até à Alimentação da Flotação vs Granulometria de Moagem.

Compósito	Teor de Alimentação (% Li_2O)	Flotação de Li_2O a 106 µm (%)	Flotação deLi_2O a 150µm (%)	Flotação deLi_2O a 212µm (%)
PNR-Y1	1,13	72,8	80,7	84,9
GRA-S1-Y1-T	0,97	76,9	82,2	86,4
GRA-S1-Y2-T	1,24	79,5	86,2	87,7
GRA-S1-Y1-F	1,02	77,4	81,7	85,1
GRA-S1-Y3	1,18	80,3	80,7	85,9
ALD-Y1/2	1,30	79,9	83,2	87,0
ALD-Y3/4	1,50	79,8	84,3	90,2
GRA-S2-Y1/2	0,76	75,3	79,8	84,7
GRA-S2-Y3	1,74	77,5	83,1	86,1
RES-S1	1,08	79,8	84,1	86,2
Média	-	77,9	82,6	86,4

Embora os resultados sugiram que um aumento adicional da granulometria de moagem poderia continuar a reduzir as perdas globais de Li_2O nas etapas de preparação da alimentação à flotação, existe um limite para a gama de tamanhos de partícula que pode ser eficientemente flotada. Por este motivo, não foram consideradas granulometrias superiores a 212 µm neste estudo.

Como seria de esperar, apesar da maior recuperação global até à flotação associada ao aumento da granulometria, a recuperação efetiva na etapa de flotação diminuiu com o aumento do tamanho de partícula. Esta tendência é evidenciada pelo aumento do teor de Li_2O nos rejeitados do desbaste, cujos valores se encontram resumidos na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Rendimento de óxido de lítio (Li_2O) nos rejeitados de desbaste em diferentes granulometrias de moagem.

Compósito	Li_2O nos Rejeitados do Desbaste a 106 µm (%)	Li_2O nos Rejeitados do Desbaste a 150 µm (%)	Li_2O nos Rejeitados do Desbaste a 212 µm (%)
PNR-Y1	1,95	1,38	9,29
GRA-S1-Y1-T	3,06	3,36	7,73
GRA-S1-Y2-T	1,10	2,65	3,95
GRA-S1-Y1-F	1,53	0,72	1,43
GRA-S1-Y3	1,42	1,64	3,95
ALD-Y1/2	3,04	1,31	7,38
ALD-Y3/4	1,29	1,07	2,54
GRA-S2-Y1/2	3,64	1,36	3,61
GRA-S2-Y3	1,43	0,95	2,74
RES-S1	2,79	2,82	7,68

Os resultados globais dos ensaios preliminares de flotação indicam que foi possível obter desempenhos metalúrgicos muito semelhantes entre as granulometrias de 106 µm e 150 µm na maioria dos compósitos. No entanto, observou-se uma redução significativa da eficiência da flotação na condição de 212 µm, em vários dos compósitos testados.

Apesar da ligeira diminuição da eficiência da flotação nas granulometrias mais grosseiras, estas continuam a revelar-se otimizadas globalmente, tendo em conta os benefícios significativos observados na redução das perdas por lamas e na separação magnética.

A comparação da recuperação global de Li_2O por compósito para as diferentes granulometrias encontra-se apresentada na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Recuperação Global em Função da Granulometria de Moagem.

Compósito	Li_2O para SC5,5 a 106 µm (%)	Li_2O para SC5,5 a 150 µm (%)	Li_2O para SC5,5 a 212 µm (%)
PNR-Y1	63,9	N/A	57,5
GRA-S1-Y1-T	67,4	70,0	N/A
GRA-S1-Y2-T	59,8	75,1	57,5
GRA-S1-Y1-F	50,3	71,4	N/A
GRA-S1-Y3	72,9	75,3	75,4
ALD-Y1/2	73,5	79,2	77,0
ALD-Y3/4	71,2	76,0	85,0
GRA-S2-Y1/2	58,4	N/A	61,9
GRA-S2-Y3	70,0	78,1	80,9
RES-S1	74,6	77,5	N/A
Média	**66,5**	**75,3**	**70,7**
Média Ajustada	**71,6**	**75,3**	**79,5**

Os resultados apoiam o aumento da granulometria de moagem para 150 µm como caso base para o projeto, destacando que 40% das amostras indicaram que uma moagem mais grossa poderá ser viável. O desenho do processo considerou a granulometria de 150 µm devido ao aumento da potência necessária e à taxa de filtração.

5.1.4 Ensaios em Ciclo Fechado (*Locked Cycle Test*)

Entre o primeiro e o segundo trimestre de 2022, foi realizado um programa de ensaios em ciclo fechado (*Locked Cycle Test*) para avaliar a influência dos sólidos e do filtrado reciclados no desempenho da flotação. O relatório detalhado deste programa está sumarizado no documento 10504-0000-J-RP-007 do Anexo V.2. Os objetivos deste programa foram os seguintes:

- Verificar o impacto do material reciclado na eficiência da etapa de flotação.

- Garantir a repetibilidade do desempenho da flotação.
- Otimizar e reduzir as dosagens de reagentes.
- Produzir uma amostra representativa da água para simular o acúmulo de reagentes, para análise e planeamento dos ensaios de tratamento de água.
- Produzir amostras de todos os rejeitados adequadas para análise de matérias-primas secundárias.

Os ensaios foram realizados com um compósito único representativo do Grandão Estágio 1. O material foi preparado conforme o fluxograma do processamento finalizado, desenvolvido durante os programas de Desenvolvimento do Fluxograma de Processamento e do Programa de Variabilidade, incluindo britagem, pré-concentração por DMS, moagem, deslamagem e separação magnética antes da flotação. O programa incorporou a granulometria recentemente otimizada, com P80 a 150 µm, e integrou lições aprendidas de programas anteriores, como o uso de ciclones para deslamagem em compósitos deste tamanho, em vez de crivagem húmida.

O programa incluiu dois ensaios preliminares de flotação para estabelecer a linha de base do desempenho e selecionar a dosagem inicial de reagentes, seguidos de três ensaios em ciclo fechado, cada um com 10 etapas. Os ensaios típicos em ciclo fechado permitem apenas a reciclagem dos rejeitados intermédios (*middlings*) e dos filtrados associados a esses sólidos, procedimento seguido nos dois primeiros ensaios, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 5.6.

O projeto prevê um circuito aberto para as etapas desbaste/relavagem, minimizando as perdas de Li_2O para o concentrado de mica. Este arranjo implica que não haverá reciclagem de sólidos na planta em escala real, eliminando assim a necessidade de ensaios em ciclo fechado para o circuito de flotação da mica. Cada flotação de mica compreendeu 10 ensaios em *batch* repetidos por carga antes da etapa de flotação da espodumena, sendo a reciclagem de sólidos e filtrados incorporada nos ensaios em ciclo fechado desta última etapa.

Dado que o projeto possui um circuito de água rigidamente controlado, o terceiro ensaio incorporou a reciclagem global da água para simular melhor o desempenho futuro da planta, conforme detalhado abaixo. A água reciclada foi utilizada preferencialmente para todas as aplicações de água de pulverização e reposição durante o ensaio, adicionando-se água fresca apenas na alimentação de cada ciclo para manter a densidade da polpa de alimentação da flotação em 65%, em conformidade com o fluxograma selecionado. Este ensaio simulou também a acumulação dos reagentes no sistema, permitindo uma redução da dose de reagentes em quase 40%.

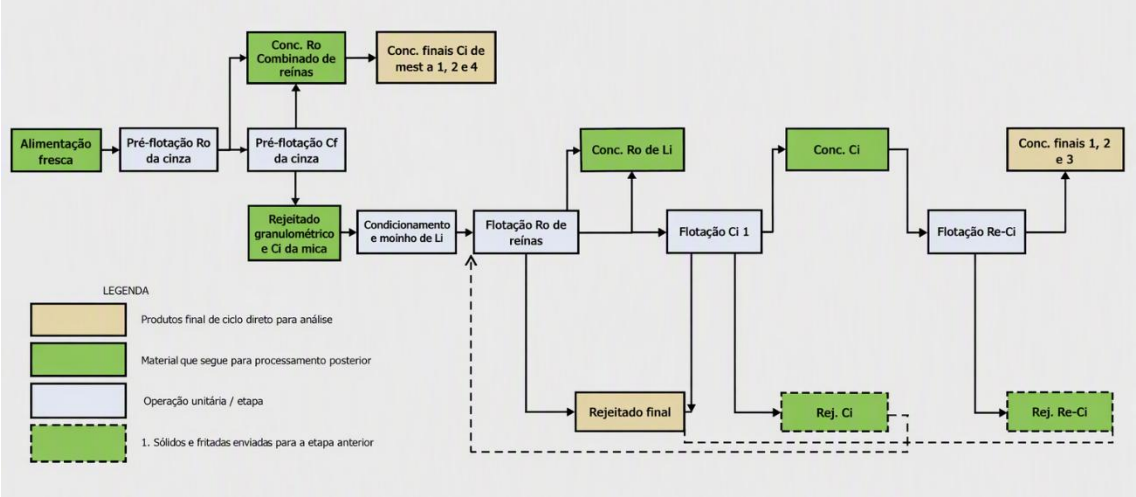


Figura 5.6 – Fluxograma dos ensaios em ciclo fechado 1 e 2.

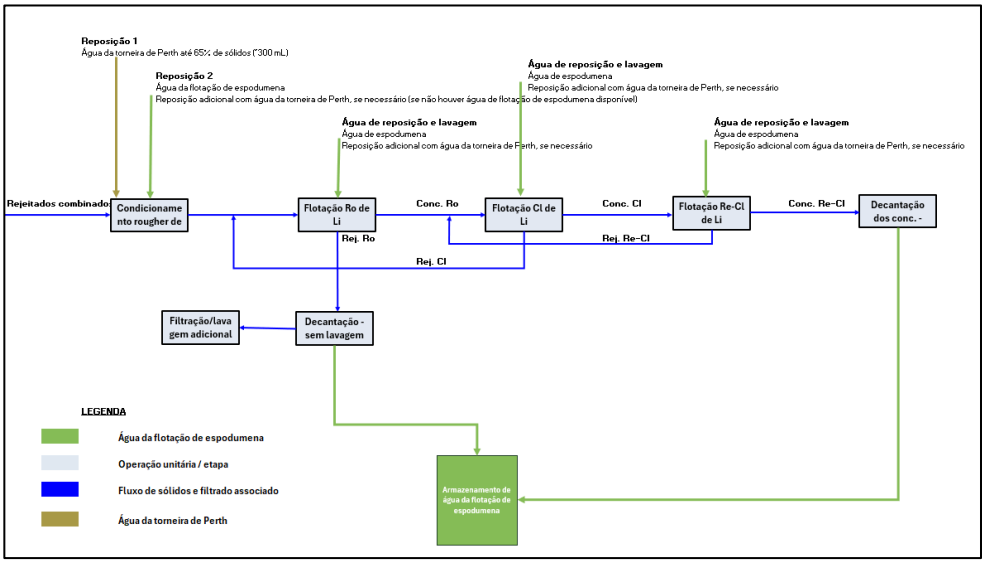


Figura 5.7 – Fluxograma do ensaio em ciclo fechado 3.

Os ensaios preliminares de flotação mostraram um excelente desempenho em comparação com o Programa de Variabilidade e outros exemplos semelhantes. A principal diferença foi o aumento das perdas de Li_2O para o concentrado de mica, devido ao conteúdo muito mais elevado de Rb na amostra em relação ao habitual. No entanto, os resultados excelentes na preparação para flotação compensaram esta situação, alcançando-se uma recuperação global de 81,5% com uma concentração final de 5,50% Li_2O, conforme detalhado na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Amostra do ciclo fechado vs desempenho na variabilidade – ensaios preliminares de Flotação.

Compósito	Recuperação no DMS (% Li_2O)	Recuperação na Deslamagem (% Li_2O)	Recuperação na Separação Magnética (% Li_2O)	Recuperação no Concentrado de Mica (% Li_2O)	Recuperação nos Rejeitados de Desbaste (% Li_2O)	Recuperação no SC5,5 (% Li_2O)
Locked Cycle Test	2,5	2,1	2,0	11,0	1,1	81,4
Média – Programa de Variabilidade	4,0	7,0	5,9	4,7	3,2	75,3

O programa completo de ensaios de ciclo fechado produziu resultados muito promissores, conferindo confiança às condições de flotação da espodumena selecionada, que se mostraram robustas para lidar com os produtos intermédios reciclados e a variabilidade associada à etapa de flotação da mica, enquanto alcançaram o grau de produto com excelentes recuperações parciais.

Os testes de ciclo fechado (LCT) 1 e 2 conseguiram desempenho igual ao do ensaio preliminar, mesmo com a inclusão dos fluxos reciclados. O LCT 1 foi realizado com uma dose fixa de reagentes, enquanto o LCT 2 testou a redução gradual da dose. Foi possível uma redução de 27,5% na dose de coletor mantendo a recuperação.

No LCT 3, verificou-se que o aumento da reciclagem do filtrado provavelmente conduziria a uma maior acumulação de reagentes, pelo que a redução da dose de reagentes foi efetuada mais cedo e de forma mais significativa, atingindo uma redução de 43% na dose de coletor durante as últimas 5 etapas. Os resultados do LCT 3 encontram-se detalhados na Figura 5.8 e na Figura 5.9.

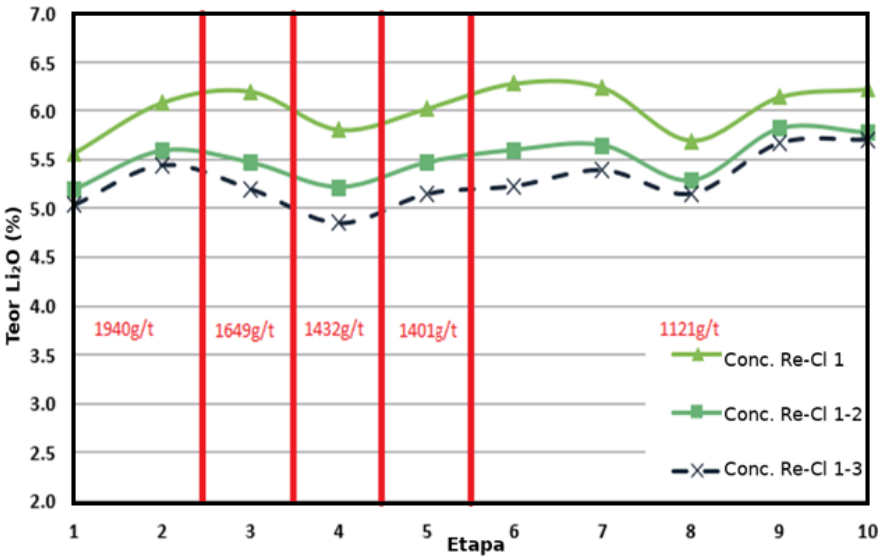


Figura 5.8 – Teor do concentrado no LCT 3.

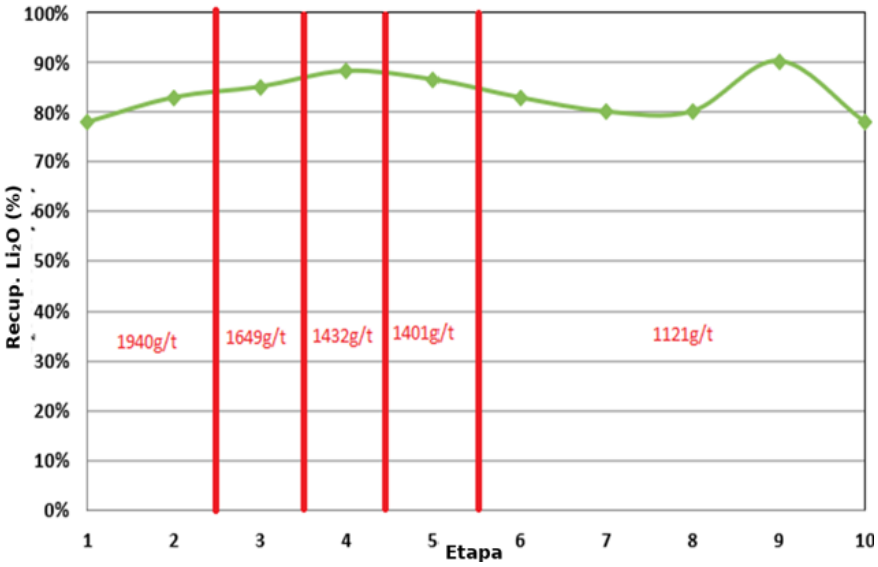


Figura 5.9 – Recuperação LCT3 ajustada para o concentrado SC5,5.

O desempenho global final deste compósito foi excelente, com recuperações globais à escala laboratorial entre 77,7% e 81,8% alcançadas nos três ensaios de ciclo fechado e no ensaio preliminar de flotação, conforme detalhado na Tabela 5.14 e na Figura 5.10.

Tabela 5.14 – Sumário Global dos Resultados.

Compósito	Recuperação no (DMS) (% Li_2O)	Recuperação na Deslamagem (% Li_2O)	Recuperação na Separação Magnética (% Li_2O)	Recuperação no Concentrado de Mica (% Li_2O)	Recuperação nos Rejeitados do Desbaste Li_2O)	Recuperação no Concentrado Final SC5,5 (% Li_2O)
Ensaio preliminar	2,5	2,1	2,0	11,0	1,1	81,4
LCT 1	2,5	2,1	2,0	10,7	1,3	81,5
LCT 2	2,6	2,2	2,1	8,6	2,8	81,8
LCT 3	2,5	2,1	2,0	13,6	2,1	77,7

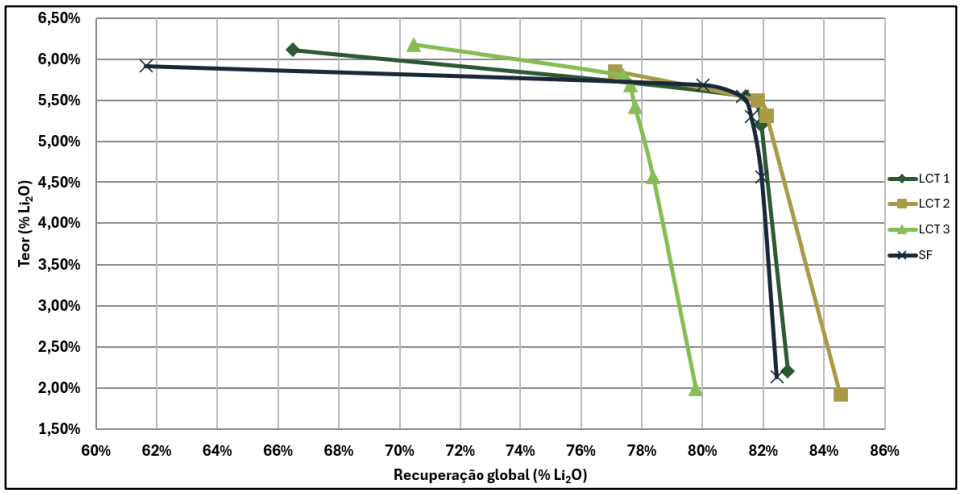


Figura 5.10 – LCT: Teor vs Recuperação.

5.1.5 CONCLUSÕES

Após a conclusão do programa de ciclo fechado, foi processada uma única amostra global de 500 kg para produzir 50 kg de concentrado para trabalhos de ensaio a jusante. Este programa teve como foco gerar a massa necessária de forma económica, mas proporcionou também a oportunidade de realizar alguns testes de escala, incluindo a utilização de um módulo DMS maior (ciclones de 250 mm) e equipamento de separação magnética. O programa conseguiu produzir com sucesso o concentrado desejado e identificou variabilidade na qualidade do reagente de mica e os efeitos do envelhecimento do material após longo tempo de armazenamento. A caracterização dos concentrados encontra-se no Anexo V.3.

5.2 PROCESSAMENTO MINERAL

5.2.1 LOCALIZAÇÃO DA PLANTA DE PROCESSAMENTO

A lavaria tem capacidade nominal de tratamento de 1,5 Mt/ano de minério seco. O ponto nominal de dimensionamento considera um teor de alimentação de 1,04% de Li_2O e aproximadamente 206 mil t/ano de concentrado SC5,5. O programa final do PDL totaliza 17,436 Mt de alimentação e 2,117 Mt de concentrado, com teor médio ponderado de 0,971% de Li_2O e recuperação global de 68,77%. A produção máxima por ano do plano é de 211,719 kt no Ano 7, de outubro de 2034 a setembro de 2035.

O processamento inicia-se no quarto trimestre de 2028, durante o comissionamento, e termina em setembro de 2043. O modelo financeiro adota janeiro de 2029 como início operacional. Os anos do plano decorrem de outubro a setembro, com Ano 1 entre outubro de 2028 e setembro de 2029. A capacidade nominal de 1,5 Mt/ano é atingida nos Anos 2 a 7. O quadro de produção anual apresenta o mesmo faseamento do Capítulo 4.

Tabela 5.15 – Programa anual de alimentação da lavaria e produtos.

Ano	Alimentação (kt)	Li_2O (%)	SC5,5 (kt)	Recuperação Li_2O (%)	Fina (kt)	Mica (kt)	Flotação (kt)	DMS (kt)	Para venda (kt)	Para TSF (kt)
-2	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	1 312,5	0,916	129,4	59,21	163,0	175,8	563,1	281,3	443,6	739,5
2	1 500,0	0,955	179,5	68,91	185,0	177,5	638,9	319,1	462,2	858,4
3	1 500,0	0,914	169,0	67,77	186,5	178,9	644,0	321,7	464,7	866,3
4	1 500,0	0,995	188,4	69,41	183,7	176,3	634,6	317,0	460,0	851,6
5	1 500,0	0,954	179,3	68,90	185,0	177,5	639,0	319,2	462,2	858,5
6	1 500,0	0,862	155,0	65,93	188,4	180,8	650,7	325,1	468,1	876,9
7	1 500,0	1,078	211,7	72,02	180,5	173,2	623,3	311,3	454,4	833,9
8	1 433,1	1,002	182,8	70,03	175,2	168,1	604,9	302,2	445,2	805,1
9	1 145,3	1,087	162,7	71,91	137,7	132,1	475,4	237,5	380,5	602,1
10	662,3	0,990	83,5	70,03	81,1	77,8	280,1	139,9	259,3	319,6
11	366,0	0,886	39,3	66,76	45,8	43,9	158,0	78,9	157,7	168,9
12	1 071,0	1,031	143,2	71,37	130,0	124,7	448,9	224,2	367,3	560,6
13	755,5	0,884	81,5	67,11	94,4	90,6	326,1	162,9	292,4	381,6
14	1 319,4	0,983	165,5	70,18	161,7	155,1	558,3	278,9	421,9	732,0
15	370,6	0,975	45,9	69,87	45,5	43,6	157,1	78,5	181,8	142,9
16	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Ano	Alimentação (kt)	Li_2O (%)	SC5,5 (kt)	Recuperação Li_2O (%)	Fina (kt)	Mica (kt)	Flotação (kt)	DMS (kt)	Para venda (kt)	Para TSF (kt)
18	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	–	0,0	–	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Massas em kt secas. Anos do plano de outubro a setembro; Ano 1: outubro de 2028 a setembro de 2029. «–» indica teor ou recuperação não aplicável por ausência de alimentação. Para venda: afetação no ano de geração, distinta das expedições comerciais.

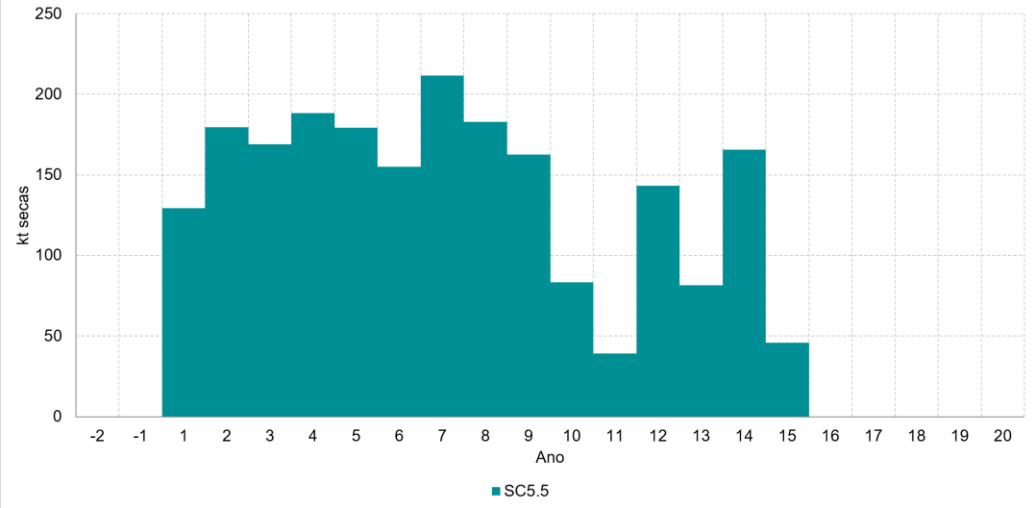


Figura 5.11 – Produção anual de concentrado SC5,5.

A Figura 5.12 e a Figura 5.13 apresentam a localização prevista para a planta de processamento mineral do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, bem como a sua configuração.

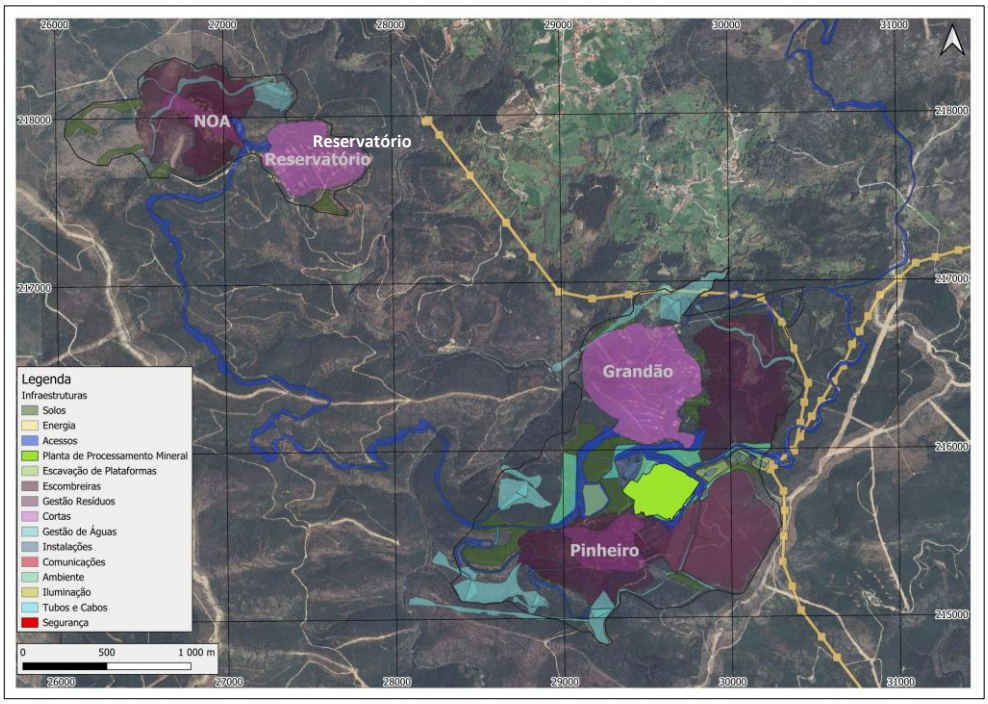


Figura 5.12 – Localização da Planta de Processamento Mineral.

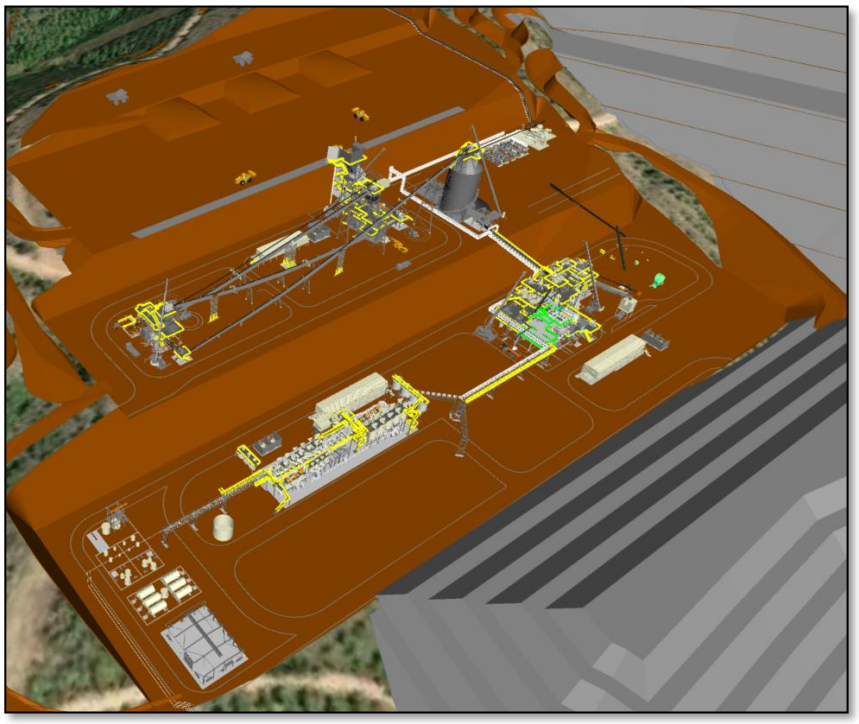


Figura 5.13 – Representação da Planta de Processamento Mineral - Modelo 3D.

5.2.2 CRITÉRIOS DE DESENHO

O sucesso operacional e económico de uma planta de processamento depende, em grande medida, da qualidade e rigor aplicados durante a fase de desenho. Os critérios de desenho da planta de processamento englobam um conjunto de princípios, normas e requisitos técnicos que orientam todas as decisões de engenharia, desde a conceção inicial até à implementação final. Estes critérios visam assegurar a eficiência, segurança, sustentabilidade e flexibilidade do sistema, garantindo que a planta seja capaz de atingir os parâmetros de produção desejados, respeitando os limites ambientais e operacionais estabelecidos.

Os principais critérios de dimensionamento da lavaria são apresentados na Tabela 5.16 e no documento B069-D02-06000-DC-0104_F – Process Design Criteria, incluído no Anexo V.1. Estes critérios caracterizam o ponto nominal de dimensionamento. As quantidades anuais seguem o programa final do Plano de Lavra.

Tabela 5.16 – Critérios nominais de dimensionamento da lavaria.

Critério	Unidade	Valor nominal	Fonte
Minério que alimenta a instalação (Pegmatito de Lítio)			
Capacidade de processamento (seco)	t/a	1 500 000	Savannah

Critério	Unidade	Valor nominal	Fonte
Teor de humidade	% w/w	3	Sedgman
Teor de Li_2O no minério	%	1,04	Savannah
Índice de trabalho de britagem	kWh/t	17,5	Amostra de Ensaio
Índice de trabalho de moagem (moínho de bolas)	kWh/t	14,8	Amostra de Ensaio
Índice de abrasão (método francês)	g	1 700	Amostra de Ensaio
Índice de abrasão (método Bond)	g	0,29	Amostra de Ensaio
Dimensão máxima da alimentação	mm	800 x 800 x 800	Savannah
Produto (Concentrado de Espodumena)			
Taxa de produção	t/a	206 000	Calculado
Teor de humidade do produto	% w/w	9	Amostra de Ensaio
Teor mínimo de Li_2O no concentrado	%	5,5	Savannah
Recuperação de Li_2O	%	72,7	Amostra de Ensaio
Frações além do concentrado			
Taxa de produção dos rejeitados da flotação	t/a	626 058	Calculado
Teor de humidade dos rejeitados da flotação	% w/w	12	Amostra de Ensaio
Taxa de produção dos flotados do DMS	t/a	312 731	Calculado
Teor de humidade dos flotados do DMS	% w/w	10	Amostra de Ensaio
Taxa de produção do concentrado de mica	t/a	173 935	Calculado
Teor de humidade do concentrado de mica	% w/w	20	Amostra de Ensaio
Taxa de produção dos rejeitados do processamento	t/a	181 281	Calculado
Teor de humidade dos rejeitados do processamento	% w/w	23,5	Amostra de Ensaio
Regime de operação da britagem			
Utilização	%	65	Sedgman
Horas de operação	h/a	5 694	Sedgman
Regime de operação do processamento húmido			
Utilização	%	85	Sedgman
Horas de operação	h/a	7 446	Sedgman
Moagem Primária e Pré-Concentração			
Abertura máxima da alimentação no DMS	mm	3,35	Amostra de Ensaio
Tamanho mínimo de partícula para o DMS	mm	0,6	Sedgman
Objetivo da densidade de corte alvo	t/m^3	2,65	Amostra de Ensaio
Preparação para Flotação			
Tamanho de Corte da Deslamagem	µm	20	Amostra de Ensaio
Granulometria Alvo da Alimentação à Flotação (P80)	µm	150	Amostra de Ensaio
Separação Magnética	-	Desbaste/Apu-ramento	Amostra de Ensaio
Flotação da Mica			

Critério	Unidade	Valor nominal	Fonte
Tempo de Residência no Condicionamento – Etapa 1	min	4	Amostra de Ensaio
Tempo de Residência no Condicionamento – Etapa 2	min	15	Amostra de Ensaio
Tempo de Residência do Desbaste da Mica	min	16	Amostra de Ensaio
Tempo de Residência da Relavagem da Mica	min	12	Amostra de Ensaio
Flotação da Espodumena			
Tempo de Residência no Condicionamento da Espodumena	min	26	Amostra de Ensaio
Tempo de Residência do Desbaste de Espodumena	min	20	Amostra de Ensaio
Tempo de Residência da Relavagem 1 de Espodumena	min	10	Amostra de Ensaio
Tempo de Residência da Relavagem 2 de Espodumena	min	10	Amostra de Ensaio

Os valores representam o ponto nominal de dimensionamento e não a produção de todos os anos. Os consumos de reagentes constam da Tabela 5.21. O critério nominal de consumo de bolas de moagem é de 1 541 t/ano, classificado como consumível.

Tabela 5.17 – Ponto nominal de dimensionamento e máximos anuais do programa de produção.

Corrente	Nominal (t/ano)	Máximo anual (t/ano)	Ano do plano	Máximo / nominal
SC5,5	206 000	211 719	7	102,8%
Fração fina	181 281	188 425	6	103,9%
Mica	173 935	180 790	6	103,9%
Flotação	626 058	650 731	6	103,9%
DMS	312 731	325 056	6	103,9%

Comparação de massas anuais. Os máximos por corrente não são simultâneos e não formam o balanço de um único ano.

5.2.3 PRESSUPOSTOS DO PROJETO

Para o desenvolvimento do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso foram considerados os seguintes pressupostos:

- A alimentação do silo ROM e o recarregamento de emergência do silo de minério fino utilizam uma pá carregadora frontal CAT 992 ou equivalente, conforme a configuração descrita no ponto 5.2.5.

- Assume-se que será mantida uma distância de 20 m a partir da borda da plataforma de britagem como zona de exclusão para qualquer fundação de betão, na ausência do relatório geotécnico.

- O tamanho máximo das partículas em 3 dimensões foi assumido como 800 mm x 800 mm x 800 mm, e a abertura estática da grelha foi dimensionada em conformidade.

- Após consulta a vários fornecedores de britagem a recomendação foi aumentar o tamanho máximo na fase 1 para 20 mm, de modo a facilitar a operação em dois estágios de britagem (é provável que um único britador cónico não funcione eficazmente para produzir um tamanho máximo de 14 mm).

- A configuração de referência do presente Plano de Lavra tem capacidade nominal de 1,5 Mt/ano. A reserva de espaço para expansão descrita nesta secção não constitui uma segunda fase de processamento calendarizada no programa de produção nem no caso económico do PDL.

5.2.4 Otimizações-chave no Projeto da Planta de Processamento Mineral

Com o objetivo de maximizar a eficiência operacional, reduzir custos e melhorar a sustentabilidade do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, foram integradas diversas otimizações no *design* da planta de processamento mineral. Estas melhorias refletem as melhores práticas da indústria e visam garantir um desempenho robusto e fiável ao longo do ciclo de vida do empreendimento. Abaixo são destacadas as principais otimizações consideradas no desenvolvimento do projeto.

5.2.4.1 Britagem Primária

Foi realizada uma revisão ao projeto do sistema de alimentação da planta. O principal objetivo foi reduzir a área ocupada pela estação de britagem primária para permitir a localização do silo de minério fino diretamente na plataforma de britagem. Esse objetivo foi alcançado ao alterar o alimentador de britagem primária, passando de um alimentador inclinado (Figura 5.14) para um alimentador horizontal (Figura 5.15) sob o silo ROM. Essa modificação permitiu reduzir o comprimento do alimentador de 12,5 m para 8,5 m, mantendo a capacidade útil do silo em cerca de 175 toneladas (tempo de residência de cerca de 40 minutos à taxa nominal de 264 t/h), sem aumentar a altura da estação de britagem primária.

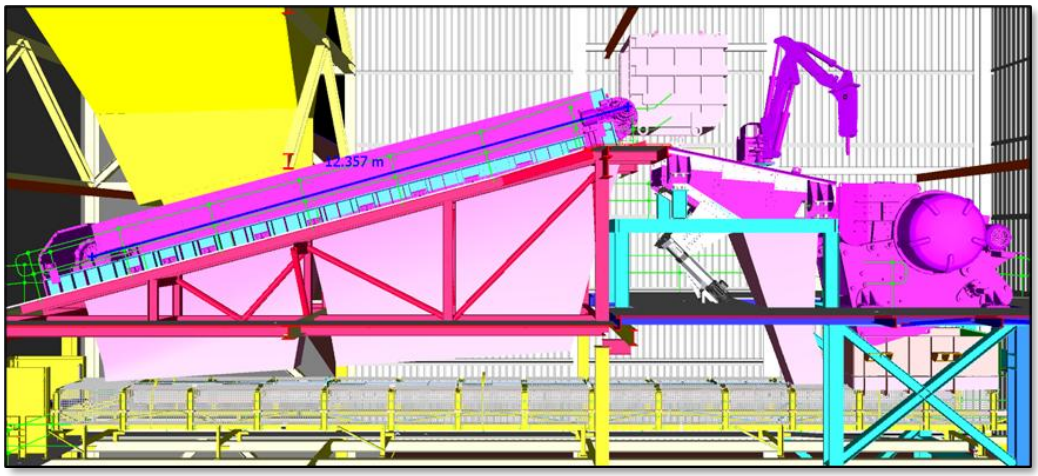


Figura 5.14 – Britagem primária: alimentador inclinado.

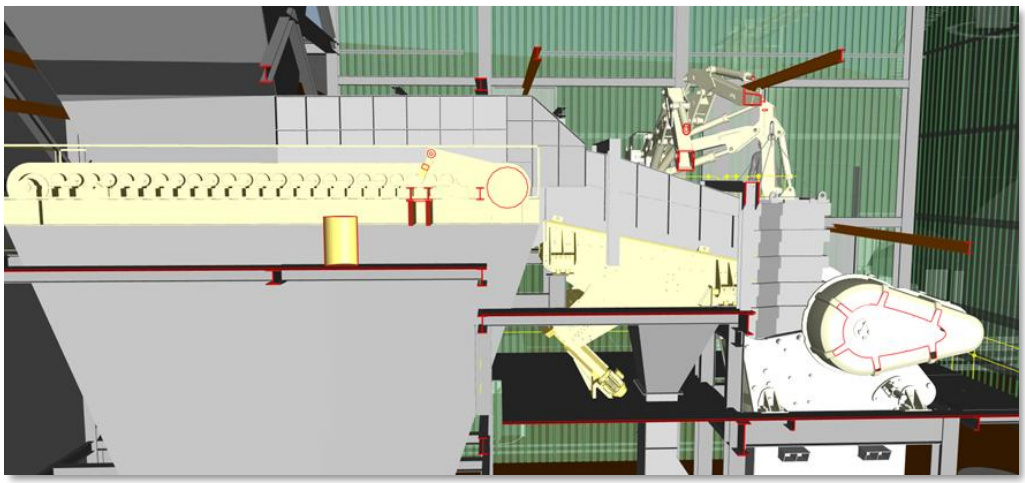


Figura 5.15 – Britagem primária: alimentador horizontal.

Foi considerada a utilização de um alimentador vibratório tipo *grizzly* em substituição ao alimentador e ao *grizzly* vibratório. No entanto, o alimentador vibratório tipo *grizzly* foi descartado pelas seguintes razões:

- Este tipo de alimentador é geralmente mais adequado para silos de alimentação (ROM) de menor capacidade, sendo insuficiente para o silo de 175 toneladas necessário para garantir o tempo de residência de cerca de 40 minutos à taxa nominal de 264 t/h.
- A recuperação do minério utilizando equipamento vibratório nas vazões requeridas seria pouco confiável e de controlo limitado devido às baixas velocidades operacionais necessárias. Isso aumentaria o risco de bloqueios e encravamento no britador de mandíbulas.

5.2.4.2 BRITAGEM SECUNDÁRIA / TERCIÁRIA

Foi realizada uma revisão de conceção do sistema de britagem secundária/terciária para garantir a acessibilidade aos principais equipamentos para manutenção. A estação de britagem secundária e terciária será equipada com um guincho elétrico dedicado e um monorail para cada britador, de forma a reduzir o tempo de manutenção e a necessidade de utilização de gruas móveis (Figura 5.16). Os tempos necessários para a manutenção dos britadores são ainda reduzidos devido ao rápido acesso proporcionado pela configuração do alimentador vibratório com plataforma dobrável.

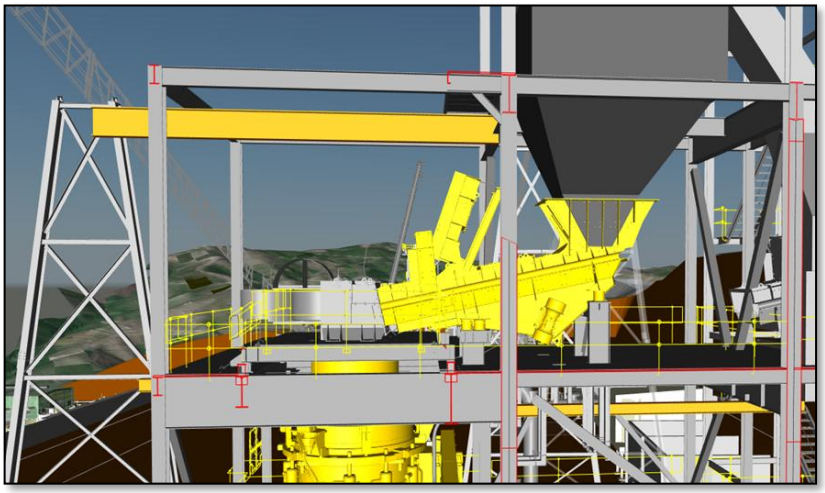


Figura 5.16 – Sistema de monorail para manutenção da britagem secundária.

5.2.4.3 SILO DE ARMAZENAMENTO DE MINÉRIO FINO

O silo de minério fino foi relocalizado para a área da britagem, de forma a permitir a instalação de um segundo silo de minério fino no âmbito de uma possível futura expansão de armazenamento.

Esta configuração permitirá o prolongamento da correia transportadora de alimentação do silo de minério fino, possibilitando o fornecimento ao segundo silo e a divisão do fluxo numa proporção de 0:100 ou 100:0, através da utilização de sistemas de calhas desviadoras.

A reserva de espaço permite acomodar uma eventual expansão futura do armazenamento e do processamento húmido. O programa de produção do presente Plano de Lavra considera a configuração de referência de 1,5 Mt/ano, sem uma segunda linha calendarizada.

5.2.4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ARRANJO GERAL DA INSTALAÇÃO

O local do projeto encontra-se implantado em terreno com declive acentuado, apresentando áreas planas limitadas. O arranjo geral do local é apresentado na Figura 5.17.

Na definição do *layout* e do modelo 3D foram consideradas as seguintes premissas:

- Redução da área ocupada através do aumento da altura dos edifícios;
- Garantia de espaço suficiente para operações de manutenção e acessibilidade de todos os equipamentos por grua móvel (fase 1);
- Minimização da complexidade operacional, maximizando a utilização de fluxos por gravidade;
- Dimensionamento da estrutura metálica (*platework*) para uma capacidade de projeto com acréscimo de 20% no caudal volumétrico.
- Garantia de acessos entre as diferentes áreas da central de processamento húmido.
- Modelação dos equipamentos mecânicos com base na lista de equipamentos mecânicos.
- Modelação da estrutura metálica com base em dimensionamentos preliminares.
- Inclusão do traçado das tubagens principais como referência, com diâmetros definidos a partir dos cálculos das bombas e das velocidades críticas das condutas em regime de gravidade.
- Previsão de espaço para uma possível expansão da central de processamento (fase 2).

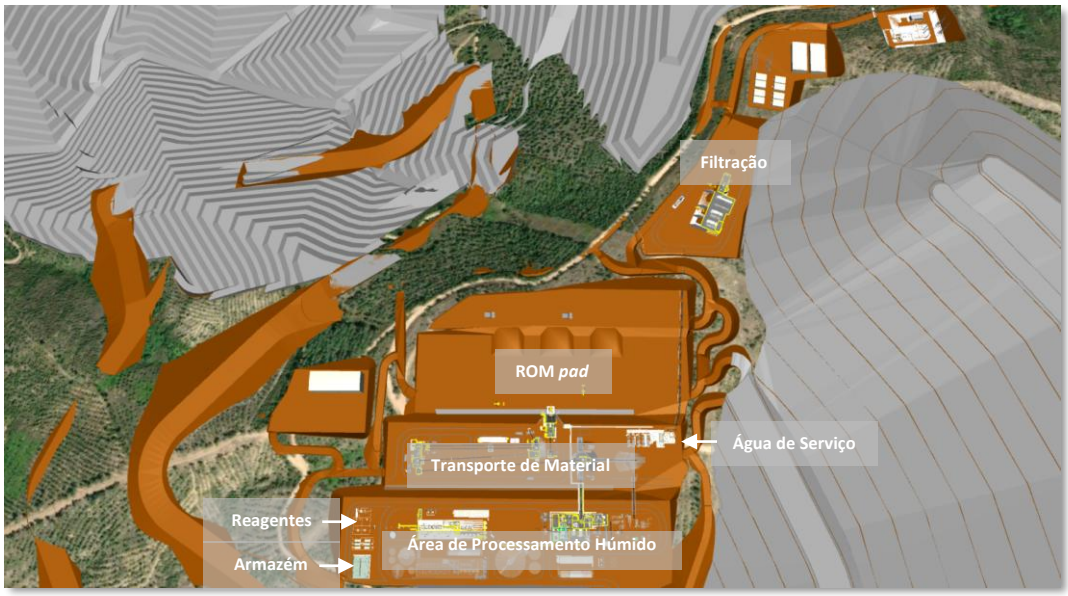


Figura 5.17 – Áreas do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso.

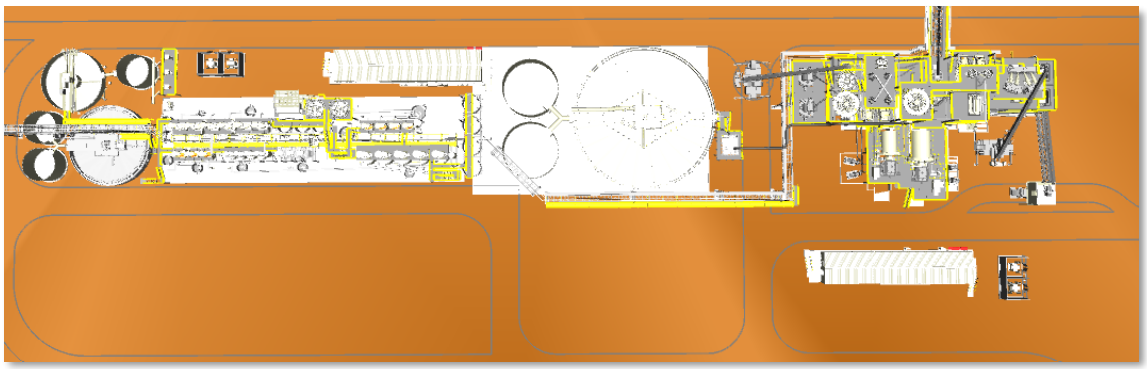


Figura 5.18 – Caminhos de acesso e áreas de circulação para pessoal operacional e de manutenção.

5.2.4.5 Moagem e Classificação

O moinho de bolas primário está posicionado quase perpendicularmente à correia transportadora de alimentação, otimizando a área ocupada. Uma plataforma adjacente aos moinhos foi prevista para garantir espaço suficiente para as atividades de troca do revestimento do moinho (*relining*).

O ciclone de moagem, os funis de carga das bolas e o amostrador metalúrgico encontram-se localizados acima do piso de manutenção do moinho.

As plataformas em redor dos moinhos dispõem de espaçamentos adequados entre os moinhos e na sua periferia para permitir atividades de relevo, tais como remoção e aperto de parafusos, além de inspeções gerais.

As fundações do edifício serão constituídas por sapatas corridas em betão, pilares e vigas de fundação. Os pavimentos de betão serão aplicados por toda a área do edifício, com contenções para controlo de derrames e espessuras adequadas ao tráfego de manutenção, sempre que necessário.

As salas de controlo e os escritórios integrados na estrutura terão climatização (ar condicionado e aquecimento), sendo a iluminação geral do edifício assegurada por luminárias de teto alto (*high-bay*).

Estão disponíveis três frentes para manutenção (este, norte e oeste) com equipamento móvel, conforme ilustrado na Figura 5.19. Todas as bombas (exceto a bomba de fundo, *sump pump*), os equipamentos elétricos e a subestação encontram-se na periferia da plataforma de betão. A bomba de fundo mantém-se dentro do alcance da grua móvel pelo lado oeste.

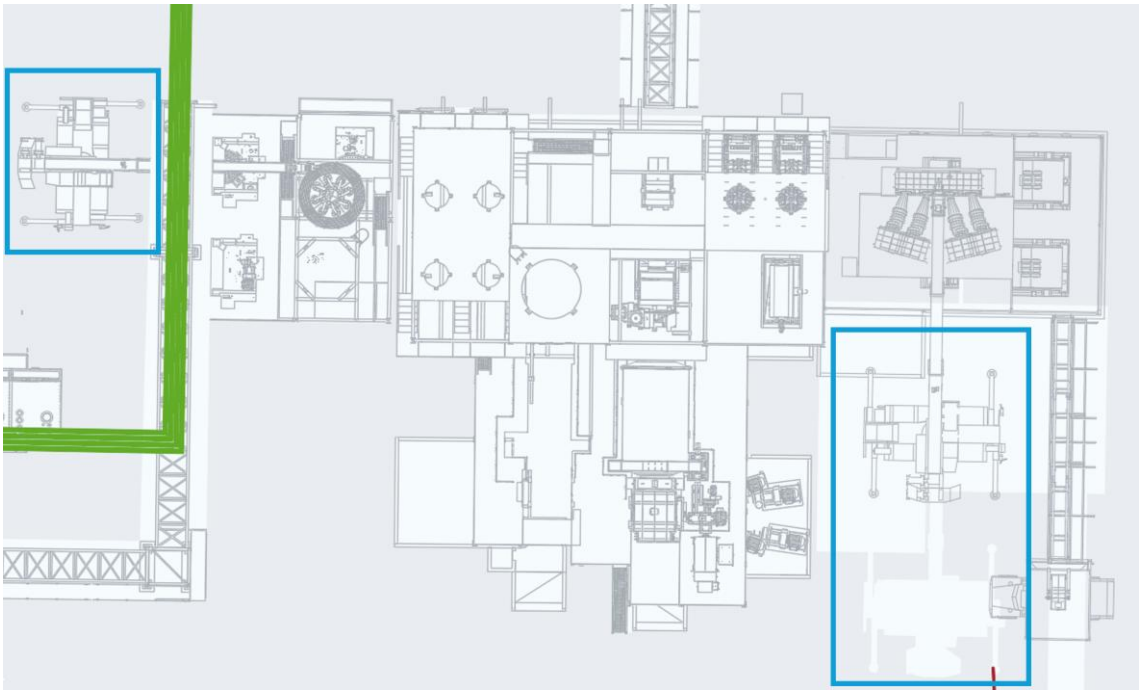


Figura 5.19 – Acesso para grua móvel.

O motor do moinho representa a maior carga de manutenção para elevação. A configuração foi otimizada para moinhos do fabricante Metso. As bombas descarregam na parte superior, com percurso no piso inferior para permitir a limpeza da área de moagem com uma mini pá-carregador (*bobcat*). A tubagem segue depois para dentro de uma "câmara" (*vault*) e sobe verticalmente até aos ciclones.

A secção longa e reta foi concebida para minimizar a segregação, que poderia causar problemas devido à distribuição desigual da alimentação entre os ciclones.

Deverá ser reconsiderado o encaminhamento conceptual das linhas de alimentação dos ciclones, de modo a reduzir a sua complexidade.

O manuseamento das bolas está organizado como um sistema de cesto (*kibble*), com o carregador a carregar as bolas fora do edifício, que são depositadas nos cestos e depois elevadas com um guincho para transferência para a calha de alimentação. Está prevista a utilização de bolas de duas dimensões. O descarregamento das bolas do camião está atualmente previsto na frente do edifício.

Está previsto apenas um equipamento de troca de revestimento (*reline machine*), dimensionado para realizar a troca nos dois moinhos de bolas.

5.2.4.6 FLOTAÇÃO

A área de flotação está situada a oeste, adjacente à área de moagem. As células encontram-se organizadas em arranjo cascata, correspondendo cada célula a uma etapa do processamento.

As células de flotação de desbaste estão localizadas na zona sul da instalação, enquanto as células de flotação de relavagem se situam no lado norte. Estas estão montadas em estruturas metálicas e a manutenção do circuito será realizada por equipamento móvel.

5.2.4.7 ESPESSAMENTO

Os espessadores de rejeitados são alimentados por gravidade a partir da área de moagem e classificação. Foram previstas valas em forma de "*keyhole*" em vez de valas completas na área do plano, com o objetivo de minimizar o CAPEX. Está previsto o uso de bombas de fundo simples (*single underflow pumps*).

Os espessadores são do tipo de alta taxa, montados em estrutura metálica ao nível do solo, com base em laje de betão e paredes em aço. Os braços raspadores são acionados por um mecanismo de coluna central, acessível por uma ponte desde a borda dos tanques ou pela escada da coluna central. O mecanismo do espessador é composto por engrenagens planetárias acionadas por pinhões individuais.

5.2.5 DESCRIÇÃO DO PROCESSAMENTO

Esta secção descreve o processamento do minério, desde a receção na plataforma ROM até à obtenção do concentrado de espodumena e ao encaminhamento das restantes correntes. São identificadas as principais operações unitárias, os equipamentos e as entradas e saídas de sólidos, água, reagentes e outros consumíveis. A exploração mineira é descrita no Capítulo 4. Os desenhos de estruturas (civil, metálica, piping, etc.) encontram-se no Anexo V.4.

A planta de processamento mineral foi projetada para processar 1,5 milhões de toneladas por ano de pegmatito com espodumena e compreende diversas etapas, tal como é possível verificar na Figura 5.20.

A Figura 5.20 apresenta o fluxograma geral da lavaria, como representação do ponto nominal de 1,5 Mt/ano. As Figura 5.21 e Figura 5.22 identificam as entradas, consumos e saídas das principais etapas. Os caudais de processo correspondem ao ponto nominal do balanço de massas Sedgman, revisão F. As repartições entre comercialização como MPS e TSF são médias da vida do projeto calculadas a partir do Schedule final, aplicadas aos caudais nominais apenas para representação dos destinos. As quantidades anuais de produção e afetação seguem os quadros do programa, comuns aos Capítulos 4 e 5; as expedições seguem o modelo financeiro. Os diagramas de processo (PFD) encontram-se no Anexo V.5, o balanço de água e de massa no Anexo V.6 e a lista de equipamentos no Anexo V.7. Os pressupostos comerciais da secção 2.03 dos critérios de projeto Sedgman pertencem à base de dimensionamento de origem. A afetação atual das frações à comercialização e à TSF é a apresentada na Tabela 5.18 e Tabela 5.19, obtida do programa de exploração, mantendo-se distinta dos caudais nominais utilizados no dimensionamento da lavaria.

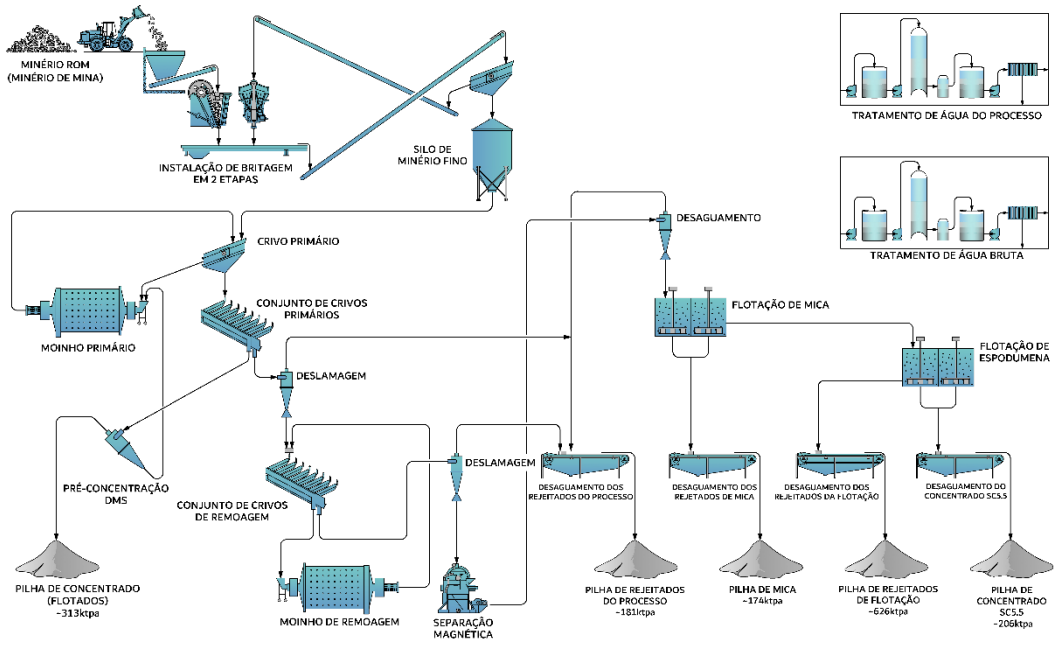


Figura 5.20 – Fluxograma da Planta de Processamento Mineral.

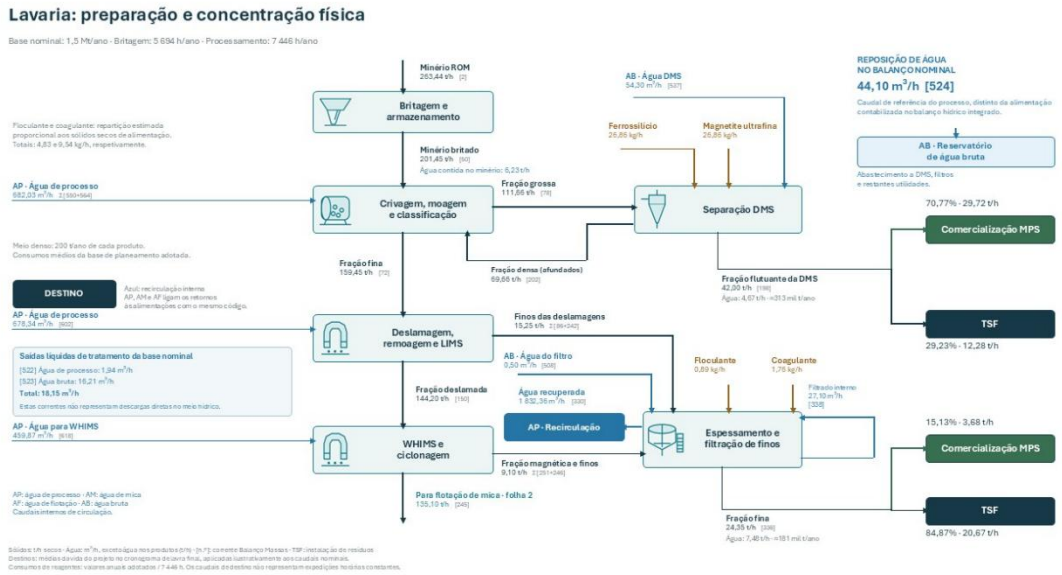


Figura 5.21 – Fluxograma simplificado da lavaria (parte 1): entradas, consumos e saídas.

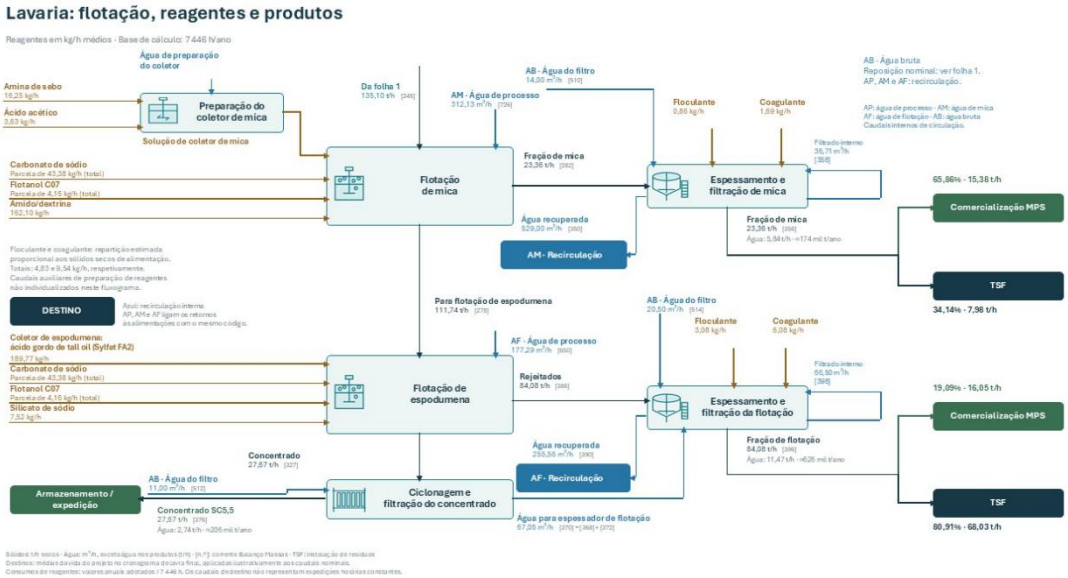


Figura 5.22 – Fluxograma simplificado da lavaria (parte 2): entradas, consumos e saídas.

5.2.5.1 BRITAGEM

O minério em bruto (ROM) será transportado até à plataforma ROM, onde será carregado para o silo ROM (4110-BN-001) através de uma pá carregadora frontal CAT

992 (FEL) ou equivalente, operando em regime contínuo de 24 horas por dia. O silo ROM terá uma capacidade útil de 175 t (tempo de residência de cerca de 40 minutos à taxa nominal de 264 t/h). Será equipado com uma grelha estática (abertura de 800 mm x 800 mm) para impedir a passagem de material que possa bloquear a saída do silo ou o britador primário. Um fragmentador de rochas (4120-RK-001), localizado no britador primário, auxiliará na fragmentação do material de dimensão excessiva retido na câmara de britagem ou calha de alimentação. O silo ROM (4110-BN-001) será equipado com um sistema de supressão de poeiras por nebulização para minimizar a dispersão de partículas durante o depósito e manuseamento.

A britagem considera um caudal nominal de aproximadamente 263,44 t/h e 5 694 h/ano de operação, correspondentes a 65% de utilização global, para tratar 1,5 Mt/ano de minério seco. O minério será retirado do silo ROM através de um alimentador de correia variável (4120-FE-001), que descarregará para uma grelha vibratória com abertura de 90 mm (4120-GR-002), onde o material de dimensão superior alimentará um britador de mandíbulas C130 (1 300 mm x 1 000 mm ou equivalente) (4120-CR-001). Este britador funcionará com uma abertura lateral fechada (CSS) de 100 mm. O produto do britador primário será transportado para um alimentador de crivagem dupla em formato “banana” (4140-SC-003), com dimensões de 3,6 m x 7,3 m, apresentando uma abertura na grelha superior de 42 mm e na inferior de 20 mm. O material excedente das grelhas superior e inferior será encaminhado para o britador secundário cónico (4130-CR-002).

O britador secundário cónico (4130-CR-002) será um modelo HP800e (ou equivalente). Este britador será precedido por um silo de armazenamento intermédio para absorver picos de alimentação e manter a alimentação contínua (*choke feed*). O silo de armazenamento (4130-BN-005) alimentará o britador através de um alimentador vibratório em prato (4130-FE-003), que regulará a taxa de alimentação. O silo (4130-BN-005) estará ainda equipado com um sistema de transbordo, que descarregará para um depósito ao nível do solo.

O produto secundário será transportado de volta para a crivagem dupla (4140-SC-003) para nova classificação. O material que passar pela crivagem dupla (4140-SC-003) terá um tamanho nominal (P80) de 14 mm e será encaminhado para um silo de minério fino com capacidade útil de 3 600 t (18 horas) (4201-BN-006).

O minério fino será extraído do silo (4201-BN-006) por meio de um alimentador de correia variável (4201-FE-010), que inclui um silo de recarga de emergência (4201-BN-007) localizado na extremidade final do alimentador (4201-FE-010). O alimentador descarregará para o transportador de alimentação da crivagem primária (4201-CV-006), equipado com um amostrador de correia transversal (4201-SA-001), que alimentará o circuito de moagem. Para evitar danos nos equipamentos a jusante, será instalado um íman (4201-MG-003) montado na polia motriz do transportador de alimentação da crivagem primária (4201-CV-006).

O edifício da britagem primária será totalmente encerrado (revestido) para controlo da geração de poeiras. Será instalado um sistema de extração de poeiras nos pontos de transferência da crivagem e da britagem. O silo de minério fino (4201-BN-006) será totalmente fechado para alojar o stock de minério britado. Para prevenir danos no

britador cónico secundário, será instalado um íman montado na polia motriz do transportador de descarga do britador primário (4120-MG-001), com proteção adicional na alimentação do britador cónico através da instalação de um íman sobre a correia (4130-MG-002).

A Figura 5.23 apresenta a disposição do sistema de britagem.

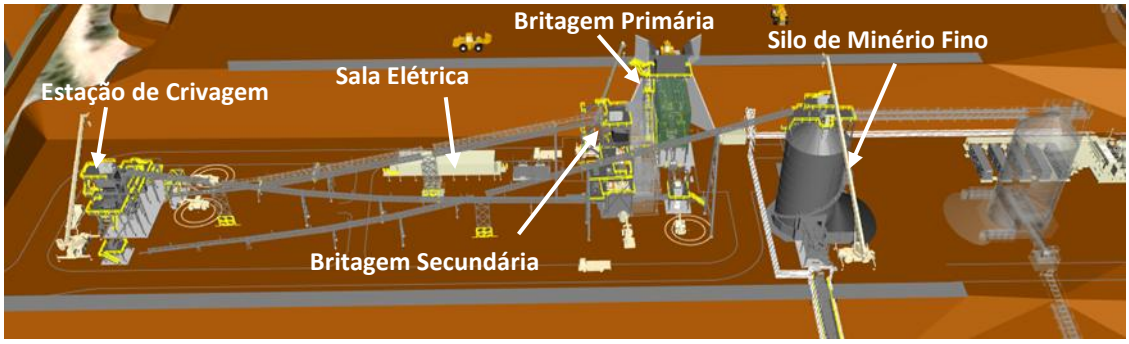


Figura 5.23 – Sistema de Britagem.

A descrição detalhada do processo de britagem pode ser consultada em conjunto com os seguintes diagramas de fluxo de processamento no Anexo V.5, documentos: B069-D2-02-4100_01 e B069-D2-02-4200_01.

5.2.5.2 Redução Granulométrica e Classificação

A correia transportadora de alimentação do sistema de crivagem primária descarrega o minério numa calha de mistura, onde este é combinado com a descarga do moinho primário antes de ser encaminhado para a crivagem primária. Este crivo operará com aberturas nominais entre 2,8 mm e 3,35 mm. O material de granulometria superior será encaminhado por gravidade para o moinho de bolas primário, que funcionará em circuito fechado com a crivagem primária.

O material passante da crivagem primária será bombeado para os crivos *SuperStack* primários, com aberturas entre 0,6 mm e 0,85 mm. O material retido nestes crivos será encaminhado para a crivagem de preparação da alimentação da unidade DMS, com o objetivo de remover partículas finas indevidamente classificadas e o excesso de água, antes da entrada na planta de separação por meio denso (DMS).

Os passantes dos crivos *SuperStack* e da crivagem de preparação da alimentação DMS serão combinados e bombeados para o conjunto de ciclones de deslamagem primários, cuja função é remover as partículas ultrafinas (-20 µm).

A reposição de bolas no moinho primário será efetuada através de um sistema partilhado de alimentação (*kibble*) e guincho com o moinho secundário, garantindo a reposição contínua das bolas consumidas durante a operação.

5.2.5.3 *Dense Media Separation* (DMS) - Separação por Meio Denso

A planta DMS terá uma configuração *duty/standby* para as bombas de alimentação dos ciclones DMS e para os ciclones DMS, de forma a melhorar a utilização da planta devido ao potencial aumento do desgaste dos equipamentos provocado pelo manuseamento de partículas mais grosseiras.

O excesso da crivagem de preparação da alimentação do DMS será encaminhado para a caixa de mistura, onde o minério de alimentação será misturado com o meio (FeSi e água) com a densidade adequada (meio-denso). O minério misturado com o meio-densoserá posteriormente bombeado para o ciclone DMS, de modo a produzir um produto mais pesado (*sinks*) e um produto mais leve de ganga (*floats*). A espodumena tem uma densidade relativa (SG) superior à do material de ganga, pelo que será concentrado no produto *sinks*. As fracções *sinks* e *floats* serão encaminhadas para crivos estáticos e vibratórios separados, onde o meio será drenado e lavado dos produtos através de barras de lavagem, promovendo a recuperação do meio para reutilização na planta DMS. A fracção *sinks* lavada será então bombeada de volta para o alimentador do moinho de bolas primário, onde será combinada com o excesso da crivagem primária. A fração flotante lavada é transportada para a pilha de DMS e repartida entre comercialização como matéria-prima secundária e deposição na TSF, de acordo com o balanço final. A correia transportadora estará equipada com uma balança e um amostrador de correia transversal.

O meio recuperado dos dois crivos estáticos e da primeira metade dos crivos vibratórios (antes das barras de lavagem) será encaminhado diretamente para o tanque do meio-denso, enquanto o meio recuperado pela lavagem das barras de spray será direcionado para o tanque de meio diluído. O meio-denso será bombeado para a caixa de mistura a um caudal controlado. A densidade do meio-denso será mantida pelo densificador tubular, que produzirá um efluente sobre-denso a retornar ao tanque do meio-denso e removerá areia/contaminantes no efluente a reportar para o tanque de meio diluído. O meio diluído recolhido será bombeado para o sistema DMS LIMS para recuperação do FeSi (magnético), e o FeSi recuperado escoará por gravidade para o tanque do meio-desno, enquanto o fluxo não magnético gravitará para o tanque de efluentes. Os efluentes serão bombeados para um ciclone onde os contaminantes e a areia serão removidos, e a água será recuperada. A água recuperada será reutilizada na água de lavagem dos crivos da planta DMS e na reposição dos tanques.

5.2.5.4 Preparação do Circuito de Flotação

O produto do circuito do moinho primário deslamado escoará por gravidade para a torva de descarga do moinho secundário, onde será bombeado juntamente com a descarga do moinho secundário para os *Superstacks* secundários, permitindo a classificação de qualquer material com tamanho adequado antes de se proceder à moagem excessiva e à geração excessiva de finos. Os *Superstacks* secundários operarão com uma abertura de 0,212 mm, visando um produto P80 de 0,15 mm. O material acima do tamanho de corte escoará por gravidade para o moinho secundário para moagem adicional, enquanto o material abaixo do tamanho de corte escoará por gravidade para os separadores magnéticos de baixa intensidade secundários (LIMS), para remoção de

qualquer meio moedor ou minerais ferromagnéticos presentes na alimentação, protegendo os separadores magnéticos húmidos de alta intensidade (WHIMS) a jusante. A fração magnética (*mags*) escoará por gravidade para a torva de descarga final de magnéticos, de onde será bombeada para o espessador de processamento.

O material não magnético será bombeado para o agrupamento de ciclones de deslamagem para remover finos ultrafinos adicionais gerados no moinho secundário, assim como para permitir controlo da densidade da alimentação para as unidades WHIMS primárias. O efluente dos ciclones escoará por gravidade para o espessador de processamento, enquanto o fluxo inferior dos ciclones será repulpado para uma densidade operacional desejada e distribuído para as unidades WHIMS em paralelo.

Os magnéticos serão combinados numa única corrente e bombeados para o ciclone de desaguamento do WHIMS de recuperação (*scavenger*) para aumentar a densidade da alimentação desse equipamento. O WHIMS de recuperação recuperará qualquer material não magnético incorretamente classificado proveniente dos magnéticos primários e produzirá uma corrente de rejeitados magnéticos (*mags tails*). Os magnéticos serão encaminhados para a torva final de descarga de magnéticos, passando por um amostrador, onde se combinarão com os magnéticos do LIMS e serão bombeados para o espessador de processamento.

O material não magnético escoará por gravidade para a torva de não magnéticos, onde será combinado com o produto não magnético do WHIMS primário e bombeado para o ciclone de desaguamento da alimentação de flotação de mica. A torva de não magnéticos estará também equipada com uma bomba de amostragem para permitir a análise em linha da alimentação à flotação de mica. Esta análise é crítica para o controlo das doses de reagentes com base na concentração de mica prevista na alimentação.

5.2.5.5 Circuito de Flotação da Mica

O efluente do ciclone de desaguamento da alimentação à flotação da mica escoará por gravidade para o espessador de processamento, enquanto o fluxo inferior do ciclone será encaminhado para os tanques de condicionamento da flotação da mica. A etapa de condicionamento da flotação da mica será dividida em 4 tanques, cada um equipado com agitador. O tanque 1 será utilizado para controlar o pH até ao valor 8, através da adição de carbonato de sódio e para dosar dextrina, que atua como depressor para minimizar as perdas de espodumena. Os tanques 2, 3 e 4 serão usados para o condicionamento do coletor de mica. Cada tanque terá agitação suficiente para garantir uma potência específica superior a 1,0 kW/m³.

O material condicionado escoará por gravidade para a etapa de flotação de desbaste da mica, com adição de água de mica conforme necessário para atingir a densidade operacional estipulada. O concentrado da flotação de desbaste da mica será recolhido numa única torva e bombeado para as células de flotação de relavagem da mica, onde se recuperará espodumena incorretamente reportada. O concentrado da flotação de relavagem da mica será recolhido numa única calha para permitir a tomada de uma amostra combinada antes do bombeamento para o espessador de mica.

Os rejeitados da flotação de desbaste e de relavagem da mica serão combinados e bombeados para os ciclones de desaguamento dos rejeitados de mica, num sistema de duas etapas, que substituirá a água de mica e o coletor residual de mica por água de processamento antes do circuito de flotação da espodumena. O efluente de cada estágio do ciclone será combinado com o concentrado de mica para ser bombeado para o espessador de mica.

O concentrado de desbaste, o concentrado de relavagem e os rejeitados combinados da mica serão todos analisados através do analisador em linha, para fornecer informações sobre o desempenho do circuito e assegurar o controlo das perdas de lítio.

5.2.5.6 Circuito de Flotação de Espodumena

Após a remoção do coletor residual de mica e o desaguamento, o *underflow* do ciclone será direcionado para um amostrador e, posteriormente, para os tanques de condicionamento da flotação de espodumena. O condicionamento será realizado em três tanques, configurados de forma a permitir que qualquer um deles possa ser temporariamente desativado para operações de limpeza ou manutenção, sem interrupção do processo.

Os reagentes utilizados – silicato de sódio, carbonato de sódio e um coletor à base de ácido oleico – serão previamente misturados numa cuba, promovendo uma reação eficaz entre o carbonato de sódio e o ácido oleico antes de entrarem em contacto com a polpa. Cada tanque de condicionamento será equipado com um sistema de agitação com potência superior a 2,0 kW/m³, garantindo uma mistura homogénea e eficiente.

A polpa condicionada seguirá por gravidade até às seis células de flotação de desbaste, que permitem também algum grau de condicionamento adicional.

- O concentrado das células 1 a 3 será recolhido na tremonha de concentrado de desbaste 1 e bombeado para as células de relavagem 1.
    - Durante a operação, espera-se que este concentrado apresente frequentemente um teor elevado, o que permitirá o seu desvio direto para as células de relavagem 2. Para isso, será incluída uma linha de *bypass*.
- O concentrado das células 4 a 6 será recolhido na tremonha de concentrado de desbaste 2 e também bombeado para as células de relavagem 1.

O concentrado resultante da relavagem 1 será enviado para a relavagem 2, onde será obtido o concentrado final de espodumena. Este será então bombeado para o ciclone de desaguamento do concentrado, antes de seguir para a etapa de filtração.

Está prevista a possibilidade de adicionar, no futuro, uma etapa adicional de limpeza (relavagem 3), caso seja necessário melhorar a recuperação em situações de teor de alimentação mais baixo. No entanto, esta etapa não será incluída no cenário base.

O circuito de flotação será concebido para permitir o escoamento por gravidade entre as várias células, sempre que possível, incluindo o retorno dos rejeitados da relavagem 2 à alimentação da relavagem 1, para reprocessamento.

- Os rejeitados da relavagem 1 serão bombeados para o ciclone de desaguamento de rejeitados, sendo depois reincorporados na alimentação do circuito.
- Já os rejeitados do desbaste seguirão por gravidade para a tremonha de rejeitados finais da espodumena, passando antes por um amostrador, e serão posteriormente bombeados para o espessador de rejeitados da flotação.

Para otimização em tempo real, será utilizado um analisador em linha, que monitorizará continuamente os seguintes fluxos:

- Rejeitados finais da flotação
- Concentrado de desbaste 1
- Concentrado desbaste 2
- Concentrado de relavagem 1
- Rejeitados de relavagem1
- Concentrado de relavagem 2

5.2.5.7 Desaguamento do Concentrado e Armazenamento

O concentrado de espodumena desaguado, proveniente do *underflow* do ciclone de concentrado da flotação, escoará por gravidade através de um amostrador até ao filtro de concentrado de espodumena.

O *overflow* do ciclone será encaminhado para a tremonha de apuramento do concentrado, onde será combinado com o filtrado recuperado e eventuais derrames recolhidos na área. Esta mistura será bombeada para um *ciclone de apuramento, com* o objetivo de recuperar partículas sólidas que possam ter escapado nas fases anteriores.

- O *underflow* do ciclone de apuramento será dirigido para a alimentação do filtro, juntamente com o concentrado fresco.
- O *overflow* do ciclone de apuramento será enviado para o espessador de rejeitados da flotação, integrando-se no circuito de rejeitados finais.

O filtro de concentrado de espodumena descarregará diretamente para a pilha de armazenamento de concentrado, onde o material será manuseado através de uma pá carregadora frontal (FEL – *Front End Loader*) para posterior expedição ou transferência.

5.2.5.8 DESAGUAMENTO DE MATÉRIAS-PRIMAS SECUNDÁRIAS E REJEITADOS E ARMAZENAMENTO

Os rejeitados da flotação de desbaste serão bombeados diretamente para a caixa de alimentação do espessador de rejeitados da flotação. Esta caixa será projetada para remover o ar arrastado na corrente de alimentação – condição que compromete a eficiência da sedimentação – e permitirá também a dosagem de solução diluída de floculante, promovendo a floculação das partículas finas e a sua posterior deposição.

A partir da caixa de alimentação, o fluxo seguirá por gravidade para o poço central (*feed well*) do espessador, onde poderá ser adicionado floculante adicional, conforme necessário. Estão também previstas admissões de água de lavagem por aspersão, com o objetivo de minimizar a formação de espuma ou bolhas ("*froth*"), que pode arrastar partículas sólidas para o *overflow* do espessador, reduzindo a eficiência do processo.

Este mesmo procedimento será aplicado ao:

- Espessador de rejeitados de mica,
- Espessador de rejeitados do processo (ex: rejeitados ultrafinos, *slimes*).

Contudo, os *underflows* (lodos espessados) destes espessadores serão geridos de forma distinta:

- Fração fina: o underflow do espessador é bombeado para um tanque agitado de alimentação do filtro prensa, que assegura armazenamento entre ciclos. O filtrado é recirculado para o espessador de origem. Os sólidos filtrados são armazenados temporariamente; o balanço final destina 0,324 Mt à comercialização como matérias-primas secundárias e 1,819 Mt à TSF, num total de 2,143 Mt ao longo da vida do projeto.
- Frações de mica e de flotação: os underflows são encaminhados para filtros de vácuo de banda distintos e os sólidos desaguados são armazenados em pilhas específicas. A fração de mica totaliza 2,076 Mt, das quais 1,367 Mt para comercialização e 0,709 Mt para a TSF. A fração de flotação totaliza 7,402 Mt, das quais 1,413 Mt para comercialização e 5,989 Mt para a TSF.

A fração DMS totaliza 3,698 Mt, repartidas entre 2,617 Mt para comercialização e 1,081 Mt para a TSF. No conjunto das quatro frações, são geradas 15,319 Mt, das quais 5,721 Mt destinadas à comercialização como matérias-primas secundárias e 9,598 Mt à TSF. O plano mineiro regista a afetação no período de geração; o modelo financeiro representa as vendas efetivas com o desfasamento trimestral adotado e os respetivos stocks. Os quadros anuais distinguem estas duas bases.

Tabela 5.18 – Balanço acumulado das frações de processamento por destino.

Fração	Gerado (kt secas)	Para venda (kt secas)	Para TSF (kt secas)	Venda / gerado	TSF / gerado
Fração fina	2 143,4	324,3	1 819,1	15,13%	84,87%

Fração	Gerado (kt secas)	Para venda (kt secas)	Para TSF (kt secas)	Venda / gerado	TSF / gerado
Fração de mica	2 075,9	1 367,1	708,8	65,86%	34,14%
Fração de flotação	7 402,2	1 413,1	5 989,1	19,09%	80,91%
Fração DMS	3 697,6	2 616,7	1 080,8	70,77%	29,23%
Total	15 319,0	5 721,2	9 597,8	37,35%	62,65%

A afetação à venda corresponde às matérias-primas secundárias destinadas à comercialização. As percentagens representam a parcela de cada fração gerada e não a composição do conjunto vendido. Diferenças residuais decorrem do arredondamento.

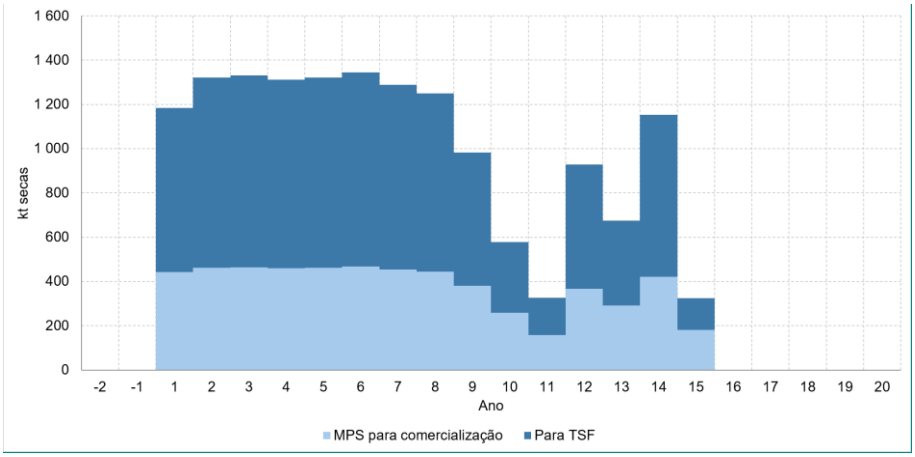


Figura 5.24 – Destinos das frações de processamento – matérias-primas secundárias destinadas à comercialização e materiais encaminhados para a TSF.

Tabela 5.19 – Balanço anual das matérias-primas secundárias por fração e destino.

Ano	Fina Gerado	Fina Venda	Fina TSF	Mica Gerado	Mica Venda	Mica TSF	Flotação Gerado	Flotação Venda	Flotação TSF	DMS Gerado	DMS Venda	DMS TSF
-2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	163,0	24,8	138,2	175,8	106,5	69,3	563,1	108,2	454,8	281,3	204,1	77,2
2	185,0	25,9	159,1	177,5	110,9	66,6	638,9	112,8	526,1	319,1	212,6	106,5
3	186,5	26,0	160,4	178,9	111,5	67,4	644,0	113,4	530,6	321,7	213,8	107,9
4	183,7	25,8	158,0	176,3	110,4	65,9	634,6	112,2	522,3	317,0	211,6	105,4
5	185,0	25,9	159,1	177,5	110,9	66,6	639,0	112,8	526,2	319,2	212,6	106,6
6	188,4	26,2	162,2	180,8	112,3	68,5	650,7	114,2	536,5	325,1	215,3	109,7
7	180,5	25,4	155,0	173,2	109,0	64,1	623,3	110,9	512,4	311,3	209,0	102,3
8	175,2	24,9	150,2	168,1	106,8	61,2	604,9	108,6	496,3	302,2	204,8	97,4
9	137,7	21,3	116,3	132,1	91,3	40,8	475,4	92,8	382,5	237,5	175,0	62,4
10	81,1	15,6	65,5	77,8	61,0	16,8	280,1	68,0	212,1	139,9	114,7	25,2
11	45,8	9,3	36,4	43,9	37,0	6,9	158,0	40,7	117,4	78,9	70,7	8,2
12	130,0	20,6	109,4	124,7	88,1	36,6	448,9	89,6	359,3	224,2	168,9	55,3
13	94,4	16,4	78,0	90,6	70,2	20,4	326,1	71,4	254,7	162,9	134,5	28,4
14	161,7	23,6	138,0	155,1	101,3	53,8	558,3	102,9	455,3	278,9	194,1	84,8
15	45,5	12,5	32,9	43,6	39,7	3,9	157,1	54,6	102,5	78,5	74,9	3,5
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Ano	Fina Gerado	Fina Venda	Fina TSF	Mica Gerado	Mica Venda	Mica TSF	Flotação Gerado	Flotação Venda	Flotação TSF	DMS Gerado	DMS Venda	DMS TSF
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Valores em kt secas. Anos do plano de outubro a setembro. Venda: afetação no período de geração; a expedição segue o calendário do modelo financeiro.

Tabela 5.20 – Vendas efetivas de matérias-primas secundárias por ano civil.

Ano civil	Fina (kt)	Mica (kt)	Flotação (kt)	DMS (kt)	Total (kt)
2028	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2029	24,8	106,5	108,2	204,1	443,6
2030	25,9	110,9	112,8	212,6	462,2
2031	26,0	111,5	113,4	213,8	464,7
2032	25,8	110,4	112,2	211,6	460,0
2033	25,9	110,9	112,8	212,6	462,2
2034	26,2	112,3	114,2	215,3	468,1
2035	25,4	109,0	110,9	209,0	454,4
2036	24,9	106,8	108,6	204,8	445,2
2037	21,3	91,3	92,8	175,0	380,5
2038	15,6	61,0	68,0	114,7	259,3
2039	9,3	37,0	40,7	70,7	157,7
2040	20,6	88,1	89,6	168,9	367,3
2041	16,4	70,2	71,4	134,5	292,4
2042	23,6	101,3	102,9	194,1	421,9
2043	12,5	39,7	54,6	74,9	181,8
2044	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Todas as áreas húmidas da instalação estarão devidamente delimitadas com bacias de contenção em betão armado, de forma a conter eventuais derrames ou transbordos. Qualquer material recolhido nestas zonas será drenado para poços (*sumps*) e devolvido ao circuito de processo.

5.2.5.9 REAGENTES

Os reagentes processuais que requerem entrega em grandes quantidades serão armazenados na área de reagentes próxima à estrada de acesso principal do local, de forma a facilitar a receção e descarga dos mesmos. Os detalhes dos reagentes encontram-se no Anexo V.8.

i. Ácido Oleico

O armazenamento de ácido oleico será feito num único tanque isolado termicamente e aquecido, de modo a manter a temperatura acima dos 25 °C e minimizar o risco de obstruções durante a dosagem. A distribuição para os tanques de condicionamento será realizada por uma bomba principal (*ring main pump*).

ii. Silicato de Sódio

O sistema inclui um tanque de armazenamento a granel para receção das entregas. A partir deste, o silicato de sódio será transferido para um tanque de dia próximo da área de flotação, sendo depois dosado nos tanques de condicionamento através de uma bomba dedicada.

iii. Floculante e Carbonato de Sódio (*Soda Ash*)

Ambos os reagentes serão preparados em sistemas do tipo *batch* para reagentes em pó, compostos por um tanque de mistura seguido de um tanque de armazenamento com a diluição desejada. A dosagem será feita com:

- Bomba dedicada para floculante (diretamente para os espessadores).
- Bomba dedicada para *soda ash*.

iv. Coletor para Flotação de Mica – Armeen T

O Armeen T requer preparação com água quente e ácido acético glacial. O sistema operará com dois tanques em alternância (*duty/standby*), permitindo a preparação de novos lotes enquanto o sistema opera com o tanque em serviço. A dosagem para o tanque de condicionamento de mica será realizada por uma bomba dedicada.

v. Outros Reagentes – *Frother*, Coagulante e Dextrina

O espumante Flotanol C07 e o coagulante líquido são armazenados em recipientes compatíveis com as respetivas formas comerciais, em abrigo de reagentes dotado de contenção. O amido/dextrina é armazenado a seco e preparado em solução ou suspensão antes da dosagem. Cada corrente dispõe de um sistema de preparação e dosagem adequado às características do produto.

Segurança e Contenção

Todas as substâncias de síntese química utilizadas na lavaria, serão armazenadas e manuseadas em áreas especificamente destinadas a esse fim, devidamente impermeabilizadas e protegidas da entrada de águas pluviais e de escorrências superficiais. As áreas de armazenamento e preparação de reagentes serão dotadas de bacias de retenção (bunded areas), adequadamente dimensionadas para conter eventuais derrames ou fugas, prevenindo a contaminação dos solos e dos recursos hídricos. O acondicionamento, armazenamento e manuseamento dos reagentes serão realizados em conformidade com as recomendações e os requisitos de segurança estabelecidos nas respetivas fichas de dados de segurança (FDS), incluindo as condições de armazenamento e de compatibilidade entre substâncias.

A Tabela 5.21 apresenta as funções e os consumos específicos médios de referência dos reagentes, calculados a partir dos consumos anuais adotados para a lavaria e da alimentação nominal de 1,5 Mt/ano. Estes quocientes representam médias anuais e não parâmetros fixos de dosagem operacional. Os consumos e as condições de armazenamento encontram-se discriminados no Anexo V.8.

Tabela 5.21 – Descrição de Reagente e respetivas dosagens de utilização.

Reagente	Finalidade	Consumo médio (kg/t ROM)
Ferrossilício	Ajuste da densidade do meio na separação em meio denso (DMS).	0,133
Magnetite ultrafina	Ajuste da densidade do meio na separação em meio denso (DMS).	0,133
Carbonato de sódio (soda ash; Na_2CO_3)	Saponificação do ácido gordo de tall oil.	0,215
Ácido gordo de tall oil (Sylfat FA2)	Coletor de espodumena na flotação.	0,942
Floculante (poliacrilamida em pó)	Aglomeração e sedimentação de sólidos nos espessadores.	0,024
Coagulante (poliacrilamida líquida)	Aglomeração e sedimentação de sólidos nos espessadores.	0,047
Flotanol C07	Espumante para formação e estabilidade da espuma na flotação.	0,021
Silicato de sódio	Depressor e dispersante dos minerais de ganga na flotação.	0,037
Amina de sebo (Tallow Amine)	Coletor de mica na flotação.	0,081
Ácido acético glacial	Formação do acetato da amina de sebo, facilitando a sua preparação e solubilização.	0,018
Amido/dextrina	Depressor dos minerais de ganga, nomeadamente quartzo e feldspato.	0,805

5.3 SERVIÇOS DA LAVARIA

5.3.1 AR COMPRIMIDO

Foram previstos sistemas de ar comprimido separados para o britador, a planta húmida e a área de filtração, cada um composto por unidades integradas de compressor e secador, com reservatório de ar dedicado.

Devido à procura significativamente maior e à importância do ar para instrumentação, a área da planta do processo húmido exigirá um compressor de reserva.

Como o secador está incorporado na unidade padrão do compressor, não será necessário um sistema separado de ar para instrumentação e para a planta.

O circuito de flotação requer adição de ar a baixa pressão para as células de flotação.

Foi previsto um soprador dedicado para o circuito de flotação de espodumena e outro para o circuito de flotação de mica.

5.3.2 Abastecimento de Água da Lavaria

A planta de processamento constitui um dos principais pontos de consumo de água do Projeto, sendo o respetivo abastecimento assegurado de forma integrada pelo sistema global de gestão de águas. A estratégia definida assenta prioritariamente no aproveitamento, reutilização e recirculação dos recursos hídricos disponíveis no Projeto, procurando reduzir a necessidade de introdução de água nova no sistema. O abastecimento da lavaria será assegurado pelas origens integradas no sistema de gestão hídrica do Projeto, descritas nos parágrafos seguintes, dando prioridade à reutilização de água tratada e ao aproveitamento da água recolhida nas áreas operacionais.

As necessidades de água da planta serão satisfeitas através da combinação de diferentes origens existentes no próprio Projeto, cuja utilização dependerá da respetiva disponibilidade e da hierarquia de abastecimento definida. Estas incluem a água tratada e recirculada proveniente do Reservatório de Controlo Ambiental RCA-02, água armazenada no Reservatório de Controlo de Sedimentos RCS-01, escoamentos superficiais disponíveis no sistema e a humidade naturalmente associada ao minério alimentado ao processo.

No cenário de referência do ano 5 de operação, o balanço hídrico considera entradas de água na lavaria de aproximadamente 143 m³/h, expressas como média horária anualizada. Este valor caracteriza as entradas contabilizadas no modelo hídrico, devendo distinguir-se dos caudais de circulação interna do processo e dos caudais instantâneos durante as horas efetivas de funcionamento da instalação.

A principal origem de água para a lavaria corresponde ao RCA-02, reservatório destinado ao armazenamento de água após tratamento. Aproximadamente 68% das necessidades de água da planta, correspondentes a cerca de 97 m³/h, serão satisfeitas a partir deste reservatório. O RCA-02 assume, assim, uma função central no circuito de recirculação, recebendo a água previamente tratada e disponibilizando-a novamente para utilização nas operações de processamento. Esta configuração reduz a necessidade de aporte de água proveniente de outras origens e aumenta a eficiência hídrica global do Projeto.

A segunda principal fonte de abastecimento corresponde ao RCS-01, responsável por aproximadamente 24% de alimentação de água da lavaria, cerca de 34 m³/h. Este reservatório recebe águas provenientes das áreas interiores do Projeto, incluindo escoamentos e escorrências associadas às cortas do Pinheiro e do Grandão, promovendo previamente a retenção e sedimentação dos sólidos em suspensão. Parte da água armazenada no RCS-01 será posteriormente reaproveitada para diferentes necessidades operacionais, entre as quais a alimentação da planta de processamento.

Para além destas origens, o balanço contabiliza a água proveniente dos furos de drenagem e rebaixamento das cortas e a humidade do minério alimentado ao processo. O reservatório de água limpa RA-01 constitui uma origem de apoio ao arranque e ao reforço do abastecimento da lavaria.

O recurso às diferentes fontes será efetuado de forma articulada e sequencial, em função da disponibilidade hídrica existente em cada infraestrutura e da hierarquia de utilização definida para o Projeto. A prioridade atribuída à água recuperada e recirculada permite que a maior parte das necessidades da Lavaria seja satisfeita através de água que já circula no sistema, complementada, quando necessário, por outras fontes disponíveis internamente.

Assim, em condições normais de operação, mais de 90% da água necessária à Lavaria terá origem nos reservatórios RCA-02 e RCS-01, evidenciando o papel central da reutilização e da gestão integrada dos recursos hídricos no abastecimento da planta. Esta abordagem permite maximizar o aproveitamento da água disponível no Projeto, reduzir a dependência de novas entradas no sistema e limitar a mobilização de recursos hídricos naturais.

A Figura 5.25 apresenta as origens de água da lavaria no cenário de referência do Ano 5 do balanço hídrico, em médias horárias anualizadas. O balanço hídrico de suporte e a descrição das infraestruturas de gestão de água são apresentados no Capítulo 6.

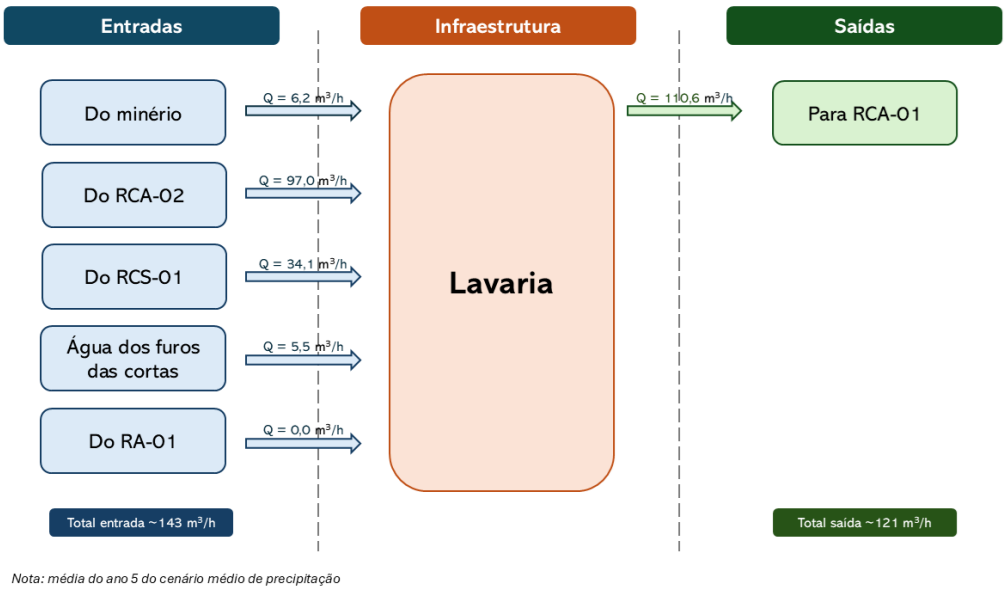


Figura 5.25 – Origens de água das Lavarias Ano 5 do Balanço Hídrico (médias horárias anualizadas).

5.3.3 FLUXOS DE ÁGUA DE PROCESSO

A lavaria dispõe de três circuitos de recuperação e recirculação de água, associados ao espessamento dos rejeitados do processo, da mica e da flotação da espodumena. Esta organização permite reutilizar a água nas diferentes operações e limitar a transferência de reagentes entre etapas com requisitos distintos.

A água recuperada no transbordo do espessador de rejeitados do processo é reutilizada nas operações a montante da flotação da mica e na lavagem entre os circuitos de flotação da mica e da espodumena. Este espessador recebe as correntes de sólidos provenientes das operações anteriores à adição dos reagentes de flotação.

A água recuperada no transbordo do espessador de mica é reutilizada como água de diluição no circuito de flotação da mica. Por sua vez, a água recuperada no transbordo do espessador de rejeitados da flotação é reutilizada no circuito de flotação da espodumena.

A transferência de água entre circuitos acompanha as correntes de sólidos e as operações de lavagem e desaguamento. A gestão das transferências e recirculações controla a qualidade da água, a acumulação de reagentes e de outros constituintes que condicionam o desempenho metalúrgico.

As correntes que necessitem de tratamento para permitir a sua reutilização serão encaminhadas para o sistema de tratamento de águas residuais industriais descrito na secção 7.4 e nas secções 8.8.3 e 8.8.4. O reservatório RCA-01 assegura a regularização e o armazenamento a montante do tratamento, enquanto o RCA-02 recebe água tratada

destinada a reutilização. Este circuito de tratamento complementa a recuperação e recirculação direta de água no interior da lavaria.

5.3.4 REAGENTES

Os reagentes previstos para a operação da lavaria serão utilizados nas etapas de separação em meio denso (DMS), flotação da mica e da espodumena e espessamento dos fluxos processuais. A Tabela 5.22 identifica os produtos a utilizar exclusivamente na lavaria, a respetiva finalidade, o consumo anual estimado e a capacidade de armazenamento prevista.

Tabela 5.22 – Produtos de utilização exclusiva para as Lavarias.

Reagente	Finalidade / utilização	Consumo anual (t/ano)	Armazenagem (capacidade)
Ferro-sílica	Ajuste da densidade do meio na separação em meio denso (DMS).	200	24 t
Magnetite ultrafina	Ajuste da densidade do meio na separação em meio denso (DMS).	200	24 t
Carbonato de sódio (soda ash; Na_2CO_3)	Saponificação do ácido gordo de tall oil.	323	40 t
Ácido gordo de tall oil (Sylfat FA2)	Coletor de espodumena na flotação.	1 413	81 m³
Floculante (poliacrilamida em pó)	Aglomeração e sedimentação de sólidos nos espessadores.	36	2 m³
Coagulante (poliacrilamida líquida)	Aglomeração e sedimentação de sólidos nos espessadores.	71	2 m³
Flotanol C07	Espumante para formação e estabilidade da espuma na flotação.	31	2 m³
Silicato de sódio	Depressor e dispersante dos minerais de ganga na flotação.	56	2 m³
Tallow Amine (amina de sebo)	Coletor de mica na flotação.	121	4 t
Ácido acético glacial	Formação do acetato da amina de sebo, facilitando a sua preparação e solubilização.	27	2 m³
Amido/dextrina	Depressor dos minerais de ganga, nomeadamente quartzo e feldspato.	1 207	10 t

Os consumos anuais e as capacidades de armazenamento apresentados constituem os valores de referência adotados no presente Plano de Lavra, estabelecidos com base na informação de engenharia disponível e nas estimativas de projeto.

A receção, preparação, armazenamento e dosagem dos reagentes deverão ser efetuados em áreas dedicadas da lavaria, devidamente impermeabilizadas e dotadas de sistemas de contenção de derrames, tendo em consideração as características e compatibilidades dos produtos, as respetivas fichas de dados de segurança atualizadas e os procedimentos operacionais aplicáveis.

5.4 TRATAMENTO DE ÁGUA

A gestão da água constitui uma componente integrada do funcionamento do Projeto, abrangendo o abastecimento de água para consumo humano, o tratamento das águas residuais domésticas e industriais e a gestão de águas provenientes das áreas operacionais. As diferentes infraestruturas foram definidas tendo em consideração a origem, as características e a utilização prevista para os diferentes fluxos, procurando assegurar condições adequadas de tratamento e, sempre que possível, promover a reutilização e recirculação da água dentro do Projeto.

Neste contexto, encontram-se previstos três sistemas principais de tratamento: o sistema de tratamento de água potável, o sistema de tratamento de águas residuais domésticas e o sistema de tratamento de águas residuais industriais. Complementarmente, será igualmente implementado um sistema de tratamento de hidrocarbonetos, associado aos Reservatórios de Controlo de Sedimentos, destinado à retenção e recuperação de hidrocarbonetos livres e flutuantes potencialmente presentes nas águas provenientes das áreas de exploração.

O sistema de tratamento de água potável tem como objetivo assegurar o fornecimento de água adequada ao consumo humano nas áreas sociais, administrativas e de apoio das instalações. A água afluente ao sistema terá origem nos reservatórios de água limpa.

Antes da respetiva distribuição, a água será sujeita às etapas de tratamento necessárias para assegurar as características de qualidade exigidas para utilização doméstica. De uma forma geral, o tratamento inclui uma etapa inicial de armazenamento e pré-desinfeção, seguida de filtração multimédia, remineralização e armazenamento final da água tratada. Após tratamento, a água será armazenada num tanque dedicado, mantendo-se sob controlo as condições necessárias para preservar a sua qualidade até à distribuição final.

O sistema de tratamento de águas residuais domésticas destina-se a tratar os efluentes gerados nas áreas sociais, administrativas e de apoio, incluindo instalações sanitárias, balneários, lavatórios, refeitório e edifícios administrativos. Este sistema será independente das águas de processo e dos efluentes industriais, assegurando o tratamento específico das águas resultantes da utilização quotidiana das instalações.

O tratamento será realizado através de uma estação compacta do tipo MBR (Membrane Bioreactor), constituída por uma sequência de operações de pré-tratamento, tratamento biológico, separação por membranas, desinfeção e gestão de lamas. Inicialmente, serão removidos sólidos grosseiros e gorduras, protegendo os equipamentos instalados a jusante. O efluente seguirá depois para uma etapa biológica, onde serão promovidos processos de remoção da matéria orgânica e de nutrientes. Posteriormente, a utilização de membranas de ultrafiltração permitirá separar a biomassa da água tratada e reduzir significativamente o teor de sólidos suspensos.

A água resultante deste processo será sujeita a desinfeção e armazenada para posterior utilização ou encaminhamento. Após tratamento e verificação da conformidade com os requisitos de qualidade definidos para a utilização prevista, a água será encaminhada para o reservatório de controlo ambiental RCA-02, para reutilização nos usos

compatíveis identificados na secção 8.8.2. Paralelamente, as lamas e restantes resíduos produzidos durante o tratamento serão recolhidos e posteriormente encaminhados para destino adequado através de operador devidamente licenciado.

O sistema de tratamento de águas residuais industriais está diretamente associado à operação da Lavaria e tem como principal objetivo tratar as águas utilizadas nos diferentes processos de beneficiação do minério, permitindo a sua recuperação e posterior reutilização no processo produtivo. A maximização da recirculação destas águas constitui um princípio importante da estratégia de gestão hídrica do Projeto, contribuindo para reduzir as necessidades de introdução de água nova e para uma utilização mais eficiente dos recursos disponíveis.

As águas a tratar terão origem nas diferentes etapas do processo industrial, nomeadamente nos circuitos de processamento da Lavaria. O sistema assegurará a remoção progressiva de sólidos, partículas finas, reagentes residuais e outros constituintes presentes na água, produzindo uma corrente tratada com características adequadas à sua reutilização.

A solução de tratamento integra diversas etapas de separação físico-química e de filtração. O processo inicia-se com uma etapa de gradagem, destinada à remoção de sólidos de maiores dimensões, protegendo os equipamentos posteriores e reduzindo o risco de obstruções. Após a gradagem, a água é sujeita à adição controlada de reagentes numa câmara de mistura rápida, promovendo a precipitação do cálcio e da sílica dissolvidos. Os sólidos formados e as fases oleosas e orgânicas são posteriormente separados num flotodecantador que combina flotação por ar dissolvido e decantação lamelar. As lamas e o flotado são recolhidos separadamente para tratamento e gestão adequados. Estas etapas promovem a agregação e separação de partículas e contribuem para a redução de constituintes residuais presentes na água.

Posteriormente, a água é submetida a processos de filtração por membranas. A ultrafiltração permite remover partículas finas, sólidos em suspensão e microrganismos, produzindo uma corrente com baixa turbidez adequada às etapas seguintes. O permeado da ultrafiltração é encaminhado para microfiltração e, posteriormente, para osmose inversa. A água tratada destina-se à reutilização na Lavaria, de acordo com os requisitos de qualidade definidos para os circuitos recetores. O conjunto destas etapas visa assegurar uma qualidade de água compatível com a sua reutilização nos processos da Lavaria.

A água industrial tratada será preferencialmente reutilizada no processo produtivo, através do reservatório de controlo ambiental RCA-02, conforme a configuração descrita na secção 8.8. As lamas e restantes correntes geradas durante as diferentes etapas de tratamento serão segregadas e encaminhadas para gestão apropriada, de acordo com a respetiva natureza e características.

Complementarmente, estão previstos sistemas de tratamento de hidrocarbonetos associados aos Reservatórios de Controlo de Sedimentos RCS-01 e RCS-02. Estes reservatórios recebem águas provenientes das áreas de exploração mineira, nas quais poderão existir vestígios de hidrocarbonetos livres e flutuantes associados à utilização de equipamentos e maquinaria. O sistema terá como principal função intercetar,

concentrar e recuperar estes hidrocarbonetos, reduzindo a possibilidade da sua transferência para jusante.

Os sistemas de tratamento articulam-se com as infraestruturas de armazenamento e distribuição de água do Projeto, permitindo a reutilização das águas tratadas nos usos compatíveis com a respetiva qualidade. A descrição técnica das instalações, incluindo capacidades, características das águas afluentes, objetivos de qualidade, etapas de tratamento, reagentes e consumíveis, encontra-se na secção 8.8.

5.5 PROJETO ELÉTRICO DA PLANTA DE PROCESSAMENTO MINERAL

O projeto elétrico da planta de processamento mineral do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso foi desenvolvido para garantir uma distribuição de energia segura, eficiente e fiável, adequada às exigências operacionais de cada etapa do processo (Anexo V.9).

Para o projeto elétrico, serão consideradas as seguintes diretrizes de conceção:

- Paragens de emergência com cablagem física (hardwired), em lógica fail-safe, para corte da alimentação dos motores;
- Paragens de emergência com cablagem física, em sistema *fail-safe*, para cortar o fornecimento de energia à alimentação de entrada de cada sala elétrica (*switchroom*) na planta de processamento;
- Paragens de emergência com cablagem física, em sistema *fail-safe*, para cortar o fornecimento de energia à alimentação de entrada de cada transformador na planta de processamento;
- Interruptores tipo corda (*lanyard switches*), em sistema *fail-safe*, instalados nos transportadores para cortar o fornecimento de energia aos motores;
- Proteção contra fuga à terra (*earth leakage*) nos circuitos de distribuição de luz e força, arrancadores de motores, alimentadores e entradas dos centros de controlo de motores (MCC);
- Utilização de avisos sonoros (voz e/ou sirenes) e sinais luminosos de alerta;
- Iluminação de emergência estrategicamente posicionada para permitir circulação segura e evacuação em caso de falha de energia;
- Níveis de iluminação da planta conforme os valores de referência definidos nos Critérios de Desenho de Iluminação B069-D02-06000-DC-0108_A, capítulo 8 (Anexo V.9);
- Todos os componentes elétricos devem possuir proteção física (blindagem) que assegure um grau de proteção mínimo IP2X, independentemente da existência de intertravamentos de portas ou dispositivos de isolamento de comutadores.

5.5.1 Potência Total Calculada

Tabela 5.23 – Potência calculada por centro de controlo de motores (MCC).

Centro de Controlo de Motores	Potência TX (kVA)	Potência Instalada (kW)	Potência Necessária (kW)
SD4301 – Quadro 10 kV (apenas para acionamentos)	N/A	3665	2910
MC4101 – Quadro de Comando da Britagem Primária	2000	1395	913
MC4201 – Quadro de Comando do Circuito de *Reclaim*	2000	1893	1196
MC4202 – Quadro de Comando da Moagem Secundária	1000	845	551
MC4301 – Quadro de Comando da Flotação da Mica	2000	1393	912
MC4302 – Quadro de Comando da Flotação da Espodumena	2000	958	636
MC4303 – Quadro de Comando de Caudas da Mica e Reagentes	2000	1276	832
MC4304 – Quadro de Comando da Filtração	2000	502	328
MC4401 – Quadro de Comando de Água Potável 1	315	86	67
MC4402 – Quadro de Comando de Água Potável 2	315	41	32
MC4403 – Quadro de Comando de Água Potável 3	315	101	80
MC4404 – Quadro de Comando ECD – Suja	315	121	87
MC4405 – Quadro de Comando ECD – Limpa	500	411	296
MC4406 – Quadro de Comando SCD	500	381	274
MC4701 – Quadro de Comando da Área Administrativa	500	400	253

5.5.2 Alimentação Elétrica de Alta Tensão

A rede de distribuição a 10 kV inclui dois (2) circuitos provenientes do Quadro Geral de Alta Tensão. Um dos circuitos alimenta o Quadro de Alta Tensão da Planta de Processamento, e o outro alimenta duas estações de bombagem de água potável.

A alimentação será distribuída por linhas aéreas equipadas com cabo de guarda ótico (OPGW), que permitirá a reticulação de fibra ótica.

Uma terceira linha aérea de 10 kV, a partir do Quadro de Alta Tensão da Planta de Processamento, fornecerá energia às restantes quatro (4) estações de bombagem: Água Potável 1, ECD Suja, ECD Limpa e SCD.

A energia a 10 kV será distribuída a partir do Quadro de Alta Tensão da Planta para os transformadores de distribuição e motores de AT dentro da área de processamento, principalmente através de escadas de cabos dedicadas.

O Quadro de Alta Tensão da Planta será instalado numa sala técnica modular, do tipo desmontável, localizada junto à área de Moagem Secundária, próximo dos moinhos de bolas.

5.5.3 Rede Terras

A rede de terras tem como objetivo garantir a segurança de pessoas, proteger os equipamentos do sistema elétrico e manter a continuidade da operação elétrica.

Cada sala técnica será construída sobre uma fundação em laje com a armadura metálica eletricamente interligada e conectada à barra de terra da instalação, em vários pontos, de modo a cumprir os requisitos de proteção contra descargas atmosféricas e ligação equipotencial da estrutura do edifício.

5.5.4 Área de Britagem Primária – Instalação Elétrica

A área de Britagem Primária requer uma subestação elétrica e um Quadro de Comando de Motores, localizados junto à estação de Britagem Secundária. Esta subestação será alimentada por cabo de 10 kV proveniente do Quadro de Alta Tensão da Planta, instalado em escadas de cabos aéreas.

A subestação elétrica da Britagem Primária será composta por:

- Cabo de alimentação de AT
- Transformador KNAN
- Quadro elétrico MCC instalado em edifício modular desmontável
- Equipamento de campo, iluminação e força
- Malha de terra e vedação em torno do recinto do transformador

5.5.5 Área de Moagem Secundária – Elétrica

A área de moagem secundária dispõe de uma subestação e Centros de Comando de Motores (MCC) localizados junto à estação dos moinhos de bolas. A subestação será alimentada por cabo de 10 kV proveniente do quadro de alta tensão (HV) da planta, instalado em passadiço aéreo para cabos. Esta subestação inclui:

- Cabo de alimentação HV
- Transformadores KNAN (2 unidades)
- MCC elétricos instalados em edifício do tipo desmontável
- Equipamentos de campo associados, iluminação e alimentação elétrica
- Malha de aterramento e vedação ao redor do transformador.

A sala de controlo será alimentada por um alimentador de baixa tensão (LV) proveniente da subestação de moagem secundária.

5.5.6 Área de Flotação – Elétrica

A área de flotação terá uma subestação e MCCs localizados junto ao edifício das células de flotação, alimentados por cabo de 10 kV desde o quadro HV da planta, também por passadiço aéreo para cabos. A subestação incluirá:

- Cabo de alimentação HV
- Transformadores KNAN (3 unidades)
- MCCs elétricos em edifício desmontável
- Equipamentos de campo, iluminação e alimentação elétrica
- Malha de aterramento e vedação perimetral.

5.5.7 Área de Filtração - Elétrica

A subestação da área de filtração estará localizada junto ao edifício de filtração e será alimentada por linha aérea de 10 kV (OHL) proveniente do quadro HV principal e inclui:

- Cabo HV proveniente da linha aérea
- Transformador KNAN
- MCC elétrico em edifício desmontável
- Equipamentos de campo, iluminação e alimentação elétrica
- Malha de aterramento e vedação.

5.5.8 Estações de Bombas de Água – Elétrica

Cada uma das seis estações de bombagem de água terá uma subestação e MCC adjacentes, alimentados por linha aérea de 10 kV, contendo:

- Transformador KNAN montado em poste
- MCC elétrico em invólucro de aço inox
- Equipamentos de campo, iluminação e alimentação elétrica.

5.5.9 Salas de Comando (*Switchrooms*)

As salas de comando transportáveis abrigam os equipamentos de distribuição e controlo elétrico da planta. Serão climatizadas para manter temperatura interna adequada e possuirão duas portas mínimas – uma dupla para acesso a equipamentos e uma simples para acesso de pessoal.

5.5.10 Dispositivos de Controlo

Os dispositivos instalados no campo terão construção robusta para operação em ambiente mineiro agressivo, com invólucros mínimos IP56.

5.5.11 Iluminação da Lavaria e Instalações

A iluminação geral será por luminárias LED montadas em postes ou, quando necessário, na estrutura metálica da planta. As subestações e salas de controlo também terão iluminação LED. A iluminação de emergência, com bateria integrada, estará presente em pontos críticos (subestações, salas de controlo, escadas, duches de segurança) para garantir evacuação segura em falhas de energia. Placas de saída iluminadas estarão nas áreas de comando.

Para reduzir poluição luminosa, serão usados sensores fotoelétricos (PE) para ligar/desligar a iluminação exterior conforme a luz natural, ajudando a economizar energia e prolongar a vida útil das lâmpadas.

5.5.12 Tomadas elétricas monofásicas e trifásicas

Tomadas de energia monofásicas e trifásicas serão instaladas ao longo de toda a instalação, conforme os requisitos mínimos abaixo. As localizações finais serão definidas com base em análises de manutenção e operabilidade durante a fase de projeto detalhado.

- **Tomadas monofásicas**: deverão estar posicionadas a uma distância máxima de 30 metros de cada equipamento principal que exija manutenção programada ou substituição.
- **Tomadas trifásicas**: deverão estar posicionadas a uma distância máxima de 30 metros de:
    - Pontos de emenda de correias transportadoras que não sejam acessíveis por geradores móveis

- Cada moinho da planta de processamento mineral.

6 INFRAESTRUTURAS

O presente capítulo descreve as infraestruturas de suporte necessárias à implementação e operação do Projeto da Mina do Barroso, complementares às instalações mineiras e de processamento apresentadas nos capítulos anteriores. Estas infraestruturas foram concebidas de forma a assegurar o funcionamento seguro, eficiente e ambientalmente responsável do projeto ao longo das suas diferentes fases, tendo em consideração as medidas e condicionantes estabelecidas na Declaração de Impacte Ambiental (DIA).

São abordadas, em primeiro lugar, as vias de acesso à mina e os acessos internos, incluindo o respetivo traçado, pavimento, drenagem, sinalização e segurança, bem como a ponte sobre o Rio Covas. Seguem-se as instalações auxiliares de superfície – administrativas e técnicas, de apoio às operações mineiras, oficina e armazém da lavaria e instalações de monitorização – e o projeto hidráulico, que compreende os sistemas de abastecimento de água e de águas residuais domésticas e industriais.

São ainda descritas as infraestruturas de controlo hidráulico, incluindo os reservatórios, o separador de hidrocarbonetos e o projeto de instalação elétrica, desde as fontes de energia e a subestação até à rede de distribuição elétrica interna. Por último, apresenta-se a movimentação de terras associada à construção das infraestruturas.

6.1 VIAS DE ACESSO À MINA E ACESSOS INTERNOS

Esta secção refere-se ao Projeto de Execução referente à Fase de RECAPE, abrangendo as Especialidades de Traçado, Terraplenagens, Drenagens, Pavimentação e Sinalização, referentes às Vias Rodoviárias necessárias implementar para garantir o acesso à Mina do Barroso. As peças desenhadas das estradas e acessos (plantas e perfis) encontram-se no Anexo VI.1.

A presente Memória Descritiva e Justificativa refere-se ao projeto preliminar de traçado da via de acesso e vias interiores da Mina do Barroso, localizada na região norte de Portugal, Covas do Barroso, no distrito de Vila Real, que liga a estrada R311 à mina.

Para a execução deste projeto de vias e acessos teve-se em consideração as medidas da DIA:

- “Privilegiar o aproveitamento das vias já existentes e a escolha de traçados menos declivosos para os novos acessos, …”
- “Na abertura de novos acessos deve:
  - Assegurar-se dispositivos/valas que facilitem a escorrência natural das
  - águas, nomeadamente nas áreas em que atravessem zonas de
  - depressão.
  - Reduzir-se ao mínimo a largura da via, a dimensão dos taludes, o corte
  - de vegetação e as movimentações de terras.
  - Evitar-se a destruição de vegetação ripícola.

- Reduzir-se a afetação de culturas.
- Minimizar o máximo possível de interferência com condicionantes
- territoriais.
- Evitar a destruição arbórea com interesse botânico e paisagístico.
- o Contornar, sempre que possível, as áreas de habitats naturais
- cartografados
- Prevenir a interferência com ocorrências patrimoniais identificadas.
- Maximizar o potencial de construção de barreiras acústicas naturais."

- "Garantir a instalação de passagens hidráulicas nos cruzamentos com linhas de água, nomeadamente nas condutas e acessos a estabelecer…"
- "Integrar soluções de materiais inertes a utilizar nos pavimentos dos acessos internos, sobretudo, para a camada de desgaste, que minimizem, ou reduzam, substancialmente, o levantamento permanente de poeiras e, cumulativamente, não sejam excessivamente refletoras de luz. As soluções devem contemplar materiais com tonalidades próximas do existente ou tendencialmente neutras, devendo ser equacionada, em maior ou menor extensão, a utilização da pedra da região ou a resultante da escavação."
- "Limitar as ações de desmatação nos acessos a melhorar e/ou a construir, às áreas indispensáveis."
- Manter o limite máximo de velocidade de 30km/h na estrada de acesso à mina e na estrada que liga zona oeste à zona este da concessão. Nas restantes áreas de concessão as deslocações de veículos devem ser feitas a baixa velocidade, inferior a 20km/h, de forma a diminuir a ocorrência de mortalidade por atropelamento e o levantamento de poeiras…"
  Além destas considerações teve-se por base a topografia fornecida e usou-se o software Autocad Civil 3D da Autodesk e o *vehicle tracking* da Autodesk para a realização e verificação do traçado.

6.2 TRAÇADO

Tendo por base a DIA e as normas de traçado (Documento normativo para a aplicação a arruamentos urbanos, Normas de Traçado do INIR E recomendações para estradas de montanha), a velocidade de projeto considerada foi de 30km/h.



Figura 6.1 – Enquadramento do Projeto

6.2.1 DIRETRIZ

O presente capítulo refere-se ao projeto geométrico de acesso externo entre a estrada R311 e a Mina do Barroso e das estradas internas da Mina (vias de transporte).

6.2.1.1 ACESSO EXTERNO

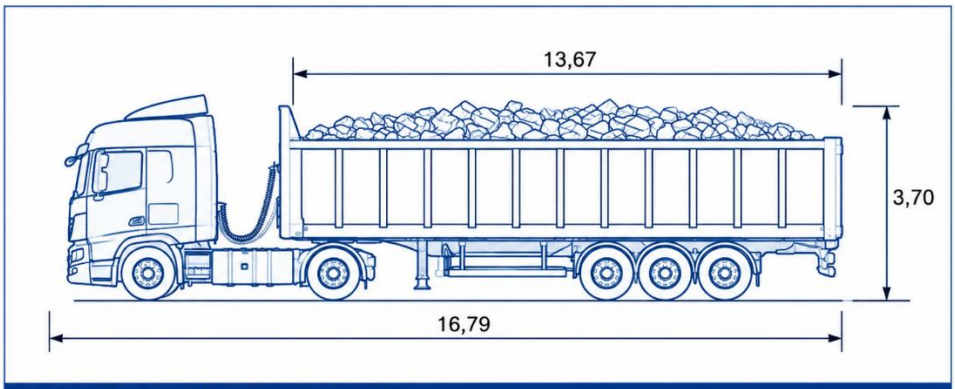
A ligação da estrada R311 à área industrial tem uma extensão total de 10 901,885 m.

Para uma velocidade de projeto de 30km/h o raio mínimo em planta é de 35m, mas tendo em conta que este novo acesso é em grande parte sobre uma estrada de floresta

já existente, muitos raios foram adossados para 15m, tendo nesses casos que haver uma redução da velocidade de 30 km/h para 20 km/h.

Para efeitos de dimensionamento de sobrelargura foi considerado o veículo tipo representado na Figura 6.2, sendo que a fórmula usada para a sobrelargura é:

$$S_L=\frac{80}{R}, \text{ em que } R\leq 200$$



Veículo tipo (camião + semirreboque)	
Comprimento total	16,79 m
Largura total	2,55 m
Altura total da carroçaria	3,70 m
Distância mínima ao solo	0,332 m
Largura máxima da via	2,50 m
Tempo de viragem de batente a batente	6,00 s
Raio de viragem entre lancis	6,85 m

Figura 6.2 – Características do Veículo Tipo.

6.2.1.2 ACESSOS INTERNOS

Os acessos internos da mina (Vias de Transporte) foram projetados para permitir circulação interna dos veículos *dumpers* entre os Cortas de Exploração e Escombreiras.

Por uma questão de simplificação, o projeto dos acessos internos foi divido em 4 troços autónomos, designados da seguinte forma:

- *Via de transporte* 0
- *Via de transporte* 1
- *Via de transporte* 2
- *Via de transporte* 3

A Via de transporte 0 conecta as cortas mais afastados (Reservatório e NOA), a noroeste, às restantes cortas situados a Sudoeste e tem no total uma extensão de 5942,95 m.

As vias de transporte 1 a 3 permitem a circulação dos dumpers nas cortas do Grandão e do Pinheiro e totalizam 2 577,086 m de extensão.

6.2.1.3 VIA DE TRANSPORTE 0

Nesta estrada não está prevista a circulação de *Dumpers* 777, por isso, os critérios de projeto da diretriz são os já considerados para o Acesso Externo.

O traçado desta via foi definido tendo em consideração critérios técnicos, funcionais e ambientais, procurando minimizar os impactes associados à implantação da infraestrutura num contexto de topografia acentuada.

Atendendo às características geomorfológicas da área de intervenção, marcadas por declives elevados, o desenvolvimento do traçado encontra-se condicionado, tendo sido privilegiada a sua adaptação à morfologia natural do terreno. Esta abordagem permitiu reduzir a necessidade de movimentações de terras, minimizando a extensão das escavações e dos aterros e, consequentemente, a afetação dos solos e da paisagem.

O traçado adotado teve por base um estudo de alternativas de traçado que define um corredor previamente estudado sobre o qual foram efetuados ajustes pontuais com o objetivo de otimizar as condições de operação e a inserção da infraestrutura no meio envolvente, reduzindo o número de interseções com linhas de água e percursos de escorrência preferencial. Destaca-se, em particular, a reformulação da travessia do Rio Covas, orientada de forma aproximadamente ortogonal à linha de água, permitindo reduzir a extensão da interferência direta com o leito e as margens e, consequentemente, minimizar as afetações sobre o sistema hídrico.

Do ponto de vista funcional, a via foi dimensionada para um regime de tráfego compatível com os equipamentos previstos, não estando prevista a circulação de *dumpers* de grande capacidade. Esta condição permitiu adotar parâmetros geométricos mais contidos, designadamente ao nível da largura da plataforma, contribuindo para a redução da área de intervenção e da necessidade de movimentação de terras.

Ao nível dos taludes e da drenagem, as soluções adotadas tiveram em consideração a necessidade de assegurar a estabilidade das superfícies intervencionadas e o adequado controlo da erosão. Foram, assim, previstas inclinações de taludes compatíveis com as condições geomorfológicas locais e, sempre que possível, com a configuração natural do terreno, favorecendo a integração paisagística e reduzindo o risco de instabilidade. Complementarmente, os sistemas de drenagem superficial foram dimensionados de forma a assegurar o adequado encaminhamento das águas pluviais, minimizando a ocorrência de fenómenos erosivos e o transporte de sedimentos.

Em síntese, o traçado proposto resulta da ponderação das condicionantes técnicas, funcionais e ambientais associadas à implantação da infraestrutura, procurando compatibilizar as exigências de exploração com a minimização das afetações sobre o solo, os recursos hídricos e a paisagem. A solução adotada privilegia, deste modo, a adaptação à morfologia natural do terreno, a redução das movimentações de terras e a adequada gestão das águas superficiais, contribuindo para uma melhor integração da infraestrutura no meio envolvente.

6.2.1.4 VIAS DE TRANSPORTE DE 1 A 3

A velocidade de projeto adotada manteve-se nos 30km/h e o veículo tipo considerado teve como base o Dumper 777G da Caterpillar que está representado na Figura 6.3.

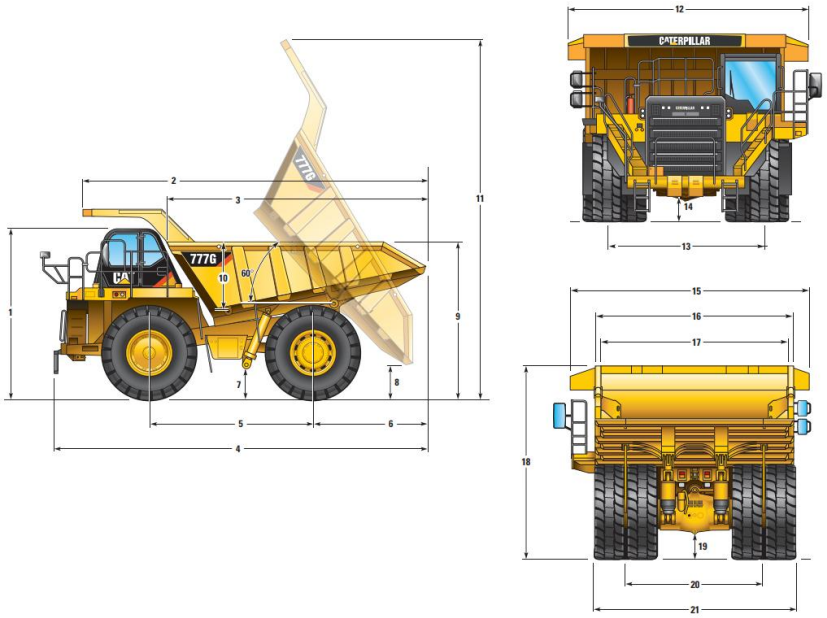


Figura 6.3 – Exemplo Dumper 777G.

Tabela 6.1 – Características do veículo tipo.

		Dual Slope		X Body		Coal Body 1		Coal Body 2	
1	Height to Top of ROPS	4730 mm	15.50 ft	4730 mm	15.50 ft	4730 mm	15.50 ft	4730 mm	15.50 ft
2	Overall Body Length	9830 mm	32.20 ft	10 070 mm	33.04 ft	10 274 mm	33.71 ft	10 445 mm	34.27 ft
3	Inside Body Length	6580 mm	21.50 ft	7037 mm	23.09 ft	7562 mm	24.81 ft	7734 mm	25.37 ft
4	Overall Length	10 535 mm	34.50 ft	10 758 mm	35.30 ft	10 968 mm	35.98 ft	11 140 mm	36.55 ft
5	Wheelbase	4560 mm	14.90 ft	4560 mm	14.96 ft	4560 mm	14.96 ft	4560 mm	14.96 ft
6	Rear Axle to Tail	3062 mm	10.00 ft	3263 mm	10.71 ft	3473 mm	11.39 ft	3644 mm	11.96 ft
7	Ground Clearance	896 mm	2.90 ft	896 mm	2.94 ft	896 mm	2.94 ft	896 mm	2.94 ft
8	Dump Clearance	965 mm	3.10 ft	893 mm	2.93 ft	935 mm	3.07 ft	821 mm	2.69 ft
9	Loading Height – Empty	4380 mm	14.30 ft	4429 mm	14.53 ft	4851 mm	15.92 ft	5321 mm	17.46 ft
10	Inside Body Depth – Maximum	1895 mm	6.20 ft	1777 mm	5.83 ft	2223 mm	7.29 ft	2693 mm	8.84 ft
11	Overall Height – Body Raised	9953 mm	32.60 ft	10 071 mm	33.04 ft	10 319 mm	33.85 ft	10 319 mm	33.85 ft
12	Operating Width	6687 mm	21.90 ft	6687 mm	21.94 ft	6706 mm	22.00 ft	6706 mm	22.00 ft
13	Front Tire Width	4170 mm	13.60 ft	4170 mm	13.68 ft	4170 mm	13.68 ft	4170 mm	13.68 ft
14	Engine Guard Clearance	864 mm	2.80 ft	864 mm	2.83 ft	864 mm	2.83 ft	864 mm	2.83 ft
15	Overall Canopy Width	6200 mm	20.30 ft	6200 mm	20.34 ft	6404 mm	21.01 ft	6404 mm	21.01 ft
16	Outside Body Width	5524 mm	18.10 ft	5682 mm	18.64 ft	6365 mm	20.88 ft	6368 mm	20.89 ft
17	Inside Body Width	5200 mm	17.00 ft	5450 mm	17.88 ft	6150 mm	20.18 ft	6150 mm	20.18 ft
18	Front Canopy Height	5200 mm	17.00 ft	5370 mm	17.62 ft	5840 mm	19.16 ft	5840 mm	19.16 ft
19	Rear Axle Clearance	902 mm	2.90 ft	902 mm	2.96 ft	902 mm	2.96 ft	902 mm	2.96 ft
20	Rear Dual Tire Width	3576 mm	11.70 ft	3576 mm	11.73 ft	3576 mm	11.73 ft	3576 mm	11.73 ft
21	Overall Tire Width	5223 mm	17.10 ft	5223 mm	17.14 ft	5223 mm	17.14 ft	5223 mm	17.14 ft

6.2.2 PERFIL LONGITUDINAL

Para velocidades de 30 km/h, a inclinação máxima desejável é de 8%, limitado a 3km de extensão, sendo que para estradas com muito baixo volume de tráfego e reduzida percentagem de veículos pesados, com velocidades de projetos não superiores a 50 km/h, podem ser adotadas inclinações superiores desde que os comprimentos não ultrapassem os 150m.

É desejável que os traineis tenham uma inclinação longitudinal mínima de 0,5%. Este critério destina-se a assegurar uma drenagem satisfatória das águas superficiais.

A inclinação máxima usada foi de 12% numa extensão de 60m no Acesso externo e de 9,8% numa extensão de 190 m nos Acessos internos

Na zona de influência das intersecções é recomendável que a inclinação longitudinal de todos os ramos do cruzamento esteja limitada ao valor máximo de 4%.

Relativamente às concordâncias verticais o desenvolvimento mínimo para velocidades de 30 km/h é de 50 a 60m, sendo que o Raio mínimo vertical é de 500m.

6.2.3 PERFIL TRANSVERSAL

Para o presente projeto consideraram-se valetas de 1m de largura e 0,5m de profundidade.

Para os taludes, tanto em aterro como em escavação com uma inclinação de (H:V=3:2), tendo em conta que não dispomos de dados geotécnicos suficientes para aferir outros valores. A inclinação do terreno natural aproxima-se deste valor.

De notar que em alguns casos específicos os taludes de aterro poderão ser removidos e colocados muros de contenção, evitando assim mais expropriação de terrenos. No caso dos taludes de escavação, quando se obtiver o estudo geológico-geotécnica poder-se-á avaliar a possibilidade de inclinar mais os taludes de escavação, diminuindo assim as expropriações.

6.2.3.1 ACESSO EXTERNO

Para velocidades inferiores a 80 km/h, e para volumes horários de projeto inferiores a 300 veículos a largura de via considerada é de 3m, em cada sentido e 0,5m de bermas, em ambos os sentidos.

A inclinação transversal é de 2,5% já que foram considerados pavimentos betuminosos e tendo em conta que se trata de uma via com velocidades reduzidas (30 km/h), não deve haver aplicação de sobrelevação. Mantendo-se a inclinação transversal própria dos alinhamentos retos.

Na Figura 6.4, apresenta-se o perfil transversal tipo da Via de Acesso externo à Mina, a partir da Estrada Regional ER 311.

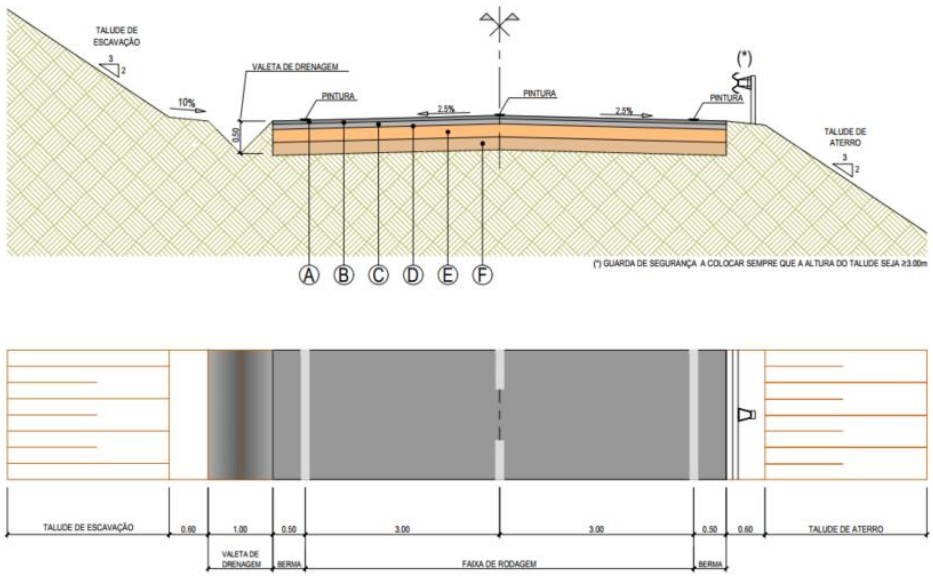


Figura 6.4 – Perfil Transversal tipo da Via de Acesso Externo à Mina.

De seguida são apresentados dois casos que exemplificam situações em que os taludes de aterro e escavação são muito extensos e onde poderão ser reduzidos, colocando muros de contensão, tal como mostram as Figura 6.5 e Figura 6.6.

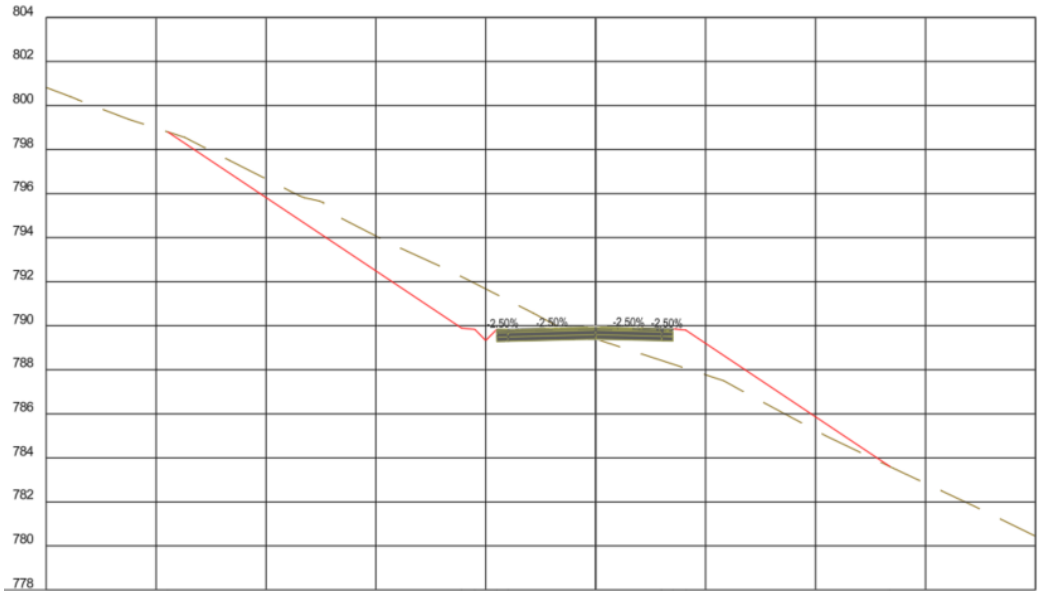


Figura 6.5 – Perfil Transversal ao Km 7+000.

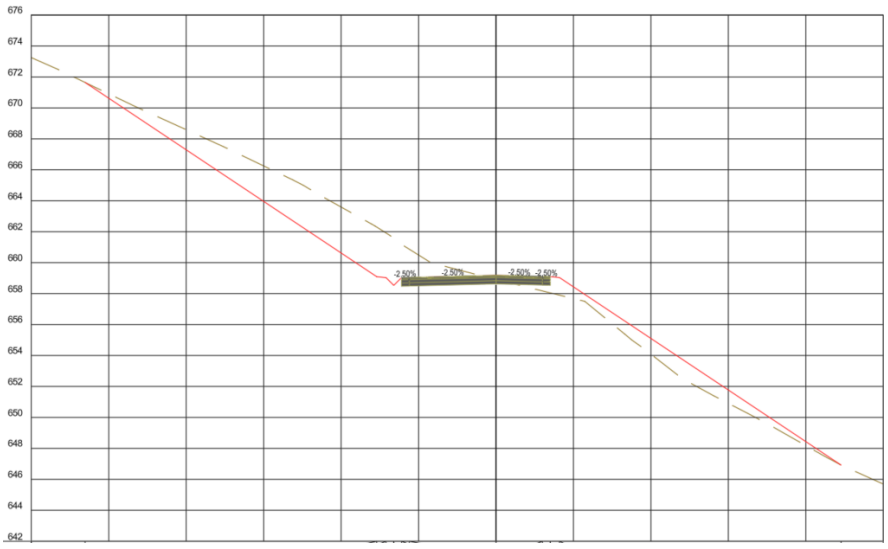


Figura 6.6 – Perfil Transversal ao Km 10+300.

6.2.3.2 Acessos Internos

6.2.3.3 Via de Transporte 0

O perfil transversal tipo da Via de Transporte 0 é idêntico ao perfil tipo do Acesso externo, no entanto apresenta bermas com 1,5m de largura.

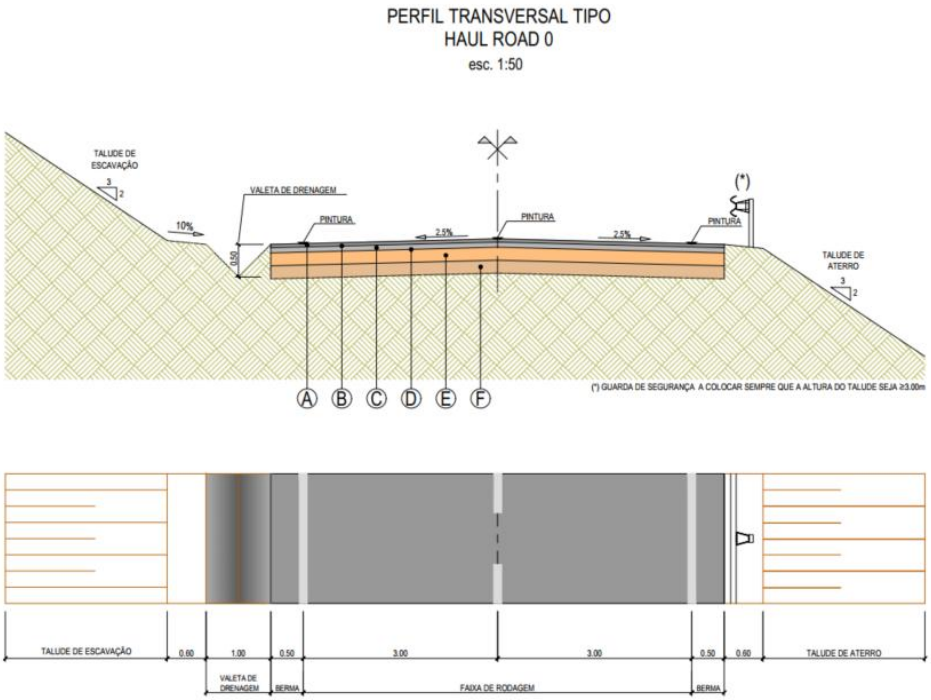


Figura 6.7 – Perfil Transversal tipo da *Via de Transporte* 0.

6.2.3.4 VIAS DE TRANSPORTE 1 A 3

A largura da faixa de rodagem destas vias é de 23m, permitindo assim a circulação dos veículos *dumpers* nos dois sentidos, simultaneamente.

Na Figura 6.8 apresenta-se o perfil transversal tipo dos acessos internos.

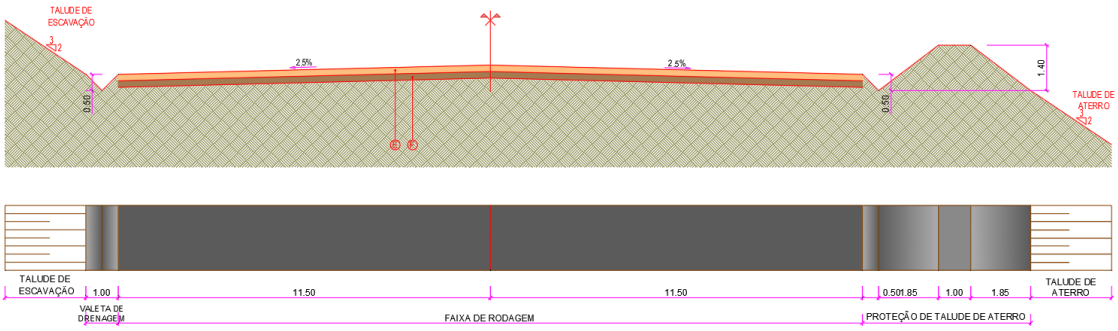


Figura 6.8 – Perfil Transversal tipo dos acessos internos 1 a 3.

6.3 PAVIMENTO

6.3.1 ACESSO EXTERNO E VIA DE TRANSPORTE 0

Para o pré-dimensionamento do pavimento teve-se em consideração os seguintes fatores pelo manual MACOPAV (Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional):

- Tipo de pavimento: flexível
- Classe de Tráfego T6 (TMDAp = 50-150)
  (TMDAp – Trágego médio diáro anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido e na via mais solicitada)
  No acesso à mina o TMDAp será inferior a 50, o que daria uma classe de tráfego T7. Mas segundo o MACOPAV, para uma classe T7 seria necessário um estudo específico, pelo que se adotou a classe T6.
- Classe de Fundação: F3 com correção para outras classes de plataforma (+3cm), sendo que não foi considerada nem a pior classe que seriam (+5cm) nem a classe a seguir F2 que seriam (+2cm), mas sim uma situação intermédia, tendo em conta que, nesta fase, não há informação geotécnica disponível para avaliar a classe de fundação do pavimento.

Na Figura 6.9 está representado o pavimento considerado nesta fase de projeto.

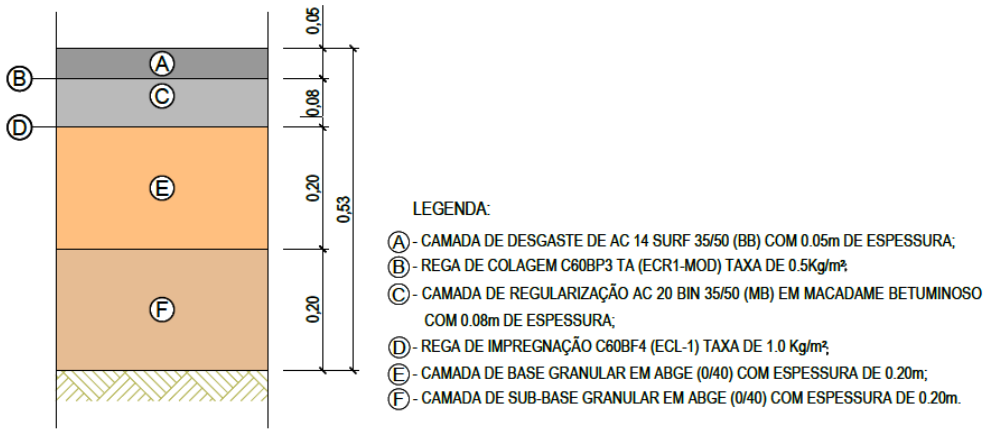


Figura 6.9 – Estrutura do Pavimento Betuminoso.

6.3.2 ACESSOS INTERNOS

6.3.2.1 VIAS DE TRANSPORTE 1 A 3

Dado que nestes acessos haverá principalmente circulação de veículos mineiros, para facilitar operações de manutenção, optou-se por não utilizar betuminoso. Nesta fase propõe-se a estrutura do pavimento representada na Figura 6.10.

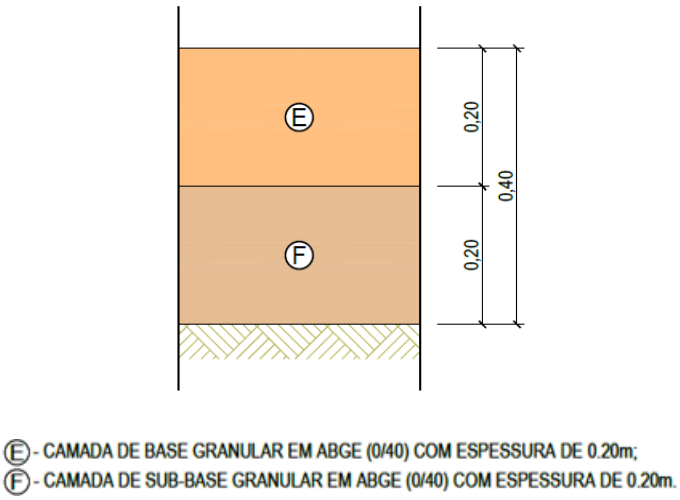


Figura 6.10 – Pré-dimensionamento do pavimento (Vias de Transporte 1 a 3).

6.4 DRENAGEM

Adotaram-se diversos órgãos de drenagem longitudinal e transversal, cujo dimensionamento se justifica no Anexo VI.1 e que se representam nas plantas e nos pormenores, nomeadamente:

- Valetas de pé de talude, lateralmente às plataformas rodoviárias, nas zonas em escavação, e na base de taludes de aterro, no sentido de os proteger da erosão provocada pela confluência da água, quando justificável pela orografia. As valetas de pé de talude terão secção triangular e serão revestidas a betão na estrada de acesso e na estada de mina 0 (via de transporte 0), uma vez que estas vias são também pavimentadas; serão revestidas com enrocamento de pedras locais argamassadas nas estradas de mina 1 a 3 (vias de transporte 1-3) que não são pavimentadas.
- Valetas de crista dos taludes em escavação. Estas valetas serão triangulares, revestidas a betão quando nas estradas de acesso e revestidas com enrocamento de pedras locais argamassadas nas estradas internas.
- Valetas de bordadura de secção transversal triangular. Estão previstas estas valetas nas estradas não pavimentadas destinadas ao tráfego de camiões fora de estrada (vias de transporte 1-3). Estão também previstas valetas deste tipo, apenas pontualmente, para permitir o encaminhamento de águas recolhidas em valetas de pé de talude, em que não houve possibilidade de ligar os efluentes diretamente ao terreno.
- Descidas de taludes, nomeadamente, para descarga de valetas de crista a valetas de plataforma ou diretamente a passagens hidráulicas, com secção semi-circular.
- Canais de regularização do terreno permitindo o escoamento de águas vindas das passagens hidráulicas para o curso natural no terreno.
- Dissipadores de energia para proteção das saídas das passagens hidráulicas e de ligações ao terreno de descidas de talude
- Passagens hidráulicas com boca de entrada na base de taludes ou com entrada em recipiente, para condução de linhas de água e/ou de águas recolhidas por outos órgãos de drenagem.

Todas as águas contaminadas serão conduzidas por valetas revestidas em pedra local argamassada, com características de impermeabilização, até locais específicos, denominados por reservatório RCS-01 e Lavaria. Estes reservatórios de controlo de sedimentos têm a função de evitar a chegada de águas contaminadas ao rio Covas. A sua dimensão será definida em projeto específico. Deste modo, garantimos a plena qualidade dos solos e das linhas de água envolventes.

6.4.1 CÁLCULOS HIDROLÓGICOS

6.4.1.1 CAUDAL DE CÁLCULO

O dimensionamento dos órgãos de drenagem teve por base a definição de dados realizada na fase anterior do projeto e o cálculo da intensidade de precipitação nos

moldes aí considerados. Para a determinação dos caudais a considerar no dimensionamento dos sistemas de drenagem adotou-se a fórmula racional:

$$\boldsymbol{Q = \frac{C.I.S}{360}}$$

em que:

Q = caudal, em m³/s

C = coeficiente de escoamento

S = área da bacia, em hectares

I = intensidade de precipitação, em mm/h

6.4.1.2 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração (tc) numa determinada seção de um curso de água corresponde ao tempo para que a totalidade da bacia hidrográfica associada contribui para o escoamento superficial nessa seção. Para o seu cálculo nas secções objeto de avaliação de caudais de ponta de cheia, recorreu-se à fórmula de Témez, aplicável a bacias hidrográficas com áreas inferiores a 20 km^2, como é o caso.

Fórmula de Temez, $t_c = 0.30 \times \left(\frac{L_b}{i^{0.25}}\right)^{0.76}$

em que:

t_c= tempo de concentração (h)

L_b= comprimento do curso de água principal da bacia (km)

i = declive médio do curso de água principal da bacia (m/m)

A Memória Descritiva do "Estudo hidrológico da bacia hidrográfica e regime de caudais no rio Covas, numa secção a 4km para sul da povoação de Covas do Barroso" de que são autores a Visa Consultores e a Promeng – Project Mangement Engineers – Anexo VI.1, adota valores conforme a tabela seguinte:

Tabela 6.2 – Estudo hidrológico da bacia hidrográfica e regime de caudais no rio Covas.

Utilização ou Cobertura do Solo		Grupo Hidrológico do Solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90

Utilização ou Cobertura do Solo		Grupo Hidrológico do Solo			
		A	B	C	D
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	De nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	99
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Afastadas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Denso, de alta transpiração	25	55	70	77
Florestas	Muito fastadas, de baixa transpiração	56	75	86	91
	Espaçadas	45	68	78	84
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Em que a definição dos grupos hidrológicos dos solos é como se segue:

- Grupo A Solos arenosos profundos, tem alta capacidade de infiltração e geral pequenos escoamentos.
- Grupo B Solos francos arenosos pouco profundos, têm menor capacidade de infiltração e geral maiores escoamentos que o solo A.
- Grupo C Solos francos argilosos; tem menor capacidade de infiltração e geral maiores escoamentos do que A e B.
- Grupo D Solos argilosos expansivos; tem menor capacidade de infiltração e geram grandes escoamentos.

Face às características das bacias e sendo zonas de atividade agrícola, o referido estudo adotou o valor de CN de 86. No entanto, o tempo de concentração mínimo usado foi de 10 minutos.

6.4.1.3 Período de Retorno

O período de retorno corresponde ao tempo médio que decorre entre dois eventos hidrológicos consecutivos, sendo definido como o inverso da probabilidade de um evento ser igualado ou ultrapassado. Conforme preconizado no Estudo Prévio, considerou-se, para o dimensionamento dos órgãos de drenagem longitudinal, o período de retorno de 20 anos, e para dimensionamento dos órgãos de drenagem transversal, o período de retorno de 100 anos.

6.4.1.4 Coeficiente de Escoamento

O coeficiente de escoamento (C) tem em linha de conta as perdas de precipitação, incluindo, as perdas por interseção, infiltração, retenção superficial e evapotranspiração, e a difusão do escoamento, entendida como sendo uma medida da "capacidade" da bacia hidrográfica, para atenuar os caudais de ponta de cheia.

O coeficiente de escoamento adotado teve também em conta o período de retorno considerado na avaliação de caudais de ponta de cheia, pois de facto, as perdas da precipitação dependem do grau de humidade da bacia hidrográfica.

O Memorandum de 27 de fevereiro de 2023 de que é autor a Knight & Piésold Consulting aponta, na respetiva Tabela 4.2 *coeficientes de escoamento* para os valores de 0,20 (médio); 0,30 (em ano húmido); e 0,80 (período de retorno de 100 anos - 1/100 AEP storm) - válidos para bacias não intervencionadas (undisturbed catchment coeficientes de escoamento).

A Memória Descritiva do estudo hidrológico da bacia hidrográfica do rio Covas, já referida acima, adota valores do coeficiente de escoamento a partir de tabelas publicadas na literatura da especialidade que entram em linha de conta com a cobertura vegetal, as características topográficas e pedológicas das bacias hidrográficas e o período de retorno considerado.

Tabela 6.3 – Valores do Coeficiente C da Fórmula Racional (Adptado de CHOW etal., 1988).

Valores do coeficiente C da fórmula racional (Adaptado de CHOW et al., 1988)								
Tipo de Ocupação			Período de retorno, T(anos)					
			2	5	10	25	50	100	500
Zona urbana									
Asfalto			0,73	0,77	0,81	0,86	0,9	0,95	1
Betão/Telhados			0,75	0,8	0,88	0,88	0,92	0,97	1
Relvados									
	Ocupando menos de 50% da área								
		Declive de 0 a 2%	0,32	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,58
		Declive de 2 a 7%	0,27	0,4	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
		Declive superior a 7%	0,43	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	62
	Ocupando entre 50% e 75% da área								
		Declive de 0 a 2%	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41	0,53
		Declive de 2 a 7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
		Declive superior a 7%	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53	0,6
	Ocupando mais de 75% da área								
		Declive de 0 a 2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
		Declive de 2 a 7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
		Declive superior a 7%	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	0,58
Zona não urbana									
	Terreno cultivado								
		Declive de 0 a 2%	0,31	0,34	0,36	0,4	0,43	0,47	0,57
		Declive de 2 a 7%	0,5	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,6
		Declive superior a 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
	Pastagem								
		Declive de 0 a 2%	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41	0,53
		Declive de 2 a 7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
		Declive superior a 7%	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53	0,6
	Floresta								
		Declive de 0 a 2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
		Declive de 2 a 7%	0,31	0,34	0,36	0,4	0,43	0,47	0,56
		Declive superior a 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Com base na tabela acima, o estudo referido adotou os seguintes valores para o coeficiente de escoamento da bacia hidrográfica em análise:

Tabela 6.4 – Coeficientes de Escoamento.

Método Racional $Q_{Diário}$ [m³/s]						
C (CHOW et al)						
2	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**500**
0,31	0,34	0,36	0,4	0,43	0,47	0,56

No entanto, considerando que para a drenagem longitudinal e transversal das vias de comunicação analisadas no presente projeto contribuem terrenos remexidos (caso dos taludes em escavação) e impermeabilizados - caso dos pavimentos da via de acesso (*Estrada de Acesso*) e da estrada de mina 0 (*Via de Transporte* 0), adotaram-se os seguintes coeficientes de escoamento:

Tabela 6.5 – Coeficientes de Escoamento Adotados.

Coeficientes de Escoamento		
Período de Retorno (anos)	**20**	**100**
Estradas (pavimentadas ou não pavimentadas), áreas de trabalho	1	1
Terrenos desmatados (taludes de estradas, plataformas, etc.)	0,50	0,80
Terreno natural	0,40	0,50

6.4.1.5 INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

Para a determinação da intensidade de precipitação correspondente ao tempo de concentração de cada bacia, recorreu-se às curvas I-D-F (Intensidade-Duração-Frequência) definidas na publicação "Estudos de Precipitação com Aplicação no Projeto de Sistemas de Drenagem Pluvial" (M.R. Matos e M.H. da Silva, LNEC 1987).

Estas curvas são do tipo exponencial e seguem uma função do tipo:

$$I = a \times t^b$$

em que:

I = Intensidade de precipitação (mm/h);

t = tempo da chuvada da chuvada (min);

a e b = parâmetros referentes às curvas I-D-F para diferentes locais do país.

Para a povoação de Covas do Barrosos, do concelho de Boticas (região pluviométrica B), a referida publicação apresenta:

- Período de retorno de 20 anos: a = 254,190; b = - 0,538
- Período de retorno de 100 anos: a = 292,500; b = - 0,508

Admitiu-se como tempo de precipitação o valor considerado para o tempo de concentração, ou seja, 10 minutos. Assim:

- Para o dimensionamento dos órgãos de drenagem longitudinal, I = 73,65 mm/h
- Para o dimensionamento dos órgãos de drenagem transversal, I = 90,81 mm/h

6.4.2 DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM TRANSVERSAL

As características geométricas e de implantação das passagens hidráulicas são definidas de modo a garantir o restabelecimento das linhas de água sem prejuízo para a via, nomeadamente sem risco de inundação ou galgamento da mesma. Assim, a verificação do funcionamento destas estruturas faz-se calculando a altura de água a montante das

mesmas, para o caudal de ponta de cheia das linhas de água a restabelecer. Como critérios iniciais de dimensionamento das passagens hidráulicas, tomou-se o seguinte:

- A secção mínima circular considerada foi de 0,60m de diâmetro;
- A velocidade máxima considerada foi de 5m/s, adotando-se proteção à saída das passagens hidráulicas, sempre que os benefícios de construção e segurança o justificam.
- Cumpriram-se as relações Hw/D≤1,50, e hu/D≤0,80, no cálculo das passagens hidráulicas.

As estruturas de dissipação de energia a jusante das passagens hidráulicas serão realizadas por enrocamento de pedra miúda (*riprap*).

Na tabela seguinte, indica-se o comprimento do enrocamento considerado, em função do diâmetro das passagens hidráulicas e da velocidade de escoamento a jusante das mesmas.

Tabela 6.6 – Enrocamento a Jusante das Passagens Hidráulicas.

Diâmetro da PH (m)	Velocidade de Saída (m/s)		
	<2,5	2,5 – 3,5	3,5 – 4,5
	Comprimento do Enrocamento (m)		
< 1,50	3,5	4,0	4,5
1,50	4,0	4,5	5,0

A dimensão das pedras foi calculada a partir da seguinte expressão:

$$D_{50} = \frac{V^2}{35}$$

com:

D_{50} – dimensão nominal das pedras (diâmetro) em que 50% das pedras constituintes do enrocamento têm dimensão inferior (m);

V – Velocidade de saída (m/s).

A espessura do enrocamento foi calculada a partir de D50, através da seguinte expressão: Espessura do enrocamento= 1,5 x D_{50}

A análise das PH do projeto levou à adoção das seguintes proteções por enrocamento na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Análise de PH.

Estradas	PH abrangidas	Comprimento do enrocamento (m)	Dimensão nominal das pedras (m)	Espessura do enrocamento (m)
Vias de Transporte	Todas	3,5	0,10	0,15
Estrada de acesso	PH2	3,5	0,12	0,18
	PH 12 e PH17	4,0	0,55	0,85
	PH 19 e PH21	4,0	0,55	0,85
	Outras	3,5	0,10	0,15

6.4.3 DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM LONGITUDINAL

Para o dimensionamento dos diversos elementos constituintes dos sistemas de drenagem considerar-se-á que o escoamento se processa em regime uniforme, sendo aplicável a fórmula de Manning-Strickler que relaciona o caudal com as características geométricas da secção de vazão, rugosidade da tubagem e ainda a perda de carga unitária, e é representada por:

$$Q = K\,S\,R^{2/3} i^{1/2}$$

em que:

Q = caudal de dimensionamento (m³/s);

K = coeficiente de Strickler (m1/3 s-1);

S = área líquida (m²);

R = raio hidráulico (m);

i = perda de carga unitária (m/m).

Apresentam-se no Anexo VI.1 os quadros de dimensionamento dos órgãos de drenagem longitudinal.

6.5 SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA

Considerou-se sinalização compatível com a natureza das estradas em análise e previram-se guardas de segurança na via de acesso (*estrada de acesso* e *via de transporte* 0), sempre que o talude de aterro seja superior a 3m.

6.5.1 SINALIZAÇÃO VERTICAL

6.5.1.1 NORMATIVO APLICÁVEL

O projeto da sinalização vertical desenvolveu-se em observância das normas portuguesas (NP) e europeias (EN) sobre sinalização, prevalecendo o disposto nas normas em caso de divergência, nomeadamente:

- Código da Estrada – Decreto-Lei n.º 114/94, de 3 de maio, alterado pelos Decretos-Lei n.º 2/98, de 3 de janeiro, 265-A/2001, de 28 de setembro, pela Lei n.º 20/2002, de 21 de agosto e pelo Decreto-Lei n.º 44/2005, de 23 de fevereiro.
- Regulamento de Sinalização do Trânsito – Decreto Regulamentar n.º 22-A/98, de 1 de outubro, alterado pelos Decretos Regulamentares nºs 41/2002, de 20 de agosto e 13/2003, de 26 de maio.

6.5.1.2 FUNDAÇÕES DOS SINAIS

Os sinais verticais serão fundados em blocos de fundação com 0,40x0,40x0,40m em betão C20/25 e armadura A500 em malha quadrada de Ø10//0,15m sobre solo compacto.

6.5.1.3 SUBSTRATOS DOS SINAIS

O substrato dos sinais será fabricado em ligas metálicas, de alumínio ou em aço, de acordo com as características definidas no normativo correspondente, nomeadamente EN 1999-1-1 e EN 19993-1-1, e no presente documento.

6.5.1.4 FACE DOS SINAIS

À exceção dos casos expressamente indicados, as faces dos sinais serão revestidas com telas retrorrefletoras (de esferas embebidas, encapsuladas ou micro-prismáticas), não sendo permitido outro processo construtivo, nomeadamente serigrafia.

6.5.1.5 PARTE POSTERIOR DOS SINAIS

A pintura da parte posterior dos sinais deverá ser executada em tinta de esmalte na cor cinzenta, adotada pela IP (RAL 9018). De igual modo, deverão ser marcados os suportes verticais de acordo com os requisitos da norma EN 12767.

6.5.1.6 SUPORTE DOS SINAIS E PEÇAS DE LIGAÇÃO

Depois de devidamente limpos, os postes dos sinais deverão ser sempre sujeitos a zincagem por galvanização a quente, com espessura mínima de 84µ. Os tipos de parafusos, suas formas e dimensões deverão satisfazer as normas portuguesas em vigor, sendo dos tipos indicados nessas normas. As peças de ligação aos postes dos painéis

perfilados, que promovem simultaneamente o aperto dos perfis entre si, serão constituídas por braçadeiras apropriadas, de aço ou alumínio.

6.5.2 MARCAÇÃO RODOVIÁRIA

6.5.2.1 DEFINIÇÃO DE TIPOS DE MARCAÇÕES

Na definição da sinalização horizontal, deverão ser respeitadas as disposições normativas da IP (Infraestruturas de Portugal), tanto no que diz respeito às suas características dimensionais como aos critérios de aplicação. As tintas a utilizar para a materialização das marcas deverão ser de cor branca, refletora e termoplástica, de aplicação a quente, conforme as Especificações Técnicas. A sinalização horizontal adotada é composta pelas seguintes marcas rodoviárias:

- Linha branca contínua, com 0,12 m de largura – LBC (0,12);
- Linha branca tracejada, com 0,12 m de largura e relação traço / espaço 2/2 m – LBT LBT 0,12; 2/2

6.5.3 SISTEMAS DE RETENÇÃO RODOVIÁRIA

6.5.3.1 LEGISLAÇÃO, NORMAS E MANUAIS DE APLICAÇÃO

O projeto foi elaborado atendendo os seguintes documentos:

- Lei n.º 33/2004, de 28 de julho: "Colocação de proteções nas guardas de segurança das vias de comunicação públicas, integradas ou não na rede rodoviária nacional, contemplando a perspectiva da segurança dos veículos de duas rodas";
- Decreto Regulamentar n.º 3/2005, de 10 de maio, que estabelece as normas para "colocação de proteção nas barreiras de segurança semi-flexíveis existentes nas vias públicas, integradas ou não na rede rodoviária nacional, contemplando a perspectiva da segurança dos utentes de veículos de duas rodas a motor";
- Normas de Traçado, Junta Autónoma de Estradas (J.A.E.) – 1994;
- Marcas Rodoviárias – Dispositivos Retrorrefletores Complementares, Instituto de Infraestruturas Rodoviárias, IP (InIR);
- Área Adjacente à Faixa de Rodagem, Instituto de Infraestruturas Rodoviárias, IP (InIR);
- Sistemas de Retenção Rodoviários, Instituto de Infraestruturas Rodoviárias, IP (InIR);

6.5.3.2 MARCAÇÃO CE

Deverão ser apresentados à fiscalização da obra os certificados de conformidade CE das barreiras de segurança a aplicar no âmbito deste projeto e respetivos relatórios de

ensaio emitidos pelo laboratório credenciado, onde conste informação resultante dos ensaios, com o intuito de conhecer:

- A extensão total de barreira ensaiada (L), e que corresponderá à extensão mínima de troço de barreira a instalar;
- Comprimento mínimo de funcionamento (Dmin.), ou seja, a distância entre o início da barreira e o ponto de impacto do veículo de ensaio;
- Condições/características do solo de fundação do ensaio;
- Ensaio de avaliação de resistência do solo de fundação, caso tenha sido realizado.

6.5.3.3 DESEMPENHO

De acordo com a NP EN 1317 (partes 1 e 2), relativa a Sistemas de Segurança Rodoviária, as barreiras de segurança devem ser **H4b, W2.**

6.5.3.4 DELINEADORES

Os delineadores são dispositivos apoiados no solo ou em equipamento de segurança, colocados nos limites exteriores das bermas e que se destinam a definir a geometria do traçado e permitir identificar por parte do condutor os limites da faixa de rodagem durante a noite ou em condições de visibilidade rigorosas à custa da capacidade refletora de elementos que o constituem.

6.6 PONTE SOBRE O RIO COVAS

Este capítulo refere-se ao Projeto de Execução referente à Fase de RECAPE, abrangendo a ponte sobre o Rio Covas, incluído no projeto de vias rodoviárias internas necessárias implementar para garantir a circulação de veículo desde as cortas do NOA e Reservatório até a planta de processo e outras instalações auxiliares.

Neste projeto, teve-se em conta que as obras da ponte sobre o rio Covas teriam de ter a menor afetação possível das águas, leito e margens, sobre os quais não são admitidos aterros, escavações e destruição da galeria ripícola, cujo crescimento deve ser promovido.



Figura 6.11 – Enquadramento da Ponte sobre o Rio Covas no projeto.

6.6.1 NORMAS E LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

No desenvolvimento do projeto é tido em consideração o preconizado na regulamentação das Normas Europeias e Eurocódigos Estruturais (devidamente atualizadas com as versões em vigor):

- Eurocódigo 0 – Bases para o Projeto de Estruturas.
- Bases para o Projeto de Estruturas (NP EN1990:2009).
- Anexo A2 – Aplicação para Pontes (EN1990-AnnexA2).
- Eurocódigo 1 – Ações em Estruturas.
- Parte 1-1 – Pesos Específicos, Pesos Próprios e Sobrecargas (NP EN1991-1-1:2009).

- Parte 1-3 – Ação da Neve (NP EN1991-1-3:2009).
- Parte 1-4 – Ação do Vento (NP EN1991-1-4:2010).
- Parte 1-5 – Ação da temperatura (NP EN1991-1-5:2009).
- Parte 1-6 – Ações durante a execução (NP EN1991-1-6:2005).
- Parte 1-7 – Ações de acidente (NP EN1991-1-7:2006).
- Parte 2 – Traffic Loads on Bridges (Cargas de Tráfego em Pontes) (EN1991-2:2003).
- Eurocódigo 2 – Projeto de Estruturas de Betão.
- Parte 1-1 – Regras Gerais e Regras para Edifícios (NP EN1992-1-1:2010).
- Parte 2 – Pontes de Betão (NP EN1992-2:2008).
- Eurocódigo 7 – Projeto Geotécnico.
- Parte 1 – Regras Gerais (NP EN1997-1:2010/A1:2016).
- Eurocódigo 8 – Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos.
- Parte 1 – Regras Gerais e Regras, Ações Sísmicas e Regras para Edifícios (NP EN1998-1:2010).
- Parte 2 – Bridges (Pontes) (EN1998-2:2005).
- Parte 5 – Foundations, Retaining Structures and Geotechinal Aspects (Fundações, estruturas de suporte e aspectos geotécnicos) (EN1998-5:2010).
- NP EN 206-1: 2007 – Betão. Parte 1: Desempenho, especificação, produção e conformidade.
- NP EN 13670:2011/Emenda 1:2012 – Execução de Estruturas em Betão.
- EN 1337-1, EN 1337-2 e EN 1337-3 – Structural Bearings (Aparelhos de Apoio).
- EN 15129 – Seismic Devices (Dispositivos Sísmicos).

6.6.2 CONDICIONAMENTOS

Nos pontos seguintes apresentam-se os principais condicionamentos que foram tidos em conta na conceção das estruturas.

6.6.2.1 CONDICIONAMENTOS GEOMÉTRICOS

Os condicionamentos geométricos são os que resultam do traçado da plena via, cujas características são resumidas na tabela seguinte.

Tabela 6.8 – Características de Traçado.

OAE	Localização km	Perfil Transversal Tipo	Rasante	Traçado em Planta
Ponte sobre o Rio Covas	1+065	1,5+5,60+3,00+1,50	R = 1137m	Reta

6.6.2.2 CONDICIONAMENTOS TOPOGRÁFICOS

A Ponte situa-se num vale a cerca de 20 metros de altura do solo, com altitude aproximadamente de 470m. Atravessa o Rio Covas.

A orientação do vale e respetiva linha de água cruzam a diretriz da plena via segundo um viés de aproximadamente 100 grados.

6.6.2.3 CONDICIONAMENTOS CONSTRUTIVOS

A obra de arte encontra-se em local com relativamente boas condições de acesso, não impondo assim nenhum tipo de restrição de acesso.

A obra em questão é relativamente curta, o que dificulta a amortização de equipamentos especiais na execução do tabuleiro, como é o caso de cimbres auto-lançáveis. Como a altura da obra é relativamente reduzida e as encostas do vale com baixos declives, preconizou-se o método tradicional cimbre ao solo.

6.6.2.4 CONDICIONAMENTOS AMBIENTAIS

A obra de arte atravessa uma linha de água (rio Covas) que faz parte da Reserva Ecológica Nacional (REN) e à qual está associada uma galeria ripícola, que constitui um habitat classificado (91E0pt1).

Assim, em termos de condicionamentos ambientais, podem elencar-se os seguintes:

- REN / Domínio hídrico – deve manter-se o contínuo fluvial da linha de água (rio Covas), preservar o leito e as margens, devendo os pilares da ponte distar (pelo menos) 10 do limite do leito da linha de água;
- Habitat da Rede Natura 2000 (91E0), associado à galeria ripícola –preservar o habitat, ou seja, não colocar pilares nem quaisquer outras infraestruturas na zona da galeria ripícola associada ao rio Covas.

6.6.2.5 CONDICIONAMENTOS DE SEGURANÇA E SAÚDE

Os principais condicionamentos de Segurança e Saúde identificados são:

- A execução de trabalhos que envolvem a movimentação de elementos cuja dimensão e peso constituem um risco de acidente para os trabalhadores.
- Trabalhos em altura que envolvam risco de queda de pessoas, materiais e/ou equipamentos.
- Abertura de fundações com risco de deslizamento de terras.

6.6.3 SOLUÇÃO ESTRUTURAL

6.6.3.1 ASPETOS DE CONCEÇÃO GERAL

Trata-se de uma obra relativamente curta e que se desenvolve em geral a baixa altura do solo, cujos obstáculos a transpor não obrigam a vãos de grande dimensão, mas sim da ordem dos 30-40m.

Para a presente obra, desenvolveu-se uma solução betonada *in-situ* com uma largura total de 12,50m, originando uma modulação de vãos semelhante às outras obras:

32 + 42 + 26 = 100m

Para obter uma maior eficiência estrutural adotou-se uma solução de tabuleiro com continuidade sobre os pilares. Os pilares foram localizados de modo a salvaguardar a existência de linhas de águas e considerando a mesma dimensão dos vãos intermédios, e vãos de extremidade da ordem de 80% do vão tipo. Os encontros foram localizados de modo a que as respetivas alturas não ultrapassem os 10m.

Na seguinte figura é apresentado o alçado da obra.

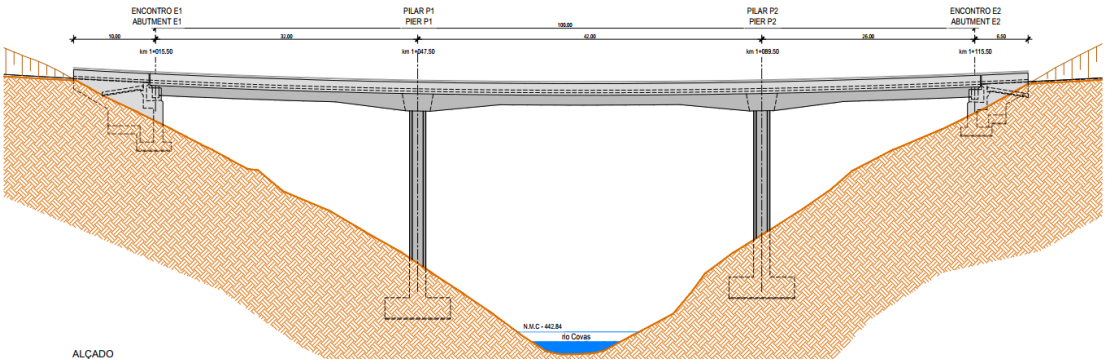


Figura 6.12 – Ponte sobre o Rio Covas. Alçado.

6.6.3.2 DESCRIÇÃO ESTRUTURAL

O tabuleiro possui 12,60m de largura e acomoda o seguinte perfil:

0,45m	1,50m	5,60m	3,00m	1,50m	0,45m
Safety Barrier	**Berma**	**V.R.**	**V.R.**	**Berma**	**Safety Barrier**

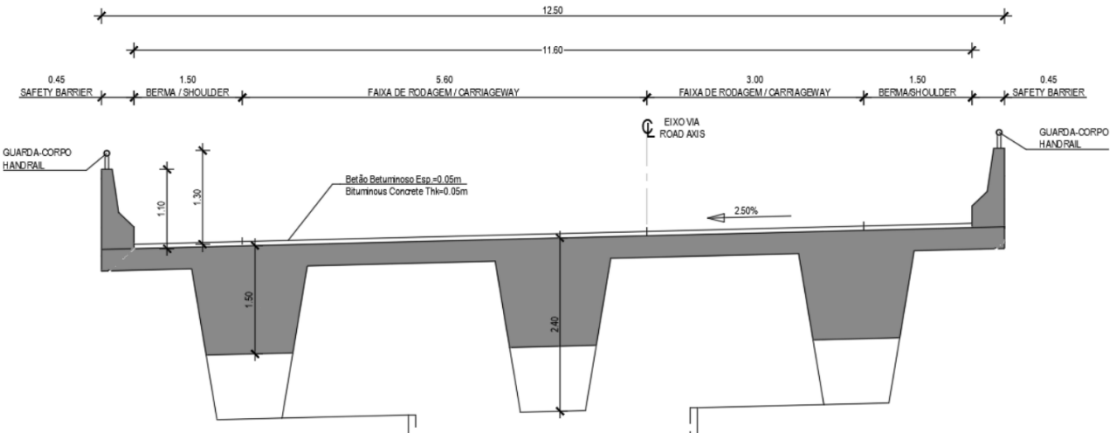


Figura 6.13 – Ponte sobre o Rio covas. Secção transversal tipo.

Optou-se por uma solução de tabuleiro em betão armado "in situ", pré-esforçado na direção longitudinal. Dada o reduzido comprimento total, não são preconizadas diferentes fases de betonagem.

A seção adotada é do tipo laje nervurada composta por 3 nervuras trapezoidais com 1,50m de altura e ligadas por intermédio de uma laje de 0,30m de espessura e vão de 2,60m. Foram adotadas consolas com espessura constante de 0,30m e com 1,25m de vão.

Os eixos transversais da obra (Pilares e encontros) foram implantados segundo um viés de 100 grados em relação à plena via, por forma a ficarem sensivelmente paralelos às linhas de água e às curvas de nível do terreno natural.

Cada um dos 2 alinhamentos de pilares é formado por 1 fuste ligados monoliticamente ao tabuleiro. Os fustes têm secção quadrangular de 4,00x2.00m e apoiam em sapatas quadradas com 8,0m de lado e 2,50m de altura. Os pilares têm entre 21m a 23m de altura.

Na ligação do tabuleiro aos encontros foram adotados dois aparelhos de apoio metálicos do tipo "*pot bearing*" unidirecionais que permitem rotações e deslocamentos longitudinais. Foram também preconizados batentes laterais em chapas de neoprene com camadas de teflon que permitem o deslocamento longitudinal.

Tanto nos alinhamentos dos pilares como no alinhamento dos encontros, foram adotadas carlingas, de modo a assegurar uma melhor transmissão de cargas aos aparelhos e aos pilares.

Os encontros são do tipo perdidos com cerca de 7,0m de altura (Encontro E1) e 5,50m (Encontro E2), correspondendo a soluções tradicionais. Cada encontro possui uma viga de estribo com 2,4m de largura e altura mínima de 0,90m. Para conter os aterros laterais foram adotados tímpanos de altura variável.

A transição entre o aterro de aproximação e o tabuleiro é feita, conforme habitual, através de uma laje de transição enterrada a cerca de 1,00m de profundidade e com 0,30m de espessura e 5,00m de comprimento em toda a largura da plataforma rodoviária

6.6.3.3 EQUIPAMENTOS / ACABAMENTOS

Guarda-corpos

Adotam-se guarda-corpos metálicos sobre as guardas de segurança de acordo com a NP 4491:2009. A altura dos guarda-corpos possui uma altura de 1,10m.

Drenagem

O sistema de drenagem do tabuleiro rodoviário é constituído por sumidouros, sendo o caudal disperso em altura.

6.6.3.4 FASEAMENTO CONSTRUTIVO

Dada a geometria, vão e altura do tabuleiro, preconiza-se a respetiva construção através do recurso a cavalete apoiado no solo, com betonagem em numa única fase.

6.6.4 MATERIAIS

6.6.4.1 BETÃO

O betão é definido de acordo com as normas NP EN 1992-1-1:2010, NP EN 206-1:2007 e especificação LNEC E464:2007, para uma vida útil da estrutura de 100 anos.

6.6.4.1.1 CLASSES MÍNIMAS DE RESISTÊNCIA

Fundações e Encontros.....C30/37

Pilares e Capitéis.....C35/45

Tabuleiro – vigas e lajes.....C40/50

Tabuleiro – *barriers*.....C30/37

Betão de Regularização.....C12/15

6.6.4.1.2 CLASSES DE EXPOSIÇÃO / RECOBRIMENTOS NOMINAIS

Fundações e Encontros.....XC2 / 50 mm

Pilares e Capitéis.....XC4 / 50 mm

Tabuleiro – vigas e lajes.....XC4 / 50 mm

Tabuleiro – *barriers*.....XC4 / 50 mm

Betão de Regularização.....X0 / --

6.6.4.1.3 TEOR MÁXIMO DE CLORETOS / CLASSE DE CONSISTÊNCIA / DIÂMETRO MÁXIMO DO INERTE

Fundações.....Cl0.4 / ≥ S4 / Dmáx = 22 mm

Encontros e Pilares.....Cl0.4 / ≥ S3 / Dmáx = 22 mm

Tabuleiro.....Cl0.2 / ≥ S3 / Dmáx = 22 mm

6.6.4.1.4 CLASSE DE INSPEÇÃO

É especificada a Classe de Inspeção 3 segundo a norma NP EN 13670.

6.6.4.2 AÇO

Armaduras Passivas……A500 NR SD (E460-2010)

Armaduras de Pré-Esforço……fpk ≥ 1860 MPa; fp0.1k ≥1600 MPa

Guarda-corpos……S275 JR (EN 10027-1)

6.6.5 AÇÕES

6.6.5.1 AÇÕES PERMANENTES

6.6.5.1.1 PESO PRÓPRIO DO TRABALHO

Considerou-se um peso específico para o betão armado de 25 kN/m³.

6.6.5.1.2 RESTANTES CARGAS PERMANENTES

Consideraram-se os seguintes pesos para os restantes elementos.

- Peso específico do betão betuminoso: 24 kN/m³;
- Peso específico do betão leve no enchimento dos passeios: 18 kN/m³;
- Guarda de segurança metálica: 1,0 kN/m;
- Guarda-corpos: 1,0 kN/m.

Para efeitos de cálculo, não deverá ser adotado um valor inferior a 0,12m de espessura de betuminoso sobre as obras.

6.6.5.1.3 RETRAÇÃO E FLUÊNCIA

A quantificação da retração e da fluência foi realizada de acordo com o estipulado no Eurocódigo 2, tendo-se considerado os efeitos diferidos até um período de tempo de 10000 dias.

6.6.5.1.4 IMPULSOS DE TERRENO

Os impulsos atuantes nas estruturas de suporte de terras foram considerados consoante o estado limite em questão. Para a verificação dos estados limites de equilíbrio, deslizamento e derrubamento, utilizou-se o coeficiente de impulso ativo das terras no tardoz da estrutura, enquanto para o dimensionamento dos elementos de betão armado foi considerado o impulso em repouso de forma a garantir um adequado comportamento da estrutura de suporte.

Para o cálculo dos impulsos do terreno consideraram-se as seguintes características geotécnicas para o terreno no tardoz dos encontros:

- ϒ = 20kN/m³
- c' = 0kPa
- ϕ' = 30º

6.6.5.1.5 PRÉ-ESFORÇO PÓS TENSIONADO

A ação de pré-esforço é simulada pelo programa automático utilizado, fornecendo-se para tal a geometria dos cabos, a respetiva área, a tensão de puxe e os parâmetros para o cálculo das perdas.

A tensão de puxe toma o seguinte valor:

$$s_0 = 0.75 \times 1860 = 1395\ MPa$$

Admitiram-se as seguintes características para os cordões:

- Área de cada cordão: 1,40 cm²
- fpuk = 1860 MPa
- fp0.1K = 1680 MPa (Valor característico da tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,1%)

Relativamente às perdas, todas as perdas, quer instantâneas quer diferidas, são processadas internamente pelo programa. Considerou-se para o coeficiente de atrito nas bainhas de 0,20 (), um desvio angular parasita de 0,001/m (k).

As perdas por atrito resultam da seguinte expressão

$$P(x) = P_{max} \cdot \left(1 - e^{-\mu \cdot (\theta + k \cdot x)}\right)$$

Em que:

- Px – PE após perdas por atrito;
- m - Coeficiente de atrito;
- k – desvio angular parasita;
- j - Somatório dos desvios angulares.

Quanto à reentrada de cunhas nos cabos pós-tensionados considerou-se 6 mm.

6.6.5.2 AÇÕES VARIÁVEIS

6.6.5.2.1 TEMPERATURA

Variação Uniforme de Temperatura

Esta ação foi simulada com uma variação uniforme da temperatura, conforme definido no Anexo Nacional da NP EN1991-1-5.

Simplificadamente foi utilizado para T0 o valor de 15ºC. As temperaturas máximas e mínimas consideradas foram as seguintes:

Tmáx = 45ºC (Zona A)

Tmin = -5ºC (Zona A)

Resultam assim variações de temperatura de -20ºC e 30ºC.

Como se trata de uma ação lenta, o módulo de elasticidade dos materiais do modelo de cálculo foi dividido por 2, para o cálculo dos esforços.

Variação Diferencial da Temperatura

A variação diferencial da temperatura foi definida conforme o Anexo Nacional da NP EN1991-1-5.

Para tabuleiros de betão em laje vigada (tipo 3) e com um revestimento de betuminoso com 0,07m de espessura temos:

$\Delta T_{M,heat} = 15ºC$

$\Delta T_{M,cool} = 5ºC$

Para os pilares considerou-se uma variação diferencial linear de temperatura entre as faces exteriores opostas de 5ºC.

Simultaneidade das Componentes da Variação Uniforme e Diferencial da Temperatura

Para considerar a combinação das ações correspondentes às variações uniforme e diferencial de temperatura deve adotar-se as seguintes combinações:

$\Delta T_d + \omega_N . \Delta T_u$

$\omega_M . \Delta T_d + \Delta T_u$

Em que:

$\omega_N = \omega_M = 0,80$

Os coeficientes de redução da variação de temperatura □0, □1, e □2 são, respetivamente: 0,6; 0,5 e 0,3.

6.6.5.2.2 SOBRECARGAS RODOVIÁRIAS

As ações das sobrecargas rodoviárias forma calculadas de acordo a EN1991-2:2003 – Secção 4.

O seguinte Quadro (EN1991-2) define as quantidades do número de vias dedicadas bem como a sua largura.

Largura da plataforma de rodagem w	Número de vias dedicadas	Largura de uma via dedicada w_l	Largura da área remanescente
$w < 5{,}4$ m	$n_1 = 1$	3 m	w - 3 m
5,4 m $\leq w < 6$ m	$n_1 = 2$	$\frac{w}{2}$	0
6 m $\leq w$	$n_1 = Int\left(\frac{w}{3}\right)$	3 m	$w - 3 \times n_1$
NOTA: Por exemplo, para uma plataforma de rodagem de largura igual a 11m, $n_1 = Int\left(\frac{w}{3}\right) = 3$, *e a largura da área remanescente é 11 - 3×3 = 2m.*			

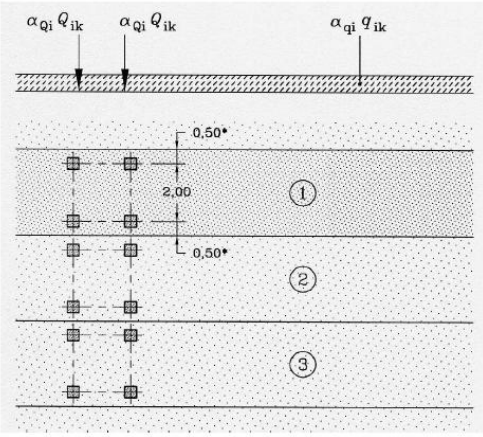
Figura 6.14 – Número e Largura das Vias Dedicadas.

Para as cargas verticais existem quatro possibilidades de modelos de carga: - MC1,MC2, MC3 e MC4.

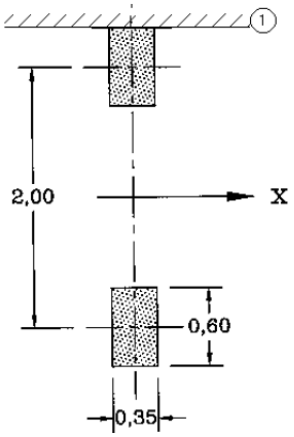
- **Modelo de Carga 1 (MC1)** – Cargas Concentradas e uniformemente distribuída, que cobrem a maior parte dos efeitos do trafico de camiões e carros.

Localização	Sistema em tandem *TS*	Sistema *UDL*
	Cargas por eixo Q_{ik} (kN)	q_{ik} (ou q_{rk}) (kN/m^2)
Via número 1	300	9
Via número 2	200	2,5
Via número 3	100	2,5
Outras vias	0	2,5
Área remanescente (q_{rk})	0	2,5

Figura 6.15 – Modelo de Carga 1: valores característicos.



- **Modelo de Carga 2 (MC2) –** Uma carga por eixo aplicada numa área de contacto específica. Que cobre os efeitos dinâmicas do tráfego em elementos estruturais curtos.



Legenda
X Direcção do eixo longitudinal da ponte
1 Lancil

- **Modelo de Carga 4 (MC4) -** O Modelo de Carga 4 deve ser aplicado de modo apropriado nos comprimentos e larguras do tabuleiro da ponte rodoviária, incluindo o separador central sempre que for relevante. Este sistema de carga, destinado a verificações gerais, deve ser apenas associado a uma situação de projeto transitória. O Modelo de carga deve ser representada por uma carga uniformemente distribuída (que inclua a amplificação dinâmica) igual a 5 kN/m^2.

A norma tem duas ações horizontais possíveis – Força de frenagem e arranque.

- **Força de frenagem –** Valor característico de Q_{1k}, limitado a 900 kN para o total comprimento da ponte, deve ser calculado como uma fração da carga máxima vertical do Modelo de Carga 1 segundo as seguintes expressões:

$$\boldsymbol{Q_{1k} = 0,6\alpha_{Q1}(2Q_{1k}) + 0.10\alpha_{q1}q_{1k}w_l L}$$

$$\boldsymbol{180\alpha_{Q1}(kN) \leq Q_{1k} \leq 900(kN)}$$

- **Força de arranque –** Igual à força de frenagem, mas na direção contraria.

Os coeficientes de redução da variação de temperatura ψ_0, ψ_1, e ψ_2 são, respetivamente: 0,6; 0,4 e 0,2.

6.6.5.3 Ação do Vento Sobre o Tabuleiro e Veículos

A ação do vento foi simulada através de forças estáticas aplicadas nos pilares e tabuleiro, de acordo com a NP EN1991-1-4.

Os coeficientes de redução da ação do vento 0, 1, e 2 são, respetivamente, 0,4, 0,2 e 0.

6.6.5.3.1 AÇÃO DA NEVE

Os valores característicos da carga de neve do solo (sk) são determinados por:

$$s_k = C_z\,[1+(H/500)^2], \text{ com}$$

Cz..... 0,30 (zona Z1)

H 200m

$$s_k = C_z\,[1+(H/500)^2] = 0{,}30\,[1+(200/500)^2] = 0{,}35 kN/m^2$$

Os coeficientes de redução da ação da neve $_0$, $_1$, e $_2$ são, respetivamente, 0,6, 0,3 e 0.

6.6.5.3.2 SOBRECARGAS EM ESTRUTURAS ENTERRADAS

Nas estruturas enterradas considerou-se uma sobrecarga rodoviária de 10kN/m².

6.6.5.3.3 AÇÃO SÍSMICA

A determinação dos esforços da ação sísmica é realizada através de uma análise dinâmica efetuada pelo programa de cálculo automático. Os valores das diferentes variáveis que entram no cálculo sísmico foram determinados de acordo com a norma NP EN 1998-1 e correspondente anexo nacional:

Zona Sísmica 1,6 e 2,5

Coef. Amortecimento: ζ = 5%

Classe de Importância: II

As ações sísmicas, aplicadas a cada direção individualmente, foram combinadas de acordo com as expressões do NP EN1998-1, de modo a obter uma envolvente da ação sísmica global. As expressões aplicadas foram as seguintes:

$$\pm S_1 \pm 0.3S_2 \pm 0.3S_3$$

$$\pm 0.3S_1 \pm S_2 \pm 0.3S_3$$

$$\pm 0.3S_1 \pm 0.3S_2 \pm S_3$$

Onde Si representa a ação sísmica nas direções longitudinal (S1), transversal (S2) e vertical (S3).

6.6.5.3.4 ATRITO NOS APARELHOS DE APOIO MÓVEIS

Nos apoios com aparelhos móveis, considera-se uma força horizontal de 5% das cargas verticais permanentes, aplicada na direção do deslocamento livre.

6.6.6 MODELOS DE CÁLCULO

Os cálculos foram executados com um programa de elementos finitos. Foram realizados modelos tridimensionais, bem como um modelo com elementos finitos de laje para análise transversal do tabuleiro.

O programa utiliza o método dos elementos finitos para a discretização da estrutura, sendo o cálculo estático realizado pela resolução do seguinte sistema de equações lineares:

$$KU = R$$

Sendo:

- K - matriz de rigidez
- U - vetor dos deslocamentos
- R - vetor das cargas

Os carregamentos relativos às ações permanentes e variáveis serão dados como cargas estáticas.

Para as sobrecargas rodoviárias serão calculadas as linhas de influência de esforços e reações, sendo depois colocadas as sobrecargas de forma a maximizar essas grandezas.

A análise dinâmica é feita através da resolução do seguinte sistema de equações de equilíbrio dinâmico, que relaciona o movimento do solo com a resposta da estrutura:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = M\ddot{u}_g$$

Sendo:

- M - matriz de massas
- C - matriz do amortecimento
- K - matriz de rigidez
- ű$_g$ - aceleração do solo
- ű, ú e u - aceleração, velocidade e deslocamento da estrutura, respetivamente

O referido programa resolve o sistema de equações utilizando o método da sobreposição dos modos para um espectro de resposta aproximado.

A curva de aceleração do solo é introduzida sob a forma de uma tabela que relaciona a aceleração espectral com o período. A excitação do solo pode ocorrer em três direções: duas no plano horizontal e perpendiculares entre si, e a terceira na vertical desse plano.

A determinação dos esforços e dos deslocamentos máximos é feita calculando as respostas modais associadas às direções principais de excitação e a resposta total, correspondente à soma das respostas associadas às três direções, por combinação quadrática.

6.6.7 CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

6.6.7.1 ESTADOS LIMITES DE ÚLTIMOS

A verificação aos Estados Limites Últimos de resistência é feita segundo as normas NP EN 1992 1 1, NP EN 1998-1 e EN 1998-2 verificando-se a combinação de que o esforço resistente da secção em estudo terá que ser maior que o esforço atuante de cálculo.

$$S_d \text{ £ } R_d$$

Sendo Sd e Rd respetivamente, os valores de cálculo do esforço atuante e do esforço resistente.

Os valores dos esforços atuantes de cálculo foram determinados a partir da combinação fundamental de ações adotando-se os coeficientes de segurança e os valores reduzidos das ações.

No cálculo dos esforços resistentes das secções de betão armado pré-esforçado adotaram-se as hipóteses correntes de não consideração da resistência à tração do betão e de conservação das secções planas.

No caso da Flexão, os diagramas de cálculo do betão e das armaduras consideraram-se limitados aos valores das extensões:

- Extensão de encurtamento do betão 0,35%

- Extensão de alongamento das armaduras 1,00%

6.6.7.1.1 COMBINAÇÕES FUNDAMENTAIS, EM GERAL

$$S_d = \sum_{j\geq 1} \mathrm{g_{G,j}} \cdot G_{k,j} + \mathrm{g_P} \cdot PE + \mathrm{g_{Q,1}} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \mathrm{g_{Q,i}} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Os coeficientes de segurança g_{gi} e g_q, respetivamente para ações permanentes e variáveis:

Peso próprio da estrutura ..... g_g = 1,35 ou 1,00

Pré-esforço ..... g_p = 1,00

Restantes cargas permanentes..... g_g = 1,50 ou 1,00

Ações variáveis..... g_q = 1,50 ou 0,00

Impulsos de terras..... g_g = 1,50 ou 1,00

Deverão ser considerados os valores de ϒ mais desfavoráveis à situação em estudo.

6.6.7.1.2 COMBINAÇÕES FUNDAMENTAIS, NO CASO DE A AÇÃO VARIÁVEL BASE SER A AÇÃO SÍSMICA

$$S_d = \sum_{j\geq 1} G_{k,j} + PE + S_E + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

6.6.7.1.3 COMBINAÇÕES ACIDENTAIS

$$S_d = \sum_{j\geq 1} G_{k,j} + PE + S_{Fa} + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

6.6.7.2 ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO

A verificação aos Estados Limites de utilização verifica-se quando:

$$E_d \text{ £ } C_d$$

Sendo Ed o valor de cálculo dos efeitos das ações especificada no critério de utilização e Cd o valor de cálculo correspondente ao valor limite estabelecido no critério de utilização

Foram consideradas as seguintes combinações para as verificações de segurança em relação aos Estados Limites de Utilização:

Combinação característica de ações:

$$S_d = \sum_{j\geq 1} G_{k,j} + PE + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Combinação frequente de ações:

$$S_d = \sum_{j\geq 1} G_{k,j} + PE + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Combinação quase-permanente de ações:

$$S_d = \sum_{j\geq 1} G_{k,j} + PE + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

6.6.7.2.1 ESTADOS LIMITE DE ABERTURA DE FENDAS

Para elementos pré-esforçados, a abertura de fendas está verificada para a combinação frequente.

Combinação frequente para o tabuleiro:

$$\textit{Base Sc:}\ \mathbf{M_{CP} + 0{,}4\ M_{SC} + 0{,}3\ M_{\Delta T} + 0{,}4\ M_{SC\ passeios}}$$

$$\textit{Base Temp:}\ \mathbf{M_{CP} + 0{,}2\ M_{SC} + 0{,}5\ M_{\Delta T}}$$

Para elementos de betão armado, as larguras máximas de fendas são limitadas a 0,3 mm, para uma combinação quase permanente.

Para os elementos em betão armado, a verificação é feita para a seguinte combinação:

$$\mathbf{M_{CP} + 0{,}2\ M_{SC} + 0{,}3\ M_{\Delta T}}$$

Em que:

- M_{CP}- Momentos fletores devidos às cargas permanentes;
- M_{SC}- Momentos fletores devidos às sobrecargas devidas às sobrecargas rodoviárias regulamentares. Valor correspondente a combinação envolvente considerando também a situação de ação nula;
- $M_{\Delta T}$- Momentos fletores devidos ao gradiente térmico linear positivo e negativo entre as faces superior e inferior. Valor correspondente a combinação envolvente considerando também a situação de ação nula;

6.6.7.2.2 VERIFICAÇÃO DA TENSÃO DE COMPRESSÃO MÁXIMA NO BETÃO

A verificação da segurança relativamente a este estado limite estará satisfeita se, para uma combinação característica de ações, a tensão de compressão na secção em estudo não exceder 80% do valor característico da tensão de rotura do betão à compressão, fck.

A verificação deste estado limite é feita para a seguinte combinação:

$$\mathbf{M_{CP} + M_{PRE} + M_{SC} + 0{,}6\ M_{\Delta T}}$$

Em que:

- MCP- Momentos fletores devidos às cargas permanentes;
- MPRE- Momentos fletores devido ao pré-esforço (resultantes da excentricidade cabo e efeitos hiperestáticos);
- MSC- Momentos fletores devidos às sobrecargas devidas às sobrecargas rodoviárias regulamentares. Valor correspondente a combinação envolvente considerando também a situação de ação nula;

- MDT - Momentos fletores devidos ao gradiente térmico linear positivo e negativo entre as faces superior e inferior. Valor correspondente a combinação envolvente considerando também a situação de ação nula;

Será, ainda, limitada a tensão de compressão máxima no betão, resultante da força de pré-esforço e de outras ações que atuam no momento da aplicação do pré-esforço, ao valor de 0,6 fck(t). Para além disso, limita-se o valor da tensão para a combinação quase permanente a 0,45 fck(t), de modo a manterem-se válidos os modelos lineares de fluência utilizados.

6.6.7.2.3 ESTADO LIMITE DE DESCOMPRESSÃO

A segurança relativamente a este estado limite considera-se satisfeita pela não existência de tensões de tração em qualquer secção da estrutura para uma combinação quase permanente de ações, considerando a estrutura em contacto com um ambiente moderadamente agressivo.

A determinação das tensões necessárias à verificação deste estado limite foi feita considerando as secções homogeneizadas em fase não fendilhada.

A verificação deste estado limite é feita para a seguinte combinação:

$$\mathbf{M_{CP} + M_{PRE} + 0{,}2\ M_{SC} + 0{,}3\ M_{\Delta T}}$$

Em que:

- MCP- Momentos fletores devidos às cargas permanentes;
- MPRE- Momentos fletores devido ao pré-esforço (resultantes da excentricidade do cabo e efeitos hiperestáticos);
- MSC- Momentos fletores devidos às sobrecargas devidas às sobrecargas rodoviárias regulamentares. Valor correspondente a combinação envolvente considerando também a situação de ação nula;
- MDT- Momentos fletores devidos ao gradiente térmico linear positivo e negativo entre as faces superior e inferior. Valor correspondente a combinação envolvente considerando também a situação de ação nula;

6.6.7.2.4 ESTADO LIMITE DE DEFORMAÇÃO

A verificação da segurança em relação a este estado limite foi efetuada considerando o comportamento elástico dos materiais e admitindo as secções não fissuradas. É verificado o limite máximo de L/750, sendo que para as sobrecargas rodoviárias esse limite é L/1000.

A verificação deste estado limite é feita para a combinação quase-permanente:

$$\mathbf{M_{CP} + M_{PRE} + 0{,}2\ M_{SC} + 0{,}3\ M_{\Delta T} + 0{,}2\ M_{SC\ passeios}}$$

6.7 INSTALAÇÕES AUXILIARES DE SUPERFÍCIE

O complexo mineiro foi concebido para reduzir a pegada ecológica do Projeto, separando-as áreas industriais das instalações sociais e concentrando ao máximo todas as instalações. O masterplan do complexo mineiro encontra-se no Anexo VI.2.

Os edifícios sociais foram posicionados fora da linha de dispersão de partículas e de ruído gerados pela operação, e a ocupação do espaço evitou os habitats identificados no local.

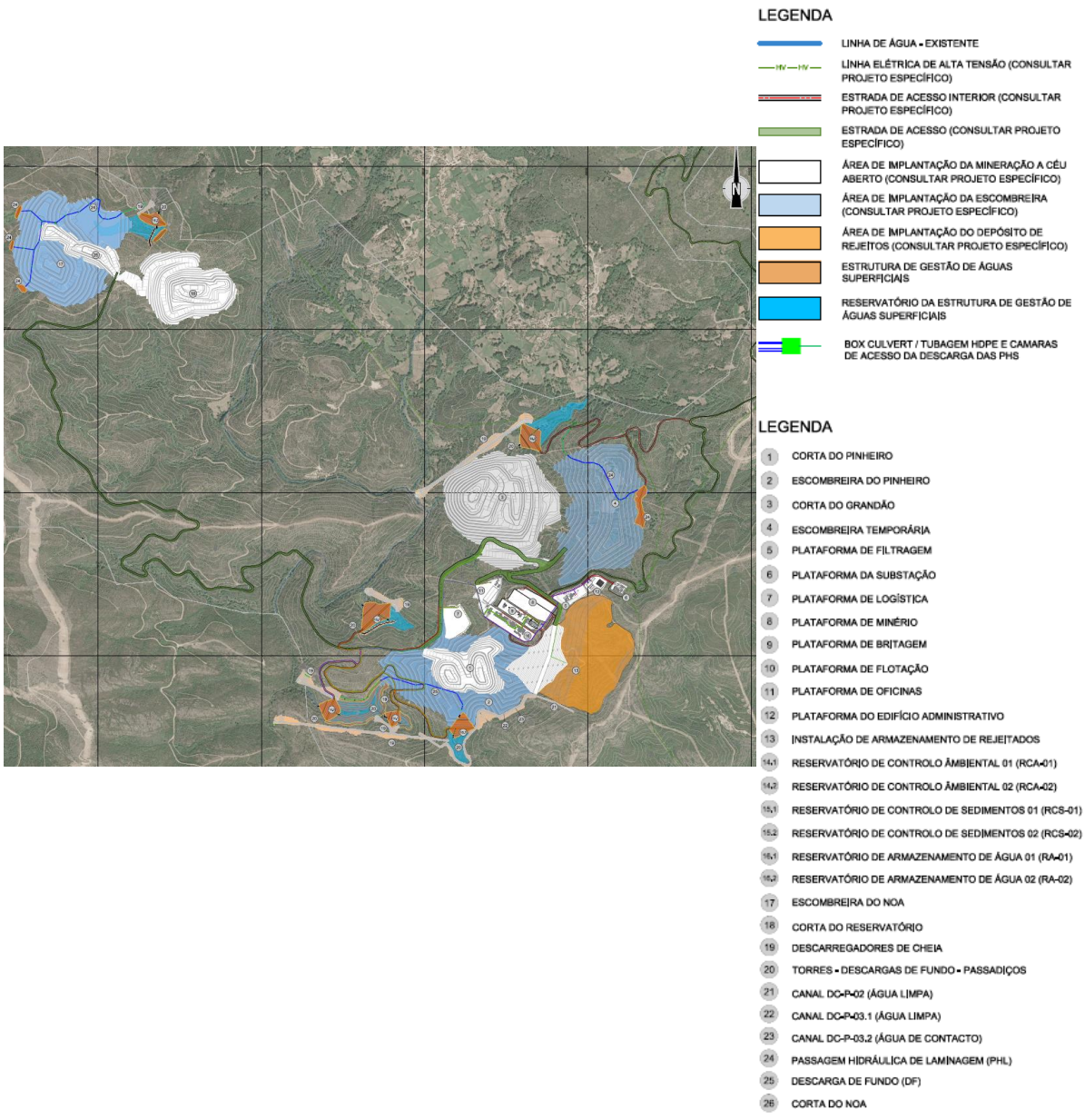


Figura 6.16 – Complexo Mineiro.

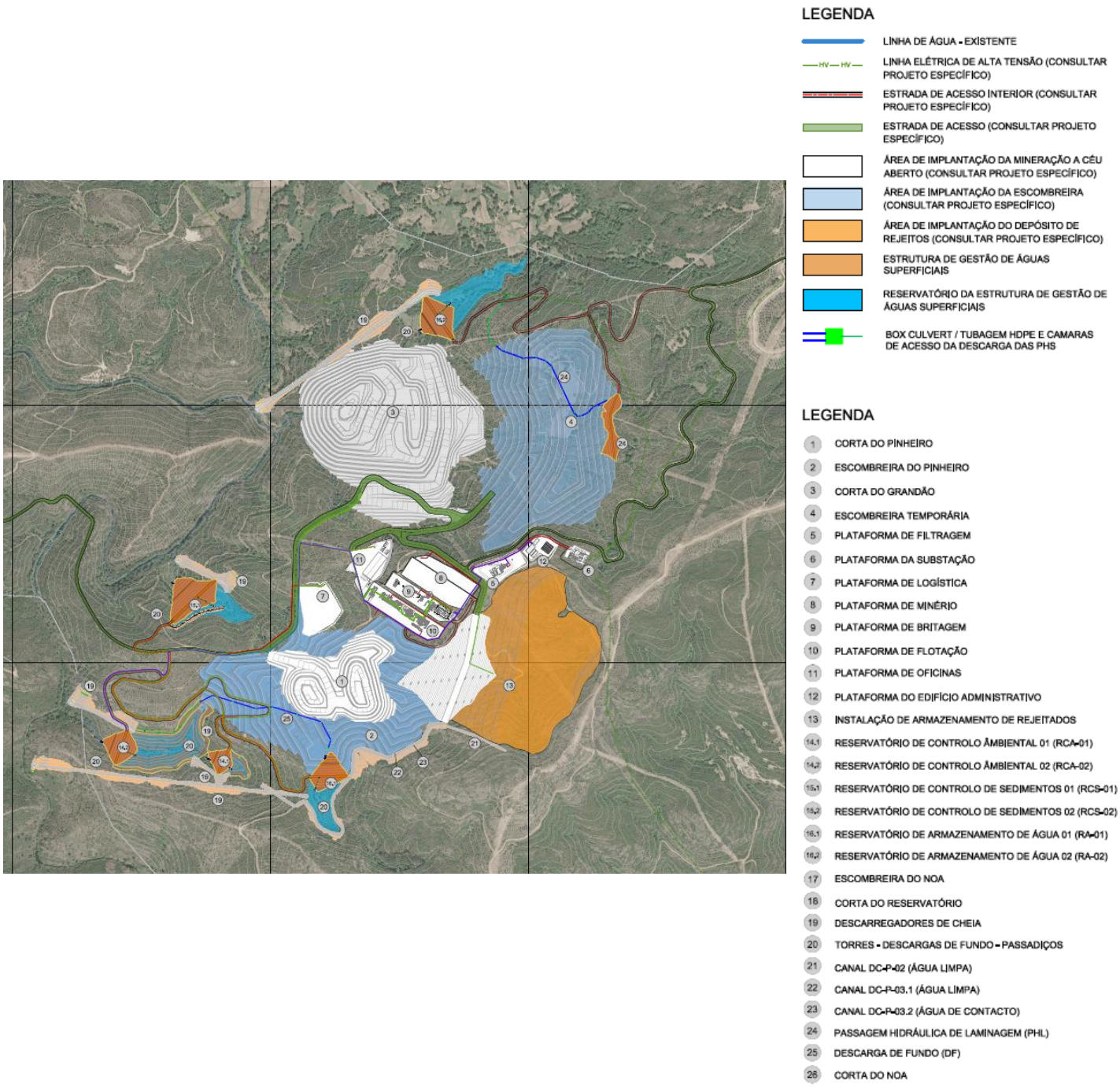
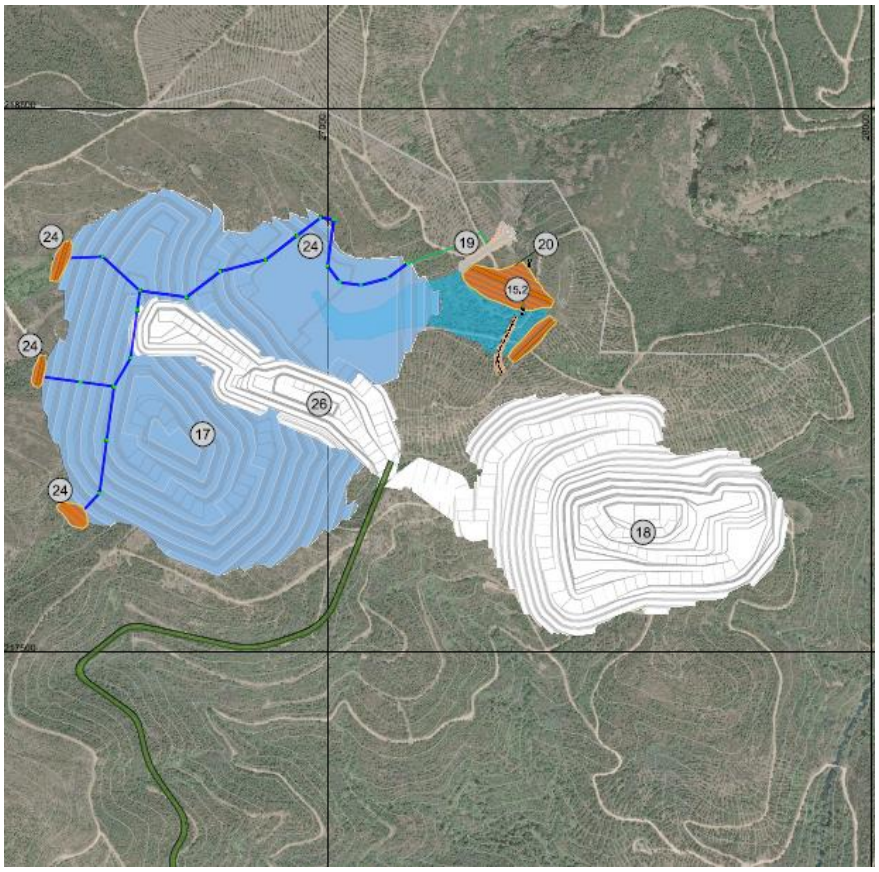


Figura 6.17 – Complexo Mineiro – PNR e GRA



LEGENDA

- LINHA DE ÁGUA - EXISTENTE
- HV — HV — LINHA ELÉTRICA DE ALTA TENSÃO (CONSULTAR PROJETO ESPECÍFICO)
- ESTRADA DE ACESSO INTERIOR (CONSULTAR PROJETO ESPECÍFICO)
- ESTRADA DE ACESSO (CONSULTAR PROJETO ESPECÍFICO)
- ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DA MINERAÇÃO A CÉU ABERTO (CONSULTAR PROJETO ESPECÍFICO)
- ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DA ESCOMBREIRA (CONSULTAR PROJETO ESPECÍFICO)
- ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DO DEPÓSITO DE REJEITOS (CONSULTAR PROJETO ESPECÍFICO)
- ESTRUTURA DE GESTÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS
- RESERVATÓRIO DA ESTRUTURA DE GESTÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS
- BOX CULVERT / TUBAGEM HDPE E CAMARAS DE ACESSO DA DESCARGA DAS PHS

LEGENDA

1. CORTA DO PINHEIRO
2. ESCOMBREIRA DO PINHEIRO
3. CORTA DO GRANDÃO
4. ESCOMBREIRA TEMPORÁRIA
5. PLATAFORMA DE FILTRAGEM
6. PLATAFORMA DA SUBSTAÇÃO
7. PLATAFORMA DE LOGÍSTICA
8. PLATAFORMA DE MINÉRIO
9. PLATAFORMA DE BRITAGEM
10. PLATAFORMA DE FLOTAÇÃO
11. PLATAFORMA DE OFICINAS
12. PLATAFORMA DO EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO
13. INSTALAÇÃO DE ARMAZENAMENTO DE REJEITADOS
14.1 RESERVATÓRIO DE CONTROLO AMBIENTAL 01 (RCA-01)
14.2 RESERVATÓRIO DE CONTROLO AMBIENTAL 02 (RCA-02)
15.1 RESERVATÓRIO DE CONTROLO DE SEDIMENTOS 01 (RCS-01)
15.2 RESERVATÓRIO DE CONTROLO DE SEDIMENTOS 02 (RCS-02)
16.1 RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA 01 (RA-01)
16.2 RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA 02 (RA-02)
17. ESCOMBREIRA DO NOA
18. CORTA DO RESERVATÓRIO
19. DESCARREGADORES DE CHEIA
20. TORRES - DESCARGAS DE FUNDO - PASSADIÇOS
21. CANAL DC-P-02 (ÁGUA LIMPA)
22. CANAL DC-P-03.1 (ÁGUA LIMPA)
23. CANAL DC-P-03.2 (ÁGUA DE CONTACTO)
24. PASSAGEM HIDRÁULICA DE LAMINAGEM (PHL)
25. DESCARGA DE FUNDO (DF)
26. CORTA DO NOA

Figura 6.18 – Complexo Mineiro - Detalhe NOA e RES

As infraestruturas de apoio à operação organizam-se nos edifícios indicados no quadro seguinte. Todos são abastecidos de eletricidade e água a partir das redes do projeto e encaminham os seus efluentes para as estações de tratamento do projeto.

Tabela 6.9 – Infraestruturas Auxiliares.

Edifício	Área(m²)	Função principal
Escritórios	693	Gestão, serviços técnicos, SST e pessoal administrativo
Laboratórios	576	Preparação e análise de amostras
Balneários e Refeitório	312,5	Apoio diário ao pessoal operacional e técnico-operacional
Armazém	525	Armazenamento de materiais, junto ao núcleo administrativo
Oficina de Movimentação de Terras	4 000	Manutenção, reparação e lavagem do equipamento móvel pesado
Oficina e Armazém da Lavaria	1 225	Manutenção mecânica da lavaria e armazenamento de materiais

6.7.1 INSTALAÇÕES ADMINISTRATIVAS E TÉCNICAS

6.7.1.1 EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO

O edifício administrativo acolhe as equipas de gestão, processamento, serviços técnicos, SST e pessoal administrativo, permitindo planear e controlar a operação. É também o local onde fica centralizada toda a informação digital do projeto. Os desenhos dos edifícios (arquitetura, estruturas, ventilação, etc.) encontram-se no Anexo VI.3.

O núcleo administrativo é composto por dois edifícios, os Escritórios e os Laboratórios, ligados entre si por um coberto exterior.

O edifício de Escritórios tem cerca de 693 m². Organiza-se em torno de um open *space* central, complementado por 16 gabinetes individuais, 4 salas de reuniões e espaços de formação para induções, sessões de segurança e coordenação de empreiteiros. Inclui ainda receção com funções de segurança e controlo de visitantes, refeitório, instalações sanitárias para ambos os sexos e as infraestruturas de TI e comunicações do local.

Os Laboratórios ocupam cerca de 576 m² e dispõem de vários gabinetes para preparação e análise de amostras, copa e instalações sanitárias de apoio.

O edifício é concebido para assegurar eficiência energética, conforto térmico e conformidade com as normas de construção portuguesas, e prevê capacidade de expansão futura à medida que as necessidades de pessoal evoluírem.

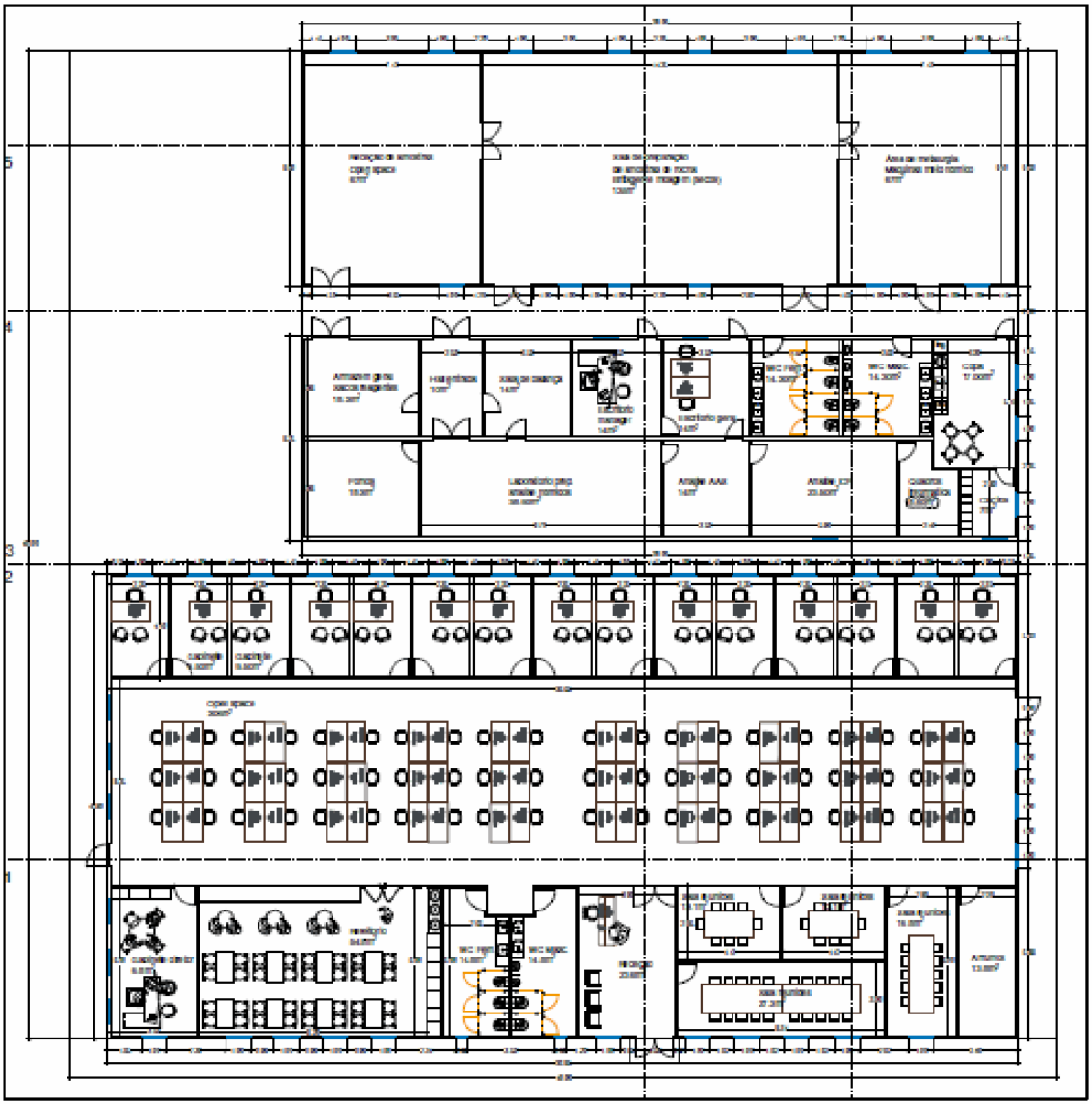


Figura 6.19 – Planta dos Escritórios e Laboratórios.

6.7.1.1.1 LOCALIZAÇÃO

O edifício administrativo localiza-se à entrada do empreendimento, entre a Escombreira do Grandão, a norte, e a Instalação de Resíduos, a sul, a nordeste da plataforma do Edifício de Filtragem e a oeste da Subestação Elétrica. Esta posição facilita o controlo de visitantes e reduz a interação entre veículos ligeiros e o tráfego operacional da instalação. Uma via interna liga-o às restantes infraestruturas, incluindo o Acesso Norte à mina.

6.7.1.1.2 SOLUÇÃO CONSTRUTIVA

A plataforma do edifício administrativo fica à cota 670 m e ocupa cerca de 7 000 m². É executada em escavação, ficando abaixo da topografia natural do terreno, com quatro taludes: a este com cerca de 65°, a oeste com cerca de 73°, a norte com cerca de 73° e a sul com cerca de 65°.

Os edifícios são constituídos por contentores metálicos pré-fabricados, elevados do solo e fundados sobre uma laje de betão com cerca de 0,15 m de espessura. Ambos são abastecidos de eletricidade e água a partir das redes do projeto. Os efluentes domésticos e laboratoriais são recolhidos em fossas estanques e encaminhados para as estações de tratamento do projeto.

A via de acesso tem uma camada de desgaste com 100 mm de espessura sobre sub-base compactada com 250 mm.

6.7.1.2 EDIFÍCIO DE APOIO (REFEITÓRIO, BALNEÁRIOS E INSTALAÇÕES SANITÁRIAS)

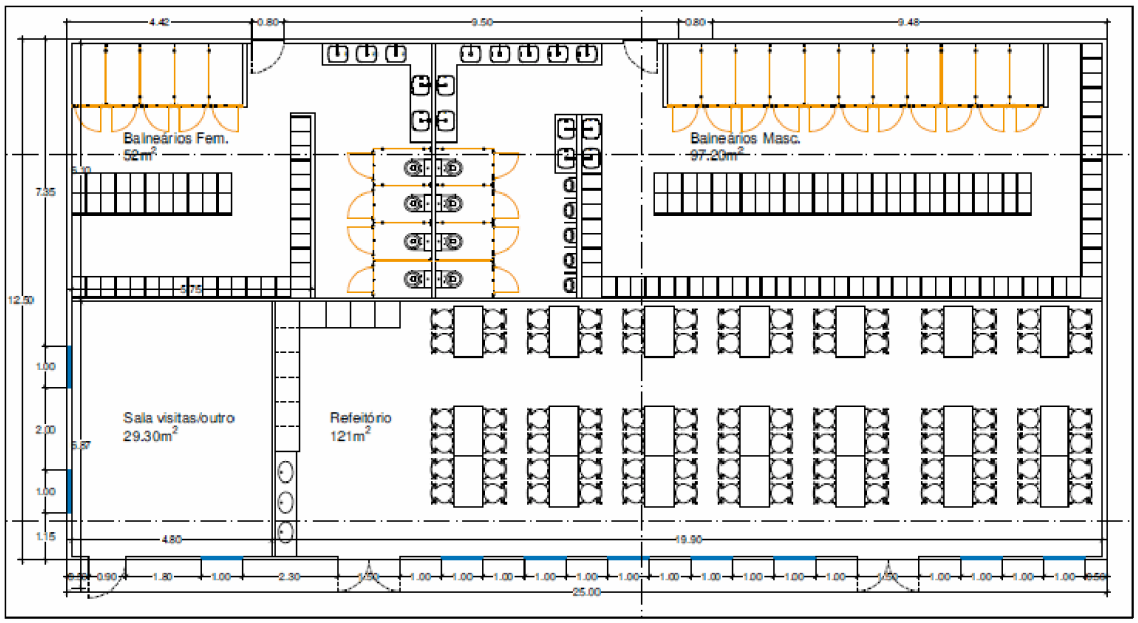


Figura 6.20 – Planta das Instalações Sociais - Balneários e Refeitório.

6.7.1.2.1 LOCALIZAÇÃO

O edifício de apoio localiza-se na mesma área da oficina, junto à lavaria, cerca de 100 m a oeste, numa zona mais plana.

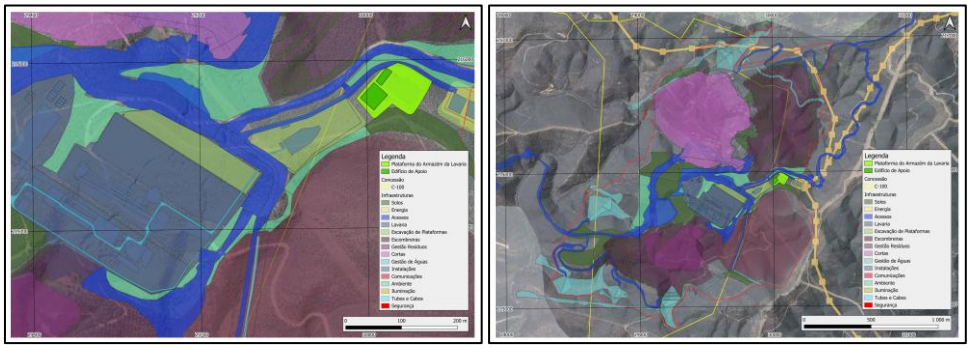


Figura 6.21 – Localização do Edifício de Apoio.

6.7.1.2.2 SOLUÇÃO CONSTRUTIVA

Para a plataforma de implantação foram considerados taludes nominais com inclinação de 1V:3H em aterro e 1V:0,5H em escavação. O acabamento superficial da plataforma prevê uma camada de desgaste com 150 mm de espessura.

A estrutura do edifício, em betão, metálica ou mista, é sempre pré-fabricada. Esta opção simplifica as fundações e facilita o desmantelamento no encerramento da mina. As fundações são diretas em rocha, com pilares e placas de betão nas áreas de circulação de veículos ou em zonas onde o terreno revele fragilidades.

O edifício é abastecido de eletricidade e água a partir das redes do projeto. Os efluentes domésticos são recolhidos em fossas estanques e encaminhados para as estações de tratamento do projeto.

No que diz respeito à tipologia estrutural dos edifícios, quer seja em betão, metálica ou mista, será sempre do tipo pré-fabricada, simplificando a tipologia das fundações, e permitindo um processo de desmantelamento mais simplificado, mantendo todas as necessidades estruturais de cada edifico. A solução de fundação prevista é constituída por fundações diretas em rocha, conforme o projeto de estruturas. As condições do terreno de fundação serão verificadas antes da execução. Caso sejam identificadas condições diferentes das consideradas no projeto, o projetista definirá as medidas de tratamento ou adaptação necessárias.

6.7.1.3 ARMAZÉM

O armazém assegura o armazenamento dos materiais necessários a todas as operações da unidade de processamento e das infraestruturas não processuais (NPI). Está dimensionado para manter níveis de stock adequados a uma operação remota, garantindo a continuidade da produção e minimizando paragens por atrasos de fornecimento. A proximidade à oficina otimiza a logística de manutenção e reduz a circulação interna de veículos.

O armazém dispõe de:

- estantes e prateleiras para peças sobresselentes críticas, consumíveis, EPI e materiais operacionais;
- armazenamento seguro para itens de elevado valor, componentes elétricos e materiais sujeitos a controlo;
- zona de receção e expedição com acesso para empilhadores e área de carga protegida das condições meteorológicas;
- áreas exteriores de armazenamento para componentes de grandes dimensões ou com prazos de entrega longos, como bombas, motores e elementos estruturais.

Os sistemas de proteção contra incêndios, controlo de derrames e salvaguardas ambientais cumprem a legislação portuguesa e europeia.

6.7.1.3.1 LOCALIZAÇÃO

O armazém partilha a plataforma do núcleo administrativo, à cota 670 m e com cerca de 7 000 m². Uma via interna liga-o às restantes infraestruturas, incluindo o Acesso Norte à mina.

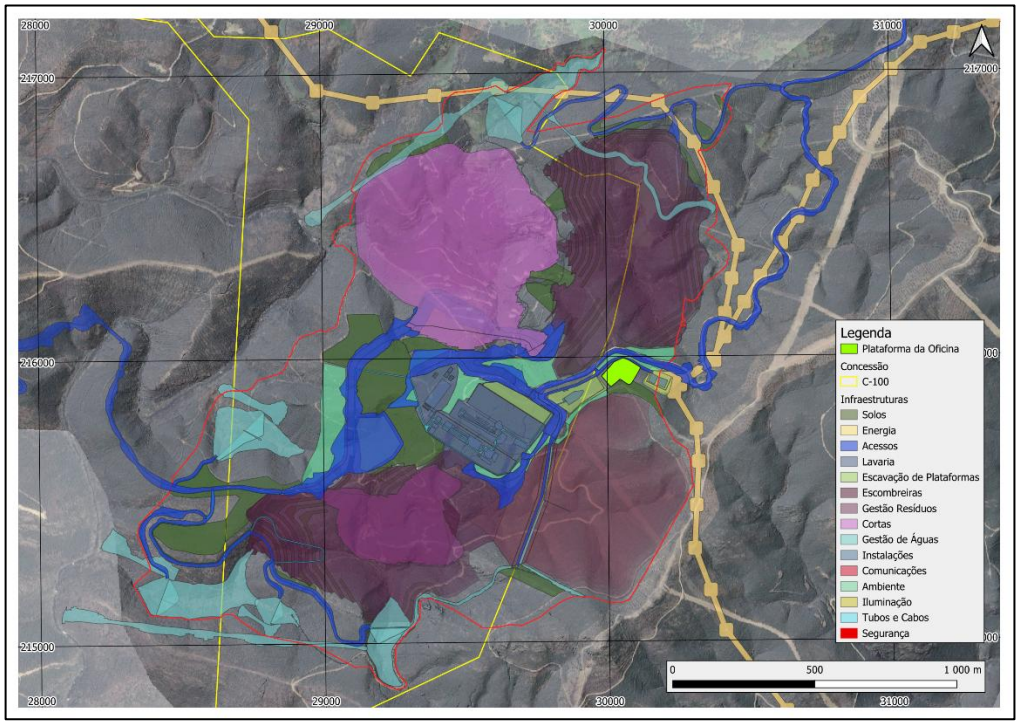


Figura 6.22 – Localização da plataforma do Armazém.

6.7.1.3.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS / ARQUITETÓNICAS

O edifício do armazém tem 35 × 15 m em planta e 6 m de altura, com cobertura de duas águas e altura máxima de 6,7 m.

O acesso principal à plataforma e à área do armazém faz-se pela face norte, onde será instalada uma vedação metálica com portões de acesso, com cerca de 45 m de extensão e 2,5 m de altura. Por corresponder ao acesso principal, este troço é metálico, por razões de controlo de acessos e de segurança.

Na restante extensão, a vedação da plataforma cumpre as especificações da DIA e é constituída por:

- **vedação principal** em rede com 1,80 m de altura acima do solo, fixa a postes de madeira com 10–12 cm de diâmetro, espaçados de 2,00 m e fundados em maciços de betão C12/15 com 0,85 m de profundidade;
- **rede complementar de malha fina (2 × 2 cm)**, sobreposta junto à base e do lado exterior da vedação principal, dobrada em "L" junto ao solo, com 0,50 m de altura e 0,50 m de base;
- **recobrimento da base da rede complementar com solo**, para impedir a passagem de animais por baixo da vedação. Apenas em zonas rochosas, onde o recobrimento com solo não seja possível, a base é fixada com betão pobre, garantindo a continuidade da barreira junto ao solo.

Não é utilizado arame farpado em nenhum ponto da vedação.

A integridade da vedação, em particular da rede complementar e do recobrimento da sua base, será verificada periodicamente durante a exploração e reparada sempre que necessário.

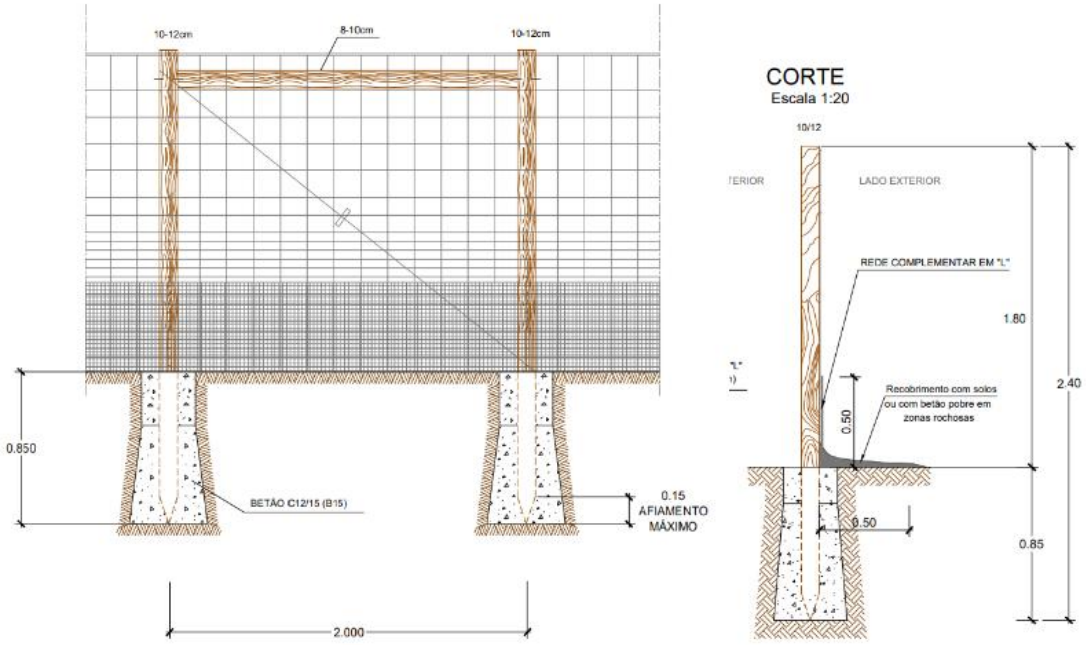


Figura 6.23 – Pormenor construtivo da vedação da plataforma e da área do armazém (alçado e corte, escala 1:20).

6.7.1.3.3 SOLUÇÃO CONSTRUTIVA

A plataforma do armazém é executada em escavação, ficando abaixo da topografia original. A estrutura do edifício é pré-fabricada, com fundações diretas em rocha, e pilares e placas de betão nas áreas de circulação de veículos ou em zonas onde o terreno revele fragilidades.

6.7.2 INSTALAÇÕES DE APOIO ÀS OPERAÇÕES MINEIRAS

6.7.2.1 OFICINA

A Oficina de Movimentação de Terras destina-se à manutenção, reparação e lavagem do equipamento móvel pesado utilizado na operação mineira, como dumpers, niveladoras, buldózeres e escavadoras giratórias. O edifício tem cerca de 4 000 m², com

uma planta de aproximadamente 100 × 40 m, e divide-se em duas zonas: a zona de manutenção e a zona de apoio.

A envolvente da oficina inclui uma área pavimentada e impermeabilizada para estacionamento de equipamentos e armazenamento de combustível e pneus. Na área de combustível serão instalados dois tanques para abastecimento da oficina. Existe ainda um armazém exterior de peças sobresselentes. No conjunto, a área da oficina ocupa cerca de 6 000 m².

A zona de manutenção ocupa cerca de 3 000 m² em espaço aberto, com laje de betão dimensionada para o peso dos equipamentos. Está organizada em três áreas de trabalho, cada uma com capacidade para três máquinas em simultâneo e espaço para a circulação de empilhadores e outros meios móveis:

- **ZM1** – manutenção (cerca de 975 m²);
- **ZM2** – manutenção e lavagem (cerca de 979 m²), com fossos de manutenção e ponte rolante;
- **ZM3** – manutenção e reparação (cerca de 971 m²), com fossos de manutenção e ponte rolante.

Os portões da zona de manutenção, com cerca de 8 × 8 m, permitem a entrada do maior equipamento de movimentação de terras previsto (CAT 777). O interior está dimensionado para se intervir na máquina com a caixa de carga levantada, a cerca de 10 m de altura, o que obriga a uma altura de edifício compatível com a instalação das pontes rolantes.

Os fossos de manutenção são estanques e estão dimensionados para vários níveis de trabalho, consoante a altura dos equipamentos. Qualquer derrame ou escorrência é recolhido e encaminhado para tratamento.

A zona de apoio (ZA), com cerca de 1 000 m², tem acesso direto à zona de manutenção e inclui área de soldadura com sistema de ventilação, armazém de peças e sobresselentes, oficina de geradores e compressores, gabinete e instalações sanitárias.

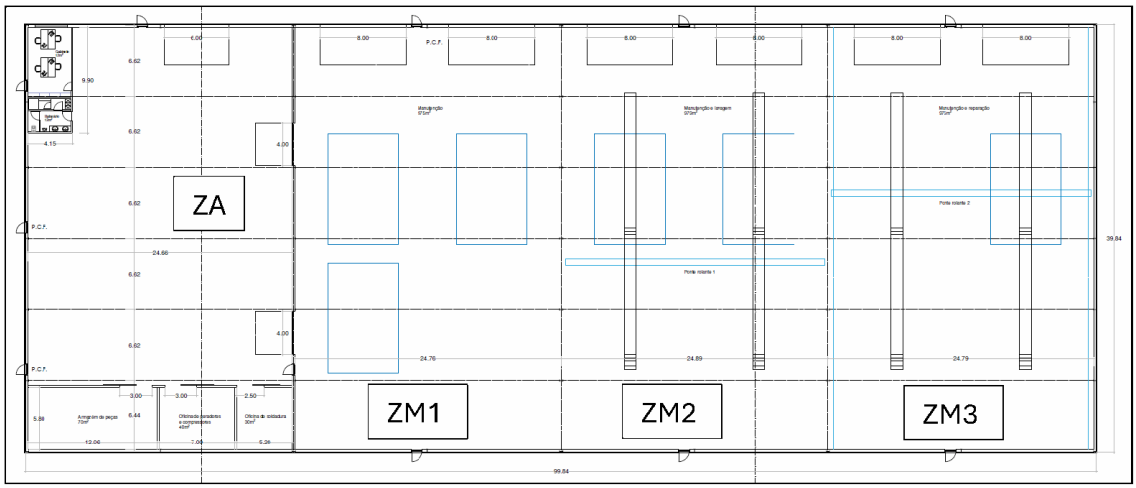


Figura 6.24 – Planta da Oficina de Movimentação de Terras.

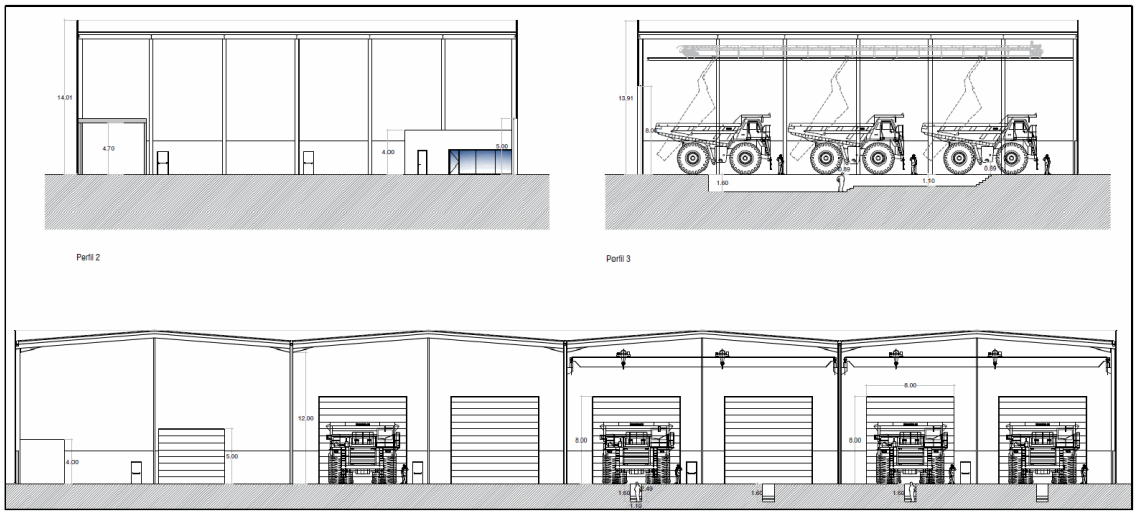


Figura 6.25 – Alçados da Oficina de Movimentação de Terras.

6.7.2.1.1 GESTÃO DE EFLUENTES E CONDICIONANTES AMBIENTAIS

O edifício é abastecido de eletricidade e água a partir das redes do projeto. Os efluentes domésticos e de lavagem de máquinas são recolhidos em fossas estanques e encaminhados para as estações de tratamento do projeto.

A oficina é uma área crítica quanto ao risco de contaminação. Por isso, foram adotados os seguintes critérios:

- rede de drenagem de águas sujas com separador de hidrocarbonetos, em local de fácil acesso para inspeção e limpeza, e encaminhamento para bacia de decantação (DIA 117);

- pavimentos impermeabilizados, sujeitos a inspeções periódicas, que evitam a infiltração para o solo (DIA 146 e 167);
- área selada e coberta para armazenamento temporário de solo ou material contaminado, protegida contra lixiviação e dispersão de partículas pelo vento (DIA 148);
- controlo de poluentes e procedimentos de segregação, avaliação e remediação do solo, integrados no programa de monitorização de solos durante a operação (DIA 167).

6.7.2.1.2 CONDICIONANTES GEOTÉCNICAS

De acordo com o estudo estrutural da Savannah, o maciço rochoso à superfície apresenta, no local da oficina, qualidade geomecânica moderada a boa. Foram identificadas apenas duas localizações pontuais com argilização e fracturação relativamente elevadas, pelo que as condições são, em geral, favoráveis à implantação e estabilidade da infraestrutura. O programa de prospeção geotécnica, com ensaios SPT e laboratoriais, permitirá caracterizar a escavabilidade, a qualidade do maciço em profundidade e as características do solo no local das fundações.

6.7.2.1.3 LOCALIZAÇÃO

A oficina localiza-se junto à lavaria, cerca de 100 m a oeste, numa zona mais plana. É acessível por oeste através das estradas internas e permanece segregada do tráfego pesado de exploração, garantindo acesso seguro a veículos ligeiros, pessoal de manutenção e entregas.

6.7.2.1.4 SOLUÇÃO CONSTRUTIVA

Para a plataforma foram considerados taludes nominais de 1V:3H em aterro e 1V:0,5H em escavação, com uma camada de desgaste de 150 mm sobre cada laje. As vias internas têm camada de desgaste com 100 mm sobre sub-base compactada com 250 mm, prevendo-se a utilização predominante de cascalhos e areias argilosas ou siltosas.

A estrutura do edifício é pré-fabricada, com fundações diretas em rocha, e pilares e placas de betão nas áreas de circulação de veículos ou em zonas onde o terreno revele fragilidades.

6.7.3 OFICINA E ARMAZÉM DA LAVARIA

A Oficina e Armazém da Lavaria reúne num só edifício a manutenção mecânica da unidade de processamento e das infraestruturas não processuais (NPI) e o armazenamento de materiais de apoio à lavaria. Integra o mesmo núcleo funcional de apoio que os escritórios e o laboratório.

O edifício tem cerca de 1 225 m², com uma planta de aproximadamente 35 × 35 m, e está organizado em três espaços.

A oficina ocupa cerca de 543 m² e destina-se à manutenção de bombas, motores e outro equipamento fixo da lavaria. Dispõe de:

- baías de manutenção fechadas, com laje de betão dimensionada para o peso dos equipamentos;
- ponte rolante de 10 t, para o manuseamento seguro de equipamentos em reconstruções e substituições;
- bancadas de trabalho, arrumação de ferramentas e sistemas de lubrificação para tarefas mecânicas, elétricas e de instrumentação;
- acesso para veículos pesados articulados;
- plataforma exterior pavimentada para armazenamento temporário de componentes a aguardar instalação ou recondicionamento.

O armazém ocupa cerca de 682 m² e dispõe de sistema de estantes para paletes.

Entre os dois espaços localizam-se a sala de compressores, a área de trabalhos elétricos e as instalações sanitárias. A oficina e o armazém têm cada um o seu gabinete de apoio. O edifício integra ventilação adequada, proteção contra incêndios, áreas de armazenamento de matérias perigosas e sistemas de gestão de resíduos, em conformidade com os requisitos europeus de segurança no trabalho e ambientais.

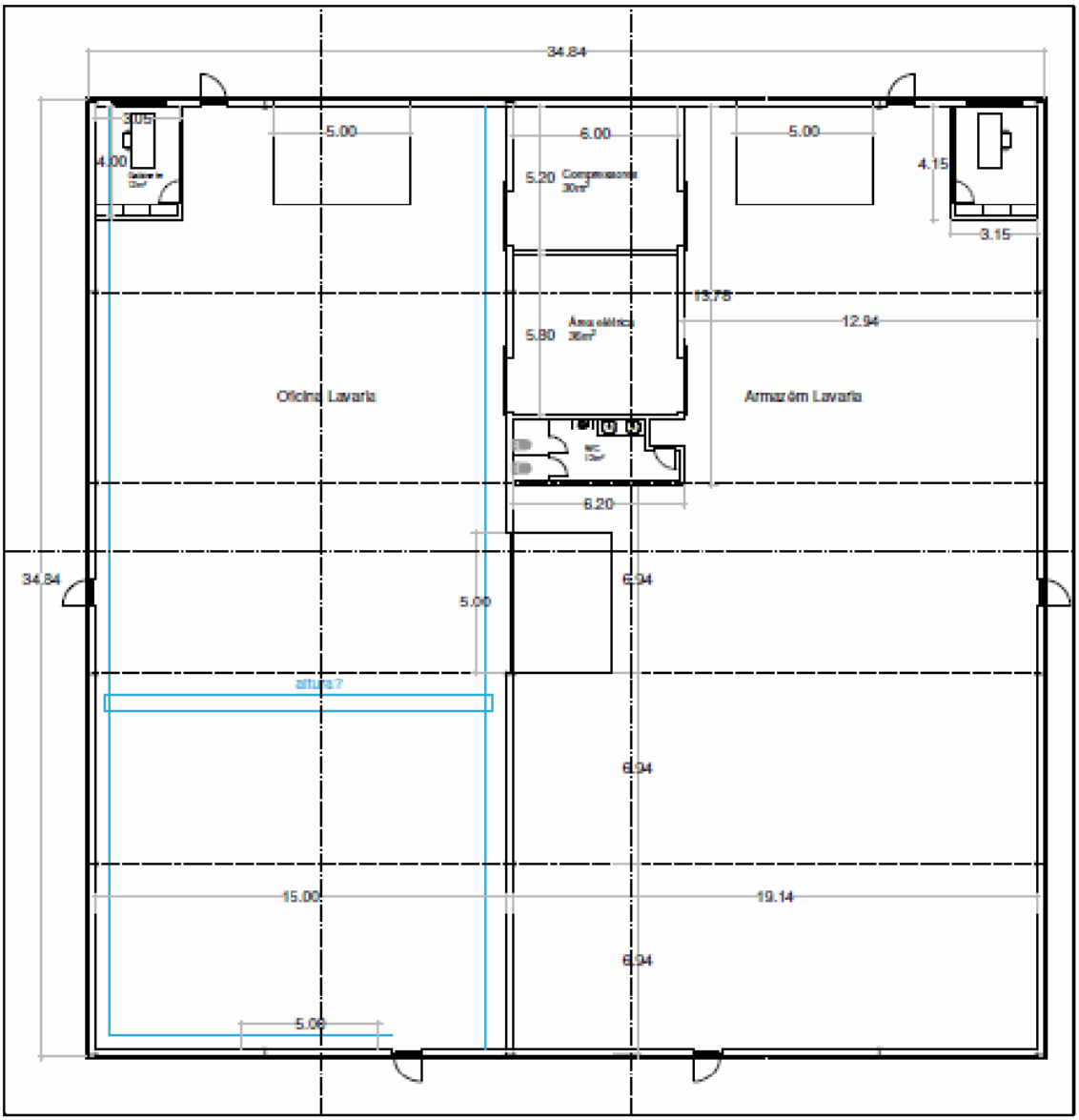


Figura 6.26 – Planta da Oficina e Armazém da Lavaria.

6.7.3.1 LOCALIZAÇÃO

O edifício integra o conjunto de apoios previstos no perímetro da mina associado à lavaria, numa plataforma à cota 615 m.

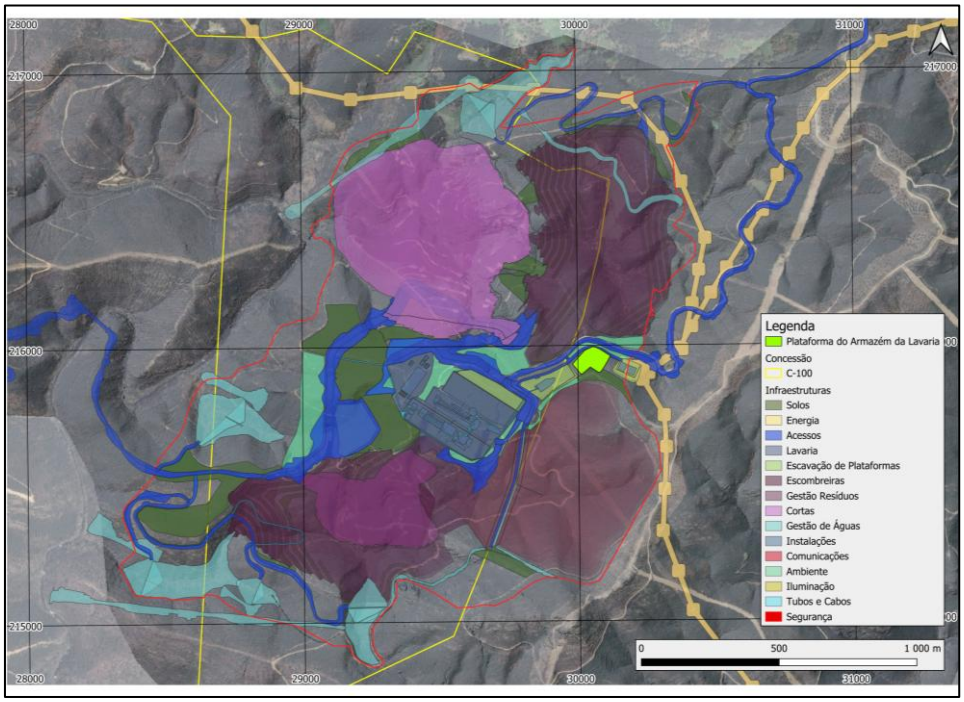


Figura 6.27 – Localização do Armazém da Lavaria.

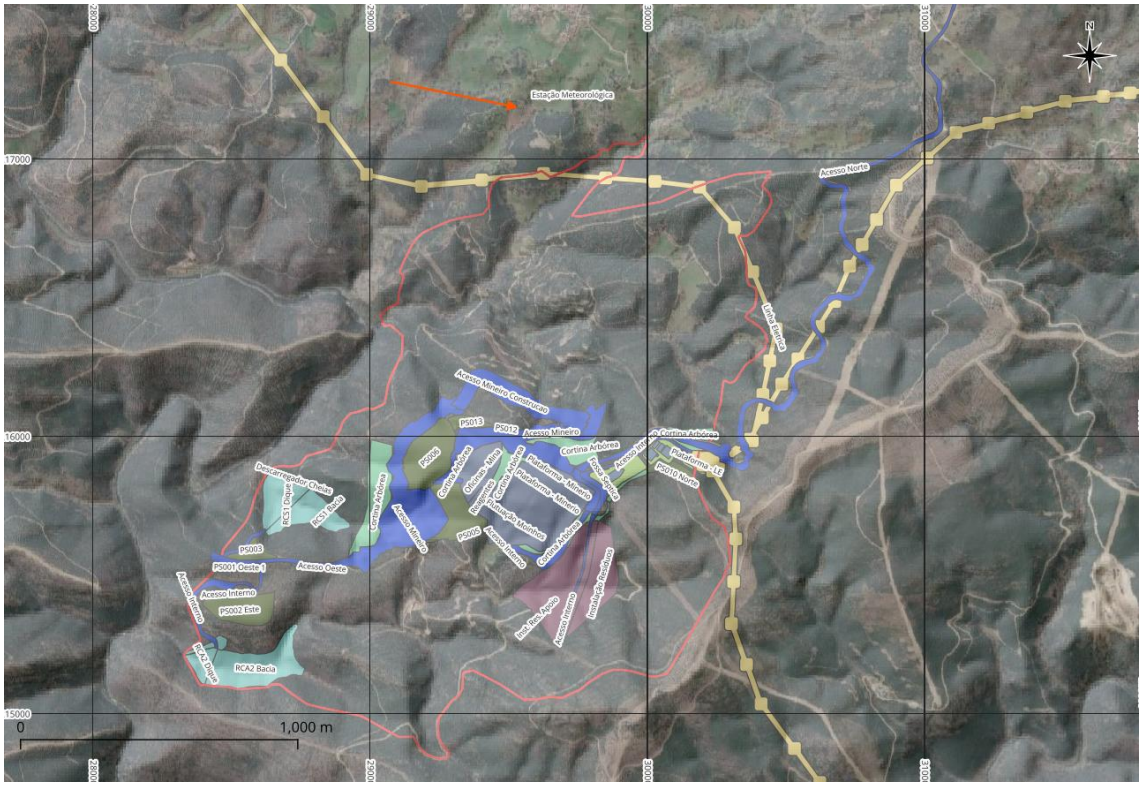
6.7.3.2 SOLUÇÃO CONSTRUTIVA

O edifício é constituído por fundações e por uma estrutura metálica montada em obra. É abastecido de eletricidade e água a partir das redes do projeto. Os efluentes domésticos e das operações de oficina são recolhidos em fossas estanques e encaminhados para as estações de tratamento do projeto.

6.7.4 OUTRAS INSTALAÇÕES OU INSTALAÇÕES DE MONITORIZAÇÃO

6.7.4.1 ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA

O projeto inclui a instalação e gestão de uma estação climatológica associada exclusivamente ao projeto, destinada a apoiar os resultados do programa de monitorização dos recursos hídricos, entre outras funções. A estação registará, com periodicidade horária, a precipitação, a temperatura do ar, a humidade relativa do ar e o vento (intensidade e direção). A operação da estação incluirá procedimentos de manutenção, calibração, validação e conservação dos registos.


Estação Meteorológica
Acesso Norte
Acesso Mineiro Construído
PS013
PS012
Acesso Mineiro
Cortina Arbórea
Pilha Estéril
Pilha Estéril
Pilha Estéril

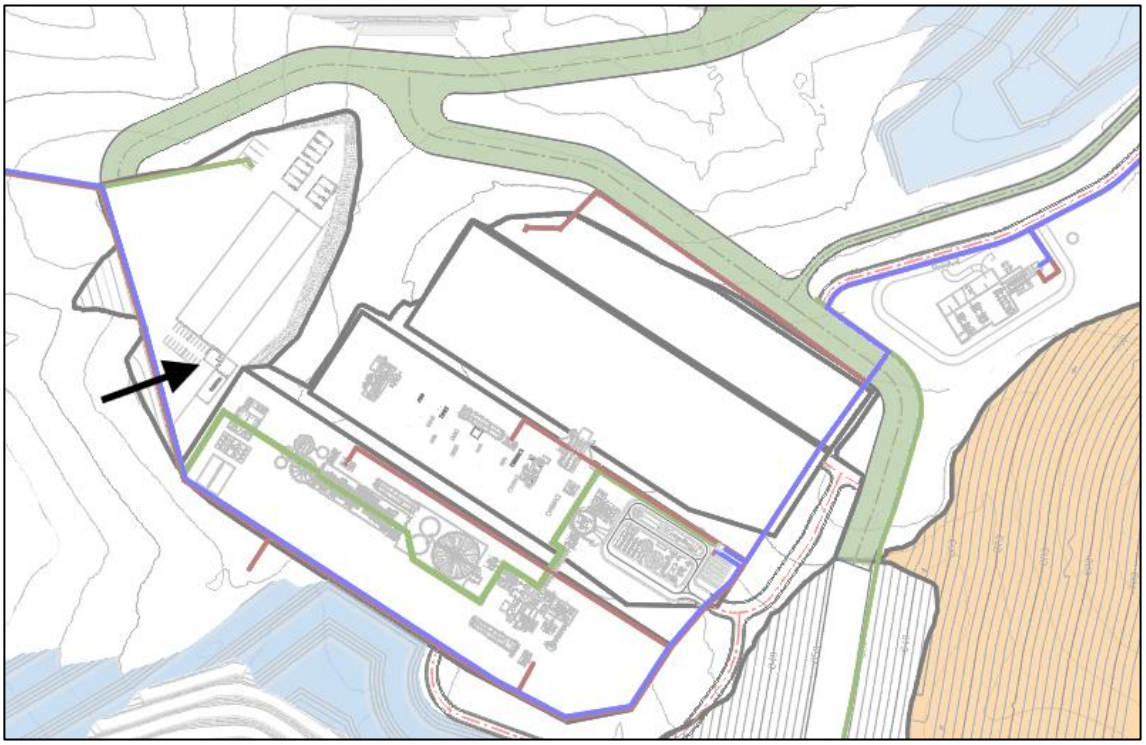


Figura 6.29 –Localização dos depósitos de combustível na plataforma das oficinas da mina.

No sentido de dar cumprimento ao disposto na Portaria n.º 131/2002, de 9 de fevereiro, ambos os depósitos serão instalados sobre bacias de retenção e possuirão ilhas de abastecimento com sistema de recolha de águas para separador de hidrocarbonetos. As bacias de retenção serão construídas com pavimento e paredes impermeáveis que possam captar e coletar eventuais derrames provenientes dos depósitos e terão uma capacidade igual a 110% da capacidade do respetivo depósito. O separador de hidrocarbonetos será instalado em local de fácil acesso para inspeção e limpeza e possuirá sifões à entrada e saída para evitar a passagem de gases.



Figura 6.30 – Exemplo ilustrativo de depósitos de combustível com bacia de retenção.

Haverá dois tipos de bocais de reabastecimento, um equipado com mangueiras de alto débito que servirão os veículos pesados, e outro convencional para fornecer veículos ligeiros que operam na unidade de processamento e nas áreas da mina.

Os principais componentes da infraestrutura de armazenamento e distribuição de combustível estão listados abaixo.

- Bomba de abastecimento acionada por motor elétrico.
- Medidor volumétrico para controlo do combustível distribuído.
- Contador totalizador do volume fornecido.
- Mangueira e bocal de reabastecimento.
- Grupo de desgaseificação e elementos de controlo auxiliares.



Figura 6.31 – Exemplo ilustrativo de equipamento de abastecimento de gasóleo.

O distribuidor estará localizado na área protegida da instalação e próximo da área de operações de reabastecimento, com os elementos de segurança necessários para a sua utilização.

Instalação De Proteção Contra Incêndios

A instalação incorpora medidas de proteção contra incêndios para minimizar os riscos associados ao armazenamento e fornecimento de combustível

O equipamento de proteção é selecionado de acordo com as características da instalação e o nível de risco, garantindo uma resposta rápida em situações de emergência.

As medidas de proteção incluem:

- Extintores portáteis adequados para incêndios envolvendo líquidos inflamáveis.
- Sinalização de segurança e de emergência.
- Sinalização de proibição de fumar e de chamas abertas.
- Identificação dos riscos presentes na instalação.

- Meios de primeira intervenção em caso de incêndio.

A instalação cumpre igualmente as distâncias de segurança e as condições estabelecidas pela regulamentação aplicável às instalações de armazenamento e abastecimento de combustíveis líquidos.

Instalação Elétrica

A instalação elétrica fornece a energia necessária para alimentar e controlar o equipamento, garantindo um funcionamento seguro e fiável. O projeto estará em conformidade com a Normativa Eletrotécnica de Baixa Tensão portuguesa e europeia, abrangendo tanto os circuitos de alimentação como os sistemas de proteção associados.

A instalação é composta por:

- Quadro de proteção e controlo elétrico.
- Circuitos de alimentação para o equipamento.
- Condutas elétricas e cablagem.
- Disjuntores e proteções diferenciais.
- Sistema de ligação à terra.

O dimensionamento inclui cálculos relativos à corrente, à queda de tensão e à proteção contra curto-circuito, verificando a conformidade com a regulamentação em vigor. Além disso, são consideradas condições especiais decorrentes da presença de combustível, definindo as medidas de segurança necessárias para o funcionamento.

Os cálculos elétricos incluirão:

- Determinação da potência instalada.
- Cálculo das correntes de serviço.
- Dimensionamento dos condutores.
- Verificação da queda de tensão.
- Cálculo das correntes de curto-circuito.
- Seleção e verificação das proteções elétricas

Os dois depósitos de gasóleo apresentam uma capacidade nominal total de 110 000 L. Para o consumo de referência de 880 000 L/mês considerado nos períodos de maior atividade, esta capacidade corresponde a uma autonomia teórica de aproximadamente 3,8 dias, considerando

um mês de 30 dias. O abastecimento é assegurado por entregas regulares, programadas em função do consumo e do nível de combustível disponível.

Procedimentos de operação

Para minimizar os riscos de fugas ou derrames e garantir as condições de segurança, o abastecimento será realizado cumprindo as seguintes regras:

- Só pode ser iniciado após a paragem do motor e corte da ignição dos equipamentos a abastecer;
- Será expressamente proibido fumar ou foguear ou utilizar telemóvel junto aos depósitos de combustível;
- A agulheta de abastecimento e o equipamento a abastecer deverão encontrar-se totalmente na ilha de abastecimento.

No sentido de garantir o combate a eventuais incêndios ou fugas que possam ocorrer, cada ilha de abastecimento deverá estar provida do seguinte material:

- Dois extintores de 6 kg de pó químico seco do tipo ABC;
- Um balde amovível com areia seca em quantidade suficiente para cobrir fugas acidentais.

Caso se verifique um derrame acidental ou fuga de gasóleo dos depósitos de combustível deverão ser adotadas as seguintes medidas:

- Parar a fuga desde que não sejam incrementados os riscos associados ao derrame;
- Não tocar ou caminhar sobre o gasóleo derramado;
- Eliminar todas as fontes de ignição no local (não fumar ou fazer faíscas ou chamas na área imediata);
- Evitar a saída do gasóleo derramado da bacia de retenção ou da ilha de abastecimento, minimizando o risco de saída para o exterior;
- Absorver todo o gasóleo derramado com areia ou outro material absorvente (não combustível);
- Remover todo o material absorvido para um recipiente impermeável (por exemplo uma estrutura metálica) e encaminhar para um operador de gestão de resíduos.

6.8 PROJETO HIDRÁULICO

A gestão de águas do Projeto assenta num conjunto de infraestruturas com características e funções distintas, determinadas essencialmente pela origem e qualidade das águas recebidas e pelo papel que desempenham no sistema global. Os resultados analíticos da água da mina e do processo encontram-se no Anexo VI.4.

A localização das principais infraestruturas de gestão de águas previstas para a zona Este e a sua distribuição na área do Projeto encontram-se representadas na Figura 6.32.

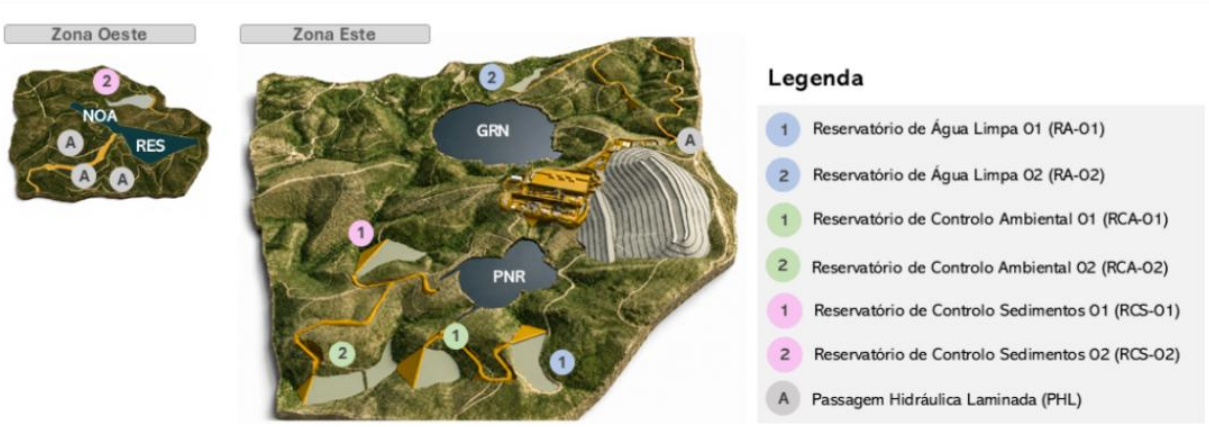


Figura 6.32 – Esquema global das infraestruturas de gestão de águas.

6.8.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O objetivo do presente capítulo é descrever e dimensionar as três estações de tratamento de água previstas para o Projeto:

- Estação de Tratamento de Água (ETA) – produção de água para consumo humano nas áreas sociais, administrativas e de apoio;
- Estação de Tratamento de Águas Residuais domésticas (ETAR doméstica, tecnologia MBR) – tratamento do efluente doméstico gerado por essas mesmas áreas;
- Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais (ETAR Industrial) – tratamento e recirculação da água de processo da Lavaria.

6.8.1.1 OBJETIVO E CAPACIDADE DO SISTEMA

O sistema de tratamento de água potável tem como objetivo assegurar o abastecimento seguro e contínuo de água adequada ao consumo humano nas áreas sociais, administrativas e de apoio das instalações da Savannah Resources, em conformidade com o Decreto-Lei n.º 69/2023, de 21 de agosto.

O dimensionamento da ETA adota uma base de cálculo de 200 utilizadores por dia e um consumo específico médio de 100 L/utilizador/dia, correspondentes a uma necessidade média de água potável de 20 m³/dia. Sobre este valor aplica-se uma margem de 20%, obtendo-se um caudal de dimensionamento de 24 m³/dia, equivalente a 1,0 m³/h em funcionamento contínuo durante 24 horas. O número de utilizadores diários considerado nesta base de cálculo constitui um parâmetro distinto da referência de ocupação simultânea apresentada na secção 6.8.2 e do efetivo total associado ao Projeto.

6.8.1.2 Origem, Captação e Adução de Água Bruta

A água bruta terá origem nos reservatórios de água limpa RA-01 ou RA-02.

Com o objetivo de apoiar a definição e otimização da solução de tratamento a implementar, foram recolhidas e analisadas amostras de água de pontos de captação próximos das futuras zonas de armazenagem e que se perspetiva ser a água utilizada futuramente para o abastecimento das áreas sociais, administrativas e de apoio das instalações.

As características da água de entrada foram avaliadas com base nos principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos relevantes para a produção de água destinada a consumo humano.

Os valores médios dos parâmetros mais relevantes para o dimensionamento encontram-se resumidos na Tabela 6.10.

Tabela 6.10 – Parâmetros médios da água de entrada na ETA (4 amostras).

Parâmetro	Valor médio	Unidade
pH	6,71	-
Condutividade	16,3	µS/cm
TDS	24,3	mg/L
Ferro (Fe)	0,0223	mg/L
Manganês (Mn)	0,0032	mg/L
Bicarbonato (HCO_3^-)	5,47	mg/L
Enterococos	20	ufc/100 mL
Coliformes fecais	5	ufc/100 mL

Os resultados evidenciam uma água de baixa mineralização (dureza e alcalinidade reduzidas), sem contaminação relevante por metais, hidrocarbonetos, mas com potencial corrosivo elevado devido ao baixo teor mineral. Esta característica fundamenta a necessidade de uma etapa de remineralização no processo de tratamento.

6.8.1.3 Estação de Tratamento de Água (ETA)

Tendo por base as características da água captada, as etapas propostas para a ETA são as seguintes:

- Armazenamento de água bruta / pré-oxidação;
- Filtração multimédia;
- Remineralização;
- Armazenamento de água tratada, com recirculação e desinfeção.

Tratando-se de tecnologia específica e patenteada, as características técnicas e os parâmetros de dimensionamento aqui apresentados para parte dos órgãos de tratamento têm carácter indicativo, devendo ser validados em obra com o fornecedor.

O diagrama linear com a definição das operações e dos processos de tratamento da ETA é apresentado na peça desenhada T2026-1760-01-PE-HID-04, incluída no Anexo VI.4.

6.8.1.4 Etapas do Processo de Tratamento

PRÉ-OXIDAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA BRUTA

A montante do sistema de tratamento será instalado um reservatório de água bruta, em polietileno de alta densidade (PEAD), com um volume de 2 m³, no qual a água captada é sujeita a pré-oxidação por injeção de hipoclorito de sódio (NaClO).

A operação de pré-oxidação destina-se a eliminar alguma matéria orgânica presente na água bruta, bem como a oxidar compostos de ferro e manganês. Adicionalmente, esta operação permite eliminar compostos responsáveis pelo cheiro e sabor da água e controlar o crescimento de algas nos órgãos subsequentes da cadeia de tratamento.

Para além de servir de ponto de dosagem do agente oxidante, este reservatório assegura uma capacidade de amortecimento correspondente a um tempo de retenção de cerca de 2 horas ao caudal de dimensionamento.

As principais características do reservatório apresentam-se na Tabela 6.11.

Tabela 6.11 – Características do reservatório de água bruta.

Parâmetro	Valor	Unidade
Material	PEAD	–
Volume útil	2,00	m³
Diâmetro	1 320	mm
Altura útil	1,46	m
Autonomia	2,00	h

A jusante do reservatório serão instalados 2 (1+1) grupos eletrobomba que permitirão a elevação do caudal de dimensionamento com a pressão necessária para assegurar o tratamento da água e a entrega no reservatório de água tratada.

Prevê-se a adição de NaClO através de 2 (1+1) bombas doseadoras, com a capacidade indicada na secção dos Reagentes.

FILTRAÇÃO

Esta etapa é um processo de separação que se baseia na passagem da água através de um leito filtrante constituído por material granular. As partículas sólidas ficam retidas nos espaços intergranulares, na maior parte da altura da camada filtrante, enquanto o líquido a atravessa totalmente.

Esta operação permitirá atingir valores paramétricos compatíveis com a qualidade adequada ao consumo humano no que respeita ao ferro e ao manganês, além de remover elevadas concentrações de matéria orgânica.

A filtração terá lugar num filtro multimédia sob pressão, com diâmetro de 21 polegadas e com as características apresentadas na Tabela 6.12.

A lavagem do filtro será realizada em contracorrente, recorrendo à bomba de retrolavagem, e será comandada por temporizador e por perda de carga. O temporizador assegura, por norma, uma lavagem diária, enquanto o controlador de perda de carga desencadeia uma lavagem adicional sempre que seja atingida a perda de carga máxima admissível, preservando a qualidade da água filtrada.

As águas de lavagem dos filtros serão encaminhadas até à ETARI.

Tabela 6.12 – Características do filtro multimédia e grupos eletrobomba.

	Valor	Unidade
Diâmetro	21,00	polegadas
Área de filtração	0,22	m²
Carga hidráulica	4,48	m³/(m².h)
Grupos eletrobomba	2 (1+1)	un.
Caudal unitário	5	m³/h
Altura manométrica	10	mca

REMINERALIZAÇÃO

A água captada apresenta reduzida mineralização, o que a torna desequilibrada para consumo humano e lhe confere um elevado potencial corrosivo para os componentes metálicos com que contacta. Para corrigir este desequilíbrio, prevê-se uma etapa de

remineralização num filtro dedicado, com diâmetro de 21", equipado com um meio filtrante à base de carbonato de cálcio.

Este meio promove um aumento adequado da dureza, da alcalinidade e da condutividade, tornando a água mais equilibrada sem provocar uma subida excessiva do pH. O leito granular de carbonato de cálcio assenta sobre um leito de suporte de sílica de três camadas, de elevada uniformidade e resistência à abrasão, que assegura uma distribuição uniforme do escoamento. Dado o carácter esporádico das lavagens, o consumo de água nesta etapa é reduzido.

ARMAZENAMENTO E DESINFEÇÃO DE ÁGUA TRATADA

A adição de cloro na desinfeção final destina-se a assegurar um teor de cloro residual na água armazenada e na rede, garantindo a qualidade bacteriológica da água para consumo humano.

Para o efeito, prevê-se a dosagem de hipoclorito de sódio (NaClO) no reservatório de água tratada, através de bomba doseadora dedicada. O teor de cloro residual é monitorizado de forma contínua e automática por um analisador de cloro, que ajusta a dosagem em função do valor medido; em complemento, a água tratada é mantida em recirculação para prevenir a proliferação microbiológica durante o armazenamento.

A água tratada é armazenada num reservatório com um volume nominal de 20 m³, em PEAD, ao qual corresponde uma autonomia de 20 horas ao caudal de dimensionamento. As principais características do reservatório apresentam-se na Tabela 6.13.

Tabela 6.13 – Características do reservatório de água tratada.

Parâmetro	Valor	Unidade
Volume	20,00	m³
Diâmetro	2 400	mm
Altura útil	4,42	m
Autonomia	20,00	h

A dosagem de hipoclorito de sódio (NaClO) é assegurada por duas bombas doseadoras, sendo o teor de cloro da água tratada monitorizado em contínuo por um analisador dedicado. A recirculação da água armazenada é realizada por uma bomba de recirculação, garantindo cerca de 6 renovações diárias do reservatório.

Após o processo de tratamento a água tratada será aduzida às infraestruturas sociais.

6.8.1.5 REAGENTES

O hipoclorito de sódio (NaClO) é utilizado tanto na pré-oxidação da água bruta como na desinfeção da água tratada.

Os pressupostos de dimensionamento resumem-se na Tabela 6.14.

Tabela 6.14 – Pré-oxidação e desinfeção de água.

Parâmetro	Valor	Unidade
Dados de base		
Caudal médio ETA	20,0	m³/dia
Concentração de NaClO comercial	130	g Cl_2/L
Massa volúmica	1,20	kg/L
Dose de pré-oxidação (Cl_2)	2,00	mg Cl_2/L
Dose de desinfeção – cloro residual (Cl_2)	1,50	mg Cl_2/L
Consumo		
Consumo médio	0,54	L/dia
Consumo máximo	0,92	L/dia
Consumo anual	197	L/ano
Consumo anual	236	kg/ano
Cubas de armazenamento		
Número de tanques	1+1	un
Volume unitário	100	L
Autonomia	185	dias
Bombas doseadoras		
Número de bombas doseadoras	3 (2+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear – pré-oxidação	0,023	L/h
Caudal unitário máximo a dosear – desinfeção	0,015	L/h

Adicionalmente, o meio de remineralização à base de carbonato de cálcio constitui um consumível do processo, sendo gradualmente consumido e reposto periodicamente. Estima-se um consumo de cerca de 82 kg/ano, correspondente à reposição periódica do leito.

6.8.1.6 Adução e Distribuição de Água Tratada

A conduta de água tratada desenvolver-se-á desde o reservatório de água tratada da ETA (20 m³) até aos vários pontos de entrega dos serviços sociais e administrativos. A rede de condutas entre o ponto de entrega da ETA e os vários pontos de distribuição são alvo dum projeto separado.

6.8.2 Sistemas de Águas Residuais Domésticas

O sistema de tratamento de águas residuais domésticas recebe os efluentes gerados pelos trabalhadores e restantes utilizadores das instalações sociais, administrativas e de apoio, nomeadamente instalações sanitárias, balneários, lavatórios, refeitório e edifícios administrativos. A ETAR dispõe de uma capacidade nominal de tratamento de 24 m³/dia. A estimativa da afluência diária baseia-se nos consumos de água destas instalações, conforme descrito no parágrafo seguinte, distinguindo-se da referência de ocupação simultânea apresentada na secção 6.8.2.

O caudal de águas residuais foi estimado com base no consumo de água potável, considerando uma afluência à rede de drenagem equivalente a 90% desse consumo,

acrescida de eventuais infiltrações. As águas residuais serão encaminhadas para uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), onde serão sujeitas ao tratamento necessário para possibilitar a sua reutilização.

A água tratada será encaminhada para o reservatório de controlo ambiental RCA-02, podendo ser reutilizada no processo da Lavaria e noutras utilizações compatíveis, como operações de lavagem e rega, contribuindo para a redução do consumo de água nova e para uma utilização mais eficiente dos recursos hídricos.

6.8.2.1 Origem e Características do Efluente

A água residual doméstica terá origem nas áreas sociais, administrativas e de apoio das instalações da Savannah Resources, resultando essencialmente da utilização diária das instalações pelos trabalhadores e restantes utilizadores previstos no âmbito do Projeto. Este sistema não receberá águas industriais, águas de processo ou efluentes provenientes de atividades operacionais do Projeto.

Dado que as instalações administrativas se encontram ainda em fase de pré-construção, não estão atualmente disponíveis dados diretos de monitorização das águas residuais geradas. O dimensionamento foi, por conseguinte, desenvolvido com base nas características típicas de águas residuais domésticas, assumindo pressupostos de referência habitualmente utilizados para este tipo de efluente e em conformidade com os requisitos regulamentares aplicáveis.

Os parâmetros de qualidade do afluente considerados para o dimensionamento, bem como os objetivos de tratamento, encontram-se resumidos na Tabela 6.15. Estes valores devem ser entendidos como valores de referência do Projeto, podendo ser ajustados, se necessário, após a entrada em funcionamento das instalações e a obtenção de dados reais de operação e monitorização.

Tabela 6.15 – Qualidade do afluente e objetivos de tratamento da ETAR doméstica.

Parâmetro	Unidade	Efluente Bruto	Efluente Tratado
Caudal	m³/dia	24	24
CQO	mg/L	750	≤ 50
CBO_5	mg/L	350	≤ 15
SST	mg/L	700	≤ 5
Azoto total	mg/L	60	≤ 15
Fósforo total	mg/L	20	≤ 2
pH	-	6,0 - 9,0	6,5 - 8,5
Óleos e gorduras	mg/L	100	≤ 5

Os objetivos de qualidade à saída são mais exigentes do que o estritamente necessário para descarga, uma vez que o efluente tratado se destina, preferencialmente, a ser reintroduzido no processo industrial da Lavaria (através do reservatório de controlo

ambiental RCA-02), estando por isso dimensionados para cumprir critérios de reutilização.

6.8.2.2 Estação de Tratamento de Águas Residuais Domésticas (ETAR)

A ETAR doméstica é uma unidade compacta do tipo MBR (biorreator de membranas), dimensionada para um caudal de 24 m³/dia (equivalente a 1 m³/h em operação contínua). O tratamento desenvolve-se ao longo das seguintes etapas principais:

- Gradagem (tamisador rotativo);
- Separação de gorduras;
- Reator biológico compacto (zona anóxica + zona aeróbia);
- Filtração por membranas de ultrafiltração submersas (MBR);
- Tanque de segurança;
- Espessamento e desidratação de lamas;
- Desinfeção e armazenamento da água tratada.

As águas residuais são recolhidas num poço de bombagem e encaminhadas para o tamisador rotativo e separador de gorduras.

No reator biológico, a zona anóxica promove a desnitrificação enquanto a zona aeróbia assegura a degradação da matéria orgânica e a nitrificação do azoto amoniacal.

O efluente é depois submetido a filtração por membranas de ultrafiltração submersas, que separam a biomassa da água tratada, com ciclos contínuos de arejamento para controlo da incrustação. Periodicamente, é realizada limpeza química das membranas.

A água tratada é armazenada e desinfetada por dosagem de hipoclorito de sódio, com monitorização automática do cloro residual.

As lamas em excesso do processo biológico são encaminhadas para espessamento e desidratação, com recirculação parcial para os reatores anóxico e aeróbio, mantendo a concentração de sólidos suspensos totais (SST) desejada.

Tratando-se de tecnologia específica e patenteada, as características técnicas e os parâmetros de dimensionamento aqui apresentados para parte dos órgãos de tratamento têm carácter indicativo, devendo ser validados em obra com o fornecedor.

O diagrama linear com a definição das operações e dos processos de tratamento da ETAR é apresentado na peça desenhada T2026-1760-01-PE-HID-05, incluída no Anexo VI.4.

ETAPAS DO PROCESSO DE TRATAMENTO

GRADAGEM (TAMISADOR ROTATIVO)

A gradagem é assegurada por um tamisador rotativo com malha de 2 mm, instalado a montante do separador de gorduras. Esta etapa remove os sólidos grosseiros presentes no afluente doméstico, protegendo os equipamentos a jusante (nomeadamente as membranas de ultrafiltração) e reduzindo o risco de obstruções e de desgaste ao longo da linha de tratamento.

SEPARAÇÃO DE GORDURAS

A jusante da gradagem, o efluente atravessa um separador de gorduras horizontal, com volume de 10 m³ e tempo de retenção de cerca de 10 h. A baixa velocidade de escoamento promove a separação gravítica dos óleos e gorduras (FOG), que são retidos à superfície, evitando a sua acumulação no reator biológico e a consequente perturbação dos processos de degradação e da permeabilidade das membranas.

As principais características do separador de gorduras apresentam-se na Tabela 6.16.

Tabela 6.16 – Características do separador de gorduras.

Parâmetro	Valor	Unidade
Volume nominal	10	m³
Diâmetro	2 250	mm
Comprimento	2 800	mm
Tempo de retenção	10	h

REATOR BIOLÓGICO COMPACTO (ZONA ANÓXICA + ZONA AERÓBIA)

O tratamento biológico decorre num reator compacto com um volume útil total de 32 m³, repartido entre uma zona anóxica de 8 m³ e uma zona aeróbia de 24 m³. Na zona anóxica, mantida em mistura por um agitador submersível, ocorre a desnitrificação. Na zona aeróbia, o arejamento fornecido pelo soprador assegura a degradação da matéria orgânica e a nitrificação do azoto amoniacal.

O sistema opera em regime de baixa carga (F/M da ordem de 0,03 kg CBO_5/kg MLSS·dia, para um MLSS típico assumido de 8 000 mg/L), característico de arejamento prolongado, o que se traduz numa reduzida produção de lamas.

O arejamento é assegurado por um soprador do tipo *side-channel*, em configuração 1 + 1, que serve simultaneamente o arejamento do reator biológico e uma linha dedicada de varrimento de ar das membranas de ultrafiltração.

As principais características do reator biológico apresentam-se na Tabela 6.17.

Tabela 6.17 – Características do reator biológico.

Parâmetro	Valor	Unidade
Volume útil total	32	m³
Volume útil – zona anóxica	8	m³
Volume útil – zona aeróbia	24	m³
Diâmetro	2 500	mm
Comprimento	7 000	mm
TRH total (anóxica + aeróbia)	32 (8 + 24)	h
Carga afluente de CBO_5	8,4	kg/dia
MLSS	8 000	mg/L
Relação carga-massa (F/M)	0,03	kg CBO_5/kg MLSS·dia

FILTRAÇÃO POR MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO SUBMERSAS (MBR)

A separação da biomassa é realizada por membranas de ultrafiltração de fibra oca submersas, instaladas num tanque MBR de 9,5 m³. As membranas retêm os sólidos suspensos e a biomassa, produzindo um permeado de elevada qualidade, isento de sólidos e com reduzida carga microbiológica. Ciclos contínuos de arejamento de varrimento minimizam a colmatação das fibras e, periodicamente, é efetuada a limpeza química das membranas (sistema CIP automatizado), com ácido clorídrico para as incrustações inorgânicas e hipoclorito de sódio para as incrustações orgânicas

As principais características do MBR apresentam-se na Tabela 6.18.

Tabela 6.18 – Características do MBR.

Parâmetro	Valor	Unidade
Volume do tanque MBR	9,5	m³
Diâmetro	2 000	mm
Comprimento	3 100	mm
Tempo de retenção	9,5	h
Fluxo	20	L/m².h
Área de membranas	50,00	m²

TANQUE DE SEGURANÇA

O sistema dispõe de um tanque de segurança com 40 m³ de volume, correspondente a um tempo de amortecimento de cerca de 40 h ao caudal de dimensionamento. Este órgão regulariza as variações de caudal e de carga e assegura a continuidade da operação em situações de manutenção ou de indisponibilidade temporária de etapas a jusante, evitando descargas.

As principais características do tanque de segurança apresentam-se na Tabela 6.19.

Tabela 6.19 – Características do tanque de segurança.

Parâmetro	Valor	Unidade
Volume nominal	40	m³
Diâmetro	2 500	mm
Comprimento	8 700	mm
Autonomia	40	h

DESINFEÇÃO E ARMAZENAMENTO DA ÁGUA TRATADA

A água tratada é desinfetada por dosagem de hipoclorito de sódio (NaClO) e armazenada num reservatório de 40 m³, correspondente a uma autonomia de cerca de 1,7 dias. O teor de cloro residual é monitorizado em contínuo por um analisador dedicado e a água é mantida em recirculação, garantindo a qualidade bacteriológica durante o armazenamento. A água tratada apresenta qualidade compatível com a reutilização, sendo encaminhada para o reservatório de controlo ambiental RCA-02.

As principais características do reservatório de água residual tratada apresentam-se na Tabela 6.20.

Tabela 6.20 – Características do reservatório de água residual tratada.

Parâmetro	Valor	Unidade
Volume	40	m³
Diâmetro	2 500	mm
Comprimento	8 700	mm
Autonomia	40	h

ESPESSAMENTO E DESIDRATAÇÃO DE LAMAS

As lamas em excesso do processo biológico são encaminhadas para um espessador de 8,3 m³, onde permanecem por um período de cerca de 21 dias.

Após espessamento as lamas desidratadas são encaminhadas para gestão por operador de resíduos devidamente licenciado.

As principais características da fase sólida apresentam-se na Tabela 6.21.

Tabela 6.21 – Características do espessador e sacos de desidratação.

Parâmetro	Valor	Unidade
Produção de lamas	3,18	kg SS/dia
Caudal de purga de lamas	0,386	m³/dia
Teor de sólidos totais	0,8	% (m/m)
Densidade aparente	1 030	kg/m³
Espessador		

Parâmetro	Valor	Unidade
Volume	8,3	m³
Diâmetro	1 600	mm
Altura	4 530	mm
Tempo de retenção	21,5	dias
Sacos de desidratação		
Dimensões	980 × 980	mm

Admite-se que se possa usar sistema alternativo compacto para desidratação de lamas.

6.8.2.3 REAGENTES

A ETAR doméstica recorre a um conjunto de reagentes e consumíveis de dosagem contínua (desinfeção, regulação de pH, correção da alcalinidade e coagulação) e de limpeza química (CIP) das membranas, cujas finalidades se resumem na Tabela 6.22. Os reagentes são detalhados, em termos de dimensionamento, nas subsecções seguintes, por reagente. As cubas de HCl, NaOH e PAC localizam-se no edifício de reagentes; os depósitos de NaOCl ficam junto aos respetivos pontos de doseamento.

Tabela 6.22 – Reagentes utilizados na ETAR doméstica.

Reagente	Finalidade
Hipoclorito de sódio (NaOCl)	Desinfeção do efluente tratado e limpeza CIP das membranas
Ácido clorídrico (HCl 33%)	Regulação de pH e limpeza CIP ácida das membranas
Soda cáustica (NaOH)	Correção da alcalinidade e limpeza CIP alcalina das membranas
Antiespumante	Controlo da formação de espuma
PAC Al_2O_3 18%	Coagulação e remoção de fósforo

HIPOCLORITO DE SÓDIO (NAOCL)

É doseado em contínuo para desinfeção do efluente tratado, garantindo um residual de cloro no efluente descarregado. A dosagem é ajustada em função do caudal e do residual pretendido.

O hipoclorito é doesado a partir de três depósitos independentes, afetos à desinfeção do efluente tratado e às limpezas de manutenção das membranas.

Os dados de dimensionamento, organizados por doseamento contínuo, limpeza CIP e consumo total, apresentam-se na Tabela 6.23.

Tabela 6.23 – Hipoclorito de sódio (NaOCl).

	Valor	Unidade
Dados de base		
Caudal médio ETAR	20,0	m³/dia
Concentração do produto	13	%
Massa volúmica	1,20	kg/L
Doseamento contínuo – desinfeção		
Dose aplicada	3	mg/L
Consumo diário	0,4	L/dia
Consumo anual	140	L/ano
Número de bombas doseadoras	2 (1+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	0,019	L/h
Limpeza CIP – incrustações orgânicas		
Conc. solução CIP (alvo)	0,3	%
Volume por limpeza	3,8	m³
N.º limpezas/ano	2	ano
Volume de produto por limpeza	73,1	L
Consumo diário médio	0,4	L/dia
Consumo anual	146	L/ano
Número de bombas doseadoras	2 (1+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	12,2	L/h
Consumo total		
Consumo diário total	0,8	L/dia
Consumo anual	287	L/ano
Consumo anual	344	kg/ano
Cubas de armazenamento		
Número de tanques	3	un
Volume unitário	100	L
Autonomia	381,5	dias

ÁCIDO CLORÍDRICO (HC_L 33%)

Doseado em contínuo para regulação do pH do efluente, a partir de solução comercial a 33% armazenada em tanque dedicado. É também utilizado nas limpezas CIP ácidas das membranas do MBR. Os consumos indicados baseiam-se em pressupostos de operação, a confirmar em fase de exploração.

Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.24.

Tabela 6.24 – Ácido clorídrico (HCl 33%).

	Valor	Unidade
Dados de base		

	Valor	Unidade
Caudal médio ETAR	20,0	m³/dia
Concentração do produto	33	%
Massa volúmica	1,16	kg/L
Doseamento contínuo – regulação de pH		
Dose aplicada	93	mg/L
Consumo diário	4,9	L/dia
Consumo anual	1 774	L/ano
Número de bombas doseadoras	1+1	un
Caudal unitário máximo a dosear	0,24	L/h
Limpeza CIP ácida		
Conc. solução CIP (alvo)	0,3	%
Volume por limpeza	3,8	m³
N.º limpezas/ano	2	ano
Volume de produto por limpeza	29,8	L
Consumo diário médio	0,16	L/dia
Consumo anual	60	L/ano
Número de bombas doseadoras	2 (1+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	7,4	L/h
Consumo total		
Consumo diário total	5,0	L/dia
Consumo anual	1 833	L/ano
Consumo anual	2 126	kg/ano
Cubas de armazenamento		
Número de tanques	1	un
Volume unitário	1 000	L
Autonomia	199,1	dias

SODA CÁUSTICA (N_AOH)

Doseada em contínuo para correção da alcalinidade consumida na nitrificação (dose de cerca de 115 mg/L), sendo também utilizada nas limpezas alcalinas (CIP) das membranas, para remoção de deposições orgânicas e recuperação do desempenho hidráulico.

Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.25.

Tabela 6.25 – Soda cáustica (NaOH)

	Valor	Unidade
Dados de base		
Caudal médio ETAR	20,0	m³/dia
Concentração do produto	30	%
Massa volúmica	1,33	kg/L

	Valor	Unidade
Doseamento contínuo – correção da alcalinidade		
Dose aplicada	115	mg/L
Consumo diário	5,8	L/dia
Consumo anual	2 104	L/ano
Número de bombas doseadoras	2 (1+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	0,29	L/h
Limpeza CIP alcalina		
Conc. solução CIP (alvo)	0,5	%
Volume por limpeza	3,8	m³
N.º limpezas/ano	2	ano
Volume de produto por limpeza	47,6	L
Consumo diário médio	0,26	L/dia
Consumo anual	95	L/ano
Número de bombas doseadoras	2 (1+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	11,9	L/h
Consumo total (doseamento contínuo + limpeza CIP)		
Consumo diário total	6,0	L/dia
Consumo anual	2 199	L/ano
Consumo anual	2 925	kg/ano
Cubas de armazenamento		
Número de tanques	1	un
Volume unitário	100	L
Autonomia	16,6	dias

POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC, AL_2O_3 18%)

Doseado como coagulante, para remoção de fósforo por precipitação química, contribuindo também para o condicionamento das lamas. A solução comercial (18% em Al_2O_3) é armazenada em tanque dedicado. O consumo considerado corresponde a uma dose de cerca de 80 mg Al_2O_3/L.

Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.26.

Tabela 6.26 – Policloreto de alumínio (PAC).

Parâmetro	Valor	Unidade
Dados de base		
Concentração (Al_2O_3)	18	%
Massa volúmica	1,37	kg/L
Consumo		
Dose aplicada (Al_2O_3)	80,0	mg/L
Consumo diário	6,5	L/dia

Parâmetro	Valor	Unidade
Consumo anual	2 368	L/ano
Consumo anual	3 244	kg/ano
Cubas de armazenamento		
Número de tanques	1	un
Volume unitário	100	L
Autonomia	15,4	dias
Bombas doseadoras		
Número de bombas doseadoras	2 (1+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	0,32	L/h

ANTIESPUMANTE

Doseado pontualmente para controlo da formação de espuma no reator biológico. O consumo previsto é de cerca de 31 L/ano não justificando cuba dedicada: o produto é armazenado na embalagem de origem, sobre bacia de retenção, no edifício de reagentes.

6.8.3 SISTEMA DE ÁGUAS RESIDUAIS INDUSTRIAIS

O sistema de tratamento de águas residuais industriais tem como objetivo assegurar o tratamento adequado da água utilizada nos processos da Lavaria, de forma a permitir a sua recuperação e posterior reutilização nesses mesmos processos. A maximização da taxa de recirculação constitui um fator relevante para a sustentabilidade hídrica do Projeto, contribuindo para reduzir a necessidade de utilização de água limpa proveniente dos reservatórios. - Anexo VI.4

O sistema foi concebido para acomodar as variações de caudal ao longo do ano, incluindo diferentes cenários de pluviosidade, encontrando-se dimensionado para um caudal máximo de tratamento de 160 m^3/h. O tratamento de águas residuais de origem mineira e industrial pode recorrer a soluções de tratamento ativo, tratamento passivo ou a uma combinação de ambas, dependendo das características da água a tratar, dos contaminantes presentes e dos objetivos de qualidade definidos.

As soluções de tratamento ativo recorrem à utilização controlada de reagentes químicos e/ou energia para promover a remoção de contaminantes ou a correção de determinadas características da água, incluindo processos como a neutralização, precipitação química, coagulação-floculação, separação sólido-líquido e tecnologias de membranas. Estas soluções apresentam como principais vantagens a possibilidade de controlar de forma precisa o processo de tratamento, responder a variações das características da água afluente e garantir uma qualidade de água tratada compatível com requisitos de reutilização industrial. Em contrapartida, implicam consumo de reagentes e energia, bem como a necessidade de operação e manutenção dos equipamentos e de gestão dos resíduos produzidos.

Por sua vez, as soluções de tratamento passivo baseiam-se predominantemente em processos físicos, químicos e biológicos naturais, com reduzida necessidade de intervenção operacional, consumo energético ou adição contínua de reagentes. Apesar das suas vantagens ao nível da simplicidade operacional e dos menores consumos energéticos, estas soluções requerem geralmente áreas de implantação significativas, apresentam tempos de retenção mais elevados e podem revelar um desempenho mais dependente das condições ambientais e das características da água afluente.

Para o sistema de tratamento de águas residuais industriais do presente Projeto, o recurso exclusivo a uma solução passiva não se apresenta como a alternativa mais adequada. O objetivo do tratamento consiste não apenas na melhoria da qualidade da água, mas, sobretudo, na produção de água com características compatíveis com a sua reutilização no processo da Lavaria. As elevadas taxas de remoção requeridas, a necessidade de resposta a variações de caudal e qualidade da água, a exigência de continuidade operacional do processo industrial e a inexistência de área disponível compatível com uma solução passiva à escala do caudal de dimensionamento, até 160 m^3/h, justificam a adoção de uma solução de tratamento ativo. Esta abordagem permite um maior controlo das condições de operação, uma maior fiabilidade no desempenho do sistema e uma maior flexibilidade na adaptação do tratamento às características da água afluente.

Embora o objetivo principal do sistema seja a recuperação e reutilização da água no circuito industrial, poderão ocorrer situações em que seja necessário proceder à descarga de efluente tratado para o meio recetor, em função das condições de pluviosidade verificadas. Nestas circunstâncias, a descarga ficará sujeita ao cumprimento da legislação ambiental aplicável e das condições estabelecidas no respetivo título de utilização dos recursos hídricos. A qualidade da água será verificada antes de cada descarga, sendo o cumprimento dos requisitos de qualidade assegurado através dos processos de tratamento e dos mecanismos de controlo aplicáveis a cada circuito.

O enquadramento legal aplicável assenta na Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro (Lei da Água), que estabelece as bases para a gestão sustentável dos recursos hídricos em Portugal, transpondo para a ordem jurídica nacional os princípios da Diretiva-Quadro da Água e impondo a proteção e melhoria do estado das massas de água, bem como a prevenção da sua deterioração.

A descarga de águas residuais em recursos hídricos encontra-se igualmente sujeita ao Regime da Utilização dos Recursos Hídricos, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio, na sua redação atual, que estabelece as condições de licenciamento das utilizações do domínio hídrico, incluindo a rejeição de águas residuais e a definição dos respetivos requisitos de monitorização e controlo.

As possíveis descargas referidas nesta secção cumprem cumulativamente a existência de excesso de água, a verificação prévia da qualidade, os valores limite de emissão, os requisitos de monitorização e as restantes condições do título aplicável. A exploração dos reservatórios privilegia o armazenamento e a reutilização, com registo dos níveis, volumes reutilizados e, quando ocorram, dos volumes e resultados de controlo das descargas.

Deste modo, a solução de tratamento ativo selecionada assegura não apenas a maximização da recirculação e reutilização da água no processo industrial, mas também a capacidade de produzir um efluente compatível com os requisitos legais aplicáveis em caso de descarga para o meio hídrico, contribuindo para a proteção dos recursos hídricos e para o cumprimento dos objetivos ambientais definidos para o Projeto.

6.8.3.1 Origem e Adução da Água Bruta Industrial

As águas residuais encaminhadas para este sistema têm origem nos efluentes gerados nas diferentes etapas de beneficiação do minério na Lavaria, podendo ser encaminhadas diretamente para a estação ou, alternativamente, para o reservatório de controlo ambiental RCA-01. As características da água de entrada são resumidas na Tabela 6.27.

Tabela 6.27 – Parâmetros físico-químicos da água de entrada na ETAR industrial.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal máximo de dimensionamento	160,00	m^3/h
pH	8,10	-
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	1 279,70	mg/L
Sólidos Suspensos Totais (SST)	114,30	mg/L
Carbono Orgânico Total (COT)	600,00	mg/L
Carbono Inorgânico Total (CIT)	60,00	mg/L
Condutividade	1 910,00	µS/cm
Alcalinidade bicarbonatada (HCO_3)	374,00	mg/L
Alcalinidade carbonatada (CO_3)	29,00	mg/L
Sulfato (SO_4)	246,00	mg/L
Silício (Si)	85,00	mg/L
Sódio (Na)	296,00	mg/L
Potássio (K)	18,10	mg/L
Magnésio (Mg)	50,00	mg/L
Cálcio (Ca)	50,00	mg/L
Dureza total (calculada)	330,80	mg $CaCO_3$/L
Ferro (Fe)	0,23	mg/L
Manganês (Mn)	1,10	mg/L
Lítio (Li)	15,80	mg/L
Cádmio / Césio / Cobalto / Chumbo / Níquel / Urânio / Zinco	< 0,1 (cada um)	mg/L

BALANÇO IÓNICO

O balanço iónico (Tabela 6.28) fornece uma verificação da consistência da composição química da água e serve de base à modelação de estabilidade geoquímica.

Tabela 6.28 – Balanço Iónico.

Parâmetro	Concentração (meq/L)
Aniões	
HCO_3^-	6,13
CO_3^{2-}	0,97
SO_4^{2-}	5,12
Cl^-*	10,05
Total aniões	**22,27**
Catiões	
Na^+	12,88
K^+	0,46
Ca^{2+}	2,50
Mg^{2+}	4,11
Li^+	2,28
Mn^{2+}	0,04
Fe^{2+}	0,01
Total catiões	**22,27**

*O cloreto não consta do boletim laboratorial disponível; foi estimado por balanço de cargas, de modo a fechar a eletroneutralidade da solução.

A distribuição iónica indica uma água de fácies cloretada-sódica, com o sódio a predominar claramente sobre os iões formadores de dureza: os alcalino-terrosos (Ca^{2+} + Mg^{2+}) representam cerca de 30 % da carga catiónica.

A água bruta encontra-se já sobressaturada em calcite, e o elevado teor de sílica (85 mg/L de Si) constitui o principal risco de incrustação nas etapas de membranas. Estas características justificam a etapa de precipitação química a montante da ultrafiltração e da osmose inversa.

6.8.4 OBJETIVOS DA ÁGUA TRATADA

A água tratada final apresenta as características resumidas (Tabela 6.29). Esta especificação reflete os objetivos de desempenho definidos para o sistema, considerando a sua reutilização no processo industrial (encaminhamento para o reservatório RCA-02) e/ou a descarga para o meio hídrico. O caudal de água tratada (135,4 m^3/h) corresponde ao permeado da osmose inversa para o caudal máximo afluente de 160 m^3/h.

Tabela 6.29 – Características da água tratada na ETAR industrial.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal a tratar	160	m^3/h
pH	6	-
Condutividade elétrica	198	µS/cm
SST	0	g/m^3
Dureza	15	g/m^3
CQO	7	g/m^3

Parâmetro	Valor	Unidade
Alcalinidade	9	g $CaCO_3/m^3$
Sulfato	17	g/m^3
Silício	2,6	g/m^3
NPOC	2	g/m^3
Ácido oleico	10	g/m^3
Outros compostos orgânicos	0	g/m^3

A conformidade da água tratada é verificada à saída de cada instalação de tratamento que alimenta a RCA-02, antes da sua entrada no reservatório e de qualquer mistura com outras águas. O cumprimento dos requisitos aplicáveis não depende da precipitação, das escorrências afluentes ou do volume de água já armazenado.

O controlo integra medição de caudal, pontos de amostragem acessíveis e monitorização dos parâmetros operacionais relevantes, complementada por análises laboratoriais dos parâmetros de qualidade aplicáveis. Os registos permitem relacionar os volumes transferidos com a qualidade verificada à saída do tratamento.

A deteção de desvios aos critérios de aceitação determina a interrupção da transferência da corrente afetada para a RCA-02 e a sua retenção e encaminhamento para correção ou retratamento. A água armazenada na RCA-02 é igualmente objeto de controlo antes das descargas para o meio hídrico. Este controlo complementa a verificação efetuada à saída do tratamento, sem a substituir.

6.8.4.1 Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais (ETARI)

A definição da solução de tratamento teve por base as características da água identificadas, bem como os objetivos de qualidade definidos.

O sistema integra as seguintes etapas principais:

- Gradagem inicial;
- Flotodecantação – flotação por ar dissolvido com decantação lamelar integrada;
- Ultrafiltração, em duas fases;
- Microfiltração;
- Osmose Inversa;
- Armazenamento da água tratada em tanque dedicado;
- Desidratação de lama.

A água proveniente da Lavaria é elevada através da Estação Elevatória inicial e será sujeita a uma gradagem, para remoção de sólidos de maiores dimensões, seguindo-se a

adição de reagentes, em câmara de mistura rápida dedicada, que promovem a precipitação do cálcio e da sílica dissolvidos.

Os sólidos formados são separados num flotodecantador, órgão que combina a flotação por ar dissolvido e a decantação lamelar, sendo as lamas de fundo encaminhadas para desidratação e o flotado gerido como rejeitado.

A água clarificada segue para a ultrafiltração, organizada em duas fases, sendo o rejeitado da 1ª fase reprocessado numa 2.ª fase. O rejeitado final desta é reintroduzido no início do processo. O permeado da ultrafiltração é encaminhado para microfiltração e, por fim, para osmose inversa, produzindo água de elevada qualidade destinada a reutilização nos processos da Lavaria e/ou encaminhamento para o meio hídrico.

Tratando-se de tecnologia específica e patenteada, as características técnicas e os parâmetros de dimensionamento aqui apresentados para parte dos órgãos de tratamento têm carácter indicativo, devendo ser validados em obra com o fornecedor.

O diagrama linear com a definição das operações e dos processos de tratamento da ETARI é apresentado na peça desenhada T2026-1760-01-PE-HID-06, incluída no Anexo VI.4.

ETAPAS DO PROCESSO DE TRATAMENTO

GRADAGEM INICIAL

A gradagem inicial remove os sólidos de maiores dimensões presentes na água proveniente da Lavaria, protegendo os equipamentos a jusante. Será uma unidade do tipo *step-screen.*

As principais características da gradagem inicial apresentam-se na Tabela 6.30.

Tabela 6.30 – Características da gradagem inicial.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal de dimensionamento	160	m^3/h
Espaçamento	3	mm
Velocidade de aproximação	0,6	m/s
Largura do canal	0,5	m

FLOTODECANTAÇÃO

Após a gradagem, o efluente é elevado para o flotodecantador através de uma estação elevatória equipada com 2 (1+1) grupos eletrobomba. Os sólidos formados na precipitação química e as fases oleosas e orgânicas provenientes da Lavaria são separados num único órgão que combina na mesma cuba a flotação por ar dissolvido e a decantação lamelar. O sistema é constituído por duas linhas em paralelo, com uma unidade por linha.

O órgão desenvolve-se em zonas sequenciais. Na zona de coagulação, o coagulante é doseado à água a tratar para neutralizar as cargas coloidais em suspensão. Na zona de floculação hidráulica, os colóides neutralizados agregam-se, formando flocos. A mistura segue para a câmara de separação, onde é difundida uma nuvem de microbolhas de ar que adere aos flocos leves e às fases oleosas, reduzindo a sua densidade aparente e promovendo a sua ascensão à superfície, enquanto a fração densa sedimenta através de um conjunto de lamelas instaladas na parte inferior da câmara.

A fração lamelar deverá ser fornecida em secções removíveis e prever-se o acesso e os meios necessários à sua lavagem periódica.

As lamas densas acumulam-se na tremonha de fundo e são extraídas para desidratação. O flotado é removido em contínuo por caleiras de descarga de superfície e encaminhado para gestão como rejeitado. A água clarificada é extraída na zona inferior da câmara e segue para o tanque de água clarificada.

As principais características do flotodecantador apresentam-se na Tabela 6.31.

Tabela 6.31 – Características do flotodecantador.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal de dimensionamento	169,4	m^3/h
Nº de linhas	2	un
Nº de unidades (uma por linha)	2	un
Coagulação		
Nº de câmaras por linha	2	un
Tempo de contacto	6	min
Gradiente de velocidade	700	s^{-1}
Volume útil	18	m^3
Altura útil da câmara	2,0	m
Largura da câmara	1,5	m
Comprimento da câmara	1,5	m
Floculação		
Nº de câmaras por linha	3	un
Tempo de contacto	13	min
Gradiente de velocidade	70	s^{-1}
Volume útil	36	m^3
Altura útil da câmara	2,0	m
Largura da câmara	1,5	m
Comprimento da câmara	2,0	m
Decantação lamelar		
Ângulo de inclinação das lamelas	55	º
Área projetada de lamelas	352	m^2
Carga hidráulica sobre a área projetada	0,48	m/h
Flotação		
Carga hidráulica superficial	4,2	m/h

Parâmetro	Valor	Unidade
Tempo de retenção	50	min
Taxa de recirculação de ar saturado	20	%
Geometria do órgão		
Área útil em planta	40	m²
Largura por unidade	2,5	m
Comprimento por unidade	8,0	m
Altura útil	3,5	m
Volume útil	140	m³
Carga de sólidos	2,0	kg/(m²·h)

TANQUE DE ÁGUA CLARIFICADA (CWT)

A jusante do flotodecantador, a água clarificada é encaminhada para um tanque de água clarificada (CWT – Clarified Water Tank), de planta circular, que funciona como órgão tampão entre o flotodecantador e a ultrafiltração. Este tanque regulariza o caudal e amortece as variações de carga, assegurando uma alimentação estável e contínua às unidades de ultrafiltração da 1.ª fase.

As principais características do tanque de água clarificada apresentam-se na Tabela 6.32.

Tabela 6.32 – Características do tanque de água clarificada (CWT).

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal de dimensionamento	158,6	m³/h
Tempo de retenção	21,4	min
Volume útil necessário	56,5	m³
Altura útil	2,0	m
Área útil em planta	28,3	m²
Diâmetro	6,0	m

ULTRAFILTRAÇÃO

A ultrafiltração está organizada em duas fases. O rejeitado da 1.ª fase é reprocessado numa 2.ª fase, sendo o rejeitado final reintroduzido no início do processo. O permeado é encaminhado para pré-tratamento e osmose inversa, existindo um reservatório tampão (RT1) entre fases e a montante da osmose (ULFWT2).

As principais características da ultrafiltração Fase 1 apresentam-se na Tabela 6.33.

Tabela 6.33 – Características da ultrafiltração - UF1.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal de alimentação	158,6	m³/h
Nº de linhas	2	Un

Parâmetro	Valor	Unidade
Recuperação	90	%
Fluxo de membrana	40	LMH
Área de membrana	3 596	m²
Rejeitado/concentrado	15,86	m³/h
Permeado	142,74	

O Reservatório RT1 / ULFWT1 (Rejects Tank 1) é um reservatório tampão intercalado entre as duas fases de ultrafiltração. Recebe o rejeitado da 1.ª fase (UF11 + UF12) e alimenta a 2.ª fase (UF21 + UF22), amortecendo as variações de caudal e de qualidade entre fases e assegurando uma alimentação estável à etapa seguinte. As suas principais características apresentam-se na Tabela 6.34.

Tabela 6.34 – Características do Reservatório RT1.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal de dimensionamento	15,86	m³/h
Tempo de retenção	95,1	min
Volume útil	25,1	m³
Altura útil	2,0	m
Área útil em planta	12,6	m²
Diâmetro	4,0	m

As principais características da ultrafiltração Fase 2 apresentam-se na Tabela 6.35.

Tabela 6.35 – Características da ultrafiltração – UF2.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal de alimentação	15,86	m³/h
Nº de linhas	2	Un
Fluxo de membrana	30	LMH
Área de membrana	402	m²
Rejeitado/concentrado	3,80	m³/h
Permeado	12,06	m³/h

RESERVATÓRIO ULFWT

O reservatório ULFW (Ultrafiltrated Water Tank) é o tanque que armazena a água ultrafiltrada (permeado combinado da UF1 e UF2) a montante da osmose inversa. Recebe o permeado combinado das duas fases de ultrafiltração e alimenta, de forma regularizada, a microfiltração e a osmose inversa, garantindo caudal e qualidade estáveis à entrada das membranas. A partir deste reservatório, a água ultrafiltrada pode seguir para a osmose inversa ou, sempre que a sua qualidade o permita, ser encaminhada diretamente para o reservatório de água tratada (TWT).

As principais características do Reservatório ULFWT2 apresentam-se na Tabela 6.36.

Tabela 6.36 – Características do Reservatório ULFWT2.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal de dimensionamento	154,8	m³/h
Tempo de retenção	21,9	min
Volume útil	56,5	m³
Altura útil	2,0	m
Área útil em planta	28,3	m²
Diâmetro	6,0	m

MICROFILTRAÇÃO E OSMOSE INVERSA

O permeado da ultrafiltração passa por microfiltração (cartuchos de proteção das membranas) e, em seguida, por osmose inversa, organizada em duas linhas (RO1 + RO2), produzindo água de elevada qualidade destinada a reutilização nos processos da Lavaria e/ou encaminhamento para o meio hídrico.

As principais características da microfiltração e osmose inversa apresentam-se na Tabela 6.37.

Tabela 6.37 – Características da microfiltração e osmose inversa.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal de alimentação	154,8	m³/h
Nº de linhas	2	Un
Microfiltração - Cartuchos de 5 µm		
Caudal por linha	77,4	m³/h
Osmose inversa		
Caudal por linha	77,4	m³/h
Fluxo médio	20	LMH
Área de membrana total	6 770	m²
Permeado	135,40	m³/h
Recuperação	87,5	%
Rejeitado/concentrado	19,40	m³/h

RESERVATÓRIO DE ÁGUA TRATADA (TWT)

A água tratada é armazenada num reservatório dedicado (TWT), que funciona como buffer operacional antes da reintrodução nos processos da Lavaria.

As principais características do TWT apresentam-se na Tabela 6.38.

Tabela 6.38 – Características do reservatório de água tratada.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal de dimensionamento	135,4	m³/h
Tempo de retenção	67	min
Volume útil	151	m³

Parâmetro	Valor	Unidade
Altura útil	3,0	m
Área útil em planta	50,0	m²
Diâmetro	8,0	m

RESERVATÓRIO DE REJEITADOS (RT2)

O reservatório de rejeitados 2 (RT2) recebe e armazena o concentrado (rejeitado) proveniente da osmose inversa, funcionando como tampão antes do seu encaminhamento para retratamento ou encaminhamento para operador externo. Este concentrado corresponde à fração salina rejeitada pelas membranas de osmose inversa, pelo que o seu armazenamento intermédio permite regularizar o caudal e assegurar a gestão adequada do efluente.

As principais características do reservatório de rejeitados apresentam-se na Tabela 6.39.

Tabela 6.39 – Características do reservatório de RT2.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal de dimensionamento	19,3	m³/h
Tempo de retenção	24	h
Volume útil	453	m³
Altura útil	4,0	m
Área útil em planta	113,1	m²
Diâmetro	12,0	m

O rejeitado gerado pelo processo será encaminhado para o tanque de rejeitados RT2, a partir do qual será efetuado o seu encaminhamento para destino final adequado, de acordo com as condições aplicáveis à sua descarga e com o respetivo título de utilização dos recursos hídricos.

A eventual utilização de água ultrafiltrada será realizada de forma controlada, tendo por base as características do rejeitado e as condições de descarga aplicáveis, com monitorização dos principais parâmetros de qualidade do efluente. A descarga no meio recetor será efetuada apenas quando cumpridas as condições definidas no respetivo título de utilização dos recursos hídricos e demais requisitos aplicáveis, ficando as condições finais da operação sujeitas à apreciação da entidade competente.

DESIDRATAÇÃO DE LAMAS

As lamas extraídas do fundo do flotodecantador são desidratadas numa prensa de parafuso multidiscos, prevendo-se a dosagem de floculante para condicionamento prévio das lamas e melhoria do desempenho da desidratação. A fase sólida será encaminhada para gestão por operador de resíduos devidamente licenciado.

O equipamento é constituído por um parafuso de passo decrescente que se desenvolve no interior de um cilindro formado por anéis fixos e móveis alternados. O movimento relativo entre anéis assegura a autolimpeza contínua da superfície filtrante, evitando a colmatação característica das lamas com hidróxidos e sílica e dispensando o recurso permanente a água de lavagem sob pressão. A rotação é lenta, da ordem de 1 rpm, o que se traduz em consumos energéticos, níveis de ruído e desgaste mecânico reduzidos.

O funcionamento é contínuo e automático, com comando a partir do nível do depósito de lamas e doseamento de polielectrólito proporcional à carga afluente.

O desempenho efetivo do equipamento deverá ser confirmado com o fornecedor, revendo-se em conformidade o balanço de massas e o armazenamento de lamas.

As principais características do equipamento de desidratação de lamas apresentam-se na Tabela 6.40.

Tabela 6.40 – Características do equipamento de desidratação de lamas.

Parâmetro	Valor	Unidade
Caudal afluente (lamas de fundo do flotodecantador)	6,8	m^3/h
Concentração de sólidos afluente	1,2	%
Carga mássica de sólidos afluente	80,5	kg MS/h
Retenção de sólidos	98	%
Caudal de lamas desidratadas	0,2	m^3/h
Teor de matéria seca do bolo	39	%
Produção diária de sólidos secos	1 894	kg/dia
Regime de funcionamento	Contínuo	-

REAGENTES E CONSUMÍVEIS

Os reagentes e as dosagens indicados são estimativas, baseadas na caracterização disponível da água bruta e nos ensaios realizados.

As dosagens devem ser afinadas com base em ensaios realizados periodicamente durante o arranque e a exploração da instalação, de forma a otimizar os custos de operação e assegurar o desempenho das etapas de membranas.

O equipamento de armazenamento e doseamento dos reagentes fica instalado num edifício contíguo às instalações de tratamento.

As membranas de ultrafiltração e osmose inversa recorrem a dois tipos de limpeza química das membranas: a CEB (Chemically Enhanced Backwash), limpeza ligeira e frequente, realizada durante as retrolavagens, e a CIP (Cleaning In Place), limpeza mais intensiva e periódica, com recirculação de uma solução concentrada. Na osmose inversa, as membranas são limpas apenas por CIP, complementada por uma desinfeção periódica. Os reagentes, as doses e as frequências de limpeza das membranas aqui

indicados são estimativas e dependem do equipamento de membranas efetivamente instalado, devendo ser confirmados pelo instalador.

$MG(OH)_2$ (HIDRÓXIDO DE MAGNÉSIO)

Utilizado na etapa de precipitação química como fonte de magnésio para a remoção de sílica por co-precipitação, contribuindo também para a remoção de cálcio e metais dissolvidos. A elevação do pH até ao valor de operação (10,5–11,0) é assegurada pelo doseamento de NaOH.

O reagente é fornecido em suspensão aquosa concentrada e armazenado em cuba dedicada, em PEAD ou material equivalente, equipada com agitador para manter os sólidos em suspensão e evitar a sedimentação no fundo.

O doseamento é feito por bombas doseadoras tipo peristáltico ou de cavidade progressiva. As tubagens de doseamento devem ter ligação a água de serviço para lavagem, de modo a evitar entupimentos.

A cuba fica instalada em bacia de retenção própria, impermeabilizada e resistente a produtos alcalinos, com capacidade não inferior a 110 % do volume. A bacia deve ser fisicamente separada das bacias dos reagentes ácidos da instalação, para impedir o contacto entre derrames incompatíveis.

Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.41.

Tabela 6.41 – Hidróxido de Magnésio.

Parâmetro	Valor	Unidade
Dados de base		
Dosagem média	300	mg/L
Dosagem máxima	400	mg/L
Concentração da solução/produto	50,0	%
Massa volúmica	1,50	Kg/L
Consumo		
Caudal a tratar	3 840	m^3/dia
Consumo médio	1 152,0	kg/dia
Consumo máximo	1 536,0	kg/dia
Consumo anual	420,5	t/ano
Caudal de dosagem (solução)		
Caudal médio	1 536	L/dia
Caudal máximo	2 048	L/dia
Cubas de armazenamento		
Número	2	un
Volume Unitário	20,0	m^3
Autonomia	26,0	dias
Bombas doseadoras		

Parâmetro	Valor	Unidade
Número de bombas doseadoras	2 (1+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	85,3	L/h

NAOH 50% (SODA CÁUSTICA)

Utilizado na precipitação química para elevar o pH até ao valor de operação (10,5–11,0), em complemento do $Mg(OH)_2$. É também utilizado nas limpezas alcalinas das membranas de ultrafiltração durante os ciclos CEB e CIP (em conjunto com o NaOCl), permitindo remover deposições orgânicas e recuperar o desempenho hidráulico das membranas.

É um reagente fortemente alcalino e corrosivo, incompatível com ácidos. Fica armazenado em depósito dedicado, em PEAD ou material equivalente. A solução a 50 % cristaliza abaixo de 12 °C, pelo que o depósito e as linhas de doseamento devem ter isolamento térmico ou o reagente ser armazenado com uma concentração inferior.

O doseamento é feito por bombas doseadoras de membrana, com cabeça e vedações em materiais compatíveis com soluções alcalinas concentradas.

O depósito fica instalado em bacia de retenção própria, impermeabilizada e resistente a produtos alcalinos, com capacidade não inferior a 110 % do volume do depósito. A bacia é fisicamente separada das bacias dos reagentes ácidos. Junto à zona de armazenagem e trasfega deve existir chuveiro de emergência com lava-olhos.

Os dados de dimensionamento da precipitação química, das limpezas da UF e o consumo total apresentam-se na Tabela 6.42.

Tabela 6.42 – NaOH 50% - Precipitação química, limpezas UF e consumo total

Parâmetro	Valor	Unidade
Precipitação química – Dados de base		
Caudal a tratar	3 840	m³/dia
Dosagem média	300	mg/L
Dosagem máxima	400	mg/L
Concentração da solução	50,0	%
Massa volúmica	1,53	Kg/L
Precipitação química – Consumo		
Consumo médio	1 152,0	kg/dia
Consumo máximo	1 536,0	kg/dia
Consumo anual	420,5	t/ano
Precipitação química – Caudal de dosagem (solução)		
Caudal médio	1 506	L/dia
Caudal máximo	2 008	L/dia
CEB (UF) – Dados de base		

Parâmetro	Valor	Unidade
Dosagem média	20	mg/L
Dosagem máxima	30	mg/L
CEB (UF) – Consumo		
Consumo médio	76,8	kg/dia
Consumo máximo	115,2	kg/dia
Consumo anual	28,0	t/ano
CEB (UF) – Caudal de dosagem (solução)		
Caudal médio	100,4	L/dia
Caudal máximo	150,6	L/dia
CIP (UF) – Dados de base		
Massa de produto comercial por evento	40	kg/evento
N.º de eventos por ano	12	un/ano
CIP (UF) – Consumo		
Consumo anual	0,48	t/ano
Consumo total de NaOH 50%		
Consumo anual – precipitação química	420,5	t/ano
Consumo anual – UF (CEB)	28,0	t/ano
Consumo anual – UF (CIP)	0,48	t/ano
Consumo anual total	449,0	t/ano
Cubas de armazenamento (comuns)		
Número	2	un
Volume Unitário	20,0	m³
Autonomia (consumo total)	24,9	dias
Bombas doseadoras – precipitação química		
Número de bombas doseadoras	2 (1+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	83,7	L/h

COAGULANTE

Utilizado na etapa de coagulação/floculação, para promover a agregação das partículas em suspensão e melhorar a remoção de sólidos e matéria orgânica.

É armazenado em depósito dedicado, em PEAD ou material equivalente. O doseamento é feito por bombas doseadoras de membrana, com cabeça em PVDF ou material equivalente resistente a soluções ácidas, em regime proporcional ao caudal afluente.

O depósito fica em bacia de retenção própria, impermeabilizada e resistente a produtos ácidos, com capacidade não inferior a 110 % do volume. Esta bacia é fisicamente separada das bacias dos reagentes alcalinos (NaOH e $Mg(OH)_2$). Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.43.

Tabela 6.43 – Coagulante.

Parâmetro	Valor	Unidade
Dados de base		
Caudal a tratar	3 840	m³/dia
Dosagem média	25	mg/L
Dosagem máxima	30	mg/L
Concentração da solução/produto	40,0	%
Massa volúmica	1,20	Kg/L
Consumo		
Consumo médio	96,0	kg/dia
Consumo máximo	115,2	kg/dia
Consumo anual	35,0	t/ano
Caudal de dosagem (solução)		
Caudal médio	200	L/dia
Caudal máximo	240	L/dia
Cubas de armazenamento		
Número	2	un
Volume unitário	2,0	m³
Autonomia	20,0	dias
Bombas doseadoras		
Número de bombas doseadoras	2 (1+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	10,0	L/h

FLOCULANTE - FASE LÍQUIDA

Doseado a jusante da coagulação para promover a formação de flocos de maior dimensão e melhorar a eficiência do processo de separação sólido-líquido.

O polímero é preparado numa unidade automática de preparação, com compartimentos de dissolução, maturação e armazenagem, em aço inoxidável AISI 316, PEAD ou material equivalente. A concentração de preparação é tipicamente de 0,1–0,5 %. O produto comercial em pó é armazenado em local seco e coberto, junto à tremonha de alimentação da unidade. É fornecido em sacos ou big-bags.

O doseamento é feito por bombas de cavidade progressiva, adequadas a soluções viscosas e sensíveis ao corte, com diluição secundária em linha a montante do ponto de injeção.

A zona deve estar afastada dos reagentes oxidantes, porque degradam o polímero. O pavimento envolvente deve ser antiderrapante, dado que a solução de polímero torna as superfícies muito escorregadias em caso de derrame.

Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.44.

Tabela 6.44 – Floculante - Fase Líquida.

Parâmetro	Valor	Unidade
Dados de base		
Caudal a tratar	3 840	m³/dia
Dosagem média	10,7	mg/L
Dosagem máxima	15	mg/L
Concentração da solução/produto	0,5	%
Consumo		
Consumo médio	41,1	kg/dia
Consumo máximo	57,6	kg/dia
Consumo anual	15,0	t/ano
Caudal de dosagem (solução)		
Caudal médio	8 219	L/dia
Caudal máximo	11 520	L/dia
Armazenagem (produto em pó)		
Autonomia considerada	30	dias
Quantidade armazenada	1 233	Kg
Bombas doseadoras		
Número de bombas doseadoras	3 (2+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	240	L/h

FLOCULANTE - FASE SÓLIDA

Utilizado na linha de tratamento de lamas para melhorar a separação sólido-líquido e aumentar a eficiência da desidratação mecânica na prensa de parafuso multidiscos. Trata-se do mesmo tipo de produto em pó, armazenado nas mesmas condições (sacos ou big-bags, em local seco e coberto, junto à unidade de preparação), considerando-se igualmente cerca de 30 dias de consumo.

Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.45.

Tabela 6.45 – Floculante - Fase Sólida.

Parâmetro	Valor	Unidade
Dados de base		
Dosagem média	200	mg/L
Dosagem máxima	300	mg/L
Concentração da solução	0,5	%
Consumo		
Caudal a tratar	164,4	m³/dia
Consumo médio	32,9	kg/dia

Parâmetro	Valor	Unidade
Consumo máximo	49,3	kg/dia
Consumo anual	12,0	t/ano
Caudal de dosagem (solução)		
Caudal médio	6 575	L/dia
Caudal máximo	9 863	L/dia
Armazenagem (produto em pó)		
Autonomia considerada	30	dias
Quantidade armazenada	986	Kg
Bombas doseadoras		
Número de bombas doseadoras	2 (1+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	411,0	L/h

HC_L 33% (ÁCIDO CLORÍDRICO)

Utilizado para regulação de pH a montante da osmose inversa. O consumo anual total engloba a regulação de pH (e as limpezas CEB e CIP da ultrafiltração.

É armazenado em depósito dedicado, em PEAD ou material equivalente. Devido à libertação de vapores ácidos, o respiro do depósito é ligado a um lavador de gases ou a um filtro de neutralização, e o local de armazenagem deve ter ventilação adequada.

O doseamento é feito por bombas doseadoras de membrana.

O depósito fica instalado em bacia de retenção própria, impermeabilizada e resistente a produtos ácidos, com capacidade não inferior a 110 % do volume do maior reservatório nela contido. A bacia é fisicamente separada das bacias dos reagentes alcalinos (NaOH, $Mg(OH)_2$). Deve também ficar afastada dos reagentes oxidantes, nomeadamente do NaOCl, cujo contacto com o ácido liberta cloro. Junto à zona de armazenagem e trasfega deve existir chuveiro de emergência com lava-olhos.

É também utilizado nas limpezas ácidas das membranas de ultrafiltração durante os ciclos CEB e CIP, para remoção de incrustações inorgânicas e recuperação do desempenho hidráulico das membranas. O HCl destas limpezas provém das mesmas cubas da regulação de pH.

Os dados de dimensionamento da regulação de pH, das limpezas da UF e o consumo total apresentam-se na Tabela 6.46.

Tabela 6.46 –HCl 33% - Regulação de pH, limpezas UF e consumo total

Parâmetro	Valor	Unidade
Regulação de pH – Dados de base		
Caudal a tratar	3 840	m^3/dia
Dosagem média	288	mg/L

Parâmetro	Valor	Unidade
Dosagem máxima	350	mg/L
Concentração da solução/produto	33,0	%
Massa volúmica	1,16	kg/L
Regulação de pH – Consumo		
Consumo médio	1 105,9	kg/dia
Consumo máximo	1 344,0	kg/dia
Consumo anual	403,7	t/ano
Regulação de pH – Caudal de dosagem (solução)		
Caudal médio	2 889,0	L/dia
Caudal máximo	3 511,0	L/dia
CEB (UF) – Dados de base		
Dosagem média	20	mg/L
Dosagem máxima	30	mg/L
CEB (UF) – Consumo		
Consumo médio	76,8	kg/dia
Consumo máximo	115,2	kg/dia
Consumo anual	28,0	t/ano
CEB (UF) – Caudal de dosagem (solução)		
Caudal médio	200,6	L/dia
Caudal máximo	300,9	L/dia
CIP (UF) – Dados de base		
Massa de produto comercial por evento	40	kg/evento
Concentração da solução de limpeza (produto comercial)	0,2	%
N.º de eventos por ano	12	un/ano
CIP (UF) – Consumo		
Consumo anual	0,48	t/ano
CIP (UF) – Solução de limpeza		
Volume de solução por evento	20	m³
Caudal de recirculação CIP	30	m³/h
Duração por evento	4	h
Consumo total de HCl 33%		
Consumo anual – regulação de pH	403,7	t/ano
Consumo anual – UF (CEB)	28,0	t/ano
Consumo anual – UF (CIP)	0,48	t/ano
Consumo anual total	432,2	t/ano
Cubas de armazenamento (comuns)		
Número	3	un
Volume unitário	25,0	m³
Autonomia (consumo total)	24,3	dias
Bombas doseadoras – regulação de pH		
Número de bombas doseadoras	3 (2+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	73,1	L/h

NAOCL 12,5% (HIPOCLORITO DE SÓDIO)

Utilizado como agente oxidante nas limpezas químicas das membranas de ultrafiltração: nos ciclos CEB (alcalino/oxidante) e nas limpezas CIP alcalinas, em conjunto com o NaOH. É armazenado em depósito dedicado, em PEAD ou material equivalente, protegido da luz e do calor; como o produto se degrada ao longo do tempo, a autonomia de armazenagem deve ficar limitada a cerca de 15–30 dias. O depósito fica em bacia de retenção própria, afastada dos reagentes ácidos, cujo contacto com o hipoclorito liberta cloro. Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.47.

Tabela 6.47 – NaOCl 12,5% - UF

Parâmetro	Valor	Unidade
CEB – Dados de base		
Dosagem média	10	mg/L
Dosagem máxima	15	mg/L
Concentração da solução/produto	12,5	%
Massa volúmica	1,20	kg/L
CEB – Consumo		
Caudal a tratar	3 840	m³/dia
Consumo médio	38,4	kg/dia
Consumo máximo	57,6	kg/dia
Consumo anual (calculado)	14,0	t/ano
CEB – Caudal de dosagem (solução)		
Caudal médio	256	L/dia
Caudal máximo	384	L/dia
CIP – Dados de base		
Massa de reagente por evento	50	kg/evento
N.º de eventos por ano	12	un/ano
CIP – Consumo		
Consumo anual	0,6	t/ano
Consumo total de NaOCl 12,5%		
Consumo anual – UF (CEB)	14,0	t/ano
Consumo anual – UF (CIP)	0,6	t/ano
Consumo anual total	14,6	t/ano
Cubas de armazenamento		
Número	1	un
Volume unitário	5,0	m³
Autonomia	19,5	dias
Bombas doseadoras		
Número de bombas doseadoras	2 (1+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	16,0	L/h

INIBIDOR DE INCRUSTAÇÃO

Doseado à entrada da osmose inversa para prevenir a precipitação de sais e a formação de incrustações nas membranas.

Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.48.

Tabela 6.48 – Inibidor de Incrustação – OI

Parâmetro	Valor	Unidade
Dados de base		
Caudal a tratar	3 840	m³/dia
Dosagem média	6,4	mg/L
Dosagem máxima	8	mg/L
Concentração da solução/produto	100,0	%
Massa volúmica	1,15	kg/L
Consumo		
Consumo médio	24,7	kg/dia
Consumo máximo	30,7	kg/dia
Consumo anual	9,0	t/ano
Caudal de dosagem (solução)		
Caudal médio	21	L/dia
Caudal máximo	27	L/dia
Cubas de armazenamento		
Número	1	un
Volume	1,0	m³
Autonomia	46,6	dias
Bombas doseadoras		
Número de bombas doseadoras	3 (2+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	0,6	L/h

BIOCIDA

Utilizado para controlo microbiológico da unidade de osmose inversa e prevenção do desenvolvimento de biofilmes. Deve ser armazenado separadamente de reagentes incompatíveis, nomeadamente produtos ácidos. Trata-se de um produto à base de cloro estabilizado, de ação não oxidante e compatível com membranas de poliamida, doseado sem diluição na alimentação da osmose inversa, em contínuo ou de forma intermitente. A compatibilidade com as membranas instaladas deve ser confirmada com o respetivo fornecedor.

Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.49.

Tabela 6.49 – Biocida – OI

Parâmetro	Valor	Unidade
Dados de base		
Caudal a tratar	3 840	m³/dia
Dosagem média	12,1	mg/L
Dosagem máxima	15	mg/L
Concentração da solução/produto	100,0	%
Massa volúmica	1,05	kg/L
Consumo		
Consumo médio	46,6	kg/dia
Consumo máximo	57,6	kg/dia
Consumo anual	17,0	t/ano
Caudal de dosagem (solução)		
Caudal médio	44	L/dia
Caudal máximo	55	L/dia
Cubas de armazenamento		
Número	1	un
Volume	1,0	m³
Autonomia	22,5	dias
Bombas doseadoras		
Número de bombas doseadoras	3 (2+1)	un
Caudal unitário máximo a dosear	1,1	L/h

LIMPEZA DE MEMBRANAS

Utilizado nas operações periódicas de limpeza química (CIP) das membranas de osmose inversa, removendo incrustações e depósitos acumulados durante a exploração do sistema. É utilizado como aditivo da solução alcalina de limpeza, com um consumo de cerca de 9 kg de produto por limpeza e 6 limpezas por ano. É armazenado na embalagem de origem sobre bacia de retenção, não dispondo de cuba dedicada.

Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.50.

Tabela 6.50 – Limpeza de Membranas - OI

Parâmetro	Valor	Unidade
Dados de base		
Massa de reagente por evento	9	kg/evento
Consumo		
Consumo anual	54	kg/ano
N.º de eventos por ano	6	un/ano
Solução de limpeza (CIP)		
Caudal de recirculação CIP	30,0	m³/h

Parâmetro	Valor	Unidade
Duração por evento	4,0	h

DESINFEÇÃO DE MEMBRANAS - OI

Utilizado na desinfeção periódica das membranas de osmose inversa, assegurando o controlo microbiológico do sistema, com um consumo de cerca de 7 kg de produto por desinfeção e 6 desinfeções por ano. É armazenado na embalagem de origem, sobre bacia de retenção, não dispondo de cuba dedicada.

Os dados de dimensionamento apresentam-se na Tabela 6.51.

Tabela 6.51 – Desinfeção de Membranas - OI.

Parâmetro	Valor	Unidade
Dados de base		
Massa de reagente por evento	7	kg/evento
Consumo		
N.º de eventos por ano	6	un/ano
Consumo anual	42	kg/ano
Solução de limpeza (CIP)		
Caudal de recirculação CIP	30,0	m³/h
Duração por evento	4,0	h

6.8.4.2 BALANÇO DE MASSAS

O diagrama de balanço de massas da estação de tratamento de águas residuais industriais, cenário "sem evaporação, com reintrodução do rejeitado da ultrafiltração" é ilustrado na Peça Desenhada T2026-1760-00-PE-HID-10.

6.8.5 GESTÃO GLOBAL DAS INFRAESTRUTURAS

6.8.5.1 INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS

Os três sistemas de tratamento foram concebidos de forma a assegurar uma gestão eficiente dos recursos hídricos do Projeto, privilegiando a recirculação sempre que tecnicamente possível. A água proveniente do reservatório RA-01 é encaminhada para a ETA e, após tratamento, distribuída às infraestruturas sociais e administrativas. O efluente doméstico gerado é conduzido à ETAR doméstica, cuja água tratada poderá ser reintroduzida no circuito de reutilização do Projeto, através do reservatório de controlo ambiental RCA-02. As águas residuais industriais, provenientes essencialmente da Lavaria, são encaminhadas para a ETAR industrial, diretamente ou através do

reservatório RCA-01, podendo a água tratada resultante ser reintroduzida no processo (via RCA-02) e posteriormente encaminhada para o meio hídrico, via RCA-02.

6.8.6 Balanço Hídrico Integrado e Gestão dos Reservatórios

O balanço hídrico integrado articula as origens de água, os volumes armazenados, os consumos operacionais, os circuitos de tratamento e reutilização e as restituições ao meio hídrico. A gestão assenta na separação das águas em função da sua origem e qualidade, privilegiando a reutilização interna e a utilização de cada corrente em condições compatíveis com o respetivo destino. O relatório de suporte integra o Anexo V.6.

A avaliação considera cenários de precipitação média, baixa e elevada, com precipitações anuais de referência de 1 649 mm, 646 mm e 3 394 mm, respetivamente. A evaporação anual de referência é de 1 339 mm, aplicando-se fatores de 105% no cenário seco e de 95% no cenário chuvoso. O modelo considera as áreas contribuintes, as condições iniciais e os limites de armazenamento dos reservatórios, as perdas de água, as transferências entre infraestruturas e as necessidades operacionais. A caracterização hidrológica distingue os estágios inicial e final de desenvolvimento das bacias afetadas pelo Projeto.

O sistema integra seis reservatórios, cinco no Bloco Este e um no Bloco Oeste, com funções complementares:

- Os reservatórios RA-01 e RA-02 recebem e regularizam águas limpas provenientes de áreas exteriores às zonas operacionais. O RA-01 assegura apoio ao arranque da lavaria e às necessidades operacionais, enquanto o RA-02 recebe também os escoamentos encaminhados pela PHL-01 e constitui uma reserva de segurança do sistema.
- Os reservatórios RCS-01 e RCS-02 recebem águas das áreas mineiras e promovem a retenção de sedimentos. O RCS-01 está associado às cortas do Pinheiro e do Grandão e disponibiliza água para a lavaria e para operações de controlo de poeiras e lavagem. O RCS-02 recebe águas das cortas do Noa e do Reservatório.
- O RCA-01 recebe e regulariza águas provenientes da lavaria, da drenagem da instalação de armazenamento de rejeitados e da respetiva bacia de contribuição, antes do tratamento industrial. O RCA-02 recebe água tratada, assegurando o seu armazenamento e disponibilização para reutilização, bem como a gestão dos excedentes.

No cenário médio de precipitação apresentado no balanço, as entradas de água contabilizadas na lavaria totalizam aproximadamente 143 m³/h. A distribuição pelas principais origens é apresentada na tabela seguinte:

Tabela 6.52 – Origens da água que alimenta a Lavaria.

Origem	Caudal médio (m³/h)	Participação aproximada
RCA-02	97,0	68%

Origem	Caudal médio (m³/h)	Participação aproximada
RCS-01	34,1	24%
Furos de drenagem das cortas	5,5	4%
Humidade do minério	6,2	4%
Total	**142,8**	**100%**

Estes valores representam as médias do cenário de referência e caracterizam as entradas contabilizadas no modelo hídrico. Distinguem-se dos caudais de circulação interna do processo e dos caudais de dimensionamento das instalações. Os reservatórios RCA-02 e RCS-01 asseguram, em conjunto, aproximadamente 92% destas entradas, evidenciando a importância do aproveitamento da água recolhida e tratada no próprio sistema.

A corrente proveniente da lavaria encaminhada para o RCA-01 é de aproximadamente 110,6 m³/h. Considerando também a drenagem da instalação de armazenamento de rejeitados e o escoamento superficial afluente ao reservatório, o caudal médio encaminhado para tratamento industrial é de cerca de 121 m³/h. O tratamento compreende operações de decantação, flotação por ar dissolvido, ultrafiltração e osmose inversa, sendo a água tratada encaminhada para o RCA-02 e disponibilizada para reutilização.

O regime de precipitação condiciona as afluências e os excedentes do sistema, com maior necessidade de restituição de água nos períodos húmidos. O relatório identifica nove pontos de descarga associados aos órgãos de fundo e de cheia dos reservatórios. As águas dos reservatórios de controlo de sedimentos são sujeitas a decantação e separação de hidrocarbonetos antes da descarga. A RCA-02 recebe água cuja qualidade é verificada à saída do tratamento, antes da entrada no reservatório. As descargas operacionais controladas da RCA-02 apenas são realizadas após verificação das condições de qualidade aplicáveis e do cumprimento das condições do respetivo título de utilização dos recursos hídricos.

A gestão das descargas operacionais distingue-se do funcionamento dos órgãos de segurança em situação de cheia, cuja capacidade e funcionamento são preservados.

A gestão operacional inclui o controlo dos níveis de armazenamento, a utilização articulada das reservas e procedimentos para situações de escassez ou excesso de água. Em condições incompatíveis com a disponibilidade hídrica ou com a gestão segura dos volumes armazenados, está prevista a suspensão temporária da operação.

Se, numa situação excecional, for transferida água não tratada do RCA-01 para o RCA-02, a descarga operacional do RCA-02 para o meio hídrico permanece fechada. A totalidade da água misturada no RCA-02 é encaminhada para tratamento na ETARI, através do RCA-01, por bombagem direta ou após reutilização na lavaria. A passagem pela lavaria não substitui o tratamento na ETARI. A descarga operacional só é retomada após conclusão desse tratamento e verificação dos requisitos de qualidade e das condições do título de utilização dos recursos hídricos aplicável. Os volumes transferidos, tratados e armazenados são registados para demonstrar a execução do

procedimento. Esta regra não altera a função dos órgãos de segurança hidráulica, cuja atuação obedece aos procedimentos de emergência das barragens.

O funcionamento das infraestruturas é acompanhado por monitorização instrumental, inspeções visuais e manutenção dos reservatórios, sistemas de drenagem e órgãos hidráulicos. Os níveis das albufeiras e a precipitação são acompanhados diariamente durante a exploração corrente. O programa de observação abrange ainda deslocamentos, pressões intersticiais e caudais de percolação, permitindo identificar alterações de comportamento e executar as ações de conservação e correção previstas.

6.9 INFRAESTRUTURAS DE CONTROLO HIDRÁULICO

Os reservatórios RCA-01, RCA-02, RCS-01, RA-01, RA-02 e RCS-02 integram equipamentos automáticos de medição de nível. A medição contínua é efetuada por sondas piezoresistivas instaladas em tubos DN200 embutidos numa das paredes das torres de tomada de água. Cada sistema integra duas boias, de nível mínimo e máximo, em redundância com a medição contínua. Os sinais recolhidos permitem a monitorização dos níveis de água e apoiam a gestão operacional, incluindo a emissão de avisos e alarmes associados aos níveis e às condições de descarga. A instrumentação de nível encontra-se especificada nas memórias descritivas dos seis reservatórios. As torres de tomada de água estão representadas nos desenhos 1303, 2303, 3303, 4303, 5303 e 6303 do projeto hidráulico.

Para além das quatro áreas principais de extração – Grandão, Pinheiro, NOA e Reservatório – bem como depósitos de estéreis, instalações de processamento, a exploração mineira contempla um conjunto de infraestruturas hidráulicas destinadas à gestão de águas superficiais que serão abordadas na presente secção.

O estudo das infraestruturas de controlo hidráulico adotou, como base, a informação climatológica e hidrológica previamente desenvolvida, mantendo os dados de base, a distribuição de probabilidade e a metodologia de cálculo estabelecida. Foram introduzidos apenas os ajustes necessários ao enquadramento do projeto das reservatórios e dos respetivos órgãos hidráulicos no Regulamento de Segurança de Barragens, nomeadamente no que respeita aos períodos de retorno aplicáveis ao dimensionamento e à verificação da segurança das infraestruturas hidráulicas, em função da classe atribuída aos reservatórios.

A caracterização climatológica assenta na série pluviométrica e na matriz precipitação-duração-frequência dos estudos de base. As precipitações de dimensionamento são selecionadas em função dos períodos de retorno e das durações requeridos para cada infraestrutura, conforme os critérios apresentados nas secções seguintes. A precipitação máxima provável é tratada separadamente das precipitações associadas a períodos de retorno definidos.

A modelação hidrológica foi desenvolvida com recurso ao programa HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*), utilizando a transformação precipitação–escoamento pelo método do hidrograma unitário do SCS, associada ao número de escoamento (CN), a propagação em canal pelo método de Muskingum-Cunge e o amortecimento em

albufeira pelo método de Puls. Esta abordagem permite representar de forma integrada os diferentes sistemas hidráulicos e analisar os estágios inicial e final de desenvolvimento do projeto.

Para efeitos da modelação, o Sistema Pinheiro foi subdividido em Pinheiro 1, constituído pela RA-01, RCA01, RCA-02 e Canais de Desvio, e Pinheiro 2, constituído pela RCS-01. Foram igualmente analisados os sistemas Grandão e Reservatório.

O estudo compreende a caracterização das bacias hidrográficas, a definição dos números de escoamento (CN) para os diferentes estágios de desenvolvimento da exploração, a delimitação das sub-bacias e a determinação dos respetivos tempos de concentração e de retardamento. Com base nestes elementos foram definidos os hietogramas de projeto e efetuada a modelação das cheias em HEC-HMS.

O amortecimento das cheias nas albufeiras foi realizado através do método de Puls, com base nas curvas cota–área–volume dos reservatórios e das cavas mineiras (pit shells), bem como nas leis de caudal dos descarregadores de cheias do tipo labirinto. Foram obtidos os hidrogramas afluentes e efluentes das obras dos diferentes sistemas para os cenários de dimensionamento e verificação, incluindo o cenário crítico correspondente a um período de retorno de 2 000 anos, bem como os caudais de projeto das passagens hidráulicas PHL-01 a PHL-04 para os períodos de retorno de 100 e 500 anos.

Os critérios de dimensionamento hidrológico adotados foram definidos em conformidade com o Regulamento de Segurança de Barragens e com a classe atribuída aos reservatórios do projeto. Os principais resultados incluem os caudais de dimensionamento e de verificação, os níveis de máxima cheia (NMC) e as principais características das obras hidráulicas.

Por fim, são sintetizadas as bases hidrológicas adotadas, os principais resultados obtidos e as condições que poderão justificar a sua reavaliação em fases subsequentes do projeto.

6.9.1 ARRANJO GERAL DO SISTEMA

O sistema das infraestruturas de controlo hidráulico que constitui o presente Projeto de Execução, foi desenvolvido para captar e encaminhar as águas de escoamento provenientes das áreas intervencionadas, minimizar a afetação dos recursos hídricos naturais e assegurar condições de drenagem adequadas para exploração mineira. O sistema encontra-se dividido em três subsistemas principais: **Grandão, Pinheiro e Reservatório**.

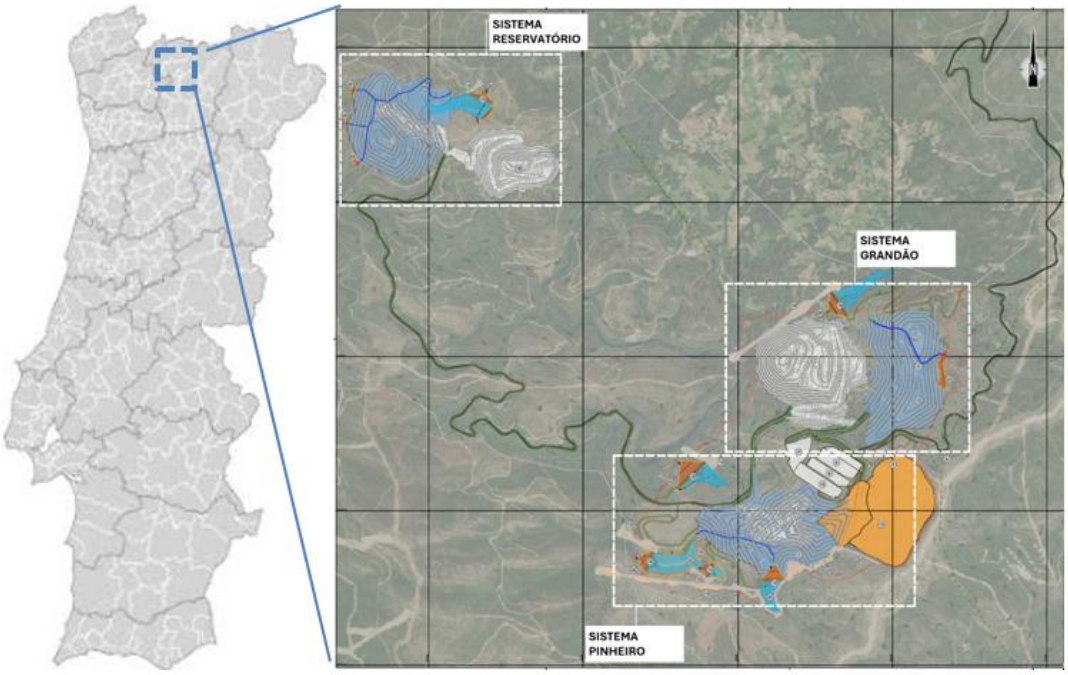
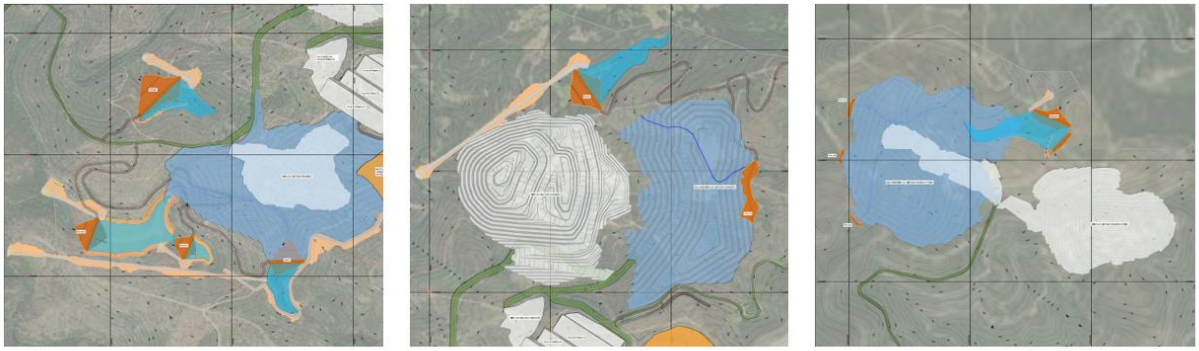


Figura 6.33 – Localização do projeto e dos três subsistemas principais.

As infraestruturas incluem Reservatórios de Controlo Ambiental (RCA), Reservatórios de Controlo de Sedimentos (RCS), Reservatórios de Armazenamento de Água (RA), passagens hidráulicas de laminagem de cheias (PHL), canais de derivação, condutas e obras acessórias associadas à operação e monitorização.

O Sistema Pinheiro integra os reservatórios RCA-01, RCA-02, RCS-01 e RA-01, o Sistema Grandão integra o reservatório RA-02 e o Sistema Reservatório integra o reservatório RCS-02. O seu arranjo geral é apresentado na Figura 6.34.



(a) Pinheiro (b) Grandão (c) Reservatório

Figura 6.34 – Arranjo geral dos sistemas: (a) Pinheiro, (b) Grandão e (c) Reservatório.

O objetivo principal destas infraestruturas consiste em separar águas limpas, águas tratadas e águas de contacto, controlar o transporte de sedimentos, regular os escoamentos superficiais e garantir capacidade de armazenamento. Os reservatórios ambientais destinam-se à contenção de águas não tratadas – RCA-01 - e tratadas – RCA-02 - para posterior reutilização ou descarga, os reservatórios de sedimentos promovem a decantação de partículas sólidas e os reservatórios de armazenamento asseguram a regularização dos recursos hídricos necessários à operação da mina.

O projeto foi desenvolvido de acordo com os requisitos da legislação portuguesa aplicável às barragens e infraestruturas hidráulicas, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 21/2018 e o Decreto-Lei n.º 344/2007, bem como com normas e recomendações internacionais, incluindo o Eurocódigo 7, ANCOLD e GISTM. Os reservatórios que integram o sistema de infraestruturas de controlo hidráulico foram classificadas como barragens de Classe II (ver Capítulo 4).

Do ponto de vista climático, a área de implantação apresenta um clima mediterrânico temperado com verão ameno (classificação Csb de Köppen), caracterizado por uma estação húmida entre outubro e abril e uma estação mais seca entre maio e setembro. A precipitação média anual situa-se entre aproximadamente 1 650 mm e 1 700 mm. Para o dimensionamento hidráulico das estruturas foram adotadas precipitações extremas obtidas a partir da análise dos registos das estações climatológicas de Couto de Dornelas, Gondiães e Vilar do Porro.

Relativamente ao dimensionamento hidráulico das obras hidráulicas, os descarregadores de cheias dos reservatórios foram dimensionados para o evento com período de retorno de 2 000 anos e duração de 24 horas, a que corresponde uma precipitação máxima de 385 mm, tendo a respetiva capacidade sido verificada para um caudal correspondente a 1,2 vezes o caudal de ponta de cheia. As passagens hidráulicas de laminagem, os canais de desvio e as condutas de ligação foram dimensionados para o evento com período de retorno de 100 anos e duração de 24 horas, a que corresponde uma precipitação máxima de 250 mm. As passagens hidráulicas de laminagem e os canais de desvio associados foram ainda verificados para o evento com período de

retorno de 500 anos e igual duração, a que corresponde uma precipitação máxima de 322 mm.

A região insere-se na Zona Galiza–Trás-os-Montes, uma unidade geotectónica complexa formada durante a Orogenia Varisca, constituída predominantemente por metassedimentos do Câmbrico ao Devónico, incluindo xistos, filitos, quartzofilitos e metagrauvaques. Estas formações encontram-se intruídas por numerosos corpos aplito-pegmatíticos ricos em lítio, associados a granitos tardi-variscos, que constituem o principal recurso mineral explorado pelo projeto.

A geologia regional é marcada pela presença de corredores estruturais de orientação predominante NW-SE, associados a zonas de cisalhamento variscas e a sistemas de falhas tardias que controlam parcialmente a implantação dos corpos pegmatíticos e a morfologia regional. A interpretação estrutural realizada para o projeto permitiu desenvolver modelos geológicos tridimensionais das principais áreas mineralizadas, nomeadamente Grandão, Pinheiro, NOA e Reservatório.

A topografia da área caracteriza-se por relevo moderado, com encostas moderadamente inclinadas e vales encaixados associados à rede hidrográfica local. O rio Covas constitui a principal linha de água da área de estudo, drenando de norte para sul até à confluência com o rio Beça. As cotas variam aproximadamente entre 1 050 m nas zonas mais elevadas da bacia e cerca de 125 m nas zonas mais baixas.

O Estudo Sismológico de base para suporte da avaliação da segurança sísmica das infraestruturas hidráulicas foi desenvolvido pelo LNEC (Secção 6.9.6.7)

Os estudos geotécnicos realizados indicam que o perfil típico dos terrenos é composto por uma camada superficial de solo vegetal e depósitos coluvionares com espessuras geralmente entre 1 m e 2 m. Junto às linhas de água ocorrem localmente depósitos aluvionares saturados, constituídos por cascalhos areno-siltosos e camadas localizadas de siltes moles, com espessuras da ordem de 1 m a 4 m.

Sob os depósitos superficiais desenvolve-se uma zona de alteração composta por filitos e xistos fortemente meteorizados, normalmente com espessuras entre 5 m e 14 m, seguindo-se uma zona de transição moderadamente alterada que constitui o topo efetivo do maciço rochoso. Em profundidade ocorrem formações pouco alteradas a frescas, constituídas essencialmente por xistos e pegmatitos de elevada qualidade geomecânica, frequentemente com valores médios de GSI da ordem de 60.

Os reservatórios RCA-01, RCA-02, RCS-01, RCS-02, RA-01 e RA-02 que integram o sistema de controlo hidráulico foram desenvolvidos com critérios comuns de conceção. Não obstante, cada obra apresenta características específicas de implantação, capacidade e configuração estrutural.

A conceção das Infraestruturas de Controlo Hidráulico da Mina do Barroso assenta na segregação entre águas limpas, águas tratadas, águas não tratadas e águas de contacto, permitindo assegurar uma gestão hídrica eficiente.

Consideram-se águas limpas as águas de escorrência superficial provenientes de áreas não intervencionadas (áreas fora da área mineira). Estas águas são encaminhadas para os reservatórios de armazenamento de água RA-01 e RA-02, constituindo reservas estratégicas para utilização nas operações mineiras e industriais

As águas não tratadas incluem as águas de processo provenientes da lavaria, as águas de escorrência das áreas de trabalho impermeabilizadas e as águas de escorrência da instalação de rejeitados (TSF). Estas águas são encaminhadas para o reservatório de controlo ambiental RCA-01, onde permanecem armazenadas até serem submetidas a tratamento. Após tratamento e verificação dos requisitos de qualidade aplicáveis, a água é encaminhada para o reservatório RCA-02, para reutilização nas operações mineiras e industriais. Qualquer descarga no meio hídrico seguirá o circuito, as condições operacionais e os requisitos identificados no projeto hidráulico e nos atos aplicáveis.

As águas de contacto correspondem às águas de escorrência superficial provenientes de áreas mineiras e suscetíveis de apresentar uma elevada carga de sólidos. Estas águas são encaminhadas para os reservatórios de controlo de sedimentos RCS-01 e RCS-02, onde são sujeitas a decantação e separação de hidrocarbonetos. Os reservatórios estarão igualmente equipados com um sistema de tratamento de hidrocarbonetos. Após tratamento, as águas podem ser reutilizadas nas operações mineiras ou descarregadas no meio hídrico.

A acumulação de sedimentos nas bacias de retenção e decantação de finos, incluindo os reservatórios RCS-01 e RCS-02, é acompanhada através de inspeções periódicas. A fração sólida decantada é removida sempre que a camada acumulada atinja aproximadamente 0,50 m de espessura, assegurando a manutenção da capacidade útil e da eficiência de retenção de sedimentos. Os materiais minerais removidos são encaminhados para as escombreiras, de acordo com os critérios de admissibilidade estabelecidos no Plano de Gestão de Resíduos.

A drenagem das águas limpas é assegurada por uma rede de canais periféricos de desvio, destacando-se os canais DC-P-02 e DC-P-03.1. Estes canais intercetam os escoamentos superficiais provenientes das áreas envolventes à instalação de armazenamento de rejeitados que não entram em contacto com os rejeitados nem com outras áreas operacionais, encaminhando-os diretamente para o reservatório RA-01.

A interligação hidráulica entre as diferentes estruturas é complementada por Passagens Hidráulicas de Laminagem (PHL), destinadas a promover a laminagem dos caudais de cheia.

6.9.2 DESCRIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS

RCA-01 e RCA-02

O RCA-01 – Reservatório de Controlo Ambiental 1, destina-se ao armazenamento temporário de águas não tratadas provenientes do processamento, escorrências das áreas impermeabilizadas da lavaria e escorrências da instalação de rejeitados (TSF), das

instalações de processo e das restantes superfícies operacionais sujeitas a contacto com materiais mineiros. A estrutura constitui o primeiro elemento de retenção e regularização hidráulica do Sistema Pinheiro, permitindo a contenção dos volumes afluentes e o seu posterior encaminhamento para tratamento ou reutilização.

Os escoamentos provenientes de áreas suscetíveis de contacto com materiais mineiros são recolhidos através do canal DC-P-03.2 e encaminhados para o Reservatório de Controlo Ambiental RCA-01 de águas não tratadas, assegurando a completa segregação entre os circuitos de águas limpas e de águas potencialmente afetadas pela atividade mineira.

A obra é materializada por uma barragem de enrocamento compactado implantada transversalmente a uma linha de drenagem natural. O comprimento total do coroamento da barragem, à cota (516,3 m) é de 110 m, desenvolvendo-se o seu eixo segundo um alinhamento retilíneo com orientação aproximada NE – SW. O terreno natural, no ponto mais baixo do vale, situa-se aproximadamente à cota 496 m. A altura máxima da barragem ao eixo é de aproximadamente 21,8 m, sendo de 30,31 m acima do ponto mais baixo da fundação. O coroamento desenvolve-se à largura de 8 m, permitindo a circulação de veículos de exploração e manutenção, sendo os taludes de montante e jusante estabelecidos com inclinação de 2H:1V. O talude de jusante dispõe de uma banqueta, à cota (499,30), com 3,0 m de largura.

A impermeabilização do paramento de montante e da superfície da albufeira é assegurada por uma geomembrana impermeável de PVC com 3,0 mm de espessura, assente numa camada de regularização materializada por blocos de betão extrudido, que permite minimizar as perdas por infiltração na área da albufeira e assegurar elevados níveis de proteção ambiental. O talude de jusante encontra-se protegido por enrocamento arrumado com funções de proteção contra a ação erosiva dos agentes atmosféricos.

O circuito hidráulico da descarga de fundo e tomada de água localiza-se na margem esquerda da barragem, com um desenvolvimento aproximado de 140 m. O circuito hidráulico compreende um orifício de entrada protegido por grade grossa em betão. Para obturação do orifício será instalada uma comporta do tipo vagão, com dimensões de 0,60 × 0,60 m (L×H), acionada por servomotor instalado no topo da torre e diferencial elétrico com monorail. A condução dos caudais será assegurada por condutas de aço expostas com diâmetro DN400, incluindo os respetivos acessórios. A jusante, a restituição será efetuada através de uma bacia de dissipação de energia por impacto.

O descarregador de cheias localiza-se na margem esquerda, sendo constituído por soleira descarregadora em labirinto com crista à cota do NPA (514,4), canal de descarga em betão e estrutura de dissipação de energia constituída por bacia de dissipação do tipo III do BUREC.

O RCA-02, Reservatório de Controlo Ambiental 2, assegura o armazenamento e a regularização de águas previamente tratadas, constituindo a principal reserva de água para reutilização no circuito industrial da lavaria. A qualidade do efluente tratado é verificada antes da sua entrada no reservatório, independentemente das restantes afluências. A segregação hidráulica limita a entrada de contribuições exteriores neste

reservatório. Os canais DC-P-02 e DC-P-03.1 encaminham as águas limpas intercetadas para a RA-01, enquanto o canal DC-P-03.2 conduz as águas abrangidas pelo circuito industrial para a RCA-01, a montante do tratamento. A descarga de fundo da RA-01 é conduzida por galeria e conduta até à restituição a jusante da RCA-02, sem entrada na respetiva albufeira por esta via.

A drenagem periférica da RCA-02 interceta as escorrências provenientes das encostas e dos acessos exteriores à albufeira, reduzindo a área efetivamente contribuinte para o reservatório. As águas intercetadas são encaminhadas para os circuitos segregados correspondentes à sua origem e qualidade, sem atravessarem a albufeira. As águas provenientes de áreas operacionais mantêm o encaminhamento para os sistemas de retenção e tratamento que lhes estão associados. A implantação e a continuidade das valas de interceção, das passagens hidráulicas e dos pontos de restituição acompanham o faseamento da exploração e da reabilitação.

O reservatório apresenta uma solução estrutural idêntica à adotada para o RCA-01, sendo constituída por um maciço de enrocamento compactado com coroamento de 8 m de largura e taludes de montante e jusante com inclinação de 2H:1V. O comprimento total do coroamento da barragem, à cota (492,0 m) é de 140,5 m, desenvolvendo-se o seu eixo segundo um alinhamento retilíneo com orientação aproximada NE – SW. O terreno natural, no ponto mais baixo do vale, situa-se aproximadamente à cota 462 m. A altura máxima da barragem ao eixo é de aproximadamente 32 m, sendo de 32,81 m acima do ponto mais baixo da fundação. O talude de jusante dispõe de uma banqueta, à cota (477,0), com 3,0 m de largura.

A estanquidade é assegurada através de uma geomembrana de PVC com 3,0 mm de espessura assente sobre uma camada de blocos de betão extrudido instalada no talude de montante e na área da albufeira, permitindo minimizar as perdas por infiltração e assegurar elevados níveis de proteção ambiental. O talude de jusante encontra-se protegido por enrocamento arrumado com funções de proteção contra a ação erosiva dos agentes atmosféricos.

À semelhança da RCA-01, a descarga de fundo será constituída por uma tomada de água implantada na zona central do vale, junto à margem esquerda da barragem, associada a uma torre de operação e a um circuito hidráulico com cerca de 140 m de desenvolvimento. O orifício de entrada será protegido por grade grossa em betão e equipado com uma comporta do tipo vagão, com dimensões de 0,60 × 0,60 m (L×H), acionada por servomotor instalado no topo da torre. A operação e manutenção da comporta serão apoiadas por diferencial elétrico com monorail. A descarga será assegurada através de condutas de aço expostas DN400, sendo a restituição dos caudais efetuada a jusante através de uma bacia de dissipação de energia por impacto.

O descarregador de cheias localizar-se-á na margem direita e será constituído por soleira em labirinto com crista à cota do NPA (490,30), canal de descarga em betão e bacia de dissipação de energia do tipo III do BUREC.

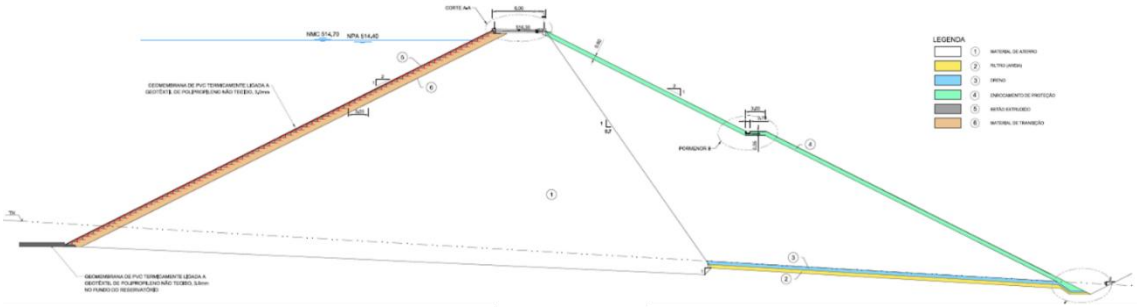


Figura 6.35 – Perfil tipo dos Reservatórios de Controlo Ambiental.

RCS-01 e RCS-02

O RCS-01 – Reservatório de Controlo de Sedimentos 1 destina-se à retenção dos sólidos transportados pelos escoamentos provenientes das áreas mineiras, promovendo a sedimentação dos materiais em suspensão antes da transferência da água para as restantes infraestruturas do sistema hidráulico.

O reservatório corresponde a uma estrutura de enrocamento compactado semelhante às adotadas para os reservatórios ambientais do Sistema Pinheiro. O coroamento tem 8 m de largura e os taludes de montante e jusante um declive de 2H:1V. O comprimento total do coroamento da barragem, à cota (508,9 m) é de 233,63 m, desenvolvendo-se o seu eixo segundo um alinhamento retilíneo com orientação aproximada NE – SW. O terreno natural, no ponto mais baixo do vale, situa-se aproximadamente à cota 460 m. A altura máxima da barragem ao eixo é de aproximadamente 38,80 m, sendo de 48,72 m acima do ponto mais baixo da fundação. O talude de jusante dispõe de uma banqueta, à cota (483,9), com 3,0 m de largura.

O paramento de montante é revestido por geomembrana de PVC aplicada sobre camada de regularização em betão, assegurando a estanquidade do reservatório e impedindo a migração de água para o maciço.

O circuito hidráulico da descarga de fundo localiza-se na zona central do vale, sendo constituído por uma torre de tomada de água associada a um circuito hidráulico com cerca de 230 m de desenvolvimento. À semelhança da solução adotada para a RCA-01, o circuito compreende um orifício de entrada protegido por grade grossa em betão. Para obturação do orifício será instalada uma comporta do tipo vagão, com dimensões de 0,60 × 0,60 m (L×H), acionada por servomotor instalado no topo da torre. A operação e manutenção da comporta serão asseguradas por diferencial elétrico com monorail. A descarga será efetuada através de condutas de aço expostas DN400, sendo a restituição dos caudais realizada a jusante através de uma bacia de dissipação de energia por impacto.

O descarregador de cheias localiza-se na margem direita, sendo constituído por uma soleira descarregadora em labirinto com crista à cota do NPA (507,30), canal de descarga em betão e estrutura de dissipação de energia constituída por bacia de dissipação do tipo III do BUREC.

O RCS-02 – Reservatório de Controlo de Sedimentos 2 localiza-se no sistema Reservatório e destina-se à retenção de sedimentos provenientes das áreas intervencionadas pela atividade mineira, constituindo uma infraestrutura fundamental para a proteção dos meios recetores e para a reutilização da água no sistema de gestão hídrica da mina.

O coroamento tem 8 m de largura e os taludes de montante e jusante um declive de 2H:1V. O comprimento total do coroamento da barragem, à cota (659,0 m) é de 170,11 m, desenvolvendo-se o seu eixo segundo um alinhamento retilíneo com orientação aproximada SW - NE. O terreno natural, no ponto mais baixo do vale, situa-se aproximadamente à cota 640 m. A altura máxima da barragem ao eixo é de aproximadamente 19,6 m, sendo de 19,97 m acima do ponto mais baixo da fundação.

O paramento de montante é revestido por geomembrana de PVC aplicada sobre camada de regularização em betão, assegurando a estanquidade do reservatório e impedindo a migração de água para o maciço.

A descarga de fundo do RCS-02 será materializada através de uma torre de tomada de água implantada na margem esquerda da zona central do vale e associada a um circuito hidráulico com cerca de 100 m de desenvolvimento. O circuito hidráulico adotará uma solução análoga, compreendendo um orifício de entrada protegido por grade grossa em betão e uma comporta do tipo vagão com dimensões de 0,60 × 0,60 m (L×H), acionada por servomotor instalado no topo da torre. O sistema incluirá ainda diferencial elétrico com monorail para apoio às operações de inspeção e manutenção. A descarga será efetuada através de condutas de aço expostas DN400, com restituição dos caudais numa bacia de dissipação de energia por impacto implantada a jusante.

O descarregador de cheias localiza-se na margem esquerda, sendo constituído por uma soleira descarregadora em labirinto com crista à cota do NPA (657,20), canal de descarga em betão e estrutura de dissipação de energia constituída por bacia de dissipação do tipo III do BUREC.

RA-01 e RA-02

O RA-01 – Reservatório de Armazenamento de Água 1 constitui uma reserva estratégica de água limpa destinada ao abastecimento das operações mineiras e industriais, assegurando a disponibilidade de recursos hídricos para apoio à lavaria, controlo de poeiras e restantes utilizações operacionais.

O RA-02 – Reservatório de Armazenamento de Água 2 integra o Sistema Grandão e destina-se tal como o RA-01 ao armazenamento e regularização de águas limpas provenientes das áreas de drenagem exteriores à exploração mineira, constituindo simultaneamente uma reserva estratégica de água para utilização operacional.

O reservatório RA-01 correspondem a um aterro de enrocamento compactado semelhante às outras estruturas. Os coroamentos têm 8 m de largura e taludes de montante e jusante declives de 2H:1V. O comprimento total do coroamento da barragem, à cota (592 m) é de 142,15 m, desenvolvendo-se o seu eixo segundo um alinhamento retilíneo com orientação aproximada E – W. O terreno natural, no ponto

mais baixo do vale, situa-se aproximadamente à cota 550 m. A altura máxima da barragem ao eixo é de aproximadamente 33,48 m, sendo de 43,9 m acima do ponto mais baixo da fundação. O talude de jusante dispõe de uma banqueta, à cota (570), com 3,0 m de largura.

O reservatório RA-02 correspondem a um aterro de enrocamento compactado semelhante às outras estruturas. Os coroamentos têm 8 m de largura e taludes de montante e jusante declives de 2H:1V. O comprimento total do coroamento da barragem, à cota (564,20 m) é de 196,03 m, desenvolvendo-se o seu eixo segundo um alinhamento retilíneo com orientação aproximada NW – SE. O terreno natural, no ponto mais baixo do vale, situa-se aproximadamente à cota 525 m. A altura máxima da barragem ao eixo é de aproximadamente 33,87 m, sendo de 38,66 m acima do ponto mais baixo da fundação. O talude de jusante dispõe de uma banqueta, à cota (544,6), com 3,0 m de largura.

O paramento de montante do RA-01 e RA-02 é revestido por geomembrana de PVC aplicada sobre camada de regularização em betão, assegurando a estanquidade do reservatório e impedindo a migração de água para o maciço.

As obras hidráulicas dos reservatórios RA-01 e RA-02 compreendem uma tomada de água associada à descarga de fundo, localizada na zona central do vale e materializada através de uma torre de tomada de água ligada ao circuito hidráulico de restituição. O circuito hidráulico compreende um orifício de entrada protegido por grade grossa em betão, sendo a obturação assegurada por uma comporta do tipo vagão com dimensões de 0,60 × 0,60 m (L×H), acionada por servomotor instalado no topo da torre. O sistema inclui ainda diferencial elétrico com monorail para apoio às operações de exploração e manutenção. A descarga será efetuada através de condutas de aço expostas DN400, incluindo os respetivos acessórios, sendo a restituição dos caudais realizada numa bacia de dissipação de energia por impacto.

No RA-01, o descarregador de cheias localiza-se na margem esquerda e é constituído por uma soleira descarregadora em labirinto com crista à cota do NPA (590,00), canal de descarga em betão e estrutura de dissipação de energia constituída por bacia de dissipação do tipo III do BUREC.

No RA-02, o descarregador de cheias localiza-se igualmente na margem esquerda, sendo constituído por soleira descarregadora frontal em labirinto com crista à cota do NPA (562,00), canal de descarga em betão e estrutura de dissipação de energia constituída por bacia de dissipação do tipo III do BUREC.

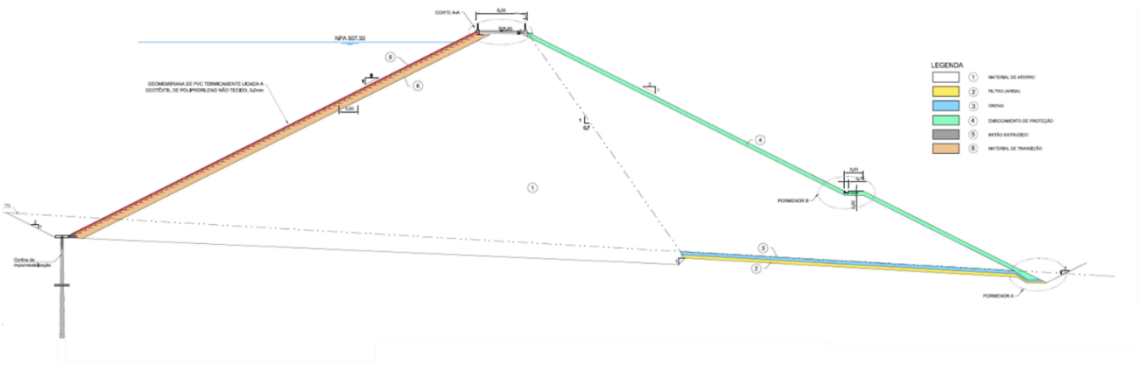


Figura 6.36 – Perfil tipo dos Reservatórios de Água e Reservatórios de Controlo de Sedimentos.

6.9.3 ANÁLISE HIDROLÓGICA

A análise hidrológica estabelece as precipitações de projeto utilizadas no dimensionamento e na verificação da segurança das infraestruturas de controlo hidráulico. A base de cálculo integra os dados e os procedimentos dos estudos Climatology Assessment e Hydrology and Surface Water Management, apresentados no Anexo VI.5. Os períodos de retorno adotados correspondem aos critérios de dimensionamento e de verificação definidos para cada infraestrutura e respetivos órgãos hidráulicos, em função da classificação considerada no projeto.

6.9.3.1 PRECIPITAÇÕES DE PROJETO

A caracterização das precipitações intensas assenta numa matriz de precipitação-duração-frequência que relaciona a altura de precipitação com a duração do evento e o período de retorno. A matriz contempla durações entre 5 minutos e 72 horas. Para durações até 24 horas, apresenta valores associados a períodos de retorno até 10 000 anos e uma estimativa da precipitação máxima provável (PMP). Para as durações de 48 e 72 horas, os valores disponíveis abrangem períodos de retorno até 100 anos.

O procedimento de cálculo das precipitações para os períodos de retorno de 500 e 2 000 anos utiliza interpolação linear da altura de precipitação em função do logaritmo do período de retorno, entre a precipitação de 100 anos e a PMP. Neste procedimento, o ponto correspondente à PMP é colocado convencionalmente em 10 000 000 anos, de acordo com a metodologia descrita nos estudos de base. Esta convenção constitui um parâmetro de cálculo e não uma determinação estatística do período de retorno da PMP.

Para uma duração de 24 horas, as precipitações de referência são de 353 mm para 1 000 anos, 385 mm para 2 000 anos e 457 mm para 10 000 anos. A PMP é apresentada separadamente, com um valor de 767 mm.

As precipitações de projeto encontram-se sistematizadas na Tabela 6.53, por duração e período de retorno.

Tabela 6.53 – Precipitações de projeto adotadas no presente estudo, por duração e período de retorno em anos.

Duração	5	10	20	50	100	500	1 000	2 000	10 000	PMP
5 min	12	13	14	15	15	19	22	23	28	47
10 min	16	18	19	21	22	27	31	34	40	67
15 min	19	21	23	26	26	33	37	40	48	81
30 min	26	29	32	36	37	46	53	57	68	114
1 h	35	40	44	50	52	65	74	80	96	161
2 h	47	55	61	69	74	93	104	114	134	226
3 h	57	65	74	84	90	113	127	138	164	276
6 h	77	90	102	117	126	159	179	194	231	388
12 h	104	122	140	162	178	229	251	274	325	546
18 h	124	147	169	197	217	280	307	334	396	666
24 h	141	167	193	226	250	322	353	385	457	767
48 h	202	236	276	340	400	–	–	–	–	–
72 h	249	291	342	425	502	–	–	–	–	–

6.9.4 OCUPAÇÃO DO SOLO E NÚMERO DE ESCOAMENTO

A transformação da precipitação em escoamento direto foi efetuada pelo método do número de escoamento (Curve Number, CN) do *Soil Conservation Service (*SCS), segundo o qual a fração da precipitação convertida em escoamento depende da ocupação do solo, do respetivo grupo hidrológico e das condições de humidade antecedente. O número de escoamento varia entre 0 e 100, aumentando com o grau de impermeabilização da superfície; valores elevados correspondem a superfícies com reduzida capacidade de infiltração, enquanto valores mais baixos estão associados a solos mais permeáveis e com maior capacidade de retenção.

Para a caracterização da ocupação do solo nas bacias afluentes às infraestruturas do sistema foram consideradas quatro classes com comportamento hidrológico distinto: bacias naturais, pilha de estéril, superfície da instalação de armazenamento de resíduos (TSF) e plataformas e áreas de operação. A cada classe foi atribuído um número de escoamento representativo da ocupação prevista e do respetivo grupo hidrológico do solo, conforme apresentado no quadro seguinte.

Tabela 6.54 – Ocupação do solo e número de escoamento (CN) adotados por tipo de superfície.

Superfície	Ocupação do solo / condição	Número de escoamento (CN)
Bacias naturais	Coberto vegetal natural (inclui depósitos de terra vegetal, tratados como terreno natural)	79
Pilha de estéril	Material granular drenante	72

Superfície	Ocupação do solo / condição	Número de escoamento (CN)
Superfície da TSF	Superfície da instalação de resíduos	82
Plataformas e operação	Plataformas e áreas de operação impermeabilizadas (terraços)	90

Os critérios adotados refletem o comportamento hidrológico de cada tipo de superfície: as plataformas e áreas de operação e a superfície da TSF, por corresponderem a áreas impermeabilizadas ou de reduzida infiltração, foram associadas a números de escoamento elevados; a pilha de estéril, constituída por material granular drenante, a um valor intermédio; e as bacias naturais a valores mais baixos, em função do coberto vegetal e das características do solo.

Todos os valores de CN considerados pressupõem condições médias de humidade antecedente (AMC II), assumidas na modelação hidrológica. Os valores adotados e as respetivas premissas de ocupação do solo serão confirmados com base nos elementos de suporte do projeto, mantendo-se, no presente estudo, os números de escoamento estabelecidos para cada classe de superfície.

6.9.5 Delimitação das Sub-bacias e Tempo de Concentração

A necessidade de modelar um ou ambos os estágios de desenvolvimento, foi avaliada sistema a sistema, em função das alterações que a evolução da mina introduz no encaminhamento e no armazenamento dos escoamentos.

No sistema Pinheiro 1, o lançamento do DC-P-03.2, que passa a encaminhar a drenagem da TSF e das áreas contíguas diretamente para o reservatório RCA-01, altera substancialmente a repartição dos escoamentos entre reservatórios ao longo da vida da mina, pelo que os estágios inicial e final de desenvolvimento foram ambos objeto de modelação hidrológica. Os resultados obtidos vieram a confirmar o estágio final como cenário condicionante para as obras do sistema, sendo esse o cenário crítico considerado na Tabela 6.61.

Nos sistemas Pinheiro 2, Grandão e Reservatório, pelo contrário, a modelação de um único estágio revelou-se suficiente. No Pinheiro 2, o estágio final constitui o cenário crítico: no estágio inicial, a cava mineira (pit shell) Pinheiro assegura um volume de armazenamento de 363 000 m³, retendo parte do escoamento que de outro modo afluiria ao reservatório RCA-02; com o aterro da cava pela escombreira, essas águas passam a ser direcionadas para os reservatórios RCA-02 e RCS-01, com o consequente aumento do volume afluente e do caudal de ponta. No Grandão, o arranjo das bacias mantém-se inalterado entre estágios, uma vez que as escavações e as escombreiras se localizam a jusante das áreas de contribuição, sendo a modelação de um único estágio representativa de ambos; por essa razão, os hidrogramas apresentados para o Grandão reportam-se ao estágio final, sendo igualmente representativos do estágio inicial. No sistema Reservatório, à semelhança do Pinheiro 2, o cenário crítico corresponde ao estágio final: com a instalação da escombreira, a cava NOA, que no estágio inicial

assegura 49 500 m³ de armazenamento, deixa de desempenhar a função de laminagem, e a topografia da escombreira amplia a área de contribuição para o reservatório RCS-02.

6.9.5.1 DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS

A delimitação das sub-bacias hidrográficas foi efetuada no software HEC-HMS, com recurso ao respetivo módulo de análise espacial (GIS), tendo por base o modelo digital de terreno (MDT) LiDAR disponibilizado pela Direção-Geral do Território (DGT), com resolução espacial (pixel) de 0,5 m, obtido a partir do centro de dados da DGT (HTTPS://CDD.DGTERRITORIO.GOV.PT).

O procedimento seguiu a sequência clássica de pré-processamento do terreno: correção do MDT por preenchimento de depressões espúrias (fill sinks); determinação das direções de escoamento pelo método das oito direções (D8); cálculo da acumulação de escoamento; definição da rede de drenagem a partir de um limiar mínimo de área contribuinte; e identificação dos pontos de controlo (outlets), posicionados nas secções de interesse do sistema, nomeadamente nos locais dos reservatórios e dos órgãos de gestão hidráulica e nas confluências relevantes. Com base nestes elementos, o software procedeu à delimitação automática das sub-bacias contribuintes para cada ponto de controlo.

As fronteiras geradas automaticamente foram verificadas e, onde necessário, ajustadas manualmente, de modo a refletir as alterações introduzidas pela implantação das infraestruturas do projeto, designadamente plataformas, acessos e órgãos de drenagem, que modificam os percursos naturais do escoamento. A delimitação foi efetuada separadamente para os estágios inicial e final de desenvolvimento, refletindo a configuração do terreno em cada fase. Do mesmo módulo foram extraídas as características fisiográficas de cada sub-bacia utilizadas nos cálculos subsequentes, nomeadamente a área, o comprimento do percurso de escoamento mais longo (L) e o respetivo declive médio (J).

A delimitação das sub-bacias de cada sistema apresenta-se nas figuras seguintes: Pinheiro 1, estágios inicial e final (Figura 6.37 e Figura 6.38); Pinheiro 2, estágio final (Figura 6.39); Grandão, ambos os estágios (Figura 6.40); e Reservatório, estágio final (Figura 6.41).

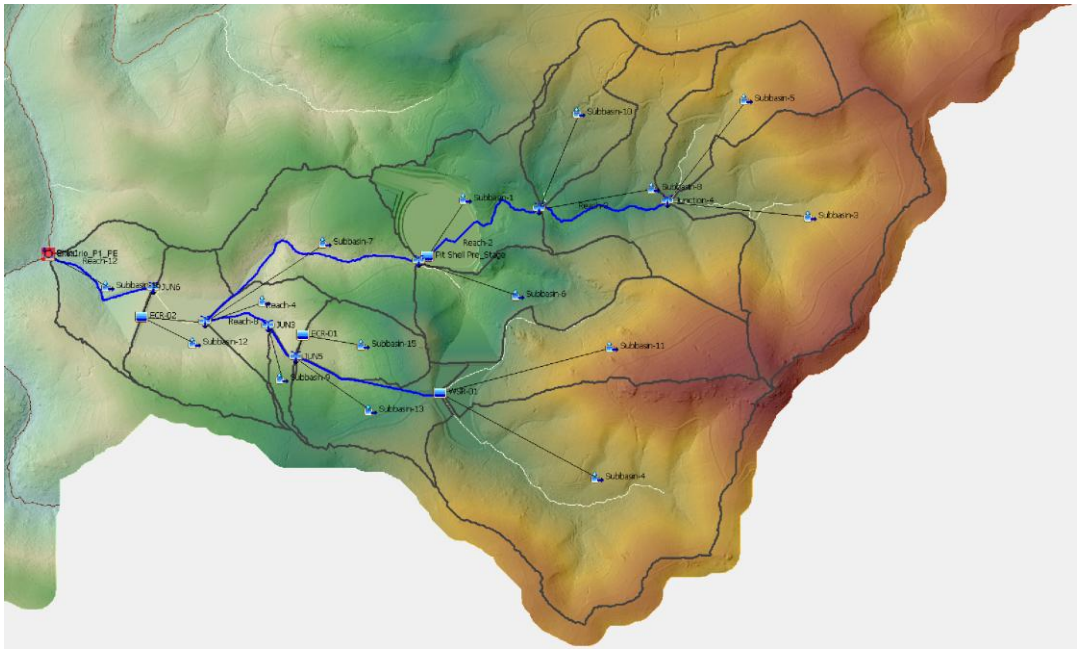


Figura 6.37 – Delimitação das sub-bacias de Pinheiro 1 – estágio inicial.

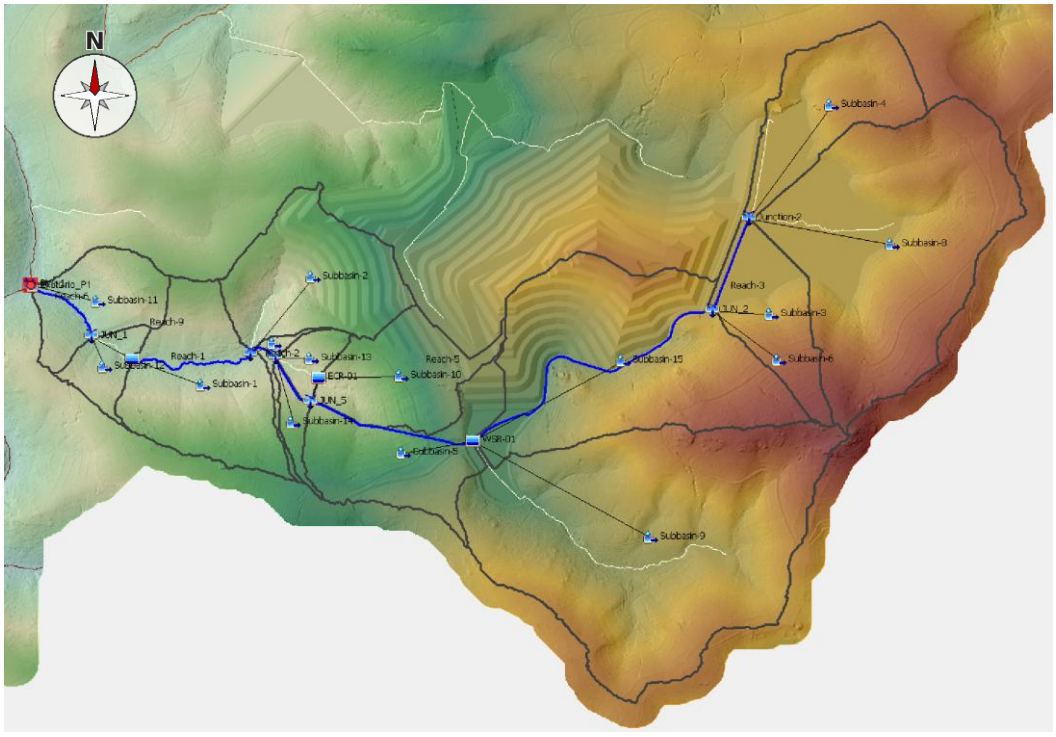


Figura 6.38 – Delimitação das sub-bacias de Pinheiro 1 – estágio final.

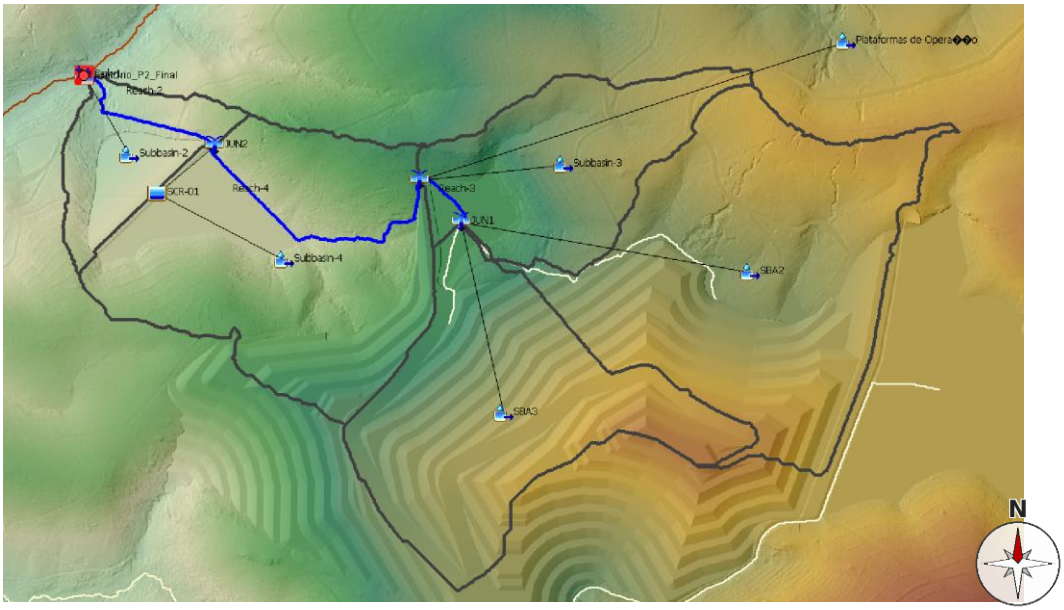


Figura 6.39 – Delimitação das sub-bacias de Pinheiro 2 – estágio final.

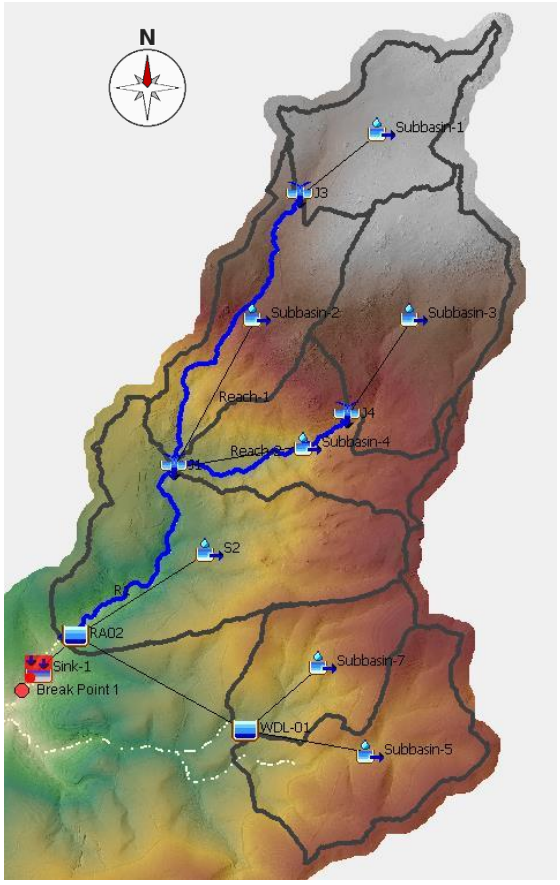


Figura 6.40 – Delimitação das sub-bacias de Grandão – estágios inicial e final.

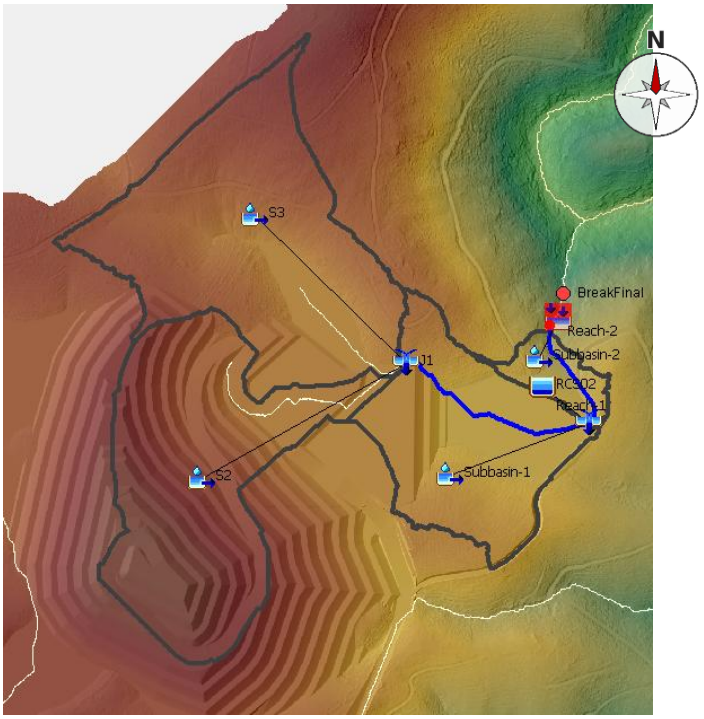


Figura 6.41 – Delimitação das sub-bacias do Reservatório – estágio final.

6.9.5.2 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração (tc) das sub-bacias foi estimado por duas formulações empíricas, tendo os parâmetros físicos, nomeadamente o comprimento do curso de água principal (L) e o respetivo declive médio (J = ΔH/L), sido extraídos do modelo digital de terreno através do módulo de características fisiográficas do HEC-HMS.

Foi considerada a expressão de Témez (1978), desenvolvida para bacias naturais da Península Ibérica e de aplicação corrente em Portugal:

$$t_c = 0{,}3 \cdot \left(\frac{L}{J^{0{,}25}}\right)^{0{,}76}$$

com tc em horas, L em km e J em m/m. Calculou-se ainda o tc pela fórmula de Kirpich (1940), na forma métrica:

$$t_c = 0{,}0663 \cdot \frac{L^{0{,}77}}{J^{0{,}385}}$$

As duas formulações têm origens e domínios de aplicação distintos, aspeto relevante para a seleção do valor de projeto. A fórmula de Kirpich foi desenvolvida a partir de sete pequenas bacias rurais do Tennessee, com áreas de 0,004 a 0,45 km², canais bem

definidos e declives acentuados, de 3% a 10% (Kirpich, 1940; NRCS, 2010), sendo por isso vocacionada para pequenas bacias com escoamento predominantemente canalizado, condições análogas, em dimensão e carácter do escoamento, às das sub-bacias em estudo. Avaliações comparativas posteriores suportam o seu desempenho neste domínio: McCuen et al. (1984) identificaram-na como a expressão de menor viés em bacias com escoamento canalizado significativo e Fang et al. (2008) confirmaram a fiabilidade das suas estimativas, permanecendo uma das formulações de referência para pequenas bacias na literatura da especialidade (Chow et al., 1988). A formulação de Témez (1978), desenvolvida no quadro do método hidrometeorológico espanhol para pequenas bacias naturais, tem, na sua versão alargada (Témez, 1991), domínio de aplicação declarado para tempos de concentração entre 15 minutos e 24 horas; cerca de metade das sub-bacias em análise apresenta tempos de concentração estimados inferiores a esse limite, situando-se no limiar, ou mesmo fora, do domínio declarado do método. A formulação de Giandotti, calibrada em 12 bacias com áreas entre 170 e 70 000 km² (Grimaldi et al., 2012), não foi aplicada, por o seu domínio de origem se situar várias ordens de grandeza acima da escala das sub-bacias presentes.

Não foi igualmente adotada como referência a equação de retardamento do SCS/NRCS (Mockus, 1961), não obstante a transformação precipitação–escoamento utilizar o hidrograma unitário do SCS. Duas razões fundamentam esta opção. Em primeiro lugar, a base empírica da equação, assente em 24 bacias agrícolas dos Estados Unidos, com dimensões entre 0,5 ha e 23,8 km² e a maioria inferior a 8 km² (Mockus, 1961; NRCS, 2010), corresponde a um contexto de uso do solo e relevo distinto do das sub-bacias em estudo, de carácter montanhoso e com escoamento predominantemente canalizado. Em segundo lugar, a formulação recorre ao declive médio da bacia, e não ao do curso de água principal, sendo menos representativa quando o tempo de resposta é dominado pelo escoamento em canal, condição em que, como referido, a equação de Kirpich apresentou o menor viés (McCuen et al., 1984).

A seleção entre as duas estimativas apoiou-se ainda num critério físico: a velocidade média de translação do escoamento implícita em cada tc (V = L/tc), apresentada nos quadros seguintes. A formulação de Kirpich conduz a velocidades da ordem de 1,4 a 2,2 m/s, consistentes com o escoamento de cheia em canais naturais de declive moderado a forte (7% a 31%), como os presentes. A formulação de Témez, em contrapartida, implica velocidades de apenas 0,5 a 0,7 m/s, pouco plausíveis para os declives em causa em situação de cheia, o que indicia sobrestimação do tempo de concentração à escala destas sub-bacias.

Refira-se que a fórmula de Kirpich foi calibrada para declives de 3% a 10%, inferiores aos das sub-bacias em estudo. A extrapolação para declives superiores tende a conduzir a tempos de concentração mais curtos; no contexto do presente estudo, este comportamento atua, porém, do lado da segurança: um tc mais curto conduz à consideração de intensidades de precipitação críticas sutilmente mais elevadas e, consequentemente, a caudais de ponta superiores, hipótese conservativa para o dimensionamento dos órgãos de segurança e das obras hidráulicas associadas.

Os quadros seguintes resumem os valores obtidos para os estágios inicial e final de desenvolvimento. Para a transformação precipitação–escoamento pelo hidrograma

unitário do SCS, o parâmetro de entrada é o tempo de retardamento (lag time), obtido pela relação padrão do NRCS, tlag = 0,6 · tc, aplicada ao tc de Kirpich.

Tabela 6.55 – Tempos de concentração e de retardamento das sub-bacias de Pinheiro 1 (estágio inicial).

Sub-bacia	L (km)	J (m/m)	tc Témez (min)	V Témez (m/s)	tc Kirpich (min)	V Kirpich (m/s)	tlag calculado (min)
Subbasin-1	0,575	0,205	16,0	0,6	4,8	2,0	2,9*
Subbasin-2	0,591	0,221	16,1	0,6	4,7	2,1	2,8*
Subbasin-4	0,758	0,075	23,9	0,5	8,7	1,4	5,2
Subbasin-5	0,666	0,188	18,2	0,6	5,5	2,0	3,3*
Subbasin-6	1,437	0,117	35,6	0,7	12,0	2,0	7,2
Subbasin-7	0,394	0,273	11,3	0,6	3,2	2,1	1,9*
Subbasin-8	0,881	0,072	27,0	0,5	10,0	1,5	6,0
Subbasin-9	1,256	0,132	31,4	0,7	10,3	2,0	6,2
Subbasin-10	0,592	0,245	15,8	0,6	4,6	2,2	2,7*
Subbasin-11	0,489	0,218	14,0	0,6	4,1	2,0	2,5*
Subbasin-12	0,295	0,283	9,0	0,5	2,5	1,9	1,5*
Subbasin-13	0,233	0,308	7,4	0,5	2,0	1,9	1,2*
Subbasin-14	0,375	0,281	10,9	0,6	3,0	2,1	1,8*

Nota: (*) – Valor calculado inferior ao limiar de 3,45 min imposto pelo critério de discretização; na modelação hidrológica em HEC-HMS adotou-se o valor mínimo convencional de t_{lag} = 3,5 min, conforme justificado no texto.

Tabela 6.56 – Tempos de concentração e de retardamento das sub-bacias de Pinheiro 1 (estágio final).

Sub-bacia	L (km)	J (m/m)	tc Témez (min)	V Témez (m/s)	tc Kirpich (min)	V Kirpich (m/s)	tlag calculado (min)
Subbasin-1	0,784	0,142	21,7	0,6	7,0	1,9	4,2
Subbasin-3	0,975	0,124	26,3	0,6	8,7	1,9	5,2
Subbasin-4	1,256	0,132	31,4	0,7	10,3	2,0	6,2
Subbasin-5	0,818	0,140	22,5	0,6	7,3	1,9	4,4
Subbasin-6	0,838	0,145	22,7	0,6	7,3	1,9	4,4
Subbasin-7	0,928	0,149	24,4	0,6	7,8	2,0	4,7
Subbasin-8	0,886	0,173	22,9	0,6	7,1	2,1	4,3
Subbasin-9	0,356	0,285	10,4	0,6	2,9	2,0	1,7*
Subbasin-10	0,769	0,134	21,6	0,6	7,0	1,8	4,2
Subbasin-11	1,182	0,145	29,5	0,7	9,5	2,1	5,7

Sub-bacia	L (km)	J (m/m)	tc Témez (min)	V Témez (m/s)	tc Kirpich (min)	V Kirpich (m/s)	tlag calculado (min)
Subbasin-12	0,528	0,171	15,5	0,6	4,8	1,8	2,9*
Subbasin-13	0,666	0,188	18,2	0,6	5,5	2,0	3,3*
Subbasin-14	0,462	0,241	13,1	0,6	3,8	2,0	2,3*
Subbasin-15	0,441	0,204	13,1	0,6	3,9	1,9	2,3*
Subbasin-16	0,494	0,196	14,4	0,6	4,3	1,9	2,6*

Nota: (*) – Valor calculado inferior ao limiar de 3,45 min imposto pelo critério de discretização; na modelação hidrológica em HEC-HMS adotou-se o valor mínimo convencional de t_{lag} = 3,5 min, conforme justificado no texto.

Tabela 6.57 – Tempos de concentração e de retardamento das sub-bacias de Pinheiro 2 (estágio final).

Sub-bacia	L (km)	J (m/m)	tc Témez (min)	V Témez (m/s)	tc Kirpich (min)	V Kirpich (m/s)	t_{lag} calculado (min)
SBA2	1,262	0,110	32,7	0,6	11,1	1,9	6,7
SBA3	1,527	0,091	39,1	0,7	13,9	1,8	8,3
Subbasin-3	0,676	0,137	19,5	0,6	6,3	1,8	3,8
Subbasin-4	0,571	0,151	16,8	0,6	5,3	1,8	3,2*
Subbasin-2	0,357	0,208	11,1	0,5	3,3	1,8	2,0*

Nota: (*) – Valor calculado inferior ao limiar de 3,45 min imposto pelo critério de discretização; na modelação hidrológica em HEC-HMS adotou-se o valor mínimo convencional de t_{lag} = 3,5 min, conforme justificado no texto.

Tabela 6.58 – Tempos de concentração e de retardamento das sub-bacias de Grandão (estágios inicial e final).

Sub-bacia	L (km)	J (m/m)	tc Témez (min)	V Témez (m/s)	tc Kirpich (min)	V Kirpich (m/s)	t_{lag} calculado (min)
Subbasin-3	1,603	0,157	36,6	0,7	11,7	2,3	7,0

Sub-bacia	L (km)	J (m/m)	tc Témez (min)	V Témez (m/s)	tc Kirpich (min)	V Kirpich (m/s)	t_{lag} calculado (min)
Subbasin-1	1,412	0,093	36,7	0,6	13,0	1,8	7,8
Subbasin-2	1,870	0,178	40,2	0,8	12,5	2,5	7,5
Subbasin-4	1,643	0,101	40,6	0,7	14,1	1,9	8,4
Subbasin-5	1,371	0,106	35,1	0,7	12,1	1,9	7,2
Subbasin-7	1,262	0,116	32,4	0,7	10,9	1,9	6,5
Subbasin-6	1,015	0,130	26,8	0,6	8,8	1,9	5,3
Subbasin-8	0,798	0,120	22,7	0,6	7,6	1,8	4,5
S2	1,973	0,116	45,4	0,7	15,4	2,1	9,2
S4	0,478	0,104	15,8	0,5	5,4	1,5	3,2*

Nota: (*) – Valor calculado inferior ao limiar de 3,45 min imposto pelo critério de discretização; na modelação hidrológica em HEC-HMS adotou-se o valor mínimo convencional de t_{lag} = 3,5 min, conforme justificado no texto.

Tabela 6.59 - Tempos de concentração e de retardamento das sub-bacias do Reservatório (estágio final).

Sub-bacia	L (km)	J (m/m)	tc Témez (min)	V Témez (m/s)	tc Kirpich (min)	V Kirpich (m/s)	t_{lag} calculado (min)
Subbasin-6	0,430	0,091	14,9	0,5	5,2	1,4	3,1*
Subbasin-4	0,381	0,134	12,7	0,5	4,1	1,5	2,5*
Subbasin-2	0,510	0,097	16,8	0,5	5,8	1,5	3,5
S3	0,415	0,113	14,0	0,5	4,7	1,5	2,8*
S4	0,873	0,095	25,4	0,6	8,9	1,6	5,3
S2	0,637	0,102	19,7	0,5	6,8	1,6	4,1
Subbasin-7	0,925	0,086	27,1	0,6	9,7	1,6	5,8
Subbasin-1	1,187	0,101	31,7	0,6	11,0	1,8	6,6
Subbasin-5	1,148	0,125	29,7	0,6	9,9	1,9	5,9
Subbasin-3	0,803	0,115	23,0	0,6	7,7	1,7	4,6
Subbasin-8	0,229	0,185	8,1	0,5	2,5	1,6	1,5*

Nota: (*) – Valor calculado inferior ao limiar de 3,45 min imposto pelo critério de discretização; na modelação hidrológica em HEC-HMS adotou-se o valor mínimo convencional de t_{lag} = 3,5 min, conforme justificado no texto.

A opção pelo valor de Kirpich, inferior ao de Témez, assenta assim em três fundamentos convergentes: a analogia entre as sub-bacias em estudo e o domínio de origem da formulação, em dimensão e carácter canalizado do escoamento; a plausibilidade física das velocidades médias associadas, da ordem de 2 m/s, esperadas para a dinâmica local em função dos declives de moderado a alto; e o carácter conservativo da estimativa para efeitos de dimensionamento.

Dado que os tempos de retardamento resultantes são reduzidos, a discretização temporal das simulações mereceu atenção particular. O passo de cálculo foi fixado em 1 minuto, valor mínimo admitido pelo HEC-HMS nas especificações de controlo, e a correta definição das pontas dos hidrogramas foi assegurada pelo cumprimento do critério de discretização do hidrograma unitário, $\Delta t \leq 0{,}29 \cdot t_lag$, recomendado no *Technical Reference Manual* do programa (USACE), que para o passo adotado exige $t_lag \geq 3{,}45$ min. Nas sub-bacias em que o tempo de retardamento calculado resultou inferior a este limiar, estabeleceu-se um valor mínimo convencional de t_lag de 3,5 minutos, correspondente a um tempo de concentração de aproximadamente 0,1 h, limite inferior de validade dos métodos de estimativa do tempo de concentração indicado no *Technical Release 55* (USDA/NRCS, 1986), abaixo do qual as formulações empíricas deixam de ter suporte na respetiva base de calibração. A convenção cumpre assim dupla função: garante a resolução numérica do hidrograma unitário, cuja subdiscretização conduziria à subestimação dos caudais de ponta, e evita a utilização de tempos de resposta fora do domínio de fiabilidade das fórmulas.

6.9.5.3 ESTUDO DAS CHEIAS

O estudo das cheias desenvolvido teve como principal objetivo a avaliação da cheia de projeto, isto é, a cheia a considerar na verificação do funcionamento dos órgãos hidráulicos.

O período de retorno a adotar para o cálculo da cheia de projeto é estabelecido no Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) em função do tipo, da altura e da classe da barragem. A classificação dos reservatórios do projeto, efetuada nos termos do Decreto-Lei n.º 21/2018 em função da perigosidade e dos danos potenciais associados à onda de inundação no vale de jusante, é apresentada no secção 6.9.7 do presente Plano de Lavra.

Conforme aí se detalha, todaos os reservatórios do projeto – RCA-01, RCA-02, RA-01 e RCS-01 (sistema Pinheiro), RA-02 (sistema Grandão) e RCS-02 (sistema Reservatório) – foram classificadas como Classe II.

De acordo com o RSB, e tendo em conta a classificação dos reservatórios (Classe II), o seu tipo (aterro) e as suas alturas ($50 > h \geq 15$ m), o período de retorno a considerar para a cheia de projeto é de 2 000 anos, sendo a cheia de verificação obtida a partir da cheia de projeto por majoração dos caudais pelo fator 1,2.

As passagens hidráulicas de laminagem (PHL) e os canais de desvio foram dimensionados para o caudal de ponta do período de retorno de 100 anos e verificados para o período de retorno de 500 anos. As obras de desvio provisório, por sua vez, foram dimensionadas para o caudal de ponta do período de retorno de 20 anos e verificadas para o período de retorno de 50 anos.

DESCRIÇÃO DAS OBRAS

O Sistema Pinheiro reúne os reservatórios RA-01, RCA-01, RCA-02 e RCS-01 e os canais de desvio DC-P-02, DC-P-03.1 e DC-P-03.2; o Sistema Grandão é constituído pelo

reservatório RA-02 e pela Passagem Hidráulica de Laminagem PHL-01; e o Sistema Reservatório integra o reservatório RCS-02 e as Passagens Hidráulicas de Laminagem PHL-02, PHL-03 e PHL-04.

Todos os reservatórios correspondem a aterros de enrocamento homogéneo com impermeabilização do paramento de montante por geomembrana de PVC, dispondo cada reservatório de um descarregador de cheias e de uma descarga de fundo. O descarregador de cheias é constituído por uma soleira do tipo labirinto, seguida de um troço convergente, de um canal de descarga, de um troço divergente e de uma bacia de dissipação de energia, terminando num canal de restituição que devolve os caudais descarregados à linha de água natural ou à albufeira de outro reservatório.

A obra de descarga de fundo, por sua vez, inicia-se numa torre de tomada de água, dotada de gradeamento de proteção e de uma comporta do tipo vagão, sendo encimada por um edifício de manobra ligado ao coroamento da barragem por um passadiço. À torre segue-se uma galeria, aproveitada como desvio provisório durante a fase de construção do reservatório e por onde passa a conduta da descarga de fundo, que termina numa câmara de descarga equipada com medidores de caudal e válvula de seccionamento do tipo guilhotina dotada a jusante de um dissipador de energia por impacto.

No Sistema Pinheiro, a RA-01 destina-se ao armazenamento de águas limpas e recebe os escoamentos dos canais DC-P-02 e DC-P-03.1; a RCA-01 recebe as águas não tratadas conduzidas pelo DC-P-03.2; a RCA-02 armazena as águas tratadas que constituem a reserva da lavaria; e a RCS-01 assegura a retenção de sedimentos. Na RA-01, a descarga de fundo apresenta a particularidade de a câmara de descarga ser seguida de um *box culvert* que restitui os caudais a jusante do descarregador de cheias da RCA-02.

Os canais de desvio organizam-se em dois percursos. No primeiro, o DC-P-02 intercepta as águas superficiais que fluem em direção à TSF e conduz os escoamentos ao DC-P-03.1, que se desenvolve junto ao pé da escombreira do Pinheiro e lança na albufeira da RA-01. No segundo, o DC-P-03.2 inicia-se numa caixa localizada junto ao contraforte, onde recebe as águas de contacto provenientes do DC-P-01, e desenvolve-se paralelamente ao DC-P-03.1, secção coberta do tipo box culvert, contornando a albufeira da RA-01, passando sob o canal de descarga do respetivo descarregador de cheias e lançando na albufeira da RCA-01. No troço inicial, entre o contraforte e o coroamento da barragem RA-01, o DC-P-03.1 e o DC-P-03.2 partilham uma secção única, aberta na parte correspondente ao DC-P-03.1 e fechada na parte correspondente ao DC-P-03.2.

No Sistema Grandão, o reservatório RA-02 destina-se igualmente ao armazenamento de águas limpas. A PHL-01 desenvolve-se sob a escombreira de Grandão e lança os caudais na albufeira da RA-02.

No Sistema Reservatório, o reservatório RCS-02 assegura a retenção de sedimentos. As PHL-02, PHL-03 e PHL-04 desenvolvem-se sob a escombreira do Reservatório, unem-se imediatamente após contornarem a cava NOA e lançam os caudais a jusante do reservatório RCS-02. Todas as passagens hidráulicas de laminagem serão dotadas de dispositivo terminal de dissipação de energia por impacto.

Na Tabela 6.60 sintetizam-se, por sistema, as obras projetadas e as respetivas características principais.

Tabela 6.60 – Obras e órgãos hidráulicos dos sistemas Pinheiro, Grandão e Reservatório.

Sistema	Obra	Função	Órgãos hidráulicos e características principais
Pinheiro 1	RA-01	Armazenamento de águas limpas (recebe os canais DC-P-02 e DC-P-03.1)	Descarregador em labirinto (NPA 590,00); descarga de fundo DN400 prolongada por box culvert com restituição a jusante do descarregador da RCA-02
Pinheiro 1	RCA-01	Armazenamento de águas não tratadas (recebe o DC-P-03.2)	Descarregador em labirinto (NPA 514,40); descarga de fundo DN400
Pinheiro 1	RCA-02	Armazenamento de águas tratadas (reserva da lavaria)	Descarregador em labirinto (NPA 490,30); descarga de fundo DN400
Pinheiro 2	RCS-01	Retenção de sedimentos	Descarregador em labirinto (NPA 507,30); descarga de fundo DN400
Pinheiro 1	DC-P-02	Desvio de águas limpas	Intercepta as águas superficiais dirigidas à TSF e conduz os escoamentos ao DC-P-03.1
Pinheiro 1	DC-P-03.1	Desvio de águas limpas	Desenvolve-se junto ao pé da escombreira do Pinheiro e lança na albufeira da RA-01; partilha secção com o DC-P-03.2 no troço inicial
Pinheiro 1	DC-P-03.2	Desvio de águas de contacto	Canal coberto em secção do tipo box culvert; recebe as águas do DC-P-01 junto ao contraforte, contorna a albufeira da RA-01 e lança na albufeira da RCA-01
Grandão	RA-02	Armazenamento de águas limpas	Descarregador em labirinto (NPA 562,00); descarga de fundo DN400
Grandão	PHL-01	Passagem hidráulica de laminagem sob a escombreira de Grandão	Lança na albufeira da RA-02; dispositivo terminal de dissipação por impacto
Reservatório	RCS-02	Retenção de sedimentos	Descarregador em labirinto (NPA 657,20); descarga de fundo DN400
Reservatório	PHL-02, PHL-03 e PHL-04	Passagens hidráulicas de laminagem sob a escombreira do Reservatório	Unem-se após contornarem a cava NOA e lançam a jusante da RCS-02; dispositivo terminal de dissipação por impacto

DETERMINAÇÃO DO HIETOGRAMA DE CHEIA

A passagem das precipitações de projeto, estabelecidas na Tabela 6.53, aos hietogramas de cheia foi efetuada no HEC-HMS por intermédio do modelo meteorológico Frequency Storm, método concebido precisamente para construir tempestades hipotéticas de projeto a partir de uma matriz de precipitação, duração e frequência (USACE, HEC-HMS Technical Reference Manual).

O método parte das profundidades de precipitação associadas a um dado período de retorno, introduzidas para o conjunto de durações compreendido entre a duração de intensidade e a duração total da tempestade. Por diferenças sucessivas entre as

profundidades de durações consecutivas, o programa determina os incrementos de precipitação e dispõe-nos em torno do instante de ponta segundo o método dos blocos alternados (Chow et al., 1988): o bloco de maior intensidade é colocado na posição de ponta definida e os blocos seguintes são distribuídos alternadamente antes e depois desse instante, por ordem decrescente de intensidade. O hietograma resultante possui uma propriedade de encaixe que constitui a principal vantagem do método: para qualquer duração parcial compreendida entre a duração de intensidade e a duração total, a lâmina máxima acumulada no interior da tempestade reproduz a profundidade da matriz de frequência para essa duração e período de retorno. Um único evento é, assim, simultaneamente crítico para todas as respostas hidrológicas presentes no sistema, das sub-bacias de resposta muito rápida, com tempos de concentração da ordem de minutos, sensíveis às intensidades de curta duração, ao amortecimento nas albufeiras, dependente do volume precipitado em durações longas, dispensando a pesquisa da duração crítica caso a caso.

A duração total da tempestade foi fixada em 24 horas. Este valor é muito superior ao tempo de concentração de qualquer das sub-bacias modeladas, garantindo a mobilização integral da respetiva resposta, e assegura a representação do volume afluente relevante para a análise do armazenamento e da laminagem nas albufeiras. Corresponde, além disso, à maior duração com suporte estatístico na matriz de frequência para os períodos de retorno elevados exigidos pelos critérios de dimensionamento, uma vez que as profundidades de 48 e 72 horas apenas se encontram publicadas até ao período de retorno de 100 anos, e mantém a coerência com os estudos de referência da Knight Piésold, igualmente assentes na precipitação diária. A duração de intensidade foi fixada em 5 minutos, menor duração disponível na matriz de precipitação, de modo que o bloco central do hietograma reproduza a intensidade máxima de curta duração com suporte estatístico na fonte, aspeto relevante para as sub-bacias de resposta muito rápida presentes no sistema. Esta opção é compatível com a discretização temporal adotada nas simulações, com passo de cálculo de 1 minuto e tempo de retardamento mínimo de 3,5 minutos, conforme justificado em 3.1.4.2.

A posição da intensidade máxima foi definida a 50% da duração da tempestade, solução corrente na definição de tempestades hipotéticas quando não existe caracterização regional do padrão temporal das precipitações intensas. A colocação central do bloco crítico faz com que cerca de metade da precipitação do evento o anteceda, pelo que, no quadro do método do número de escoamento, em que as perdas decrescem com a precipitação acumulada, a intensidade máxima atua sobre a bacia já em estado avançado de saturação, conduzindo a estimativas conservadoras do escoamento. Manteve-se o arranjo padrão de blocos alternados do programa, sem reordenação simétrica dos incrementos.

Com esta parametrização comum, foi definido um modelo meteorológico autónomo para cada cenário de precipitação considerado no estudo, designadamente para os períodos de retorno exigidos pelos critérios de dimensionamento e de verificação. Os hietogramas de projeto assim construídos, discretizados ao passo de cálculo de 1 minuto, apresentam-se, para os períodos de retorno considerados, na Figura 6.42.

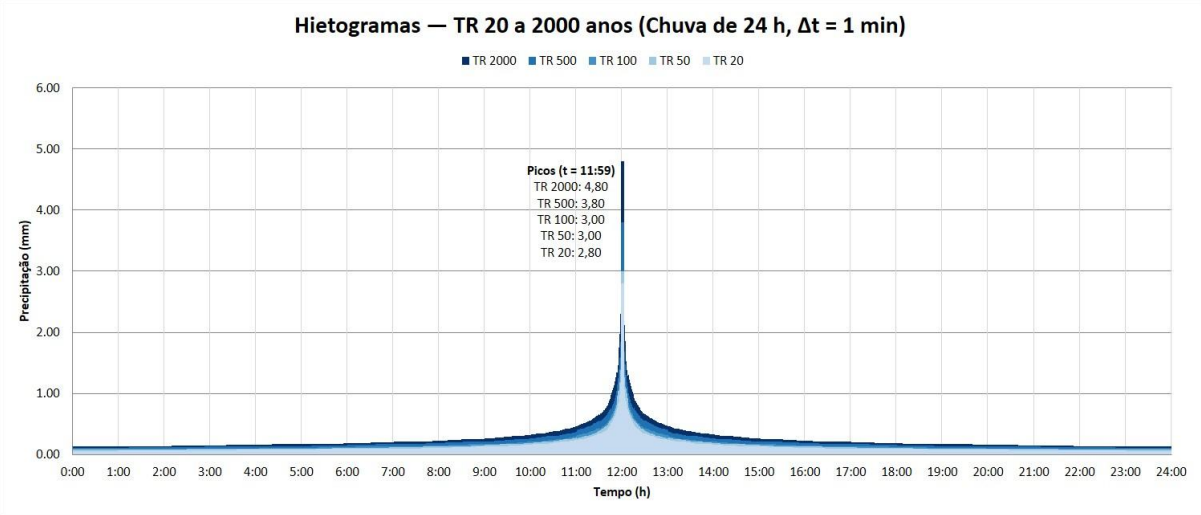


Figura 6.42 – Hietogramas de projeto para os períodos de retorno considerados (duração de 24 h).

DETERMINAÇÃO DO HIDROGRAMA DE CHEIA E CAUDAIS DE PONTA

A transformação dos hietogramas de projeto em hidrogramas de cheia também foi efetuada no HEC-HMS (versão 4.13), mediante a construção de modelos de bacia representativos de cada sistema, designadamente Pinheiro 1, nos estágios inicial e final de desenvolvimento, Pinheiro 2, Grandão e Reservatório, no estágio final. Em cada modelo, o sistema hidrográfico foi discretizado nos elementos disponibilizados pelo programa: sub-bacias (subbasins), que geram o escoamento direto a partir da precipitação; troços de propagação (reaches), que transferem os hidrogramas ao longo das linhas de água e dos canais; junções (junctions), que somam as contribuições concorrentes; e reservatórios (reservoirs), que representam as albufeiras das barragens e as cavas mineiras (pit shells) com função de armazenamento, reproduzindo a topologia do sistema. Em cada sub-bacia, a precipitação efetiva foi calculada pelo método do número de escoamento, com os valores de CN estabelecidos, e transformada em escoamento direto pelo hidrograma unitário do SCS, com os tempos de retardamento justificados em secções anteriores.

A propagação dos hidrogramas nos troços de linha de água e nos canais foi efetuada pelo método de Muskingum-Cunge (Cunge, 1969; Chow et al., 1988), variante do método de Muskingum em que os parâmetros de translação e de amortecimento deixam de ser coeficientes de calibração e passam a ser determinados a partir das características físicas do troço, nomeadamente o comprimento, o declive longitudinal, a rugosidade de Manning e a geometria da secção transversal, sendo atualizados em função do caudal no decurso do cálculo. Esta formulação, que aproxima a solução da equação da onda difusiva, reproduz simultaneamente a translação e o amortecimento dos hidrogramas e apresenta, no presente contexto, a vantagem decisiva de dispensar a calibração com registos observados, inexistentes nas linhas de água em causa. Nos troços muito curtos, em que o tempo de percurso da onda de cheia é da ordem do passo

de cálculo adotado (1 minuto) e o amortecimento é desprezável, foi utilizado o método de retardamento (Lag), de translação simples, evitando-se a subdiscretização espacial e as limitações numéricas do método de Muskingum-Cunge nessas condições.

O amortecimento das cheias nas albufeiras e nas cavas foi simulado pelo método de Puls modificado (level-pool routing; Chow et al., 1988; USACE, HEC-HMS Technical Reference Manual), que resolve a equação da continuidade concentrada admitindo superfície livre horizontal e uma relação unívoca entre o nível, o volume armazenado e o caudal efluente, hipóteses adequadas a albufeiras da dimensão das presentes. O método requer, como dados de entrada, a curva cota-área-volume de cada reservatório e a lei de caudal dos respetivos órgãos de descarga. Nas simulações admitiu-se, do lado da segurança, que as albufeiras se encontram no nível de pleno armazenamento (NPA) no início do evento e que a totalidade dos caudais efluentes é escoada pelo descarregador de cheias, considerando-se indisponível a descarga de fundo. As curvas de volumes armazenados e áreas inundadas dos reservatórios e das cavas (pit shells), estabelecidas a partir do modelo digital de terreno e da geometria de projeto dos aterros e das escavações, apresentam-se nas figuras seguintes, bem como a lei de caudal dos descarregadores de cheia.

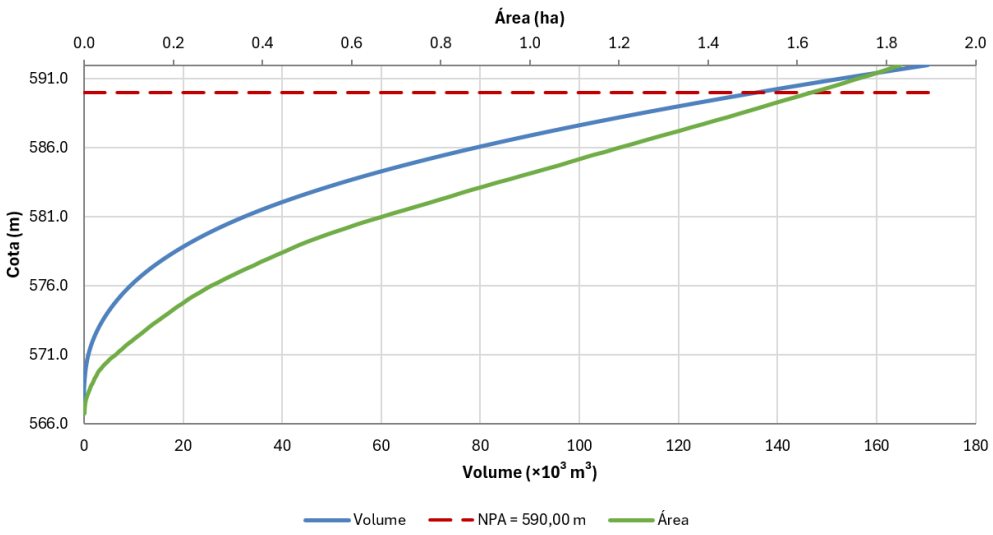


Figura 6.43 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RA-01.

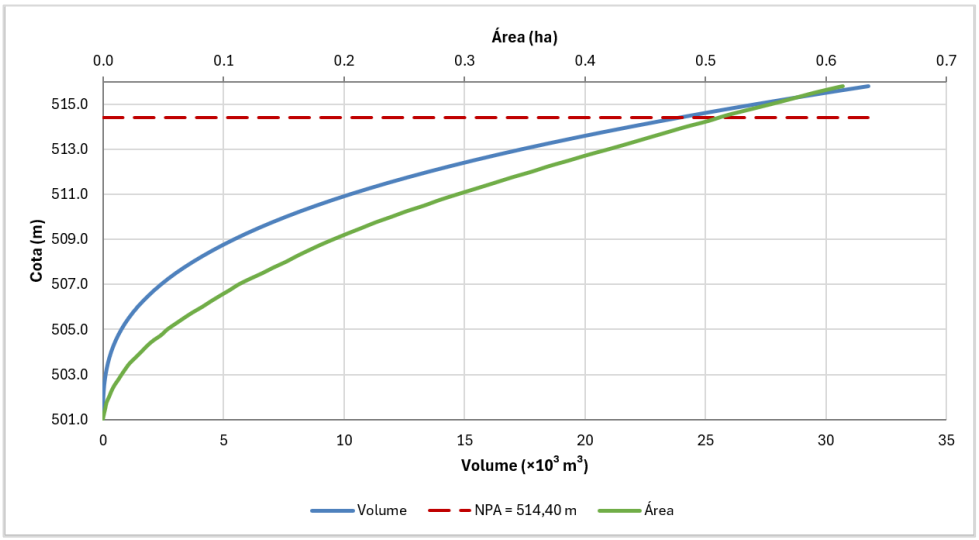


Figura 6.44 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RCA-01.

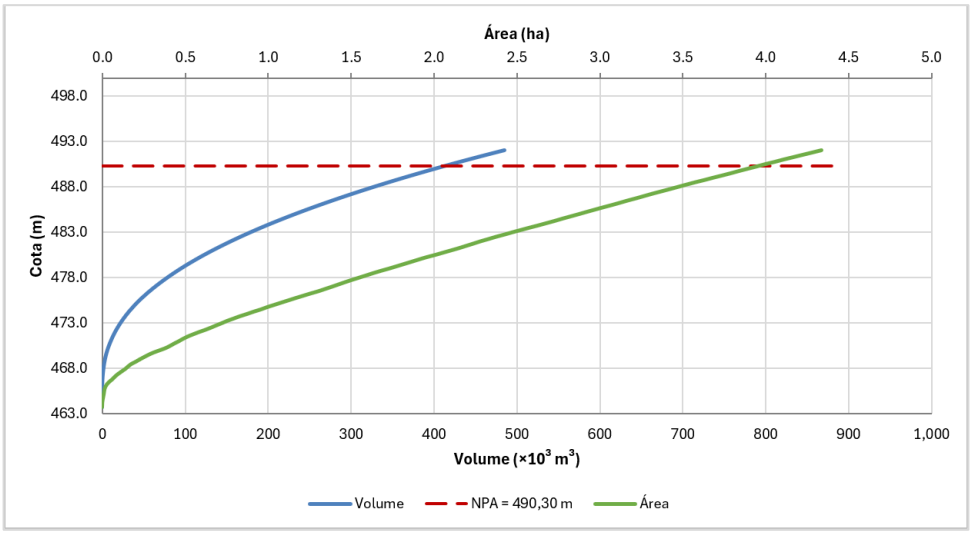


Figura 6.45 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RCA-02.

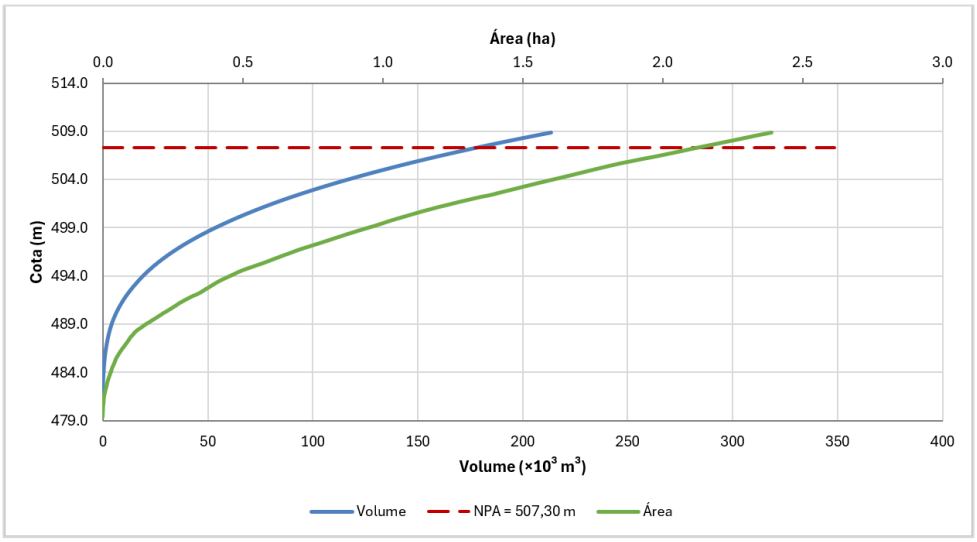


Figura 6.46 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RCS-01.

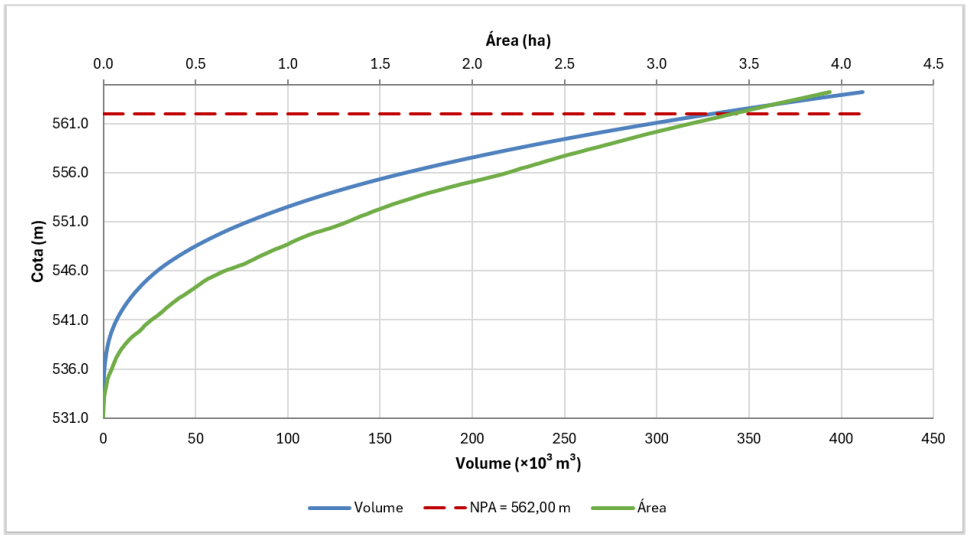


Figura 6.47 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RA-02.

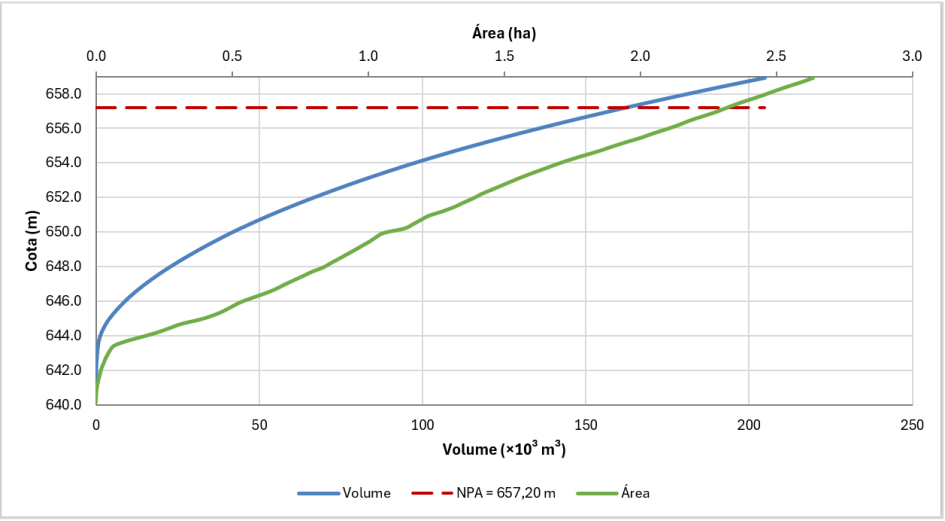


Figura 6.48 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas do reservatório RCS-02.

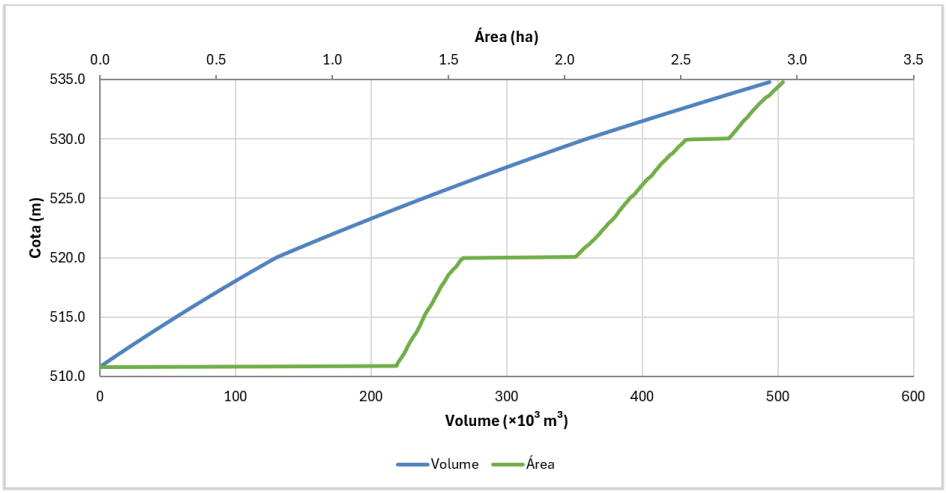


Figura 6.49 – Curva de volumes armazenados e áreas inundadas da cava mineira (pit shell) Pinheiro.

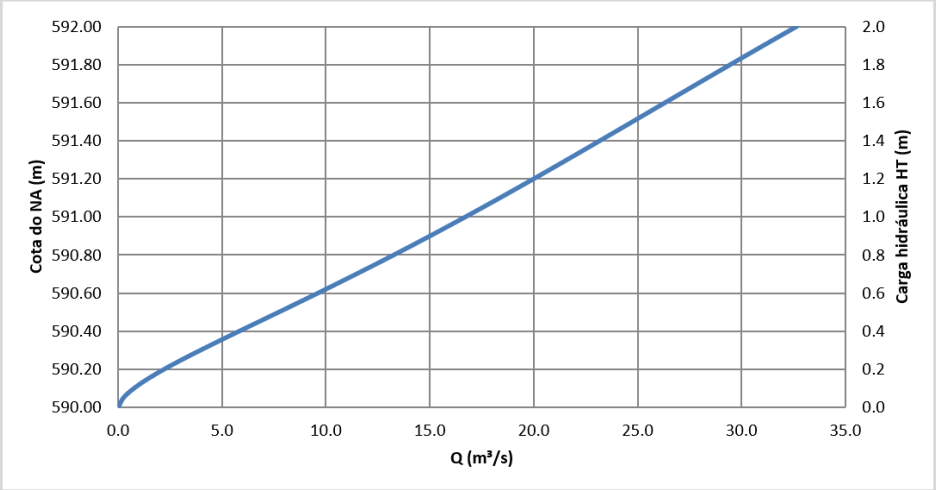


Figura 6.50 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RA-01.

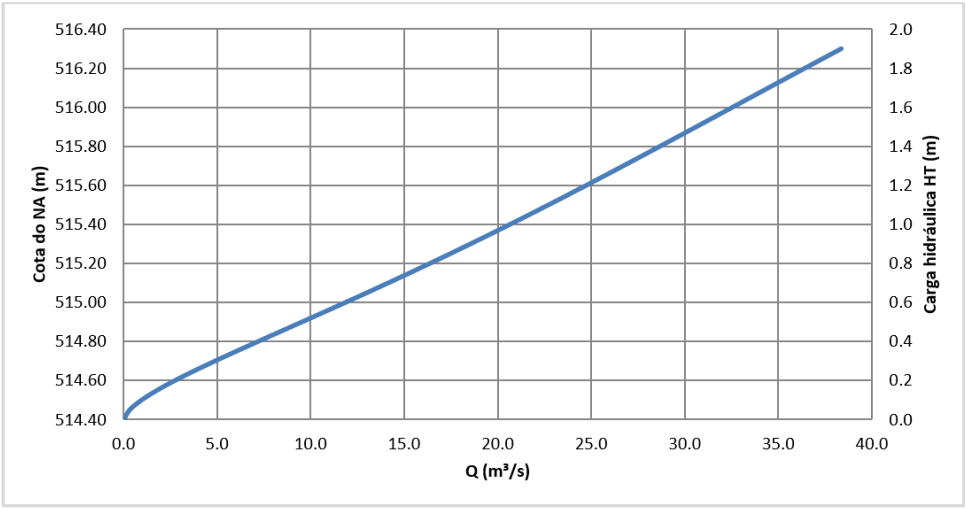


Figura 6.51 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RCA-01.

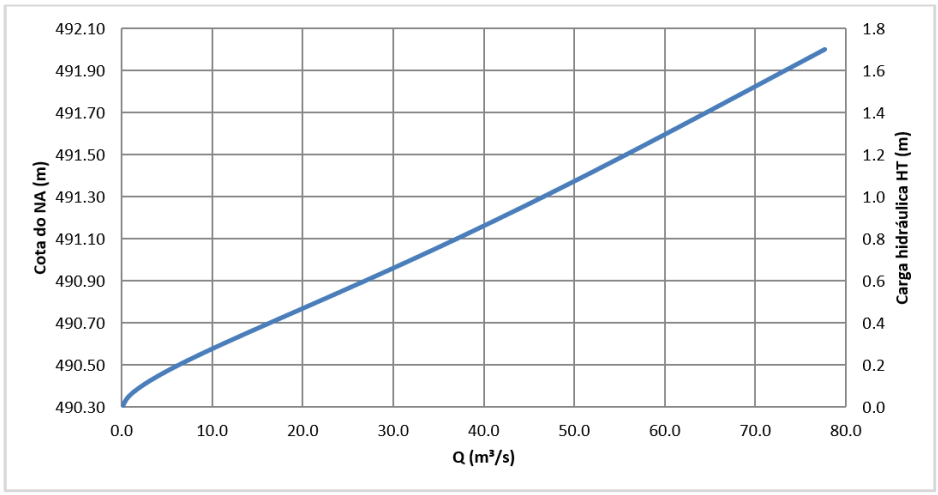


Figura 6.52 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RCA-02.

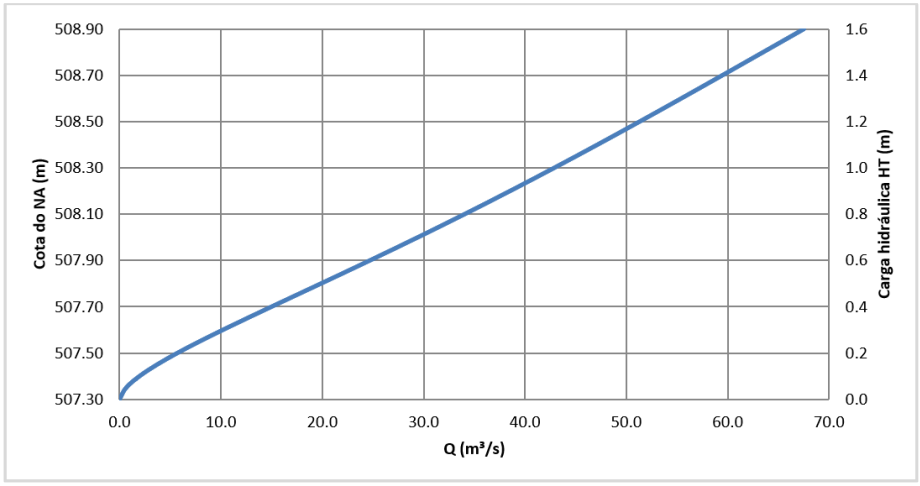


Figura 6.53 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RCS-01.

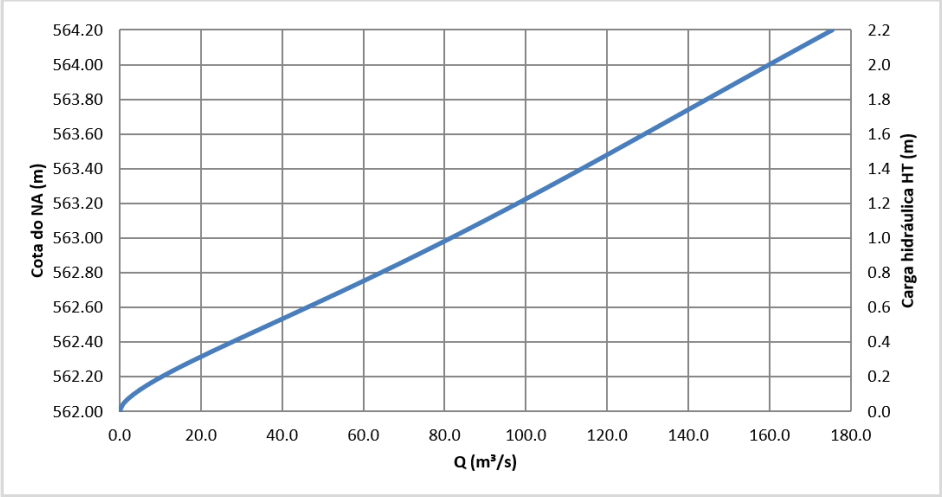


Figura 6.54 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RA-02.

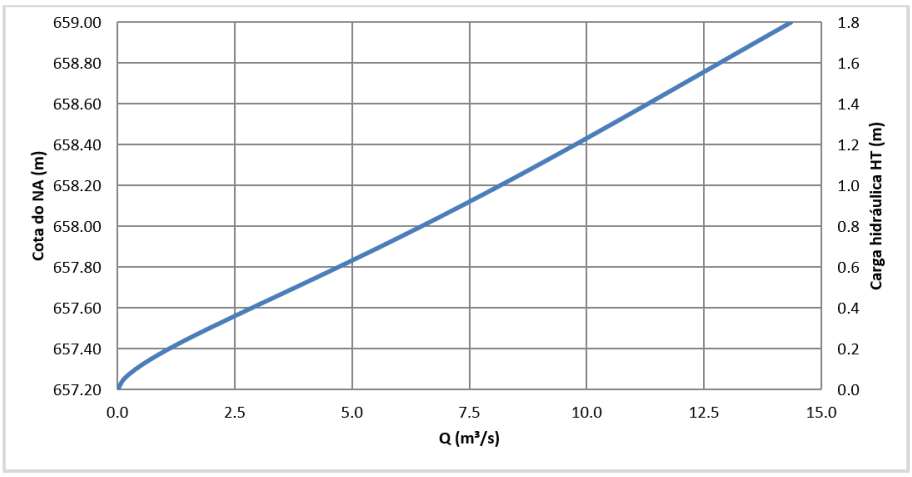


Figura 6.55 – Curva de vazão do descarregador de cheias do RCS-02.

Para cada cenário de precipitação foram assim obtidos, em cada reservatório, o hidrograma afluente, resultante da soma dos escoamentos gerados nas sub-bacias diretamente contribuintes, dos caudais propagados de montante e, quando aplicável, dos caudais efluentes das albufeiras situadas a montante, e o hidrograma efluente, resultante da laminagem na albufeira. A comparação entre ambos evidencia o efeito regularizador dos reservatórios, traduzido na redução do caudal de ponta e no desfasamento temporal da ponta efluente relativamente à ponta afluente. Os hidrogramas afluentes e efluentes aos reservatórios de cada sistema, para a cheia de projeto, apresentam-se nas figuras seguintes.

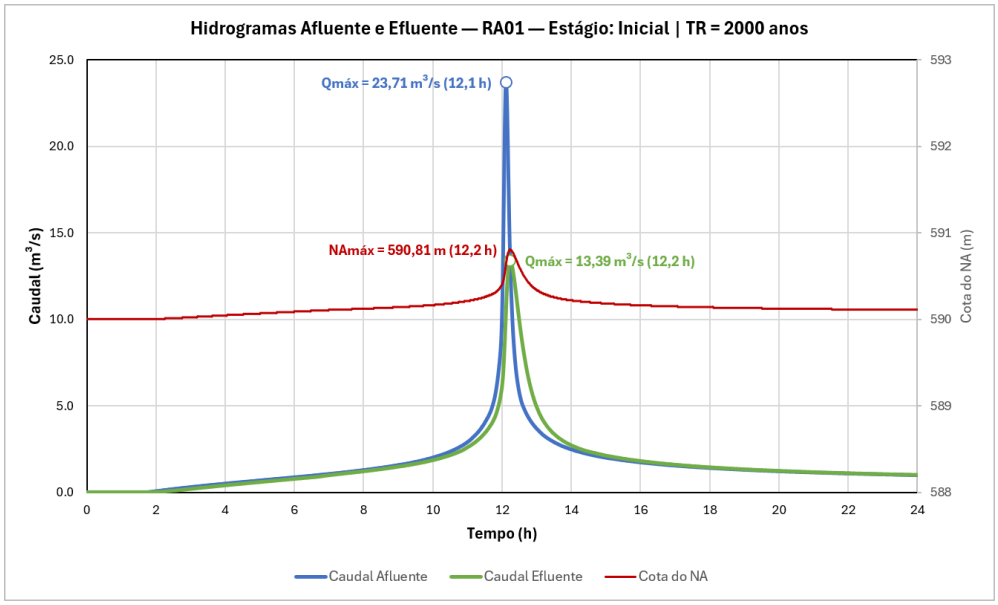


Figura 6.56 – Hidrogramas afluente e efluente do RA-01 – Sistema Pinheiro 1, estágio inicial (TR = 2 000 anos).

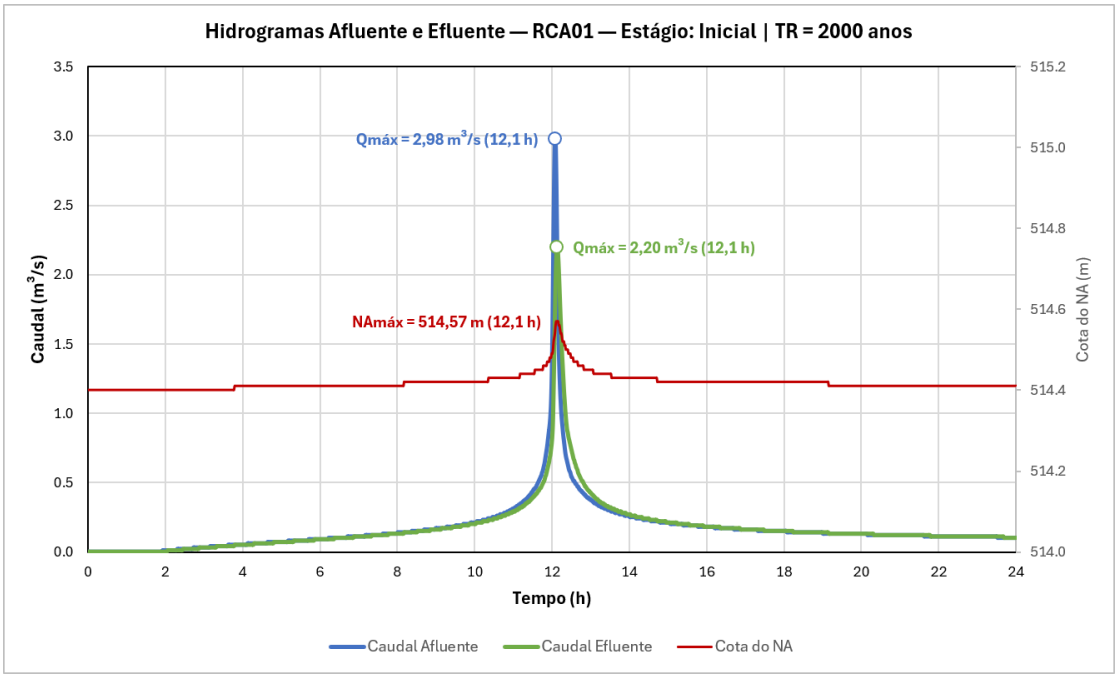


Figura 6.57 – Hidrogramas afluente e efluente do RCA-01 – Sistema Pinheiro 1, estágio inicial (TR = 2 000 anos).

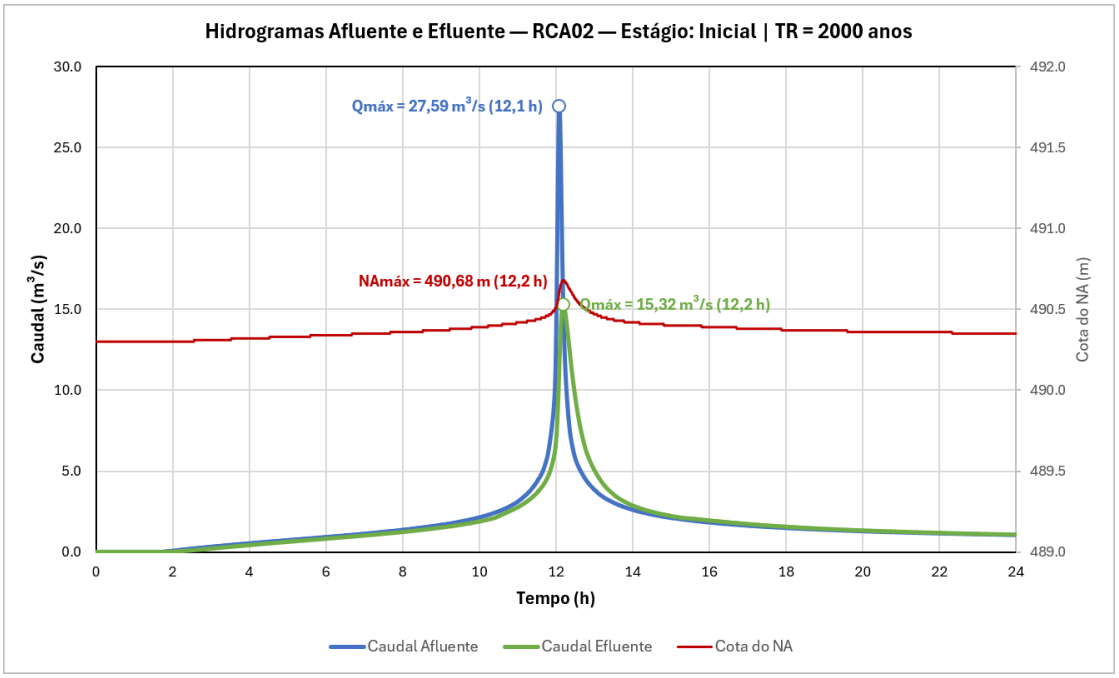


Figura 6.58 – Hidrogramas afluente e efluente do RCA-02 – Sistema Pinheiro 1, estágio inicial (TR = 2 000 anos).

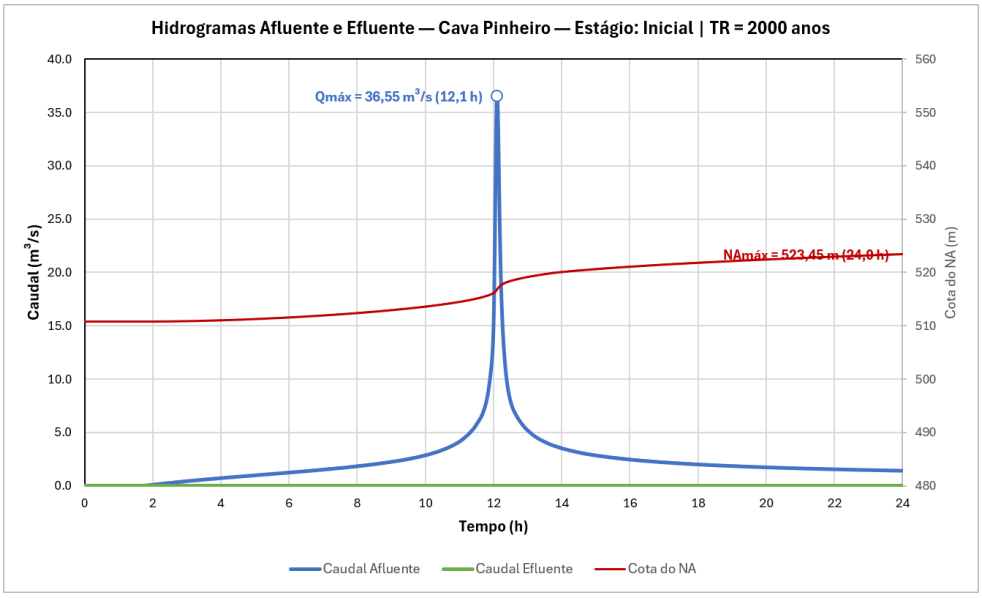


Figura 6.59 – Hidrogramas afluente e efluente da cava mineira (pit shell) Pinheiro – Sistema Pinheiro 1, estágio inicial (TR = 2 000 anos).

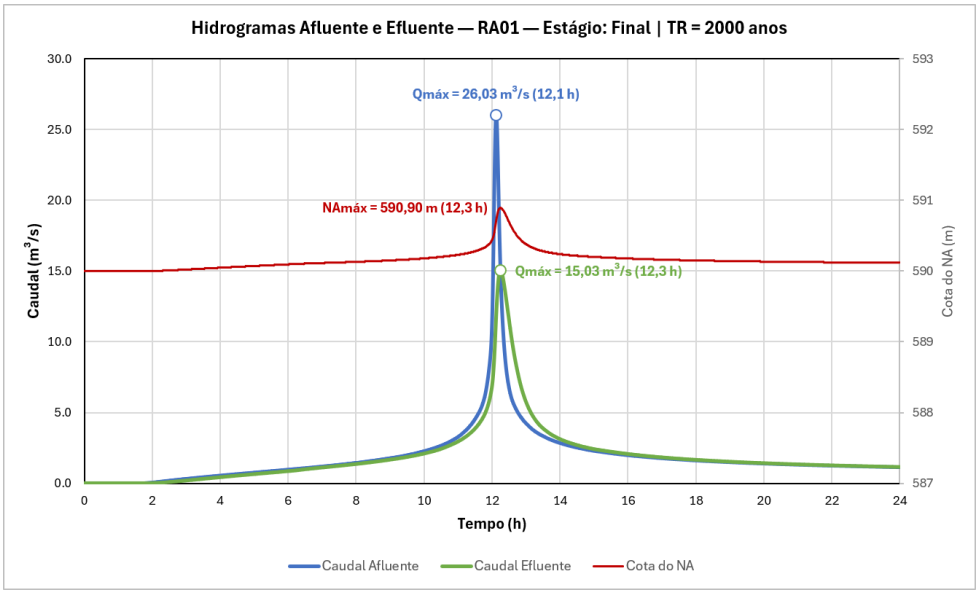


Figura 6.60 – Hidrogramas afluente e efluente do RA-01 – Sistema Pinheiro 1, estágio final (TR = 2 000 anos).

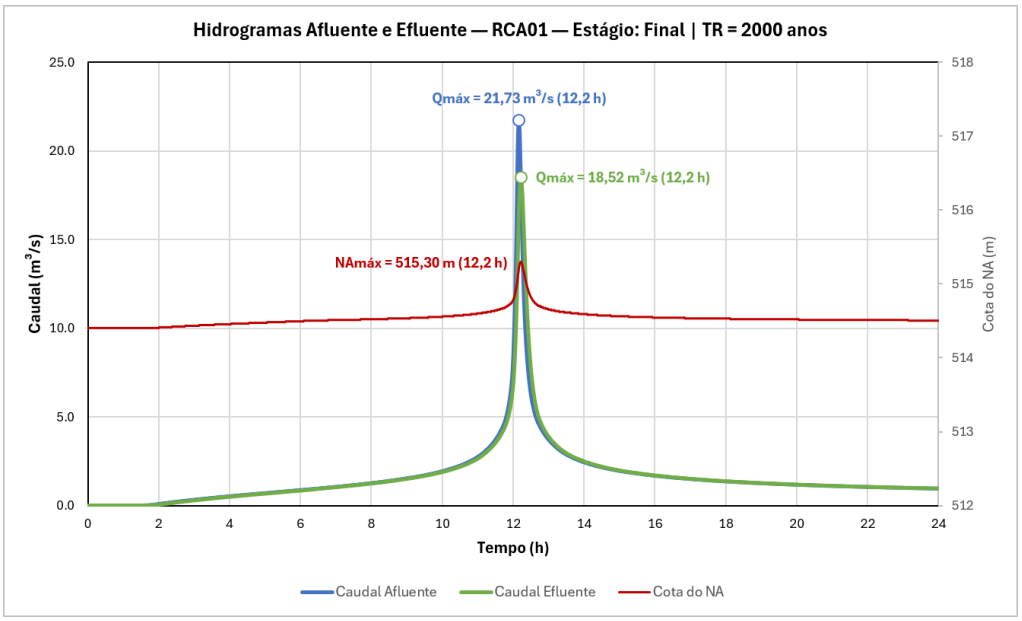


Figura 6.61 – Hidrogramas afluente e efluente do RCA-01 – Sistema Pinheiro 1, estágio final (TR = 2 000 anos).

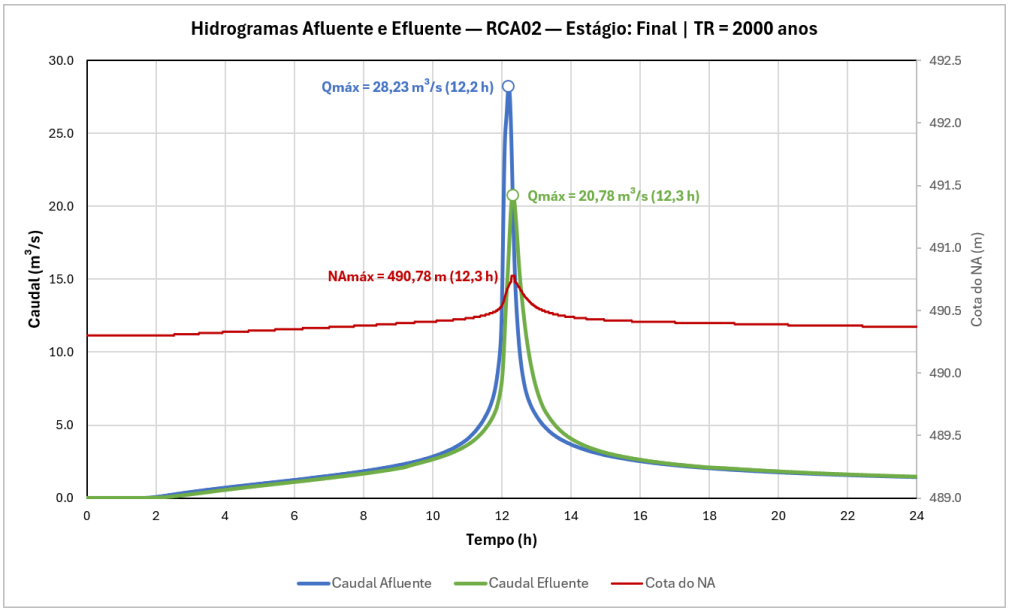


Figura 6.62 – Hidrogramas afluente e efluente do RCA-02 – Sistema Pinheiro 1, estágio final (TR = 2 000 anos).

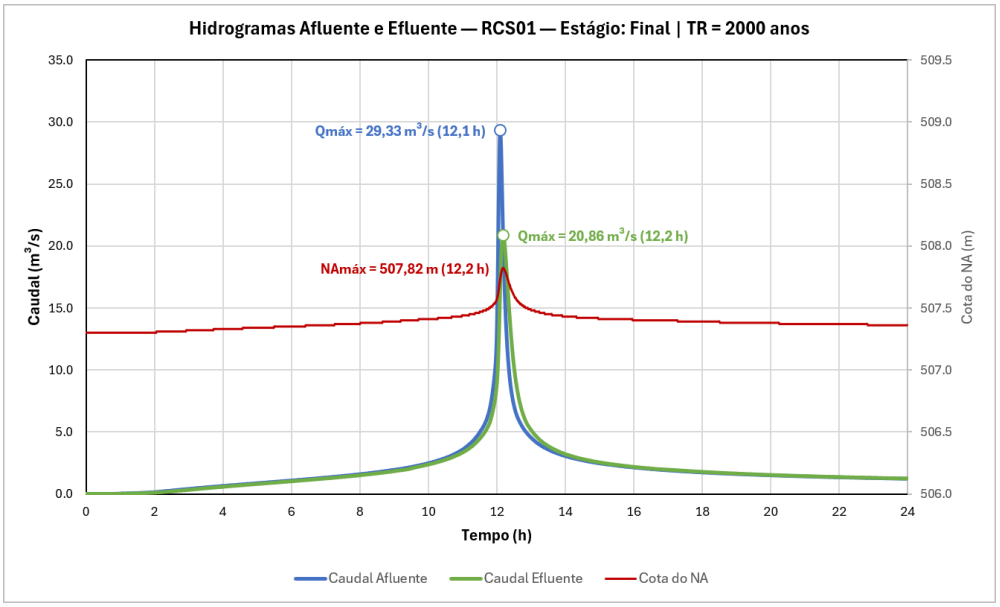


Figura 6.63 – Hidrogramas afluente e efluente do RCS-01 – Sistema Pinheiro 2, estágio final (TR = 2 000 anos).

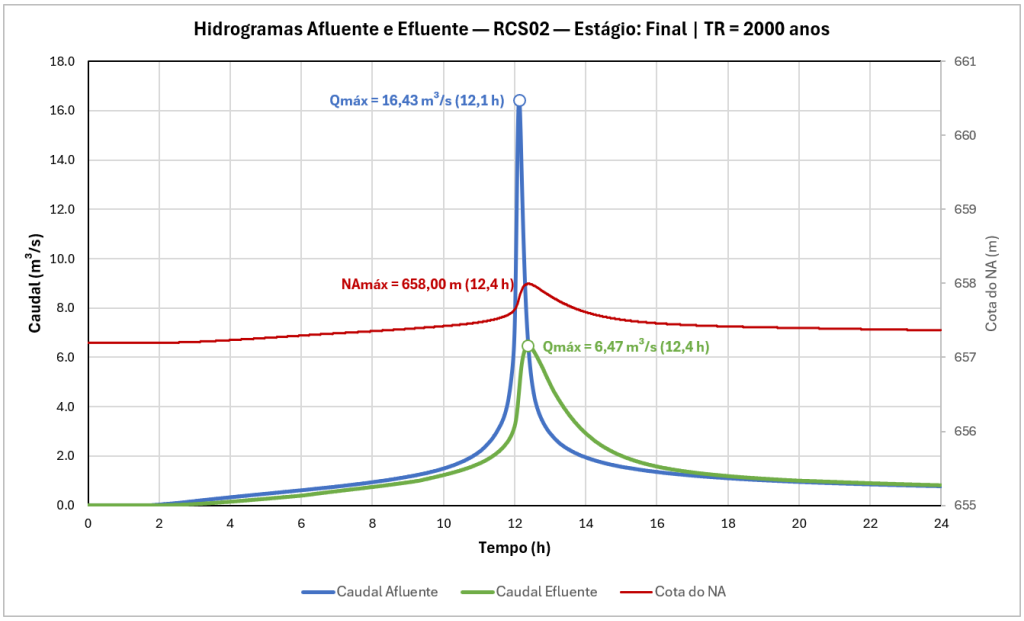


Figura 6.64 – Hidrogramas afluente e efluente do RCS-02 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 2 000 anos).

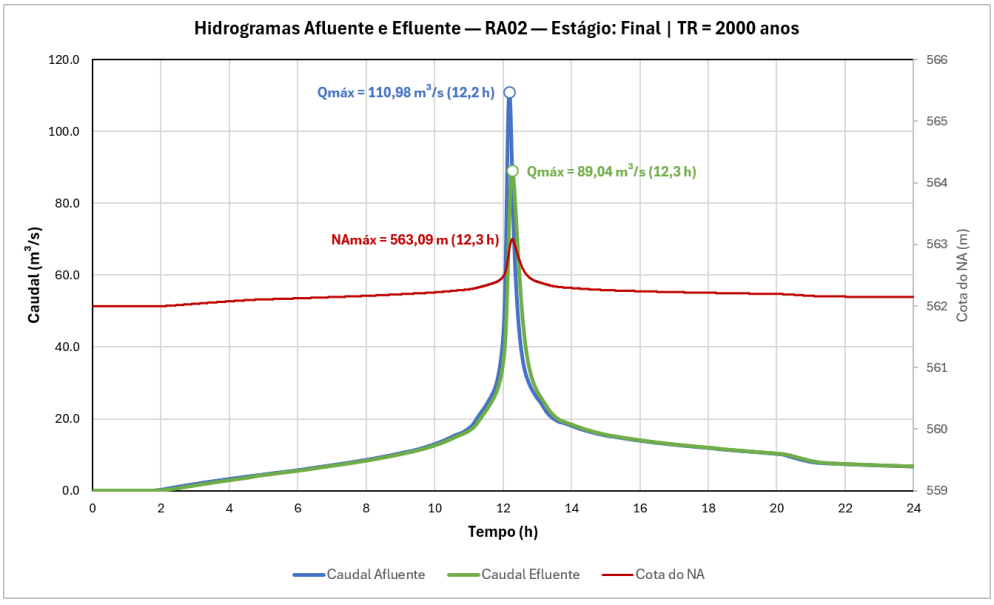


Figura 6.65 – Hidrogramas afluente e efluente do RA-02 – Sistema Grandão, estágio final (TR = 2 000 anos).

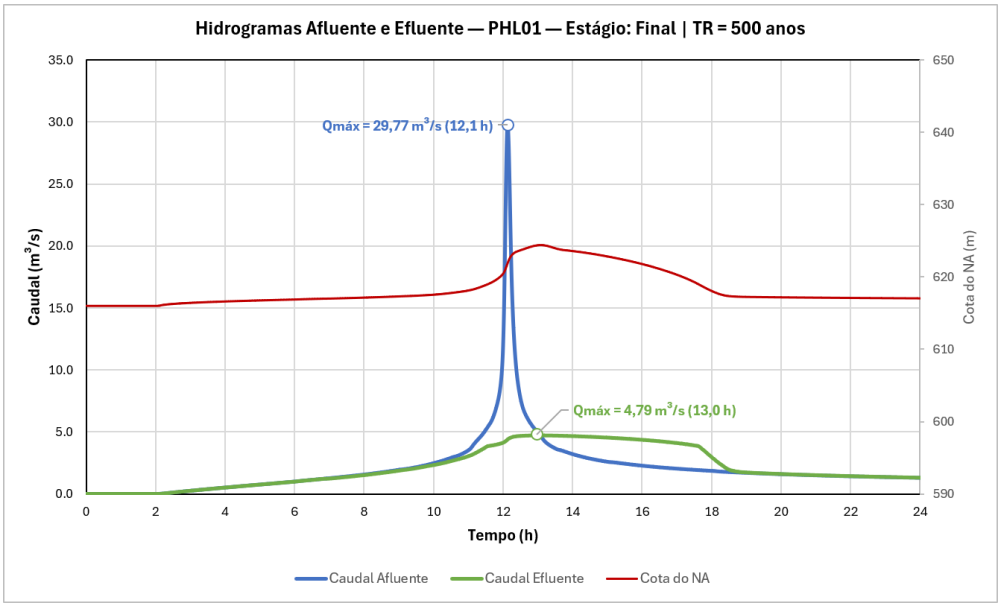


Figura 6.66 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-01 – Sistema Grandão, estágio final (TR = 500 anos).

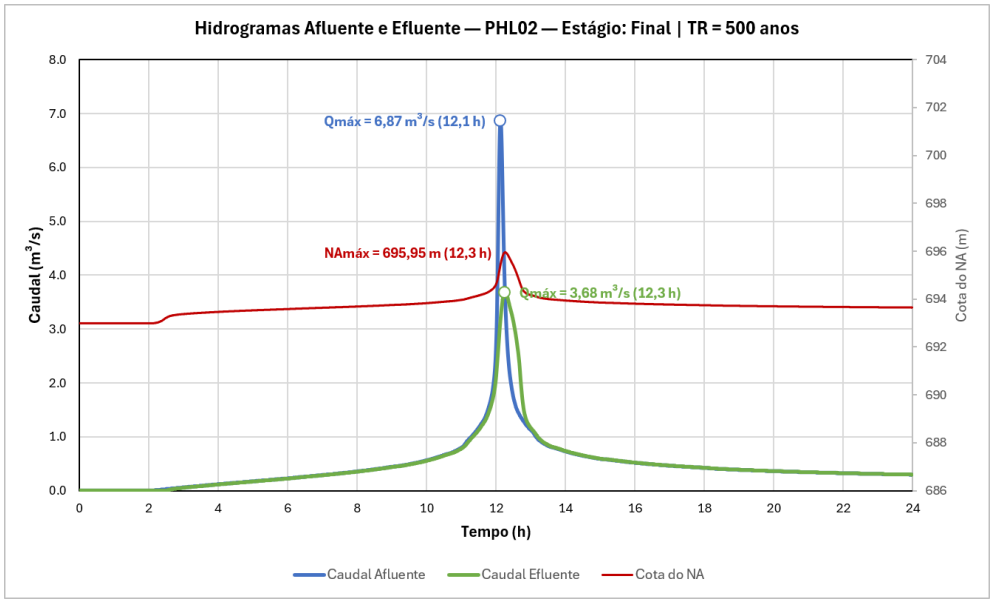


Figura 6.67 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-02 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 500 anos).

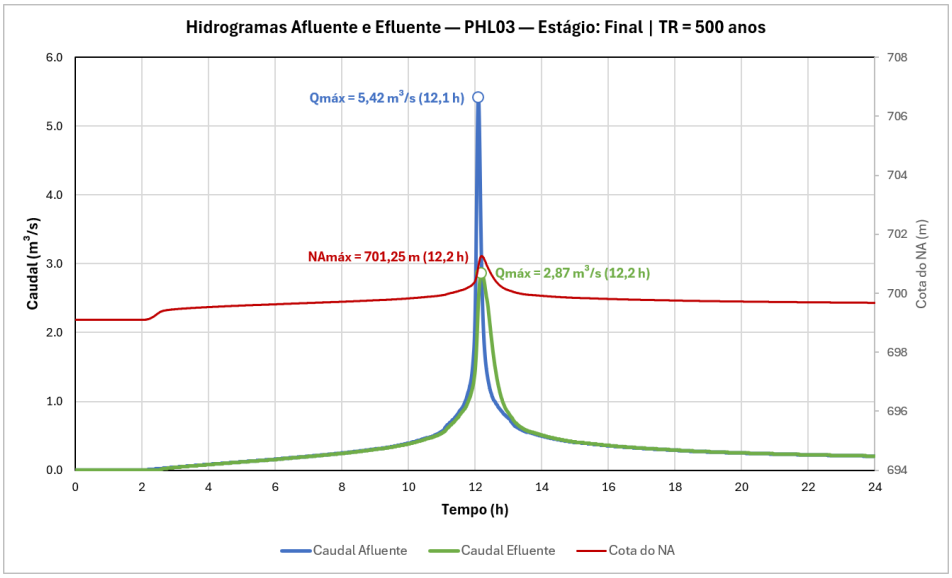


Figura 6.68 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-03 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 500 anos).

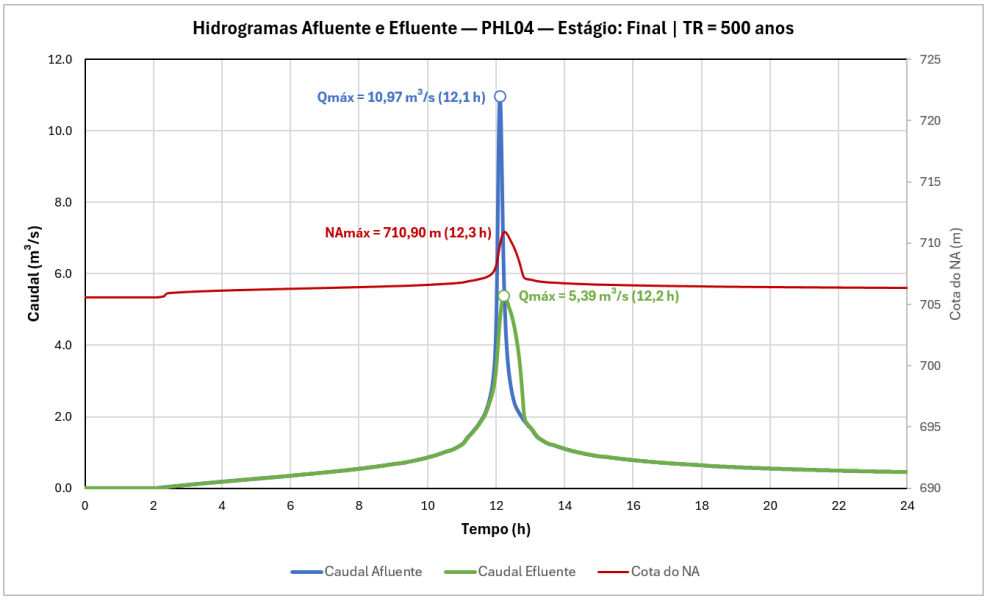


Figura 6.69 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-04 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 500 anos).

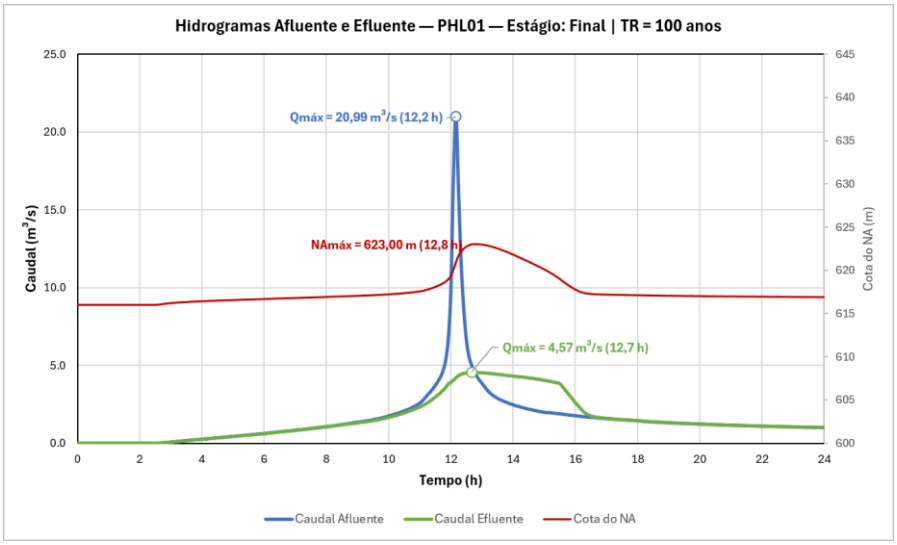


Figura 6.70 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-01 – Sistema Grandão, estágio final (TR = 100 anos).

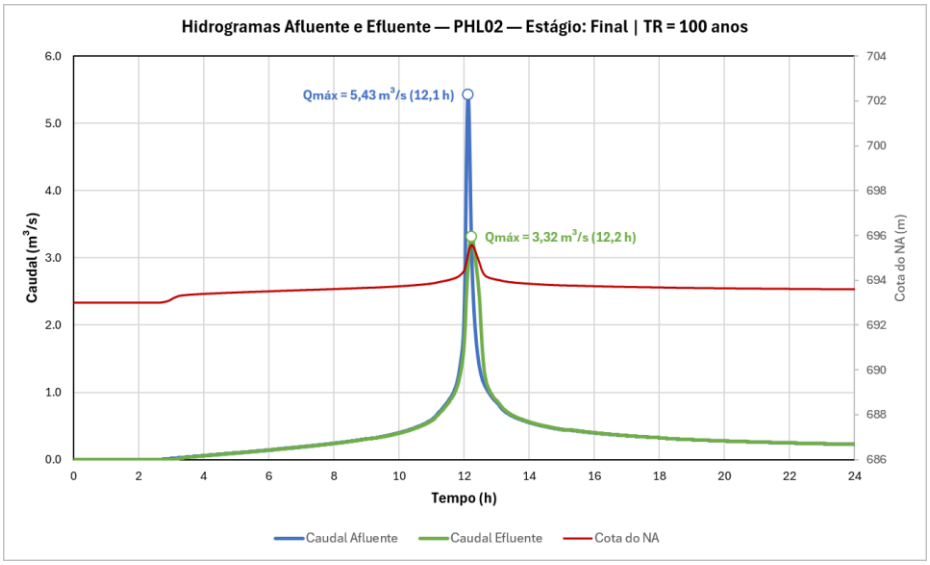


Figura 6.71 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-02 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 100 anos).

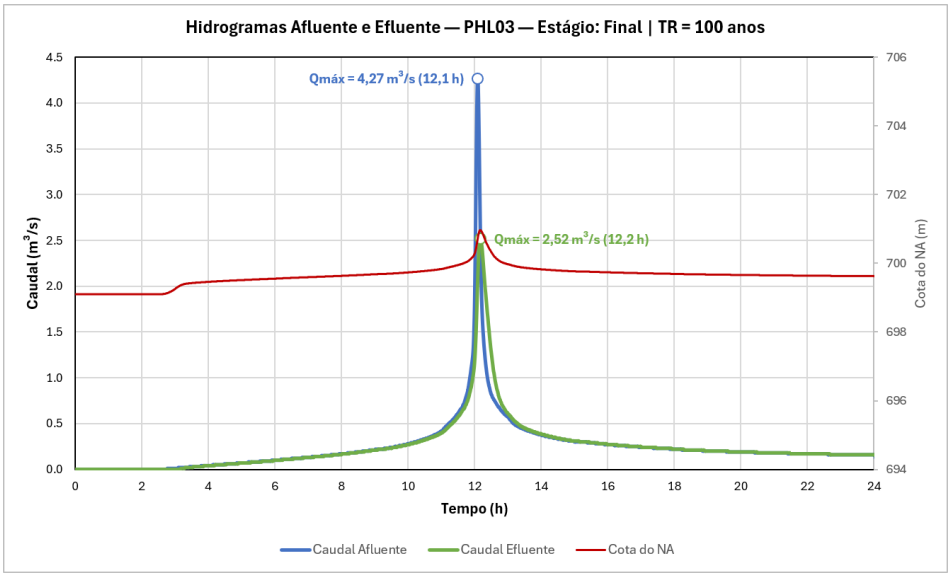


Figura 6.72 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-03 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 100 anos).

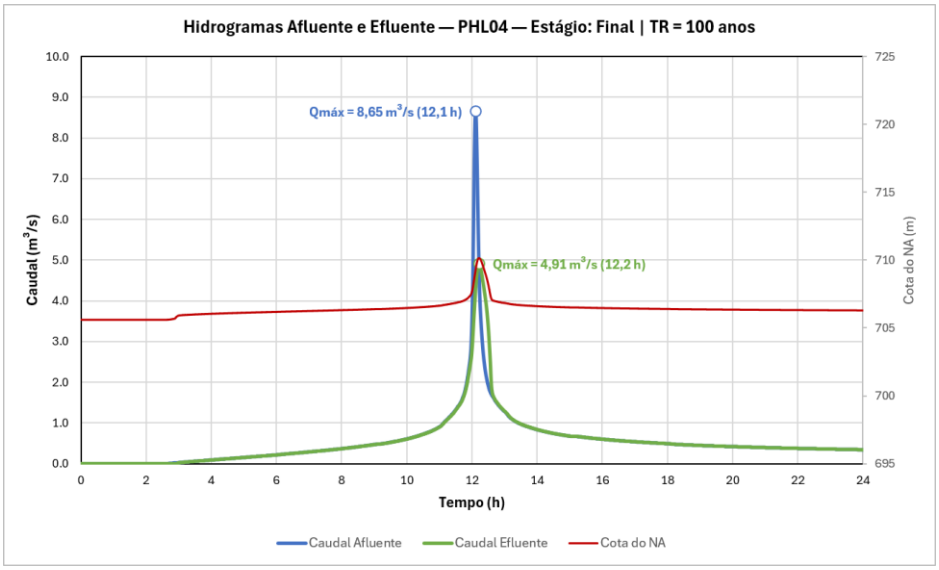


Figura 6.73 – Hidrogramas afluente e efluente da PHL-04 – Sistema Reservatório, estágio final (TR = 100 anos).

Os caudais de dimensionamento e de verificação, os níveis de máxima cheia (NMC) e as características principais das obras dos sistemas Pinheiro, Grandão e Reservatório, no cenário crítico (estágio final). Para os descarregadores de cheia, o dimensionamento corresponde à cheia de projeto com o período de retorno de 2 000 anos e, conforme estabelecido em 3.1.5.1, os caudais da cheia de verificação obtêm-se por majoração dos caudais da cheia de projeto pelo fator 1,2; para as restantes obras (canais DC-P e PHL),

o dimensionamento e a verificação correspondem a cheias com períodos de retorno de 100 e 500 anos, respetivamente. Os valores apresentados constituem a base do dimensionamento e da verificação hidráulica dos órgãos de descarga, desenvolvidos nos capítulos subsequentes da presente memória.

Tabela 6.61 – Caudais de dimensionamento e de verificação, NMC e características principais das obras dos sistemas Pinheiro, Grandão e Reservatório.

Sistema	Obra	Cenário Crítico	Caudal de Dimensionamento[1] (m^3/s)	Caudal de Verificação[2] (m^3/s)	NMC[3] (m)	Características Principais
Pinheiro 1	Descarregador de Cheia do RA-01	Estágio final	15,03	18,04	590,90 / 591,09	Descarregador em labirinto (NPA 590,00)
Pinheiro 1	Descarregador de Cheia da RCA-01	Estágio final	18,52	22,22	515,30 / 515,47	Descarregador em labirinto (NPA 514,40)
Pinheiro 1	Descarregador de Cheia da RCA-02	Estágio final	20,78	24,94	490,78 / 490,87	Descarregador em labirinto (NPA 490,30)
Pinheiro 2	Descarregador de Cheia da RCS-01	Estágio final	20,86	25,03	507,82 / 507,91	Descarregador em labirinto (NPA 507,30)
Pinheiro 1	DC-P-02	Estágio final	0,59	0,69	–	Intercepta as águas superficiais dirigidas à TSF e conduz os escoamentos ao DC-P-03.1
Pinheiro 1	DC-P-03.1	Estágio final	6,91	8,05	–	Desenvolve-se junto ao pé da escombreira do Pinheiro e lança na albufeira da RA-01; partilha secção com o DC-P-03.2 no troço inicial
Pinheiro 1	DC-P-03.2	Estágio final	12,24	14,62	–	Canal coberto em secção do tipo box culvert; recebe as águas do DC-P-01 junto ao contraforte, contorna a albufeira da RA-01 e lança na albufeira da RCA-01
Grandão	Descarregador de Cheia do RA-02	Estágio final	89,04	106,85	563,09 / 563,31	Descarregador em labirinto (NPA 562,00)
Grandão	PHL-01	Estágio final	4,57	4,79	623,00 / 624,41	Lança na albufeira da RA-02; dispositivo terminal de dissipação por impacto

Sistema	Obra	Cenário Crítico	Caudal de Dimensionamento[1] (m³/s)	Caudal de Verificação[2] (m³/s)	NMC[3] (m)	Características Principais
Reservatório	Descarregador de Cheia da RCS-02	Estágio final	6,47	7,76	658,00 / 658,15	Descarregador em labirinto (NPA 657,20)
Reservatório	PHL-02	Estágio final	3,32	3,68	695,57 / 695,95	Unem-se após contornarem a cava NOA e lançam a jusante da RCS-02; dispositivo terminal de dissipação por impacto
Reservatório	PHL-03	Estágio final	2,52	2,87	700,96 / 701,25	Unem-se após contornarem a cava NOA e lançam a jusante da RCS-02; dispositivo terminal de dissipação por impacto
Reservatório	PHL-04	Estágio final	4,91	5,39	710,15 / 710,90	Unem-se após contornarem a cava NOA e lançam a jusante da RCS-02; dispositivo terminal de dissipação por impacto

[1] Descarregadores de cheia: cheia de projeto com TR = 2 000 anos. Restante das obras (canais DC-P e PHL): TR = 100 anos.

[2] Descarregadores de cheia: 1,2 × caudal de dimensionamento. Restante das obras (canais DC-P e PHL): TR = 500 anos.

[3] NMC – nível de máxima cheia: cota máxima do NA atingida na simulação. Descarregadores de cheia: os dois valores correspondem, respetivamente, à cheia de projeto (TR = 2 000 anos) e à cheia de verificação (1,2 × caudal de dimensionamento). PHL: os dois valores correspondem, respetivamente, a TR = 100 / TR = 500 anos.

6.9.6 ANÁLISE GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

Na presente secção apresentam-se análises geológico-geotécnicas efetuadas com o objetivo de caracterizar os terrenos de fundação do reservatório e definir as soluções de tratamento a adotar nos terrenos de fundação de forma a garantir a sua estabilidade, quer em termos de condições de fundação, deformabilidade e percolação sob a sua fundação.

A análise e interpretação de informação de natureza geológica e geotécnica, teve como base os seguintes documentos:

- Carta Geológica de Portugal, Folha 6 C – Cabeceiras de Basto, escala 1:50 000 (1992);
- "Sistemas Aquíferos de Portugal Continental", Centro de Geologia e Instituto da Água (2000);
- Conjunto de elementos de projeto anteriores realizados na área em estudo:

- Relatório Geotécnico Integrado Projeto de Lítio do Barroso Estudo Geotécnico de Viabilidade (SNOWDEN-SAVANNAH, 2026) (Anexo IV.3);
- Resumo do Estado do Conhecimento Geologia – Tectónica e Sismicidade (SAVANNAH, 2026);
- Barroso Lithium Project – Geotechnical Desktop Assessment (KNIGHT PIÉSOLD CONSULTING, 2026) (Anexo VI.5);
- Projeto de Lítio do Barroso - Definição da ação sísmica (LNEC, 2026) (Anexo VI.5);

– Conjunto de elementos geológico-geotécnicos, designadamente;

- Base de dados com informação geológica obtida a partir das sondagens executadas nos vários depósitos;
- Base de dados com informação geotécnica obtida a partir das sondagens executadas nos vários depósitos, tais como, percentagem de recuperação e de RQD, descrição da alteração e número de fraturas identificadas;
- Base de dados com informação relativa à orientação das principais estruturas identificadas, assim como as suas características mecânicas, designadamente, tipo de rugosidade, espessura e preenchimento;
- Cartografia geotécnica;
- Cartografia das principais falhas e alinhamentos identificados à superfície.

Neste sentido, o estudo geológico e geotécnico iniciou-se pela análise de toda a informação geológica e geotécnica disponível, seguindo-se o reconhecimento geológico de superfície aos locais das infraestruturas de controlo hidráulico, com o objetivo de identificar os terrenos interessados e as características da obra.

Para além desta breve introdução geral ao estudo, descrevem-se os resultados do reconhecimento geológico de superfície efetuado, descrevendo-se as formações encontradas e o estudo de compartimentação do maciço rochoso.

Seguidamente apresenta-se a descrição dos trabalhos de prospeção geotécnica e ensaios "*in situ*" e em laboratório realizados nas várias campanhas de prospeção, que foram considerados na elaboração do presente estudo.

Procede-se à descrição das características geológico-geotécnicas locais, incluindo a análise e interpretação dos trabalhos de prospeção geotécnica realizados e a definição de um zonamento geotécnico dos terrenos de fundação.

Posteriormente, são feitas algumas considerações de índole geotécnica que resultam da análise de toda a informação existente, abordando-se aspetos diversos, como sejam, as condições de fundação e os aspetos mais relevantes referentes aos materiais de construção a empregar.

Complementando a informação com peças desenhadas - plantas e perfis longitudinais geológico-geotécnicos interpretativos, onde se localizam os trabalhos de prospeção realizados, os resultados obtidos e a respetiva interpretação.

6.9.6.1 Reconhecimento Geológico de Superfície

No dia 10 de julho de 2026, foi realizada uma visita à área de implantação das infraestruturas de gestão hidráulica da Mina do Barroso, cujo principal objetivo foi complementar a informação disponível e obter uma primeira caracterização das condições locais, com particular destaque nos aspetos geológicos, geomorfológicos e geotécnicos suscetíveis de influenciar a conceção e a implantação das infraestruturas hidráulicas previstas.

Foram visitados vários locais de interesse, correspondentes, na sua maioria, às áreas previstas para a implantação das diferentes componentes do sistema de gestão hidráulica da mina. A localização dos locais observados encontra-se representada na Figura 6.74 e na Figura 6.75.

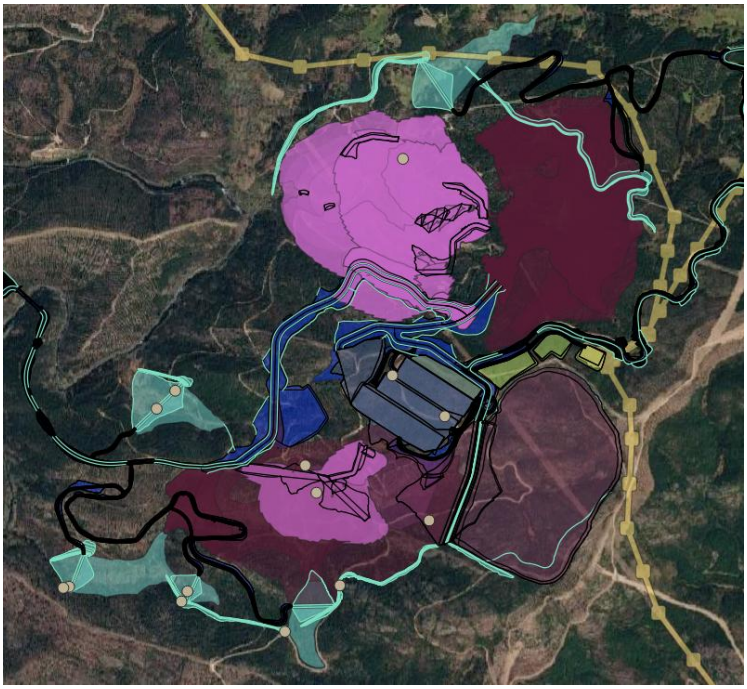


Figura 6.74 – Localização dos locais visitados durante o reconhecimento em 10 de Julho de 2026 (Pinheiro e Grandão).

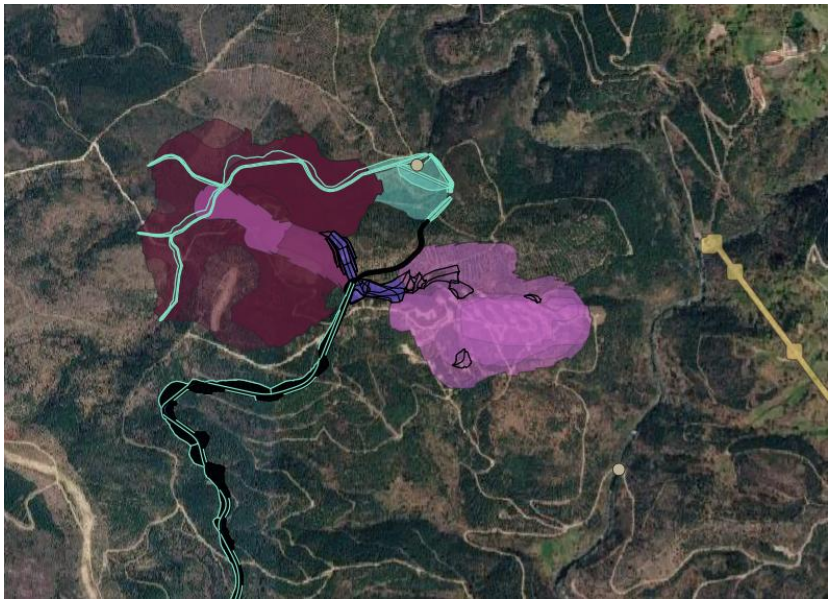


Figura 6.75 – Localização dos locais visitados durante o reconhecimento em 10 de Julho de 2026 (NOA e Reservatório).

O reconhecimento priorizou a observação dos locais considerados mais relevantes para a caracterização preliminar das condições geológicas, geomorfológicas e geotécnicas da área de estudo.

O reconhecimento incidiu sobretudo na observação de afloramentos rochosos e taludes de escavação que permitissem avaliar diretamente a natureza dos terrenos. Procurou-se ainda identificar as principais características morfológicas da área, a constituição das formações superficiais, bem como o estado de alteração e de fracturação do substrato rochoso. Durante a visita de reconhecimento foi ainda possível observar a abertura de um poço de reconhecimento com recurso a retroescavadora, localizado na área onde será implantada a zona da lavaria (Figura 6.76 e Figura 6.77).



Figura 6.76 – Abertura de poço de reconhecimento.



Figura 6.77 – Análise e descrição do poço de reconhecimento.

Em termos morfológicos, a área em estudo apresenta uma orografia acidentada, caracterizada por vertentes de declive geralmente acentuado e por uma rede de drenagem bastante encaixada. Os vales são predominantemente profundos, aproximadamente simétricos e com secção transversal em "V", evidenciando uma forte incisão das linhas de água no substrato rochoso (Figura 6.78).

Pontualmente, foram observados vales com características diferentes das predominantes na área. É o caso do local previsto para a RCS-01, onde o vale é assimétrico, mais aberto.



Figura 6.78 – Vale do Rio Covas, simétrico com secção transversal em "V".

Em termos geológicos, foi possível observar, de um modo geral, uma sequência constituída por uma camada de terra vegetal, com cerca de 0,30 m de espessura. Por baixo desta camada ocorre um solo residual silto-argiloso, de cor amarelada a acastanhada, com uma espessura entre cerca de 0,50 m e 0,80 m. Esta espessura pode variar localmente consoante a posição no terreno, o grau de alteração da rocha e os processos de erosão e acumulação de materiais ao longo das vertentes. Sob estes materiais encontra-se o maciço xistento, que, nos locais observados, se apresenta geralmente medianamente alterado e algo fraturado (Figura 6.79).



Figura 6.79 – Perfil geológico encontrado na encosta esquerda do vale onde se localiza a RCA-01.

No fundo dos vales, nas depressões topográficas e nos setores de menor declive poderá ocorrer uma maior acumulação de solos de cobertura e/ou de depósitos coluvionares, verificando-se nestes locais, a presença de arbustos (Figura 6.80). Em contrapartida, nas vertentes mais inclinadas, o substrato rochoso encontra-se próximo da superfície ou aflora diretamente, verificando-se com alguma frequência a presença de afloramentos rochosos à superfície (Figura 6.81 e Figura 6.82).



Figura 6.80 – Coluvião nas imediações do fundo do vale da RCA-01 com a presença de arbustos.



Figura 6.81 – Substrato rochoso nas vertentes do vale onde se localiza a RCS-01.



Figura 6.82 – Substrato rochoso nas vertentes do vale onde se localiza a RCS-02.

Apesar da presença de um horizonte de solo residual, observam-se frequentemente afloramentos rochosos em toda a área de estudo, tanto nos taludes de escavação dos caminhos florestais (Figura 6.83) como ao longo dos próprios caminhos (Figura 6.84). Em alguns locais, o maciço rochoso apresenta-se mais alterado e decomposto (Figura 6.86 e Figura 6.87).



Figura 6.83 – Afloramento rochoso em talude de escavação em caminho florestal.



Figura 6.84 – Afloramento rochoso em caminho florestal junto à área da lavaria.



Figura 6.85 – Maciço rochoso com zonas muito alteradas junto ao descarregador da RA-01.



Figura 6.86 – Maciço rochoso medianamente a muito alterado.



Figura 6.87 – Maciço rochoso medianamente a muito alterado - detalhe.

Durante a visita, foi ainda identificado um afloramento de pegmatito, de tonalidade esbranquiçada a acinzentada, conforme ilustrado na Figura 6.88.



Figura 6.88 – Afloramento pegmatítico esbranquiçado a acinzentado.

6.9.6.2 Estrutura e Compartimentação do Maciço

Do ponto de vista estrutural, e conforme referido anteriormente, a área em estudo apresenta uma compartimentação tectónica acentuada, associada à deformação varisca. Esta deformação traduziu-se no desenvolvimento de várias fases

deformacionais, sendo igualmente frequente a ocorrência de zonas de cisalhamento e de sistemas de fraturas com orientações predominantes entre NW–SE e NNW–SSE.

De acordo com os elementos consultados, designadamente a cartografia da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, folha 6-C, correspondente a Cabeceiras de Basto, os principais alinhamentos de fratura apresentam orientações dominantes NW–SE a NNW–SSE. Estes alinhamentos surgem, por vezes, associados a sistemas conjugados com orientações NNE–SSW e NE–SW.

No âmbito dos estudos anteriormente realizados (SNOWDEN, 2026), a análise de dados LiDAR de elevada resolução permitiu identificar diversos lineamentos estruturais. Estes lineamentos poderão estar associados a falhas inferidas, a zonas de maior perturbação estrutural ou a setores onde o maciço rochoso apresenta menor qualidade geomecânica.

Com base na análise efetuada, verifica-se que os terrenos de fundação de algumas das infraestruturas hidráulicas previstas poderão ser afetados por potenciais zonas de falha, associadas aos lineamentos anteriormente identificados (Figura 6.89).

Segundo (SNOWDEN, 2026) a identificação dos lineamentos estruturais resultou da interpretação pormenorizada do Modelo Digital do Terreno (MDT), tendo sido considerados diversos indicadores de natureza geomorfológica e estrutural, entre os quais:

- a continuidade e a regularidade geométrica dos traçados;
- a manutenção de orientações consistentes ao longo de distâncias compreendidas entre algumas centenas de metros e vários quilómetros;
- a associação direta a formas características do relevo, como vales retilíneos, escarpas alongadas e variações bruscas de declive;
- a influência aparente da estrutura geológica na organização da rede de drenagem, expressa pelo alinhamento preferencial das linhas de água e pela presença de setores de concentração ou convergência do escoamento.

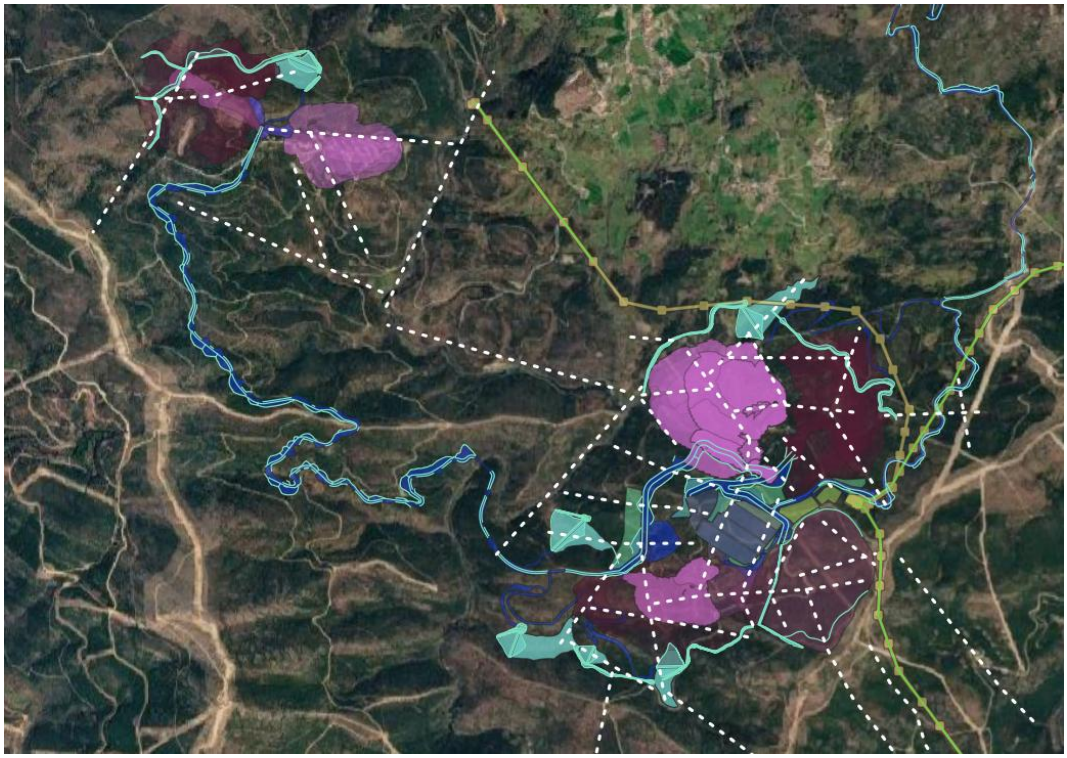


Figura 6.89 – Lineamentos estruturais interpretados a partir da análise LiDAR (SNOWDEN, 2026).

Numa fase posterior, os lineamentos identificados foram confrontados com as observações estruturais realizadas à superfície e com os padrões de deformação identificados nas diferentes formações geológicas. Esta análise integrada permitiu sustentar a interpretação de alguns destes elementos como possíveis falhas de expressão regional ou como zonas marcadas por deformação estrutural relevante, suscetíveis de condicionar a compartimentação e a qualidade geomecânica do maciço rochoso.

Neste contexto, a sobreposição dos lineamentos estruturais com a carta geológica permite reconhecer uma correspondência significativa entre os lineamentos inferidos a partir dos dados LiDAR e as falhas cartografadas à escala 1:50 000. Em vários locais, observa-se uma coincidência, total ou aproximada, entre estes elementos estruturais, conforme ilustrado na Figura 6.90.

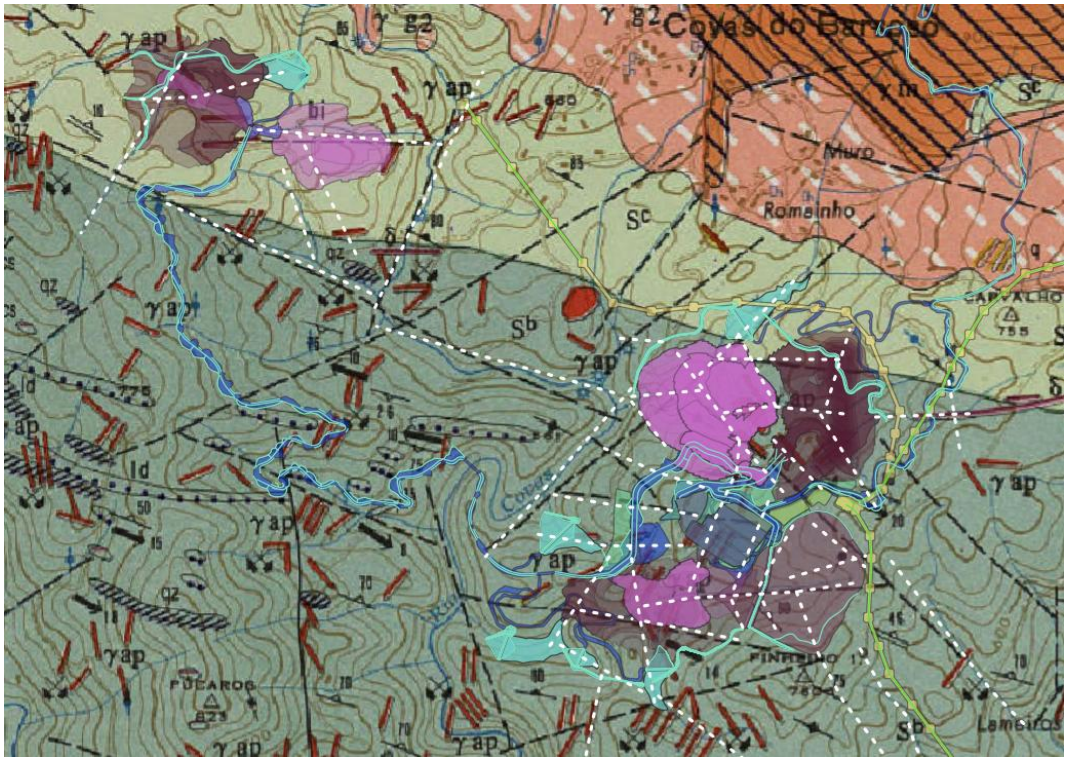


Figura 6.90 – Sobreposição dos lineamentos estruturais inferidos a partir da análise LiDAR sobre a carta geológica à escala 1:50 000.

Tendo por base a análise integrada da informação obtida nas sondagens, designadamente a informação geológico-geotécnica, bem como a respetiva documentação fotográfica, permitiu a interpretação de um conjunto de falhas associadas aos vários depósitos.

Assim, foram identificados nas várias sondagens intervalos em que o maciço rochoso apresenta uma redução significativa da sua qualidade, tendo sido considerados os seguintes indicadores:

- valores de RQD muito baixos, iguais ou inferiores a 20%;
- ocorrência de argilização, com intensidade variável, geralmente associada a zonas de cisalhamento ou à reativação de estruturas preexistentes, como ilustrado Figura 6.91.

A comparação destes intervalos entre as várias sondagens permitiu reconhecer possíveis continuidades e alinhamentos estruturais, constituindo a base para a interpretação e representação coerente das falhas no modelo tridimensional.



Figura 6.91 – Zona de argilização no maciço rochoso.

A modelação tridimensional desenvolvida para os depósitos do Pinheiro, Grandão e Reservatório permitiu identificar e caracterizar as principais estruturas de falha da área em estudo para implantação das infraestruturas de controlo hidráulico.

No total, foram interpretadas 20 falhas principais, distribuídas de forma distinta pelos quatro depósitos. Estas estruturas foram agrupadas em sistemas estruturais com base na respetiva orientação, inclinação, continuidade espacial e relação com os corpos pegmatíticos. De um modo geral, distinguem-se estruturas internas ao maciço, potencialmente relacionadas com a instalação dos corpos pegmatíticos, e estruturas de carácter regional, geralmente mais inclinadas e associadas a fases tectónicas tardias.

- **DEPÓSITO DO PINHEIRO**

No depósito do Pinheiro foram interpretadas seis falhas principais. Estas estruturas distribuem-se por dois sistemas dominantes, embora a informação disponível indique igualmente a presença de uma componente estrutural oblíqua, refletindo a complexidade tectónica deste setor.

1) Sistema com orientação geral NW–SE e mergulho moderado, sendo constituído pelas falhas PNRSSENNW01, PNRSSENNW02 e PNRSENW03. Estas estruturas desenvolvem-se no interior do maciço e são interpretadas como estando relacionadas com a instalação do corpo pegmatítico.

2) Sistema com orientação E–W e inclinação subvertical. É constituído pelas falhas PNREW04, PNREW05 e PNREW06, às quais é atribuído um carácter regional.

- **DEPÓSITO DO GRANDÃO**

No depósito do Grandão foram interpretadas quatro falhas principais. As falhas identificadas organizam-se em três sistemas estruturais principais:

1) Sistema, constituído pelas falhas GRAEW04 e GRAEW03, apresenta orientação SW–NE e mergulho muito baixo. Estas estruturas desenvolvem-se no interior do maciço e encontram-se associadas à instalação do corpo pegmatítico.
2) Sistema representado pela falha GRANNSSW01, com orientação NNE–SSW e mergulho moderado. Esta estrutura é igualmente interna ao maciço, encontrando-se associada à instalação de um segundo corpo pegmatítico.
3) Sistema correspondendo à falha GRASENW02, que apresenta orientação NW–SE e inclinação subvertical. Atendendo à sua geometria e expressão, esta estrutura é interpretada como uma falha de carácter regional.

- **DEPÓSITO DO RESERVATÓRIO**

A modelação tridimensional do depósito do Reservatório permitiu interpretar cinco falhas principais, agrupadas em dois sistemas estruturais.

1) Sistema com orientação SW–NE e mergulho moderado, sendo constituído pelas falhas RESNESW01 e RESNESW02. Estas estruturas são internas ao maciço e encontram-se associadas à instalação do corpo pegmatítico.
2) Sistema apresenta orientação geral ENE–WSW e inclinação subvertical, integrando as falhas RESSENW03, RESEW04 e RESSENW05. Estas estruturas são interpretadas como tendo carácter regional.

- **DEPÓSITO NOA**

-

No depósito NOA foram definidas cinco falhas principais, organizadas em dois sistemas estruturais distintos.

1) O primeiro sistema é interno ao maciço e apresenta orientação geral E–W. Integra as falhas NOAEW01 e NOAEW02, com mergulho moderado, e a falha NOAEW03, com mergulho elevado.
2) O segundo sistema é constituído por estruturas subverticais, consideradas mais tardias e de carácter regional. Inclui a falha NOAEW04, com orientação E–W, e a falha NOAEW05, com orientação NE–SW.

A Tabela 6.62 apresenta uma síntese das falhas interpretadas em cada depósito, indicando o sistema estrutural a que pertencem e a respetiva inclinação.

Tabela 6.62 – Resumo das falhas interpretada em profundidade.

Depósito	Sistema estrutural	Falhas principais	Inclinação	Mergulho	Observações
Pinheiro	NW–SE	PNRSSENNW01; PNRSSENNW02;	73º a 74,5º	WSW	associado à instalação do corpo pegmatítico
		PNRSENW03	54º	NE	
	E–W	PNREW04; PNREW05; PNREW06	Subvertical		carácter regional
Grandão	SW–NE	GRAEW04; GRAEW03	14º a 17,5º	E-W	associado à instalação do corpo pegmatítico
	NNE–SSW	GRANNESSW01	71,5º	WNW	associado à instalação de um segundo corpo pegmatítico
	NW–SE	GRASENW02	Subvertical		carácter regional
Reservatório	SW–NE	RESNESW01; RESNESW02	30º a 32º	NW	associado à instalação do corpo pegmatítico
	ENE–WSW	RESSENW03; RESEW04; RESSENW05	Subvertical		carácter regional
NOA	E–W	NOAEW01; NOAEW02	35º a 38º	N-NNE	associado à instalação do corpo pegmatítico
		NOAEW03	79º		
	E–W	NOAEW04	Subvertical		carácter regional
	NE–SW	NOAEW05	Subvertical		

No âmbito do presente estudo geológico-geotécnico, foi possível confirmar a correspondência entre as falhas interpretadas com base nos dados das sondagens e os lineamentos estruturais identificados a partir dos dados LiDAR.

Com efeito, conforme ilustrado na Figura 6.92, no sistema do Pinheiro, o conjunto estrutural com orientação E–W a ENE–WSW e inclinação subvertical apresenta uma correspondência significativa com os lineamentos de orientação E–W identificados a sul do depósito. Verifica-se, inclusivamente, uma sobreposição quase total entre a falha PNREW04 e o lineamento indicado na figura, reforçando a interpretação de que ambas as estruturas terão alguma correspondência geológica e estrutural.

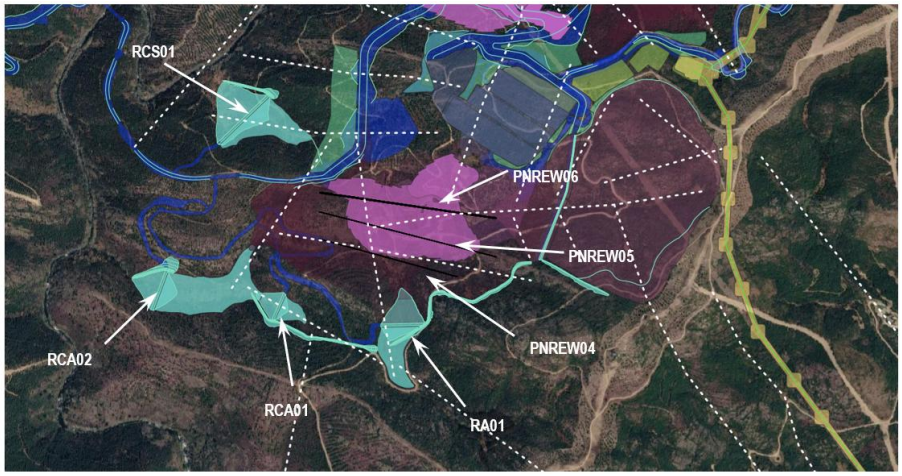


Figura 6.92 – Sobreposição entre as falhas PNREW04; PNREW05; PNREW06 e os lineamentos obtidos a partir do LiDAR no depósito do Pinheiro (Adaptado de: SNOWDEN, 2026).

Neste contexto, admite-se que os lineamentos de orientação E–W que intersectam as obras hidráulicas RCA-01 e RCS-01 possam apresentar características geométricas semelhantes às do sistema estrutural definido pelas falhas PNREW04, PNREW05 e PNREW06. Para além da orientação indicada, é expectável que estas estruturas apresentem inclinações subverticais.

Relativamente ao lineamento que se desenvolve junto à margem esquerda da obra RA-01, verifica-se uma correspondência com as falhas PNRSSENNW01 e PNRSSENNW02, conforme ilustrado na Figura 6.93. Deste modo, admite-se a possível ocorrência, neste setor da obra, de uma falha com inclinação compreendida entre aproximadamente 70° e 75° para WSW.

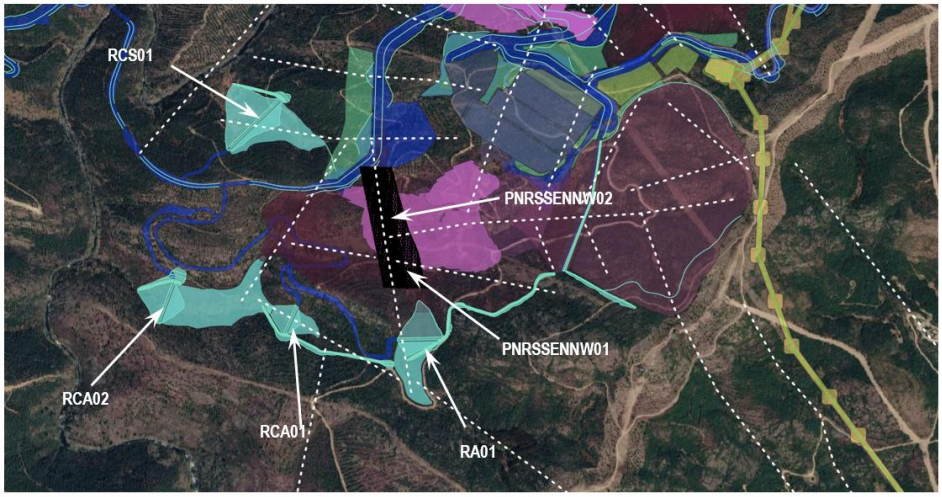


Figura 6.93 – Sobreposição entre as falhas PNRSSENNW01; PNRSSENNW02 e os lineamentos obtidos a partir do LiDAR no depósito do Pinheiro (Adaptado de: SNOWDEN, 2026).

Relativamente ao sistema do Grandão, verifica-se uma correspondência geométrica, em termos de orientação e paralelismo, entre a falha GRASENW02, de direção NW–SE e inclinação subvertical, e o lineamento representado na Figura 6.94.

Por outro lado, conforme ilustrado na mesma figura, é expectável que os terrenos de fundação da obra RA-02 sejam intersectados pela falha GRANNESSW01, de direção NNE–SSW e com uma inclinação de aproximadamente 71° para WNW.

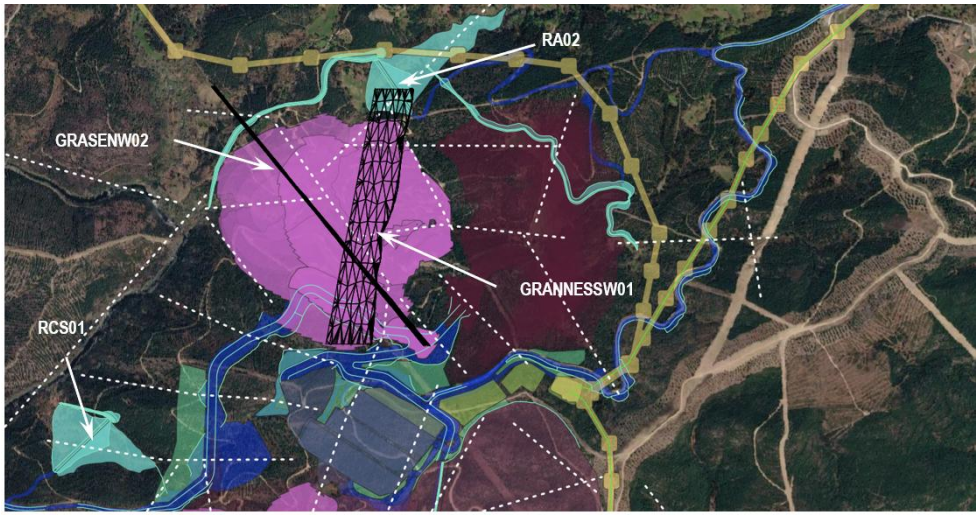


Figura 6.94 – Sobreposição entre as falhas GRANNESSW01; GRASENW02 e os lineamentos obtidos a partir do LiDAR no depósito do Grandão (Adaptado de: SNOWDEN, 2026).

Relativamente ao sistema do Reservatório, existe também correspondência entre as falhas interpretadas em profundidade, nomeadamente as falhas NOAEW004 e RESEW004 e os lineamentos estruturais identificados a partir dos dados LiDAR como ilustrado na Figura 6.95.

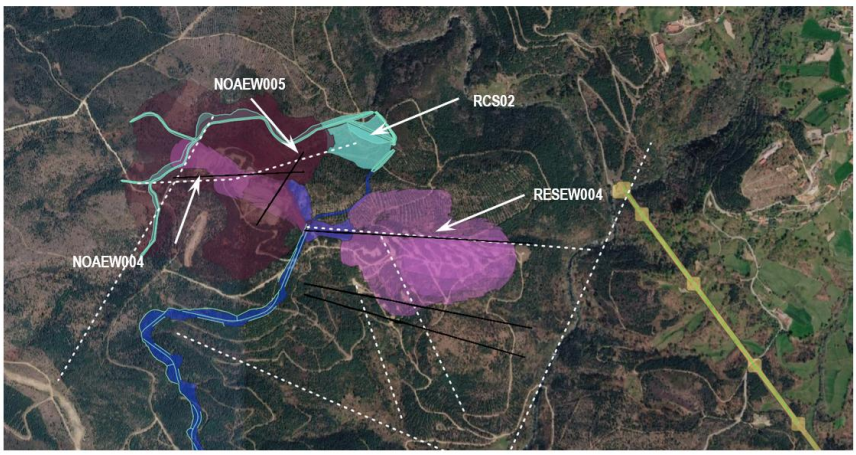


Figura 6.95 – Sobreposição entre as falhas NOAEW004 e RESEW004 e os lineamentos obtidos a partir do LiDAR nos depósitos do NOA e do Reservatório (Adaptado de: SNOWDEN, 2026).

Com o objetivo de contribuir para a caracterização geológico-geotécnica do maciço rochoso na área da Mina do Barroso, o presente Estudo Geológico-Geotécnico considerou, para além da informação de âmbito regional anteriormente referida, os dados recolhidos pelos técnicos da SAVANNAH, nomeadamente os relativos à caracterização da estrutura geológica do maciço.

Com base nos levantamentos de descontinuidades realizados nos diversos depósitos, procedeu-se à respetiva análise estatística através do programa DIPS 6.0, com o objetivo de identificar e agrupar as descontinuidades em famílias estruturais principais.

De um modo geral, foram identificadas duas famílias principais de descontinuidades. A família predominante e mais representativa corresponde essencialmente à foliação, cuja orientação se apresenta globalmente semelhante nos diferentes depósitos analisados.

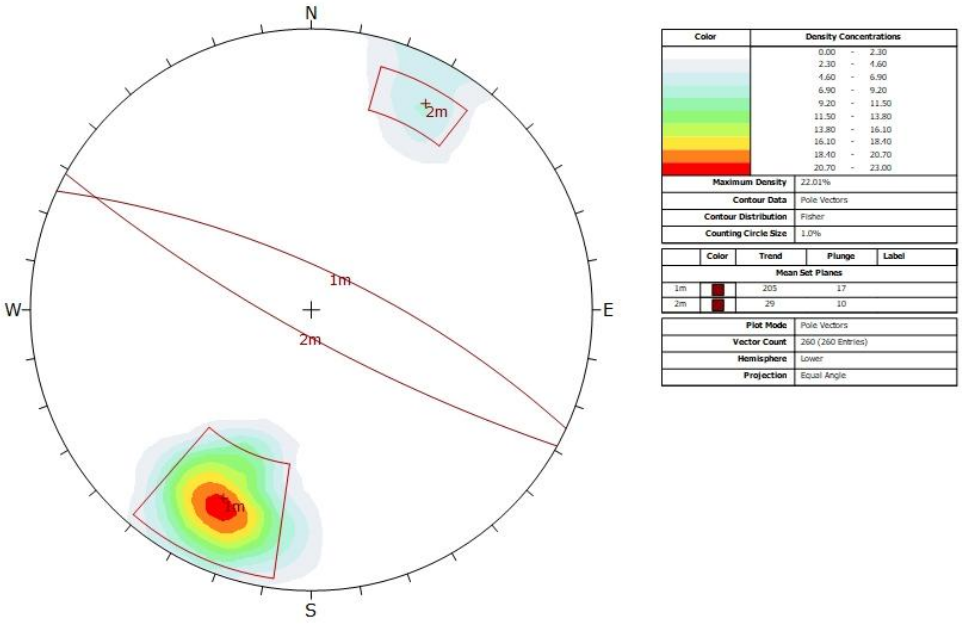
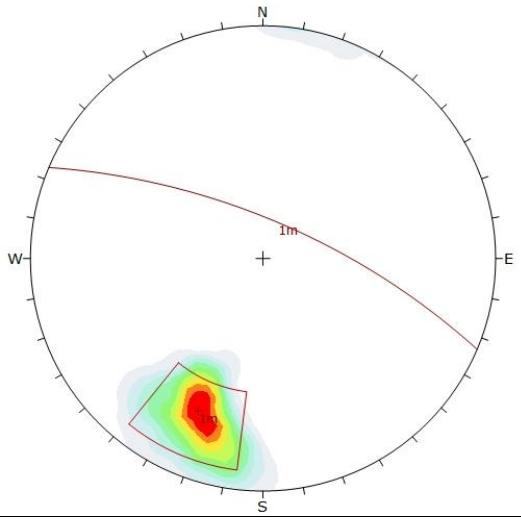
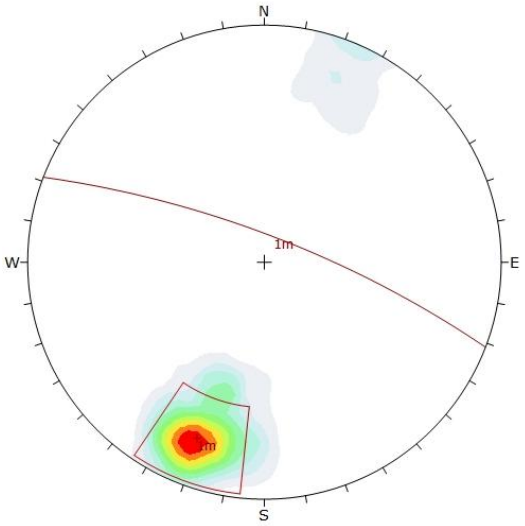
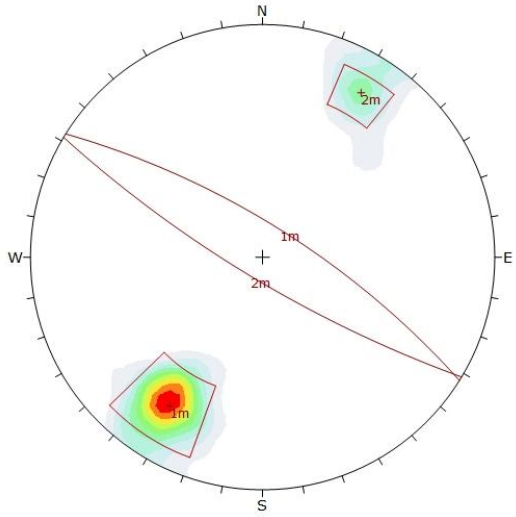


Figura 6.96 – Projeção estereográfica dos vários depósitos.

Na Tabela 6.63 apresentam-se as figuras com a projeção estereográfica das atitudes das descontinuidades medidas na rede de Schmidt, representadas pelos polos, identificando-se a orientação média das principais famílias para cada um dos depósitos.

Tabela 6.63 – Identificação das principais famílias de descontinuidades por depósito.

Depósito	Projeção Estereográfica	Atitudes das Famílias	
		Dip, Dip Direction	Atitude por Quadrantes
Pinheiro		J_1 – 19º, 203	J_1 – N67ºW, 19ºN
Grandão		J_1 –13º, 201º	J_1 – N69ºW,13ºN

Depósito	Projeção Estereográfica	Atitudes das Famílias	
		Dip, Dip Direction	Atitude por Quadrantes
NOA/Reservatório		J_1 – 16º, 212 J_2 – 11º, 31º	J_1– N58ºW, 16ºNE J_2–N59ºW, 11ºSW

Assim, tirando partido da exposição do maciço rochoso nos taludes de escavação dos caminhos de acesso executados para a realização dos trabalhos de prospeção, procedeu-se ao levantamento de campo das atitudes das principais descontinuidades. Para o efeito, foram realizadas medições com bússola geológica da orientação e inclinação de diversas descontinuidades, designadamente da xistosidade e das principais famílias de fraturas observadas nos referidos taludes.

Estas medições incidiram, nomeadamente, sobre os afloramentos localizados junto à margem esquerda da obra RCA-02, apresentando-se de seguida as atitudes registadas.

- N85ºW,60ºN
- N10ºE, 75ºW
- N68ºW, 52ºN
- N10ºE, 80ºW
- N68ºW, 70ºN
- N40ºE, 72ºE
- N32ºE, 35ºW
- N25ºE, 30ºW

Posteriormente, procedeu-se à análise estatística das descontinuidades identificadas, recorrendo ao programa DIPS 6.0, com o objetivo de as agrupar nas principais famílias estruturais.

Conforme se observa na projeção estereográfica apresentada na Figura 6.97, a família J1 corresponde à foliação, cuja atitude é globalmente semelhante às atitudes determinadas nos levantamentos realizados nos quatro depósitos estudados. A família J2 corresponde a outra família de descontinuidades relevante, que intersecta a foliação e apresenta igualmente uma inclinação elevada. Por sua vez, a família J3 apresenta menor representatividade, correspondendo a um conjunto de descontinuidades pouco frequente no maciço rochoso.

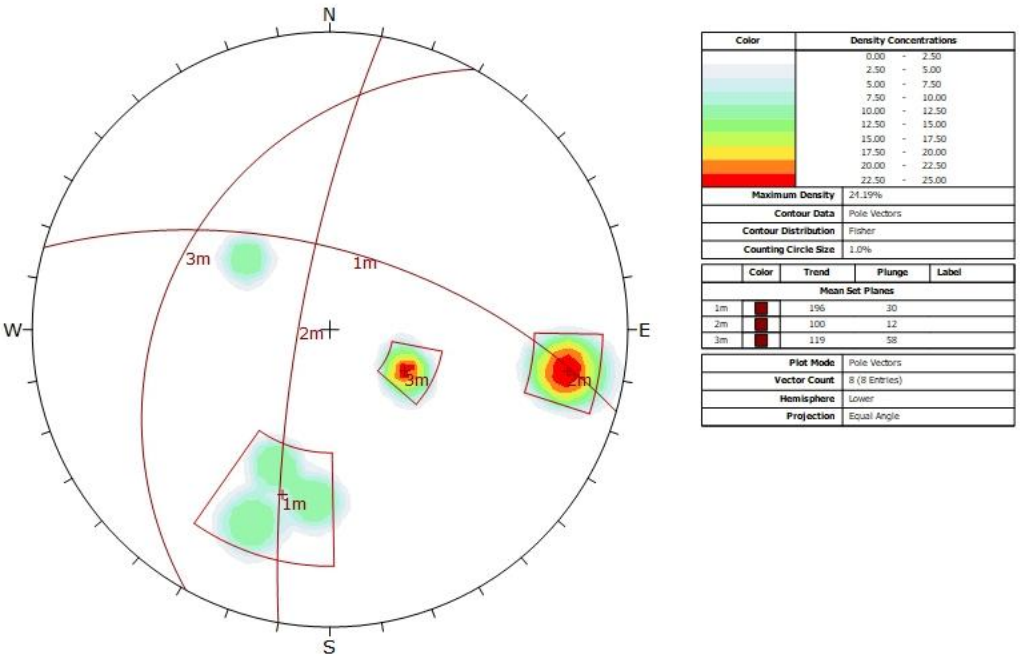


Figura 6.97 – Projeção estereográfica obtida durante o reconhecimento de campo.

Na Figura 6.98 encontram-se assinaladas as famílias J_1 e J_2.



Figura 6.98 – Representação das famílias principais J1 e J2.

6.9.6.3 Trabalhos de Prospeção Geotécnica

ESTUDOS ANTERIORES

Nesta secção descrevem-se os trabalhos de prospeção executados com o objetivo de caracterizar, do ponto de vista geológico e geotécnico, os terrenos interessados pelas Infraestruturas de Controlo Hidráulico da Mina do Barroso.

O presente estudo teve como base a informação os resultados dos ensaios de abertura dos poços de reconhecimento e ensaios sobre algumas das amostras remexidas recolhidas nos poços. Trata-se, portanto, de uma caracterização geológico-geotécnica preliminar que será complementada aquando da recolha da informação da campanha de prospeção atualmente em curso.

Com o objetivo de contribuir para uma caracterização geológico-geotécnica adequada dos terrenos interessados pelas Infraestruturas Hidráulicas da Mina do Barroso, foram também analisados e interpretados os resultados de diversos trabalhos de prospeção realizados anteriormente, os quais tiveram como principal objetivo a caracterização geológico-geotécnica dos terrenos associados aos vários depósitos existentes na área do projeto.

Neste contexto, e atendendo à proximidade entre os diferentes depósitos mineiros e as infraestruturas hidráulicas em estudo, a análise e interpretação da informação disponível permitiu desenvolver uma abordagem preliminar do modelo geológico-geotécnico da área. Esta abordagem revelou-se particularmente relevante face à complexidade geológica e estrutural que caracteriza a zona em estudo, permitindo avaliar/estimar as características dos terrenos de fundação das obras e avaliar as características de reutilização dos materiais provenientes das escavações dos vários depósitos e que não tenham por destino o processamento no âmbito da concessão da Mina do Barroso.

Os trabalhos de prospeção anteriormente executados e considerados no âmbito da presente caracterização geológico-geotécnica compreenderam a análise e interpretação dos resultados de sondagens mecânicas e de ensaios laboratoriais realizados sobre amostras de rocha.

No que respeita à caracterização laboratorial, foram considerados os resultados de ensaios de compressão uniaxial, com e sem determinação do módulo de deformabilidade, ensaios de compressão triaxial em amostras rochosas, ensaios de compressão diametral (ensaio brasileiro) e ensaios de determinação da densidade aparente. Estes ensaios permitiram avaliar as principais propriedades físicas e mecânicas dos materiais rochosos e contribuirão para a caracterização do comportamento geomecânico dos maciços interessados pelo projeto.

A localização dos trabalhos de prospeção geotécnica é apresentada nos desenhos do Anexo VI.5 – Projeto de Infraestruturas Hidráulicas, nomeadamente os documentos 40889-PE-0400-DE-0006 e 40889-PE-0400-DE-0007.

SONDAGENS MECÂNICAS

Visando contribuir para a caracterização geológico-geotécnica dos terrenos ocorrentes nas várias obras em estudo, nomeadamente, avaliar/estimar as características geológico-geotécnicas em profundidade dos terrenos de fundação e a definição do modelo geotécnico presente e consequente definição de parâmetros de projeto, foi considerado um conjunto de informação proveniente de sondagens mecânicas executadas em estudos anteriores.

Embora a informação disponibilizada inclua um conjunto alargado de sondagens, estas apresentam diferentes metodologias de execução e objetivos de caracterização, nomeadamente:

- sondagens destrutivas no troço inicial, complementadas por amostragem contínua no troço final;
- sondagens mecânicas com furação contínua desde a superfície;
- sondagens destrutivas com caracterização dos materiais, realizadas no âmbito do estudo hidrogeológico.

Para efeitos do presente estudo geológico, foram consideradas as sondagens mecânicas com furação contínua e as sondagens destrutivas executadas no âmbito do referido estudo hidrogeológico, totalizando cerca de 94 sondagens.

Na Tabela 6.64 apresentam-se as quantidades de sondagens consideradas para cada depósito mineiro, bem como a identificação das infraestruturas hidráulicas localizadas na sua área de influência ou proximidade.

Tabela 6.64 – Quantidade de sondagens realizadas em estudos anteriores e consideradas no presente estudo geológico-geotécnico.

Infraestruturas Hidráulicas	Depósito Mineiro	Sondagens Mecânicas Com furação continua					Sondagens Mecânicas Com furação Destrutiva (*)	Total
		2018	2019	2023	2024	2025		
RA-01, RCA-01, RCA-02 e RCS-01	Pinheiro	2	-	-	6	11	3	**22**
RA-02	Grandão	28	2	-	1	5	5	**41**
RCS-02	NOA	3	3	-	6	-	3	**15**
	Reservatório	8	-	1	5	2	-	**16**

Nota: (*) – Realizado no âmbito do estudo hidrogeológico

Neste sentido, a informação proveniente das sondagens mecânicas consistiu nos estudos anteriores, compreendeu, a descrição geológica simplificada, descrição da alteração, número de fraturas identificadas e percentagens de Recuperação e de RQD.

No Anexo VI.5 apresenta-se de forma resumida a análise e interpretação da informação obtida a partir das sondagens.

No decorrer das sondagens mecânicas realizadas no âmbito da campanha de prospeção geotécnica, a equipa técnica da Savannah procedeu ao registo da resistência da rocha intacta. A avaliação foi efetuada com base na classificação proposta pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM), designadamente na adaptação apresentada por Brown (1981) e posteriormente reproduzida por Hoek, na publicação *Practical Rock Engineering – Rock Mass Properties* (2007), a qual permite efetuar uma estimativa qualitativa da resistência à compressão uniaxial da rocha a partir de observações e ensaios expeditos realizados em campo, de acordo com os critérios apresentados na Figura 6.99.

Table 2: Field estimates of uniaxial compressive strength.

Grade*	Term	Uniaxial Comp. Strength (MPa)	Point Load Index (MPa)	Field estimate of strength	Examples
R6	Extremely Strong	> 250	>10	Specimen can only be chipped with a geological hammer	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite
R5	Very strong	100 - 250	4 - 10	Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff
R4	Strong	50 - 100	2 - 4	Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale
R3	Medium strong	25 - 50	1 - 2	Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone
R2	Weak	5 - 25	**	Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer	Chalk, rocksalt, potash
R1	Very weak	1 - 5	**	Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife	Highly weathered or altered rock
R0	Extremely weak	0.25 - 1	**	Indented by thumbnail	Stiff fault gouge

* Grade according to Brown (1981).
** Point load tests on rocks with a uniaxial compressive strength below 25 MPa are likely to yield highly ambiguous results.

Figura 6.99 – Estimativa da resistência à compressão uniaxial (Fonte: Hoek, 2007).

De acordo com os registos efetuados, a resistência da rocha intacta enquadra-se maioritariamente nas classes R2 a R5, verificando-se uma predominância das classes R3 e R4, conforme ilustrado na Figura 6.100.

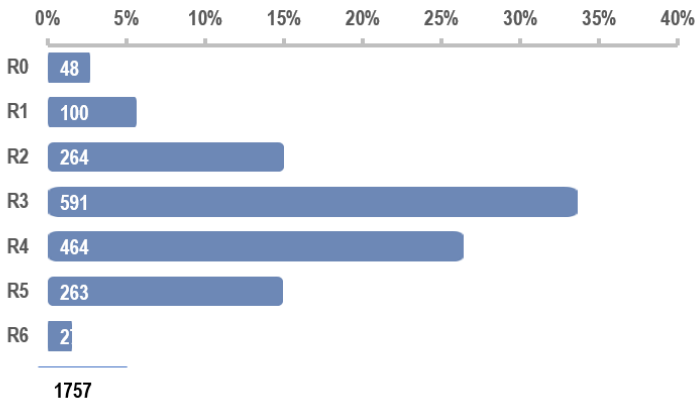


Figura 6.100 – Distribuição dos registos relativos às classes de resistência do material rocha.

ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Por forma a avaliar as características geomecânicas do maciço rochoso, designadamente as características de resistência e de deformabilidade, foram considerados ensaios de laboratório sobre amostras de rocha provenientes dos testemunhos das sondagens mecânicas executadas nos estudos anteriores.

Dado a que as amostras ensaiadas são provenientes de sondagens executadas nos vários depósitos mineiros, a informação obtida permitiu não só a caracterização geomecânica dos maciços rochosos, mas também, de forma complementar, avaliar o potencial de reutilização destes materiais como materiais de construção para incorporação no corpo dos reservatórios.

Neste contexto, foram considerados os seguintes ensaios de laboratório sobre amostras de rocha:

- Ensaios de determinação da densidade aparente;
- Ensaios de resistência à compressão uniaxial e determinação do módulo de deformabilidade,
- Ensaios de compressão triaxial;
- Ensaios de resistência à compressão diametral (“ensaio brasileiro).

Na Tabela 6.65 apresentam-se as quantidades de ensaios de laboratório sobre amostras rochosas consideradas para cada depósito mineiro, bem como a identificação das infraestruturas hidráulicas localizadas na sua área de influência ou proximidade.

Tabela 6.65 – Quantidade de ensaios realizados em estudos anteriores e consideradas no presente estudo geológico-geotécnico.

Infraestruturas Hidráulicas	Depósito Mineiro	Sondagens Mecânicas Com furação continua					Sondagens Mecânicas Com furação Destrutiva (*)	Total
		2018	2019	2023	2024	2025		
RA-01, RCA-01, RCA-02 e RCS-01	Pinheiro	2	-	-	6	11	3	**22**
RA-02	Grandão	28	2	-	1	5	5	**41**
RCS-02	NOA	3	3	-	6	-	3	**15**
	Reservatório	8	-	1	5	2	-	**16**

Nota: (*) – Realizado no âmbito do estudo hidrogeológico

Tendo em conta os resultados obtidos nos ensaios executados sobre as amostras, foi possível classificar, através dos critérios definidos pela ISRM ("International Society of Rocks Mechanics"), as amostras quanto resistência à compressão uniaxial (Tabela 6.66) e quanto à deformabilidade, utilizando-se os critérios definidos pela AFTES (Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain) que se apresentam na Tabela 6.67.

Tabela 6.66 – Classificação das rochas quanto à resistência à compressão uniaxial (ISRM).

Resistência à compressão uniaxial, σc		Símbolo		Designações	
MPa	Kg/cm²				
>200	>2000	S_1	S_{1-2}	Muito elevada	Elevada
60 a 200	600-2000	S_2		Elevada	
20 a 60	200-600	S_3	S_3	Média	Média
6 a 20	60-200	S_4	S_{4-5}	Baixa	Baixa
<6	<60	S_5		Muito Baixa	

Tabela 6.67 – Classificação das rochas quanto à deformabilidade (AFTES).

Classe	Módulo de Deformabilidade (E)	Descrição
DE 1	E > 50 GPa	Matriz extremamente rígida
DE 2	20 GPa < E < 50 GPa	Matriz muito rígida
DE 3	5 GPa < E < 20 GPa	Matriz rígida
DE 4	1 GPa < E < 5 GPa	Matriz de rigidez média
DE 5	0,1 GPa < E < 1 GPa	Matriz de rigidez baixa

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão uniaxial e segundo a classificação ISRM (Figura 6.101), verifica-se que a maioria das amostras possuí resistência média a baixa. No que respeita à deformabilidade (segundo AFTES), verifica-se que a grande parte das amostras pertencem à classe DE2 e DE3, correspondendo a amostras rochosas com uma matriz rígida a muito rígida, respetivamente (Figura 6.102).

Contudo, importa salientar que os resultados relativamente modestos obtidos, sobretudo nos xistos, foram significativamente condicionados pela orientação dos planos de anisotropia (xistosidade) relativamente à direção de aplicação da carga de compressão.

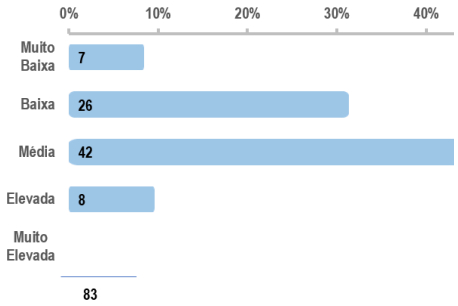


Figura 6.101 – Distribuição das amostras de rocha quanto à resistência à compressão uniaxial (ISRM).

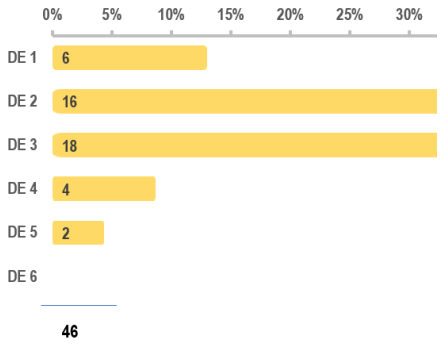


Figura 6.102 – Distribuição das amostras de rocha quanto à deformabilidade (AFTES).

ESTUDOS DE PROSPEÇÃO REALIZADOS NO ÂMBITO DAS INFRAESTRUTURAS HIDRÁULICAS

POÇOS DE RECONHECIMENTO

No âmbito do presente projeto de execução foram realizados 85 poços de reconhecimento com recurso a uma retroescavadora, com profundidades compreendidas entre 0,1 e 3,5m (TP_WSR_08 e TP_SCR_10).

Estes trabalhos de prospeção foram realizados preferencialmente nos locais de implantação dos reservatórios, de modo a permitir, avaliar as características dos terrenos de fundação dos locais dos reservatórios. Foram ainda realizados poços nas zonas do empreendimento mineiro a escavar, designadamente na zona da lavaria e no depósito do Pinheiro, com o objetivo de avaliar a espessura de horizonte de alteração e proceder à caracterização da aptidão geotécnica dos terrenos na perspetiva da sua reutilização.

Neste contexto, os poços de reconhecimento, visaram definir a espessura de decapagem e a caracterização dos terrenos de fundação, a observação direta das formações ocorrentes quanto à sua litologia, estrutura e eventuais níveis de água, permitindo ainda a recolha de amostras remexidas para posterior caracterização laboratorial, designadamente, ensaios de identificação e de caracterização.

Na Tabela 6.68 apresentam-se as quantidades de ensaios de laboratório realizados no âmbito do presente projeto de execução distribuídos por cada infraestrutura hidráulica ou área de intervenção.

Tabela 6.68 – Quantidade de poços de reconhecimento distribuídos por cada infraestrutura hidráulica ou área de intervenção.

Infraestruturas Hidráulicas	Sistema	Poços de Reconhecimento
RA-01	Pinheiro	4
RCA-01		6
RCA-02		6
RCS-01		6
Depósito Pinheiro		5
RA-02	Grandão	6
PH'sL		8
RCS-02	NOA/Pinheiro	4
Lavaria	-	40
	Total	**85**

Como referido anteriormente, os poços de reconhecimento atingiram profundidades compreendidas entre 0,1 m e 3,5 m, verificando-se, de um modo geral, que as maiores profundidades de escavação foram alcançadas nos poços localizados no centro dos vales ou nas suas imediações.

À data da sua execução, todos os poços de prospeção se encontravam secos. A espessura da camada de terra vegetal identificada variou entre 0,1 m e 0,7 m, com exceção do poço TP_SCR_10, no qual se registou a presença de solo rico em raízes e matéria orgânica até à profundidade de 1,10 m.

ENSAIOS DE LABORATÓRIO

AMOSTRAS DE SOLO

Com o objetivo de proceder à caracterização geológico-geotécnica dos terrenos de fundação dos vários locais dos reservatórios, foram recolhidas várias amostras remexidas nos poços de reconhecimento, perfazendo um total de 27 amostras remexidas. Visando a avaliação do potencial de reutilização foi efetuada a caracterização laboratorial de várias amostras de solo recolhidas na zona da Lavaria e do depósito do Pinheiro, num total de 42 amostras.

Os ensaios de laboratório efetuados sobre amostras remexidas compreenderam a execução de ensaios de identificação, designadamente, análises granulométricas por peneiração, limites de consistência, e ensaios de determinação do teor em água. Para além disso foram executados ensaios de caracterização, designadamente ensaios de compactação Proctor Normal e Modificado.

Salienta-se, no entanto, que à data de elaboração do presente relatório, ainda não se encontra concluída a totalidade dos ensaios previstos.

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios de identificação, os solos foram classificados segundo as classificações, Unificada (ASTM) e Rodoviária (AASHTO).

Na Figura 6.103 apresenta-se o conjunto de todas as curvas granulométricas, enquanto que nas Figura 6.104 e Figura 6.105 encontra-se a distribuição das amostras de solo de acordo com a Classificação Unificada (ASTM) e Classificação Rodoviária (AASHTO), respetivamente.

De acordo com a Classificação Unificada (ASTM) verifica-se que ocorrem predominantemente solos do tipo SM (areias siltosas), enquanto segundo a Classificação Rodoviária (AASHTO) os solos enquadram-se, essencialmente, nas classes A-1-b e A-2-4.

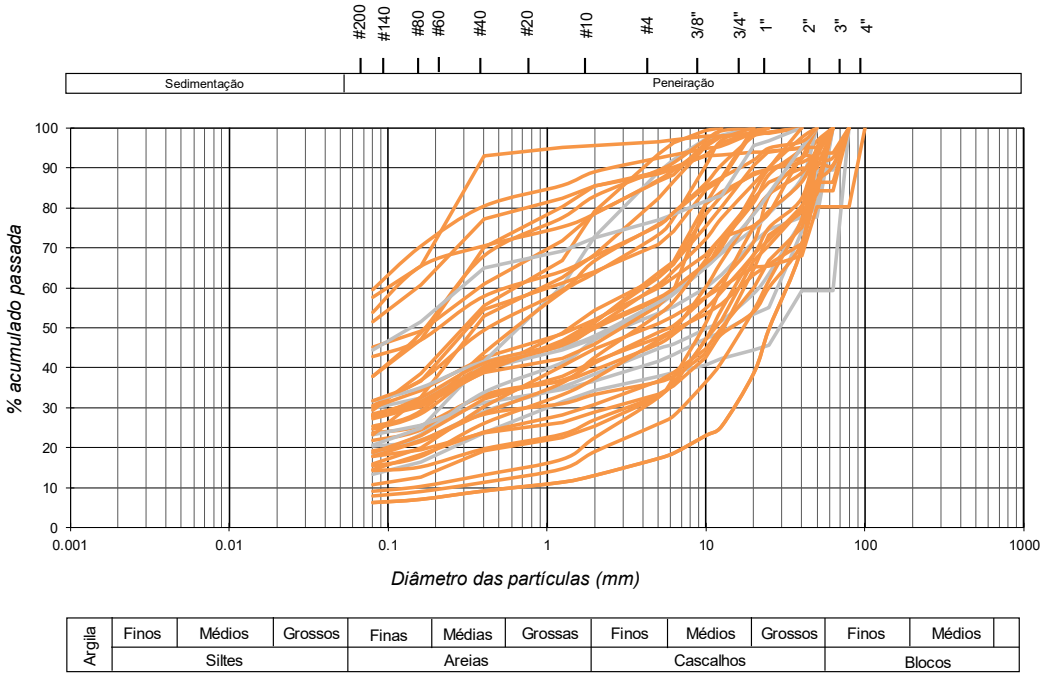


Figura 6.103 – Curvas granulométricas das amostras de solo ensaiadas.

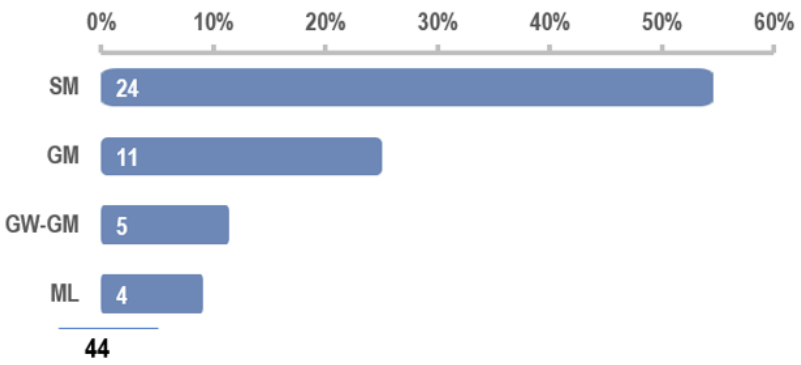


Figura 6.104 – Distribuição das amostras de solo analisadas de acordo com a sua Classificação Unificada.

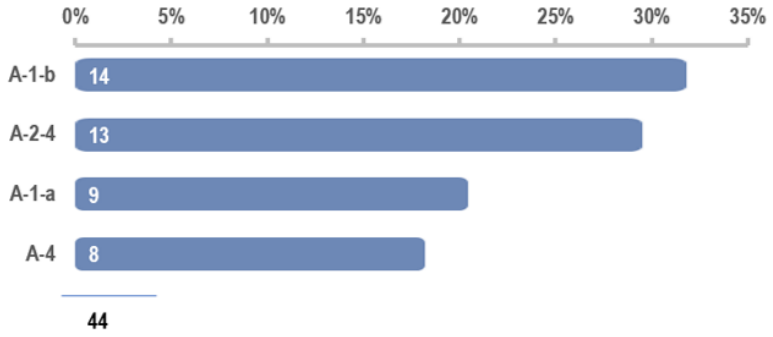


Figura 6.105 – Distribuição das amostras de solo analisadas de acordo com a sua Classificação AASHTO.

AMOSTRAS DE ENROCAMENTO

Atendendo a que o corpo dos vários reservatórios será constituído por materiais de enrocamento, foi recolhida uma amostra no depósito NOA, atualmente licenciado, com o objetivo de estimar os respetivos parâmetros de resistência. Tendo em conta as características geológico-geotécnicas descritas nos capítulos anteriores e a inexistência, nesta fase, de outros depósitos em exploração, considerou-se que os materiais provenientes deste depósito são representativos dos materiais previstos nos restantes depósitos.

Sobre a amostra recolhida foi realizado um ensaio de corte triaxial em molde grande no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), com o objetivo de determinar os parâmetros de resistência ao corte do material após colocação e compactação. Os provetes que foram utilizados para caracterização preliminar da resistência ao corte destes materiais e para apoiar a definição de geometrias de talude compatíveis com o comportamento geotécnico dos aterros dos reservatórios e a elaboração dos respetivos cálculos de estabilidade.

Salienta-se, contudo, que, atendendo ao contexto geológico da área, os materiais provenientes das escavações e destinados à reutilização nas diferentes infraestruturas hidráulicas são predominantemente de natureza xistenta, apresentando um comportamento evolutivo durante as operações de colocação e compactação. Com efeito, as ações mecânicas associadas às operações de terraplenagem podem provocar a fragmentação das partículas de maiores dimensões, conduzindo à redução da dimensão dos blocos e ao consequente aumento da fração fina do material.

Neste contexto, foram realizadas análises granulométricas em diferentes fases do processo: após a recolha do material no campo, antes da preparação e montagem dos provetes e após a realização dos ensaios de corte triaxial. Esta abordagem permitiu

avaliar a evolução granulométrica do material e os efeitos decorrentes da preparação dos provetes e da aplicação das solicitações durante os ensaios.

Na Figura 6.106 apresenta-se as várias curvas granulométricas de campo (Curva NOA), durante a montagem dos provetes (T30 – Montagem) e após ensaio (T30 – 500KPa, T30 – 300 KPa e T30 – 150 KPa) e, na Figura 6.107, os resultados preliminares dos parâmetros de resistência ao corte dos provetes do ensaio, gentilmente cedidos pelo LNEC.

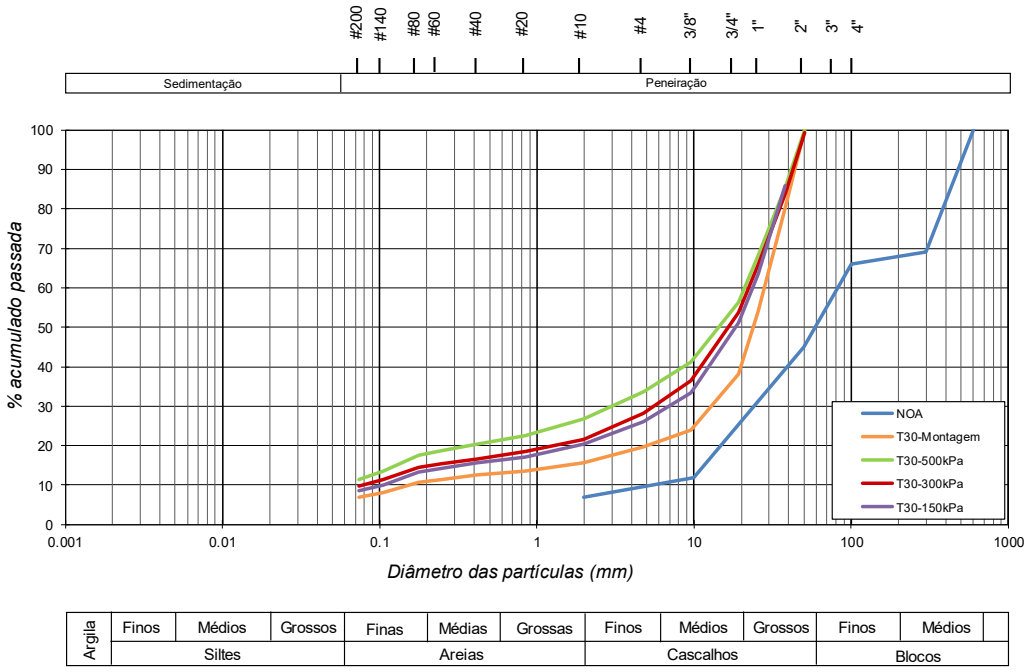


Figura 6.106 – Curvas granulométricas das amostras de solo-enrocamento.

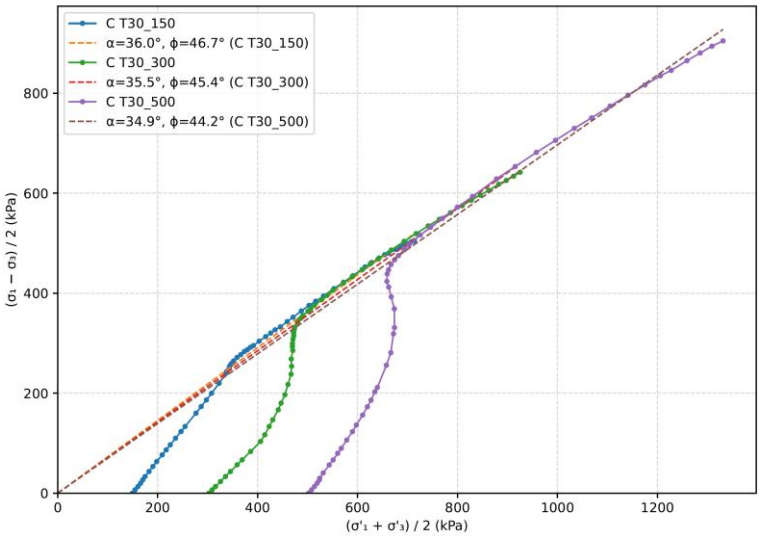


Figura 6.107 – Análise preliminar dos 2 primeiros provetes do ensaio de corte triaxial (LNEC).

Em complemento foram realizados ensaios de laboratório visando a determinação das propriedades índice do material, cujos resultados são apresentados na Tabela 6.69.

Tabela 6.69 – Resumo das propriedades Índice sobre a amostra de Enrocamento.

Slake Durability Test I_{d2}(%)		Ensaio de Fragmentabilidade	Ensaio de Degradabilidade
Meio Húmido	Meio Seco	FR	DG
98,75	99,17	1,24	1,0

A amostra apresenta índices de durabilidade (I_{d2}) de 98,75 % em meio húmido e de 99,17 % em meio seco, correspondentes a uma durabilidade ao desgaste classificada como muito alta. O coeficiente de fragmentabilidade obtido, permite classificar o material como pouco fragmentável. Por sua vez, o coeficiente de degradabilidade inferior ao limite de 5, indica uma degradabilidade muito baixa a nula.

Em termos de ensaios de resistência ao esmagamento obtiveram-se valores médios da carga de esmagamento Pa de 305 Kg, 618 Kg e 1011 Kg para os provetes secos, e valores médios de 248 Kg, 589 Kg e 921 Kg para os provetes submersos. Os resultados dos vários ensaios realizados sobre as amostras de enrocamento encontram-se no Anexo VI.5.

6.9.6.4 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

ZONAMENTO GEOTÉCNICO DOS TERRENOS DE FUNDAÇÃO

Por forma a se poderem equacionar soluções técnicas adequadas à obra em estudo face aos terrenos ocorrentes, foi definido um zonamento geotécnico tendo em consideração as características geológicas e geotécnicas das formações ocorrentes na área em estudo.

Assim, a definição das zonas geotécnicas foi feita considerando, essencialmente, as características físicas e mecânicas do maciço ocorrente, designadamente, estado de alteração e de fracturação dos maciços, índices obtidos a partir da análise das sondagens realizadas (percentagem de RQD, percentagem de recuperação) e classe de resistência do maciço, tendo sido estabelecidas 3 Zonas Geotécnicas (ZGi).

Na Tabela 6.70 podem ser consultadas as características geotécnicas e os respetivos intervalos de variação considerados para cada uma das zonas geotécnicas consideradas no presente estudo.

Tabela 6.70 – Zonas Geotécnicas estabelecidas para os terrenos de fundação.

Zona Geotécnica	Simbologia	Formação geológica	Descrição simplificada	%REC	%RQD	Classe de Resistência (*)
ZG3	Co	Depósitos Coluvionares	Solo silto-argiloso com clastos de xisto/aplito-pegmatito de dimensão variável por vezes rolados a angulosos	> 60	< 10%	< R2
	Sr	Solo residual	Solo siltoso com clastos rochosos geralmente angulosos			
	S^C	Xistos pelíticos e metagrauvaques	Xisto decomposto a muito alterado e fraturado			
	S^B	Xistos pelíticos e quartzofilitos,				
	g^{ap}	Aplitos e/ou pegmatitos	Aplito/Pegmatito decomposto a muito alterado			
ZG2	S^C	Xistos pelíticos e metagrauvaques	Xisto medianamente alterado com fraturas próximas a medianamente afastadas	90-100	10-50%	R2 a R4
	S^B	Xistos pelíticos e quartzofilitos,				
	g^{ap}	Aplitos e/ou pegmatitos	Aplito/Pegmatito medianamente alterado com fraturas próximas a medianamente afastadas			
ZG1	S^C	Xistos pelíticos e metagrauvaques	Xisto pouco a medianamente alterado com fraturas medianamente afastadas a afastadas	> 95	> 50%	> R3
	S^B	Xistos pelíticos e quartzofilitos,				
	g^{ap}	Aplitos e/ou pegmatitos	Aplito/Pegmatito pouco a medianamente alterado com fraturas medianamente afastadas a afastadas			

Nota: (*) – De acordo com o apresentado por Hoek (2007) (Figura 6.99)

Com base na análise e interpretação da informação geológico-geotécnica obtida, estabeleceram-se para o trecho em estudo de três zonas geotécnicas:

- Zona geotécnica ZG3 – Nesta zona incluem-se os terrenos constituídos por depósitos coluvionares e solos residuais resultantes da alteração *in situ* de xistos e de aplito-pegmatitos. Integram-se igualmente na ZG3 os níveis mais superficiais do maciço rochoso, correspondentes a xistos e aplito-pegmatitos decompostos a muito alterados e intensamente fraturados.
- Os solos coluvionares apresentam uma expressão localizada, ocorrendo preferencialmente nas áreas associadas às linhas de água e nos fundos de vale. Estes materiais são constituídos, em geral, por solos de natureza silto-argilosa, contendo clastos de xisto e/ou aplito-pegmatito de dimensão variável, que podem apresentar-se desde rolados até angulosos.
- Relativamente aos solos de alteração, estes apresentam igualmente uma distribuição localizada e encontram-se associados a zonas onde o maciço rochoso se apresenta fortemente meteorizado. De um modo geral, ocorrem em toda a área de estudo com espessuras reduzidas, normalmente compreendidas entre 0,5 m e 1,5 m, observando-se, pontualmente, espessuras mais significativas, da ordem de 2,5 m a 3,0 m.

- Zona geotécnica ZG2 – Nesta zona incluem-se os níveis do maciço rochoso de natureza xistenta e/ou aplito-pegmatítica que se apresentam medianamente alterados e com fraturas próximas a medianamente afastadas. Trata-se de um maciço que evidencia, de um modo geral, percentagens de recuperação elevadas, normalmente compreendidas entre 90% e 100%, e valores de RQD predominantemente situados entre 10% e 50%. Estes valores correspondem, de acordo com a classificação proposta por Ameratunga et al. (2016), a um maciço rochoso de qualidade fraca (Tabela 6.71). A base desta zona geotécnica localiza-se, em regra, a profundidades compreendidas entre 11 m e 20 m.

- Zona geotécnica ZG1 – Esta zona geotécnica é constituída por maciços rochosos de natureza xistenta e/ou aplito-pegmatítica, que se apresentam medianamente a pouco alterados e com um padrão de fraturação caracterizado por descontinuidades medianamente afastadas a afastadas. De um modo geral, estes materiais apresentam percentagens de recuperação próximas de 100% e valores de RQD geralmente superiores a 50%. De acordo com a classificação proposta por Ameratunga et al. (2016), estes resultados são compatíveis com um maciço rochoso de qualidade média a boa (Tabela 6.71).

Tabela 6.71 – Classificação do maciço rochoso quanto ao "Rock Quality Designation", RQD (%) (Ameratunga et al., 2016).

RQD (%)	Qualidade do maciço rochoso
0 – 25	Muito fraca
25 – 50	Fraca

RQD (%)	Qualidade do maciço rochoso
50 – 75	Razoável
75 – 90	Boa
90 – 100	Excelente

6.9.6.5 CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO

Do ponto de vista litoestratigráfico, e de acordo com a Carta Geológica de Portugal, as áreas de implantação das infraestruturas hidráulicas a construir, inserem-se em terrenos pertencentes à formação de "*Xistos Pelíticos e Quartzofilitos"* (S^B) e à formação "*Xistos Pelíticos e Metagrauvaques*" (S^C), atribuídas ambas as formações geológicas ao Silúrico Superior, sendo frequentemente atravessada por filões de "*Aplitos e/ou Pegmatitos"* (g^{AP}).

Atendendo às informações recolhidas nos trabalhos de prospecção e na sua interpretação, descritas nos vários volumes correspondentes às várias obras, designadamente, os trabalhos de prospeção e o reconhecimento de campo realizados no âmbito do presente estudo, complementados pela informação disponível de estudos anteriores desenvolvidos nas imediações, nomeadamente no âmbito da caracterização dos depósitos mineiros, verifica-se a ocorrência generalizada de um horizonte superficial de solos residuais (Sr), resultantes da alteração *in situ* do substrato xistoso (S^B e S^C). Estes materiais são constituídos, predominantemente, por solos siltosos de tonalidade acastanhada, contendo clastos de xisto com dimensões geralmente compreendidas entre 10 cm e 20 cm.

Para além dos solos residuais (Sr), poderá ocorrer localmente um maciço rochoso decomposto a muito alterado e/ou muito fraturado (S^B e S^C). Estes materiais, enquadrados na zona geotécnica ZG3, apresentam, em conjunto, uma espessura relativamente reduzida.

No entanto, no fundo do vale ocorrem depósitos coluvionares (Co), igualmente incluídos na zona geotécnica ZG3, constituídos por solos silto-argilosos com clastos de xisto alterado.

Sob os materiais superficiais, o maciço xistento (S^B e S^C) apresenta-se, em geral, muito a medianamente alterado, fraturado a muito fraturado, com tonalidade acastanhada, enquadrando-se na zona geotécnica ZG2. Em profundidade o maciço surge medianamente a pouco alterado, com tonalidade predominantemente acinzentada, com características geológico-geotécnicas enquadráveis na zona geotécnica ZG1.

Atendendo ao enquadramento geológico-geotécnico e às características das obras a implantar, considera-se que o maciço rochoso integrado na zona geotécnica ZG2 apresenta condições adequadas para a fundação da barragem. Neste contexto, preconiza-se o saneamento integral dos materiais superficiais enquadrados na zona

geotécnica ZG3, nomeadamente dos depósitos coluvionares (Co), dos solos residuais (Sr) e do maciço rochoso decomposto (S^B e S^C), até se atingir o maciço com características correspondentes à ZG2.

Os materiais da ZG3 deverão ser integralmente removidos, prevendo-se que a sua escavação possa ser realizada com recurso a meios mecânicos correntes.

Para além do saneamento generalizado dos terrenos de fundação pertencentes à zona geotécnica ZG3, e conforme referido em capítulos anteriores, admite-se a possibilidade de a superfície de fundação de alguns dos reservatórios intercetar zonas de falha. Estas zonas apresentam, em regra, características geotécnicas menos favoráveis do que o maciço rochoso envolvente podendo exigir medidas de tratamento específicas (Figura 6.108).

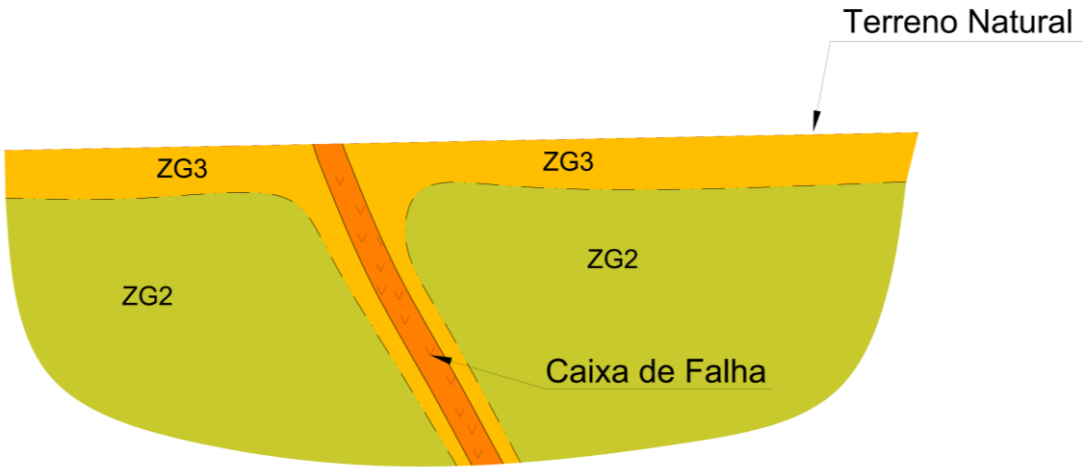


Figura 6.108 – Representação esquemática de eventuais falhas ocorrentes na fundação dos reservatórios.

Caso sejam identificadas zonas de falha durante os trabalhos de escavação, proceder-se-á ao saneamento do material descomprimido, alterado ou de reduzida resistência. O saneamento deverá atingir uma profundidade equivalente a cerca de dois terços da largura da falha, medida ao nível da superfície de fundação.

Após a remoção do material, a cavidade será cuidadosamente limpa com jato de água, de modo a eliminar materiais soltos e resíduos, sendo, posteriormente, preenchida com betão ciclópico, conforme o pormenor apresentado na Figura 6.109.

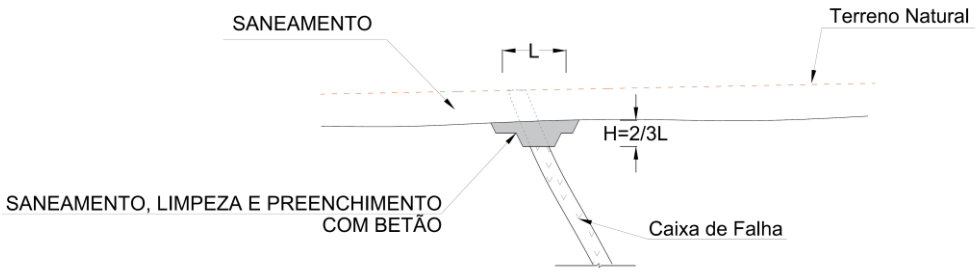


Figura 6.109 – Tratamento tipo a adoptar em zonas de falha.

Apesar dos terrenos da zona geotécnica ZG2 apresentarem características adequadas para a fundação das obras, importa, salientar que o maciço rochoso se apresenta medianamente alterado e fraturado. Assim, e com o objetivo de assegurar a estanquidade da fundação, preconiza-se a execução de uma cortina de impermeabilização mediante a injeção de caldas de cimento.

A cortina de injeções ficará localizada no pé do talude de montante e será executada a partir de um plinto de betão armado, com 3,0 m de largura e 0,5 m de espessura, a construir após o saneamento dos terrenos superficiais pertencentes à zona geotécnica ZG3.

Atendendo à estrutura e à compartimentação do maciço rochoso, cuja projeção estereográfica indica uma inclinação predominante das descontinuidades para norte, (Figura 6.110), considera-se que a cortina deverá ser orientada de modo a intercetar o maior número possível de descontinuidades.

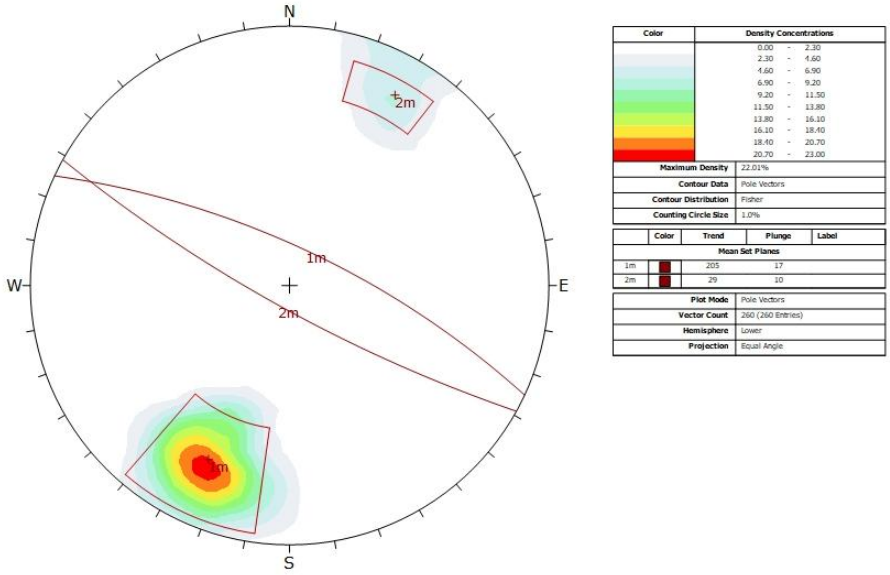


Figura 6.110 – Projeção estereográfica dos vários depósitos.

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Tendo por base o reconhecimento geológico de superfície realizado, bem como os resultados obtidos e a respetiva interpretação dos trabalhos de prospeção e dos ensaios efetuados, considera-se que, de um modo geral, os materiais resultantes das escavações poderão ser reutilizados na construção das infraestruturas hidráulicas, designadamente os materiais de natureza xistosa enquadráveis nas formações (S^B e S^C), uma vez que estes não apresentam interesse para a exploração mineira.

Neste sentido, as escavações previstas para os descarregadores poderão constituir uma importante fonte de materiais para as obras. Contudo, atendendo aos volumes necessários, poderá ser igualmente necessário recorrer aos materiais provenientes das escavações na zona da lavaria e, eventualmente, dos depósitos mineiros.

Para a persecução deste objetivo será necessário proceder em fase de obra a uma adequada caracterização dos materiais escavados, suscetíveis de poderem ser reutilizados nas diferentes aplicações previstas.

Não se recomenda a utilização de materiais de enrocamento provenientes diretamente das escombreiras, uma vez que a sua deposição é geralmente efetuada sem critérios rigorosos de seleção e controlo. Nestas condições, poderá ocorrer a mistura ou contaminação de materiais com características adequadas por outros de qualidade inferior, comprometendo a homogeneidade e o desempenho do enrocamento.

Recomenda-se, assim, que os materiais sejam selecionados e transportados diretamente da zona de escavação ou do depósito de origem para o local de aplicação. Em alternativa, poderá proceder-se à sua seleção à saída da escavação, seguida do transporte e armazenamento em escombreiras provisórias distintas e devidamente controladas, de modo a evitar a mistura ou contaminação entre materiais com diferentes características geotécnicas.

Embora as amostras apresentem, em geral, níveis de resistência enquadráveis nas classes de baixa a média resistência, considera-se que, atendendo à função prevista para estes materiais, o enrocamento proveniente das formações (S^B e S^C) apresenta características adequadas à sua reutilização na construção dos reservatórios, nomeadamente no corpo do reservatório (Material 1). Contudo, este material não cumpre com os requisitos definidos para o enrocamento de proteção (Material Tipo 4). Neste contexto, o Material do Tipo 4 deverá ser proveniente de pedreiras instaladas nos maciços graníticos da região.

Relativamente aos solos residuais (Sr), considera-se que poderão ser reutilizados na execução de aterros correntes exteriores ao corpo da barragem, designadamente nos aterros técnicos adjacentes aos órgãos hidráulicos e nos acessos rodoviários a construir, desde que se encontrem isentos de ramos, folhas, troncos, raízes, ervas, resíduos ou quaisquer outros materiais de natureza orgânica.

Relativamente aos materiais de filtro (Material Tipo 2) e de dreno (Material Tipo 3), e tendo em conta a necessidade de assegurar um contraste adequado de permeabilidade entre os materiais a proteger e os filtros e drenos, considera-se que os terrenos ocorrentes na área em estudo não apresentam características granulométricas compatíveis com os requisitos estabelecidos. Assim, estes materiais deverão ser obtidos em pedreiras ou saibreiras existentes na região.

Os materiais pétreos com características adequadas para constituírem as camadas de sub-base e base e para as camadas betuminosas, deverão ser obtidos através da britagem do material rochoso extraído das pedreiras instaladas nos maciços graníticos da região.

Desta forma, e de acordo com a base de dados digital disponibilizada pela DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia) (HTTPS://WWW.DGEG.GOV.PT/PT/SERVICOS-ONLINE/INFORMACAO-GEOGRAFICA/GEOLOGIA/DEPOSITOS-MINERAIS-MINAS-E-MASSAS-MINERAIS-PEDREIRAS/) consultada em 16/08/2026, a localização de algumas pedreiras e saibreiras mais próximas do local de implantação do empreendimento, que poderão fornecer materiais com boas características para as diferentes aplicações previstas. No Desenho 40889-PE-0400-DE-0008 (Anexo VI.5) apresenta-se a localização das pedreiras identificadas.

Tabela 6.72 – Potenciais Pedreiras e Saibreiras identificadas nas proximidades do local do empreendimento.

Nº do cadastro	Denominação	Titular	Concelho	Freguesia	Substância	Classe	Situação atual
80069	SOUTO MOURO	GRANITOS SÃO MARTINHO - SOC. UNIPESSOAL, LDA	Cabereiras de Bastos	Bucos	Granito para construção civil e obras públicas	2	Pedido
4688	ARADEIRA	SOMA AGREGADOS, SA	Vila Pouca de Aguiar	Soutelo de Aguiar		2	Com caução
6476	FOJOS N 6	OLIVEIRA RODRIGUES - GRANITOS DE PEDRAS SALGADAS, LDA	Vila Pouca de Aguiar	Bragada		2	Com caução
5682	FOJO N 15	RODRIGRANITOS, LDA	Vila Pouca de Aguiar	Bragada		2	Com caução
4745	FOJOS N 2	IRMÃOS QUEIRÓS, LDA	Vila Pouca de Aguiar	Bragada		2	Com caução
5087	FOJO N10	BRITANTEROS - SOC DE FABRICO E COMERCIALIZAÇÃO DE BRITAS, SA	Vila Pouca de Aguiar	Bragada		2	Com caução

Nº do cadastro	Denominação	Titular	Concelho	Freguesia	Substância	Classe	Situação atual
6569	MESTRAS	GRANICAVEZ - INDÚSTRIA DE GRANITO, LDA	Mondim de Basto	Vila Real		2	Com caução
6831	PEDREIRA MINA DOS CARVALHOS	JOAQUIM CARNEIRO RIBEIRO & FILHOS, LDA	Mondim de Basto	Atei		2	Com caução
80066	PEDREIRA DO VILARINHO	GNT-GRANITOS DO NORTE, LDA	Mondim de Basto	Vilar de Ferreiros		2	Pedido
6567	RAPADA	PAVIMIGEGE-EMPREITEIROS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, LDA	Mondim de Basto	Atei		2	Com caução
6564	PEDRA DO OURO	BELCAT-GRANITOS, LDA	Sabrosa	Torre do pinhão		2	Com caução
6569	MESTRAS	GRANICAVEZ - INDÚSTRIA DE GRANITO, LDA	Mondim de Basto	Atei		2	Com caução
6624	FRAGA DO CARVALHOTO	ASG - CONSTRUÇÕES E GRANITOS, LDA	Vila Pouca de Aguiar	Telões		2	Com caução
5273	LAMELAS	ALDEIA, SA	Ribeira de Pena	Salvador e Santo Aleixo de Além-Tâmega	Saibro para a industria transformadora	2	Com caução

6.9.6.6 PROSPEÇÃO E TRABALHOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS COMPLEMENTARES

Tendo em conta as condições geológicas e geotécnicas, considera-se essencial aprofundar a caracterização dos terrenos de fundação da barragem e das estruturas hidráulicas associadas. Para o efeito, os dados atualmente disponíveis deverão ser complementados, durante a fase inicial da obra, mediante a implementação de um Programa Complementar de Prospeção Geotécnica, com o objetivo de completar o modelo geológico-geotécnico e validar os pressupostos de projeto adotados na presente fase.

Assim, deverá ser implementado, durante a fase inicial da construção, um Programa Complementar de Prospeção Geotécnica, que deverá incluir: perfis sísmicos de refração, sondagens mecânicas complementares na barragem e nas estruturas hidráulicas, tal como, ensaios "*in situ*" e ensaios de laboratório complementares, em solos e em rochas. O programa complementar deverá identificar, para cada estrutura, as hipóteses de projeto a verificar, as investigações necessárias e os critérios de aceitação. Os resultados serão analisados pelo projetista antes da execução dos elementos de fundação a que respeitam. Caso sejam identificadas condições diferentes das consideradas no projeto, serão definidas e incorporadas as medidas de tratamento ou adaptação necessárias antes da execução dos trabalhos afetados.

Durante a execução das escavações deverá ser efetuada também a cartografia geológico-geotécnica sistemática da superfície de fundação, por técnico com experiência adequada, de modo a verificar a correspondência entre as condições reais e o modelo previsto.

Os resultados deste acompanhamento deverão fundamentar a validação da superfície final de fundação e permitir a definição, em obra, de eventuais adaptações ao projeto, nomeadamente no que se refere à profundidade dos saneamentos, à geometria da escavação, à regularização da superfície de fundação e à necessidade de tratamentos localizados, incluindo obturações, preenchimentos, betão de regularização ou injeções.

6.9.6.7 ESTUDO SISMOLÓGICO

O relatório "Projeto de Lítio do Barroso – Definição da Ação Sísmica", elaborado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC, 2026), teve como principal objetivo definir a ação sísmica a considerar no dimensionamento e verificação de segurança das infraestruturas hidráulicas previstas para o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, nomeadamente os reservatórios associados ao sistema de gestão de águas e resíduos. O estudo foi desenvolvido especificamente para as condições geológicas, geotécnicas e sismotectónicas da área de implantação do projeto, localizada no concelho de Boticas, no norte de Portugal.

A análise baseou-se na utilização de modelos estocásticos, não-estacionários, de movimentos sísmicos utilizando modelos de falha finita, permitindo representar

explicitamente os mecanismos de geração e propagação da energia sísmica desde a fonte até ao local dos reservatórios.

O enquadramento sismotectónico desenvolvido no relatório identifica como principal fonte sismogénica potencial a falha Penacova–Régua–Verín (PRV), situada a aproximadamente 20 km da área do projeto. Esta estrutura tectónica apresenta evidências de atividade recente e integra um dos sistemas de falhas mais relevantes do norte da Península Ibérica. Foram igualmente analisadas outras estruturas regionais ativas, nomeadamente a falha Manteigas–Vilariça–Bragança, bem como o contexto tectónico mais alargado associado à convergência entre as placas Euroasiática e Africana.

Com base na informação disponível sobre a geometria e potencial sismogénico da falha PRV, foram definidos diversos cenários sísmicos determinísticos correspondendo a magnitudes entre Mw 5,6 e Mw 7,3, associadas a diferentes períodos de retorno.

A definição destes cenários teve por base a aplicação das relações frequência-magnitude de Gutenberg-Richter e das correlações empíricas de Wells e Coppersmith para estimativa das dimensões das roturas sísmicas. Para cada cenário foram simuladas múltiplas roturas recorrendo a técnicas de Monte Carlo, permitindo avaliar a variabilidade natural dos movimentos sísmicos e quantificar as incertezas associadas à localização da rotura, distribuição de deslizamentos e condições de propagação das ondas sísmicas. Esta abordagem permitiu desenvolver uma envolvente de projeto robusta e adequada ao dimensionamento de infraestruturas hidráulicas de elevada responsabilidade, como os reservatórios previstos no Projeto de Ampliação da Mina do Barroso.

Tabela 6.73 – Cenários (magnitude e plano de falha) e períodos de retorno considerados. Fonte: LNEC (2026), *Projeto de Lítio do Barroso – Definição da Ação Sísmica*, Relatório 246/2026-DE/NESDE.

Magnitude do cenário (Mw)	Período de retorno (anos)	Comprimento × Largura da rotura (km)
5,6	200	6,5 × 6,5
5,8	320	8,5 × 6,5
6,0	500	11,5 × 8,0
6,2	800	15,5 × 9,5
6,4	1400	21,0 × 11,5
6,6	2400	28,5 × 13,5
6,8	4500	38,5 × 15,0
7,0	9000	52,0 × 17,0
7,2	>10000	71,0 × 18,0
7,3	>10000	81,0 × 18,0

Os movimentos sísmicos foram gerados através do programa de modelação RSSIM, desenvolvido especificamente para análises estocásticas de falha finita. O estudo produziu espectros de resposta e séries temporais de aceleração compatíveis com as condições geológicas do local, considerando fundação em maciço rochoso. Para cada cenário sísmico foram selecionadas séries temporais representativas, destinadas a suportar futuras análises dinâmicas das estruturas hidráulicas.

Os espectros de resposta gerados para os diversos cenários sísmicos permitiram determinar os correspondentes valores de pico de aceleração do terreno (PGA), conforme apresentado na Tabela 6.74.

Tabela 6.74 – Resumo dos valores médios de pico de aceleração do terreno, PGA(médio), e do seu percentil 84, PGA(84%), para os cenários considerados. Fonte: LNEC (2026), Projeto de Lítio do Barroso – Definição da Ação Sísmica, Relatório 246/2026-DE/NESDE.

Magnitude do cenário (Mw)	PGA (médio) (cm/s²)	PGA (84%) (cm/s²)	PGA (médio) (g)	PGA (84%) (g)
5,6	59,74	79,03	0,061	0,081
5,8	66,30	85,71	0,068	0,087
6,0	84,64	115,30	0,086	0,118
6,2	113,71	158,25	0,116	0,161
6,4	127,19	173,88	0,130	0,177
6,6	161,05	215,86	0,164	0,220
6,8	192,63	259,76	0,196	0,265
7,0	196,50	267,80	0,200	0,273
7,2	233,88	310,25	0,238	0,316
7,3	234,39	320,97	0,239	0,327

Os resultados mostram um aumento gradual da intensidade da ação sísmica com a magnitude considerada. Para o cenário mais gravoso analisado (Mw 7,3), correspondente ao limite superior da capacidade sismogénica atribuída à falha PRV, obtiveram-se valores de aceleração máxima do terreno (PGA) de aproximadamente 0,239 g para o valor médio e 0,327 g para o percentil 84%.

As ações de cálculo adotadas para o dimensionamento sísmico das obras nas suas diferentes fases da vida apresentam-se no Volume 2 – Barragens e tiveram como base o Estudo Sismológico desenvolvido pelo LNEC que se procurou resumir nesta seção e os requisitos regulamentares estabelecidos no Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) tendo em consideração o índice global de risco sísmico atribuído a cada infraestrutura e os correspondentes períodos de retorno exigidos para as diversas situações de projeto e condições de exploração.

6.9.7 CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS

6.9.7.1 ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR

A classificação das barragens dos reservatórios RCA-01, RCA-02, RCS-01, RCS-02, RA-01, RA-02 foi efetuada de acordo com o disposto no Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), atualmente integrado no Decreto-Lei n.º 21/2018, de 28 de março, que estabelece o regime de controlo de segurança das barragens em Portugal. Nos termos deste diploma, as barragens são classificadas em função dos potenciais danos decorrentes da ocorrência de um acidente ou rotura, agrupando-se em três classes, por ordem decrescente da gravidade das consequências associadas.

A classificação é determinada tendo em consideração os potenciais efeitos sobre pessoas, bens, infraestruturas, ambiente e atividades económicas localizadas no vale a jusante, constituindo um dos elementos fundamentais para a definição das exigências de controlo de segurança, observação, inspeção e planeamento de emergência aplicáveis a cada obra.

Nos termos do RSB, as barragens agrupam-se nas seguintes classes:

- **Classe I –** barragens associadas a elevadas consequências potenciais, nomeadamente quando exista risco significativo para vidas humanas ou danos muito relevantes em bens, ambiente ou atividades económicas;
- **Classe II –** barragens associadas a consequências potenciais intermédias;
- **Classe III –** barragens associadas a reduzidas consequências potenciais.

6.9.7.2 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO

A classificação de barragens é definida no Decreto-Lei n.º 21/2018 em função da sua perigosidade e dos danos potenciais associados à onde de inundação no vale de jusante.

Para o efeito, deve ser analisado o vale a jusante de cada barragem, identificando-se os elementos vulneráveis suscetíveis de serem afetados por um cenário de acidente ou rotura e caracterizando-se a respetiva exposição ao perigo.

A perigosidade da barragem é caracterizada pelo fator X, determinado pela avaliação conjunta de dois parâmetros:

- **X** – parâmetro representativo da dimensão da barragem;
- **Y** – parâmetro representativo dos danos potenciais associados à sua eventual rotura.

O parâmetro **X,** perigosidade, é obtido a partir das características geométricas da barragem e da capacidade da respetiva albufeira, sendo determinado pela expressão:

$$X = H^2 \times \sqrt{V}$$

em que:

- H= altura máxima da barragem (m);
- V= volume armazenado ao NPA (hm³).

O parâmetro **Y** traduz os potenciais danos na região do vale a jusante da barragem, onde a onda de inundação pode afetar a população, os bens e o ambiente, devendo: a) A população ser avaliada em função do número de edificações fixas com carácter residencial permanente (**Y**); b) Os danos potenciais ser avaliados tendo em consideração a existência de infraestruturas, instalações e bens ambientais importantes.

A classe da barragem é estabelecida de acordo com os critérios apresentados no quadro seguinte.

Tabela 6.75 – Critérios para definição da classe de uma barragem segundo o artigo 3.º do Regulamento de Segurança de Barragens e respetivo Anexo – Classificação das Barragens.

Classe	Critério
I	X ≥ 1000 e Y ≥ 10
II	X < 1000 e Y ≥ 10 ou 0 < Y < 10, independentemente do valor de X ou Existência de infraestruturas, instalações ou bens ambientais importantes
III	Y = 0, independentemente do valor de X

Apresentam-se, na Tabela 6.76, as características geométricas dos reservatórios e as respetivas capacidades de armazenamento.

Embora os estudos de propagação de rotura e a caracterização dos vales a jusante não tenham identificado populações residentes suscetíveis de serem diretamente afetadas por um cenário de rotura, a presença de infraestruturas, instalações e equipamentos associados à exploração mineira localizados nas áreas potencialmente inundáveis pode determinar a existência de danos potenciais relevantes, nomeadamente de natureza operacional e económica, aspeto que foi considerado na classificação.

Neste enquadramento, foi atribuída a **Classe II** aos reservatórios do projeto de acordo com o Regulamento de Segurança de Barragens.

Tabela 6.76 – Classificação dos reservatórios do projeto.

Parâmetro	RCA-01	RCA-02	RCS-01	RA-01	RA-02	RCS-02
Sistema	Pinheiro	Pinheiro	Pinheiro	Pinheiro	Grandão	Reservatório
Área da bacia (km²)	0,64148	1,2664	0,5	0,3245	3,1	0,38

Parâmetro	RCA-01	RCA-02	RCS-01	RA-01	RA-02	RCS-02
Altura acima fundação (m)	30,31	32	48,72	43,9	33,87	19,97
Volume de armazenamento (m³)	23 852	414 352	177 382	135 379	330 118	154 328
Fator (X) - perigosidade	141,9	659,2	999,7	709,1	659,1	156,7
Fator (Y) – danos potenciais	Existência de infraestruturas, instalações ou bens ambientais importantes					
Classe	II	II	II	II	II	II

De acordo com o RSB, e tendo em conta a classificação das barragens (classe II), o seu tipo (aterro) e a sua altura (50>h≥15), o período de retorno a considerar para a cheia de projeto é de 2 000 anos, sendo a cheia de verificação obtida a partir da cheia de projeto por majoração dos caudais pelo fator 1,2.

Nos termos do artigo 54.º-A do RSB, as barragens de Classe II devem ainda dispor de Procedimentos Simplificados de Emergência (PSE).

A classificação atribuída deverá ser revista sempre que ocorram alterações significativas nas condições de exploração da barragem ou nas características de ocupação do vale a jusante suscetíveis de modificar as consequências potenciais associadas à sua eventual rotura.

6.9.8 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A execução dos reservatórios RCA-01, RCA-02, RCS-01, RCS-02, RA-01 e RA-02 compreende um conjunto de trabalhos preparatórios, obras de fundação, construção dos aterros, execução dos órgãos hidráulicos, impermeabilização, instalação dos sistemas de observação e drenagem, bem como os trabalhos finais de integração e entrada em exploração.

Atendendo à distribuição das obras pelos sistemas Pinheiro, Grandão e Reservatório, prevê-se que diversas atividades possam decorrer em simultâneo, permitindo otimizar os recursos de construção e reduzir a duração global da empreitada.

Para a definição da sequência construtiva foram considerados os volumes de escavação e aterro previstos, a disponibilidade de materiais provenientes das áreas de empréstimo e das escavações mineiras, os condicionamentos geológico-geotécnicos de cada local e as dependências existentes entre as diversas infraestruturas do sistema de gestão hídrica.

O programa de trabalhos apresentado tem um carácter preliminar e deverá ser ajustado função dos meios disponíveis do Empreiteiro e da data efetiva de arranque dos trabalhos de construção.

6.9.9 CRITÉRIOS DE BASE E RITMOS DE TRABALHO

Para o estabelecimento do programa geral dos trabalhos foram considerados os principais volumes de escavação, aterro e betonagem associados à construção dos

reservatórios RCA-01, RCA-02, RCS-01, RCS-02, RA-01 e RA-02, bem como aos respetivos órgãos hidráulicos, sistemas de drenagem, impermeabilização, equipamentos hidromecânicos e acessos.

O programa foi desenvolvido assumindo uma metodologia construtiva baseada na mobilização progressiva das equipas e equipamentos para os diferentes reservatórios, privilegiando a execução faseada dos trabalhos de fundação, seguida da construção dos aterros, órgãos hidráulicos e restantes obras complementares. Na definição dos prazos de execução foram considerados os seguintes ritmos médios de produção para as atividades de maior peso na empreitada:

- Escavações para saneamento, fundações e órgãos hidráulicos: **60 000 m³/mês**;
- Construção dos aterros dos reservatórios: **40 000 m³/mês**;
- Execução de betões estruturais: **600 m³/mês**;
- Execução dos sistemas de impermeabilização por geomembrana: função da disponibilização das superfícies e da sequência de conclusão dos aterros ou reperfilamento das albufeiras (RCA);
- Instalação dos equipamentos hidromecânicos e instrumentação: em articulação com o desenvolvimento dos órgãos hidráulicos.

Os rendimentos considerados correspondem a valores de referência compatíveis com as características das obras e com os meios normalmente utilizados em empreitadas desta natureza. A sua concretização dependerá das condições meteorológicas, da disponibilidade de materiais para construção, dos resultados dos trabalhos de prospeção complementar e da capacidade produtiva efetivamente mobilizada pelo Empreiteiro.

A sequência prevista para os trabalhos foi definida em função das dependências existentes entre os diversos trabalhos, procurando assegurar que as atividades críticas, nomeadamente os tratamentos de fundação, os órgãos hidráulicos e os sistemas de impermeabilização, não condicionem o desenvolvimento global da empreitada.

6.9.10 PRINCIPAIS FRENTES DE TRABALHO

As principais frentes de trabalho previstas para a execução de cada reservatório compreendem:

- Instalação do estaleiro e acessos de obra;
- Desmatação e limpeza das áreas de intervenção;
- Reconhecimento geológico-geotécnico complementar;
- Implantação topográfica das obras;

- Escavações para saneamento e fundação;
- Execução do tratamento de fundação;
- Construção dos aterros dos reservatórios;
- Execução dos órgãos hidráulicos;
- Execução dos sistemas de drenagem e filtragem;
- Impermeabilização dos paramentos de montante e, para o RCA-01 e RCA-02, das albufeiras;
- Instalação dos equipamentos hidromecânicos;
- Instalação da instrumentação e do sistema de observação;
- Acabamentos finais;
- Primeiro enchimento e entrada em exploração.

6.9.10.1 INSTALAÇÃO DO ESTALEIRO E ACESSOS

Numa fase inicial da empreitada será efetuada a instalação do estaleiro geral de apoio à construção dos reservatórios, incluindo áreas administrativas, oficinas, zonas de armazenamento de materiais e equipamentos, parques de máquinas, instalações sociais e restantes infraestruturas de apoio necessárias ao desenvolvimento dos trabalhos.

Durante esta fase serão ainda executados ou melhorados os acessos temporários às diferentes áreas de intervenção, assegurando a circulação dos equipamentos de construção, o transporte dos materiais provenientes das escavações e das áreas de empréstimo e o acesso às futuras frentes de aterro.

A organização do estaleiro deverá ter em consideração a dispersão geográfica das obras pelos três sistemas, podendo justificar a existência de um segundo estaleiro no sistema reservatório, face à distância deste sistema ao estaleiro principal, no sistema Pinheiro. Poderão também ser necessárias áreas de apoio para deposito de materiais próximas dos principais locais de construção, dentro das futuras albufeiras.

6.9.10.2 PROGRAMA DE PROSPEÇÃO COMPLEMENTAR

No início da empreitada deverá ser implementado um programa de prospeção complementar destinado à confirmação das condições geológicas e geotécnicas das fundações dos reservatórios e dos órgãos hidráulicos, bem como à validação das características dos materiais previstos para a construção dos aterros.

Este programa poderá incluir sondagens mecânicas complementares, poços de reconhecimento, ensaios in situ, recolha de amostras e ensaios laboratoriais, de acordo com as necessidades identificadas durante a fase de construção.

6.9.10.3 TRABALHOS PREPARATÓRIOS

Numa fase inicial proceder-se-á à instalação do estaleiro de obra, dos acessos temporários, das redes de apoio e das restantes infraestruturas necessárias à construção.

Serão igualmente executados os trabalhos de desmatação, limpeza das áreas de intervenção e implantação topográfica das obras. Estas atividades deverão anteceder o início das grandes frentes de escavação e aterro.

6.9.10.4 FUNDAÇÕES DOS RESERVATÓRIOS

Após a preparação das áreas de trabalho serão executadas as escavações necessárias ao saneamento das fundações, incluindo a remoção dos materiais superficiais inadequados, tais como solos orgânicos, coluviões e depósitos aluvionares de reduzida capacidade resistente.

Concluídos os trabalhos de saneamento, será executado o plinto nos reservatórios RA, e RCS, a partir do qual serão executados os tratamentos de fundação previstos em projeto, incluindo as cortinas de impermeabilização por injeções de cimento, as drenagens de fundação, os tapetes drenantes e demais medidas destinadas a garantir a estanquidade e segurança das obras.

Atendendo à importância destas atividades para o comportamento futuro dos reservatórios, a execução dos aterros apenas deverá iniciar-se após validação das condições de fundação.

6.9.10.5 CONSTRUÇÃO DOS ATERROS

A construção dos reservatórios constituirá a principal frente de obra da empreitada.

Os diferentes aterros serão executados por camadas sucessivas, respeitando os critérios de compactação definidos no projeto e utilizando os materiais previstos para cada zona dos perfis tipo. Durante esta fase serão simultaneamente executadas as camadas filtrantes, os drenos internos, os enrocamentos de proteção e os restantes elementos constituintes dos reservatórios.

A evolução dos aterros deverá respeitar os ritmos de execução compatíveis com os requisitos de compactação, controlo de qualidade e estabilidade temporária das estruturas.

6.9.10.6 ÓRGÃOS HIDRÁULICOS E EQUIPAMENTOS

Em paralelo com a execução dos aterros serão construídos os órgãos hidráulicos associados a cada barragem, incluindo descarregadores, tomadas de água, descargas de fundo, câmaras de válvulas, galerias e estruturas de ligação.

Após a conclusão das estruturas de betão proceder-se-á à instalação dos equipamentos hidromecânicos e dos respetivos sistemas de comando e exploração, bem como das instalações elétricas necessárias ao funcionamento das infraestruturas.

6.9.10.7 IMPERMEABILIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS

Concluída a execução dos aterros principais e das respetivas estruturas hidráulicas associadas, proceder-se-á à implementação dos sistemas de impermeabilização previstos para cada reservatório.

Os trabalhos compreendem a preparação das superfícies de suporte, a execução das camadas drenantes previstas em projeto, a instalação das geomembranas de PVC e respetivas camadas de base (material de transição e betão extrudido), os sistemas de ancoragem e fixação, bem como a realização dos ensaios de controlo necessários para verificação da qualidade e continuidade da impermeabilização.

A sequência de execução destes trabalhos deverá ser articulada com a conclusão dos aterros e dos órgãos hidráulicos, por forma a garantir a adequada proteção das superfícies impermeabilizadas e a compatibilização com as restantes atividades da empreitada.

6.9.10.8 SISTEMAS DE OBSERVAÇÃO

Em paralelo com as fases finais de construção dos reservatórios proceder-se-á à instalação dos equipamentos de monitorização previstos no Plano de Observação.

A instalação da instrumentação deverá acompanhar a evolução dos trabalhos de construção, assegurando que todos os equipamentos previstos em projeto se encontram operacionais antes da entrada em serviço dos reservatórios, permitindo o adequado controlo da segurança das infraestruturas ao longo da sua vida útil desde o seu primeiro enchimento.

6.9.10.9 TRABALHOS FINAIS E ENTRADA EM EXPLORAÇÃO

Os trabalhos finais incluem a execução dos acabamentos dos coroamentos, instalação das guardas de segurança, regularização dos acessos definitivos, recuperação paisagística das áreas intervencionadas e desmontagem das infraestruturas temporárias de obra.

Após a conclusão dos ensaios de receção e verificação do funcionamento dos órgãos hidráulicos e equipamentos associados, será efetuado o primeiro enchimento dos reservatórios e a entrada gradual em exploração das infraestruturas, em conformidade com os procedimentos estabelecidos para o controlo de segurança dos reservatórios.

6.9.11 CRONOGRAMA DE TRABALHOS

Apresentam-se de seguida o programa geral de trabalhos bem como o programa detalhado de cada obra.

Tabela 6.77 – Programa Geral de Trabalhos.



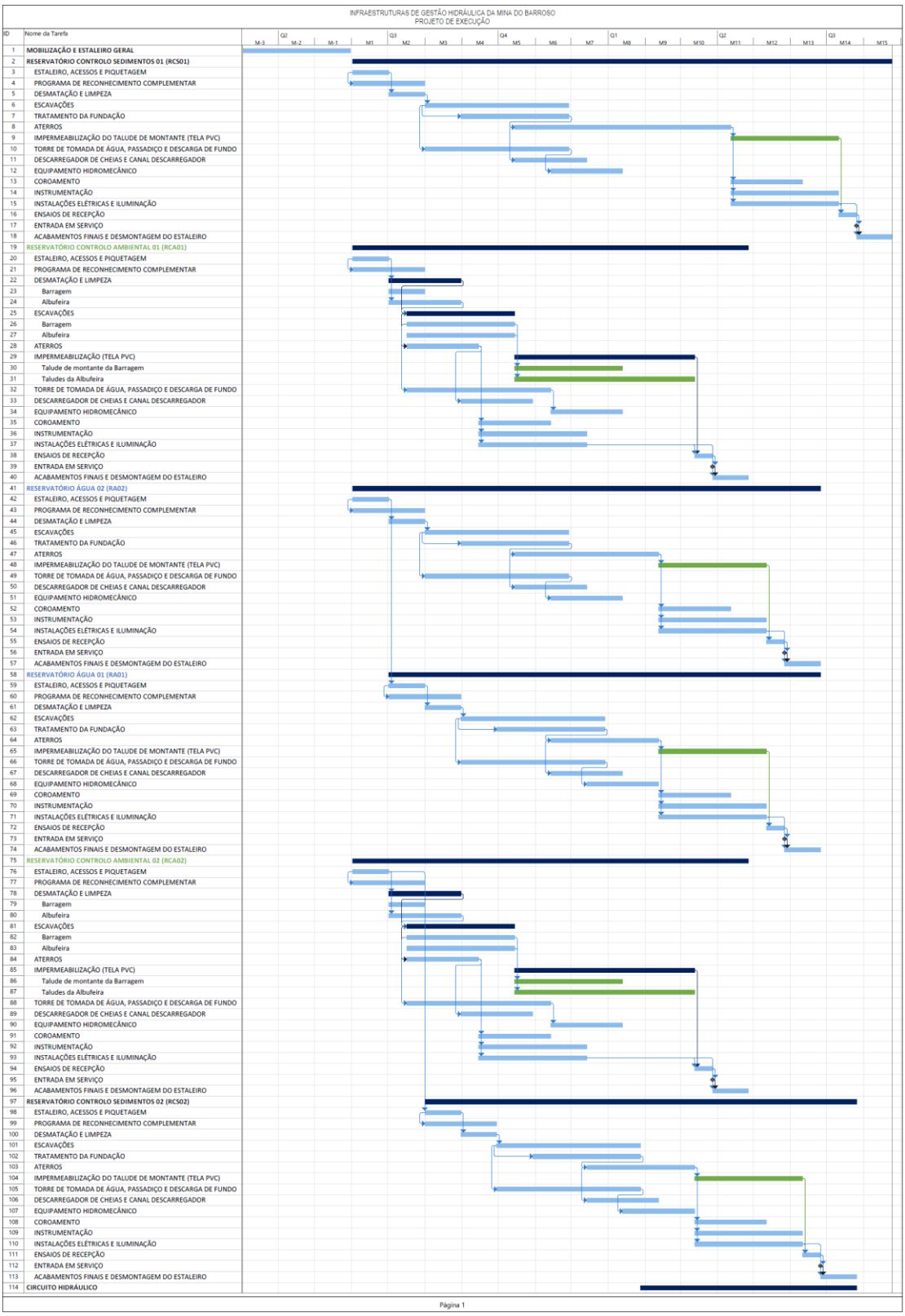


Figura 6.111 – Cronograma Geral das Infraestruturas de Controlo Hidráulicas.

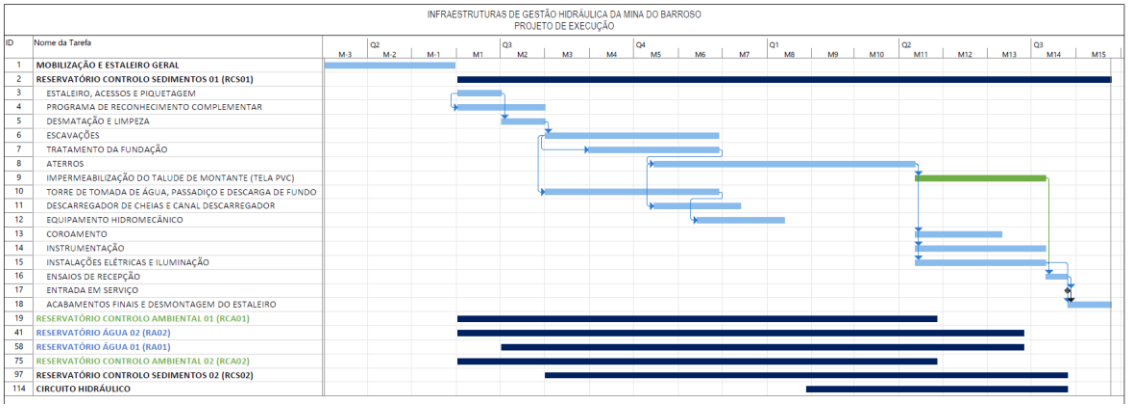


Figura 6.112 – Cronograma Geral de Trabalhos – RCS-01.

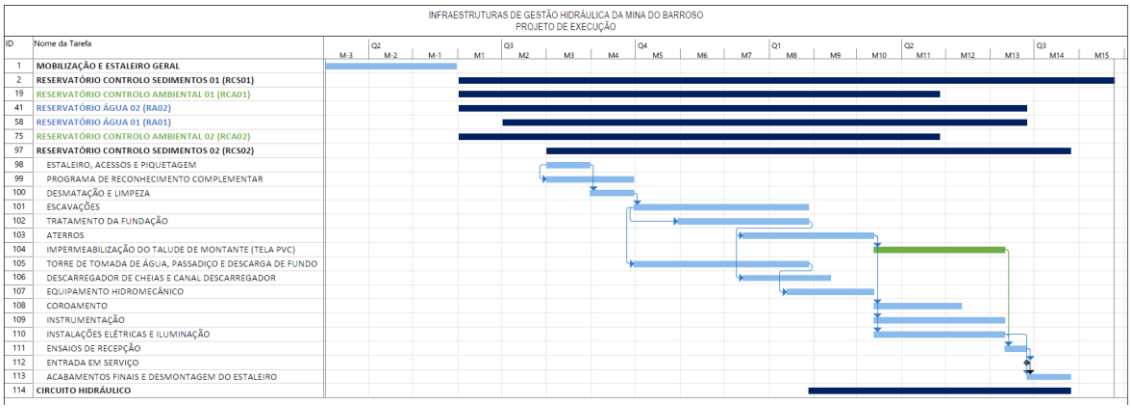


Figura 6.113 – Cronograma Geral de Trabalhos – RCS-02.

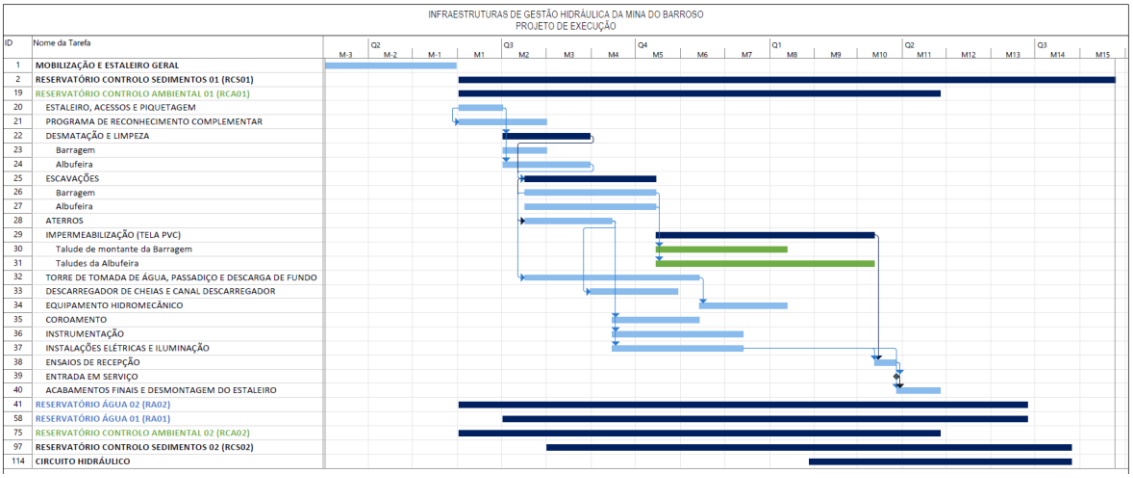


Figura 6.114 – Cronograma Geral de Trabalhos – RCA-01.

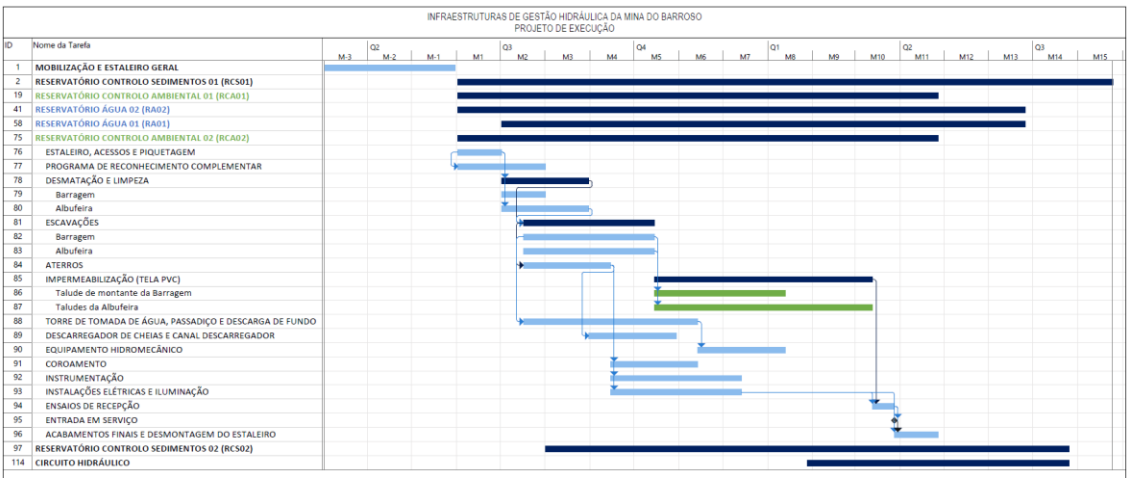


Figura 6.115 – Cronograma Geral de Trabalhos – RCA-02.

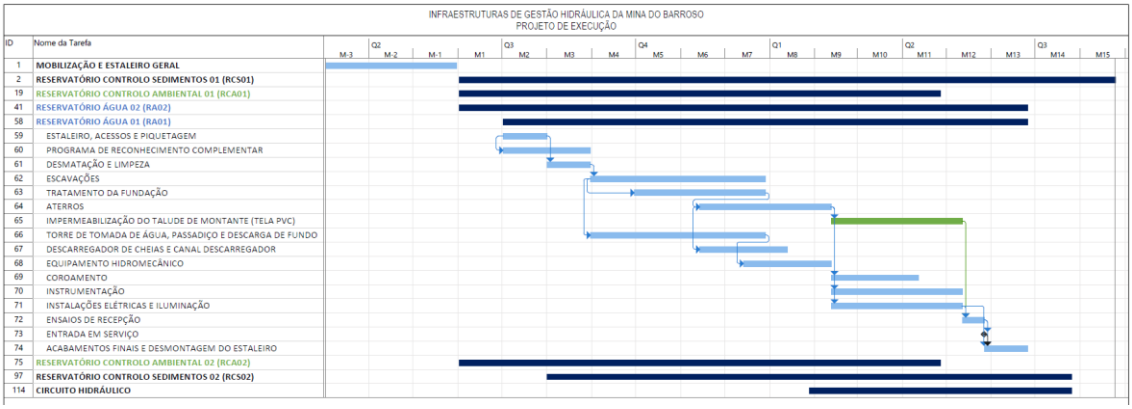


Figura 6.116 – Cronograma Geral de Trabalhos - RA-01.

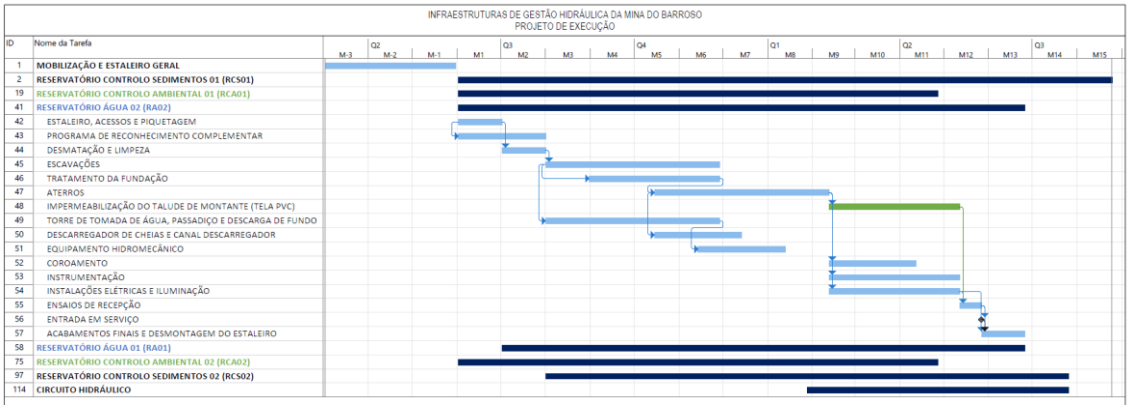


Figura 6.117 – Cronograma Geral de Trabalhos - RA-02.



Figura 6.118 – Cronograma Geral de Trabalhos – Circuito Hidráulico.

6.10 SEPARADOR DE HIDROCARBONETOS

Nesta secção descreve-se o sistema de remoção de hidrocarbonetos associado aos sistemas de drenagem e desaguamento das cortas, a instalar nos Reservatórios de Controlo de Sedimentos (RCS) previstos no projeto (RCS-01 e RCS-02).

Os Reservatórios de Controlo de Sedimentos RCS-01 e RCS-02 destinam-se a receber as águas de escorrência bombeadas e as águas carregadas de sedimentos provenientes das

áreas de exploração mineira a céu aberto. Devido à operação de equipamentos pesados de mineração no interior das cortas, existe um potencial de presença de hidrocarbonetos na água recolhida, principalmente associados a gasóleo, óleos hidráulicos, lubrificantes e outros hidrocarbonetos de petróleo livres e flutuantes.

Os reservatórios apresentam tempos de retenção hidráulica muito elevados, estimados em mais de 120 horas, o que favorece naturalmente os processos de separação gravítica e a flotação natural dos hidrocarbonetos livres. No entanto, os caudais afluentes instantâneos durante episódios de precipitação e operações de bombagem podem ser significativamente superiores aos normalmente associados aos sistemas compactos convencionais de separação óleo-água.

Nestas condições, considerou-se que a implementação de um sistema tradicional de separação em caudal total seria tecnicamente ineficiente e economicamente desproporcionada. Em alternativa, foi adotado um sistema passivo de retenção e recuperação de hidrocarbonetos, baseado na utilização de barreiras flutuantes de contenção, na concentração do escoamento superficial e na remoção localizada por *skimming*.

A solução proposta destina-se a:

- Intercetar e concentrar os hidrocarbonetos livres e flutuantes;
- Impedir a migração a jusante das películas de óleo;
- Permitir a separação gravítica passiva;
- Manter um desempenho adequado sob condições hidráulicas altamente variáveis.

O sistema proposto destina-se principalmente à remoção de hidrocarbonetos livres e flutuantes. Não se prevê que os hidrocarbonetos dissolvidos ou finamente emulsionados sejam removidos de forma eficaz por este sistema, sendo a sua formação e presença, por conseguinte, minimizadas através de medidas de controlo operacional e da adequada seleção do sistema de bombagem.

6.10.1 Princípios de Conceção e Bases Hidráulicas

A abordagem adotada baseia-se numa filosofia passiva de interceção e recuperação de hidrocarbonetos, recorrendo aos seguintes elementos principais:

- Barreiras flutuantes de contenção (*floating containment booms*);
- *Skimmer* superficial flutuante e linha de bombagem;
- Separador hidráulico de hidrocarbonetos.

A solução proposta apresenta elevada robustez operacional e reduzidas necessidades de manutenção, assegurando simultaneamente um nível eficaz de

controlo sobre hidrocarbonetos livres à superfície, mesmo perante condições hidráulicas significativamente variáveis e concentrações elevadas de sólidos suspensos, características do sistema em análise.

O sistema de tratamento de hidrocarbonetos foi concebido para responder a três objetivos fundamentais:

- Impedir a migração de hidrocarbonetos livres à superfície em direção ao descarregador do reservatório;
- Disponibilizar capacidade de armazenamento temporário suficiente para os hidrocarbonetos recuperados, até à sua remoção pelas equipas de manutenção;
- Assegurar uma operação simples e fiável, minimizando simultaneamente as necessidades de manutenção e o consumo energético.

A filosofia de conceção adotada procura tirar o máximo partido do tempo de retenção hidráulica (TRH) já disponível nos reservatórios de controlo de sedimentos. Em vez de se proceder ao tratamento do caudal afluente total através de equipamentos mecânicos de separação dedicados, o sistema foi concebido para realizar uma recuperação seletiva da camada de hidrocarbonetos sobrenadantes, após a ocorrência da separação gravítica natural.

O sistema de gestão de hidrocarbonetos assenta fundamentalmente no princípio da separação por diferença de massa volúmica entre a água e os hidrocarbonetos derivados de petróleo. Em condições hidráulicas relativamente calmas, os hidrocarbonetos livres tendem naturalmente a ascender e a acumular-se junto à superfície livre da água, onde podem posteriormente ser intercetados e concentrados através da utilização de barreiras flutuantes e da indução de padrões controlados de circulação hidráulica.

Atendendo a que os reservatórios de controlo de sedimentos proporcionam já tempos de retenção hidráulica muito significativos, a solução proposta aproveita a geometria existente do reservatório e o respetivo comportamento hidráulico, evitando a introdução de sistemas adicionais de tratamento de elevada taxa de aplicação.

O sistema é, assim, concebido como uma solução passiva de gestão de hidrocarbonetos à superfície, cujo principal objetivo não consiste no isolamento hidráulico integral dos caudais contaminados, mas antes na interceção seletiva dos hidrocarbonetos sobrenadantes, permitindo simultaneamente que a maior parte do caudal afluente atravesse o reservatório com uma perturbação hidráulica mínima.

Este princípio é materializado através da instalação de uma barreira flutuante posicionada diagonalmente, relativamente à direção predominante do escoamento no reservatório. A barreira funciona como um elemento de deflexão e concentração superficial, intercetando os hidrocarbonetos flutuantes e promovendo o seu encaminhamento progressivo para um *skimmer* flutuante, localizado na proximidade do talude da albufeira/*embankment*.

Ao contrário dos sistemas convencionais de contenção concebidos para promover um bloqueio hidráulico integral, a configuração proposta da barreira é especificamente dimensionada para permitir que a maioria do escoamento do reservatório passe sob a saia submersa da barreira flutuante.

Considerando que os hidrocarbonetos alvo se encontram predominantemente concentrados na zona superficial da coluna de água, o efeito de retenção e concentração seletiva proporcionado pela barreira é suficiente para promover a acumulação progressiva dos contaminantes flutuantes, evitando simultaneamente perdas de carga hidráulica excessivas e solicitações estruturais elevadas durante situações de caudal de ponta.

Na prática, o sistema funciona, assim, como uma solução de *skimming* superficial passivo de grande escala, integrada diretamente no próprio reservatório, conforme ilustrado, por exemplo, na Figura 6.119.

Devido ao calado reduzido da saia da barreira, a maior parte do caudal afluente contorna o sistema pela zona inferior da barreira flutuante, enquanto os hidrocarbonetos, devido à sua menor massa volúmica e à sua tendência para permanecerem junto à superfície livre, ficam retidos na camada superficial e são progressivamente concentrados e encaminhados para o *skimmer* flutuante.

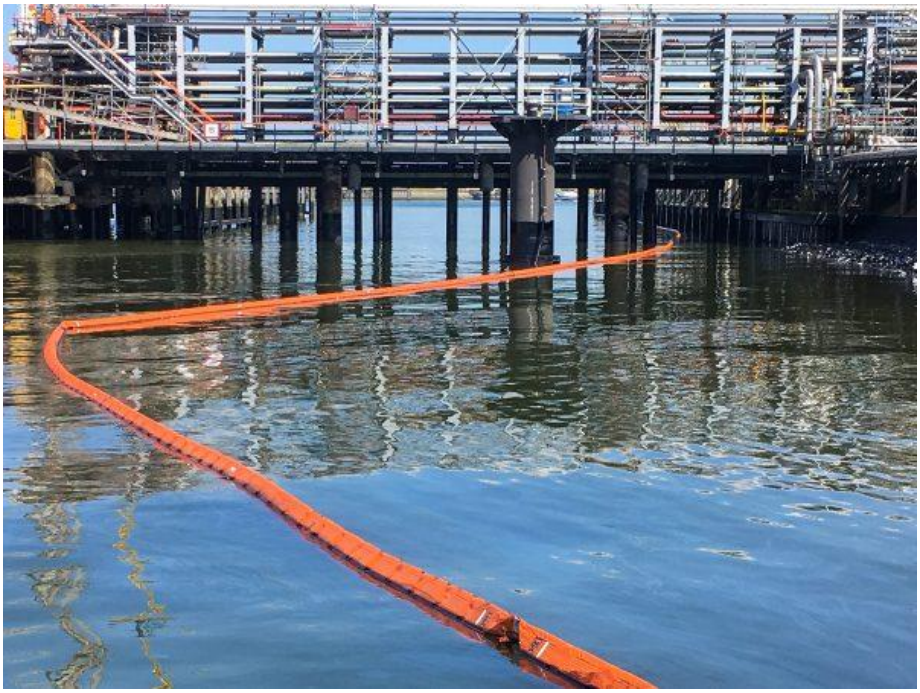


Figura 6.119 – Exemplo de configuração de barreira flutuante para contenção de hidrocarbonetos à superfície.

Os hidrocarbonetos acumulados são posteriormente removidos através de um sistema de *skimming* superficial flutuante por exemplo, conforme ilustrado na Figura 6.120, ligado a um tanque de decantação dedicado.

O *skimmer* realiza a captação seletiva da camada superficial superior, constituída predominantemente por hidrocarbonetos, juntamente com uma quantidade limitada de água arrastada. Após a transferência para o tanque de decantação, ocorre uma separação gravítica adicional em condições de baixa turbulência, permitindo que a água recuperada seja devolvida ao reservatório de controlo de sedimentos, enquanto a fase hidrocarbonetada permanece armazenada para posterior remoção e encaminhamento para destino adequado.

A limpeza periódica e a remoção dos hidrocarbonetos e resíduos oleosos acumulados deverão ser realizadas através de camião de aspiração (*vacuum truck*), de acordo com as taxas de acumulação efetivamente observadas durante a exploração do sistema.

A mistura de óleo e água recuperada é bombeada através da respetiva linha de bombagem para a estrutura do separador hidráulico de hidrocarbonetos, onde é submetida a uma nova etapa de separação gravítica/decantação. A água excedentária separada nesta fase será encaminhada de volta para o reservatório.

A referida estrutura funcionará igualmente como unidade de armazenamento temporário de hidrocarbonetos, permitindo a sua posterior remoção por meio de camião de aspiração.

A água clarificada será descarregada continuamente para o reservatório principal através de uma configuração de descarga por tubagem especificamente concebida para impedir a migração ou fuga da fase hidrocarbonetada sobrenadante para o reservatório.

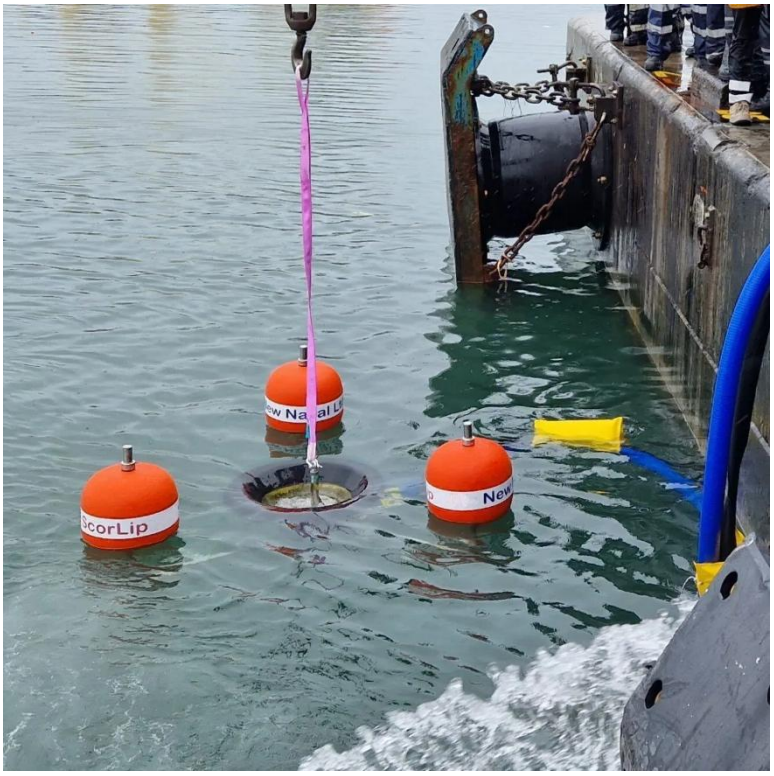


Figura 6.120 – Exemplo de sistema de *skimming* superficial flutuante para remoção de hidrocarbonetos.

O sistema proposto destina-se especificamente à interceção e recuperação de hidrocarbonetos de petróleo livres e sobrenadantes, gerados durante as operações mineiras correntes.

A eficiência da separação gravítica passiva de hidrocarbonetos depende fortemente da minimização da formação de emulsões estáveis. Neste sentido, considera-se que os sistemas de bombagem utilizados para a transferência de água a partir das cavas mineiras para os reservatórios de controlo de sedimentos deverão ser selecionados e operados de forma a minimizar:

- cisalhamento excessivo;
- recirculação turbulenta;
- emulsificação mecânica dos hidrocarbonetos.

Não obstante a existência deste sistema de interceção e recuperação, é fortemente recomendável que quaisquer derrames acidentais sejam, numa primeira instância, geridos de acordo com os procedimentos de prevenção de derrames e de resposta a emergências da mina (*Mine Spill Prevention and Emergency Response Procedures*).

Deverá, assim, ser dada preferência a sistemas de bombagem com reduzido potencial de geração de emulsões, de modo a preservar a eficiência do processo subsequente de

separação gravítica e a minimizar a quantidade de hidrocarbonetos finamente dispersos na coluna de água.

6.10.2 Critérios de Concepção

O sistema de retenção e recuperação de hidrocarbonetos foi desenvolvido com base num conjunto de critérios operacionais e hidráulicos destinados a assegurar um desempenho adequado em condições normais de exploração mineira, mantendo simultaneamente a simplicidade e a fiabilidade operacional.

A filosofia de projeto adotada pressupõe que a principal fonte de hidrocarbonetos nas bacias hidrográficas contribuintes corresponde às perdas operacionais normais associadas à utilização de equipamento pesado de exploração mineira nas áreas de céu aberto, durante períodos prolongados entre eventos de precipitação significativa. Para efeitos da avaliação preliminar, assumiu-se, de forma conservadora, que os resíduos de hidrocarbonetos podem acumular-se ao longo de um período operacional contínuo de três meses, sem ocorrência de uma lavagem ou arrastamento significativo das superfícies das áreas de exploração. Subsequentemente, durante os primeiros eventos de precipitação intensa, uma proporção significativa dos hidrocarbonetos acumulados poderá ser mobilizada e transportada para os reservatórios de controlo de sedimentos, juntamente com os sólidos em suspensão e as águas de escorrência superficial.

Para estimar a carga potencial de hidrocarbonetos associada a este cenário, foi adotada, para as áreas mineiras ativas, uma taxa conservadora de geração de hidrocarbonetos de 100 kg/ha/ano. Este valor é considerado representativo de uma operação intensiva com equipamento pesado em condições de exploração mineira e incorpora uma abordagem adequadamente conservadora para efeitos do dimensionamento preliminar. Considerou-se ainda que aproximadamente 25% da carga anual de hidrocarbonetos poderá acumular-se durante um período operacional de três meses e que aproximadamente 60% desta massa acumulada poderá ser mobilizada durante os eventos iniciais de escoamento superficial após o período seco.

A massa de hidrocarbonetos potencialmente mobilizada para cada reservatório foi, assim, estimada de acordo com a seguinte relação:

$$M = A \times 100\ kg/ha/ano \times 25\% \times 60\%$$

Onde **M** corresponde à massa de hidrocarbonetos mobilizada, expressa em quilogramas (kg), e **A** corresponde à área operacional ativa, expressa em hectares (ha).

6.10.3 Cargas de Hidrocarbonetos Estimadas – RCS-01

Para o RCS-01, foi considerada uma área operacional ativa de aproximadamente 7,0 hectares, com base nas dimensões das áreas de exploração, nas áreas de corte e no equipamento previsto. Com base nos pressupostos adotados, a massa de hidrocarbonetos potencialmente mobilizada durante os primeiros eventos significativos de escoamento superficial após o período de acumulação de três meses é dada por:

$$M_{SCR01} = 7.0 \times 100 \times \frac{3}{12} \times 0.60 = 105\ kg$$

A fim de considerar as incertezas associadas às condições operacionais, à variabilidade na acumulação de hidrocarbonetos, aos derrames acidentais localizados e a outras circunstâncias imprevisíveis, foi aplicado um fator de segurança global de 3 à carga de hidrocarbonetos estimada, resultando numa massa potencial de hidrocarbonetos mobilizada de 315 kg.

Embora este valor corresponda a uma estimativa conservadora, existe um potencial significativo, dependendo da ocorrência de eventuais derrames e da distribuição espacial da libertação de hidrocarbonetos, para que, por exemplo, durante um evento de precipitação com duração de um dia, os limites legais de descarga de hidrocarbonetos (15 mg/L) sejam ultrapassados, podendo atingir valores superiores a 25 mg/L.

Considerando uma massa volúmica de aproximadamente 0,85, o volume equivalente de armazenamento de hidrocarbonetos é estimado em 371 L. Assim, recomenda-se uma capacidade efetiva mínima de armazenamento de hidrocarbonetos de 0,40 m³ para o RCS-01.

6.10.4 Configuração do Sistema Proposto

O sistema de retenção e recuperação de hidrocarbonetos proposto para o RCS-01 e RCS-02 consiste numa solução hidráulica passiva, integrando barreiras flutuantes de contenção de hidrocarbonetos, dispositivos flutuantes de remoção superficial (*skimmers*) e tanques dedicados de decantação/armazenamento, funcionando em recirculação contínua com os principais reservatórios de controlo de sedimentos.

No interior de cada reservatório, deverá ser instalada uma barreira flutuante em posição diagonal relativamente à direção predominante do escoamento hidráulico, de forma a compensar as forças exercidas pelo escoamento, permitindo intercetar e concentrar progressivamente os hidrocarbonetos flutuantes na direção de um *skimmer* flutuante localizado junto ao talude do reservatório. A barreira deverá ser dimensionada de modo a permitir que a maior parte do caudal do reservatório passe por baixo da saia flutuante, retendo simultaneamente os hidrocarbonetos à superfície. Desta forma, evita-se a ocorrência de solicitações hidráulicas excessivas durante condições de caudal elevado e minimiza-se a interferência com a função principal de controlo de sedimentos dos reservatórios.

Na extremidade a jusante da barreira, deverá ser criada uma zona de concentração da camada superficial de hidrocarbonetos. Os hidrocarbonetos acumulados nesta zona serão removidos através de um dispositivo flutuante de remoção superficial (*skimmer*), ligado a uma estrutura de tanque dedicada à separação de hidrocarbonetos. No interior deste tanque, os hidrocarbonetos recuperados serão sujeitos a uma separação adicional por gravidade da água arrastada, em condições de baixa turbulência. A água clarificada

será posteriormente devolvida ao reservatório, enquanto a fase de hidrocarbonetos separada permanecerá armazenada no tanque até à sua remoção periódica através de camião de aspiração.

Embora os volumes efetivos de armazenamento de hidrocarbonetos estimados sejam relativamente reduzidos, as soluções propostas de decantação e armazenamento deverão incorporar uma margem adicional de segurança em termos de volume livre (*freeboard*) e capacidade de retenção de água, de forma a acomodar a recuperação de misturas de óleo e água, a acumulação de sólidos em suspensão e a necessária flexibilidade operacional entre intervenções de manutenção. Consequentemente, consideram-se adequados, para a configuração proposta do sistema, volumes práticos de aproximadamente 1 m³ por tanque de decantação e por reservatório.

A configuração do sistema e o funcionamento contínuo do *skimmer* em condições normais de operação determinam que a camada de hidrocarbonetos à superfície seja relativamente reduzida. Simultaneamente, os caudais de bombagem necessários são relativamente baixos, prevendo-se uma proporção óleo/água de 1/5, o que resulta em caudais de bombagem de 0,11 e 0,086 m³/s no RCS-01 e RCS-02, respetivamente.

Uma vez que se prevê que as velocidades de escoamento nos reservatórios sejam reduzidas, não se considera necessário garantir uma velocidade mínima rigorosa na tubagem de bombagem. Assim, propõe-se a utilização, em ambas as linhas de bombagem, de uma tubagem flexível de PVC reforçado DN32, prevendo-se um caudal de operação de aproximadamente 2 m³/h durante os eventos críticos.

Todos os equipamentos permanentemente expostos ao ambiente dos reservatórios deverão ser adequados para serviço exterior de longa duração, em condições climáticas representativas do local da exploração mineira. Os materiais deverão apresentar resistência a:

- radiação ultravioleta;
- combustível diesel;
- óleos hidráulicos;
- óleos lubrificantes;
- imersão contínua;
- exposição às condições atmosféricas;
- degradação biológica.

As mangueiras flexíveis deverão incorporar um reforço adequado para operação contínua em condições de vácuo, mantendo simultaneamente flexibilidade suficiente para acomodar as variações do nível de água nos reservatórios.

6.10.5 INSTALAÇÃO DA BARREIRA FLUTUANTE

Considerando que estas barreiras permanecerão instaladas de forma permanente, a solução mais adequada consiste numa barreira semirrígida, suportada por flutuadores rígidos, conforme apresentado na Figura 6.121. Todos os componentes deverão ser resistentes à radiação ultravioleta (UV) e incluir olhais de fixação para a ligação dos cabos de amarração.



Figura 6.121 – Exemplo de barreira flutuante semirrígida.

6.10.5.1 RCS-01

Considerando que as velocidades de escoamento nos SCR serão muito reduzidas (prevê-se que sejam significativamente inferiores a 0,1 cm/s), o sistema de ancoragem será constituído por blocos de betão pré-fabricados, com um espaçamento máximo de 40 m entre si e com uma massa mínima de 250 kg. Esta massa não é definida com base na velocidade de escoamento, sendo antes considerada como um valor mínimo destinado a acomodar ações acidentais (principalmente resultantes de detritos), a ação do vento e as cargas associadas às operações de manutenção e manuseamento, bem como alguma margem de segurança face às incertezas relacionadas com as condições de fundação dos blocos.

A disposição proposta das barreiras flutuantes pode ser analisada em detalhe no desenho T2023-453-56-PE-HID-01-001_00 (Anexo VI.6).

A disposição das barreiras foi concebida de forma a manter um alinhamento de, pelo menos, 45° relativamente à direção principal do escoamento. A instalação da barreira em posição diagonal relativamente à direção principal do escoamento minimiza as solicitações hidráulicas, promove a migração lateral gradual dos hidrocarbonetos flutuantes, reduz a acumulação de detritos e aumenta a área efetiva de recolha quando comparada com uma instalação perpendicular à direção do escoamento.

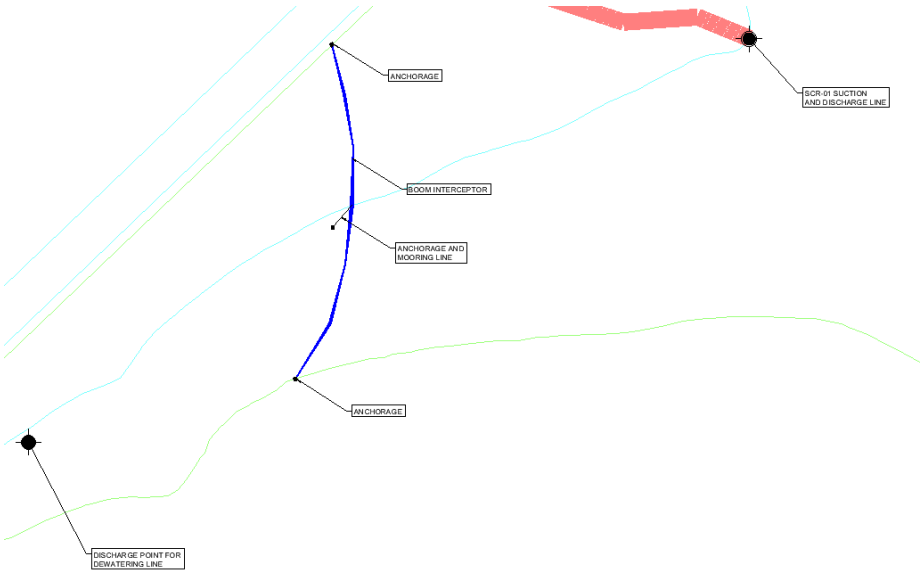


Figura 6.122 – Instalação das barreiras flutuantes no RCS-01.

6.10.5.2 RCS-02

Apresenta-se, de seguida, a disposição proposta da barreira flutuante no RCS-02:

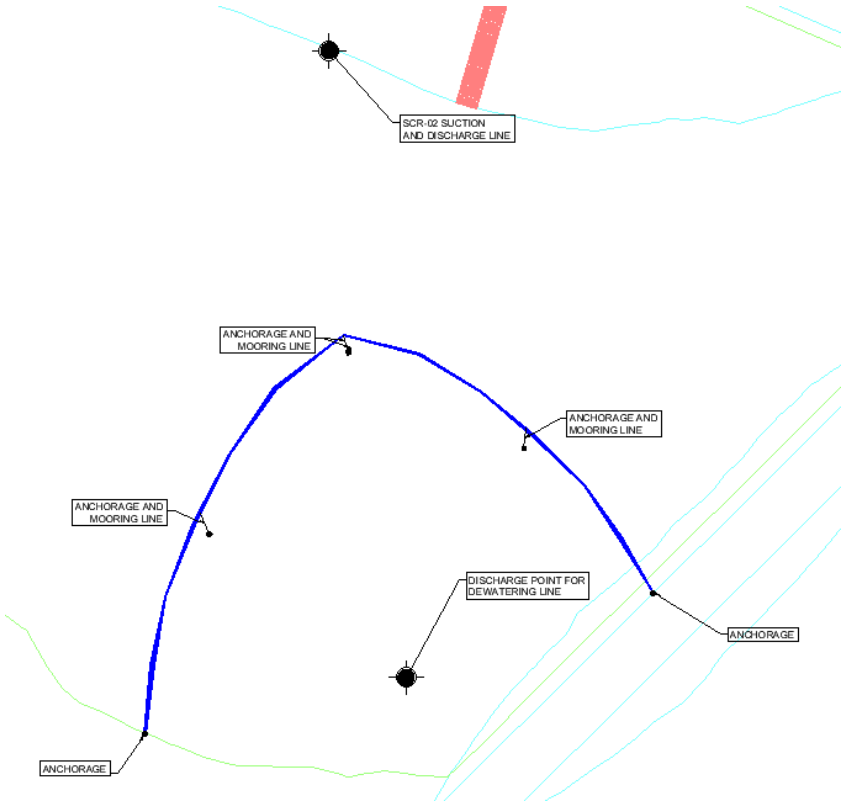


Figura 6.123 – Instalação das barreiras flutuantes no RCS-02.

6.10.6 *SKIMMER* E LINHA DE ASPIRAÇÃO/BOMBAGEM

Para uma abordagem de implementação e manutenção mais simples, propõe-se uma solução constituída por um *skimmer* flutuante independente e uma estação de bombagem separada. O *skimmer* será instalado nas proximidades do ponto de convergência da barreira flutuante, sendo ligado à estação de bombagem, localizada no talude do reservatório, através de uma linha de aspiração constituída por uma tubagem flexível de PVC reforçado e flutuante, DN32.

A estação de bombagem será constituída por uma câmara enterrada, equipada com uma bomba centrífuga em linha, autoescorvante e de impulsor flexível, bem como todos os acessórios associados, conforme apresentado no desenho T2023-453-56-PE-HID-01-011_00 (Anexo VI.6). A partir desta estação de bombagem, uma tubagem de PEAD DN32 PN8 conduzirá o caudal até ao tanque separador de hidrocarbonetos.

A opção por um *skimmer* e uma estação de bombagem independentes é importante para minimizar os custos de manutenção, uma vez que qualquer substituição ou intervenção corretiva pode ser facilmente realizada em cada componente de forma independente, existindo igualmente uma maior variedade de equipamentos disponíveis para este efeito. Esta configuração não implica, contudo, um aumento significativo da complexidade do sistema.

O *skimmer* é constituído por um equipamento flutuante que se ajusta automaticamente ao caudal de bombagem, permitindo extrair a menor quantidade de água possível. Ou seja, o *skimmer* submerge mais para caudais de bombagem superiores e eleva-se para caudais inferiores.

Considerando as reduzidas velocidades de escoamento envolvidas, considera-se preferível a utilização de uma solução de flutuação livre, ligada diretamente ao talude através da linha de aspiração flutuante.



Figura 6.124 – Exemplo de *skimmer* flutuante autorregulável para remoção de hidrocarbonetos.

Na chegada da linha de aspiração ao talude do reservatório, deverá ser instalada uma estação de bombagem, constituída por uma câmara enterrada equipada com um sistema de bombagem dedicado.

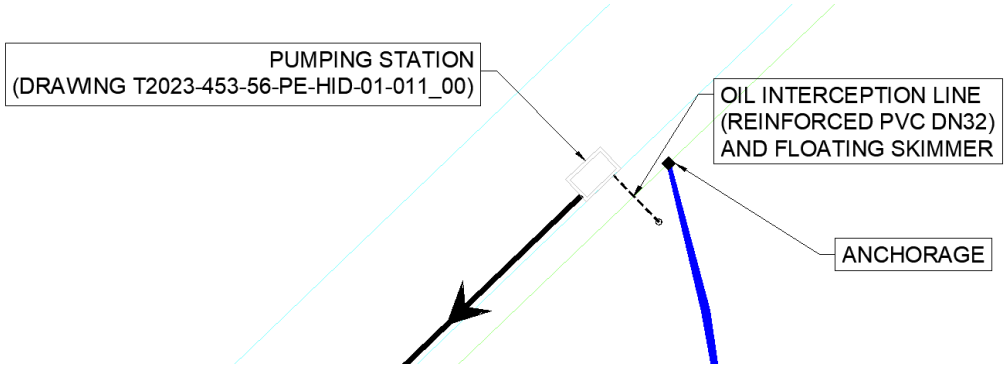


Figura 6.125 – Instalação do *skimmer*, das linhas de aspiração/bombagem e da estação de bombagem no RCS-01.

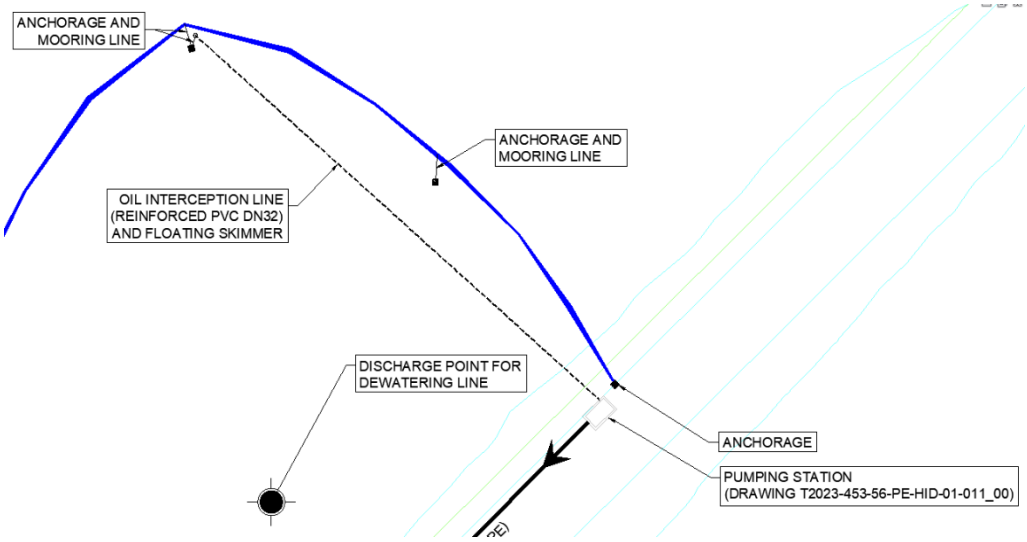


Figura 6.126 – Instalação do *skimmer*, das linhas de aspiração/bombagem e da estação de bombagem no RCS-02.

6.10.7 PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO

A instalação proposta foi concebida como um sistema passivo, requerendo apenas uma intervenção limitada por parte dos operadores durante o normal funcionamento da mina. Em condições normais de operação, os hidrocarbonetos livres migram naturalmente para a superfície da água, onde são progressivamente intercetados pelo sistema de barreiras flutuantes de contenção (*boom*). A barreira direciona os contaminantes flutuantes para a zona de recolha, localizada junto ao talude da albufeira.

O *skimmer* flutuante deverá permanecer normalmente em funcionamento sempre que sejam observados hidrocarbonetos na zona de recolha. Graças à sua configuração de vertedouro flutuante autoajustável, o *skimmer* regula automaticamente a espessura da camada superficial extraída em função do caudal de bombagem, minimizando, deste modo, a recuperação desnecessária de água e os custos energéticos associados.

A mistura óleo-água recuperada é encaminhada continuamente para o tanque separador de óleo, onde ocorre uma separação gravítica adicional. A água clarificada é devolvida à albufeira, enquanto a fase de hidrocarbonetos se acumula no compartimento de armazenamento até à sua remoção periódica por camião de vácuo.

O sistema foi deliberadamente concebido sem sistemas complexos de controlo automático, permitindo que as atividades de inspeção, operação e manutenção sejam realizadas de acordo com os procedimentos convencionais de manutenção da mina.

6.10.8 Tanque Separador de Óleo

O tanque separador de óleo destina-se a promover a separação adicional da mistura de óleo/água recolhida, através de um processo de decantação convencional. A capacidade do tanque foi definida tendo em consideração o volume de armazenamento necessário (aproximadamente 1 m³), bem como as tolerâncias necessárias para assegurar que o óleo armazenado não extravase do tanque.

O seu dimensionamento é apresentado na Figura 6.127 e detalhado no desenho T2023-453-56-PE-HID-01-010_00 do Anexo VI.6.

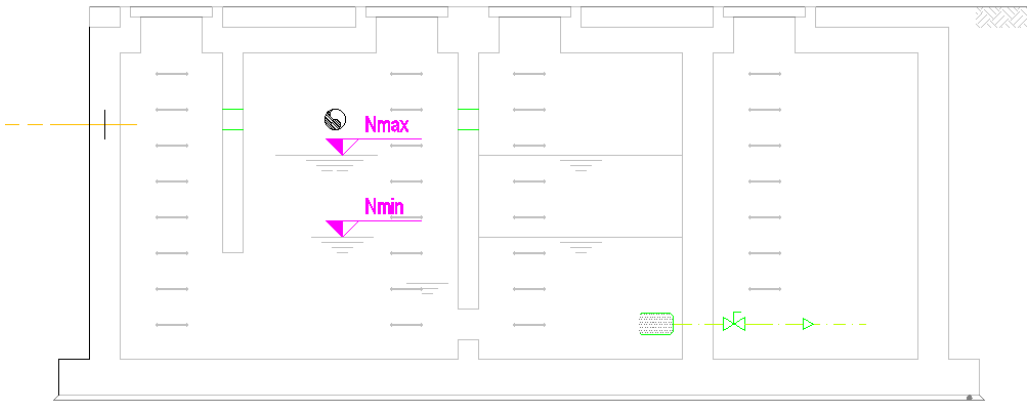


Figura 6.127 – Implementação do tanque separador de óleo.

A linha de descarga proveniente do tanque separador de óleo descarrega para uma linha de descarga em meia-cana de betão pré-fabricada (DN300), que, por sua vez, descarrega novamente para os próprios reservatórios.

6.10.9 Inspeção e Manutenção

Todos os separadores de hidrocarbonetos do Projeto, incluindo os associados às oficinas, às áreas de abastecimento de combustível e aos sistemas dos reservatórios RCS-01 e RCS-02, são mantidos permanentemente em condições de fácil acesso para inspeção, limpeza e manutenção periódica. Os acessos e as áreas de intervenção permanecem desimpedidos, assegurando a circulação e o posicionamento dos meios necessários à manutenção e à remoção dos resíduos, nomeadamente dos camiões de

aspiração. Nos sistemas dos RCS-01 e RCS-02, estas condições abrangem também o acesso aos equipamentos de bombagem, aos tanques separadores e aos pontos de intervenção nos skimmers e nas barreiras flutuantes.

O desempenho a longo prazo do sistema de tratamento de hidrocarbonetos depende, essencialmente, da realização de inspeções periódicas e de operações de manutenção preventiva de rotina. As inspeções regulares deverão incluir a verificação dos seguintes elementos:

- flutuação e alinhamento da barreira flutuante;
- integridade dos cabos de ancoragem e dos blocos de ancoragem em betão;
- acumulação de detritos flutuantes;
- estado do skimmer flutuante;
- funcionamento da unidade de bombagem;
- nível de água no tanque separador;
- volume de hidrocarbonetos acumulados e armazenados.

Após a ocorrência de eventos de precipitação significativa, deverão ser realizadas inspeções adicionais para verificar se a acumulação de detritos não compromete o desempenho da barreira flutuante nem restringe o movimento do *skimmer* flutuante. A frequência das inspeções poderá ser ajustada ao longo da operação da mina, em função das taxas de acumulação de hidrocarbonetos observadas.

Os hidrocarbonetos acumulados deverão ser removidos periodicamente através de um camião de aspiração, antes que a capacidade de armazenamento disponível no tanque separador seja significativamente reduzida.

Em síntese, prevê-se que o sistema de tratamento de hidrocarbonetos proposto permita uma interceção e recuperação eficazes dos hidrocarbonetos livres à superfície gerados durante as operações normais da mina. O sistema foi concebido para:

- impedir a migração de hidrocarbonetos livres em direção à descarga dos reservatórios;
- proporcionar o armazenamento temporário dos hidrocarbonetos recuperados, previamente à sua eliminação fora do local;
- minimizar a complexidade operacional e os requisitos de manutenção.

Embora as eficiências de remoção não possam ser expressas através de uma percentagem fixa, devido à variabilidade das características dos hidrocarbonetos e das condições de operação, a filosofia de dimensionamento adotada proporciona um método robusto e fiável para a gestão, a longo prazo, dos hidrocarbonetos livres à superfície no âmbito do sistema de gestão das águas da mina.

6.11 PROJETO DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA

O presente capítulo tem como objetivo a caracterização referente ao Projeto da linha aérea a 60 kV de interligação de Covas do Barroso ao do novo Ponto de Conexão (PC) Boticas (LN 60 kV 1572) e a ligação entre o Ponto de Conexão a Fonte de Mouro – LN 60 kV 1573. A linha aérea, a explorar à tensão nominal de 60 kV, integrará a RND - Rede Nacional de Distribuição de que a E-REDES - DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE, S.A. (E-REDES) é concessionária. Será ainda caracterizada a Linha de Média Tensão a 15 kV que irá alimentar os Serviços Auxiliares do PC Boticas.

Adicionalmente ao projeto da linha serão abordados a Subestação e o Posto de Corte cuja construção tem como finalidade garantir a alimentação elétrica ao empreendimento da Mina do Barroso, através da implementação das linhas Covas do Barroso – PC Boticas, PC Boticas – PC Fonte de Mouro e PT de Canedo – Alijó, que serão devidamente interligadas à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), sob a responsabilidade da concessionária E-REDES – Distribuição de Eletricidade, S.A. (E-REDES).

Para além da edificação de uma nova Subestação e do Posto de Corte em Boticas, o âmbito do projeto compreende igualmente a criação e a adaptação de um troço da linha existente. Esta intervenção inclui a execução de desvios com instalação de novos apoios, a reutilização e adaptação de apoios já existentes, bem como a implementação de um cabo de fibra ótica destinado a assegurar o sistema de telecomunicações associado à nova Subestação.

O empreendimento desenvolver-se-á nos Concelhos de Boticas e Ribeira de Pena; Freguesias de Covas de Barroso e Canedo.

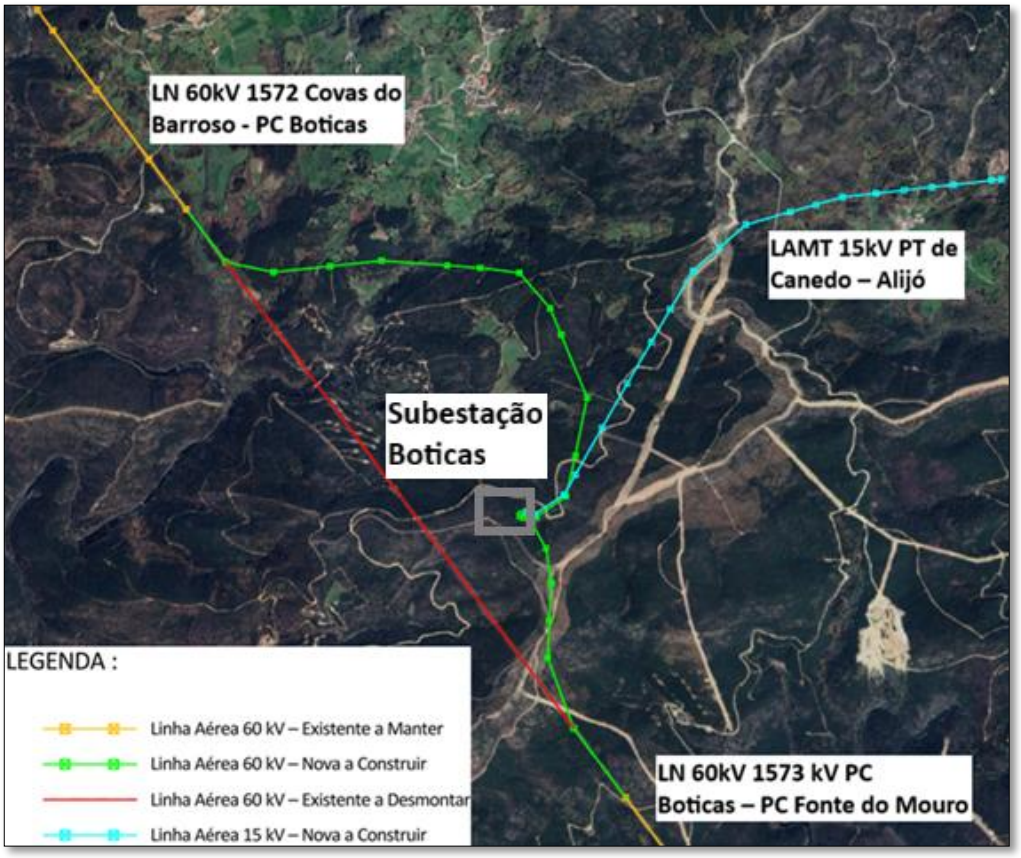


Figura 6.128 – Configuração Geral da Planta dos traçados das Linhas.

6.11.1 FONTES DE ENERGIA

Na elaboração do presente projeto foram tomadas em consideração todas as disposições regulamentares aplicáveis, designadamente as constantes do Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão (RSLEAT - DR 1/92).

Adicionalmente, são garantidas as disposições estabelecidas no Decreto-Lei nº 11/2018 de 15 de fevereiro, onde se encontram definidos os critérios para a minimização da exposição a campos eletromagnéticos a serem respeitados no planeamento e construção de novas infraestruturas elétricas de alta e muito alta tensão.

Em tudo o omisso serão observadas as Normas e Regras de Segurança em vigor.

6.11.1.1 LINHA DE ALTA TENSÃO

A construção da linha de Alta Tensão contempla dois troços, com o objetivo de assegurar a interligação do novo Posto de Corte (PC) de Boticas à Rede Elétrica de Serviço Público:

- Troço LN 60 kV 1572 – Covas do Barroso – PC Boticas;

- Troço LN 60 kV 1573 - PC Boticas e o PC- Fonte de Mouro.

  As linhas a construir abrangerão os concelhos de Boticas e Ribeira de Pena, Freguesias Covas do Barroso e Canedo.

  A Tabela 6.78 e a Tabela 6.79 apresentam as principais características do troço de linha a desenvolver.

Tabela 6.78 – Características Principais da Linha de Alta Tensão - LN 60kV 1572 Covas do Barroso - PC Boticas.

Empreendimento:	LN 60kV 1572 Covas do Barroso - PC Boticas
Tensão (kV)	60
Potência (MVA)	40
Frequência de rede (Hz)	50
Extensão total (km)	3,73
Faixa de servidão (m):	25
Tipo de cabo condutor:	ACSR 160 (PARTRIDGE)
Tipo de cabo guarda:	OPGW 48FO_25kA
Nº de circuito:	1
Nº de condutores por fase:	1
Nº de cabos guarda:	1
Quantidade de apoios a implantar:	15 + Pórtico
Quantidade de apoios a desmantelar:	1
Volume de Escavação (m^3)	529,34
Volume de Betão (m^3)	123,93
Área a ser ocupada dos Apoios (m^2)	218,85

Tabela 6.79 – Características Principais da Linha de Alta Tensão - LN 60kV 1573 PC Boticas – PC Fonte de Mouro.

Empreendimento:	LN 60kV 1573 kV PC Boticas – PC Fonte de Mouro
Tensão (kV)	60
Potência (MVA)	40
Frequência de rede (Hz)	50
Extensão total (km)	11,25
Faixa de servidão (m):	25
Tipo de cabo condutor:	ACSR 160 (PARTRIDGE)
Tipo de cabo guarda:	OPGW 48FO_25kA
Nº de circuito:	1
Nº de condutores por fase:	1
Nº de cabos guarda:	1
Quantidade de apoios a implantar:	10 + Pórtico

Empreendimento:	LN 60kV 1573 kV PC Boticas – PC Fonte de Mouro
Quantidade de apoios a desmantelar:	8
Volume de Escavação (m³)	392,93
Volume de Betão (m³)	92,37
Área a ser ocupada dos Apoios (m²)	165,0

TRAVESSIAS

As travessias constituem elementos críticos no desenvolvimento de linhas de alta tensão, uma vez que envolvem a passagem da linha sobre infraestruturas existentes ou condicionantes naturais do terreno. A sua correta identificação, análise e dimensionamento são fundamentais para garantir a segurança da instalação, o cumprimento da legislação aplicável e a minimização de impactos sobre o meio envolvente.

Nesta secção apresentam-se as principais travessias identificadas ao longo do traçado, bem como os critérios técnicos e normativos considerados no seu projeto, assegurando a compatibilização com as condições locais e a integridade das infraestruturas afetadas.

TRAVESSIAS DE AUTOESTRADAS E ESTRADAS NACIONAIS

No presente projeto não se verifica qualquer travessia com nenhuma autoestrada ou estrada nacional do troço LN 60 kV 1572 – Covas do Barroso – PC Boticas. No entanto, verifica-se o cruzamento do troço de ligação entre o novo PC Boticas e o PC Fonte de Mouro, tal como apresentado na Tabela 6.80.

Tabela 6.80 – Zona de cruzamento de infraestruturas - LN 60 kV 1573 PC Boticas e o PC Fonte de Mouro.

Vão	Estrada	Quilometragem	Distância dos Apoios à Zona de Estrada
14-15	N312	Não identificada	AP. 14 -> 315,1 mts; AP. 15 -> 14,9 mts
15-16	N312	Não identificada	AP. 15 -> 219 mts; AP. 16 -> 185 mts

Todos os apoios (existentes) indicados nesta tabela, cumprem as disposições regulamentares impostas pelos Art. 91º e Art. 92º do RSLEAT. Importa referir que a distância medida é obtida a partir da extremidade dos apoios ao limite da zona de estrada.

TRAVESSIAS COM CURSOS DE ÁGUA

No que respeita a cruzamentos com cursos de água, a Tabela 6.81 detalha os cruzamentos do troço LN 60kV 1572, bem como a distância dos apoios ao limite do leito do curso de água.

Tabela 6.81 – Cruzamento do troço LN 60kV 1572 com Cursos de Água.

Vão	Curso de Água	Altura de Mastreação (m)	Distância dos Apoios ao Limite do Leito do Curso de Água
1(EXIST) – 2 (EXIST)	Rio Covas	---	AP. 1(EXIST) -> 13,67 mts; AP. 2 (EXIST) -> 96,03 mts
5(EXIST) – 06	Ribeiro	---	AP. 5(EXIST) -> 57,2 mts; AP.6 -> 203,31 mts
06 – 07	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 06 -> 44,9 mts; AP.07 -> 157,52 mts
07 – 08	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 07 -> 86,68 mts; AP.08 -> 132,36 mts
09 – 10	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 09 -> 149,4 mts; AP.10 -> 74,84 mts
12 – 13	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 12 -> 99,82 mts; AP.13 -> 92,59 mts
14 – 15	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 14 -> 122,19 mts; AP.15 -> 100,24 mts
15 – 16	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 15 -> 68,99 mts; AP.16 -> 49,06 mts
16 – 17	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 16 -> 88,1 mts; AP.17-> 36,06 mts
18 – 19	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 18 -> 63,1 mts; AP.19-> 84,7 mts

Relativamente ao troço LN 60kV 1573, o cruzamento com cursos de água detalha-se na Tabela 6.82.

Tabela 6.82 – Cruzamento do troço LN 60kV 1573 com Cursos de Água.

Vão	Curso de Água	Altura de Mastreação (m)	Distância dos Apoios ao Limite do Leito do Curso de Água
11 – 12	Rio Bessa	---	AP. 11 -> 214 mts; AP.12 -> 197,71 mts
24 – 25	Rio Tâmega	---	AP. 24 -> 125 mts; AP.25 -> 227 mts
33/12 (PAR) – 34/11 (PAR)	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 33/12 (PAR) -> 146,42 mts; AP. 34/11 (PAR) -> 141,33 mts
34/11 (PAR) – 35/10 (PAR)	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 34/11 (PAR) -> 136,4 mts; AP. 35/10 (PAR) -> 135,26 mts
39/6 (PAR) – 40/5 (PAR)	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 39/6 (PAR) -> 402,92 mts; AP. 40/5 (PAR) -> 84,35 mts
40/5 (PAR) – 41/4 (PAR)	SEM - DESIGNAÇÃO	---	AP. 40/5 (PAR) -> 361,45 mts; AP. 41/4 (PAR) -> 201,65 mts

As distâncias indicadas são superiores às definidas como limite da faixa do Domínio Hídrico (10 metros a partir da linha que limita o leito das águas não navegáveis nem flutuáveis, ou 30 metros a partir da linha que limita o leito das águas navegáveis). Nestes termos, de acordo com o disposto na Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos (Lei n.º 54/2005, de 15 de novembro), na Lei da Água (Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro) e no Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de Maio, o atravessamento de linhas de água por linhas aéreas de média ou alta tensão, por si só, não constitui uma utilização dos recursos hídricos, pelo que não se encontra sujeita à emissão de título de utilização dos recursos hídricos.

CRUZAMENTOS COM LINHAS DE MÉDIA TENSÃO

A Tabela 6.83 identifica o cruzamento do troço LN 60 kV 1572 com a linha de média tensão, o vão, a distância vertical entre linhas e as distâncias horizontais aos apoios.

Não se verificam cruzamentos com Linhas de Média Tensão e o troço identificado como LN 60kV 1573.

Tabela 6.83 – Cruzamento do troço LN 60kV 1572 com Linha de Média Tensão.

Vão	Linha de Média Tensão	Distância Vertical (m)	Distância Mínima Horizontal dos Apoios
17 – 18	LN 15 kV P Serv. Auxiliares PC Boticas	9,1	AP. 17 -> 136,05 mts; AP.18 -> 34,78 mts

CRUZAMENTO COM LINHAS DE MUITO ALTA TENSÃO

O projeto não apresenta cruzamentos com nenhuma linha de muito alta tensão em nenhum dos troços estudados.

CRUZAMENTO COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÕES

O troço LN 60 kV 1572 cruza linhas de telecomunicações. A Tabela 6.84 apresenta os vãos, as distâncias entre linhas e as distâncias horizontais dos apoios ao ponto de cruzamento.

Tabela 6.84 - Cruzamento do troço LN 60 kV 1572 com Linhas de Telecomunicações.

Vão	Distância entre Linhas (m)	Distância Mínima Horizontal ao ponto de Cruzamento
18 – 19	10	AP. 18 -> 148,6 mts; AP.19 -> 150,37 mts
31/14 (PAR) – 32/13 (PAR)	15,1	AP. 31/14 (PAR) -> 144,83 mts; AP. 32/13 (PAR) -> 10,23 mts

Quanto ao troço LN kV 1573 cruza com linhas de telecomunicações estando os vãos, os ângulos que os traçados fazem entre si, bem como as distâncias do ponto de cruzamento aos apoios descritos na Tabela 6.85.

Tabela 6.85 – Cruzamento do troço LN 60kV 1573 com Linhas de Telecomunicações.

Vão	Distância entre Linhas (m)	Distância Mínima Horizontal ao ponto de Cruzamento
4(EXIST) – 5(exist)	8,9	4(EXIST) -> 49,3 mts; 5 (EXIST)-> 205,95 mts

VERIFICAÇÃO DA DISTÂNCIA ENTRE CONDUTORES

Em todos os vãos desta linha, os condutores nus serão estabelecidos por forma a não poderem aproximar-se perigosamente atendendo às oscilações provocadas pelo vento, tendo sido verificada a distância entre cabos, para linhas de 3ª classe, conforme o ponto 1 do Artº 31º do RSLEAT. Os resultados do cálculo estão apresentados no Anexo VI.7 – Projeto Elétrico.

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREA INTEGRADAS NA RESERVA AGRÍCOLA NACIONAL (RAN)

Tal como é possível observar na Figura 6.129, não se prevê afetação de área em zona de Reserva Agrícola Nacional pelos troços a construir, de referir que o troço LN 60kV 1573 irá utilizar os apoios já existentes no local e que por sua também não está prevista a afetação em zona de RAN.

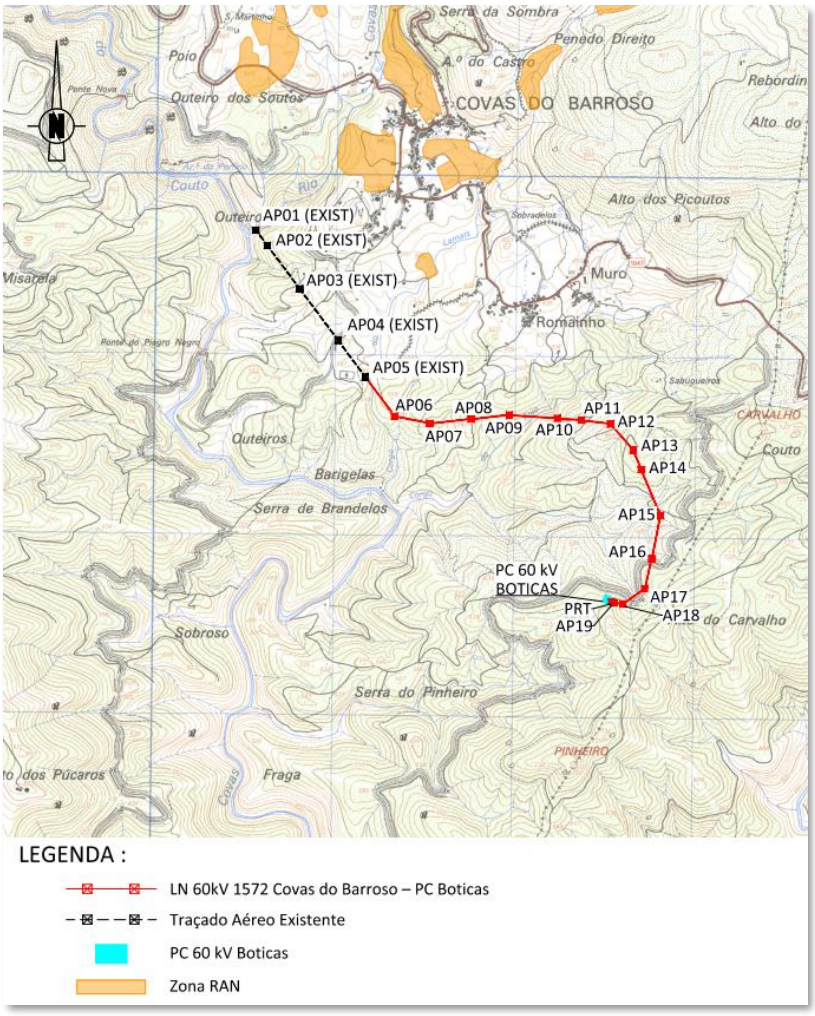


Figura 6.129 – Planta de Condicionantes da LN 60kV 1572 - Zona RAN.

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS INTEGRADAS NA RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL (REN)

Parte do percurso da linha transita em áreas integradas na Reserva Ecológica Nacional (REN), indicando-se as áreas ocupadas pelos apoios que se pretendem implantar, assim como as suas coordenadas georreferenciadas, conforme representado na Figura 6.130, na Tabela 6.86 e Tabela 6.87.

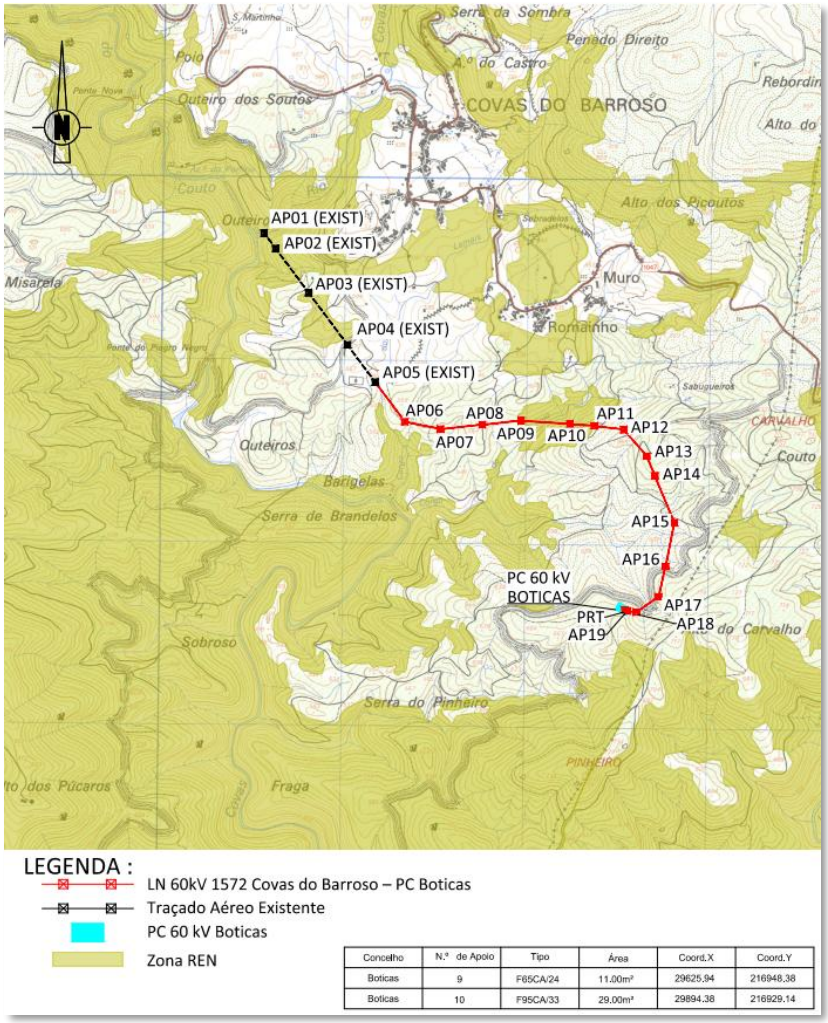


Figura 6.130 – Planta de Condicionantes da LN 60kV - Zona REN.

Tabela 6.86 – Localização dos Apoios a Implementar e que integram uma Zona REN – LN 60kV 1572.

Apoio		Coordenadas (Datum 73)		Área Ocupada
N.º	**Tipo**	**X (m)**	**Y (m)**	**m²**
Pórtico	Portico	28204,11	217965,20	-
1 (EXIST)	RD1	28220,15	217975,40	-
2 (EXIST)	GR3	28283,148	217885,59	-
3 (EXIST)	GS2	28464,387	217643,07	-
9	F65CA/24	29625,943	216948,38	11
10	F95CA/33	29849,745	216932,33	29

Tabela 6.87 – Localização dos Apoios a Implementar e que integram uma Zona REN – LN 60kV 1573.

Apoio		Coordenadas (Datum 73)		Área ocupada
Nº	Tipo	X[m]	Y[m]	[m2]
4	F95CA/18	30319,279	215630,577	9,9
6	F65CA/18	30303,727	215325,049	7,3
7	F65CA/21	30358,130	215177,663	8,8
8	F95CA/30	30410,521	215035,731	24,8
9	F95CA/27	30530,855	214874,822	21,3
10 (Antigo AP14)	GS8	30619,813	214754,801	-
11	RD2	30877,665	214408,771	-
12	GS2	31125,720	214075,858	-
13	GS8	31304,368	213836,096	-
14	GS6	31451,350	213638,833	-
22	GS6	32873,365	211730,359	-
23	RD5	33043,650	211501,82	-
24	RD1	33331,439	211122,671	-

É salvaguardado o exposto no n.º 3 da alínea d) da secção II e III do Anexo VII do RJREN, sendo que durante os trabalhos serão tomadas medidas para não afetar significativamente a estabilidade ou o equilíbrio ecológico do sistema biofísico e dos valores naturais em presença tais como, a intervenção estritamente nos locais de implantação dos apoios; a reposição de terras no local de escavação das fundações e revestimento com terra vegetal junto aos apoios; e a não afetação dos recursos hídricos superiores e subterrâneos. Serão ainda tomadas medidas para preservar a qualidade das águas, através de um cuidado manuseamento da maquinaria utilizada com vista a salvaguardar qualquer tipo de derrames para o solo.

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS INTEGRADAS NA REDE NATURA 2000

Os apoios desta linha não serão estabelecidos em zonas integradas na REDE NATURA 2000.

EQUIPAMENTOS

Este capítulo apresenta os equipamentos previstos para a instalação elétrica, descrevendo as suas características e enquadramento no projeto.

CABOS

Para a execução do projeto, foram selecionados os seguintes cabos principais:

- Condutor: ACSR 160.
- Cabo de guarda: OPGW 48FO-A3/SA1A-25.0kA.

As principais características técnicas dos cabos a serem utilizados estão detalhadas no Anexo VI.7 – Projeto Elétrico.

ISOLAMENTO

O isolamento dos condutores na fixação às armações dos apoios realizar-se-á através de cadeias de amarração ou de suspensão, equipadas com isoladores de cadeia, em fieira simples de 6 elementos, exceto nos casos indicados nas peças desenhadas (Anexo VI.7 – Projeto Elétrico). Todas as cadeias têm hastes de descarga fixas, em ambos os lados.

As cadeias de isoladores serão constituídas pelos seguintes elementos:

a) Nível de poluição médio:

Isolamento normal.....6xU70BS+HA1+HA2

Isolamento reforçado .....6xU70BS+HA1+HA2

AMORTECEDORES DE VIBRAÇÕES EÓLICAS

Se necessário utilizar-se-ão amortecedores anti vibratórios, tipo "*Stockbridge*", de acordo com o critério de aplicação definido no Anexo VI.7 – Projeto Elétrico.

APOIOS E ARMAÇÕES

Serão utilizados postes metálicos, dos tipos indicados nos elementos anexos e no perfil e planta parcelar.

O cálculo mecânico dos postes metálicos que integra o Projeto Tipo de Postes Metálicos da série "F" para linhas Aéreas de MT/AT da METALOGALVA-IRMÃOS SILVA LDA., aprovado em 3 de Março de 1994 pela DGE, ou outros que integram projetos tipo existentes já licenciados.

FUNDAÇÕES

Apoios com postes metálicos: executadas segundo o projeto tipo deste tipo de apoios.

LIGAÇÕES À TERRA

Todos os apoios desta linha serão ligados individualmente à terra.

BALIZAGEM AERONÁUTICA

A utilização de equipamento de sinalização aeronáutica resulta das disposições da Circular de Informação Aeronáutica (CIA 10/03 de 06 de Maio) do Instituto Nacional de Aviação Civil.

BALIZAGEM DIURNA

No cabo de guarda a sinalização será feita através de bolas de sinalização, alternadamente de cor branca e laranja internacional (ou vermelho), com diâmetro mínimo de 600 mm dispostas conforme representado no perfil da linha.

Os apoios serão pintados nas cores branco e laranja internacional (ou vermelho), em faixas alternadas com altur1a de 1/7 da altura do apoio fora do solo, e nas travessias de Auto-Estradas, IC's e IP's, em três faixas, desde o topo da cabeça até 6 m abaixo do condutor fixado em posição inferior. Os vãos e apoios a sinalizar são os identificados no perfil e planta parcelar.

BALIZAGEM NOTURNA

Nos apoios será colocado dispositivo luminoso no topo. Serão também sinalizados os apoios indicados no perfil e planta parcelar.

SINALIZAÇÃO AVIFAUNA

Não se verificam necessidade de aplicação destes dispositivos para a região.

CÁLCULO ELÉTRICO

Nesta secção é apresentado o cálculo elétrico, de forma individualizada, para os troços LN 60 kV 1572 – Covas do Barroso – PC Boticas e LN 60 kV 1573 – PC Boticas – Fonte de Mouro.

LN 60 KV 1572: COVAS DO BARROSO – PC BOTICAS

INTENSIDADE DE CORRENTE

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\,x\,V} = \frac{40\,000}{\sqrt{3}\,x\,60} = 384{,}9\ [A]$$

,em que P é a potencia da linha.

A densidade de corrente é,

$$d = \frac{I}{S} = \frac{384{,}9}{157{,}92} = 2{,}44\ [\frac{A}{mm^2}]$$

PERDAS DE ENERGIA

A resistência óhmica, por fase, é:

$$R = R_{cond.}\ x\ Comprimento\ da\ linha = 0{,}212\ x\ 3{,}7275 = 0{,}79023\ [\Omega]$$

A perda de energia, por resistência óhmica é:

$$P = 3\ x\ R\ x\ I^2 = 3\ x\ 0{,}79023\ x\ 384{,}9^2 = 351{,}2\ [kW]$$

ou seja,

$$\frac{P_{perdas}}{P_{linha}}\ x\ 100\ [\%] = \frac{351{,}2}{40000\ x\ 0{,}9}\ x\ 100[\%] = 0{,}98\ [\%]$$

, da potência transportável.

QUEDA DE TENSÃO

O coeficiente de auto-indução médio é calculado através da equação,

$$L = \left(0{,}5 + 4{,}605\ x\ log\left(\frac{D}{a}\right)\ x\ 10^{-4}\right)\ [\frac{H}{Km}]$$

em que:

$$a = \frac{d}{2} = \frac{16{,}32}{2} = 8.16\ [mm]$$

e,

$$D = \sqrt[3]{D_{1-2}\ x\ D_{1-3}\ x\ D_{2-3}} \begin{cases} D_{F95CA} = 4{,}00\ [m] \\ D_{F65CA} = 3{,}75\ [m] \\ D_{RD1} = 4{,}08\ [m] \\ D_{GR1} = 4{,}99\ [m] \\ D_{GS2} = 4{,}99\ [m] \\ D_{GS6} = 4{,}99\ [m] \\ D_{GS7} = 4{,}99\ [m] \end{cases}$$

obtemos,

$$\begin{cases} L_{F95CA} = 0{,}000828\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{F65CA} = 0{,}000816\ \left[\frac{H}{Km}\right] \\ L_{RD1} = 0{,}00083\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{GR1} = 0{,}00087\ \left[\frac{H}{Km}\right] \\ L_{GS2} = 0{,}00087\ \left[\frac{H}{Km}\right] \\ L_{GS6} = 0{,}00087\ \left[\frac{H}{Km}\right] \\ L_{GS7} = 0{,}00087\ [\frac{H}{Km}] \end{cases}$$

em que,

d - representa o diâmetro do condutor

D_1 - representa o condutor da 1ª. fase - braço superior do poste.

D_2 - representa o condutor da 2ª. fase - braço médio do poste.

D_3 - representa o condutor da 3ª. fase - braço inferior do poste.

então:

$$X = \sum (L\ x\ \omega)\ [\Omega]$$

,em que L é a indutância [H/km] e ω é a constante 314,16 [rad/s]

$$\begin{cases} X_{F95CA} = 0.2562\ [\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{F65CA} = 0.2601\ \left[\frac{\Omega}{Km}\right] \\ X_{RD1} = 0.26062\ \left[\frac{\Omega}{Km}\right] \\ X_{GR1} = 0.27318\ \left[\frac{\Omega}{Km}\right] \\ X_{GS2} = 0.27318\ \left[\frac{\Omega}{Km}\right] \\ X_{GS6} = 0.27318\ \left[\frac{\Omega}{Km}\right] \\ X_{GS7} = 0.27318\ \left[\frac{\Omega}{Km}\right] \end{cases}$$

Assim,

$$X = 0{,}2562 + 0{,}2601 + 0.26062 + 0.27318 + 0.27318 + 0.27318 + 0.27318 = 1{,}86964\ [\Omega]$$

A queda de tensão por fase será:

$$\Delta V = V - V_0 = \sqrt{3}\ x\ I\ x\ (R\ x\ \cos\varphi + X\ x\ \sin\varphi) = 666{,}9\ [V]$$

ou seja:

$$Queda\ de\ tensão\ [\%] = \frac{\Delta V}{V_0}\ x\ 100\ [\%] = 1{,}70\ [\%]$$

da tensão de serviço.

CAMPO ELÉTRICO E CAMPO MAGNÉTICO

O Conselho Europeu emitiu, em 12 de julho de 1999, uma recomendação sobre os limites de exposição do público em geral aos campos eletromagnéticos, na gama de frequências de 0 Hz – 300 GHz (Doc. Refª 1999/519/CE), e que foi ratificada por Portugal. No ponto 10 desta recomendação faz-se referência à adoção pelo Comité Científico da Comissão das recomendações do ICNIRP (*International Commission on Non-Ionising Radiation Protection*).

São garantidas as disposições estabelecidas no **Decreto-Lei nº 11/2018** de 15 de fevereiro, onde se encontram definidos os critérios para a minimização da exposição a campos eletromagnéticos a serem respeitados no planeamento e construção de novas infraestruturas elétricas de alta e muito alta tensão.

De acordo com a Portaria n.º 1421/2004, 23 de novembro, publicada no Diário da República – I Série B, n.º 275, os níveis de referência da exposição aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (0 Hz – 300GHz, valores eficazes não perturbados), apresentam-se na Tabela 6.88.

Tabela 6.88 – Limites de Exposição a Campos Elétrico e Magnéticos a 50 Hz – LN 60kV 1572.

Características de exposição	Campo Elétrico [KV/m] (RMS)	Densidade de fluxo magnético (mT) (RMS)
Público Permanente	5	100

CÁLCULO DO CAMPO ELÉTRICO

Foi efetuado o cálculo do campo elétrico no ponto em que a distância dos condutores inferiores ao solo é mais baixa, tendo-se obtido o valor 0,058kV/m, a 1 m do solo.

Todos os valores, estão dentro dos limites apresentados na tabela anterior (Tabela 6.88).

CÁLCULO DO CAMPO MAGNÉTICO

Foi efetuado o cálculo do campo magnético no ponto em que a distância dos condutores inferiores ao solo é mais baixa, tendo-se obtido o valor de 0,77 µT, a 1 m do solo.

Todos os valores, estão dentro dos limites apresentados na Tabela 6.88.

CÁLCULO MECÂNICO

CONDUTORES E CABO DE GUARDA

Os condutores e cabo de guarda serão instalados de forma que não ultrapassem, nas condições mais desfavoráveis, os valores indicados nos perfis da linha.

Os resultados do cálculo estão apresentados no Anexo VI.7 – Projeto Elétrico.

APOIOS

Para o cálculo das ações sobre os apoios tomaram-se em consideração as prescrições regulamentares, nomeadamente, as definidas no RSLEAT, artigos 56º a 62º. Serão instalados apoios do tipo: F e de betão

Os esforços apresentados foram calculados tendo-se desprezado a ação do vento sobre as armações. Com base no exposto, obtiveram-se os resultados a seguir indicados na Tabela 6.89.

Tabela 6.89 – Verificação da Estabilidade dos Apoios.

Apoios			Cargas					
			Esforços Máximos			Esforços		
N.º	Altura (m)	Tipo	Transversal Fy (daN)	Longitudinal Fx (daN)	Vertical Fz (daN)	Transversal Fy (daN)	Longitudinal Fx (daN)	Vertical Fz (daN)
Pórtico (EXIST)	8,0	Pórtico	-	-	-	157	860	235
1 (EXIST)	12,5	RD1	5660	5660	4282	2861	1621	209
2 (EXIST)	18,6	GR3	16286	16286	3237	2007	3536	1614
3 (EXIST)	14,3	GS2	3142	3142	3254	2976	34	2536
4 (EXIST)	29,3	GS7	2937	2937	2565	2750	8	2234
5 (EXIST)	26,3	GS6	2937	2937	2565	2329	0	1522
6	24,6	F95CA	9021	8456	2695	6164	541	1112
7	24,6	F95CA	9021	8456	2695	3716	95	717
8	18,7	F65CA	6375	6375	2750	1987	34	1584
9	24,7	F65CA	6375	6375	2750	3029	33	1634
10	33,6	F95CA	9021	8456	2695	1812	179	464
11	21,7	F65CA	6375	6375	2750	1862	74	826
12	27,6	F95CA	6375	6375	2750	5589	243	2140
13	24,7	F65CA	6375	6375	2750	3470	38	2313
14	27,7	F65CA	6375	6375	2750	1768	73	945
15	18,6	F95CA	9021	8456	2695	4675	662	517
16	21,7	F65CA	6375	6375	2750	1082	87	419
17	27,6	F95CA	9021	8456	2695	1448	114	1044
18	33,6	F95CA	9021	8456	2695	5064	137	1909
19	18,6	F95CA	9021	8456	2695	3631	2633	998
20	15,6	F95CA	9021	8456	2695	736	2377	274
PRT (P504)	9,6	Pórtico	6375	6375	2750	86	186	61

LN 60 KV 1573: PC BOTICAS – PC FONTE DE MOURO

INTENSIDADE DE CORRENTE

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\ x\ V} = \frac{40\ 000}{\sqrt{3}\ x\ 60} = 384{,}9\ [A]$$

,em que P é a potencia da linha.

A densidade de corrente é,

$$d = \frac{I}{S} = \frac{384{,}9}{157{,}92} = 2{,}44\ [\frac{A}{mm^2}]$$

PERDAS DE ENERGIA

A resistência óhmica, por fase, é:

$$R = R_{cond.}\ x\ Comprimento\ da\ linha = 0{,}212\ x\ 11249{,}1 = 2{,}38\ [\Omega]$$

A perda de energia, por resistência óhmica é:

$$P = 3\ x\ R\ x\ I^2 = 3\ x\ 2{,}4153\ x\ 384{,}9^2 = \ 1059\ [kW]$$

ou seja,

$$\frac{P_{perdas}}{P_{linha}}\ x\ 100\ [\%] = \frac{133{,}33}{40000\ x\ 0{,}9}\ x\ 100[\%] = 2{,}94\ [\%]$$

, da potência transportável.

QUEDA DE TENSÃO

O coeficiente de auto-indução médio é calculado através da equação,

$$L = \left(0{,}5 + 4{,}605\ x\ log\left(\frac{D}{a}\right)\ x\ 10^{-4}\right)\ [\frac{H}{Km}]$$

em que:

$$a = \frac{d}{2} = \frac{16{,}32}{2} = 8.16\ [mm]$$

e,

$$D = \sqrt[3]{D_{1-2}\ x\ D_{1-3}\ x\ D_{2-3}} \begin{cases} D_{F95CA} = 4{,}00\ [m] \\ D_{F65CA} = 3{,}75\ [m] \\ D_{F30CD} = 3{,}77\ [m] \\ D_{F65CD} = 3{,}86\ [m \\ D_{F95CD} = 4{,}46\ [m] \\ D_{F165CD} = 4{,}46\ [m] \\ D_{F165CD(meios\ braços)} = 5{,}30[m] \\ D_{RD1} = 4{,}08\ [m] \\ D_{RD2} = 4{,}08\ [m] \\ D_{RD4} = 4{,}08\ [m] \\ D_{RD5} = 4{,}08\ [m] \\ D_{DR6} = 4{,}08\ [m] \\ D_{GS2} = 4{,}99\ [m] \\ D_{GS5} = 4{,}99\ [m] \\ D_{GS6} = 4{,}99\ [m] \\ D_{GS7} = 4{,}99\ [m] \\ D_{GS8} = 4{,}99\ [m] \end{cases}$$

obtemos,

$$\begin{cases} L_{F95CA} = 0{,}000828\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{F65CA} = 0{,}000816\ \left[\frac{H}{Km}\right] \\ L_{F30CD} = 0{,}000817\ \left[\frac{H}{Km}\right] \\ L_{F65CD} = 0{,}000821\ \left[\frac{H}{Km}\right] \\ L_{F95CD} = 0{,}00085\ \left[\frac{H}{Km}\right] \\ L_{F165CD} = 0{,}00085\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{F165CD(meios\ braços)} = 0{,}000885\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{RD1} = 0{,}00083\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{RD2} = 0{,}00083\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{RD4} = 0{,}00083\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{RD5} = 0{,}00083\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{GS2} = 0{,}00087\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{GS5} = 0{,}00087\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{GS6} = 0{,}00087\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{GS7} = 0{,}00087\ [\frac{H}{Km}] \\ L_{GS8} = 0{,}00087\ [\frac{H}{Km}] \end{cases}$$

em que,

d - representa o diâmetro do condutor

D_1 - representa o condutor da 1ª. fase - braço superior do poste.

D_2 - representa o condutor da 2ª. fase - braço médio do poste.

D_3 - representa o condutor da 3ª. fase - braço inferior do poste.

então:

$$X = \sum (L\ x\ \omega)\ [\Omega]$$

,em que L é a indutância [H/km] e ω é a constante 314,16 [rad/s]

$$\begin{cases} X_{F65CA} = 0.2601\ \left[\frac{\Omega}{Km}\right] \\ X_{F95CA} = 0.2562\ \left[\frac{\Omega}{Km}\right] \\ X_{F30CD} = 0.2565[\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{F65CD} = 0.2578\ [\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{F95CD} = 0.2669\ \left[\frac{\Omega}{Km}\right] \\ X_{F165CD} = 0.2669\ [\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{F165CD(meios\ braços)} = 0.2777\ [\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{RD1} = 0.26062\ [\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{RD2} = 0.26062\ [\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{RD4} = 0.26062\ \left[\frac{\Omega}{Km}\right] \\ X_{RD5} = 0.26062\ [\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{GS2} = 0.27318\ [\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{GS5} = 0.27318\ [\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{GS6} = 0.27318\ [\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{GS7} = 0.27318\ [\frac{\Omega}{Km}] \\ X_{GS8} = 0.27318\ [\frac{\Omega}{Km}] \end{cases}$$

Assim,

$$X = 0{,}2601 + 0{,}2562 + 0{,}2565 + 0{,}2578 + 0{,}2669 + 0{,}2669 + 0{,}2777 + 0{,}26062 + 0{,}26062 + 0{,}26062 + 0{,}26062 + 0{,}27318 + 0{,}27318 + 0{,}27318 + 0{,}27318 + 0{,}27318 = 4{,}25048\ [\Omega]$$

A queda de tensão por fase será:

$$\Delta V = V - V_0 = \sqrt{3}\, x\, I\, x\, (R\, x\, \cos\varphi + X\, x\, \sin\varphi) = 2666\ [V]$$

ou seja:

$$Queda\ de\ tensão\ [\%] = \frac{\Delta V}{V_0}\, x\, 100\ [\%] = 4{,}44\ [\%]$$

da tensão de serviço.

CAMPO ELÉTRICO E CAMPO MAGNÉTICO

Á semelhança do que é descrito anteriormente e de acordo com a Portaria n.º 1421/2004, 23 de novembro, publicada no Diário da República – I Série B, n.º 275, os níveis de referência da exposição aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (0 Hz – 300GHz, valores eficazes não perturbados), são apresentado na Tabela 6.88.

CÁLCULO DO CAMPO ELÉTRICO

Foi efetuado o cálculo do campo elétrico no ponto em que a distância dos condutores inferiores ao solo é mais baixa, tendo-se obtido o valor 1,11 kV/m, a 1 m do solo.

Todos os valores, como se verifica, estão dentro dos limites apresentados na tabela anterior (Tabela 6.88).

CÁLCULO DO CAMPO MAGNÉTICO

Foi efetuado o cálculo do campo magnético no ponto em que a distância dos condutores inferiores ao solo é mais baixa, tendo-se obtido o valor de 12,052 µT, a 1 m do solo.

Todos os valores, como se verifica, estão dentro dos limites apresentados na Tabela 6.88.

6.11.1.2 LINHA DE ALTA E MÉDIA TENSÃO 15 KV

A linha de 15 kV PT de Canedo – Alijó terá origem no seccionamento da linha pública existente, a partir da qual estabelecerá a ligação à Subestação de Boticas, destinada à alimentação dos serviços auxiliares do Posto de Corte. As características gerais desta linha encontram-se apresentadas na Tabela 6.90 e a sua localização pode ser consultada na Figura 6.131.

Tabela 6.90 – Características PT de Canedo – Alijó.

Empreendimento:	LAMT 15kV PT de Canedo – Alijó
Tensão (kV)	15
Frequência de rede (Hz)	50
Extensão total (km)	2,586
Faixa de servidão (m):	15
Tipo de cabo condutor:	ACSR 50
Nº de circuito:	1
Nº de condutores por fase:	1
Quantidade de apoios a implantar:	22



Figura 6.131 – Planta de Localização da LN 15kV.

TRAVESSIAS

O projeto da Linha de Alta e Média Tensão de 15 kV não apresenta qualquer travessia ou cruzamento com Estradas Nacionais, Linhas de Telecomunicações ou Caminhos Ferroviários.

No entanto, prevê-se que haja afetação de área em zona de Reserva Agrícola Nacional (Apoio n.º 5) e de Reserva Ecológica Nacional (Apoios n. 1,2, 7 e 8), tal como demonstrado na Figura 6.132 e Figura 6.133.

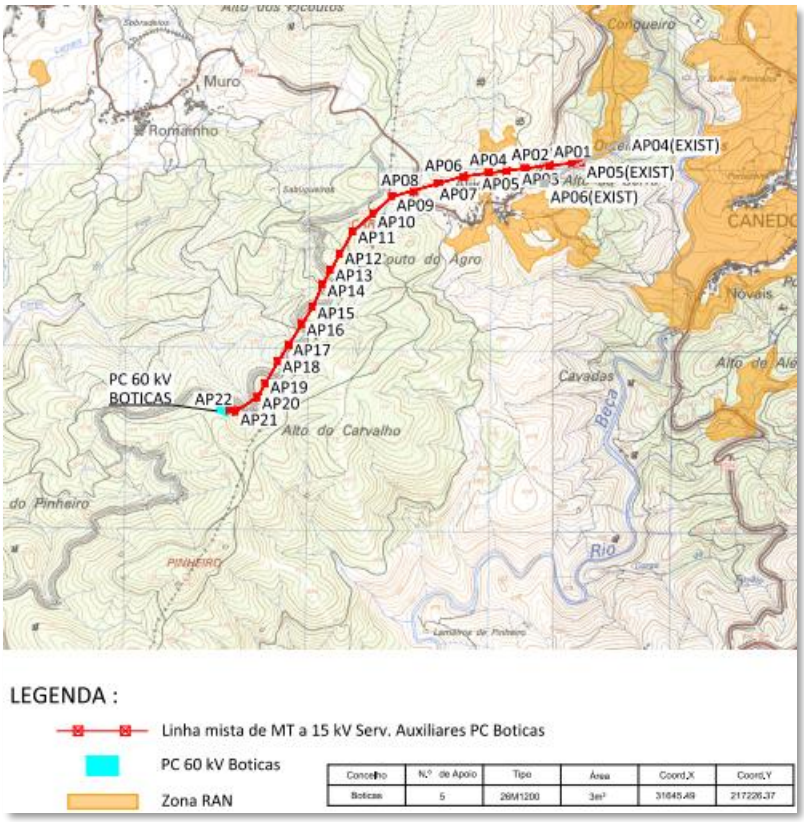


Figura 6.132 – Planta de Condicionantes da LN 15kV - Zona RAN.

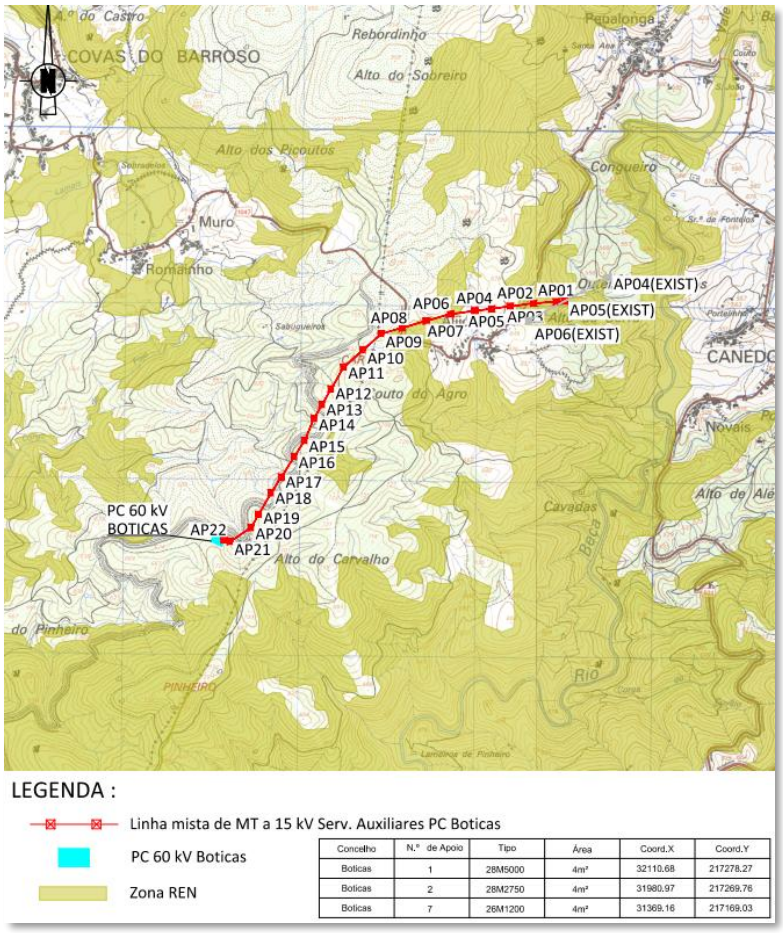


Figura 6.133 – Planta de Condicionantes da LN 15kV - Zona REN.

Tal como referido anteriormente é salvaguardado o exposto no n.º 3 da alínea d) da secção II e III do Anexo VII do RJREN, sendo que durante os trabalhos serão tomadas medidas para não afetar significativamente a estabilidade ou o equilíbrio ecológico do sistema biofísico e dos valores naturais em presença tais como, a intervenção estritamente nos locais de implantação dos apoios; a reposição de terras no local de escavação das fundações e revestimento com terra vegetal junto aos apoios; e a não afetação dos recursos hídricos superiores e subterrâneos. Serão ainda tomadas medidas para preservar a qualidade das águas, através de um cuidado manuseamento da maquinaria utilizada com vista a salvaguardar qualquer tipo de derrames para o solo.

6.11.2 SUBESTAÇÃO E POSTO DE CORTE

Nesta secção serão descritas as diretrizes elétricas gerais para a nova Subestação 60/10 kV que irá alimentar o Projeto de Ampliação da Mina do Barroso.

A instalação elétrica projetada será constituída por uma subestação e um posto de corte.

A subestação elétrica de 60/10 kV destina-se à alimentação da Mina do Barroso, uma exploração mineira a céu aberto, com uma central de concentração de lítio para a produção de concentrado de espodumena, bem como matérias-primas secundárias de quartzo e feldspato.

A subestação será composta por um parque exterior de aparelhagem no qual se prevê a instalação dos seguintes equipamentos:

- Todo o equipamento de Alta Tensão (AT) e Média Tensão (MT) exterior;
- Um transformador de potência 60/10 kV, com potência nominal de 25/30 MVA (ONAN/ONAF);
- Um transformador 10/0,4 – 0,23 kV, destinado à alimentação dos sistemas auxiliares da subestação;
- Um gerador diesel;
- Uma reatância de neutro.

O Edifício de Comando e Controlo da Subestação será constituído por duas salas distintas: uma exclusivamente dedicada ao quadro de comando de 10 kV e outra destinada aos armários de controlo da subestação.

Os sistemas auxiliares da subestação serão alimentados por um transformador de potência dedicado, de 10/0,4 – 0,23 kV, com potência nominal de 100 kVA.

O posto de corte, implantado adjacente à subestação, será composto por vários painéis de equipamentos a 60 kV, desempenhando a função de ponto de seccionamento da rede elétrica, o que facilitará a exploração, operação e manutenção da rede.

Será nesta instalação que se irão interligar as duas novas linhas aéreas de Alta Tensão previstas no projeto de linhas:

- LN60 Covas do Barroso;
- LN60 PC Fonte de Mouro.

Estas linhas permitirão a alimentação das cargas associadas à Mina do Barroso. Está igualmente previsto um espaço de reserva para a futura expansão com a instalação de um novo painel a 60 kV.

Adicionalmente, prevê-se a chegada aérea de uma linha de Média Tensão em 15 kV (LN15 TSA – PC Boticas), necessária para a alimentação dos serviços auxiliares do posto de corte.

O posto de corte incluirá ainda um edifício de comando, com acesso exclusivo a operadores da E-REDES, no qual estarão integrados todos os quadros necessários para a proteção, comando e controlo da rede elétrica de transmissão.

Na Figura 6.134 apresenta-se a localização da subestação 60/10 kV e posto de corte.



Figura 6.134 – Localização da Subestação 60/10 kV e Posto de Corte.

6.11.2.1 CRITÉRIOS GERAIS DO PROJETO DA SUBESTAÇÃO

CRITÉRIOS BASE

O projeto geral desta instalação foi desenvolvido de forma a satisfazer simultaneamente os seguintes princípios básicos:

- Segurança geral de pessoas e bens;
- Simplificação e normalização da construção;
- Facilidade de manutenção;
- Aplicação de soluções que minimizem o impacte ambiental;
- Otimização das condições de instalação, visando a redução dos custos de exploração.

NORMAS APLICÁVEIS

O desenvolvimento deste projeto é efetuado em conformidade com as normas, regulamentos e documentos nacionais e internacionais em vigor à data da sua elaboração, nomeadamente:

- Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento – RSSPTS – (Decreto-Lei n.º 42895, de 31/03/1960, alterado pela Portaria n.º 37/70, de 17 de janeiro, e pelo Despacho Regulamentar n.º 14/1977, de 18 de fevereiro, e Despacho Regulamentar n.º 56/85, de 6 de setembro);

- IEC 61936-1 2010 – Instalações Elétricas com Tensão Superior a 1 kV A.C. – Regras Comuns.

Foi igualmente assegurado o cumprimento de outras normas, como as IEEE, IEC, EN e NP, bem como de outros regulamentos e legislação aplicáveis a este tipo de instalação. Em caso de conflito ou discrepância entre normas ou regulamentos, prevalecem aqueles que apresentem critérios mais conservadores.

6.11.2.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS

A subestação terá as características elétricas gerais indicadas na Tabela 6.91, compatíveis com a rede elétrica de Alta e Média Tensão. Todo o equipamento a instalar será compatível com as características elétricas da subestação.

Tabela 6.91 – Características Elétricas Gerais da Subestação.

Características	Nível AT (60 kV)	Nível MT (10 kV)
Número de Fases	3	3
Tensão Nominal	60 kV	10 kV
Tensão Máxima	72,5 kV	12 kV
Frequência Nominal	50 Hz	50 Hz
Regime de Neutro	Neutro diretamente ligado à terra	Neutro Isolado
Corrente Nominal de Curto-Circuito	25 kA (3 s)	25 kA (3 s)

Na zona de manobra da subestação (parque exterior de aparelhagem) serão instalados:

- Todo o equipamento exterior de Alta Tensão (AT) e Média Tensão (MT);

- Um transformador de potência 60/10 kV, com potência nominal de 25/30 MVA (ONAN/ONAF);

- Um transformador 10/0,4 – 0,23 kV para alimentação dos serviços auxiliares da subestação;

- Uma reatância de neutro.

O Edifício de Comando e Controlo da Subestação é composto por duas salas distintas: uma dedicada exclusivamente ao quadro geral de 10 kV e outra destinada aos armários de controlo da subestação. Os serviços auxiliares da subestação serão alimentados por

um transformador de potência dedicado de 10/0,4 – 0,23 kV, com potência nominal de 100 kVA.

6.11.2.3 DESCRIÇÃO DOS PAINÉIS DA SUBESTAÇÃO

As diferentes secções correspondentes aos dois níveis de tensão da Subestação são definidas por:

- Painéis de Alta Tensão

Tabela 6.92 – Descrição dos Painéis de AT.

Painel	Descrição
=P503 – Transformador de Potência	Assegura a ligação entre a barra de 60 kV e o nível de 60 kV do transformador de potência 60/10 kV.

- Painéis de Média Tensão

Tabela 6.93 – Descrição dos Painéis de MT.

Painel	Descrição
=K100 – Medição de Tensão	Medição de tensão.
=K101 – Reserva Equipada	Reserva equipada.
=K102 – Reserva Equipada	Reserva equipada.
=K103 – Alimentação 3	Assegura a ligação entre a barra de 10 kV e o circuito de Alimentação 3.
=K104 – Alimentação 1	Assegura a ligação entre a barra de 10 kV e o circuito de Alimentação 1.
=K105 – Chegada do Transformador	Assegura a ligação entre o transformador de potência 60/10 kV e o quadro geral de 10 kV.
=K106 – Alimentação 2	Assegura a ligação entre a barra de 10 kV e o circuito de Alimentação 2.
=K107 – Carregador de Veículos Elétricos	Assegura a ligação entre o quadro geral de 10 kV e o carregador de veículos elétricos.
=K108 – Alimentação 4	Assegura a ligação entre a barra de 10 kV e o circuito de Alimentação 4.
=K109 – Transformador Auxiliar e Reatância de Neutro	Assegura a ligação entre a barra de 10 kV e o transformador de serviços auxiliares e a reatância de neutro.
=K110 – Reserva Equipada	Reserva equipada.
=K111 – Reserva Equipada	Reserva equipada.

6.11.2.4 CRITÉRIOS DE PROJETO

Os critérios de projeto, nomeadamente no que respeita às condições de serviço e características da Subestação e do Posto de Corte, tiveram em consideração as informações do projeto e a informação fornecida pela E-Redes.

Quando não foi possível obter informação sobre alguns parâmetros necessários para a execução deste projeto, foram seguidas as recomendações estabelecidas nos regulamentos nacionais e internacionais aplicáveis a este tipo de instalação.

Na ausência de um enquadramento normativo ou regulamentar adequado, foram consideradas as características técnicas normalmente adotadas para este tipo de instalação em Portugal.

PROJETO DA SUBESTAÇÃO E POSTO DE CORTE

A Subestação 60/10 kV consiste na instalação apresentada na Figura 6.135. O arranjo da subestação foi submetido ao operador do sistema de distribuição, E-Redes, e o conceito foi considerado aprovado.

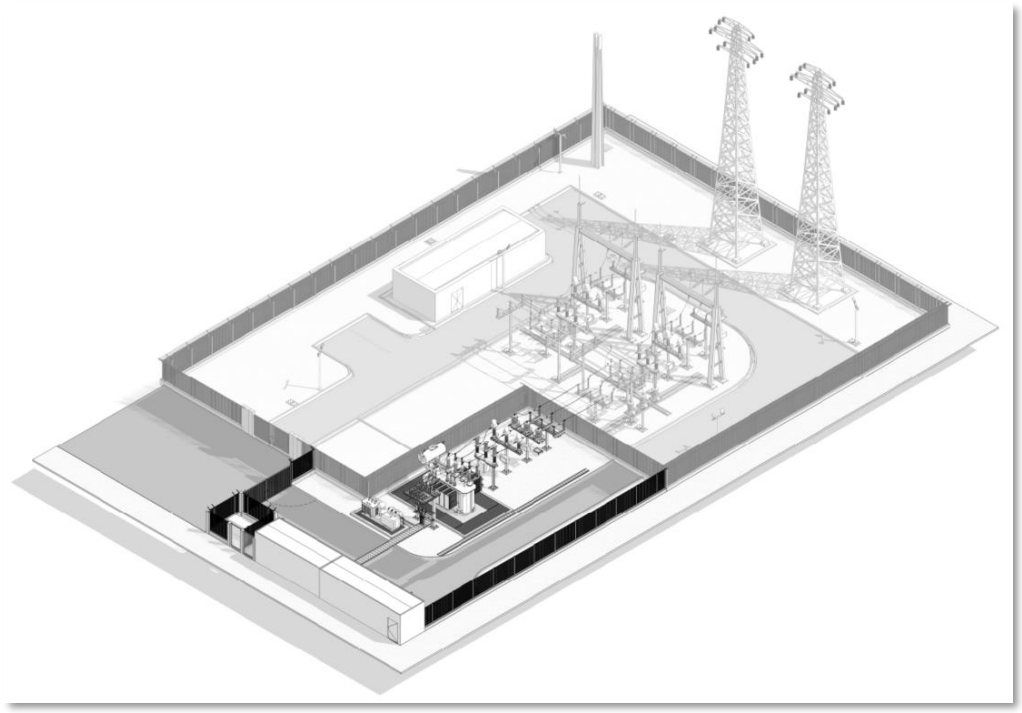


Figura 6.135 – Subestação 60/10 kV do Projeto do Barroso (em preto) e arranjo do Posto de Corte 60 kV (em cinzento).

O edifício da Subestação é uma estrutura pré-fabricada dividida em dois compartimentos (Figura 6.136).

- Um dos compartimentos contém os quadros de Baixa Tensão (BT) para controlo, proteção, medição, comunicações, bem como cargas AC e DC.

- O outro compartimento alberga o quadro de Média Tensão 10 kV, conforme ilustrado no diagrama unifilar do projeto.

Ambos os compartimentos estão equipados com portas dimensionadas para permitir a entrada de equipamentos. Todas as portas devem abrir para fora e estar equipadas com barras anti-pânico, em conformidade com as normas de segurança aplicáveis.

Cada compartimento inclui ainda uma escotilha interior que dá acesso ao piso elevado, para facilitar trabalhos de instalação ou manutenção, caso necessário. No Anexo VI.7 – Projeto Elétrico (Building General Electrical), descreve-se detalhadamente o edifício, incluindo a apresentação de todas as especialidades de engenharia civil relacionadas.

Por sua vez o Anexo VI.7 (Design Report – Civil Works Design) apresenta as obras mais significativas a executar que incluem fundação para equipamentos elétricos, plataforma, sistemas de drenagem da subestação e posto de corte assim como acessos internos. Neste documento descrevem-se os trabalhos a realizar, estabelece-se um procedimento sequencial de execução, definem-se as condições em que devem ser realizados e apresentam-se os princípios de cálculo que fundamentam o projeto executado. O Anexo VI.7 (Calculations) contém informações relativas ao cálculo de proteção contra descargas atmosféricas, cálculos dos condutores de alta, média e baixa tensão, bem como o estudo de iluminação externa.

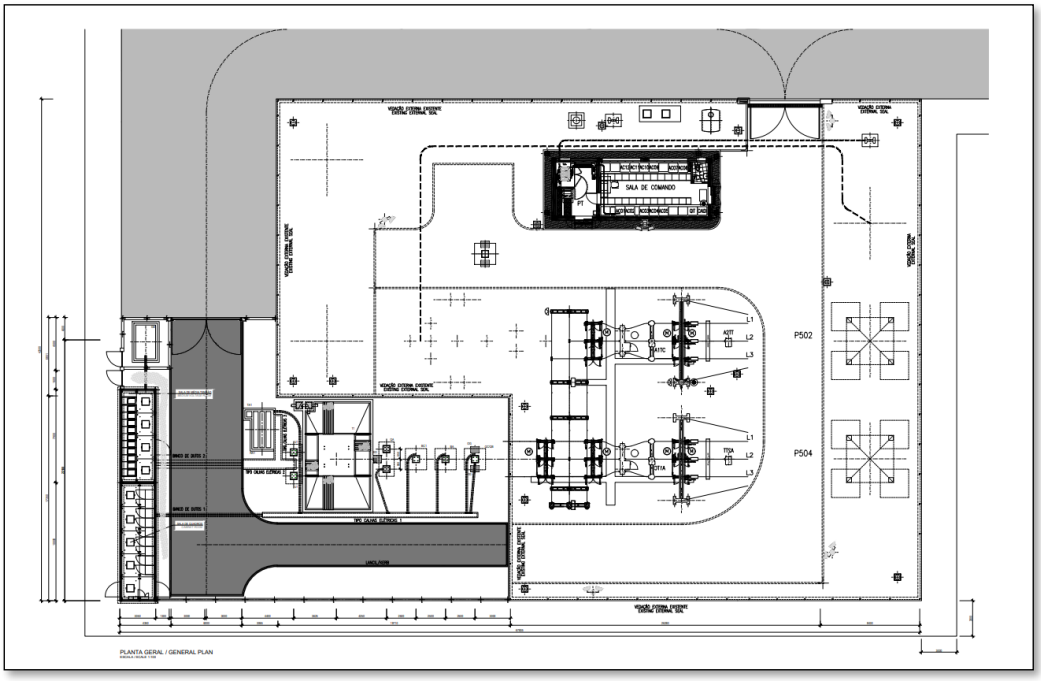


Figura 6.136 – Planta Geral da Subestação.

CONDIÇÕES AMBIENTAIS

As condições ambientais de serviço esperadas, de acordo com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera, para a Subestação e Posto de Corte podem ser consultadas na tabela seguinte:

Tabela 6.94 – Condições Ambientais Esperadas.

Características	Valores
Altitude	481 m
Temperatura máxima do ar ambiente	39,8 °C
Temperatura média máxima do ar ambiente	18,6 °C
Temperatura mínima do ar ambiente	- 8 °C
Velocidade máxima nominal do vento	4,3 m/s
Nível de poluição (IEC 60815)	Muito Elevado (IV)

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

A subestação terá as características elétricas gerais apresentadas na Tabela 6.91, devendo todo o equipamento ser compatível com estas características, de forma a não comprometer o correto funcionamento da subestação.

VALORES NOMINAIS DE CORRENTE

As correntes nominais especificadas para os quadros elétricos e as correntes de serviço a utilizar no dimensionamento da instalação são as seguintes:

Tabela 6.95 – Níveis de corrente dos Painéis de AT.

Painel	Corrente Nominal	Corrente de Serviço
=P503 – Transformador de Potência	1250 A	290 A

Tabela 6.96 – Níveis de corrente dos Painéis de MT.

Painel	Corrente Nominal	Corrente de Serviço
=K100 – Medição de Tensão	6 A	-
=K101 – Reserva Equipada	630 A	-
=K102 – Reserva Equipada	800 A	-
=K103 – Alimentação 3	630 A	7,7 A
=K104 – Alimentação 1	800 A	665 A
=K105 – Chegada do Transformador	2000 A	1734 A
=K106 – Alimentação 2	800 A	665 A
=K107 – Carregador de Veículos Elétricos	630 A	231 A
=K108 – Alimentação 4	630 A	15 A
=K109 – Transformador Auxiliar e Reatância de Neutro	630 A	6 A
=K110 – Reserva Equipada	800 A	-
=K111 – Reserva Equipada	630 A	-

As correntes nominais indicadas, para além de cumprirem os requisitos do projeto, visam responder ao padrão de mercado relativamente à disponibilidade normalizada de equipamentos associados a este tipo de instalação.

As correntes de serviço indicadas servem de base para o dimensionamento das instalações de interligação dos diferentes equipamentos, nomeadamente no que respeita aos diferentes condutores.

VALORES DE CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO

Para este projeto, foram consideradas as seguintes condições relativamente às correntes de curto-circuito:

Tabela 6.97 – Correntes de curto-circuito.

Painel	Nível AT	Nível MT
Corrente de curto-circuito do projeto (RMS)	25 kA	25 kA
Corrente de curto-circuito do projeto (valor de pico)	63 kA	63 kA
Duração do curto-circuito do projeto	3 s	3 s

NÍVEIS NOMINAIS DE ISOLAMENTO

Os níveis nominais de isolamento dos equipamentos e de outras partes sob tensão de 60 kV, 10 kV e 0,4 kV a adotar neste projeto, de acordo com a IEC 61936-1, são os seguintes:

Tabela 6.98 – Níveis nominais de isolamento dos equipamentos de AT, MT e BT.

Tensão Nominal (RMS)	Tensão Máxima (RMS)	Valor Nominal da Tensão de Suporte à Frequência Industrial (Duração 1 minuto) (RMS)	Tensão Nominal de Suporte a Impulso de Raios (PEAK VALUE)
60 kV	72,5 kV	140 kV	325 kV
10 kV	12 kV	28 kV	75 kV
0,4 kV	1 kV	1 kV	4 kV

Os critérios adotados para garantir um elevado nível de segurança para as pessoas que realizam atividades/trabalhos no parque exterior da subestação, nas mais diversas condições de operação, baseiam-se no princípio da "segurança pela distância", que consiste no cumprimento das medidas de isolamento e segurança recomendadas, colocando os condutores ativos não isolados a distâncias que impossibilitem o contacto direto acidental.

As distâncias de isolamento e de segurança no ar foram definidas com base nos níveis nominais de isolamento apresentados anteriormente e de acordo com os regulamentos aplicáveis, tendo em consideração, em particular, os seguintes aspetos:

- Garantir que as tensões de suporte entre fases e entre fases e terra não sejam inferiores aos níveis de isolamento definidos na Tabela 6.98;

- Aplicação das recomendações da IEC e do RSSPTS relativamente à circulação de pessoas ou veículos, à distância em relação a edifícios e à possibilidade de realização de trabalhos de manutenção com a subestação em operação.

Outro ponto que influencia as distâncias de separação é o facto de os isoladores serem elementos sujeitos a uma tensão decrescente, estando apenas a sua base ao potencial da terra, pelo que deve ser prevenido o contacto "curto-circuito" de parte de uma coluna isolada com as mãos. Assim, de acordo com o estabelecido na IEC 61936, define-

se como distância mínima a altura de 2,25 m do solo até à base metálica dos equipamentos de AT e MT a instalar no parque exterior da subestação.

O arranjo dos equipamentos no parque exterior da Subestação e Posto de Corte foi realizado de acordo com as recomendações e distâncias propostas na IEC 61936 e no RSSPTS, adotando, em cada caso, o cenário mais conservador, conforme indicado na Tabela 6.99

Portanto, a distância mínima *H* a considerar entre o ponto de menor tensão do equipamento e o nível do solo pode ser determinada pelas seguintes fórmulas:

$H = 2200 + (10 \times 60) = 2800\ mm$ para o nível de 60 kV, de acordo com RSSPTS;

$H = 2250 + 630 = 2880\ mm$ para o nível de 60 kV, de acordo com IEC 61936;

$H = 2200 + (10 \times 10) = 2300\ mm$ para o nível de 10 kV, de acordo com RSSPTS;

$H = 2250 + 180 = 2430\ mm$ para o nível de 10 kV, de acordo com IEC 61936.

A tabela seguinte apresenta as principais distâncias de isolamento e de segurança consideradas para o presente projeto.

Tabela 6.99 – Isolamento no ar e Distâncias de Segurança.

Tensão Nominal (RMS)	Distância de Isolamento		Distância entre partes Ativas e o Solo	Altura da base do equipamento em relação ao solo (zona de segurança)	Norma de Referência
	Fase-Terra	Fase-Fase			
60 kV	630 mm	630 mm	2880 mm	2250 mm	IEC 61936
10 kV	180 mm	180 mm	2430 mm	2250 mm	IEC 61936

As distâncias de isolamento indicadas correspondem aos valores mínimos garantidos quando a subestação opera em condições normais. Em condições especiais de operação, por exemplo, durante o balanceamento de condutores, dilatações e esforços decorrentes de curtos-circuitos são verificados. Para estas situações, foi considerada uma margem adicional sobre os valores indicados, seguindo as recomendações da norma IEC 61936.

Relativamente aos equipamentos de MT instalados no Edifício de Comando e Controlo, os critérios de segurança consistem em colocar todas as partes ativas dentro de compartimentos fechados.

Este tipo de equipamento será equipado com um sistema de intertravamento, que impede a execução de manobras indevidas ou o contacto acidental com partes ativas. Adicionalmente, os seus compartimentos são dimensionados para suportar um arco

interno sem permitir a propagação dos seus efeitos para as salas vizinhas nem causar ferimentos a pessoas nas proximidades.

TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA AT/MT DE PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO

O layout da subestação foi concebido tendo em consideração que um incêndio no transformador de potência de AT/MT não pode, em nenhum momento, afetar ou danificar outros equipamentos ou objetos presentes na subestação, exceto aqueles diretamente associados ao transformador.

Para tal, devem ser garantidas as distâncias de segurança estabelecidas na norma IEC 61936-1 aquando da substituição dos transformadores de potência existentes por dois novos equipamentos com potências superiores.

Esta norma especifica que, considerando o tipo de transformador a instalar, com volume de óleo isolante superior a 30 000 litros, a distância mínima para outros transformadores deve ser de 5 metros e a distância para superfícies de edifícios não combustíveis deve ser de 15 metros.

SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DIRETAS

A proteção contra descargas diretas de raios é assegurada por um pára-raios ionizante não radioativo com Emissão de Corrente Antecipada (ESE), em conformidade com a norma NP 4426:2013, ligado ao sistema geral de ligação direta à terra da Subestação e a instalar numa das entradas da baía da linha de AT.

Relativamente à proteção contra sobretensões externas, esta será assegurada pelos dispositivos de proteção contra surtos (DPS) na entrada das baias de linha de AT no Posto de Corte. Estes DPS são do tipo óxido de zinco (ZnO) sem explosões, para ligação fase-terra, instalados em posição vertical sobre uma base isolante.

Os transformadores de potência 60/10 kV beneficiam de uma proteção especial através dos DPS existentes, cuja função é limitar as sobretensões incidentes a valores compatíveis com os níveis de isolamento dos equipamentos a proteger.

Os DPS de AT são adequados às características da Subestação e do Posto de Corte onde estão instalados e devem cumprir os critérios mínimos, em conformidade com as normas aplicáveis, nomeadamente IEC 60099-4 e IEC 60099.

ILUMINAÇÃO EXTERIOR

O sistema de iluminação exterior tem como objetivo permitir a inspeção e a operação manual dos equipamentos da Subestação e do Posto de Corte.

Tabela 6.100 – Valores mínimos de iluminação.

Zona	Valor mínimo de iluminância média (E_M)	Uniformidade mínima (U_0)	Altura de trabalho
Parque exterior de aparelhagem da subestação	100 lux	0,40	1,5 m
Caminhos de Cirulação Pedonal	20 lux	0,40	0 m
Outras áreas do parque exterior subestação	5 lux	0,25	0 m

Os valores da Tabela 6.100 representam os valores mínimos exigidos para inspecionar e operar manualmente com segurança os equipamentos exteriores da subestação.

O sistema de iluminação exterior da subestação foi projetado para garantir segurança e eficiência na inspeção e operação manual dos equipamentos. Este será composto por colunas de iluminação com travessas para fixação dos projetores, permitindo maior flexibilidade na orientação e cobrindo áreas amplas, reduzindo assim o número de pontos de emissão (colunas). Além disso, projetores serão instalados nas fachadas dos edifícios, diminuindo ainda mais a necessidade de colunas adicionais.

O sistema utilizará principalmente projetores de tecnologia LED, aproveitando a baixa emissão de energia e alta eficiência dessa tecnologia, resultando numa solução eficiente que reduz os custos de instalação e operação.

TRANSFORMADOR DE SERVIÇOS AUXILIARES

O transformador de serviços auxiliares será alimentado pelo quadro de média tensão K109. Trata-se de um transformador trifásico de montagem exterior, com enrolamentos uniformemente isolados e separados, em cobre, imersos em óleo mineral e hermético à penetração de ar exterior.

As passagens de média tensão devem ser montadas na tampa, perpendicular à sua superfície, do tipo cone exterior, preparadas para a instalação de caixas de terminais pré-moldadas, de acordo com a norma EN 51080, e identificadas com as letras 1U, 1V e 1W para as fases e 1N para o neutro.

REATÂNCIA DE NEUTRO

A reatância de neutro tem como objetivo reduzir a corrente de terra. Trata-se de uma reatância trifásica de montagem exterior, com enrolamentos uniformemente isolados e separados, em cobre, imersos em óleo mineral e hermética à penetração de ar exterior.

LIGAÇÕES

LIGAÇÕES FLEXÍVEIS (LIGAÇÕES NÃO ISOLADAS)

A ligação entre os equipamentos do quadro na subestação é realizada pelos seguintes condutores:

Tabela 6.101 – Condutor a utilizar nas ligações flexíveis.

Características	Valor
Designação	Aster 570
Número de Condutores por Fase	1
Corrente Nominal	921 A

LIGAÇÕES RÍGIDAS (BARRAMENTOS)

Estão previstos condutores rígidos para ligar os cabos MT isolados ao secundário do transformador de potência 60/10 kV. Os condutores que constituem as ligações entre os terminais do transformador e os cabos MT isolados são dimensionados para suportar a corrente de serviço e resistir aos esforços térmicos e eletrodinâmicos da corrente de curto-circuito previsível, de acordo com os métodos da norma IEC 60865.

As ligações entre os terminais do transformador e os cabos MT isolados, materializadas através de tubos de alumínio, serão realizadas com o apoio de estruturas metálicas devidamente dimensionadas para suportar o seu próprio peso, o peso dos acessórios de ligação, o peso dos cabos MT e os esforços eletrodinâmicos a que possam ser sujeitos durante um curto-circuito.

As ligações entre o barramento e os acessórios serão dimensionadas utilizando conectores de tipo e dimensão apropriados.

Os barramentos, dispostos na posição horizontal e suportados por isoladores tipo poste, apresentam as seguintes características principais, indicadas na Tabela 6.102:

Tabela 6.102 – Condutores utilizados nas ligações rígidas do parque exterior de aparelhagem.

Características	Valor
Tipo de Condutor	Aluminio
Diâmetro (exterior/interior)	63/49 mm
Corrente máxima admissível	1815 A

CABOS DE MT ISOLADOS

Os cabos MT isolados a utilizar são do tipo monofilar, com núcleo condutor redondo, multifilar, cobre ou alumínio compactado, com isolamento em polietileno reticulado (PEX), blindagem em fios de cobre enrolados numa fita do mesmo material e capa exterior em PVC retardante de chama.

Os cabos MT, a utilizar nas ligações dos transformadores de potência aos barramentos MT, são do tipo XHIOV (cbe) ou LXHIOV (cbe), construídos e ensaiados de acordo com a norma IEC 60502-2.

Todos os cabos MT devem ter a blindagem ligada à terra em ambas as extremidades

Tabela 6.103 – Caracterização das ligações MT na subestação.

Fonte	Destino	Designação do Cabo	Modo de Instalação	Comprimento	Corrente de Serviço	Temperatura do Condutor à Corrente de Carga
Transformador de Potência 60 / 10 kV	Quadro 10 kV (K105)	LXHIOZ1 6/10(12) kV 4x[3x(500/16)] mm^2	Caleira	25 m	1734 A	58,65 ºC
Quadro 10 kV (K109)	Transformador de Serviços Auxiliares	LXHIOV 6/10(12) kV 3x[1x(300/16)] mm^2	Caleira	25 m	6 A	38,14 ºC
Quadro 10 kV (K109)	Reatância do Neutro	LXHIOV 6/10(12) kV 3x[1x(300/16)] mm^2	Caleira	25 m	-	-

Os cabos MT isolados no interior da subestação, referentes aos circuitos de ligação dos secundários do transformador de potência 60/10 kV, do Transformador Auxiliar e da Reatância do Neutro, são instalados em bandejas reservadas para este efeito, conforme especificado nos desenhos do projeto. No interior do edifício, os cabos são instalados sob o piso elevado.

A fixação dos cabos MT às estruturas metálicas nas ligações do transformador de potência e ao quadro MT no edifício de controlo é realizada com abraçadeiras plásticas com fixação por parafuso em aço inoxidável, do tipo "DUTCHCLAMP" ou equivalente, com resistência mecânica adequada.

Os cabos devem ser instalados nas seguintes condições:

- Devem ser dispostos em configuração trifilar para cada circuito trifásico;
- Deve ser tomado cuidado para não danificar os cabos durante a instalação, não excedendo as cargas de tração máximas permitidas;

- O raio de curvatura dos cabos não deve ser inferior a 15 vezes o seu diâmetro exterior;

- A blindagem dos cabos deve estar ligada à terra em ambas as extremidades;

- Serão estabelecidas barreiras contra incêndio nas tubagens e nas entradas e saídas dos cabos do edifício da subestação e da célula do transformador de potência, feitas com materiais intumescentes capazes de limitar a propagação de possíveis focos de incêndio, não permitindo a propagação de fogo do exterior para o interior ou vice-versa, isolando áreas funcionais da subestação. Estas barreiras também têm a função de impedir a entrada de água e animais no edifício da subestação e devem garantir um IP 67. As tubagens não utilizadas devem ser totalmente vedadas com massa resistente ao calor e ao fogo, isolando permanentemente o exterior do interior e garantindo, de forma duradoura, o IP 67;

- Devem ser cumpridos todos os requisitos de qualidade e segurança exigidos.

REDE GERAL DE TERRAS

O sistema geral de ligação direta à terra é projetado de forma a constituir uma rede equipotencial, reduzindo os riscos de tensões de passo[1] e de contacto[2] e limitando-os a valores não perigosos em caso de falha à terra, em conformidade com as recomendações da norma IEEE 80-2013.

O sistema geral de terras é um grupo interligado formado por:

- Terra de proteção, destinada a contribuir para a segurança das pessoas nas proximidades de um objeto metálico da instalação suscetível a energização acidental em caso de defeito de isolamento;

- Terra de serviço, destinada a influenciar o comportamento da rede em caso de falha à terra.

A Subestação e o Posto de Corte estão equipados com um único sistema de ligação á terra, combinando as funções de ligação direta á terra de serviço e ligação direta á terra de proteção.

O sistema geral de ligação direta á terra consiste essencialmente num sistema de ligação direta à terra subterrâneo e num circuito de terra superficial.
A malha de terra é constituída por seções de cabos longitudinais e transversais,

[1] Esta tensão é a diferença de potencial entre dois pontos na superfície do solo, separados por um passo, assumido como 1 metro, na direção do gradiente máximo de potencial.
[2] A tensão de contacto é a diferença de potencial entre uma estrutura metálica ligada à terra e um ponto na superfície do solo, à distância horizontal máxima normal em que se pode tocar na estrutura, aproximadamente 1 metro.

estendendo-se de um lado da instalação ao outro, cobrindo toda a subestação de forma a garantir que não existam tensões de passo e de contacto perigosas.

6.11.2.5 CONFORMIDADE DE MATERIAIS

Todos os materiais e equipamentos elétricos a instalar na subestação devem cumprir as disposições das normas de segurança específicas aplicáveis, bem como as normas e especificações nacionais, ou, na sua ausência, as normas EN e/ou IEC.

Todos os fabricantes mencionados destinam-se apenas a fornecer uma referência relativamente às normas a cumprir, às especificações técnicas e à qualidade mínima exigida dos dispositivos e equipamentos. O cliente poderá propor outros modelos de qualidade equivalente.

6.11.3 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Com o objetivo de oferecer uma visão clara e concisa sobre a evolução do empreendimento da Mina do Barroso, este capítulo foi estruturado em três etapas essenciais que refletem o desenvolvimento do projeto:

- **Pré-projeto (Estado Atual):** descreve a situação existente da infraestrutura e do terreno antes do início das intervenções.
- **Fase de Projeto (Implementação):** aborda a fase de execução, contemplando a construção das novas linhas e da subestação.
- **Pós-projeto (Operação):** apresenta o cenário final, com as novas linhas em pleno funcionamento e a remoção integral dos apoios obsoletos.

Todas as peças desenhadas referentes à localização da linha bem como as suas condicionantes podem ser consultadas no Anexo VI.7 – Projeto Elétrico.

6.11.3.1 PRÉ-PROJETO – ESTADO ATUAL

Na Figura 6.137 encontra-se representada a linha de alta tensão pública existente, a qual será objeto de seccionamento, originando duas novas linhas de alta tensão do empreendimento: Covas do Barroso – PC Boticas e PC Boticas – PC Fonte de Mouro, que constituirão a principal fonte de alimentação da Subestação de Boticas.



Figura 6.137 – Linha Existente - Estado atual.

6.11.3.2 FASE DE PROJETO – EXECUÇÃO

A Figura 6.138 ilustra o traçado projetado dos novos troços de linhas de alta e média tensão associados ao empreendimento. Conforme anteriormente referido, o troço isolado assinala a localização de um apoio já existente que, por se revelar estruturalmente incapaz de suportar os novos carregamentos, exigiu a conceção de um novo apoio, prevendo-se a subsequente remoção do anterior.

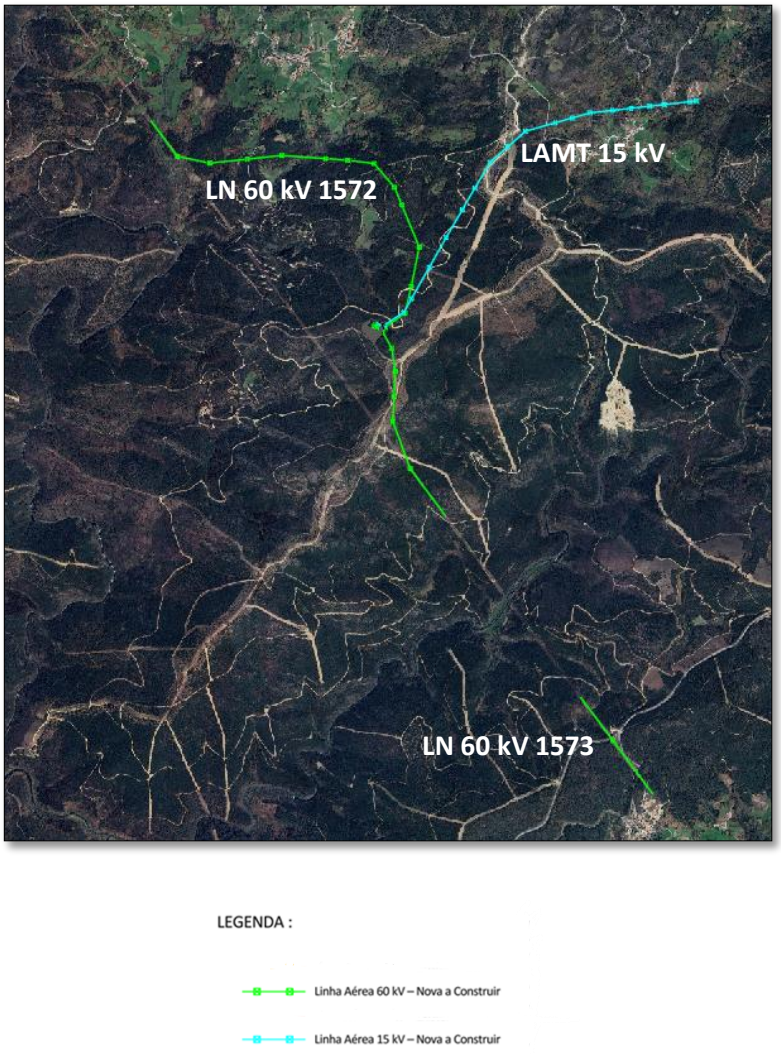


Figura 6.138 – Linhas a projetar em fase de execução.

6.11.3.3 FASE DE OPERAÇÃO

A Figura 6.139 representa o cenário final do empreendimento, evidenciando:

- O traçado dos novos troços de linhas de alta e média tensão;
- Os segmentos da infraestrutura existente que foram mantidos;
- Os troços desativados que se encontraram sujeitos a desmantelamento.

Nesta fase de operação, a Subestação e o Posto de Corte encontrar-se-ão plenamente interligados pelas linhas do projeto. Paralelamente, os apoios obsoletos terão sido removidos e o cabo de fibra ótica terá sido integralmente instalado ao longo de toda a extensão das linhas, abrangendo tanto os troços novos como os já existentes.

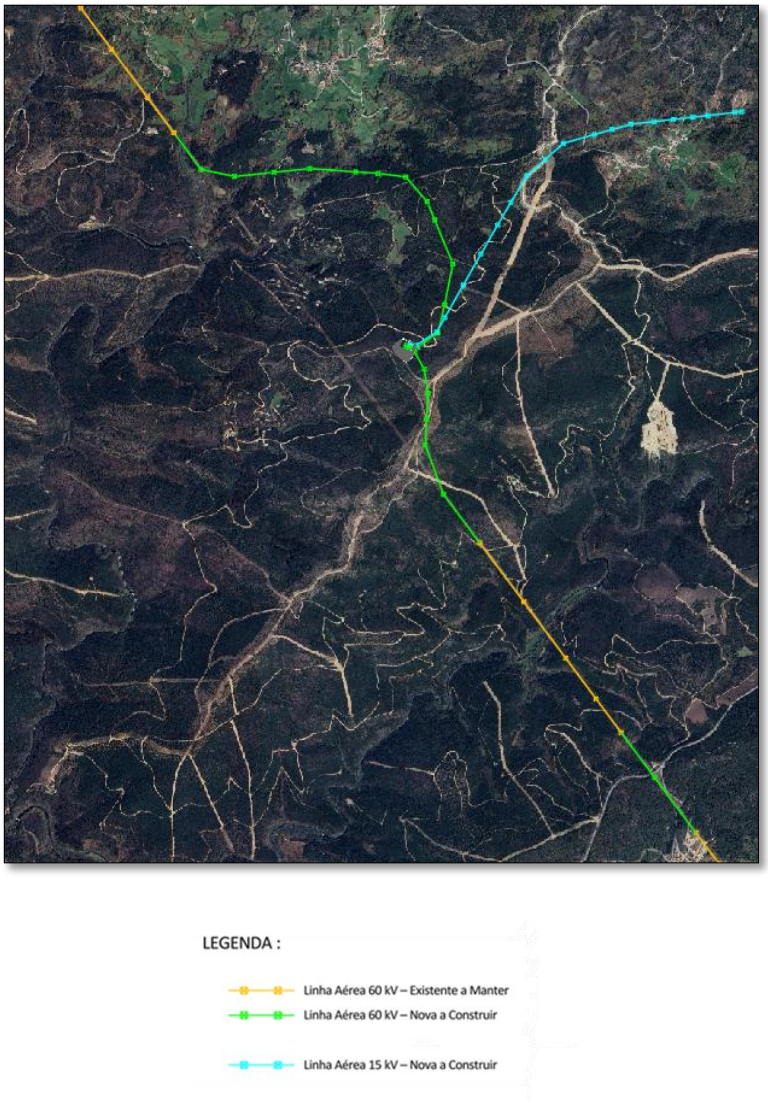


Figura 6.139 – Estado do Projeto após Início da Operação.

6.11.4 REDE DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA INTERNA

A rede de distribuição elétrica interna em média tensão será alimentada a partir da subestação 60/10 kV, sendo adotada a tensão nominal de serviço de 10 kV. O dimensionamento e a seleção dos equipamentos elétricos terão como referência este nível de tensão. Os requisitos gerais de conceção, instalação, proteção e segurança são apresentados no documento B069-D02-06000-DC-0108 – Electrical Critérios de Desenho, incluído no Anexo V.9.

O dimensionamento e a seleção dos transformadores, motores, aparelhagem, cabos e sistemas de proteção e comando terão como base o funcionamento da rede a 10 kV, incluindo as relações de transformação, as condições de arranque, as quedas de tensão e os níveis de curto-circuito. As tensões estipuladas e os níveis de isolamento dos equipamentos serão adequados às condições de serviço, podendo ser superiores à tensão nominal da rede.

A distribuição elétrica compreenderá os circuitos de média e baixa tensão necessários à alimentação dos equipamentos de processo e das instalações auxiliares, incluindo os transformadores, os quadros de distribuição, os centros de controlo de motores, os acionamentos e os circuitos de iluminação e tomadas. A conceção privilegiará a uniformização dos equipamentos e componentes, a segurança de operação e manutenção e a acessibilidade para inspeção e intervenção.

Os equipamentos serão selecionados de acordo com as condições ambientais das respetivas áreas de instalação, considerando a exposição a poeiras, água, vibração, corrosão e variações de temperatura. Os invólucros, materiais e sistemas de proteção serão adequados a essas condições e às exigências de funcionamento das instalações.

O dimensionamento dos cabos atenderá às correntes de serviço, às quedas de tensão admissíveis, às solicitações térmicas de curto-circuito e aos fatores de correção associados às condições de instalação. Os percursos serão realizados em caminhos de cabos ou em instalações subterrâneas, consoante as características de cada zona, assegurando a proteção mecânica, a identificação dos circuitos e a segregação entre cabos de potência, controlo, instrumentação e comunicações.

Os quadros elétricos e centros de controlo de motores integrarão os dispositivos de seccionamento, comando e proteção necessários à exploração das instalações. As proteções serão coordenadas entre si, considerando os defeitos à terra, as sobrecargas e os curtos-circuitos. Os acionamentos serão adequados às características dos equipamentos e às condições de arranque e funcionamento, recorrendo a variadores de velocidade quando exigido pelo processo. A qualidade da energia será considerada através da análise das perturbações harmónicas e da definição das medidas de mitigação e de compensação de energia reativa aplicáveis.

A segurança elétrica compreenderá a ligação à terra e a equipotencialização das estruturas e equipamentos, o controlo das tensões de passo e de contacto e a avaliação

dos riscos de arco elétrico e de descargas atmosféricas. Nas zonas em que exista risco de formação de atmosferas explosivas, a classificação das áreas determinará os requisitos dos equipamentos elétricos a instalar. As funções de segurança dos sistemas elétricos e de controlo serão definidas em função dos riscos identificados.

A iluminação será adequada às atividades desenvolvidas e às características de cada área, distinguindo os espaços de trabalho, os equipamentos, os acessos e as zonas de circulação. Serão considerados os níveis de iluminância, a uniformidade e as condições de manutenção e isolamento das luminárias, bem como a iluminação de emergência dos acessos, percursos de saída e edifícios. Nas áreas exteriores, a orientação e as características das luminárias limitarão a dispersão luminosa para além das zonas a iluminar. A iluminação da subestação e do posto de corte é descrita especificamente no ponto 12.2.4.

As salas elétricas disporão de condições de acesso e evacuação adequadas, proteção contra a entrada de poeiras, climatização e sistemas de deteção de incêndio. Os sistemas de instrumentação e controlo que necessitem de continuidade de alimentação serão suportados por fontes de alimentação ininterrupta. A instalação dos sistemas de comunicações respeitará os requisitos de segregação relativamente aos circuitos de potência.

Serão igualmente adotadas medidas de proteção ambiental associadas às instalações elétricas, incluindo a contenção de eventuais derrames nos transformadores com líquido isolante e a seleção de materiais adequados às condições de utilização. Os requisitos específicos de construção, instalação, identificação e ensaio dos equipamentos encontram-se desenvolvidos no documento de critérios de projeto B069-D02-06000-DC-0108 (Anexo V.9), sendo adotada no presente Plano de Lavra a tensão nominal de serviço de 10 kV da rede de distribuição interna.

Os diagramas unifilares (Single Line Diagrams) da rede de distribuição elétrica interna encontram-se igualmente no Anexo VI.7.

6.11.4.1 ILUMINAÇÃO EXTERIOR

A conceção preliminar da iluminação exterior contempla os acessos rodoviários à mina, as vias internas, os acessos às instalações auxiliares e a envolvente da lavaria. As soluções previstas recorrem a luminárias LED com óticas assimétricas, instaladas em postes de altura diferenciada em função das características das zonas a iluminar.

O plano preliminar considera postes de 12 m nos acessos rodoviários e nas principais vias internas, e de 8 m nos acessos às instalações auxiliares e na envolvente da lavaria. A localização dos postes, os espaçamentos e as potências indicados constituem hipóteses de conceção, a confirmar mediante estudo luminotécnico e compatibilização com o projeto da rede de distribuição elétrica.

A solução terá em consideração os níveis de iluminância adequados às atividades previstas, a uniformidade, o controlo do encandeamento e a existência de zonas de sombra, considerando a geometria das vias, o relevo e a implantação dos equipamentos

e instalações. Contemplará igualmente a limitação da dispersão luminosa para áreas exteriores às zonas que necessitam de iluminação.

A alimentação, proteção e comando dos circuitos de iluminação serão definidos em articulação com a rede elétrica interna. A iluminação da subestação e do posto de corte é tratada especificamente no ponto 12.2.4.

6.12 MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS (INFRAESTRUTURAS)

Apresenta-se nesta secção a movimentação de terras associada às vias de acesso e às restantes infraestruturas de superfície do projeto. Para cada infraestrutura indicam-se os volumes de decapagem, escavação e aterro, bem como o respetivo balanço de terras (escavação menos aterro), em que os valores negativos correspondem a necessidades de material de aterro.

6.12.1 VIAS DE ACESSO

No Acesso Externo, e na ausência de informação geológico-geotécnica, considerou-se uma decapagem de 0,3 m, resultando num movimento geral de terras de 86 257 m³ de escavação, 68 252 m³ de aterro e 50 668 m³ de decapagem.

Nos acessos internos, o movimento geral de terras na Via de Transporte 0 é de 293 393 m³ de escavação, 119 885 m³ de aterro e 46 285 m³ de decapagem.

Nas Vias de Transporte 1 a 3, o movimento geral de terras é de 661 251 m³ de escavação, 349 990 m³ de aterro e 42 476 m³ de decapagem.

A Tabela 6.104 resume a movimentação de terras do acesso externo e dos acessos internos.

Tabela 6.104 – Movimentação de Terras das Vias de Acesso.

Infraestrutura	Decapagem (m³)	Escavação (m³)	Aterro (m³)	Balanço de Terras (m³)
Acesso Externo	50 668	86 257	68 252	18 005
Via de Transporte 0	46 285	293 393	119 885	173 508
Via de Transporte 1 a 3	42 476	661 251	349 990	312 261
Total	**139 429**	**1 040 901**	**537 127**	**503 774**

6.12.2 INFRAESTRUTURAS DE CONTROLO HIDRÁULICO

Na tabela seguinte apresenta-se a movimentação de terras dos reservatórios, descarregadores e acessos dos reservatórios RCA-01, RCA-02, RCS-01, RCS-02, RA-01 e RA-02.

Tabela 6.105 – Movimentação de Terras das Infraestruturas de Controlo Hidráulico.

Infraestrutura	Decapagem (m³)	Escavação (m³)	Aterro (m³)	Balanço de Terras (m³)
RCA-01	1 412	-	47 789	-47 789
Descarregador RCA-01	-	-	-	-
Acesso RCA-01	2 374	39 822	883	38 939
RCA-02	2 588	-	132 071	-132 071
Descarregador RCA-02	770	10 996	-	10 996
Acesso RCA-02	1 882	29 768	8 443	21 325
RCS-01	5 262	-	305 573	-305 573
Descarregador RCS-01	449	4 290	-	4 290
Acesso RCS-01	471	9 773	102	9 671
RCS-02	2 224	-	56 548	-56 548
Descarregador RCS-02	6 566	77 682	-	77 682
Acesso RCS-02	-	13 425	1 207	12 218
RA-01	2 930	-	152 913	-152 913
Descarregador RA-01	1 198	8 424	-	8 424
Acesso RA-01	2 075	89 988	-	89 988
RA-02	3 829	-	207 962	-207 962
Descarregador RA-02	2 631	32 450	-	32 450
Acesso RA-02	5 518	78 477	2 613	75 864
Total	42 180	395 097	916 103	-521 006

6.12.3 INSTALAÇÕES ADMINISTRATIVAS E TÉCNICAS

Na tabela seguinte apresenta-se a movimentação de terras das plataformas do PT e Estação de Corte e dos Escritórios e Armazéns.

Tabela 6.106 – Movimentação de Terras das Instalações Administrativas e Técnicas.

Infraestrutura	Decapagem (m³)	Escavação (m³)	Aterro (m³)	Balanço de Terras (m³)
Plataforma - PT e Estação de Corte	1 283	66 699	-	66 699
Plataforma - Escritórios e Armazéns	1 690	73 899	-	73 899
Total	2 973	140 598	-	140 598

6.12.4 ATERRO DE REJEITADOS (TSF)

Na tabela seguinte apresenta-se a movimentação de terras do contraforte (buttress) do aterro de rejeitados, executado integralmente em aterro.

Tabela 6.107 – Movimentação de Terras do Aterro de Rejeitados (TSF).

Infraestrutura	Decapagem (m³)	Escavação (m³)	Aterro (m³)	Balanço de Terras (m³)
Contraforte (Buttress)	**-**	**-**	**1 666 620**	-1 666 620
Total	-	-	1 666 620	-1 666 620

6.12.5 LAVARIA

Na tabela seguinte apresenta-se a movimentação de terras das plataformas de filtragem, minério (ROM), britagem e flotação da lavaria.

Tabela 6.108 – Movimentação de Terras da Lavaria.

Infraestrutura	Decapagem (m³)	Escavação (m³)	Aterro (m³)	Balanço de Terras (m³)
Plataforma - Filtragem	3 144	147 605	-	147 605
Plataforma - Minério (ROM)	7 337	381 286	5 797	375 489
Plataforma - Britagem	4 556	189 763	13 170	176 593
Plataforma - Flutuação	8 064	298 313	41 452	256 861
Total	23 100	1 016 967	60 419	956 548

6.12.6 PLATAFORMA DE LOGÍSTICA DA MINA

Na tabela seguinte apresenta-se a movimentação de terras da plataforma da oficina.

Tabela 6.109 – Movimentação de Terras da Plataforma de Logística da Mina.

Infraestrutura	Decapagem (m³)	Escavação (m³)	Aterro (m³)	Balanço de Terras (m³)
Plataforma - Oficina	5 518	261 058	14 471	246 587
Total	5 518	261 058	14 471	246 587

7 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS MINEIROS

Os estudos anteriores sobre os resíduos mineiros previstos do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, nomeadamente escombros da escavação (Estéreis) e rejeitados de processamento (Rejeitados), submetidos no Plano de Lavra Reformulado sujeito a avaliação em sede de AIA, Procedimento de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) n.º 3353, concluíram que, de acordo com a classificação definida no Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, na sua redação atual, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, que regulamenta a gestão de resíduos provenientes da industria extrativa, os resíduos da mina eram materiais inertes. A caracterização dos estéreis encontra-se no Anexo VII.1 e a dos rejeitados de processamento no Anexo VII.2.

No entanto, a análise pontual de determinados resíduos revelou a necessidade de realizar análises complementares, relativas ao comportamento geotécnico dos rejeitados a depositar na instalação de resíduos. Assim, e conforme o solicitado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) no ponto 3 da tabela de elementos a apresentar em RECAPE do TUA nº TUA20230530001583, procede-se neste relatório ao complemento da informação considerada relevante.

7.1 METODOLOGIA, TESTES E ENSAIOS

Considerando que as lacunas de informação identificadas no Projeto em fase de Estudo prévio estavam relacionadas com as propriedades geomecânicas e geotécnicas dos rejeitados de processamento, bem como com o comportamento geoquímico a longo prazo dos escombros da escavação, foram desenvolvidos programas complementares de testes e ensaios laboratoriais e de campo.

Estes programas complementares incluíram a realização de ensaios geotécnicos dos rejeitados e a avaliação de uma amostra representativa de grande dimensão (a granel) do material constituinte das escombreiras, repetindo todo o procedimento de avaliação definido no Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, incluindo os ensaios químicos, físicos e de coluna de lixiviados, executados ao longo de um período superior a um ano, em condições de campo e de laboratório.

7.1.1 METODOLOGIA – DECRETO-LEI Nº 10/2010

A metodologia de Caraterização de Resíduos da Indústria Extrativa encontra-se estabelecida no Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, e no qual define que um Resíduo Inerte (de acordo com a definição do mesmo diploma) deve reunir as seguintes caraterísticas:

i. Não é suscetível de sofrer transformações físicas, químicas ou biológicas importantes;
ii. Não é solúvel nem inflamável, nem tem qualquer outro tipo de reacção física ou química;
iii. Não é biodegradável;

iv. Não afeta negativamente outras substâncias com as quais entre em contacto de forma suscetível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana;
v. Possui lixiviabilidade total, conteúdo poluente e ecotoxicidade do lixiviado insignificante;
vi. Não põe em perigo a qualidade das águas superficiais e ou subterrâneas;

O mesmo Decreto-Lei, complementa no Anexo I, a definição de resíduo inerte e define também que um Resíduo Inerte deverá cumprir todos os seguintes critérios, tanto a curto como a longo prazo:

a) Os resíduos não serão passíveis de desintegração ou dissolução significativa ou de outra alteração significativa suscetível de causar efeitos ambientais adversos ou de prejudicar a saúde humana;
b) Os resíduos apresentam um teor máximo de enxofre na forma de sulfureto de 0,1% ou os resíduos apresentam um teor máximo de enxofre na forma de sulfureto de 1% e o quociente do potencial de neutralização, definido como a razão entre o potencial de neutralização e o potencial ácido e determinado com base num ensaio estático de acordo com a norma EN15875, é superior a 3;
c) Os resíduos não apresentam risco de autocombustão e não se inflamarão;
d) O teor de substâncias potencialmente prejudiciais para o ambiente ou para a saúde humana presente nos resíduos e, em particular, de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn, incluindo em partículas finas isoladas de resíduos, é suficientemente baixo para que o risco para a saúde humana e para o ambiente, a curto e a longo prazos, seja insignificante. Para que o risco seja considerado suficientemente baixo para ser insignificante para a saúde humana e o ambiente, o teor dessas substâncias não pode exceder os valores limiar nacionais aplicáveis aos sítios identificados como não contaminados ou os níveis de base naturais nacionais relevantes;
e) Os resíduos estão substancialmente isentos de produtos utilizados na extração ou na transformação que poderiam ser prejudiciais para o ambiente ou para a saúde humana.

No final, e no que concerne à caracterização formal dos resíduos, o Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro define também no Anexo III as regras e procedimentos de avaliação e classificação, e que foram aplicadas no presente documento, separadamente para escombros da escavação e rejeitados de processamento, incluindo:

a) Informações de base;
b) Passado geológico do depósito a explorar;
c) Natureza dos resíduos e tratamento pretendido para os mesmos;
d) Comportamento geotécnico dos resíduos;
e) Características geoquímicas e comportamento dos resíduos.

7.1.2 TESTES E ENSAIOS

Tendo em conta que o enquadramento legal, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, na sua redação atual pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, não define de forma específica nem apresenta uma lista dos ensaios necessários à caracterização dos resíduos da indústria extrativa, tornou-se necessário definir um conjunto metodológico adequado que assegurasse o cumprimento dos requisitos legais. Neste contexto, foram selecionados ensaios e testes executados em laboratórios certificados, seguindo as recomendações técnicas aplicáveis e cumprindo os procedimentos de amostragem previstos na Norma EN 14899, garantindo assim a qualidade e representatividade dos resultados.

7.1.2.1 TESTE DE DURABILIDADE (STD)

O ensaio de durabilidade Slake, conduzido nos laboratórios da ALS em Sevilha, avalia a resistência das amostras à desagregação por ciclos de humedecimento e secagem.

7.1.2.2 ENSAIO DE INFLAMABILIDADE

O Ensaio de inflamabilidade foi conduzido nos Laboratórios da ALS em Sevilha, e pretende determinar se as amostras são inflamáveis ou apresentam risco de autocombustão.

7.1.2.3 TESTE ESTÁTICO DE GERAÇÃO DE ÁCIDOS (ENSAIO ABA – EN 15875)

O Ensaio de Balanço Ácido-Base (ABA) segue a norma europeia EN 15875, foi conduzido nos Laboratórios da ALS em Sevilha. Este ensaio inclui, entre outros parâmetros, a determinação dos valores de enxofre total, sulfato de enxofre total por lixiviação com carbonato, sulfureto de enxofre, carbono total, carbono orgânico e carbono inorgânico.

O balanço ácido-base caracteriza o potencial de produção e neutralização de acidez. A avaliação da lixiviabilidade integra os ensaios de lixiviação e a composição química dos materiais.

7.1.2.4 ANÁLISES GEOQUÍMICAS

As Análises Geoquímicas foram realizadas nos Laboratórios da ALS em Sevilha, utilizando um conjunto de métodos analíticos que permitiram a análise de múltiplos elementos. Estes métodos incluíram a dissolução de amostras por água-régia, fusão total e análises de voláteis, permitindo a análise de todos os elementos definidos no Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, nomeadamente os elementos As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn.

7.1.2.5 Ensaios de Lixiviação e de Geração Líquida de Ácido

Os ensaios de lixiviação em lote foram realizados segundo a EN 12457-2, com uma relação líquido/sólido de 10 L/kg. Foram também realizados ensaios cinéticos em colunas. Estes ensaios são distintos dos ensaios de geração líquida de ácido (NAG), utilizados na avaliação do potencial de acidificação.

Os ensaios Cinéticos (Colunas de Lixiviados) avaliam um conjunto alargado de parâmetros analisados por diferentes métodos, incluindo o conteúdo em: Carbono orgânico dissolvido analisado por combustão, amoníaco analisado por fluorescência, Cianeto (vários parâmetros) por CFA, fósforo e sílica por colorimetria, acidez por titulação, turbidez por nefelometria, ORP por elétrodo, Metais dissolvidos por ICPMS, Mercúrio dissolvido por AAS, espécies alcalinas por titulação, aniões por IC, medições de Condutividade e pH.

Os ensaios Cinéticos (Colunas de Lixiviados) foram conduzidos em várias fases, em dois ambientes distintos, laboratório e condições naturais (*in loco)*, e cada teste com ciclos entre 40 e 52 semanas. Tendo a amostra do teste em condições naturais sido preparada em condições de laboratório na *Wardell Armstrong* no Reino Unido, por forma a garantir a representatividade da amostra, e subamostras preparadas para avaliação das curvas de distribuição de partículas e duplicados de laboratório.

7.1.2.6 Ensaios Geotécnicos e Geomecânicos

Os ensaios geotécnicos e geomecânicos foram mais abrangentes no caso das amostras dos Rejeitados, para os quais foi desenvolvido um programa de caraterização incluindo diversos testes e ensaios normalizados.

A medição de densidade específica das partículas do material (Gs) foi obtida por pesagem em imersão em água, efetuada num laboratório independente (GTI Perth).

As curvas de distribuição granulométrica (PSD) foram obtidas em ensaios de colunas de crivagem padrão num laboratório independente (GTI Perth).

Determinação de Limites de Atterberg (AL) e teor de humidade (w), foi efetuada por ensaio em laboratório independente e consiste na medição do limite líquido (wL) e do limite plástico (wP) do material. O ensaio do limite líquido é realizado utilizando o método do penetrómetro de cone estático, enquanto o ensaio do limite plástico é realizado misturando o solo com água e rolando a amostra até que mostre sinais de desagregação quando o diâmetro for de 3 mm.

O índice de plasticidade (Ip) do sedimento é calculado com a seguinte fórmula:

$$\boldsymbol{IP = wL - wP}$$

Os Testes de consolidação (edómetro) foram efetuados em laboratório independente (GTI Perth), utilizando um equipamento motorizado com controlo de carga (Figura 7.1).

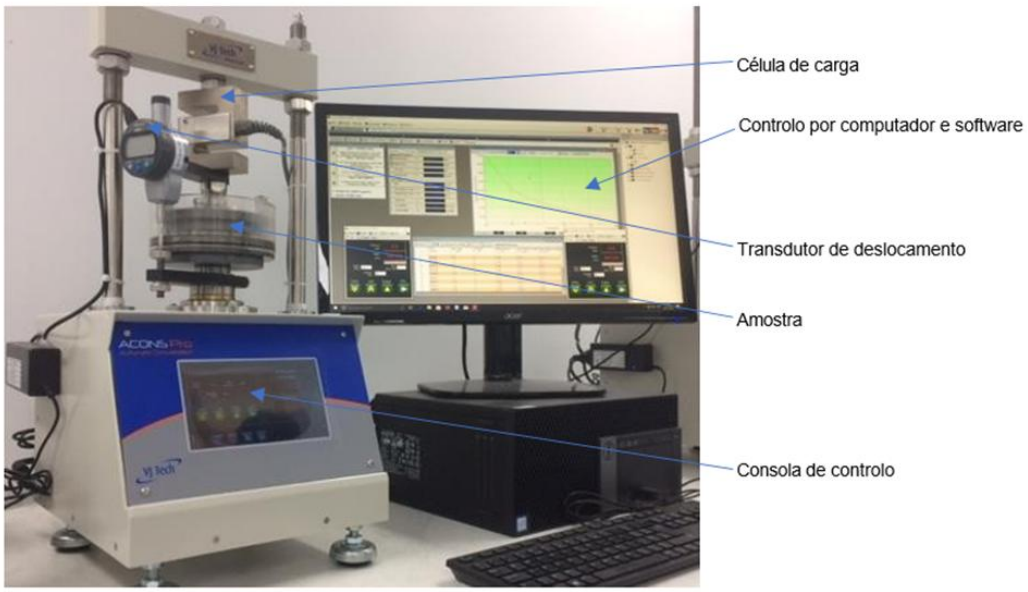


Figura 7.1 – Equipamento de Testes de consolidação (edómetro).

O teste de edómetro decorre com uma sequência de carga em várias etapas, desde uma tensão vertical inicial especificada (σv'-ini) até uma tensão intermediária (σv'-int), seguida por uma etapa de descarregamento até σv'-unl e, em seguida, recarregamento até uma tensão vertical máxima (σ'v-max). A amostra foi então descarregada de volta para σv'-unl kPa antes de ser removida da máquina.

Os resultados obtidos em cada ensaio de edómetro são apresentados nas folhas de ensaio certificado do Anexo VII.2. Cada folha de ensaio tem duas páginas:

- **Página 1** – os resultados são apresentados em formato de tabela, incluindo os detalhes das fases de carga e descarga, a tensão aplicada em cada fase e os resultados em termos de:
  - índice de vazios (e),
  - coeficiente de consolidação (cv) para as fases de carga; estimado utilizando o método da raiz quadrada do tempo,
  - coeficiente de compressibilidade volumétrica (mv) para todas as fases $m_v = \frac{\Delta H}{\Delta \sigma} \frac{1}{H}$
  - onde Δh é a variação na altura da amostra para a fase, Δσ é o aumento na tensão vertical aplicada para a fasee H é a altura da amostra no início da fase.
  - o coeficiente de permeabilidade (k) para os estágios de carga: $k = \frac{c_v . m_v}{\gamma_w}$
  - onde γw é o peso unitário da água.

- **Página 2** – são apresentados:

- O gráfico da relação de vazios (e) em função da tensão vertical aplicada (σv) para cada fase. As inclinações para determinar o índice de compressão (Cc) e o índice de dilatação (Cs-max) são mostradas no gráfico e os valores obtidos são fornecidos na tabela abaixo do gráfico.
- E o gráfico da altura da amostra (H) em função da raiz quadrada do tempo para cada fase de carga é fornecido.

Os Testes de permeabilidade em regime de carga variável (PERM) foram efetuados no laboratório independente (GTI Perth) utilizando um equipamento com a configuração apresentada na Figura 7.2.

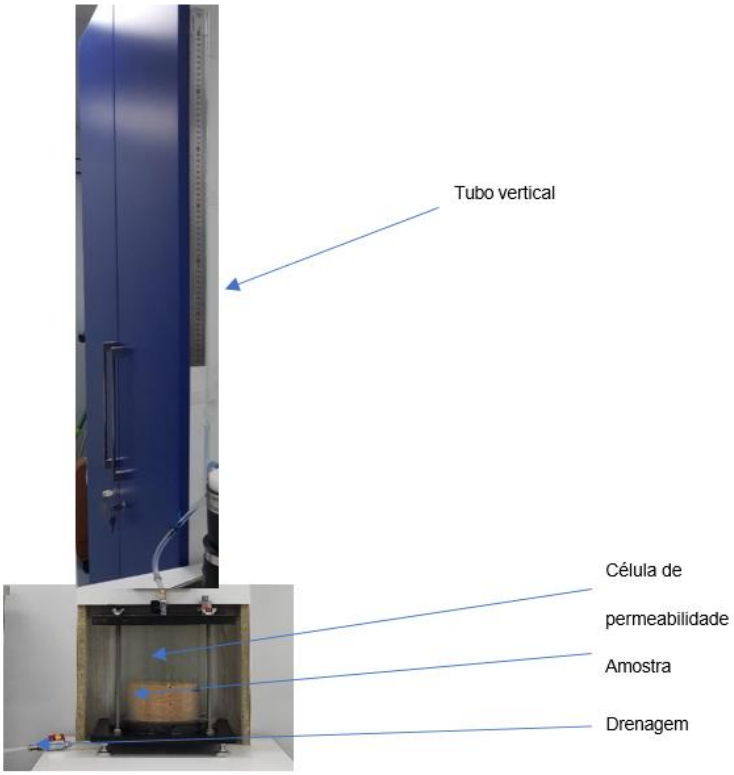


Figura 7.2 – Equipamento de Testes de permeabilidade em regime de carga variável.

Os resultados dos ensaios de permeabilidade em regime de carga variável são apresentados no boletim de ensaios, incluído no Anexo VII.2.

Os testes de cisalhamento simples estático e cíclico (SS) foram efetuados num laboratório independente (GTI Perth) para investigar a resistência ao cisalhamento estática e cíclica do material e de acordo com os procedimentos de teste do laboratório GTI Perth, designados GTI-ADT-P06 (teste estático) e GTI-ADT-P07 (teste cíclico).

Todos os testes foram realizados em amostras reconstituídas, sob condições anisotrópicas consolidadas não drenadas (CAU).

A Figura 7.3 mostra a fotografia do equipamento de teste de cisalhamento simples dinâmico montado no laboratório independente GTI Perth, e utilizada para os ensaios.

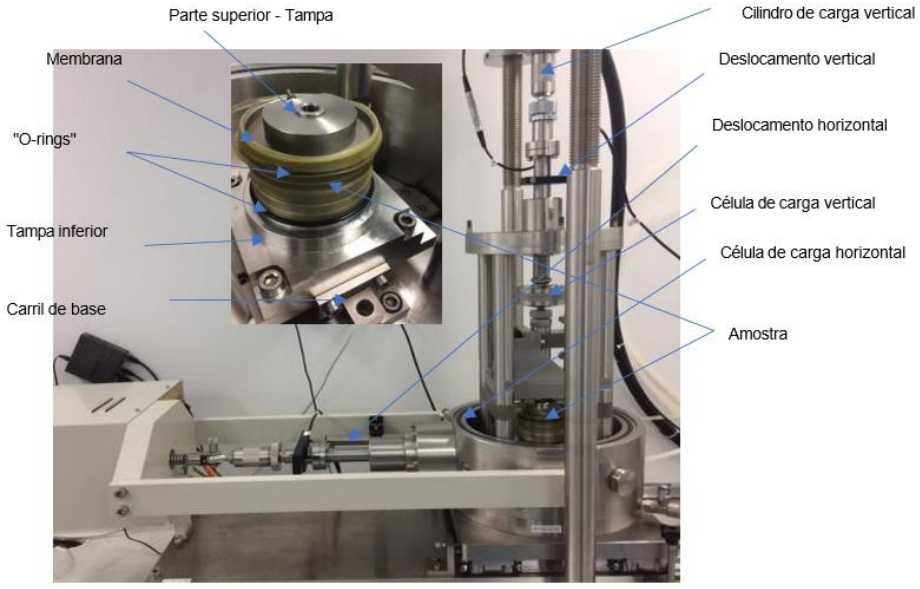


Figura 7.3 – Equipamento de Testes de Cisalhamento simples estático e cíclico.

Preparação da amostra

Os ensaios de cisalhamento simples foram realizados em amostras reconstituídas. As amostras foram preparadas utilizando o método de compactação húmida com uma densidade seca alvo de 1,44 g/cm^3 e um teor de humidade de cerca de 12,5%. Foram preparadas e testadas amostras com 70 mm de diâmetro e 35 mm de altura.

Foram compactadas duas camadas com igual peso de amostra.

A compactação da amostra foi controlada utilizando uma haste com um batente, que é utilizada para controlar a altura de cada camada. A altura alvo de cada camada foi marcada na haste e o batente posicionado utilizando uma haste com um batente, que é utilizada para controlar a altura de cada camada. A haste e o batente são então colocados em cima da camada e compactados com golpes de martelo em cima da haste até que o batente alcance o topo do molde.

Após a preparação, a amostra é então extrudida do molde e colocada entre as tampas superior e inferior. Uma membrana flexível é colocada em torno da amostra e selada às tampas usando o-rings. A amostra, as tampas e a membrana são então transferidas para a máquina e a tampa inferior é aparafusada ao pedestal da base. O cilindro de carga vertical é baixado e conectado à tampa superior.

As linhas de drenagem são conectadas às tampas antes de fechar a célula e enchê-la com água, com uma pressão de confinamento de cerca de 10 kPa aplicada à célula para manter a membrana em contacto com a amostra.

A água foi drenada através da parte inferior da amostra usando uma contrapressão máxima de 5 kPa, mantendo a drenagem superior aberta à atmosfera. O processo foi continuado até que todas as bolhas de ar foram removidas da amostra. A linha de drenagem superior foi então ligada à unidade de contrapressão antes de iniciar a fase de saturação.

Saturação

Durante a saturação da amostra, a pressão da célula e a contrapressão são aumentadas em paralelo, com uma diferença entre elas mantida constante em 10 kPa, até que a pressão da célula (σh-sat) e a contrapressão (σBP) desejadas sejam alcançadas.

Essas condições são mantidas por um período para garantir a saturação total da amostra. Para a maioria dos testes, o período de saturação foi superior a 15 horas. Em seguida, realizado um teste de Valor-B, que consiste em fechar as válvulas de drenagem e aumentar a pressão da célula em até 20 kPa ($\Delta\sigma h\text{-}sat = 20$ kPa). Durante esse tempo, a variação da pressão dos poros (Δu) é registada.

Consolidação

Todas as amostras foram consolidadas anisotropicamente para tensões de consolidação verticais (σv) e horizontais (σh) especificadas.

A consolidação da amostra é realizada aumentando a pressão da célula (σh) e a tensão vertical (σv) até aos valores especificados, visando a trajetória Ko ($Ko = \sigma h/\sigma v = 0{,}7$) com as válvulas de drenagem abertas. Após o aumento, é concedido tempo suficiente para que a amostra se consolide totalmente.

Cisalhamento

Os ensaios de cisalhamento simples não drenado são realizados mantendo uma altura constante da amostra e uma tensão vertical total constante (σv) durante toda a fase de carga. Isto é geralmente conseguido bloqueando o cilindro de carga vertical numa posição fixa para manter uma altura constante da amostra enquanto se ajusta a pressão da célula (σh) para manter uma tensão vertical total constante.

Os ensaios de cisalhamento simples estático e cíclico foram realizados de acordo com o procedimento de ensaio do laboratório independente GTI Perth (GTI-ADT-P06 – estático e GTI-ADT-P07 – cíclico). Os ensaios são terminados após atingir uma deformação de cisalhamento final (γmax) de cerca de 32%.

Os resultados obtidos em cada ensaio de cisalhamento simples individual são apresentados no Anexo VII.2. Cada folha de ensaio estático certificado contém 3 páginas, e cada ensaio cíclico 4 páginas:

- **Página 1** – Informações do projeto, detalhes da amostra, detalhes do ensaio, resumo das fases de saturação, consolidação e cisalhamento, juntamente com a fotografia da amostra após o ensaio.

- **Página 2** – Os resultados da fase de consolidação são apresentados nesta página em termos de:

    - tensões verticais (σv) e horizontais (σh) em função do tempo,
    - deformações volumétricas (εv) e axiais (εa) em função do tempo,
    - deformação axial (εa) em função da raiz quadrada do tempo,
    - deformação volumétrica εv) *versus* raiz quadrada do tempo,
    - tensão vertical (σv) *versus* tensão horizontal (σh); a linha Ko alvo é mostrada neste gráfico,
    - deformação volumétrica (εv) *versus* tensão média (p) (escala logarítmica).

- **Página 3** – Os resultados da fase de cisalhamento são apresentados nesta página em termos de:

    - tensão de cisalhamento (τxy) *versus* deformação de cisalhamento (γ),
    - pressão de poros excessiva (Δu) *versus* γ,
    - tensões verticais totais (σv) e efetiva (σ'v) *versus* γ,
    - tensões horizontais totais (σh) e efetiva (σ'h) *versus* γ
    - relação de tensão (τxy/σ'v) *versus* γ (para carga estática) e trajetória de tensão τxy *versus* σ'v (para carga cíclica),
    - trajetória de tensão τxy *versus* σ'v (para carga estática) e τxy *versus* tensão média efetiva,
    - ((σ'v+σ'h)/2) (para carga cíclica).

- **Página 4 (apenas carga cíclica)** – Os resultados da fase de carga cíclica são apresentados nesta página em termos de:

    - tensão de cisalhamento (τxy) *versus* número de ciclos (Ncyc),
    - pressão de poros excedente (Δu) *versus* Ncyc,
    - pressão porosa excessiva (Δu) *versus* Ncyc,
    - tensões verticais totais (σv) e efetiva (σ'v) *versus* Ncyc,
    - tensões horizontais totais (σh) e efetiva (σ'h) *versus* Ncyc,
    - deformação de cisalhamento (γ) *versus* Ncyc.

Os **testes triaxiais estáticos** (TX) foram efetuados no laboratório independente (GTI Perth) utilizando um equipamento com a configuração apresentada na Figura 7.4, e utilizada para os ensaios.

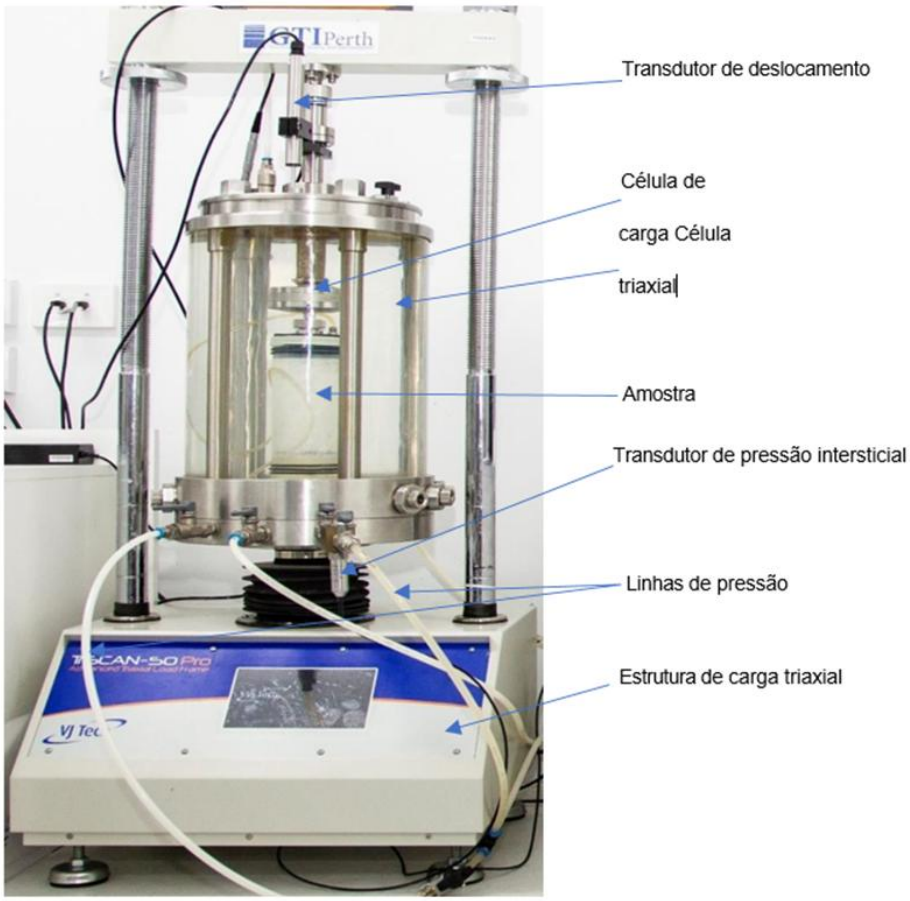


Figura 7.4 – Equipamento de testes triaxais estáticos.

Preparação das amostras

As amostras triaxiais foram preparadas utilizando o método de compactação húmida com uma densidade seca alvo de 1,44 g/cm^3 ou 1,09 g/cm^3 e um teor de humidade de cerca de 12,5%. Foram preparadas e testadas amostras com 70 mm de diâmetro e 140 mm de altura.

O método de compactação foi utilizado para preparar as amostras triaxiais reconstituídas, um total de sete camadas de peso igual de material da mesma amostra foram compactadas.

A compactação da amostra foi controlada utilizando uma haste com um batente, que é utilizada para controlar a altura de cada camada. A altura pretendida de cada camada foi marcada na haste e o batente posicionado usando um parafuso sem cabeça. A haste e o batente são então colocados em cima da camada e compactados com golpes de martelo na parte superior da haste até que o batente atinja o topo do molde.

Após a preparação, a amostra é extrudida do molde e colocada na base triaxial do pedestal. Uma membrana flexível é então esticada em torno da amostra e selada na parte superior e inferior usando *o-rings*.

A amostra, as tampas e a membrana são então transferidas para a máquina, a base do pedestal é aparafusada à base da célula e o cilindro de carga vertical é baixado e conectado à tampa superior.

As linhas de drenagem são conectadas à parte inferior da célula e a pressão é aumentada gradualmente até atingir a pressão de teste.

A amostra, as tampas e a membrana são então transferidas para a máquina, o pedestal da base é aparafusado à base da célula e o cilindro de carga vertical é baixado e conectado à tampa superior.

As linhas de drenagem são conectadas às tampas antes de fechar a célula e enchê-la com água. Uma pressão de confinamento de 10 kPa é aplicada à célula para manter a membrana em contacto com a amostra.

A água é bombeada pela parte inferior da amostra usando uma contrapressão máxima de 5 kPa, mantendo a drenagem superior aberta para a atmosfera. O processo é continuado até que todas as bolhas de ar sejam removidas da amostra.

A linha de drenagem superior é então conectada à unidade de contrapressão antes de iniciar a fase de saturação.

Saturação das amostras

Durante a saturação da amostra, a pressão da célula e a contrapressão foram aumentadas em paralelo, com uma diferença entre elas mantida constante em 10 kPa, até que a pressão da célula (σh-sat) e a contrapressão (σBP) desejadas fossem alcançadas.

Essas condições foram mantidas por um período para garantir a saturação total da amostra. Para a maioria dos testes, o período de saturação foi superior a 19 horas. Em seguida, foi realizado um teste de Valor-B, que consistiu em fechar as válvulas de drenagem e aumentar a pressão da célula em até 20 kPa (Δσh-sat = 20 kPa). Durante esse tempo, a variação da pressão dos poros (Δu) foi registado.

Consolidação

Todas as amostras são consolidadas a uma tensão vertical efetiva (σvc) e tensão horizontal efetiva (σhc) especificadas.

As amostras são consolidadas em condições isotrópicas (CIU e CID) e anisotrópicas (CAU).

A consolidação das amostras é realizada aumentando a pressão celular (σhc) e a tensão vertical (σvc) até aos valores especificados, visando a trajetória Ko (Ko = σhc/σvc) com

as válvulas de drenagem abertas. Os valores de Ko = 1 (testes CIU e CID) e Ko = 0,7 (CAU) foram usados para esses testes.

Após o aumento, é concedido tempo suficiente para que a amostra se consolide totalmente.

Carga

Os ensaios triaxiais estáticos não drenados e drenados foram realizados mantendo uma pressão celular constante (σh) durante toda a fase de carga. Os ensaios estáticos não drenados foram realizados a uma taxa de cisalhamento de 0,1 mm/min (correspondente a cerca de 4,2%/h), com a válvula de drenagem fechada e os ensaios drenados foram realizados a uma taxa de cisalhamento de 0,01 mm/min (correspondente a 0,4%/h), com a válvula de drenagem aberta. Os ensaios foram dados como terminados após atingir uma deformação axial final (εa-max) de cerca de 30%.

Remoção da Amostra

Após a conclusão do ensaio, todas as tensões foram retiradas e a amostra testada foi fotografada. A amostra, juntamente com os acessórios (tampas superior e inferior, pedras porosas, papel de filtro e linhas de drenagem) foram removidos da célula e colocados numa bandeja. Esta foi transferida para um congelador por um período mínimo de 20 horas. Após o congelamento, a amostra foi separada dos acessórios, pesada e colocada no forno (110 °C) por cerca de 24 horas. O peso seco da amostra foi então determinado e o teor de humidade final (w-final) da amostra foi calculado.

O teor de humidade final foi então utilizado para determinar a relação de vazios final da amostra (e-final = w-finalGs) e, utilizando a medição das deformações da amostra durante o cisalhamento, a relação de vazios inicial (eo) foi recalculada.

Os resultados obtidos nos ensaios triaxiais realizados são apresentados no Anexo VII.2. Cada folha de ensaio triaxial certificado contém 4 páginas:

- **Página 1** – Informações do projeto, detalhes da amostra, detalhes do ensaio, resumo da saturação, consolidação e cisalhamento são fornecidos nesta página.
- **Página 2** – Os resultados da fase de consolidação são apresentados nesta página em termos de:
    - Tensões verticais (σv) e horizontais (σh) em função do tempo,
    - Deformações axiais (εa) e volumétricas (εv) em função do tempo,
    - Deformação axial (εa) em função da raiz quadrada do tempo,
    - Deformação volumétrica (εv) em função da raiz quadrada do tempo,
    - Tensão vertical (σv) *versus* tensão horizontal (σh); a linha Ko alvo é mostrada neste gráfico,
    - Deformação volumétrica (εv) *versus* tensão média (p).

- **Página 3** – Os resultados da fase de cisalhamento são apresentados nesta página em termos de:
    - Tensão desviadora (q = σ'v - σ'h) *versus* deformação axial (εa),

- Pressão de poros excessiva (Δu), para os ensaios CIU e CAU ou deformação volumétrica (εv) para os testes CID, *versus* εa,
- Tensões verticais (σ'v) e horizontais (σ'h) efetivas (testes CIU e CAU) ou tensões verticais totais (σv) e horizontais (σh) (testes CID) *versus* εa,
- Caminho de tensão q *versus* tensão efetiva média (p'= (σ'v + 2σ'h)/3) para os testes CIU e CAU ou tensão total média (p= (σv + 2σh)/3) para os testes CID.

- **Página 4** – Nesta página, é apresentado o gráfico da relação de vazios (e) em função da tensão efetiva média (p').

A relação de vazios apresentada é obtida a partir do congelamento da amostra após o ensaio e recalculada usando as deformações da amostra.

Os Testes de coluna ressonante (ResCol) foram efetuados no laboratório independente (GTI Perth) utilizando um equipamento com a configuração apresentada na Figura 7.5, realizados segundo o método descrito na Sociedade Americana para Testes e Materiais (ASTM D4015-15).

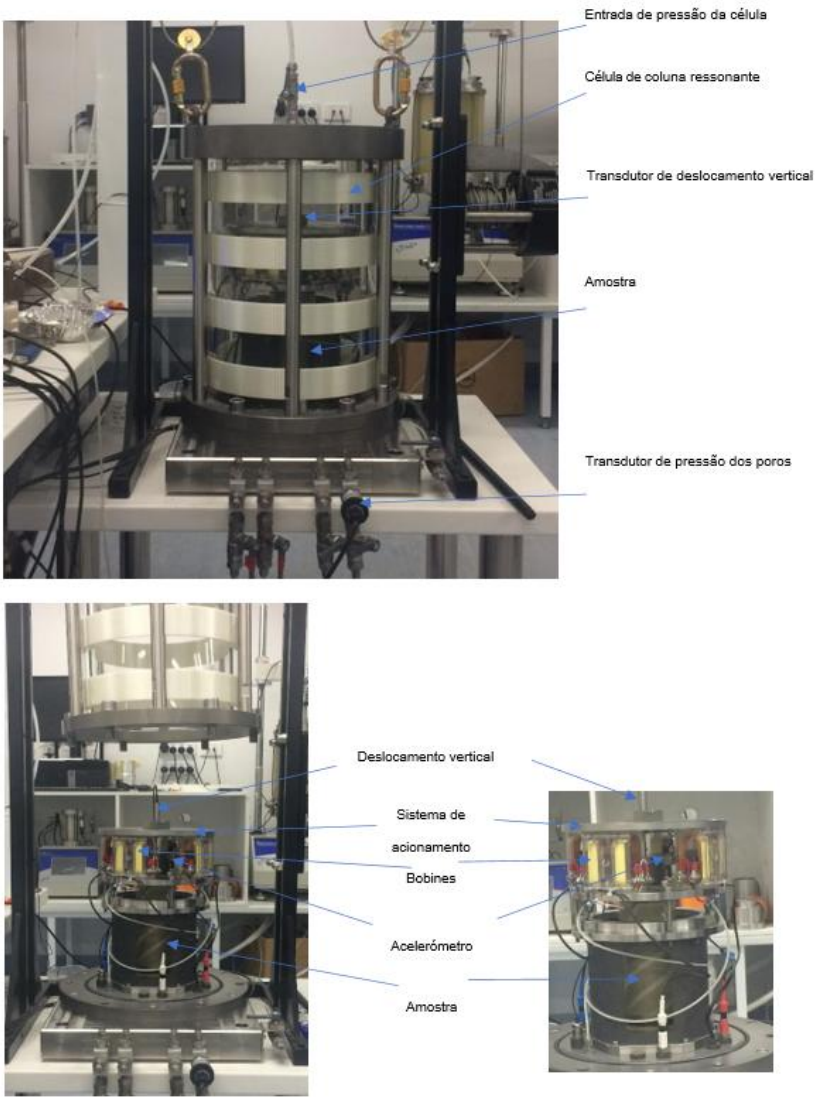


Figura 7.5 – Equipamento de Testes de coluna ressonante.

Preparação da amostra

As amostras reconstituídas foram preparadas com uma densidade seca de 1,44 g/cm^3 e um teor de humidade de cerca de 12,5%.

Um molde de 70 mm de diâmetro e 140 mm de altura foi utilizado para estes testes.

A amostra preparada foi colocada na base do aparelho de coluna ressonante. Uma membrana flexível foi então esticada em torno da amostra e selada na parte superior e inferior usando o-rings. As linhas de drenagem superior e inferior foram conectadas no lugar.

Uma célula interna de Perspex envolvendo a amostra foi preenchida com água até o nível superior da amostra, para impedir a penetração de ar na amostra através da membrana durante o teste.

O sistema de acionamento da coluna ressonante foi então fixado na parte superior da amostra. A célula externa foi então baixada até a base e fixada na posição.

Uma tensão de confinamento de 10 kPa foi aplicada à amostra e a água foi circulada dentro da amostra usando uma contrapressão de 5 kPa aplicada na base, mantendo a linha de drenagem superior aberta para a atmosfera. O processo foi mantido até que todas as bolhas de ar visíveis fossem expelidas da amostra. A linha de drenagem superior foi então conectada à unidade de contrapressão antes de iniciar a fase de saturação.

Saturação

Após a configuração da amostra, a pressão da célula e a contrapressão foram aumentadas em paralelo, com uma diferença nunca superior a 10 kPa entre elas, até que a pressão da célula atingisse 110 kPa e a contrapressão 100 kPa. A variação de volume durante a saturação foi monitorada. A saturação foi continuada até que a variação de volume fosse insignificante.

Consolidação

Após a saturação da amostra, a fase de consolidação foi iniciada aumentando a pressão de confinamento para 600 kPa (efetiva) com a válvula de drenagem aberta para a unidade de contrapressão. Um transdutor de deslocamento variável linear (LVDT) posicionado na parte superior da amostra mede a deformação axial durante a fase de consolidação.

Medições do Módulo de Cisalhamento

Durante a consolidação, a amostra é submetida a vibrações sinusoidais longitudinais em vários intervalos de tempo, utilizando baixa tensão de excitação (medições de baixa deformação).

A frequência e as deformações de cisalhamento obtidas devido à vibração da amostra em vários intervalos de tempo são registadas e o módulo de cisalhamento (G) é determinado. A medição final de G no final da consolidação corresponde ao módulo de cisalhamento máximo (Gmax) da amostra.

No final da consolidação, a amostra é submetida a vibrações sinusoidais longitudinais com tensão de excitação crescente (medições de grande deformação) em vários intervalos de tempo.

O teste foi encerrado após a tensão máxima (1 V) ter sido atingida, resultando numa deformação de cisalhamento de cerca de 0,05% e 0,06%.

Os resultados dos testes ResCol são apresentados de forma gráfica com os seguintes gráficos ao longo de três páginas:

- **Página 1**: Informações sobre o projeto, detalhes da amostra, detalhes do teste, resumo das fases de consolidação e cisalhamento são fornecidos nesta página.
- **Página 2**: Os resultados da fase de consolidação são apresentados nesta página em termos de:
    - tensão de consolidação (σh) *versus* tempo,
    - deformação axial (εa) *versus* tempo,
    - velocidade da onda de cisalhamento (Vs) em função do tempo e
    - módulo de cisalhamento (G) em função do tempo.

- **Página 3**: Os resultados das medições após a consolidação são apresentados nesta página em termos de:
    - velocidade da onda de cisalhamento (Vs) em função do tempo
    - módulo de cisalhamento (G) em função do tempo e
    - módulo de cisalhamento (G) *versus* deformação de cisalhamento (γ).
    - módulo de cisalhamento normalizado (G/Gmax) *versus* deformação de cisalhamento (γ). Gmax é o módulo de cisalhamento obtido no final da consolidação.
    - Relação de amortecimento (η) *versus* deformação de cisalhamento (γ).

Os Testes de Compactação foram realizados pelo laboratório independente Mining & Civil Geotest Pty Ltd.

Os Testes Reológicos foram realizados pelo laboratório independente Central Chemical Consulting Pty Ltd.

7.2 CONTEXTO REGIONAL E CARACTERIZAÇÃO DE SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

A área do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso possui características geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas bastante específicas, constituindo um enquadramento regional próprio, sobre o qual se pretende avaliar a influência e impactos na conceção do plano de gestão de resíduos. No que concerne ao enquadramento geológico, perceber a natureza das rochas que originam os resíduos mineiros a serem depositados em instalações e, no que concerne ao enquadramento hidrogeológico e hidrológico, perceber de que forma as instalações podem ou não afetar linhas de água.

7.2.1 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

A classificação operacional dos materiais distingue o minério destinado à lavaria dos materiais não processados, considerando o teor, a seletividade da lavra e o programa de exploração. Os estéreis incluem metassedimentos e pegmatitos não integrados na alimentação da lavaria.

De acordo com a Folha 06-C da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, dos Serviços Geológicos de Portugal, as formações que ocorrem na área em estudo são as seguintes:

- Sc – Xistos pelíticos e metagrauvaques com intercalações de rochas calcossilicatadas, vulcanitos ácidos e raros liditos;
- Sb – Xistos pelíticos e quartzofilitos com intercalações de quartzitos, liditos, ampelitos e rochas calcossilicatadas;
- γap – Aplitos e/ou pegmatitos

Em termos litológicos a formação Sc é relativamente monótona, sendo constituída por filitos, micaxistos e metaquartzovaques, com intercalações de rochas calcossilicatadas. As rochas carbonosas são menos abundantes que as rochas quartzo-albíticas (vulcanitos ácidos). As rochas calcossilicatadas ocorrem em níveis muito descontínuos e pouco espessos, apresentando um aspeto mosqueado, com ou sem granada, de cor cinzenta-escura a azulada.

A formação Sb é constituída litologicamente por filitos e micaxistos intercalados com xistos negros, com abundantes níveis de quartzitos e quartzofilitos, com algumas intercalações de liditos e ampelitos e rochas calcossilicatadas. O carácter silicioso desta formação é evidenciado pela abundância de micaxistos quartzosos, ricos em quartzo de exsudação. As rochas calcossilicatadas ocorrem em níveis descontínuos, de espessuras centimétricas, mas sempre intercalados nos micaxistos.

A formação γap é constituída por aplitos e/ou pegmatitos graníticos em geral intimamente associados e constituindo filões com direções dominantes NNW-SSE, N-S a NE-SW e E-W a WNW-ESE. A maioria destes filões estão relacionados espacial e geneticamente com os granitos sintectónicos de duas micas. Nesta formação encontram-se as principais mineralizações de estanho e lítio existentes na região do Barroso Alvão (Farinhae Lima, 2000), revelando a presença de filões aplitopegmatíticos com elevados teores em lítio.

O enquadramento geológico regional e estrutural da área do Projeto – inserção na Zona Galiza-Trás-os-Montes, sequência metassedimentar do Silúrico, fases de deformação, instalação dos granitos e dos corpos aplitopegmatíticos mineralizados em lítio – encontra-se descrito nos subcapítulos 2.2 – Geologia Regional e 2.3 – Geologia Estrutural, pelo que não se repete aqui.

7.2.1.1 Geoquímica Regional das Rochas

Para o trabalho de interpretação da Geoquímica regional das rochas foi considerado relevante considerar as litologias regionais, mais especificamente os metassedimentos descritos na Notícia Explicativa da Folha 06-C do Carta Geológica de Portugal (2000) e a geoquímica e mineralogia detalhada, publicada por Maria dos Anjos (1998), na tese de doutoramento, "Estudo litogeoquímico das formações metassedimentares encaixantes de mineralizações em Trás-os-Montes Ocidental. Implicações metalogénicas", na sua maioria filitos e quartzofilitos, com ocasionais xistos pelíticos (Unidades Sb e Sc).

Os principais domínios litológicos, filitos e quartzofilitos, não são claramente identificáveis por inspeção visual, mas podem ser diferenciados pela sílica e proporção inversa de alumínio (Al2O3 acima de 10% define amplamente a litologia no domínio dos filitos), mostrando relação com um protólito original composto por minerais argilosos,

trazendo quantidades significativas de As, Ba e V (Tabela 7.1). Em comparação com os xistos CXG (a maior unidade geológica da região Norte de Portugal), verifica-se que os valores da rocha encaixante da Mina do Barroso se situam dentro da mesma gama, mostrando o ambiente geoquímico natural, ou o contexto geológico desta região. Além disso, nota-se que os valores Be são consistentemente baixos e inferiores a 5ppm.

Tabela 7.1 – Valores regionais para o As, Ba, Be e V nas rochas metassedimentares (extrato de Maria dos Anjos, 1998).

Elementos (ppm)	Filitos	Quartzo-filitos	Xistos (CXG)
As	25	3	19
Ba	1 287	376	667
Be	2,0	1,3	3,2
V	55	96	115

Uma revisão da literatura indica que o arsénio constitui um elemento de ocorrência significativa de diversas litologias e pode ser mobilizado durante a sedimentação, diagénese e metamorfismo (Distribuição e Comportamento do Arsénio em Ambientes Naturais; Aurora Futuro Silva, António Fiúza, 2011). De forma sintética, destacam-se as principais conclusões identificadas:

- O arsénio (As) é um constituinte comum das rochas encaixantes.
- Em rochas sedimentares, as concentrações típicas situam-se nos 5-10 mg/kg, e nas rochas quartzíticas, como os arenitos, podem apresentar valores inferiores (4 mg/kg), e valores significativamente superiores em argilitos, podendo atingir os 900 mg/kg.
- Nas rochas metamórficas, as concentrações refletem a composição do protólito, sendo comum valores entre os 4 e 18 mg/kg, como é o caso xistos.
- Diversos processos geológicos podem meteorizar o maciço rochoso e promover a libertação de elementos, incluindo o As.
- Este processo, que ocorre a baixa temperatura, contribui para a dispersão de As em locais onde são mais suscetíveis à dissolução e transporte, tais como em fraturas do maciço rochoso e do solo superficial.
- Como está presente em todos os solos e sedimentos, a concentração média natural de As nos solos não contaminados situa-se entre 0,1 e 170 mg/kg.

A composição mineral dos pegmatitos da Mina do Barroso é típica da maioria dos pegmatitos das regiões e consiste em quartzo, feldspato (microclina e albite), moscovite e quantidades variáveis de espodumena. A Tabela 7.2 apresenta um resumo da composição mineral média do pegmatito e a Figura 7.6 mostra uma imagem com testemunhos de sondagem do pegmatito.

Tabela 7.2 – Composição mineralógica média de pegmatito de baixo teor.

Mineral	Conteúdo Médio (%)
Albite	45,4
Quartzo	32,2
Microclina	8,3
Moscovite	10,6
Espodumena	2,0
Outros Minerais	1,5

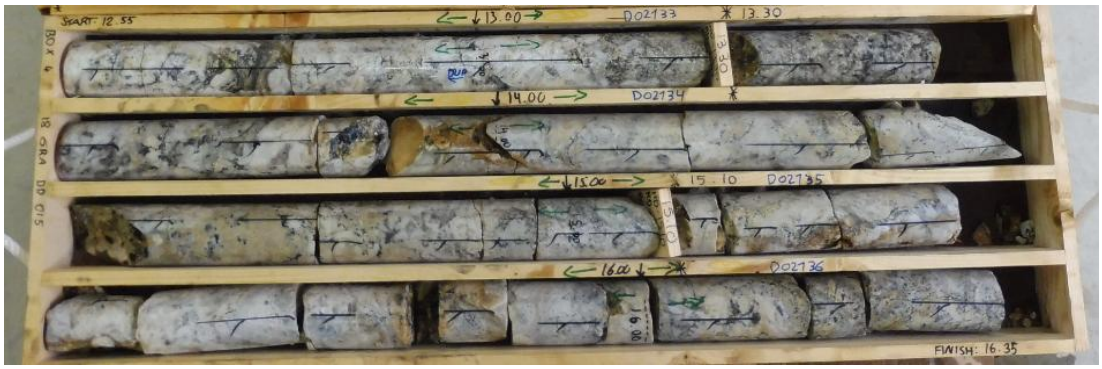


Figura 7.6 – Imagem de testemunhos de sondagem, representativa do tipo de pegmatitos da área do projeto.

7.2.1.2 Mobilidade dos Elementos

A mobilidade de elementos químicos, naturalmente presentes nas rochas, é referida na literatura. Na Figura 7.7 é possível verificar que, em ambiente oxidante, tanto o bário (Ba) como o berílio (Be) são considerados elementos com baixa mobilidade.

Relative mobility	Oxidizing (pH 5–8)	Oxidizing (pH<4)	Reducing
Highly mobile (K>10)	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, Mo, B (Se, Te, Re ?)	Cl, Br, I, S, Rn, He, C, N, B	Cl, Br, I, Rn, He
Moderately mobile (K = 1–10)	Ca, Na, Mg, Li, F, Zn, Ag, U, V, As (Sr, Hg, Sb ?)	Ca, Na, Mg, Sr, Li, F, Zn, Cd, Hg, Cu, Ag, Co, Ni, U V, As, Mn, P	Ca, Na, Mg, Li, Sr, Ba, Ra, F, Mn
Slightly mobile (K = 0·1–1)	K, Rb, Ba, Mn, Si, Ge, P, Pb, Cu, Ni, Co (Cd, Be, Ra, In, W ?)	K, Rb, Ba, Si, Ge, Ra[b]	K, Rb, Si, P, Fe[c]
Immobile (K<0·1)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, rare earths, Pt metals, Au (Cr, Nb, Ta, Bi, Cs ?)	Fe, Al, Ga, Sc, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, rare earths, Pt metals, Au, As[b], Mo[b], Se[b]	Fe, Al, Ga, Ti, Zr, Hf, Th, Pa, Sn, rare earths, Pt metals, Au, Cu, Ag, Pb, Zn, Cd, Hg, Ni, Co, As, Sb, Bi, U, V, Se, Te, Mo, In, Cr (Nb, Ta, Cs ?)

Figura 7.7 – Mobilidade relativa dos elementos químicos em Ambientes Superficiais (Perel'man, 1967).

Um relatório do LNEG (Manuel Rodrigues Pires, 1995 - Programa 2.1 - Prospeção e inventariação de minérios metálicos. Projeto 2.1.5 - Prospeção de jazidas litiníferas e de metais associados entre as Serras de Barroso e Alvão-Ribeira da Pena. Prospeção geológica e geoquímica. 1993-1994. Manuel Rodrigues Pires (1995) 72 Páginas – LNEG (TECNIBASE)) sobre a geoquímica regional contém dados sobre sedimentos de fluxo e algumas considerações sobre mobilidade dos elementos, da rocha à água e da rocha ao solo. O relatório mostra (Figura 7.8 e Figura 7.9) que, para a área de enquadramento da Mina do Barroso, já haviam sido determinados elementos presentes nos solos e em sedimentos de linhas de água.

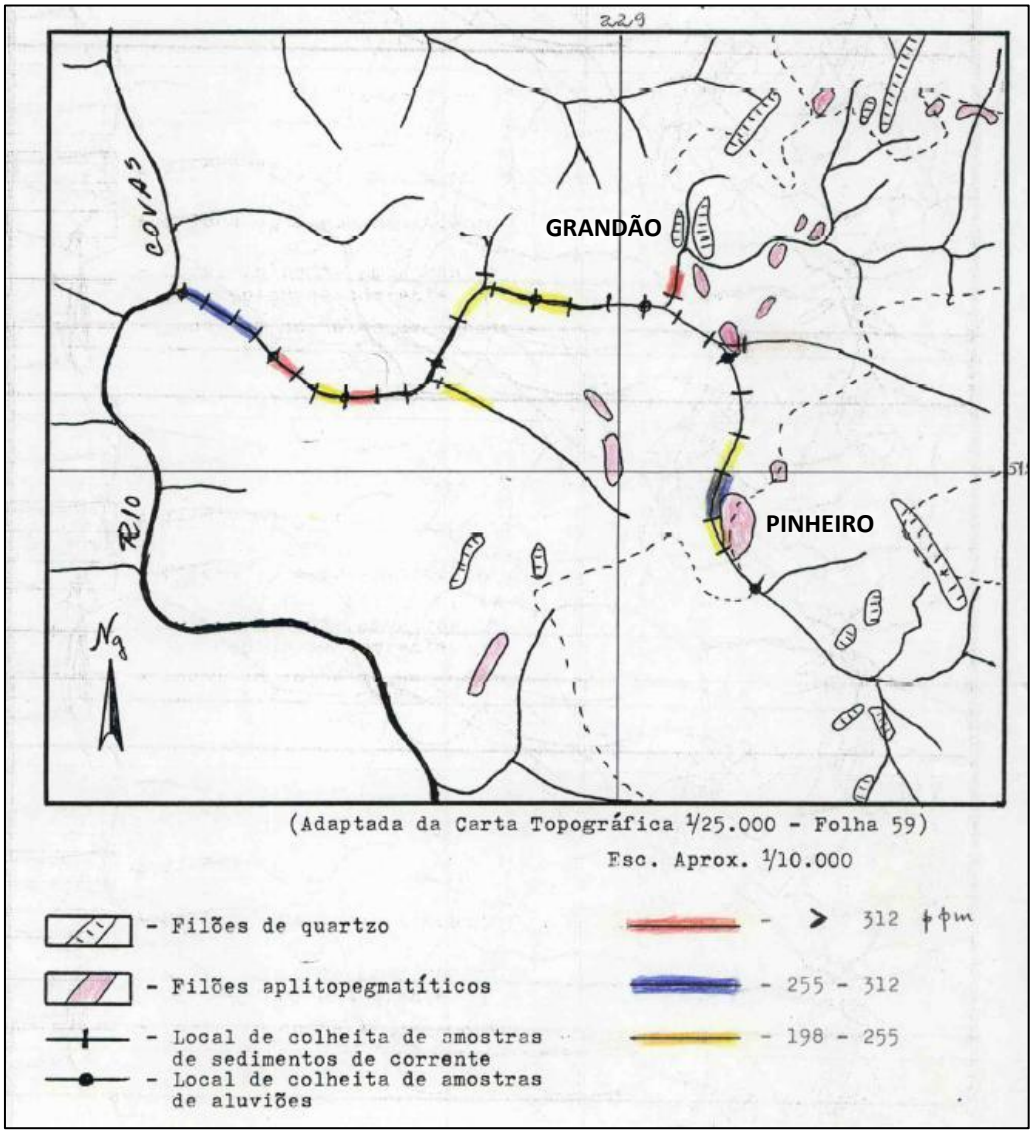


Figura 7.8 – Distribuição das concentrações de estanho (Sn em ppm), presentes em amostras de sedimentos de ribeiros, in Manuel Rodrigues Pires (1995) – LNEG.

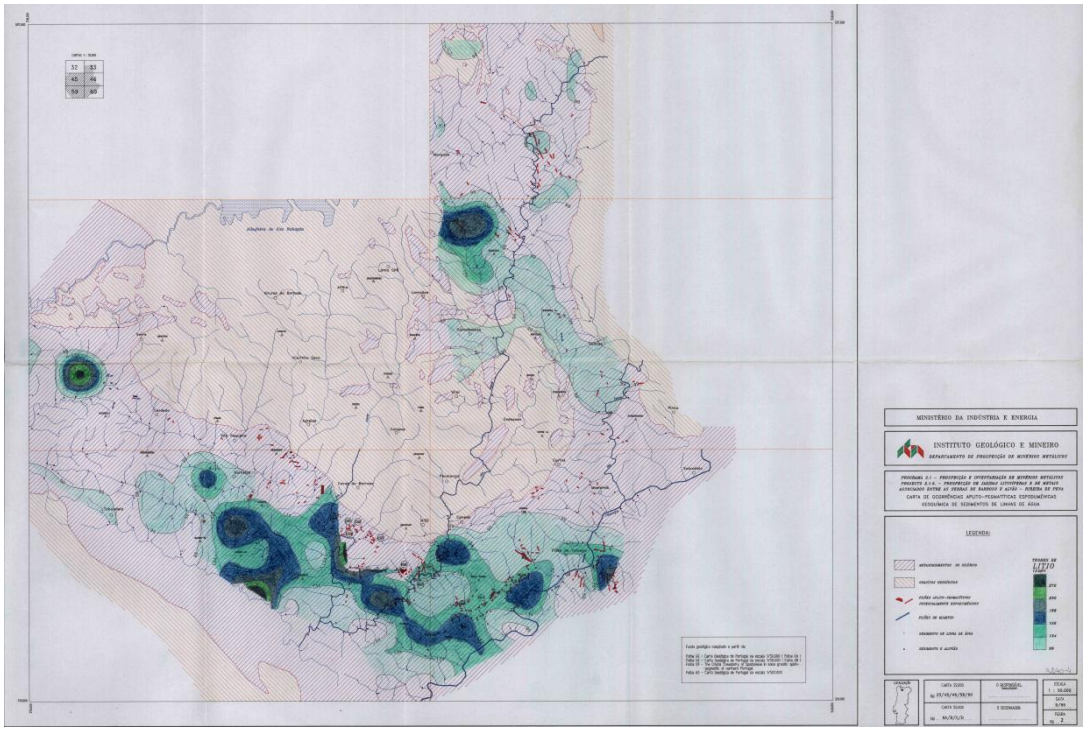


Figura 7.9 – Mapa de anomalias regionais para o lítio (Li), in Manuel Rodrigues Pires (1995) – LNEG.

7.2.2 ENQUADRAMENTO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

O enquadramento hidrológico da área do Projeto – inserção na Região Hidrográfica do Douro, rede hidrográfica envolvente (rio Covas, ribeiro do Couto, Corgo do Fojo e Corgo dos Lamais), regime hidrológico, registos hidrométricos e de precipitação e características gerais dos aquíferos em meio fraturado – encontra-se descrito no subcapítulo 3.1 – Enquadramento Hidrológico, pelo que não se repete aqui. Apresenta-se de seguida apenas a informação hidrogeológica e de qualidade da água relevante para a caracterização dos resíduos mineiros.

Hidrogeologia

Entre 2023 e 2025, a Knight Piésold Ltd (KP) complementou a avaliação hidrogeológica iniciado para o estudo de pré-viabilidade do projeto. Este trabalho permitiu obter significativamente mais dados locais, através da realização de amostragem de superfície, ensaios e análises adicionais, mantendo o enfoque específico nos afluxos de águas subterrâneas para os desenvolvimentos das cortas a céu aberto, bem como a migração potencial de contaminantes das instalações propostas para armazenamento de rejeitados em aterro (TSF), e para resíduos de rocha (estéreis), e preenchimento de vazios das cortas de exploração com resíduos de rocha das diferentes escombreiras (ESC). Toda a análise teve em consideração o contexto lito-geoquímico regional e as propriedades relevantes das litologias presentes, que influenciam de forma determinante as variáveis dos cenários hidrogeológicos locais.

A extensa investigação hidrogeológica desenvolvida para a área do Projeto centrou-se na avaliação dos potenciais impactes que as operações mineiras podem ter no ambiente recetor, que incluem os principais sistemas fluviais e os utilizadores de águas subterrâneas vizinhas, bem como as nascentes. Todos os dados disponíveis relativos à componente de águas subterrâneas, recolhidos dentro e na envolvente do local de exploração mineira, foram revistos de forma integrada para a construção de um modelo conceptual hidrogeológico. Paralelamente, a informação da qualidade da água foi utilizada no âmbito da caraterização da situação de referência no que concerne à Classificação dos Resíduos Mineiros.

Neste estudo concluiu-se que "***As águas superficiais na região de Covas do Barroso**, de acordo com os dados obtidos, **apresentam uma qualidade geral boa, com características geoquímicas fortemente influenciadas pela geologia local de granitos e xistos, possuindo uma baixa mineralização e tratando-se de águas ligeiramente ácidas.**" e que "Alguns parâmetros requerem monitorização contínua como é o caso do Lítio, e, pontualmente, a presença detetável de Arsénio e Cobre … esta análise confirma que a **geologia local é um fator determinante na composição química das águas superficiais da região." E, sobre as águas subterrâneas que "os fatores geológicos sejam predominantes na "assinatura" hidroquímica destas águas, deve também ser considerada a influência das atividades antropogénicas, particularmente as práticas agrícolas** e pecuárias, bem como as atividades de extração e processamento de minerais, que podem introduzir metais no sistema hidrológico. A contaminação das águas subterrâneas pode ocorrer como resultado da lixiviação e infiltração de depósitos de resíduos. Considerando que o Norte de Portugal é caracterizado por inúmeras operações mineiras antigas, tanto a céu aberto como subterrâneas, estas atividades extrativas (e os seus resíduos associados) poderão ter contribuído para concentrações elevadas de ferro e manganês nas águas subterrâneas da região. Com base nos dados da plataforma LNEG, verificou-se que uma parcela significativa da área de estudo se encontra dentro de uma concessão histórica de exploração mineira de estanho, que esteve ativa entre 1950 e 1970.*

Estes indícios de passivos ambientais, de antigas explorações (Séculos XIX e XX), decorrem da não aplicação de medidas de prevenção e mitigação ambientais nas épocas em que as mesmas tiveram efeito. Na atualidade, em Portugal e nos países desenvolvidos, este cenário (e efeitos resultantes) já não se equaciona para as atuais e futuras explorações mineiras, na medida em que as modernas atividades extrativas de minério destacam-se entre as mais avançadas atividades industriais no cumprimento das responsabilidades ambientais e sociais.

***As variações dos valores de pH estão também relacionadas com as interações água-rocha. Em particular, a oxidação dos sulfuretos metálicos gera ácido sulfúrico, contribuindo para a acidificação das águas subterrâneas. Este processo é frequentemente designado de drenagem ácida. Por outro lado, a dissolução de minerais silicatados ou a presença de carbonatos podem consumir iões H^+, resultando num aumento do pH. Estes processos são comuns em rochas graníticas e xistosas, como as que se encontram na região do Barroso, onde a interação água-rocha é intensa devido à presença de aquíferos desenvolvidos em meios fraturados** (Appelo & Postma, 2005).*"

Na Tabela 7.3 resumem-se as medições locais de pH em subterrâneas e superficiais, e observa-se uma tendência à acidez permanente, com especial demarcação entre as subterrâneas e superficiais.

Tabela 7.3 – Resultados de medição de pH (ano 2025) águas subterrâneas e superficiais (pH / MI LAQ Escala Sorensen).

Tipo	Local	pH
Subterrâneas	Furo de Sondagem - NOA15	5,27
	Furo de Sondagem - PiezB	5,23
	Furo de Sondagem - RES18	4,97
	Furo de Sondagem - 18GRAWB002	6,73
	Furo de Sondagem - 24PNRWB001	5,54
Superficiais	Pto1-Ponto a Jusante do Alto da Misarela	6,06
	Pto2-Ponto a jusante do Reservatório	6,36
	Pto3-ponto a jusante do Grandão	6,48
	Pto4-Ponto a jusante do Pinheiro	6,05
	Rio Covas-Parque das Merendas	6,72

Qualidade da água da Chuva (pH)

Na literatura encontram-se referências a estudos sobre os valores de pH da chuva (Branco e Formosinho, 1982) que concluem que em condições naturais, sem poluição significativa um valor “normal” de pH para a Chuva é de 5,6, ligeiramente ácido, e que em locais mais urbanizados poderá baixar para pH perto 4,75 devido à poluição atmosférica, e para o Norte de Portugal os valores de pH da chuva variam entre 4,7 e 5,5 nas zonas mais limpas.

No âmbito dos estudos hidrológicos e ensaios de campo com colunas de lixiviados descritos abaixo, foram efetuadas medições de pH da água da Chuva, tendo sido obtidos resultados de campo (com sonda multiparamétrica) valores de pH de 6,69, acima dos valores médios do norte de Portugal, mas ainda dentro do regime ligeiramente ácido.

7.3 RESULTADOS

Os resultados apresentados servem de base à subsequente Caraterização de Resíduos da Indústria Extrativa e, de acordo com o previsto no Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, incluem-se os resultados relevantes obtidos a partir de todos os registos e relatórios formais dos

laboratórios independentes (Anexos). Apresenta-se, de forma estruturada, um resumo dos resultados Prévios e uma descrição detalhada dos resultados Novos, organizados separadamente para maior clareza interpretativa.

7.3.1 PRÉVIOS

Os resultados prévios datam de 2020 a 2023 e foram submetidos no Plano de Lavra Reformulado avaliado em sede de AIA (processo n.º 3353), concluíram que, de acordo com a classificação definida no Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, que regulamenta os resíduos da indústria extrativa, os resíduos gerados pela mina eram, em média, compostos principalmente por materiais inertes.

7.3.1.1 REJEITADOS

O circuito de processamento descrito no Capítulo 5 compreende britagem, separação em meio denso, moagem, deslamagem, separação magnética e flotação. As designações das amostras apresentadas nesta secção correspondem às correntes ensaiadas em cada campanha. O balanço do programa de exploração agrega as frações de processamento nas rubricas DMS, mica, flotação e fina, sem alterar a identificação das amostras laboratoriais.

- **Rejeitados do DMS** – Fração leve rejeitada no Separador de Meios Densos (feldspato, quartzo, mica e minerais assessórios)
- **Rejeitados Finos** – Frações finas, lodos e lamas, rejeitadas por hidrociclones, antes da alimentação do classificador e do circuito de flotação (feldspato, quartzo, mica e minerais de argila)
- **Rejeitados Magnéticos** – Fração rejeitada em separador magnético (micas e óxidos de ferro)
- **Rejeitados de flotação de Micas** – Separação de minerais tabulares por flutuação (mica, quartzo, feldspato, e minerais assessórios)
- **Rejeitados de flotação de Espodumena** – Rejeitados de minerais leves (maioritariamente quartzo e feldspato) na flotação de espodumena.

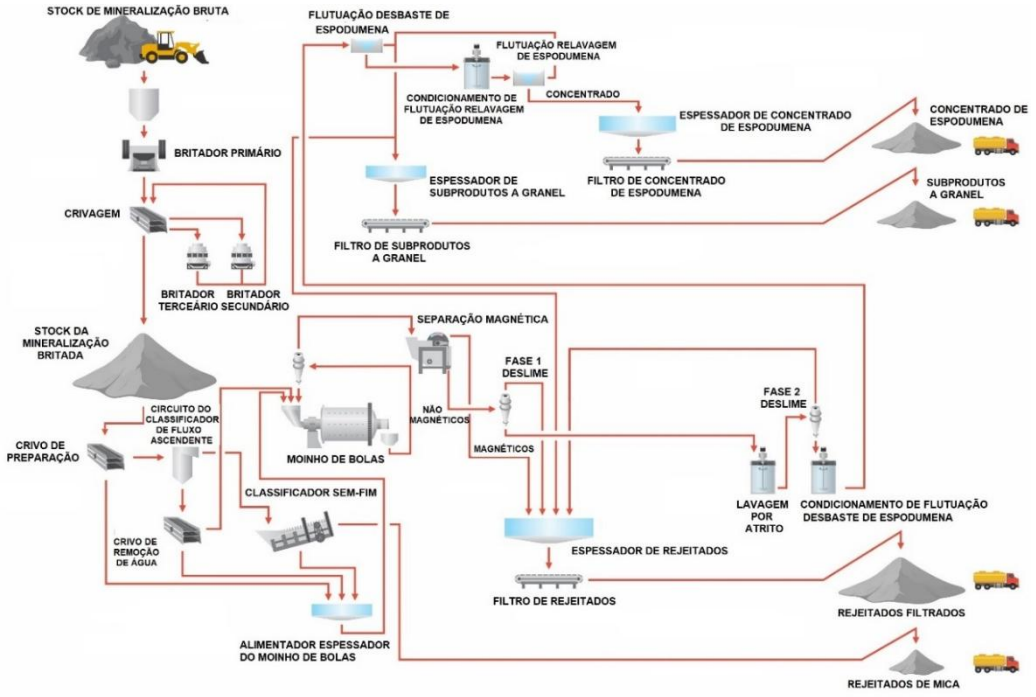


Figura 7.10 – Representação do processo de tratamento na lavaria.

Todas as amostras de Rejeitados ensaiadas são representativas dos materiais rejeitados (ganga) na respetiva parte do processo de tratamento da lavaria, e foram sujeitas a ensaios e testes por forma a caraterizar os Rejeitados de acordo com Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro.

7.3.1.2 Comportamento Geotécnico dos Rejeitados

Os rejeitados serão predominantemente constituídos por quartzo, feldspato e micas, de dimensão fina muito calibrada, de alta resistência e sãos. Sendo resultantes de mineralização de rocha fresca e de alta qualidade, não se espera qualquer nível de meteorização ou oxidação.

Em 2019 foram realizados um conjunto de testes e ensaios geotécnicos aos Rejeitados, planeados e interpretados por um consultor independente, a Knight Piésold (KP), e executados em laboratórios independentes certificados.

Os parâmetros geotécnicos obtidos para avaliar as características físicas intrínsecas (geotécnicas) dos rejeitados, foram obtidos a partir de uma amostra compósita de rejeitados, preparada por um laboratório certificado, a Nagrom & Co., com o objetivo de testar o comportamento do conjunto nas suas proporções de produção/deposição em aterro, e foram realizados os seguintes testes no laboratório da Trilab Perth:

- Distribuição de Tamanho de Partícula (PSD) dos rejeitados
- Densidade de partículas sólidas de rejeitados
- Limites de Atterberg dos sólidos de rejeitados
- Humidade nos Rejeitados – relação com a densidade

- Teste de Dispersão

Os resultados dos testes de classificação geotécnica da amostra compósita de Rejeitados encontrando-se resumidos na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 – Teste de classificação (Rejeitados) - resultados e padrões relevantes.

Teste	Amostra da Savannah
Densidade de Partículas Sólidas (t/m³)	2,57
Limite Líquido (%)	Não Atingido
Limite Plástico (%)	Não Atingido
Índice de Plasticidade (%)	Não Plástico
Retração Linear (%)	Não Atingida

Os resultados do ensaio de distribuição de tamanho de partículas (PSD) para a amostra compósita de Rejeitados é apresentado na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 – Distribuição de tamanho de partícula (Rejeitados).

Fração	Dimensão das partículas (µm)	Percentagem que passa (%)
		Amostra Savannah
Areia	2360	100
	600	100
	200	99
Silte	75	83
	20	20
	6	10
Argila	2	3

A amostra de rejeitados consistia em 17% de areia, 80% de silte e 3% de argila. O teste indicou que o material é Silte não plástico com areia e argila residual com um P80 de 70 µm.

A curva de classificação indica que a amostra ensaiada cai dentro do limite de materiais potencialmente liquefeitos e, portanto, a liquefação da massa de rejeitados precisa ser considerada no projeto.

A relação entre o teor de humidade e a densidade seca da amostra ensaiada foi obtida por meio de testes de densidade de compactação padrão do material.

A amostra tem uma Densidade Seca Máxima (SMDD) de 1,44 t/m³ e um Teor de Humidade Ideal (OMC) de 24,8%. Isso equivale a uma taxa de vazios de 0,78.

Estes resultados integram a caracterização laboratorial dos materiais ensaiados. Os parâmetros adotados no dimensionamento da TSF e os resultados das análises de estabilidade são apresentados, respetivamente, nas secções 4 e 7, com base na memória descritiva da COBA.

7.3.1.3 Caraterísticas Geoquímicas e Comportamento dos Rejeitados

Entre 2018 e 2022 foram realizados ensaios aos rejeitados, avaliados pela Knight Piésold no relatório de caracterização anexo. O relatório e a reinterpretação posterior utilizaram referenciais de comparação distintos, pelo que as suas conclusões são lidas em conjunto com os métodos, as unidades e o âmbito de aplicação desses referenciais.

A caracterização ambiental dos resíduos assenta na avaliação integrada da composição química, do potencial de acidificação e dos resultados de lixiviação. Estes elementos sustentam a avaliação das características dos materiais e a definição das medidas de deposição, drenagem e monitorização previstas no projeto, tendo em vista a proteção dos solos e dos recursos hídricos.

As 12 amostras representativas dos rejeitados foram analisadas para os parâmetros definidos no Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, apresentando teores de enxofre na forma de sulfureto de 0,01%, correspondente com os valores obtidos para o compósito analisado em 2019, e um quociente do potencial de neutralização de 30 (Tabela 7.6 e Tabela 7.7).

Tabela 7.6 – Resultados das análises de valores totais de enxofre, potencial de neutralização ácida e potencial de geração ácida, efetuadas no Laboratório certificado ALS, e de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Rejeitados.

Corta	Tipo de Rejeitado	S% (Total)	Potencial Ácido	Potencial de Neutralização	Razão AP/NP
PNR	Rejeitados do DMS	0,01	0,3	9,2	29
PNR	Rejeitados de flotação de Micas	0,01	0,3	6,1	20
PNR	Rejeitados de flotação de Espodumena	0,01	0,3	4,1	13
PNR	Rejeitados Finos	0,01	0,3	20,4	65
RES	Rejeitados do DMS	0,01	0,3	10,2	33
RES	Rejeitados de flotação de Micas	0,04	1,3	7,1	6

Corta	Tipo de Rejeitado	S% (Total)	Potencial Ácido	Potencial de Neutralização	Razão AP/NP
RES	Rejeitados de flotação de Espodumena	0,01	0,3	3,1	10
RES	Rejeitados Finos	0,01	0,3	29,6	95
GRA	Rejeitados do DMS	0,01	0,3	9,2	29
GRA	Rejeitados de flotação de Micas	0,03	0,9	7,1	8
GRA	Rejeitados de flotação de Espodumena	0,01	0,3	4,1	13
GRA	Rejeitados Finos	0,02	0,6	19,4	31
	Compósito 2019	0,02	0,6	19,4	31

Tabela 7.7 – Valores totais de enxofre, potencial de neutralização ácida e potencial de geração ácida, efetuadas no Laboratório certificado ALS, e de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Rejeitados.

Parâmetros	S% (Total)	Potencial Ácido	Potencial de Neutralização	Razão AP/NP
Médias	0,01	0,42	10,5	30

Os resultados de lixiviação de metais, oxianiões e sais são apresentados nas Tabela 7.8 e Tabela 7.9, com identificação das amostras, unidades e referenciais de comparação.

Tabela 7.8 – Resultados das análises de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn no eluato (24h) dos Rejeitados comparados com os limites estabelecidos para Inerte Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro.

Corta	Tipo de Rejeitado	As mg/kg TS	Cd mg/kg TS	Co mg/kg TS	Cr mg/kg TS	Cu mg/kg TS	Hg mg/kg TS	Mo mg/kg TS	Ni mg/kg TS	Pb mg/kg TS	V mg/kg TS	Zn mg/kg TS
PNR	Rejeitados de flotação de Micas	0,03	0,00004	0,1	0,01	0,01	0,0001	0,00104	0,01	0,0005	0,01	0,02
PNR	Rejeitados de flotação de Espodumena	0,02	0,00012	0,1	0,01	0,01	0,0001	0,00060	0,01	0,0005	0,01	0,01
RES	Rejeitados de flotação de Micas	0,00	0,00007	0,1	0,01	0,01	0,0001	0,00092	0,01	0,0005	0,01	0,01

Corta	Tipo de Rejeitado	As mg/kg TS	Cd mg/kg TS	Co mg/kg TS	Cr mg/kg TS	Cu mg/kg TS	Hg mg/kg TS	Mo mg/kg TS	Ni mg/kg TS	Pb mg/kg TS	V mg/kg TS	Zn mg/kg TS
RES	Rejeitados de flotação de Espodumena	0,00	0,00003	0,1	0,01	0,01	0,0001	0,00082	0,01	0,0005	0,01	0,01
GRA	Rejeitados de flotação de Micas	0,01	0,00002	0,1	0,01	0,01	0,0001	0,00081	0,01	0,0005	0,01	0,01
GRA	Rejeitados de flotação de Espodumena	0,00	0,00003	0,1	0,01	0,01	0,0001	0,00085	0,01	0,0005	0,01	0,01

Tabela 7.9 – Resultados das análises de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn no eluato (24h) dos Rejeitados comparados com os limites estabelecidos para Inerte Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro.

	As mg/kg TS	Cd mg/kg TS	Co mg/kg TS	Cr mg/kg TS	Cu mg/kg TS	Hg mg/kg TS	Mo mg/kg TS	Ni mg/kg TS	Pb mg/kg TS	V mg/kg TS	Zn mg/kg TS
Média	0,01	0,00	0,1	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Limites Inerte	0,5	0,04	Não definido	0,5	2	0,01	0,5	0,4	0,5	Não definido	4

7.3.1.4 ESCOMBROS

Entre 2019 e 2023 foram realizados diversos testes e ensaios aos Escombros, cujo os programas e interpretação dos resultados foram da responsabilidade da Knight Piésold (KP). Durante este período, a KP emitiu vários relatórios intermédios, culminando num relatório final (Anexo VII.1 – LO501-00080/15-M06) que integra todos os testes geoquímicos, estáticos e testes cinéticos realizados. A interpretação dos resultados foi efetuada em conformidade com o Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro onde se conclui que as amostras avaliadas são, em média, classificadas como Inertes.

A caracterização foi desenvolvida através de campanhas complementares de ensaios geotécnicos e geoquímicos sobre amostras de estéreis e de frações de processamento. A identificação das amostras, dos laboratórios e dos resultados consta dos relatórios de ensaio do Anexo VII.1.

Os estudos geoquímicos foram realizados numa abordagem faseada, que envolveu a análise de 66 amostras de rochas. Esta fase inicial teve como objetivo realizar uma

triagem, permitindo identificar amostras desprovidas de enxofre e não enriquecidas em metais e metalóides.

A segunda fase do estudo realizou testes mais detalhados em doze amostras selecionadas, que incluíram um conjunto completo de ensaios de contabilidade ácido-base, avaliação do potencial de geração líquida de ácido e testes de comportamento de lixiviação. Os resultados desta segunda fase do estudo indicaram a presença de algum material com elevado teor de enxofre e com potencial para gerar pequenas quantidades de ácido. Face a estes resultados, foi recomendada a realização de uma fase adicional de testes para aprofundar a caracterização geoquímica dos resíduos rochosos.

A terceira fase do estudo consistiu na realização de testes estáticos de vinte e duas amostras de resíduos rochosos, compostos por pegmatitos e xistos dos depósitos Grandão, Pinheiro, Reservatório e NOA.

A quarta fase do estudo envolveu testes cinéticos de seis amostras (selecionadas a partir das amostras utilizadas na terceira fase), privilegiando os materiais com maior potencial de risco geoquímico.

Descrevem-se abaixo os resultados obtidos.

7.3.1.5 Comportamento Geotécnico dos Estéreis

O estéril será composto predominantemente por metassedimentos e aplito-pegmatitos ou pegmatitos, de alta resistência, ligeiramente meteorizados a sãos. O perfil de meteorização nas áreas de extração é considerado baixo e o volume de material oxidado/extremamente meteorizado, escavado, será baixo.

Estes resultados integram a caracterização laboratorial dos estéreis ensaiados. Os parâmetros e os resultados da avaliação de estabilidade das escombreiras são apresentados na secção 7.14.6, com identificação das hipóteses e da base de informação utilizadas.

Tabela 7.10 – Parâmetros Preliminares do Dimensionamento Geotécnico.

	Parâmetro		Metassedimento			Pegmatito São
			São	Transitório	Meteorizado	
Parâmetros de Classificação de Hoek-Brown	Densidade	ρ (t/m³)	2,7	2,7	2,7	2,6
	Coeficiente de Poisson	v	0,26	0,31	0,31	0,12
	Tensão principal durante a rotura da rocha	σt (MPa)	7,6	6,7	3,5	17,0
	Resistência à compressão uniaxial	σci (MPa)	40	33	29	135

	Parâmetro		Metassedimento			Pegmatito São
			São	Transitório	Meteorizado	
	Índice de Resistência Geológica	GSI	60	44	27	54
	Constante Hoek-Brown	mi	15	11	11	22,5
Hoek-Brown (maciço rochoso)	Constante Hoek-Brown	m_b	2,5	1,3	0,8	4,4
		s	0,0117	0,0020	0,0003	0,0060
		a	0,503	0,509	0,527	0,504
		Dilatância	2,4	1,0	0,5	2,9
	Tensão principal durante a rotura da rocha	σ_{tm} (MPa)	0,13	0,04	0,01	0,19
	Resistência à compressão uniaxial (maciço rochoso)	σ_c (MPa)	4,3	1,4	0,4	10,3
	Tensão total (MPa)	σ_{cm} (MPa)	10,5	5,3	3,1	37,8
	Módulo de Young (maciço rochoso)	E*rm* (GPa)	32,9	7,5	2,4	29,7
Mohr-Coulomb (maciço rochoso)	Confinamento máximo	σ_3 max (MPa)	4,3	4,1	3,9	4,9
	Atrito	ϕ (°)	44	35	29	54
	Coesão	c (MPa)	1,55	0,97	0,66	2,56

7.3.1.6 CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS E COMPORTAMENTO DOS ESTÉREIS

A equipa de Consultores especialistas e independentes da Knight Piésold conduziu o programa de testes geoquímicos da rocha estéril, composta por metassedimentos sem aditivos ou outros produtos.

Foram recolhidos dois conjuntos de amostras de rocha para enquadramento nas normas e regulamentos constantes do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro. O primeiro conjunto com 66 amostras e um segundo conjunto de 20 amostras adicionais, destinadas à confirmação dos resultados (Tabela 7.11). Estes grupos de amostras incluíram vários tipos de litologias que, no processo de exploração, não podem ser separadas, dado encontrarem-se disseminadas no maciço rochoso.

Tabela 7.11 – Resultados das análises de valores totais de enxofre, potencial de neutralização ácida e potencial de geração ácida, efetuadas no Laboratório certificado ALS, e de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro.

Parâmetro	S (%)	NP	AP	*Rácio NP/AP*
Média	**0,05**	**4,95**	**1,62**	**16**
		Amostras		
AMD087	0,01	5	0,15	*33*
AMD088	0,01	7	0,15	*47*
AMD089	0,01	2	0,15	*13*
AMD090	0,01	2	0,15	*13*
AMD091	0,01	6	0,15	*40*
AMD092	0,39*	7	12,2	*1*
AMD093	0,05	8	1,6	*5*
AMD094	0,21*	6	6,6	*1*
AMD095	0,01	4	0,15	*27*
AMD096	0,10	7	3,1	*2*
AMD097	0,02	7	0,6	*12*
AMD098	0,08	7	2,5	*3*
AMD099	0,04	8	1,3	*6*
AMD100	0,01	7	0,15	*47*
AMD101	0,01	2	0,15	*13*
AMD102	0,01	1	0,15	*7*
AMD103	0,01	4	0,15	*27*
AMD104	0,01	5	0,15	*33*
AMD105	0,06	4	1,9	*2*
AMD106	0,07	4	2,2	*2*
Limite de Deteção	*0,01*	*1*	*0,3*	

Parâmetro	S (%)	NP	AP	*Rácio NP/AP*

* Excede pontualmente os limiares da alínea b), do Anexo I do DL 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro.

Os valores médios obtidos nas amostras de estéreis correspondem a 0,05% de enxofre na forma de sulfureto e a um quociente do potencial de neutralização de 16. Estes valores caracterizam o conjunto ensaiado e são interpretados em conjunto com a variabilidade e os resultados individuais.

A comparação com os valores de referência para solos do Guia da APA (2019) identifica excedências de arsénio nas amostras de estéreis. Estes valores de referência não são equiparados a valores de fundo geoquímico local.

Tabela 7.12 – Resultados de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn nos Estéreis.

Elementos	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
					Amostras						
AMD087	21,7	<0,02	1	17	2,5	0,005	0,3	3,4	15,5	7	31
AMD088	24,7	0,05	0,4	18	1,6	0,005	0,3	0,9	13	38	53
AMD089	42,6	0,05	6,7	77	18,7	<0,005	0,53	12,4	22,5	66	83
AMD090	23,0	0,05	22,6	84	19,1	<0,005	0,45	32,1	28,1	76	94
AMD091	18,6	<0,02	4	31	3,3	<0,005	0,67	8,8	9,9	19	27
AMD092	15,6	0,03	6,8	38	11	<0,005	0,5	12	10,6	32	44
AMD093	3,2	0,03	5,7	44	5	0,007	0,53	13	10,2	34	40
AMD094	31,5	0,02	11,8	86	22,8	0,009	0,52	25,8	23,5	78	53
AMD095	38,4	<0,02	13,7	88	15,2	<0,005	0,59	32,1	24,4	81	132
AMD096	202	<0,02	8,6	50	14,8	<0,005	0,45	16,8	21,3	39	50
AMD097	15,8	0,06	6,8	48	7,1	<0,005	0,47	12,6	25,2	37	38
AMD098	33,4	<0,02	18,4	93	40,6	<0,005	0,67	38,5	34,1	89	102
AMD099	49,2	0,02	10,8	72	6,8	<0,005	0,61	20,9	49	49	62
AMD100	1,0	0,12	0,2	19	1,6	<0,005	0,38	1,2	13,2	5	48
AMD101	97,5	<0,02	4,8	90	13,6	<0,005	0,55	10	17,2	84	71

Elementos	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
AMD102	72,3	<0,02	9,4	97	23,8	<0,005	0,39	15,7	23	90	139
AMD103	44,6	0,05	19,2	105	21,7	<0,005	0,3	37,2	22,1	91	112
AMD104	4,2	0,04	0,4	7	1,5	<0,005	0,23	1,7	16,6	<5	66
AMD105	34,8	<0,02	17,3	105	33,1	<0,005	0,39	42,7	26,3	115	113
AMD106	5,9	0,03	12,2	81	14,3	<0,005	0,48	25,6	25,1	67	73
Limites de Deteção	0,1	0,02	0,1	5	0,2	0,005	0,05	0,2	0,5	5	2

No quadro seguinte apresentam-se os valores médios de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn nos estéreis comparados com os níveis de base naturais nacionais relevantes dos elementos do Guia da APA (Tabela 7.13), com métodos analíticos (ICP-MS) efetuados no Laboratório acreditado ALS.

Tabela 7.13 – Valores médios de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn nos Estéreis comparados com os limites dos elementos do Guia da APA, valores em ppm. Métodos analíticos (ICP-MS) efetuados no Laboratório acreditado ALS.

Elementos	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
Valores Médios equivalentes aos níveis de base locais	39	0,04	9,04	62,5	13,905	0,006	0,47	18,17	21,54	57,74	71,55
TABELA E (níveis de base naturais nacionais)	11	1	22	160	140	0,25	6,9	100	45	86	340

Os resultados são comparados com os valores de referência para solos e com a informação de fundo geoquímico disponível, distinguindo os dois referenciais. A presença de arsénio nos metassedimentos é considerada na interpretação das amostras, sem atribuir automaticamente a um resultado individual o estatuto de valor de fundo representativo de todos os materiais.

Os resultados de lixiviação de metais, oxianiões e sais são apresentados na Tabela 7.14. A avaliação considera os resultados individuais e os valores médios, distinguindo a caracterização dos resíduos da avaliação das águas de contacto e das condições de descarga.

Tabela 7.14 – Valores médios de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn no eluato (24h) dos Estéreis comparados com os limites estabelecidos para Inerte no Decreto-Lei 102-D2020 e de acordo com o prescrito no Ponto 3 do Anexo III do DL 10/2010, valores em mg/kg (TS). Métodos analíticos (ICP-MS) efetuados no Laboratório acreditado ALS.

	As mg/kg TS	Cd mg/kg TS	Co mg/kg TS	Cr mg/kg TS	Cu mg/kg TS	Hg mg/kg TS	Mo mg/kg TS	Ni mg/kg TS	Pb mg/kg TS	V mg/kg TS	Zn mg/kg TS
Media	0,15	0,00	0,02	0,01	0,03	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01	0,06
Limites Inerte	0,50	0,04	Não definido	0,5	2	0,01	0,5	0,4	0,5	Não definido	4
AMD087	0,45	0,0005	0,0181	0,005	0,0154	0,0002	0,005	0,0135	0,0169	0,00	0,152
AMD088	0,16	0,000667	0,0315	0,005	0,0245	0,0002	0,005	0,00658	0,0155	0,00	0,2
AMD089	0,69	0,0005	0,0159	0,00902	0,0187	0,0002	0,005	0,0107	0,00812	0,02	0,0495
AMD090	0,01	0,0005	0,0062	0,005	0,01	0,0002	0,005	0,005	0,002	0,00	0,02
AMD091	0,21	0,0005	0,00259	0,005	0,0116	0,0002	0,005	0,005	0,00867	0,02	0,02
AMD092	0,09	0,0005	0,00409	0,00823	0,0103	0,0002	0,005	0,0105	0,0166	0,02	0,02
AMD093	0,09	0,00122	0,00754	0,0168	0,0509	0,0002	0,005	0,005	0,0342	0,03	0,0264
AMD094	0,25	0,000825	0,028	0,0132	0,14	0,0002	0,005	0,055	0,002	0,01	0,02
AMD095	0,04	0,0005	0,0206	0,0164	0,12	0,0002	0,005	0,0124	0,00503	0,02	0,041
AMD096	0,23	0,0005	0,0225	0,0401	0,0274	0,0002	0,005	0,0487	0,053	0,04	0,133
AMD097	0,33	0,0005	0,00145	0,00713	0,0149	0,0002	0,005	0,005	0,00336	0,06	0,206
AMD098	0,09	0,0005	0,0149	0,02	0,01	0,0002	0,005	0,0476	0,0264	0,04	0,0447
AMD099	0,03	0,0005	0,00132	0,005	0,01	0,0002	0,00532	0,0275	0,00214	0,00	0,02
AMD100	0,01	0,0005	0,0005	0,005	0,01	0,0002	0,005	0,005	0,00384	0,01	0,0391
AMD101	0,01	0,0005	0,00388	0,005	0,01	0,0002	0,005	0,005	0,002	0,00	0,02
AMD102	0,01	0,0005	0,00603	0,005	0,01	0,0002	0,005	0,005	0,002	0,00	0,0333
AMD103	0,21	0,0005	0,00664	0,0105	0,01	0,0002	0,005	0,00898	0,0206	0,02	0,0202
AMD104	0,06	0,0005	0,00163	0,005	0,01	0,0002	0,005	0,005	0,0226	0,00	0,0309
AMD105	0,01	0,0005	0,0216	0,005	0,01	0,0002	0,005	0,0929	0,0133	0,01	0,02
AMD106	0,01	0,0005	0,0888	0,005	0,01	0,0002	0,005	0,34	0,00352	0,00	0,0316

Todas as amostras foram selecionadas a partir das sondagens, e de forma que estejam localizadas no interior das áreas projetadas para as cortas (Figura 7.11 e Figura 7.12), de forma aleatória, e de forma a serem consideradas representativas do material a ser extraído.

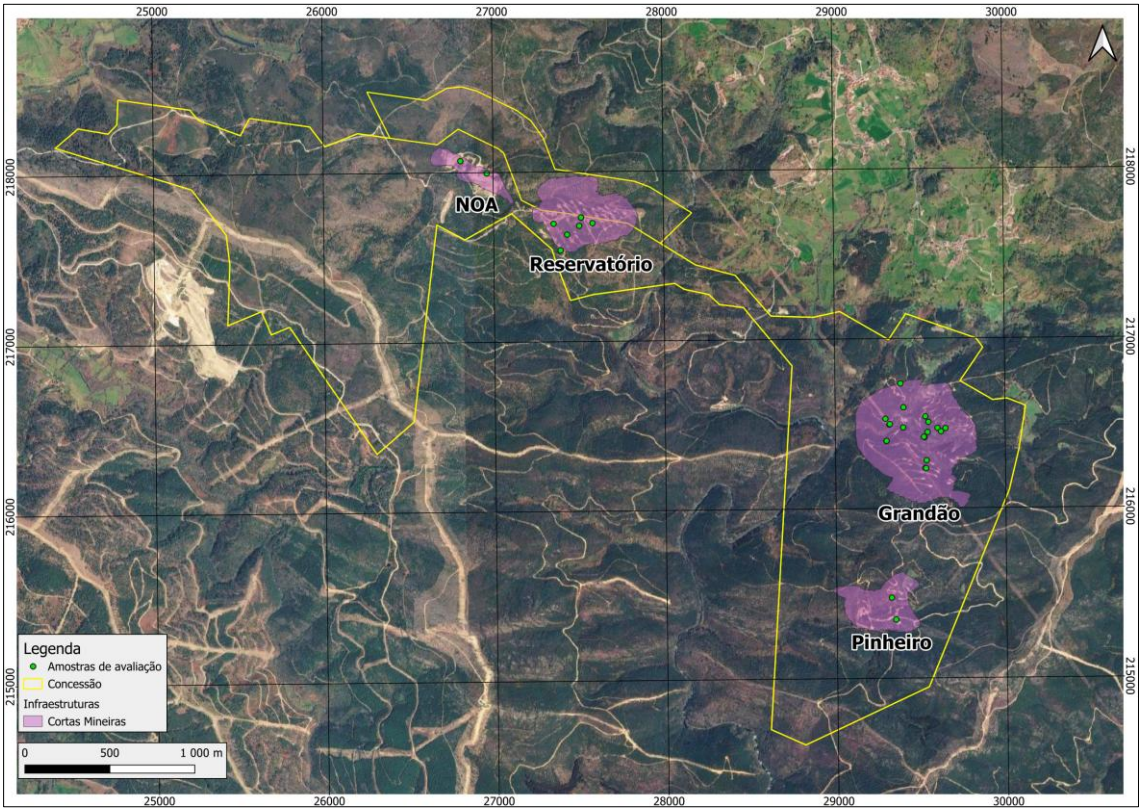


Figura 7.11 – Localização das amostras de avaliação dos estéreis.

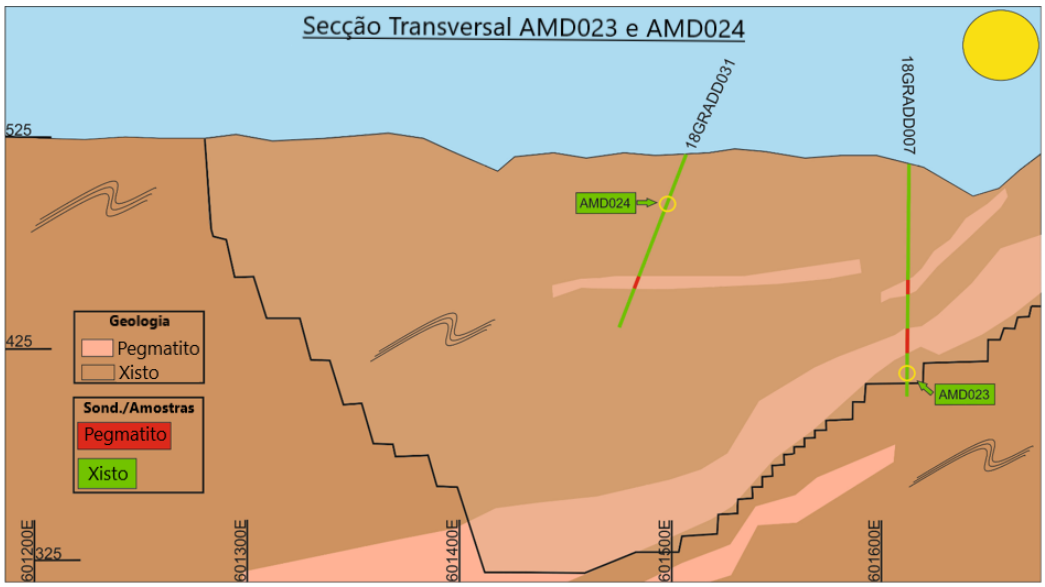


Figura 7.12 – Secção transversal do Grandão com esquema de localização das amostras AMD.

7.3.2 NOVOS ENSAIOS E TESTES (RECAPE)

Os ensaios de caraterização complementares referidos no ponto 3 da tabela de elementos a apresentar em RECAPE do TUA nº TUA20230530001583 centram-se nas características menos detalhadas do projeto na fase de estudo prévio. O objetivo destes ensaios é aumentar o nível de conhecimento e detalhar os modelos, e neles se incluem os ensaios Geotécnicos detalhados dos Rejeitados da lavaria, e os ensaios geoquímicos e geomecânicos para caraterização dos resíduos mineiros de acordo com o Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, na redação atual pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro.

7.3.2.1 ENSAIOS GEOTÉCNICOS REJEITADOS

Tendo em consideração os resultados anteriores e as opções de armazenamento dos Rejeitados, foi definido um programa de ensaios geotécnicos exaustivo, de modo a permitir a avaliação detalhada das condições de armazenamento em aterro.

As amostras previamente ensaiadas são novamente selecionadas por serem materiais representativos dos rejeitados (ganga) no processo de tratamento da lavaria.

Os ensaios e testes foram efetuados num laboratório certificado (GTI Perth) e incluem a medição de densidade específica das partículas do material (Gs) por pesagem em imersão em água, curvas de distribuição granulométrica (PSD), determinação de limites de Atterberg (AL) e teor de humidade (w), testes de consolidação (edómetro), de permeabilidade com queda livre (PERM), de cisalhamento simples estático e cíclico (SS), triaxiais estáticos (TX), de coluna ressonante (ResCol), de compactação, e reológicos. Os

resultados destes ensaios são detalhados abaixo, resumidos na Tabela 7.15, e as folhas de ensaios apresentadas em anexo.

Tabela 7.15 – Resultados dos testes e ensaios de classificação de Rejeitados.

ID da amostra	N.º da amostra	Gravidade específica, Gs	PSD			Limites de Atterberg			Teor de humidade, w	SMDD		Reologia			
			D50	<75µm	<2µm	wL	wP	Ip		ρd-max	Opt. w	Teor de sólidos	Ponto de rendimento a 1 s-1	Ponto de rendimento Bingham	Viscosidadea 100 s-1
			mm	%	%	%	%		%	g/cm3	%	%	Pa	Pa	Pa.s
Rejeitados do DMS	1	2,63	1,522	0	NA	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-
Rejeitados Finos	2 e 3	2,68	0,004	94	28	47	28	19	46,0	1,48	27,5	50	9,163	8,990	0,1545
Rejeitados de flotação de Micas	4	2,71	0,048	77	1	37	30	7	20,3	-	-	-	-	-	-
Rejeitados de flotação de Espodumena	5	2,62	0,103	28	0	36	NP	NP	13,8	-	-	-	-	-	-
Rejeitados Magnéticos	6	2,95	0,079	47	0	33	24	9	20,1	-	-	-	-	-	-

Densidade das partículas dos materiais (Gs)

A medição de densidade específica das partículas do material (Gs) foi obtida por pesagem em imersão em água, para as 5 amostras de Rejeitados. Os valores obtidos de Gs variam entre 2,62 e 2,95 (Tabela 7.15). Os resultados dos testes de densidade das partículas são apresentados no Anexo VII.2 (Testes 24-034-GS-01 a 24-034-GS-05).

Ensaios de distribuição granulométrica (PSD)

Foram realizados testes de distribuição de curva granulométrica (PSD) nas 5 amostras de Rejeitados. Para a amostra Rejeitados do DMS o tamanho médio das partículas (D50) obtido é 1,522 mm, sem conteúdo de finos. Para as outras 4 amostras, o D50 variou de 0,004 mm a 0,103 mm, com um conteúdo de finos (<0,075 mm) entre 28% e 94% e o conteúdo de argila (<0,002 mm) variou entre 0% e 28% (Tabela 7.15). Os resultados constam dos boletins de distribuição granulométrica do Anexo VII.2.

Limites de Atterberg

Foram realizados apenas quatro ensaios de limite de Atterberg (AL) nas amostras fornecidas com frações mais finas e devido à sua granulometria mais grosseira, não foi realizado ensaio na amostra Rejeitados do DMS.

O limite líquido (wL) variou entre 33% e 47% e o limite plástico (wP) variou entre 24% e 30% para as quatro amostras testadas.

A amostra de flotação da espodumena foi considerada não plástica (NP). Foram obtidos valores do índice de plasticidade (IP) que variaram entre 7 e 19 (Tabela 7.15).

Os resultados obtidos nestes ensaios AL são apresentados no Anexo VII.2 (Testes 24-034-AL-01 a 24-034-AL-04).

Teor de Humidade

O teor de humidade (w) foi determinado para as 5 amostras analisadas. Os valores obtidos variam entre 0,1% e 46,0% (Tabela 7.15). Os resultados destes ensaios de teor de humidade são apresentados no Anexo VII.2 (Testes 24-034-M-01 a 24-034-M-05).

Ensaios de Edómetro

Foram realizados dois ensaios de edómetro nas amostras de resíduos mais finas e com maior representatividade em volume/massa: as Rejeitados Finos e Rejeitados de flotação de Espodumena, e de acordo com a metodologia definida.

Os ensaios incluíram um total de 9 incrementos de carga até atingir uma tensão vertical de 1600 kPa, da seguinte forma:

- um ciclo de descarga-recarga constituído por 6 incrementos entre 400 kPa e 50 kPa;

- uma fase final de descarga com 3 incrementos de 1 600 kPa de volta a 50 kPa.

Os ensaios foram realizados em amostras reconstituídas de 70 mm de diâmetro e cerca de 19 mm de altura. As amostras foram preparadas com uma densidade seca alvo de cerca de 1,44 g/cm^3 e um teor de humidade de cerca de 12,5%.

Os resultados dos ensaios de edómetro estão resumidos na Tabela 7.16 e são disponibilizados no Anexo VII.2 (Testes 24-034-OED-01 e 24-034-OED-02), cada folha de teste tem duas páginas com descrito na metodologia do ensaio.

Tabela 7.16 – Resultados dos ensaios de edómetro em Rejeitados.

ID da amostra	Nº da Amostra	Nome do Teste	Detalhes da amostra			Resultados do Teste			
			ρ_b	w	ρ_d	e_i	C_s	$C_{s\text{-}int}$	$C_{s\text{-}Max}$
			g/cm³	%	g/cm³				
Rejeitados Finos	2 e 3	24-034-OED-01	1,64	12,9	1,45	0,828	0,165	0,018	0,027
Rejeitados de flotação de Espodumena	4	24-034-OED-01	1,61	12,8	1,43	0,822	0,037	0,0003	0,006

Ensaio de permeabilidade em regime de carga variável

Foram realizados dois ensaios de permeabilidade em regime de carga variável nas amostras de resíduos do processo mais finas e com maior representatividade em volume/massa: as de Rejeitados Finos e de Rejeitados de flotação de Espodumena, de acordo com o descrito na metodologia adotada.

Os testes foram realizados em amostras reconstituídas com cerca de 93 mm de diâmetro e cerca de 93 mm de altura. As amostras foram preparadas com uma densidade seca alvo de cerca de 1,44 g/cm^3 e um teor de humidade de cerca de 12,5%.

Os resultados dos testes de permeabilidade são apresentados na Tabela 7.17 e são disponibilizados no Anexo VII.2 (Testes 24-034-PermFh-01 e 24-034-PermFh-02).

Tabela 7.17 – Ensaios de permeabilidade em regime de carga variável em Rejeitados.

ID da amostra	Nº da Amostra	Testes de permeabilidade com queda livre						
		Nome do Teste	Detalhes da amostra			Tempestade do teste	Permeabilidade, k	
			ρ_b	w	ρ_d		A Tº C	A 20º C
			g/cm³	%	g/cm³	Tº C	m/s	m/s
Rejeitados Finos	2 e 3	24-034-PemFh-01	1,62	12,9	1,44	21,9	2,6E-09	2,5E-09
Rejeitados de flotação de Espodumena	5	24-034-PemFh-02	1,62	12,0	1,45	22,7	4,2E-10	3,9E-10

Testes de Cisalhamento Simples

Foram realizados testes de Cisalhamento Simples nas duas amostras de resíduos do processo com frações mais finas e com maior representatividade em volume/massa: as Rejeitados Finos e Rejeitados de flotação de Espodumena. Para cada tipo de material foram testadas 4 amostras, perfazendo um total de 8 testes.

As amostras foram preparadas com uma densidade seca de 1,44 g/cm^3 e um teor de humidade de cerca de 12,5%.

A taxa de cisalhamento de 0,1 mm/min (correspondente a cerca de 25%/h) foi utilizada para as fases de carga estática e uma frequência de 0,1 Hz foi utilizada para os testes cíclicos.

Na fase de preparação, foram aplicados valores de **Saturação**, σh-sat e σBP de 910 kPa e 900 kPa para as amostras de Rejeitados Finos e para as amostras de Rejeitados de flotação de Espodumena, foram utilizados valores de 510 kPa e 500 kPa. Para o teste estático realizado na amostra de Rejeitados de flotação de Espodumena foi efetuado com uma pressão de confinamento de 400 kPa.

Essas condições foram mantidas por um período de saturação superior a 15 horas. Posteriormente, foi realizado um teste de Valor-B (Δσh-sat = 20 kPa) e durante esse tempo a variação da pressão dos poros (Δu) foi registada. O Valor-B para cada teste, calculado como a razão entre Δu e Δσh, é fornecido na Tabela 7.18.

Tabela 7.18 – Testes de Cisalhamento Simples em Rejeitados.

ID da amostra	N.º da amostra	Nome do teste	Profundidade		Detalhes da amostra			Valor B	Consolidação				Carga estática			Carga cíclica					Pós-cíclica		
			De	Para	ρ_b	w	ρ_d		σ_v	σ_h	ε_a	ε_v	Taxa	τmax	γ-τmax	γmax	Frequência	τcyc-max	τcyc-min	γcyc	Ncyc	Taxa	τmax	γ-τmax
			m	m	g/cm³	%	g/cm³		kPa	kPa	%	%	mm/min	kPa	%	%	Hz	kPa	kPa	%		mm/min	kPa	%
Rejeitados Finos Rejeitados Finos	2 e 3	24-034-SS-01-s	-	-	1,62	12,4	1,44	0,95	400	280	4,7	6,2	0,10	150,8	32,2	32,2	-	-	-	-	-	-	-	-
		24-034-SS-02-s	-	-	1,62	12,4	1,44	0,95	800	560	6,2	7,8	0,10	252,6	32,5	32,5	-	-	-	-	-	-	-	-
		24-034-SS-03-c	-	-	1,62	12,4	1,44	0,95	800	560	7,7	8,6	-	-	-	-	0,1	120,0	-120,0	5,1	130	0,10	245,6	31,9
		24-034-SS-04-c	-	-	1,62	12,5	1,44	0,97	800	560	7,1	8,6	-	-	-	-	0,1	60,0	-60,0	1,3	1 500	0,10	238,1	32,1
Rejeitados Finos	5	24-034-SS-05-s	-	-	1,62	12,5	1,44	0,96	400	280	3,0	2,8	0,10	331,7	32,4	32,4	-	-	-	-	-	-	-	-
		24-034-SS-06-s	-	-	1,62	12,5	1,44	0,95	800	560	2,6	2,5	0,10	527,7	32,3	32,3	-	-	-	-	-	-	-	-
		24-034-SS-07-c	-	-	1,62	12,6	1,44	0,95	800	560	2,8	2,6	-	-	-	-	0,1	370,0	-370,0	24,0	1	-	-	-
		24-034-SS-08-c	-	-	1,62	12,4	1,44	0,95	800	560	3,1	3,1	-	-	-	-	0,1	297,0	-297,0	20,2	3	-	-	-

Os valores especificados de σv e σh para a Consolidação da amostra são fornecidos na tabela de resultados dos ensaios triaxiais desta secção e variam entre 400 kPa e 800 kPa para σv e 280 kPa e 560 kPa para σh.

Os valores das deformações axial (εa) e volumétrica (εv) obtidos no final da fase de consolidação são fornecidos na tabela de resultados dos ensaios triaxiais desta secção.

Foram realizados testes de **Cisalhamento Simples estático** nas duas amostras de resíduos do processo mais finas e com maior representatividade em volume/massa: Rejeitados Finos e Rejeitados de flotação de Espodumena. Para cada tipo de material foram testadas 4 amostras, para um total de 8 testes a uma taxa de cisalhamento de 0,1 mm/min (equivalente a cerca de 25%/h).

Os ensaios de **Cisalhamento Simples cíclico** foram também realizados nas duas amostras de resíduos do processo mais finas e com maior representatividade em volume/massa: as Rejeitados Finos e Rejeitados de flotação de Espodumena. Para cada tipo de material foram testadas 4 amostras, totalizando 8 testes a frequência de 0,1 Hz.

Os ensaios de cisalhamento simples cíclicos foram concluídos quando a deformação de cisalhamento cíclica absoluta (cyc) foi superior a 5% (para as amostras Rejeitados Finos) ou 20% (para as amostras de Rejeitados de flotação de Espodumena), ou quando foi atingido um máximo de 1 500 ciclos, o que ocorreu primeiro.

Foi realizado um teste estático pós-cíclico para as amostras que não falharam durante a carga cíclica (Rejeitados Finos). O teste pós-cíclico foi realizado a uma taxa de cisalhamento de 0,1 mm/min até ser atingida uma deformação final por cisalhamento de cerca de 32%.

Os resultados obtidos em cada ensaio de Cisalhamento Simples individual são apresentados no Anexo VII.2 (24-034-SS-01-s a 24-034-SS-08-s para ensaios estáticos, e 24-034-SS-01-c a 24-034-SS-08-c para ensaios dinâmicos).

Testes Triaxiais

Foram realizados testes triaxiais para investigar a resposta à compressão estática do material. Foi realizado um teste anisotrópico consolidado não drenado (CAU) para a amostra de Rejeitados Finos, enquanto 2 ensaios isotrópicos consolidados não drenados (CIU), 2 anisotrópicos e 1 isotrópico consolidado drenado (CID) foram realizados nas amostras de e Rejeitados de flotação de Espodumena. Os ensaios foram realizados de acordo com o procedimento de ensaio do laboratório independente GTI Perth (GTI-ADT-P04).

Os testes triaxiais foram realizados em amostras reconstituídas. As amostras foram preparadas com uma densidade seca de 1,44 g/cm^3 e um teor de humidade de cerca de 12,5%.

O método de compactação foi utilizado para preparar as amostras triaxiais reconstituídas, um total de sete camadas de peso igual de material da mesma amostra foram compactadas (14 camadas para a amostra de Rejeitados Finos).

Foram utilizadas taxas de cisalhamento de 0,1 mm/min (correspondentes a cerca de 4,2%/h) para os testes estáticos CIU e CAU e 0,01 mm/min (correspondentes a cerca de 0,4%/h) para o teste estático CID.

Foram utilizados valores saturação de σh-sat e σBP de 910 kPa e 900 kPa para as amostras de Rejeitados Finos, e 510 kPa e 500 kPa para as amostras de Rejeitados de flotação de Espodumena.

Essas condições foram mantidas por um período superior a 19 horas. Em seguida, foi realizado um teste de Valor-B (Δσh-sat = 20 kPa). Durante esse tempo, a variação da pressão dos poros (Δu) foi registado. O valor B para cada ensaio, calculado como a razão entre Δu e $\Delta\sigma h$, é apresentado na Tabela 7.19.

Tabela 7.19 – Testes Triaxiais em Rejeitados.

ID da amostra	N.º da amostra	Nome do ensaio	Profundidade		Detalhes da amostra						Tipo de teste	Valor B	Consolidação				Compressão estática			
					Inicial		A partir do congelamento													
			A partir de	Até	ρ_b	w	ρ_d	w-final	e-final	e_o (trás calculado)			σ_v	σ_h	ε_a	ε_v	Taxa	qmax	εa-qmax	εa-max
			m	m	g/cm³	%	g/cm³	%					kPa	kPa	%	%	mm/min	kPa	%	%
Rejeitados Finos	2 e 3	24-034-TX-01-sc	-	-	1,63	12,8	1,44	30,7	0,82	0,97	CAU	0,97	800	560	4,5	7,9	0,10	933,9	26,0	26,0
Rejeitados de flotação de Espodumena	5	24-034-TX-02-sc	-	-	1,23	12,6	1,09	41,7	1,09	1,17	CIU	0,99	200	200	1,8	3,6	0,10	58,1	0,4	28,0
		24-034-TX-03-sc	-	-	1,23	12,8	1,09	40,4	1,06	1,20	CIU	1,00	400	400	2,0	6,5	0,10	162,2	0,7	28,9
		24-034-TX-04-sc	-	-	1,22	12,5	1,09	38,5	1,01	1,20	CAU	1,00	1 000	700	5,6	8,6	0,10	548,9	1,2	25,8
		24-034-TX-05-sc	-	-	1,22	12,6	1,09	35,7	0,94	1,20	CID	0,98	400	400	2,1	5,7	0,01	1 010,8	27,4	28,4
		24-034-TX-06-sc	-	-	1,62	12,6	1,44	34,6	0,91	0,94	CAU	0,97	800	560	0,9	1,7	0,10	1 993,8	17,5	28,8

Consolidação, σvc e σhc são apresentados na Tabela 7.19.

Os valores das deformações axiais (εa) e volumétricas (εv) obtidos no final da fase de consolidação são apresentados na Tabela 7.19.

A trajetória de tensão para todos os testes triaxiais estáticos é apresentada na Figura 7.13 – Trajetória de tensão para todos os testes triaxiais estáticos em Rejeitados. Uma linha de fase crítica é traçada nesta figura com uma inclinação M (=Δq/Δp') de 1,50, que corresponde a um ângulo de atrito (ϕ') de 36, 9º.

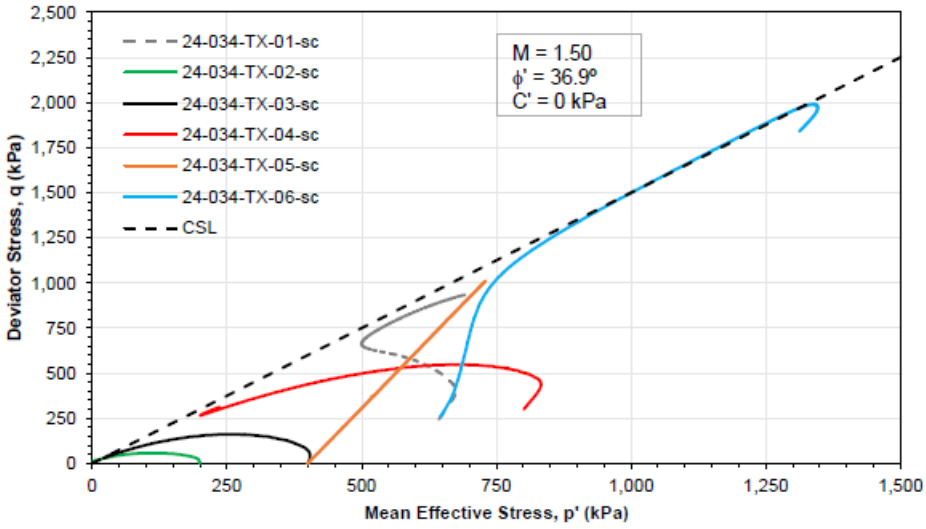


Figura 7.13 – Trajetória de tensão para todos os testes triaxiais estáticos em Rejeitados.

Nenhuma intercetação de coesão (c') foi assumida para a linha selecionada.

A Figura 7.14 mostra o gráfico da relação entre a relação de vazios (e; recalculada a partir do teor de humidade obtido a partir do congelamento da amostra) e a tensão média efetiva (p') para todos os testes triaxiais estáticos. Não foi assumida nenhuma interceção de coesão (c') para a linha selecionada.

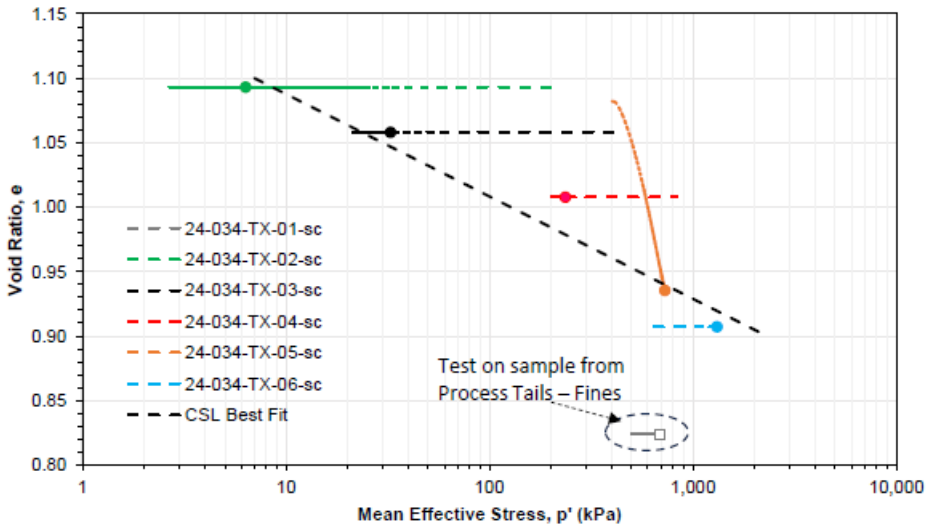


Figura 7.14 – Relação entre a relação de vazios e a tensão média efetiva (p') para todos os testes triaxiais estáticos em Rejeitados.

A Figura 7.14 mostra o gráfico da relação de vazios (recalculada a partir do teor de humidade determininado após o congelamento da amostra) em função da tensão efetiva média (p').

Uma linha de estado crítico linear (CSL) que passa pelos dados também é mostrada na Figura 7.14 e representa o melhor ajuste aos dados, sendo selecionada usando a seguinte equação:

$$e = e100 - 0{,}07947 . Log(P), \text{ com e100} = 1{,}008$$

Os resultados obtidos nos ensaios triaxiais realizados são apresentados no Anexo VII.2 (24-034-TX-01-sc a 24-034-TX-06-sc).

Testes de Coluna Ressonante

O teste de coluna ressonante (ResCol) foi realizado em amostras reconstituídas (1 amostra de Rejeitados Finos e 1 amostra de Rejeitados de flotação de Espodumena, para investigar o módulo de cisalhamento de pequena deformação (G) da amostra.

Os resultados dos testes são apresentados no Anexo VII.2 e resumidos na Tabela 7.20.

Tabela 7.20 – Teste de Coluna Ressonante em Rejeitados.

ID da amostra	N.º da amostra	Nome do teste	Profundidade		Detalhes da amostra			Consolidação			Carga		
					Inicial								
			De	A	ρ_b	w	ρ_d	σ_3 '	Duração	$G_{máx}$ @ fim da consolidação	γmax	G @ $\gamma_{máx.}$	$G/G_{máx.}$ @ γmax
			m	m	g/cm³	%	g/cm³	kPa	hr	MPa	%	MPa	
Rejeitados Finos	2 e 3	24-034-ResCol-01	-	-	1,59	11,2	1,43	600	25	140,4	5,6E-02	94,4	0,67

ID da amostra	N.º da amostra	Nome do teste	Profundidade		Detalhes da amostra			Consolidação				Carga	
					Inicial								
			De	A	ρ_b	w	ρ_d	σ_3 '	Duração	$G_{máx}$ @ fim da consolidação	γmax	G @ $\gamma_{máx.}$	$G/G_{máx.}$ @ γmax
			m	m	g/cm³	%	g/cm³	kPa	hr	MPa	%	MPa	
Rejeitados de flotação de Espodumena	5	24-034-ResCol-02	-	-	1,61	12,3	1,44	600	3	153,7	5,1E-02	103,2	0,67

Testes de Compactação

O teste de compactação padrão (densidade máxima seca padrão/teor de humidade ideal) foi realizado numa amostra de resíduos Rejeitados Finos. Os resultados obtidos neste teste são apresentados no Anexo VII.2 e resumidos na Tabela 7.15.

Análise Reológica

Estava previsto realizar medições em três amostras (Rejeitados Finos, Rejeitados de flotação de Espodumena e Rejeitados de flotação de Micas), no entanto, verificou-se que apenas a amostra dos resíduos Rejeitados Finos era adequada para análise.

Os resultados da análise reológica dos rejeitados finos encontram-se apresentados nos boletins de ensaio do Anexo VII.2 e resumidos na Tabela 7.15.

7.3.2.2 Ensaios Geotécnico em Amostra Compósita de Escombro

Tendo os ensaios efetuados anteriormente nas partes, e ou partículas que compõem os escombros, concluído que são rochas duráveis a muito duráveis, o complemento foi a replicação do ensaio durabilidade (SLAKE norma - NTL 251/91) na amostra compósita de escombros, efetuada no laboratório independente Geomar em cooperação com o laboratório ALS. O resultado obtido aponta para um índice de durabilidade (Id) de 98,1% o que indica uma rocha muito durável, com muito baixa tendência a se desagregar e ou reagir com elementos naturais (água).

7.3.2.3 Ensaios em Amostra Compósita de Escombro

O novo conjunto de ensaios laboratoriais teve como objetivo permitir a classificação completa das propriedades globais dos resíduos de rocha que serão gerados no local, em conformidade com o Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro. Estes diplomas estabelecem o quadro jurídico ao qual se rege a gestão dos resíduos provenientes da exploração de jazidas minerais e massas minerais, transpondo para o direito nacional a Diretiva n.º 2006/21/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de março, e o artigo 1.º da Decisão 2009/359/CE da Comissão, que complementa a definição de resíduos inertes.

Preparação da Amostra

A campanha de caracterização geoquímica utilizou cerca de 1,8 t de amostras de testemunho de sondagem. A identificação e a representatividade das amostras encontram-se descritas no relatório de ensaios anexo.

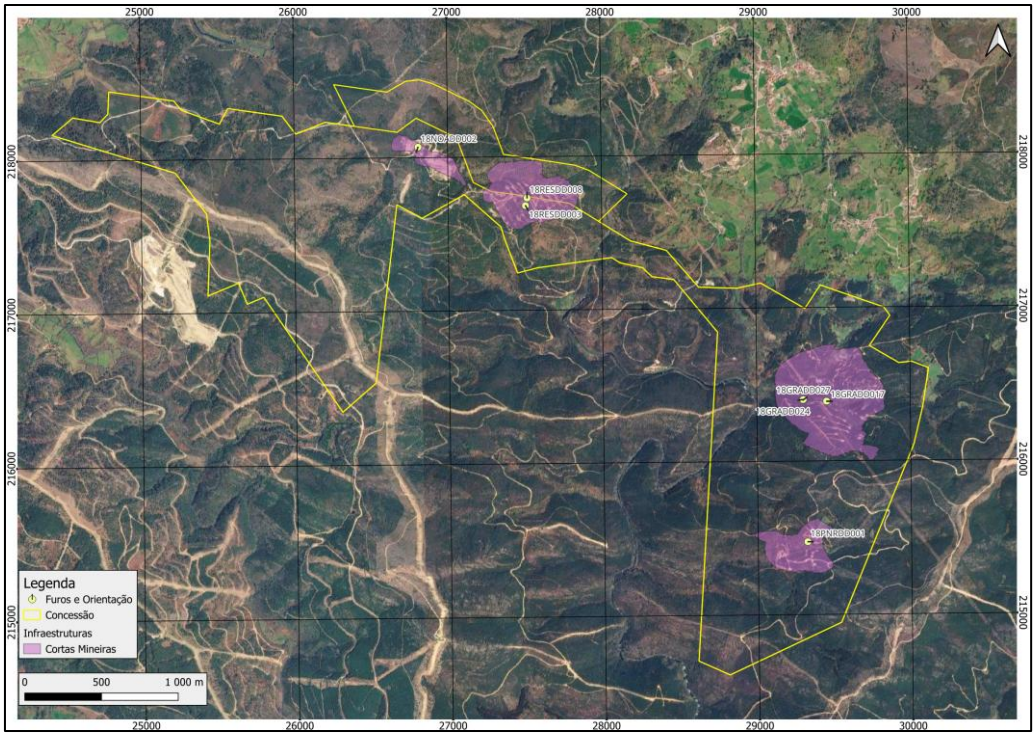


Figura 7.15 – Mapa de localização dos furos de perfuração utilizados para produzir as amostras compósitas representativas do volume total de rocha estéril do projeto.

As amostras foram recolhidas das carotes armazenadas no local e enviadas para um laboratório metalúrgico especializado no Reino Unido (Wardell Armstrong International Ltd), onde foram trituradas até atingirem um tamanho inferior a 31,5 mm. A amostra triturada foi embalada em 6 recipientes fechados e limpos de 300 litros e devolvida à origem, onde foi despejada sobre uma base de betão limpa com um pequeno BobCat usado para homogeneizar a amostra. A amostra homogeneizada foi comprimida até atingir 100 mm de espessura e, usando uma pá, foram recolhidas 5 subamostras de aproximadamente 5 kg de locais aleatórios (com atenção para recolher todos os tamanhos de partículas). As subamostras foram combinadas, misturadas e homogeneizadas num dos recipientes grandes e, em seguida, divididas manualmente em duas subamostras de aproximadamente 14,5 kg. Uma foi enviada para a ALS Vancouver para testes de célula de humidade e análise do tamanho das partículas, e a segunda foi enviada para a ALS Sevilha para trabalhos de caracterização, de acordo com a Lei de Resíduos Mineiros 10/2010.

A amostra principal (agora identificada como AMD109) foi colocada no contentor limpo intermediário a granel de 1 m³ a uma profundidade de 750 mm. A rocha residual foi colocada de forma solta no IBC, com a superfície superior ligeiramente côncava para incentivar o fluxo de água através da rocha residual, em vez de contorná-la e escorrer pela lateral do depósito. Após o carregamento, o contentor foi coberto e protegido da

chuva até que o teste pudesse começar. A sequência de preparação das amostras é mostrada nas Figura 7.16 a Figura 7.19.



Figura 7.16 – Limpeza e preparação de superfície de preparação de amostra.

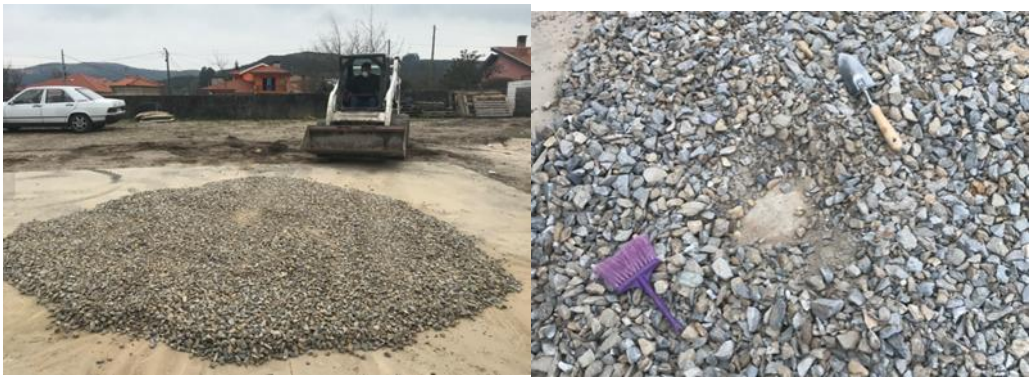


Figura 7.17 – Amostras colocadas para homogeneização e pontos de amostragem dispersos na massa homogenizada.



Figura 7.18 – Subamostras combinadas e quartilhada.



Figura 7.19 – Amostra principal recombinada e carregada para o Depósito e Amostra AMD-109 de campo preparada.

Teste de Campo da Amostra Compósita de Escombros

O teste de campo foi realizado no Centro de Geologia – Carreira da Lebre – Boticas (condições locais) com um contentor (IBC) carregado com a amostra preparada de acordo com a descrição acima. O IBC foi protegido da chuva até que o equipamento de amostragem, garrafas e solução de preservação pudessem ser fornecidos pelo laboratório (Figura 7.20). A primeira fase de amostragem do teste utilizou água destilada para irrigar a amostra até que fosse recolhido lixiviado suficiente no recipiente de recolha.

Para a primeira fase de amostragem, foram necessários 60 litros de água para humedecer a amostra de forma adequada para que o lixiviado fluísse pela base da amostra.

Após o primeiro episódio de amostragem, a amostra foi deixada exposta às condições atmosféricas, permitindo que a chuva a molhasse e a evaporação promovesse a sua secagem, reproduzindo ciclos naturais de humedecimento e secagem



Figura 7.20 – Amostra protegida antes do arranque do teste.

Para os episódios de amostragem subsequentes, foi adotado o seguinte procedimento:

- No dia da amostragem, o coletor IBC deve ser inspecionado no início do turno diurno para determinar se havia água suficiente no recipiente de coleta.
- Se não houver água (ou se a água for insuficiente para coletar uma amostra) no recipiente coletor, o sistema de lixiviação do barril deve ser irrigado com 20 litros de água destilada. Essa água deve ser derramada uniformemente sobre a superfície da rocha residual.
- Se houvesse água suficiente no recipiente coletor, não era realizada irrigação adicional e a amostra gerada pela precipitação natural na superfície das amostras era recolhida.
- No final do turno, a amostra era recolhida da seguinte forma:
    - 1 litro da amostra era transferido do recipiente coletor para um recipiente de 1 litro e descartado.
    - 3 litros de amostra devem ser recolhidos em garrafas plásticas novas e limpas fornecidas pelo laboratório. Os parâmetros de campo, incluindo pH, OPR e condutividade elétrica, foram medidos.
    - As subamostras foram filtradas (se necessário) e adicionadas às várias garrafas fornecidas pelo laboratório (as garrafas vieram preparadas com os conservantes necessários) e rotuladas com a identificação da amostra e a data.
- As amostras foram enviadas por correio expresso para o laboratório para análise, a fim de cumprir o prazo de retenção de 48 horas.

Observou-se que, para a primeira amostragem e as três amostragens subsequentes, foi necessária irrigação com água destilada, enquanto as outras 11 amostragens tinham água suficiente no IBC para permitir a recolha de amostras sem irrigação.

Resultados - Contagem Ácido-Base (ABA)

Os resultados da análise estão resumidos na Tabela 7.21, que inclui os resultados do enxofre total e do sulfato determinados pela digestão com ácido clorídrico. Com base nas concentrações de enxofre total e sulfato, o teor de sulfureto pode ser estimado pela diferença, de acordo com a norma EN15875:2011. O resultado indica que a amostra tinha um teor de sulfureto de 0,03%. O potencial ácido (AP) foi calculado a partir do teor total de enxofre, variando de insignificante a um máximo de 0,8 kg CaCO3/t, o que é muito baixo.

O potencial de neutralização (NP) da amostra foi determinado juntamente com estimativas do teor de carbonato (carbono inorgânico). Os dois resultados podem ser usados para verificar um ao outro e para identificar a contribuição do NP dos carbonatos e outros minerais não carbonatados. A amostra tinha um NP de 5 $CaCO_3$/t, o que é baixo, e como a amostra era desprovida de carbonatos, este potencial de neutralização era fornecido por minerais não carbonatados. A relação do potencial de neutralização da amostra foi calculada como 6,4.

Com base nos resultados da contabilidade ácido-base, a amostra cumpre os requisitos de inércia previstos no ponto 1(b) do Anexo 1 do DL10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei 31/2013, de 22 de fevereiro, que transpõe as disposições do requisito ii do artigo 1.º da Decisão 2009/ 359/CE, uma vez que a amostra tem um teor de sulfureto inferior a 1% e um NPR superior a 3.

Tabela 7.21 – Resultados de Contagem Ácido-Base (ABA) de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Escombros.

ID Amostra	Espécies de enxofre			Potencial ácido	Carbono inorgânico	Potencial de neutralização	Potencial líquido de neutralização	Rácio do potencial de neutralização
	Total	Sulfato	Sulfito					
	(%)	(%)	(%)	(kg $CaCO_3$/t)	(%)	(kg $CaCO_3$/t)	(kg $CaCO_3$/t)	-
AMD 109	0,03	<0,01	0,02	0,8	0,00	5	4	6,4

Resultados – Geração líquida de ácido

O ensaio de geração líquida de ácido (por vezes denominado ensaio de geração de ácido peróxido) ajuda na interpretação das classificações do potencial de formação de ácido. O ensaio de geração líquida de ácido (NAG) também identifica se os sulfuretos e minerais neutralizantes contidos nas amostras estão prontamente disponíveis para produzir ou consumir ácido. Os resultados do teste NAG são apresentados na Tabela 7.22. O pH em condições extremas de oxidação no teste NAG foi ligeiramente ácido, com pH 5,4 e 1,8 kg H2SO4/t de ácido gerado até pH 7, mas nenhum ácido mensurável foi gerado até pH 4,5.

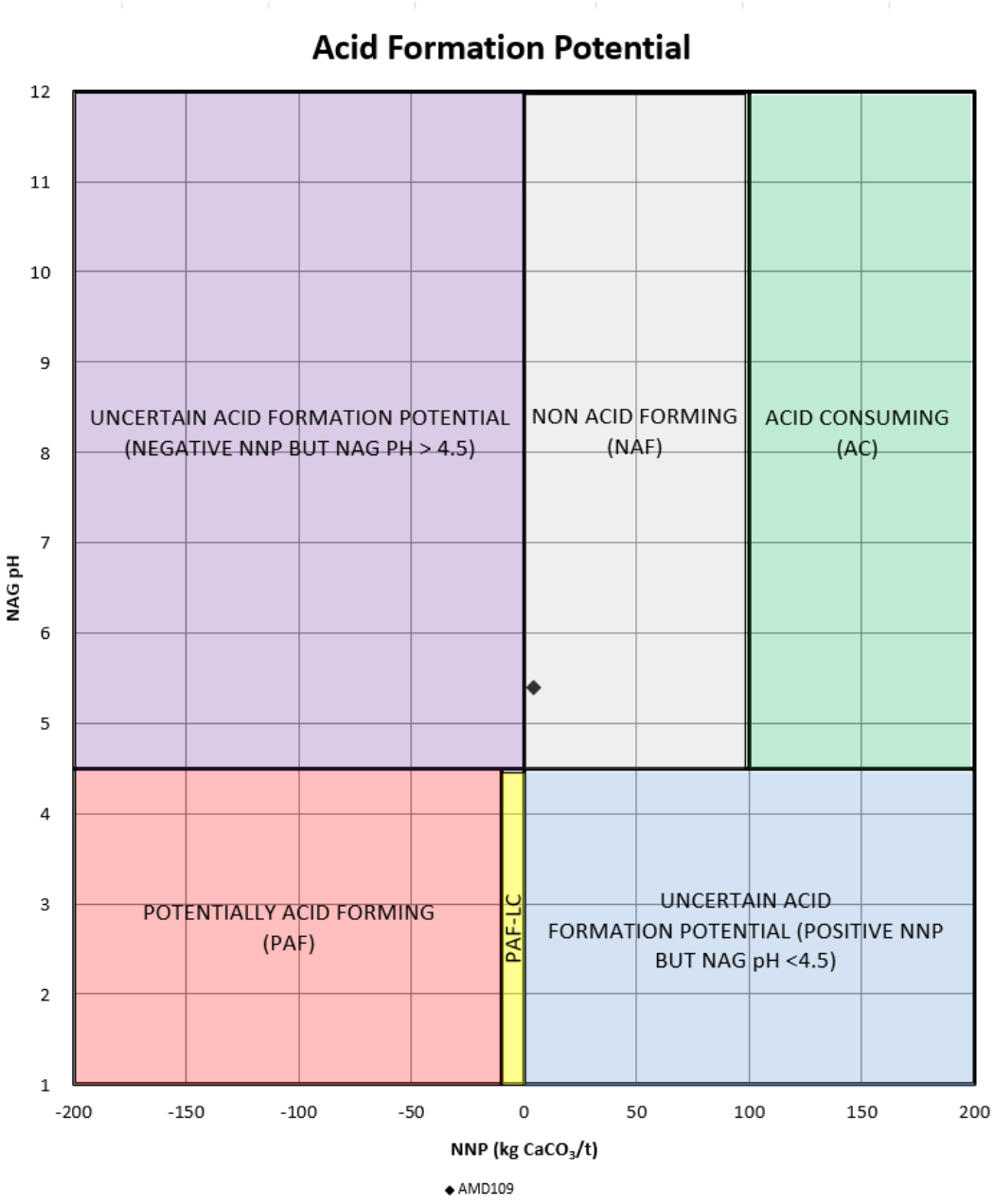
Tabela 7.22 – Resultados de ensaio de geração líquida de ácido (NAG) em Escombros de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Escombros.

ID Amostra	NAG pH	NAG pH 7	NAG pH 4,5
	(-)	(kg H_2SO_4/t)	(kg H_2SO_4/t)
AMD 109	5,4	1,76	<0,01

Resultados – Potencial de formação de ácido

A preferência foi determinar o potencial de formação de ácido da amostra com base nos testes NNP e NAG. Com base nisso, a amostra é classificada como não formadora de ácido (NAF) devido aos valores NNP positivos e aos valores de pH NAG superiores a 4,5. As classificações do potencial de formação de ácido de acordo com este método são apresentadas na Figura 7.20.

Os resultados indicam um baixo potencial de geração de acidez nas amostras ensaiadas. Esta evidência integra a avaliação do critério relativo ao teor de enxofre sob a forma de sulfuretos e ao balanço de neutralização, em conjunto com a avaliação dos restantes critérios de caracterização dos resíduos. Este resultado cumpre o disposto no ponto 1(b) do Anexo 1 da DL10/2010, de 4 de fevereiro, alterada pelo Decreto-Lei 31/2013, de 22 de fevereiro, que transpõe as disposições do requisito i) do artigo 1.º da Decisão 2009/359/CE. Assim, e uma vez que os resíduos não sofrerão qualquer desintegração significativa, nem apresentarão alterações significativas suscetíveis de causar efeitos adversos no meio ambiente ou prejudicar a saúde humana, enquadra-se, portanto, na definição regulamentar de resíduos inertes



	NNP (kg CaCO3 / t)	NAG pH
Potencial de formação de ácido	< -10	<4,5
Potencialmente formador de ácido (PAF)	0 to -10	<4,5
Potencialmente formador de ácido - baixa capacidade (PAF - LC)	Positivo	≥4,5
Não formador de ácido (NAF)	>100	≥4,5
	Negativo	≥4,5

Figura 7.21 – Potencial de geração de ácidos – Escombro.

Resultados - Potencial de combustão espontânea

De acordo com o ponto 1(c) do Anexo 1 do DL10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei 31/2013, de 22 de fevereiro, que transpõe as disposições da Decisão 2009/359/CE da Comissão, é necessária uma avaliação do potencial de autocombustão ou combustão dos resíduos. A autocombustão dos resíduos mineiros requer a presença de três elementos. Estes são uma substância com valor calorífico suficiente para sustentar a combustão, um fornecimento contínuo de ar (oxigénio atmosférico) e uma fonte de ignição.

Nos resíduos mineiros, o valor calorífico está presente sob a forma de carbono orgânico em rochas sedimentares ricas em matéria orgânica. A matéria orgânica pode estar disseminada por toda a rocha e/ou pode estar presente sob a forma de ocorrências discretas de alcatrão, betume, asfalto, petróleo, carvão ou matéria carbonosa. As rochas sedimentares ricas em matéria orgânica são definidas como aquelas com um teor de carbono orgânico superior a 3 %. A fonte de ignição nos resíduos mineiros é normalmente derivada do calor gerado pela oxidação exotérmica dos minerais sulfurosos contidos nos resíduos. Os resultados da especiação do carbono são apresentados na Tabela 7.23 e indicam que a rocha residual composta no Projeto de Lítio Barroso é essencialmente desprovida de carbono orgânico, com os resultados da especiação do enxofre (Tabela 7.21) indicando que a amostra tem um baixo teor de sulfureto.

Tabela 7.23 – Resultados do conteúdo em Carbono de acordo com as normas do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Escombros.

ID Amostra	Carbono Total	Carbono Inorgânico	Carbono Orgânico
	(%)	(%)	(%)
AMD 109	0,04	0,00	0,04

Foram realizados testes adicionais na Labs & Technological Services AGQ, em Sevilha, Espanha, para determinar a inflamabilidade, tendo a amostra sido classificada como não inflamável (certificado de ensaio AGQ RE-24/000566, relativo à amostra AMD109, incluído no Anexo VII.1). Portanto, as amostras não sofrerão autocombustão e são não inflamáveis, o que atende ao ponto 1(c) do Anexo 1 da DL10/2010 de 4 de fevereiro, alterada pelo Decreto-Lei 31/2013, de 22 de fevereiro, que transpõe as disposições do Requisito iii do Artigo 1 da Decisão 2009/359/CE da Comissão.

Resultados – Análise multielementar

As análises multielementares efetuadas na amostra compósita de Escombro incluem resultados para elementos maiores sob a forma de óxidos, SiO2, Al2O3, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na2O, K2O, Cr2O3, TiO2, MnO, P2O5, SrO, BaO, elementares e valores traço para C, S, Ba, Ce, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zr, As, Bi, Hg, In, Re, Sb, Se, Te, Tl, Ag, Cd, Co, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sc, Zn, Be, e ensaios de perda ao rubro, NAGpH4.5, NAGpH7.0, e medições de pH.

Desta bateria de elementos observaram-se todos os elementos por comparação com abundância média na crosta terrestre e conclui-se que as rochas que compõem o

Escombro são algo enriquecidas em As, Li e Cs, mas dentro dos valores regionais para o norte de Portugal.

Considerando os requisitos definidos no Anexo I do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, avaliam-se os conteúdos de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn (Tabela 7.24), e também se incluem os valores de Li e Cs como referência, dois elementos do mesmo grupo que estão presentes nestes tipos de rochas em concentrações moderadamente baixas. O As, foi avaliada a sua abundância e mobilidade a partir de estudos regionais e informação histórica e conclui-se que apresenta muito baixa mobilidade

Tabela 7.24 – Resultados de ensaio das análises químicas previstas no Anexo I do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Escombros. E incluem-se os valores de Li e Cs.

Análise	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	V	Zn	Li	Cs
Unidade	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Limite Deteção	0,1	0,02	0,1	5	0,2	0,005	0,05	0,2	0,5	5	2	0,2	0,01
AMD109	**79,7**	**0,04**	**18**	**96**	**32,1**	**<0,005**	**2,11**	**35,7**	**25,6**	**95**	**98**	**359**	**45,8**

Resultados – Análise Laboratorial do Lixiviado – Ensaio Cinético

A lixiviação em célula de humidade (ensaio cinético) laboratorial foi realizada na subamostra recolhida, conforme detalhado na preparação da amostra de Escombro AMD-109, e sujeito a Ensaio de Lixiviados no laboratório ALS Vancouver como medida de controlo do teste de campo. O lixiviado foi também analisado pela ALS Vancouver, onde a lixiviação em célula de humidade foi realizada. O teste de longo prazo (61 semanas) foi utilizado para confirmar que o material não sofreria qualquer desintegração significativa ou outra alteração significativa.

Considerando os requisitos definidos no Anexo I do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, avaliam-se os conteúdos de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn, e os valores de Li e Cs por se observarem acima da abundância média crustal, e comparam-se com os Valores Limite de Referência (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto) para Descarga de água residuais industriais tratadas - ANEXO XVIII, e com parâmetros para águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano - ANEXO I.

Tabela 7.25 – Resultados de ensaio das análises químicas dos lixiviados, para os elementos previstos no Anexo I do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, para os Escombros. E incluem-se os valores de Li e Cs.

Análise	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	V	Zn	Li	Cs
Limite Deteção	0,1	0,02	0,1	5	0,2	0,005	0,05	0,2	0,5	5	2	0,2	0,01
AMD109_M0	0,020	0,0007	0,3500	0,0019	0,0200	>LD	>LD	0,553	0,0059	>LD	0,510	0,1400	0,0059
AMD109_M1	0,003	0,0005	0,1300	0,0010	0,0100	>LD	>LD	0,245	0,0002	>LD	0,230	0,0800	0,0039
AMD109_M2	0,003	0,0006	0,0944	0,0005	0,0251	>LD	0,00012	0,199	0,00032	>LD	0,247	0,0892	0,0100
AMD109_M3	0,005	0,0006	0,0657	0,0005	0,0066	>LD	0,00009	0,162	0,00005	>LD	0,311	0,0874	0,0100
AMD109_M4	0,004	0,0003	0,0280	0,0005	0,0079	>LD	>LD	0,0527	0,000081	>LD	0,130	0,0471	>LD
AMD109_M5	0,007	0,0005	0,0458	0,0005	0,0112	>LD	>LD	0,0837	0,000071	>LD	0,180	0,0558	>LD
AMD109_M7	0,002	0,0008	0,0414	0,0005	0,0280	>LD	>LD	0,175	0,000558	>LD	0,392	0,1390	0,0100
AMD109_M8	0,002	0,0009	0,0550	0,0005	0,0436	>LD	>LD	0,252	0,000802	>LD	0,597	0,1160	0,0100
AMD109_M9	0,002	0,0005	0,0367	0,0005	0,0352	>LD	>LD	0,183	0,000583	>LD	0,454	0,1090	>LD
AMD109-M10	0,001	0,0002	0,0129	0,0005	0,0164	>LD	>LD	0,0689	0,000291	>LD	0,194	0,0705	>LD
AMD109-M11	0,001	0,0003	0,0183	0,0005	0,0207	>LD	>LD	0,0902	0,000264	>LD	0,248	0,0725	>LD
AMD109-M12	0,001	0,0003	0,0158	0,0005	0,0230	>LD	>LD	0,0838	0,000326	>LD	0,226	0,0758	>LD
AMD109-M13	0,001	0,0004	0,0196	0,0005	0,0261	>LD	>LD	0,102	0,000435	>LD	0,292	0,0855	>LD
AMD109-M14	0,002	0,0004	0,0190	0,0005	0,0249	>LD	>LD	0,099	0,000477	>LD	0,291	0,0951	>LD

Relativamente aos valores considerados elevados em relação à abundância média na crosta terrestre, verifica-se que:

- Os valores de Cs estão muito próximos dos limites de deteção inferiores, muitas vezes abaixo dos limites em concentrações diminutas.
- Os valores de Li são nos seus valores mais baixos próximos dos valores obtidos para águas gasocarbónicas portuguesas por Maria Orquídia Neves *et al.* com valores entre 0,173 e 1,5 mg/L.
- Os valores de As estão muito abaixo dos limites (1,0 mg/L) máximos para Descarga de água residuais industriais tratadas (ANEXO XVIII - Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto) e apenas a primeira amostra apresenta valores (0,02 mg/L) próximos sem ultrapassar os valores máximos (0,05 mg/L) para águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano (ANEXO I - Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto).

Para os restantes elementos, e tendo em conta a lacuna existente na legislação relativa aos resíduos mineiros - Decreto-Lei 10/2010, de 4 de fevereiro, alterada pelo Decreto-Lei 31/2013, de 22 de fevereiro, bem como a ausência de limites para avaliar os resíduos rochosos e dos lixiviados obtidos nas células de humidade, procedeu-se à comparação dos resultados com valores de referência estabelecido noutras normas. Desta forma, os elementos que ultrapassam os limites para água potável, foram comparados com os valores de referência estabelecidos nos limites máximos para Descarga de água residuais industriais tratadas (ANEXO XVIII - Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto) - Tabela 7.26). Importa referir que a comparação com os limites da água potável apenas indica que, os restantes parâmetros a avaliar cumpririam com os limites mais exigentes. Contudo, estes valores não se destinam a enquadrar qualquer utilização do lixiviado como água potável, sendo que não é prevista a utilização destes efluentes.

Tabela 7.26 – Resultados de ensaio das análises químicas dos lixiviados comparados com limites máximos para Descarga de água residuais industriais tratadas (ANEXO XVIII - Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto).

Amostra	Sulfato (SO4)	Al mg/L	As mg/L	Fe mg/L	Pb mg/L	Mn mg/L (Campo)	Mn mg/L	Ni mg/L	Ph (Laboratório)	Ph (Campo)
Limites Descarga	2000	10	1,0	2	1	2	2	2	6,00-9,00	6,00-9,00
AMD109_M0	244	1,48	0,020	2,18	0,00591	11,00	0,74	0,553	3,53	3,58
AMD109_M1	234	0,15	0,003	0,02	0,00020	7,23	0,61	0,245	4,92	5,07
AMD109_M2	206	0,11	0,002	0,01	0,00032	3,52	0,35	0,199	5,29	5,51
AMD109_M3	174	0,02	0,005	0,02	0,00005	1,66	0,42	0,162	5,77	5,48
AMD109_M4	62	0,01	0,004	0,02	0,00008	0,88	0,36	0,053	5,27	5,49

Amostra	Sulfato (SO4)	Al mg/L	As mg/L	Fe mg/L	Pb mg/L	Mn mg/L (Campo)	Mn mg/L	Ni mg/L	Ph (Laboratório)	Ph (Campo)
AMD109_M5	103	0,02	0,007	0,01	0,00007	1,50	0,24	0,084	5,53	5,50
AMD109_M6	Contaminada no Laboratório									
AMD109_M7	143	0,32	0,002	0,01	0,00056	1,10	0,22	0,175	4,90	5,18
AMD109_M8	193	0,61	0,002	0,01	0,00080	1,38	0,23	0,252	4,97	4,96
AMD109_M9	142	0,44	0,002	0,01	0,00058	0,92	0,21	0,183	4,94	4,99
AMD109-M10	55	0,16	0,001	0,01	0,00029	0,29	0,17	0,068	5,22	5,27
AMD109-M11	68	0,20	0,001	0,01	0,00026	0,37	0,17	0,090	5,16	5,60
AMD109-M12	62	0,18	0,001	0,01	0,00033	0,30	0,16	0,084	5,13	5,14
AMD109-M13	76	0,25	0,001	0,01	0,00044	3,64	0,16	0,102	4,65	5,18
AMD109-M14	77	0,21	0,002	0,01	0,00048	0,36	0,17	0,099	5,22	5,16

A amostra AMD109_M6 foi excluída da interpretação no estudo de origem por suspeita de contaminação, cuja fonte não foi identificada. O resultado mantém-se no registo analítico, juntamente com os valores da subamostra de controlo laboratorial e a justificação da exclusão.

Observando os limites máximos para descarga de água residuais industriais tratadas (ANEXO XVIII - Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto), verificou-se que o lixiviado das células de humidade estava, em geral, em conformidade com as normas para todos os parâmetros, com as exceções:

- O pH foi inferior ao intervalo de referência de 6 a 9. Os valores regionais referidos para águas subterrâneas e precipitação, entre 4,5 e 5,5, constituem contexto de interpretação e não substituem os critérios aplicáveis ao destino da água.
- Na amostra de campo, o manganês ultrapassou pontualmente os valores de referência de descarga. Os valores da coluna de controlo laboratorial foram

inferiores. A possível contribuição da precipitação ou da estrutura de suporte é uma hipótese do estudo, sem origem demonstrada.

7.4 CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA EXTRATIVA

A caracterização dos Resíduos de Extração do Projeto da Mina do Barroso, foi efetuada de acordo com o Decreto-Lei nº 10/2010 de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, que transpõe a Diretiva n.º 2006/21/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de março. Estes Resíduos de Extração estão separados em dois tipos, em função da sua origem: resíduos diretos da operação de escavação (estéreis) e resíduos de processamento (rejeitados).

Assim, estes resíduos serão caracterizados separadamente, mas sempre de acordo com os procedimentos e pressupostos prescritos e detalhados no Anexo III do Decreto-lei nº 10/2010 de 4 de fevereiro, utilizando as definições do Artigo 3º, em especial a definição de "Resíduos Inertes" (Alínea x) complementada no Anexo I do mesmo diploma, transcritas abaixo.

x) «Resíduos inertes» o resíduo que, nos termos do disposto no anexo I do presente decreto-lei, do qual faz parte integrante, reúne as seguintes características:

i) Não é susceptível de sofrer transformações físicas, químicas ou biológicas importantes;

ii) Não é solúvel nem inflamável, nem tem qualquer outro tipo de reacção física ou química;

iii) Não é biodegradável;

iv) Não afecta negativamente outras substâncias com as quais entre em contacto de forma susceptível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana;

v) Possui lixiviabilidade total, conteúdo poluente e ecotoxicidade do lixiviado insignificante;

vi) Não põe em perigo a qualidade das águas superficiais e ou subterrâneas;

E

ANEXO I [a que se refere a alínea x) do artigo 3.º] Complemento da definição de «resíduos inertes»

1 – Os resíduos são considerados resíduos inertes, na acepção alínea x) do artigo 3.º do presente decreto -lei, quando são cumpridos todos os seguintes critérios, tanto a curto como a longo prazo:

a) Os resíduos não serão passíveis de desintegração ou dissolução significativa ou de outra alteração significativa susceptível de causar efeitos ambientais adversos ou de prejudicar a saúde humana;

b) Os resíduos apresentam um teor máximo de enxofre na forma de sulfureto de 0,1 % ou os resíduos apresentam um teor máximo de enxofre na forma de sulfureto de 1 % e o quociente do potencial de neutralização, definido como a razão entre o potencial de neutralização e o potencial ácido e determinado com base num ensaio estático de acordo com a norma EN 15875, é superior a 3;

c) Os resíduos não apresentam risco de autocombustão e não se inflamarão;

d) O teor de substâncias potencialmente prejudiciais para o ambiente ou para a saúde humana presente nos resíduos e, em particular, de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn, incluindo em partículas finas isoladas de resíduos, é suficientemente baixo para que o risco para a saúde humana e para o ambiente, a curto e a longo prazos, seja insignificante. Para que o risco seja considerado suficientemente baixo para ser insignificante para a saúde humana e o ambiente, o teor dessas substâncias não pode exceder os valores limiar nacionais aplicáveis aos sítios identificados como não contaminados ou os níveis de base naturais nacionais relevantes;

e) Os resíduos estão substancialmente isentos de produtos utilizados na extração ou na transformação que poderiam ser prejudiciais para o ambiente ou para a saúde humana.

2 – Os resíduos podem ser considerados resíduos inertes sem ensaios específicos se for possível demonstrar, de modo a satisfazer a autoridade competente, que os critérios previstos no número anterior foram adequadamente considerados e estão comprovadamente preenchidos com base na informação existente ou em procedimentos ou regimes válidos.

3 – A Agência Portuguesa do Ambiente pode elaborar listas, com carácter meramente indicativo, de materiais residuais a considerar como inertes em conformidade com os critérios definidos nos n.os 1 e 2.

4 – A avaliação do carácter inerte dos resíduos será completada no âmbito da caracterização dos resíduos referida no anexo III ao presente decreto-lei e baseada nas mesmas fontes de informação.

Para garantir uma melhor observação dos parâmetros de caracterização dos Resíduos Mineiros, utiliza se a organização dos critérios definida na Alínea A) do Anexo III do Decreto-lei nº 10/2010 de 4 de fevereiro, adicionando-se para cada tipo de Resíduo de Extração "as necessárias considerações sobre a estimativa das quantidades totais de resíduos de extração que são produzidas durante a fase de funcionamento" tal como previsto na alínea b) do n.º 4 do artigo 10.º do mesmo diploma, transcrito abaixo.

b) Uma caracterização dos resíduos nos termos do anexo III ao presente decreto-lei, do qual faz parte integrante, e uma estimativa das quantidades totais de resíduos de extração que são produzidas durante a fase de funcionamento;

E

ANEXO III [a que se refere a alínea b) do n.º 4 do artigo 10.º] - Caracterização dos resíduos

A) Caracterização dos resíduos

1 – A caracterização dos resíduos abrange as seguintes categorias de informação, conforme indicado na parte C) do presente anexo:

a) Informações de base;

b) Passado geológico do depósito a explorar;

c) Natureza dos resíduos e tratamento pretendido para os mesmos;

d) Comportamento geotécnico dos resíduos;

> e) Características geoquímicas e comportamento dos resíduos.
>
> 2 – Os critérios para a definição de resíduos inertes estabelecidos no anexo II do presente decreto-lei devem ser tidos em conta para fins da avaliação do comportamento geoquímico dos resíduos. Quando, com base nesses critérios, os resíduos são considerados «inertes», estes serão apenas sujeitos à parte relevante dos ensaios geoquímicos referidos no n.º 5 da parte C) deste anexo.

Refere-se ainda que, relativamente à Alínea B) "Recolha e avaliação de informações" constante do ANEXO III do Decreto-Lei nº 10/2010 de 4 de fevereiro, foram cumpridos os Pontos 2 a 5, conforme o estipulado no Ponto 1 do mesmo Anexo. Para o efeito, foram utilizados diversos trabalhos de investigação relativos à definição das condições de referência regionais e locais, estudos existentes sobre mobilidade de elementos de outros aterros do mesmo tipo, dados de licenças existentes mais especificamente os dados do Plano de Monitorização de Solo da Atual Concessão Mineira, levantamentos geológicos locais e regionais publicados pelo LNEG, comparado com sítios semelhantes como outros aterros de Resíduos Mineiros em Portugal, listas de resíduos inertes mais especificamente com a Lista Europeia de Resíduos – LER e os regimes de certificação adequados e normas europeias ou nacionais para materiais equivalentes. Assinala-se ainda que, nos pontos em que o Decreto-Lei nº 10/2010 de 4 de fevereiro indica, é omisso.

Foi garantida a qualidade e a representatividade de todas as informações, através do acompanhamento e supervisão por técnicos qualificados. As lacunas de informação foram colmatadas pela implementação de um plano de amostragem em conformidade com a norma EN 14899, onde se definiu:

a) a recolha de dados tem como objetivo a obtenção dos parâmetros físicos e químicos dos resíduos mineiros, nomeadamente, os necessários para a caracterização dos resíduos de extração.
b) proceder à recolha de um conjunto de amostras representativas das litologias que compreenderão, no futuro, os resíduos de extração, a serem produzidos durante a fase de operação da Mina, e que, em alguns casos, ficarão em estruturas definitivas de armazenamento de resíduos mineiros. Estas amostras correspondem, aos materiais que serão produzidos pelos processos mineiros, nomeadamente, a escavação e o processamento.
c) considerar as amostras de testemunhos de sondagem, utilizadas na campanha de caracterização.
d) considerar, o mínimo de uma 1 amostra por zona de escavação, para que todas as diferentes litologias conhecidas se encontrem representadas, aumentando o número de amostras.
e) analisar individualmente todos os produtos resultantes do processo de tratamento (beneficiação do minério), cobrindo todos os resíduos produzidos.

A fiabilidade e a qualidade dos resultados da amostragem foram asseguradas pela aplicação estrita do Programa, sendo supervisionado por uma entidade externa (KP). Tendo os resultados do processo de caracterização sido interpretados pela mesma entidade externa (KP) e as conclusões integradas no plano de gestão dos resíduos.

Nas subsecções abaixo, apresentam-se separadamente os resultados e conclusões relativos à caracterização do cada tipo de Resíduo de Extração – Estéreis ou Rejeitados.

7.4.1 REJEITADOS

7.4.1.1 INFORMAÇÕES DE BASE

Os Resíduos de Extração designados como "rejeitados" são resultantes do processamento a realizar na lavaria, nomeadamente rochas aplitopegmatíticas de composição aproximadamente granítica, das quais é removida a fração portadora de espodumena. Assim, os rejeitados são os materiais que praticamente não possuem espodumena, sendo essencialmente constituídos por quartzo e feldspato.

As frações de processamento não expedidas como matérias-primas secundárias são encaminhadas para a TSF, após o desaguamento ou a filtração previstos no circuito descrito no Capítulo 5. A deposição é realizada por transporte, espalhamento e compactação, com controlo das características dos materiais. A conceção da instalação é descrita nas secções relativas ao projeto da TSF do presente capítulo.

Os rejeitados apresentam características granulométricas e geotécnicas que dependem da fração de processamento. O teor de água à saída do desaguamento ou da filtração distingue-se da condição de colocação e compactação na TSF. A caracterização dos materiais, os parâmetros adotados e os critérios de colocação são apresentados nas secções relativas às condições geotécnicas e ao projeto da instalação.

Devido à limitação de áreas disponíveis na concessão, para o desenvolvimento da TSF será adotado um plano detalhado de construção e preparação, de forma a garantir que:

- Disponham, em todas as fases do projeto, de capacidade de armazenamento para os rejeitados.
- Reduzam a geração de sedimentos.
- Controlem o escoamento de água.
- Providenciem uma estrutura estável.

Os rejeitados serão transportados para a zona de deposição ativa da TSF, onde a deposição, a dispersão e a compactação serão realizadas com o equipamento de movimentação de terras convencional (buldózeres, niveladoras e cilindros compactadores). As atividades de deposição serão monitorizadas continuamente para garantir que a colocação, condições de deposição do material, e a impermeabilização estejam de acordo com o plano de desenvolvimento da Instalação de Resíduos (TSF).

A gestão das águas superficiais, a impermeabilização e a geração de poeiras, serão aspetos críticos na operação da TSF. Durante as atividades, serão tomadas as seguintes medidas para o controlo e a geração de sedimentos:

- Reabilitar continuamente as áreas perturbadas, reduzindo a carga de sedimentos.
- Reter sedimentos em estruturas permanentes de controle de sedimentos.

- Certificar-se de que todo o rejeitado seja colocado de forma controlada e projetada.
- Que as estruturas de gestão de águas superficiais sejam continuamente atualizadas e adequadas ao volume de escoamento e à geração de sedimentos.

A impermeabilização limita a migração de água para o terreno de fundação. A drenagem, a preparação da fundação, a geometria e a colocação controlada dos materiais integram as medidas de controlo da estabilidade e do comportamento hidráulico da TSF.

7.4.1.2 PASSADO GEOLÓGICO DO DEPÓSITO A EXPLORAR

De um modo geral, a natureza das rochas, designadas como aplitopegmatitos, possuem uma composição química e mineralógica similar a um granito, contendo quartzo, feldspatos, micas e minerais acessórios (neste caso contendo espodumena) sem quaisquer indícios de alteração hidrotermal. Tratam-se, assim, de rochas pegmatíticas de dimensões variadas contendo, entre outros, espodumena, encaixada em estruturas desenvolvidas em rochas metamórficas (filitos e quartzofilitos) essencialmente constituídos por minerais argilosos metamorfizados e quartzo, localmente fraturados por falhas e meteorizados pela circulação de fluidos meteóricos, de muito baixa porosidade, e sem evidências de processos de alteração supergénica distinta da meteorização e erosão superficiais.

As propriedades químicas das rochas encaixantes, revelam que, de uma forma natural, as rochas mineralizadas (pegmatitos) apresentam valores significativos de Sílica e Alumínio na forma de aluminossilicatos, por vezes acompanhados de berílio (Be) e lítio (Li), bem como pontualmente valores mais elevados de As, mas que no seu todo, apresentam um baixo risco para a saúde humana e para o ambiente, a curto e a longo prazos, considerando a baixa mobilidade destes elementos para o meio (solos e água).

7.4.1.3 O TRATAMENTO PREVISTO PARA OS REJEITADOS

Os Resíduos de Extração resultantes do processamento da mineralização na Lavaria, sem qualquer tratamento subsequente, podem classificar-se como “Rejeitados e outros resíduos, resultantes da lavagem e limpeza de minérios”, com o código **LER 01 04 12**.

As frações minerais provêm do minério extraído no projeto. O processamento combina operações mecânicas e físico-químicas, incluindo a utilização dos reagentes identificados no Capítulo 5. A caracterização ambiental dos rejeitados considera também os produtos utilizados no tratamento mineral e a sua eventual presença residual.

O processamento de 17,436 Mt de minério origina 2,117 Mt de concentrado SC5,5 e 15,319 Mt de frações minerais. Destas, 5,721 Mt estão afetas à comercialização como matérias-primas secundárias e 9,598 Mt à deposição na TSF. Os valores são expressos em massa seca e integram os ajustamentos do balanço de processamento.

A Tabela 7.27 apresenta o balanço acumulado por fração e destino. A repartição varia ao longo do programa de exploração, em função da alimentação da lavaria e das quantidades afetas à comercialização. A mistura encaminhada para a TSF é caracterizada e controlada para verificar a sua compatibilidade com as condições de deposição previstas no projeto.

Tabela 7.27 – Balanço acumulado das frações de processamento por destino.

Fração	Gerada (kt secas)	MPS (kt secas)	TSF (kt secas)	% da massa total depositada na TSF
DMS	3 697,569	2 616,722	1 080,846	11,26%
Mica	2 075,851	1 367,070	708,781	7,38%
Flotação	7 402,185	1 413,105	5 989,079	62,40%
Fina	2 143,372	324,319	1 819,053	18,95%
Total	15 318,977	5 721,217	9 597,760	100,00%

7.4.1.4 CARACTERIZAÇÃO DOS REJEITADOS

Com base nos dados existentes, pode concluir-se que os riscos dos rejeitados podem ser geridos de forma adequada, pela implementação de controles de engenharia adequados, com gestão ativa de armazenamento de resíduos. Os testes laboratoriais de amostras permitem estabelecer que os rejeitados serão inertes e a infiltração e o escoamento das chuvas em cortas, escombreiras e áreas de acesso não afetarão a água de escorrência com elementos ambientalmente nocivos, e que no seu todo apresentam valores médios que cumprem com os requisitos de inerte do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro:

- Teor máximo de enxofre na forma de sulfureto inferior a 0,1% (valor obtido 0,01S%).
- Quociente do potencial de neutralização superior a 3 = (valor obtido 30).
- Lixiviação de metais, oxianiões e sais (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn) com valores médios que não ultrapassam os limites de inerte Descarga de água residuais industriais tratadas (ANEXO XVIII - Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto) não apresentando, portanto, perigo para o ambiente

Atendendo às características geológicas e geotécnicas dos rejeitados, estes são resíduos que não serão passíveis de desintegração ou dissolução significativa, tal como demonstrado pelos testes de lixiviação, ou de outra alteração significativa suscetível de causar efeitos ambientais adversos ou de prejudicar a saúde humana, dado que apresentam uma natureza inerte e constituintes de baixa mobilidade.

Os rejeitados não apresentam risco de autocombustão e não se inflamarão, factos esperados pela natureza mineral destes resíduos, e tal como demonstrado nos testes efetuados em laboratório certificado ALS.

O teor de substâncias potencialmente prejudiciais para o ambiente ou para a saúde humana presente nos resíduos e, em particular, de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn, incluindo em partículas finas isoladas de resíduos, é suficientemente baixo para que o risco para a saúde humana e para o ambiente, a curto e a longo prazos, seja insignificante. Sendo na sua totalidade constituído por matérias minerais inertes (quartzo, feldspato e micas), não sendo, portanto prejudiciais para o ambiente ou para a saúde humana.

Conforme o número 2, do Anexo I, do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, e com base em informação existente, os resíduos produzidos na lavaria, e a colocar na instalação de resíduos TSF são, de facto, inertes, cumprindo-se o disposto no número 1, do referido Anexo I.

Os rejeitados a depositar podem ser considerados de natureza inerte nos termos da alínea x) do artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, uma vez que reúnem as seguintes características:

- Não são suscetíveis de sofrer transformações físicas, químicas ou biológicas importantes;
- Não são solúveis nem inflamáveis, nem têm qualquer outro tipo de reação física ou química;
- Não afetam negativamente outras substâncias com as quais entrem em contacto de forma suscetível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana;
- Não são biodegradáveis;
- Possuem lixiviabilidade total, conteúdo poluente e ecotoxicidade do lixiviado insignificante;
- Não põe em perigo a qualidade das águas superficiais e ou subterrâneas.

Assim, os rejeitados, no seu todo, são resíduos Inertes, em condições de serem depositados em aterro apropriado, de acordo com os critérios e planeamento detalhado no capítulo descritivo do aterro de resíduos. Neste caso, atendendo à presença de uma granulometria fina nestes resíduos, optou-se por impermeabilizar o aterro de rejeitados (TSF).

7.4.2 Caracterização de Resíduos não Mineiros

Os resíduos não mineiros associados ao projeto resultam das diferentes fases e atividades previstas no ciclo de vida da exploração, nomeadamente da fase de construção, das operações de lavaria, do funcionamento da Estação de Tratamento de Água (ETA), das atividades de manutenção e, posteriormente, da fase de desativação. Na presente secção são identificados e caracterizados os principais resíduos não mineiros expectáveis, sendo estes classificados de acordo com os respetivos códigos da Lista Europeia de Resíduos (LER), em conformidade com a legislação aplicável.

7.4.2.1 FASE DE CONSTRUÇÃO

Durante a fase de construção prevê-se a produção de diversos resíduos não mineiros associados às atividades de instalação e preparação das infraestruturas necessárias ao desenvolvimento do projeto. Estes resíduos resultam, essencialmente, das operações de construção, montagem e instalação de equipamentos e infraestruturas, sendo identificados e classificados de acordo com os respetivos códigos da Lista Europeia de Resíduos (LER).

Tabela 7.28 - Resíduos não Mineiros – Fase de Construção

Tipo de Resíduo	Código LER
Outros óleos de motores, transmissões e lubrificação	130208
Lamas provenientes dos separadores óleo/água	130502
Óleos provenientes dos separadores óleo/água	130506
Fuelóleo e gasóleo	130701
Embalagens de papel e cartão	150101
Embalagens de plástico	150102
Embalagens de madeira	150103
Embalagens de metal	150104
(*) Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas	150110
(*) Embalagens de metal, incluindo recipientes vazios sob pressão, contendo uma matriz porosa sólida perigosa (por exemplo, amianto) (latas de sprays)	150111
(*) Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo sem outras especificações), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas	150202
Absorventes, materiais filtrantes, panos de limpeza e vestuário de proteção não abrangidos em 15 02 02 (filtros de ar)	150203
Pneus usados	160103
(*) Filtros de óleo	160107
(*) Componentes contendo mercúrio (lâmpadas veículos)	160108
Pastilhas de travões não abrangidas em 16 01 011	160112
(*) Fluidos de travões	160113
(*) Fluidos anticongelantes contendo substâncias perigosas	160114
Fluidos anticongelantes não abrangidos em 16 01 14	160115
Metais ferrosos	160117
Metais não ferrosos	160118
Resíduos inorgânicos não abrangidos em 16 03 03	160304
(*) Acumuladores de chumbo	160601
Betão	170101
Tijolos	170102
Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos	170103

Tipo de Resíduo	Código LER
(*) Misturas ou frações separadas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, contendo substâncias perigosas	170106
Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, não abrangidas em 17 01 06	170107
Madeira	170201
Vidro	170202
Plástico	170203
(*) Vidro, plástico e madeira contendo ou contaminados com substâncias perigosas	170204
(*) Misturas betuminosas contendo alcatrão	170301
Misturas betuminosas não abrangidas em 17 03 01	170302
Cobre, bronze e latão	170401
Alumínio	170402
Chumbo	170403
Zinco	170404
Ferro e aço	170405
Mistura de metais	170407
(*) Resíduos metálicos contaminados com substâncias perigosas	170409
Cabos não abrangidos em 17 04 10	170411
(*) Outros materiais de isolamento contendo ou constituídos por substâncias perigosas	170603
Materiais de isolamento não abrangidos em 17 06 01 e 17 06 03	170604
(*) Materiais de construção à base de gesso contaminados com substâncias perigosas	170801
Materiais de construção à base de gesso não abrangidos em 17 08 01	170802
(*) Resíduos de construção e demolição contendo mercúrio	170901
(*) Resíduos de construção e demolição contendo PCB	170902
(*) Outros resíduos de construção e demolição (incluindo misturas de resíduos) contendo substâncias perigosas	170903
Misturas de resíduos de construção e demolição não abrangidos em 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03	170904
Resíduos cujas recolha e eliminação não estão sujeitas a requisitos específicos com vista à prevenção desinfeções	180104
Vidro	200102
(*) Lâmpadas fluorescentes e outros resíduos contendo mercúrio	200121
Equipamento elétrico e eletrónico fora de uso	200136
Plásticos	200139
Resíduos desmatação	200201
Mistura de resíduos equiparados a resíduos sólidos urbanos	200301
Lamas de fossa sépticas	200304

7.4.2.2 OPERAÇÕES DA LAVARIA

As operações de lavaria constituem igualmente uma das fontes de produção de resíduos não mineiros, associados ao funcionamento e manutenção das instalações e dos equipamentos afetos ao tratamento do minério, que se identificam na tabela abaixo.

Tabela 7.29 - Resíduos não Mineiros - Lavaria

Tipo de Resíduo	Código LER
Lamas de outros tratamentos de águas residuais industriais, não abrangidas em 19 08 13	190814
Embalagens de papel e cartão	150101
Embalagens de plástico	150102
Embalagens de madeira	150103
Embalagens de metal	150104
(*) Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas	150110
Resíduos sem outras especificações	190899
Resíduos sem outras especificações	110599

7.4.2.3 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

O funcionamento da Estação de Tratamento de Água (ETA) poderá originar diferentes tipos de resíduos não mineiros, resultantes das operações de tratamento e das atividades de manutenção associadas às respetivas instalações e equipamentos. Os resíduos produzidos nesta fase são identificados e classificados de acordo com os respetivos códigos da Lista Europeia de Resíduos (LER).

Tabela 7.30 - Resíduos não Mineiros - ETA

Tipo de Resíduo	Código LER
ETAR Doméstica	
Gradados	19 08 01
Resíduos de desarenamento	19 08 02
Lamas do tratamento de águas residuais urbanas	19 08 05
ETARIC	
Areias de leitos	19 01 19
(*) Resinas de permuta iónica, saturadas ou usadas	19 08 06
Resíduos sem outras especificações	19 08 99
ETARI	
Gradados	19 08 01
Resíduos de desarenamento	19 08 02

Tipo de Resíduo	Código LER
Lamas de outros tratamentos de águas residuais industriais, não abrangidas em 19 08 13	19 08 14
Areias de leitos fluidizados	19 01 19
Resíduos sem outras especificações	19 08 99
ETAM	
Lamas provenientes dos separadores óleo/água	13 05 02

7.4.2.4 ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

Os resíduos gerados pelas atividades de manutenção realizadas durante a exploração e funcionamento das diferentes instalações e equipamentos, listam-se na tabela abaixo:

Tabela 7.31 - Resíduos não Mineiros - Atividades Manutenção

Tipo de Resíduo	Código LER
Outros óleos de motores, transmissões e lubrificação	130208
Lamas provenientes dos separadores óleo/água	130502
Óleos provenientes dos separadores óleo/água	130506
Fuelóleo e gasóleo	130701
Embalagens de papel e cartão	150101
Embalagens de plástico	150102
Embalagens de madeira	150103
Embalagens de metal	150104
(*) Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas	150110
(*) Embalagens de metal, incluindo recipientes vazios sob pressão, contendo uma matriz porosa sólida perigosa (por exemplo, amianto) (latas de sprays)	150111
(*) Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo sem outras especificações), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas	150202
Absorventes, materiais filtrantes, panos de limpeza e vestuário de proteção não abrangidos em 15 02 02 (filtros de ar)	150203
Pneus usados	160103
(*) Filtros de óleo	160107
(*) Componentes contendo mercúrio (lâmpadas veículos)	160108
(*) Pastilhas de travões, contendo amianto	160111
Pastilhas de travões não abrangidas em 16 01 011	160112
(*) Fluidos de travões	160113
(*) Fluidos anticongelantes contendo substâncias perigosas	160114
Fluidos anticongelantes não abrangidos em 16 01 14	160115
Metais ferrosos	160117
Metais não ferrosos	160118

Tipo de Resíduo	Código LER
(*) Acumuladores de chumbo	160601
(*) Resíduos contendo hidrocarbonetos	160708
Resíduos cujas recolha e eliminação não estão sujeitas a requisitos específicos com vista à prevenção de infeções	180104
Papel e cartão	200101
Vidro	200102
Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas	200108
(*) Lâmpadas fluorescentes e outros resíduos contendo mercúrio	200121
Óleos e gorduras alimentares	210125
Equipamento elétrico e eletrónico fora de uso	200136
Plásticos	200139
Resíduos desmatação	200201
Mistura de resíduos equiparados a resíduos sólidos urbanos	200301
Lamas de fossa sépticas	200304

(*) Resíduos classificados como perigosos

7.4.2.5 FASE DE DESATIVAÇÃO

Na fase de desativação prevê-se a produção de resíduos não mineiros associados às operações de desmontagem, remoção de equipamentos, demolição e desmantelamento das infraestruturas existentes. Os resíduos resultantes destas atividades serão identificados e classificados de acordo com a sua natureza e origem, considerando os respetivos códigos da Lista Europeia de Resíduos (LER).

Tabela 7.32 - Resíduos não Mineiros - Fase de Desativação

Tipo de Resíduo	Código LER
Outros óleos de motores, transmissões e lubrificação	130208
Lamas provenientes dos separadores óleo/água	130502
Óleos provenientes dos separadores óleo/água	130506
Fuelóleo e gasóleo	130701
Embalagens de papel e cartão	150101
Embalagens de plástico	150102
Embalagens de madeira	150103
Embalagens de metal	150104
(*) Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas	150110
(*) Embalagens de metal, incluindo recipientes vazios sob pressão, contendo uma matriz porosa sólida perigosa (por exemplo, amianto) (latas de sprays)	150111
(*) Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo sem outras especificações), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas	150202

Tipo de Resíduo	Código LER
Absorventes, materiais filtrantes, panos de limpeza e vestuário de proteção não abrangidos em 15 02 02 (filtros de ar)	150203
Pneus usados	160103
(*) Filtros de óleo	160107
(*) Componentes contendo mercúrio (lâmpadas veículos)	160108
(*) Pastilhas de travões, contendo amianto	160111
Pastilhas de travões não abrangidas em 16 01 011	160112
(*) Fluidos de travões	160113
(*) Fluidos anticongelantes contendo substâncias perigosas	160114
Fluidos anticongelantes não abrangidos em 16 01 14	160115
Metais ferrosos	160117
Metais não ferrosos	160118
Resíduos inorgânicos não abrangidos em 16 03 03	160304
(*) Acumuladores de chumbo	160601
Betão	170101
Tijolos	170102
Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos	170103
(*) Misturas ou frações separadas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, contendo substâncias perigosas	170106
Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, não abrangidas em 17 01 06	170107
Madeira	170201
Vidro	170202
Plástico	170203
(*) Vidro, plástico e madeira contendo ou contaminados com substâncias perigosas	170204
(*) Misturas betuminosas contendo alcatrão	170301
Misturas betuminosas não abrangidas em 17 03 01	170302
Cobre, bronze e latão	170401
Alumínio	170402
Chumbo	170403
Zinco	170404
Ferro e aço	170405
Estanho	170406
Mistura de metais	170407
(*) Resíduos metálicos contaminados com substâncias perigosas	170409
Cabos não abrangidos em 17 04 10	170411
(*) Outros materiais de isolamento contendo ou constituídos por substâncias perigosas	170603
Materiais de isolamento não abrangidos em 17 06 01 e 17 06 03	170604
(*) Materiais de construção à base de gesso contaminados com substâncias perigosas	170801
Materiais de construção à base de gesso não abrangidos em 17 08 01	170802

Tipo de Resíduo	Código LER
(*) Resíduos de construção e demolição contendo mercúrio	170901
(*) Resíduos de construção e demolição contendo PCB	170902
(*) Outros resíduos de construção e demolição (incluindo misturas de resíduos) contendo substâncias perigosas	170903
Misturas de resíduos de construção e demolição não abrangidos em 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03	170904
Resíduos cujas recolha e eliminação não estão sujeitas a requisitos específicos com vista à prevenção desinfeções	180104
Medicamentos não abrangidos em 18 01 08	180109
Vidro	200102
(*) Lâmpadas fluorescentes e outros resíduos contendo mercúrio	200121
Equipamento elétrico e eletrónico fora de uso	200136
Plásticos	200139
Resíduos desmatação	200201
Mistura de resíduos equiparados a resíduos sólidos urbanos	200301
Lamas de fossa sépticas	200304

7.4.3 ESTÉREIS

7.4.3.1 INFORMAÇÕES DE BASE

Os Resíduos de Extração designados como “Estéreis” são resíduos de operação de exploração mineira, mais especificamente, materiais rochosos resultantes do processo de escavação, sem qualquer tipo de processamento ou tratamento, e que correspondem exatamente aos materiais rochosos naturais existentes e escavados no local, apresentando uma granulometria extensa.

Para que seja atingido o objetivo de exploração do recurso mineral é necessário criar acessos seguros à rocha mineralizada, implicando com isso escavar e movimentar rocha sem valor comercial, gerando volumes consideráveis de material endógeno não processado. Durante o desenvolvimento de todas as áreas de extração (escavação) ou cortas, o material não mineralizado (estéril) será escavado, transportado e armazenado em instalações projetadas para armazenamento seguro, estável, e de longo prazo descritas no capítulo descritivo das escombreiras.

O estéril gerado pelas operações mineiras de escavação, envolve rocha durável, seca (ou com um teor de humidade muito baixo) e com elevada resistência mecânica e química. Estes Estéreis (resíduos de escavação) serão colocados nas Escombreiras (ESCs) temporárias ou definitivas, e no enchimento das cavidades mineiras. As escombreiras temporárias estarão ativas apenas pelo período necessário até que as cavidades (cortas) estejam disponíveis para o respetivo enchimento.

Atendendo à escassez de áreas adequadas para a implantação de escombreiras, foi adotado um plano detalhado de construção e preparação para garantir que as obras de terraplenagem sejam realizadas de forma que:

- Disponham, a qualquer momento, de capacidade de armazenamento para os estéreis gerados;
- Reduzam a geração de sedimentos (finos).
- Controlem o escoamento de água.
- Providenciem uma estrutura estável.
- E que se limite o volume de escavação não preenchido no final da vida útil do Projeto.

O enchimento das cortas é realizado progressivamente nas zonas disponíveis, em compatibilidade com a sequência de exploração, as condições de segurança e os objetivos de recuperação. As movimentações e removimentações de estéreis seguem o programa apresentado no Capítulo 4.

A gestão das águas superficiais e a geração de poeiras serão aspetos críticos da parte operacional das escombreiras. Durante as operações, serão tomadas as seguintes medidas para controlar o escoamento e a geração de sedimentos:

- Reabilitar continuamente as áreas afetadas, reduzindo a carga de sedimentos.
- Reter sedimentos em estruturas permanentes de controle de sedimentos – reservatórios.
- Certificar-se de que todo o estéril seja colocado de forma controlada e projetada.
- Que as estruturas de gestão de águas superficiais sejam continuamente atualizadas e realinhadas para se adequar ao volume de escoamento e à geração de sedimentos

7.4.3.2 Passado Geológico do Depósito a Explorar

No capítulo da caraterização geológica descreve-se o enquadramento geológico regional e local do Projeto, identificando as litologias mais comuns da área, e que serão os resíduos expectáveis provenientes da extração – Estéreis – nomeadamente, as rochas naturais descritas como filitos, quartzofilitos e pegmatitos (no caso de estéreis, rochas de baixo teor, ou baixa qualidade). Estas Rochas são descritas na Notícia Explicativa da Folha 6C da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000 e caracterizadas do ponto de vista mineral e geoquímico nos estudos e trabalhos da Tese de Doutoramento de Maria do Anjos Ribeiro (1998), permitindo retirar conclusões sobre a natureza das rochas circundantes, sua química e mineralogia, incluindo alguma alteração hidrotermal do material estéril, um material que não sofrerá qualquer tratamento.

De uma forma geral o depósito é constituído por rochas pegmatíticas (de composição aproximada a rochas ígneas do tipo granito) de dimensões variadas, contendo entre outros, minerais de lítio, encaixados em estruturas desenvolvidas em rochas metamórficas (filitos e quartzofilitos) essencialmente constituídos por minerais argilosos metamorfizados e quartzo, localmente fraturados por falhas e meteorizados

pela circulação de fluidos meteóricos, de muito baixa porosidade, e sem evidências de processos de alteração supergénica distinta da meteorização e erosão superficiais.

As propriedades químicas das rochas encaixantes, revelam que, de uma forma natural as rochas locais (filitos e quartzofilitos) apresentam conteúdos em minerais de argila que, na sua maioria são portadores de elementos como o Bário (Ba) e Vanádio (V) mais elevados, bem como pontos localizados com valores mais elevados de As, relacionados com estruturas e descontinuidades (falhas, fraturas e contatos), mas que no seu todo, apresentam um baixo risco para a saúde humana e para o ambiente, a curto e a longo prazos, considerando a baixa mobilidade destes elementos para o meio (solos e água).

7.4.3.3 O TRATAMENTO PREVISTO DOS ESTÉREIS

Os Resíduos de Extração resultantes do processo de escavação, sem processamento ou tratamento subsequente são compostos por materiais de natureza geológica, contendo essencialmente rochas metamórficas, filitos (argilitos metamorfizados) e quartzofilitos (areno argilitos siliciosos metamorfizados), e podem classificar-se como "Resíduos de extração de minérios não metálicos", com o código LER 01 01 02, "Gravilhas e fragmentos de rocha", com o código LER 01 04 08 "gravilhas e fragmentos de rocha, não abrangidos em 01 04 07", e "Poeiras e pós", com o código LER 01 04 10 (A Lista Europeia de Resíduos, LER, publicada pela Decisão 2014/955/UE, da Comissão, de 18 de dezembro, que altera a decisão 2000/532/CE, da Comissão, de 3 de maio, referida no artigo 7.º da Diretiva 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro, (DQR) diz respeito a uma lista harmonizada de resíduos que tem em consideração a origem e composição dos resíduos. Esta decisão é obrigatória e diretamente aplicável pelos Estados membros).

Os estéreis extraídos são encaminhados para as escombreiras, para o enchimento das zonas disponíveis das cortas e para os usos construtivos previstos no projeto. A seleção para construção depende da aptidão dos materiais e dos requisitos de cada estrutura. A distribuição e as removimentações acompanham o programa de lavra. A escombreira temporária do Grandão é integralmente removida entre os Anos 10 e 15, totalizando 26,678 Mt e 12,793 Mm³ de material solto, com saldo final nulo.

Os estéreis a depositar, são considerados de natureza inerte nos termos da alínea x) do artigo 3.º do Decreto Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, uma vez que reúnem as seguintes características:

- Não são suscetíveis de sofrer transformações físicas, químicas ou biológicas importantes;
- Não são solúveis nem inflamáveis, nem têm qualquer outro tipo de reação física ou química;
- Não afetam negativamente outras substâncias com as quais entrem em contacto de forma suscetível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana;
- Não são biodegradáveis;
- Possuem lixiviabilidade total, conteúdo poluente e ecotoxicidade do lixiviado insignificante;

- Não põe em perigo a qualidade das águas superficiais e ou subterrâneas.

Com base na informação existente, os resíduos produzidos na mina e a depositar nas instalações de resíduos, são inertes, cumprindo-se o disposto no número 1, do Anexo I, do Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro. A análise demonstrativa é detalhada no capítulo específico.

O programa de exploração contempla 79,579 Mt de estéreis, correspondentes a 30,220 Mm^3 in situ e a 37,775 Mm^3 empolados. O total inclui 1,323 Mt de estéril de pegmatito mineralizado limpo. A Tabela 7.33 apresenta a distribuição por corta. Estes valores correspondem à extração e não incluem, como nova produção de estéril, as removimentações posteriores.

Tabela 7.33 – Estéreis extraídos por corta e respetivo volume empolado.

Corta	Estéril (Mt secas)	Volume empolado (Mm^3)
Grandão	52,080	24,497
Pinheiro	9,398	4,553
NOA	2,658	1,270
Reservatório	15,443	7,455
Total	79,579	37,775

Os metassedimentos da região do Barroso são definidos como filitos e quartzofilitos derivados de sedimentos pelíticos a semi pelíticos que sofreram processos de metamorfismo in situ. A mineralogia destas rochas é uma combinação de quartzo, feldspato e micas (uma mistura de moscovite e biotite).

Tipicamente, existe um grau moderado de silicificação adjacente aos contatos do pegmatito e um aumento do teor de mica distal ao pegmatito. Os filitos e quartzofilitos da Mina do Barroso contém 40% de quartzo, 30% de mica e 30% de feldspato. Um resumo desta composição é mostrado no diagrama triangular da Figura 7.22. e uma imagem com testemunhos de sondagem da rocha típica é apresentada na Figura 7.23.

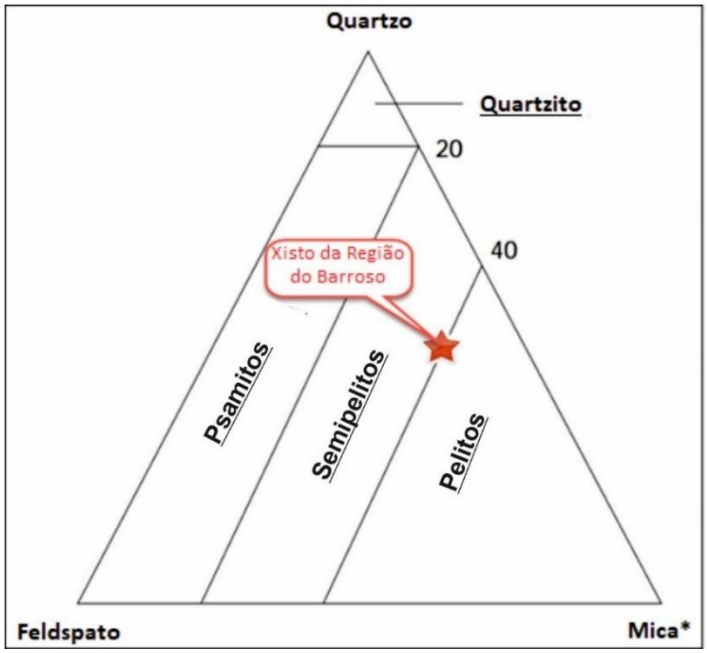


Figura 7.22 – Diagrama Triangular da composição dos metassedimentos.



Figura 7.23 – Imagem de testemunhos de sondagem, representativa do tipo de metassedimentos da área do projeto.

As rochas estéreis extraídas serão colocadas em instalações de resíduos (Escombreiras) e em vazios de escavação, tal como detalhado no Capítulo descritivo destas instalações, contando com uma escombreira temporária e três escombreiras definitivas. A recuperação faseada de cada escombreira será efetuada como parte dos procedimentos operacionais das escombreiras. A nova cobertura de terra vegetal incide sobre as áreas já com a configuração final, deve ser resistente à erosão e incorporar as condições para incentivar a revegetação.

As águas são geridas segundo a sua origem e qualidade, com separação das águas sem contacto e das águas de contacto. A reutilização, o tratamento e as descargas seguem o sistema de gestão de água descrito no Capítulo 5 e as condições aplicáveis à descarga.

Estão projetadas estruturas adequadas de controlo de sedimentos que intercetarão as principais linhas de drenagem e direcionarão a água ao redor das áreas de exploração, usando aterros baixos (motas ou combros) e canais de desvio. Pretende-se que todo o escoamento superficial das áreas perturbadas seja desviado para estes sistemas, de forma a permitir o controlo de sedimentos e a filtragem da água antes de ser reencaminhada para a unidade de processamento (lavaria) ou libertada a jusante.

As quantidades anuais de estéreis extraídos são apresentadas no programa de exploração do Capítulo 4. O total é de 79,579 Mt, sem contabilizar as removimentações posteriores como nova produção de estéril.

7.4.3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS ESTÉREIS

Os dados obtidos até ao momento, baseados nos testes laboratoriais das amostras permitem estabelecer que as rochas estéreis são inertes e a infiltração e o escoamento das chuvas nas cortas, escombreiras e áreas de acesso não afetarão a água de escorrência com elementos ambientalmente nocivos. A rocha estéril que vai ser explorada apresenta valores médios que cumprem com os requisitos de inerte do DL 10/2010, nomeadamente:

- Teor máximo de enxofre na forma de sulfureto inferior a 0,1% (valor obtido: 0,05%).
- Quociente do potencial de neutralização superior a 3 (valor obtido: 16, de acordo com a norma EN 15875).
- Presença de concentrações de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn inferiores aos valores de referência nacionais para solos, conforme guia técnico da APA.
- E lixiviação de metais, oxianiões e sais (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn) com valores médios que não ultrapassam os limites de INERTE (Decreto-Lei 102-D/2020 - e de acordo com o prescrito no Ponto 3 do Anexo III do DL 10/2010)

Dadas as características geológicas e geotécnicas os estéreis são resíduos que não serão passíveis de desintegração ou dissolução significativa, tal como demonstrado pelos testes de lixiviação, ou de outra alteração significativa suscetível de causar efeitos ambientais adversos ou de prejudicar a saúde humana, dado que apresentam uma natureza inerte e constituintes de baixa mobilidade.

Os estéreis não apresentam risco de autocombustão e não se inflamarão, factos esperados pela natureza mineral destes resíduos, e tal como demonstrado em testes efetuados em laboratórios certificados (ALS).

A avaliação geoquímica dos estéreis considera os teores de substâncias potencialmente prejudiciais para o ambiente e para a saúde humana, incluindo As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V e Zn (definidos no DL 10/2010), bem como a sua mobilidade e os valores de fundo natural relevantes. A gestão prevista para estes materiais integra as medidas de deposição, drenagem e monitorização definidas no projeto.

Assim, concluiu-se que os estéreis, no seu todo, são resíduos de extração inertes, em condições de serem depositados nas escombreiras preconizadas, e de acordo com os

critérios e planeamento detalhado no capítulo específico de descrição das escombreiras. Dada a sua natureza inerte, os resíduos de extração (estéreis) serão depositados em locais definitivos e temporários, sendo os estéreis destes últimos remobilizados para o interior das cortas, após a cessação da respetiva exploração. Assim, existirão 6 locais de deposição definitiva de estéreis, correspondentes às 4 cortas (Figura 7.24) e a 2 instalações de deposição definitiva de estéreis (Figura 7.25).

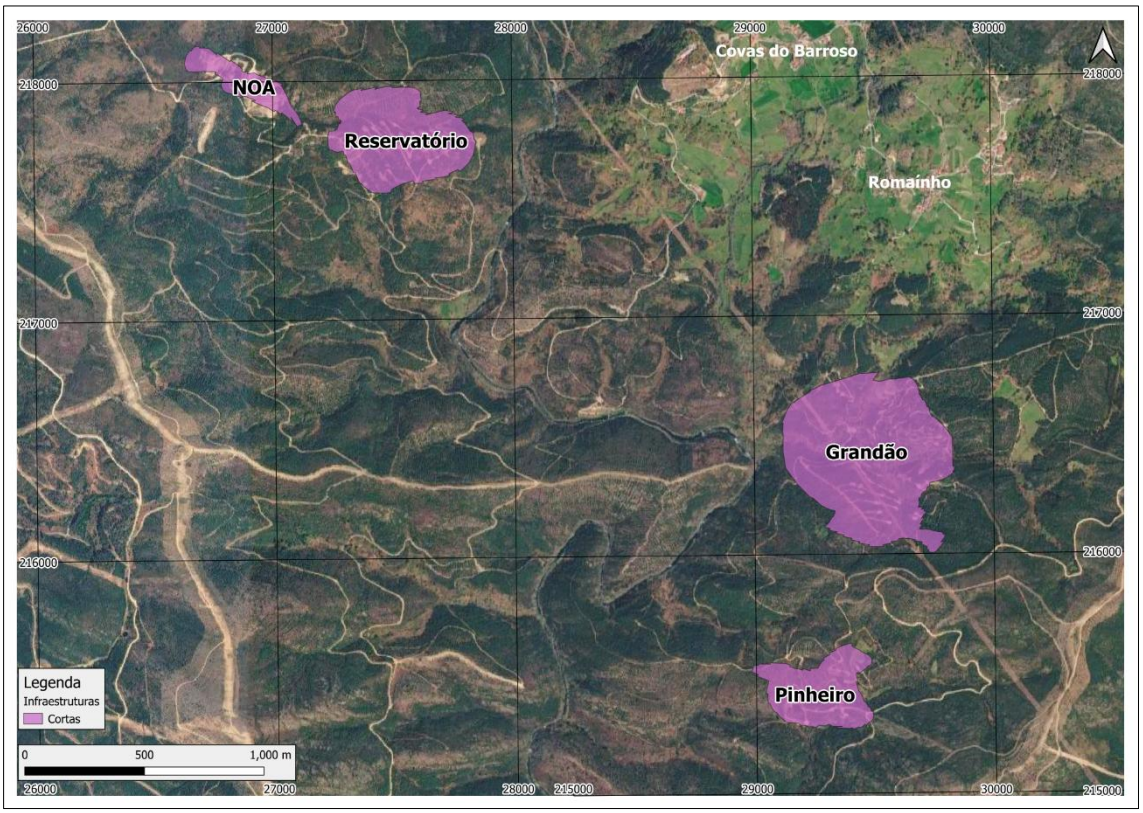


Figura 7.24 – Localização e identificação (de norte para sul) das cortas do projeto da Mina do Barroso: 1- NOA, 2- Reservatório, 3- Grandão, 4- Pinheiro.

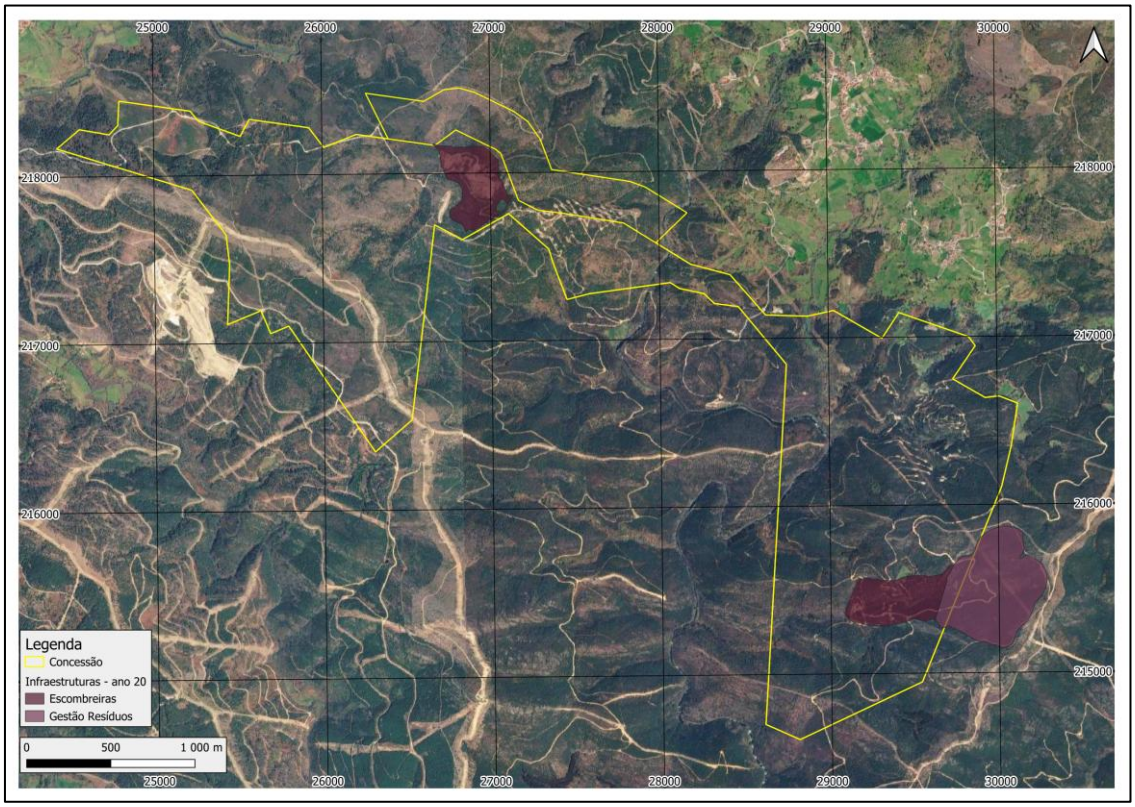


Figura 7.25 – Localização das instalações de resíduos definitivos.

7.5 INSTALAÇÃO DE ATERRO DE RESÍDUOS

7.5.1 OBJETIVOS DO PROJETO

O projeto da instalação de resíduos (rejeitados) encontra-se no Anexo VII.3. Os objetivos de conceção do aterro de rejeitados (TSF) são os seguintes:

- Conter de forma permanente e controlada a fração de rejeitados que é encaminhada para esta instalação ao longo do programa de exploração.
- Otimizar, tanto quanto possível, as distâncias de transporte dos estéreis e rejeitados da mina.
- Reduzir, na medida do possível, os impactes visuais, sonoros e de poeiras.
- Controlar o escoamento superficial e reduzir a geração de sedimentos.
- Reduzir e controlar as infiltrações.
- Garantir o cumprimento das normas e regulamentos relevantes de conceção e operação.
- Assegurar um plano de construção e desenvolvimento flexível que se integre com as operações mineiras e de processamento.
- Incorporar requisitos de segurança na conceção, construção e operação da instalação.
- Minimizar o impacte ambiental, promovendo uma reabilitação rápida e eficaz.
- Gerir os impactes sobre os proprietários de terrenos vizinhos.
- Implementar uma rede de observação com piezómetros, inclinómetros e marcas superficiais, articulada com a monitorização das águas superficiais e subterrâneas.
- Garantir uma estrutura estável a longo prazo, que exija intervenção operacional limitada e manutenção reduzida após o encerramento.

7.5.2 DIRETRIZES DE PROJETO

A conceção da TSF integra os requisitos nacionais aplicáveis e os referenciais técnicos identificados nesta secção. As características da solução e as verificações de estabilidade aqui apresentadas correspondem à memória descritiva da COBA. As classificações de consequências e os critérios específicos de cada referencial são identificados separadamente da classificação legal da instalação.

As seguintes diretrizes de conceção foram utilizadas para o Projeto:

Diretrizes portuguesas:

- Decreto-Lei n.º 344/2007: Aprova o Regulamento de Segurança de Barragens.
- Decreto-Lei n.º 21/2018: Altera o Regulamento de Segurança de Barragens e aprova o Regulamento de Pequenas Barragens.
- Decreto-Lei n.º 10/2010: Regula a Gestão de Resíduos das Indústrias Extrativas.
- Decreto-Lei n.º 31/2013: Altera o Decreto-Lei n.º 10/2010 relativo à Gestão de Resíduos das Indústrias Extrativas.

- Decreto-Lei n.º 236/98: Estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com vista à proteção do meio hídrico e à melhoria da qualidade da água, de acordo com os seus principais usos.

Diretrizes europeias (Euro códigos):

- Eurocode 7 (EN 1997) – Projeto Geotécnico.

Diretrizes Internacionais:

- "Guidelines on the Consequence Categories for Dams", 2012.
- "Guidelines on Tailings Dams, Planning, Design, Construction, Operation and Closure", maio de 2019.
- "Guidelines for Design of Dams and Appurtenant Structures for Earthquake", 2019.
- "Global Industry Standard on Tailings Management", agosto de 2020.

7.5.3 SELEÇÃO DE TECNOLOGIA

A Savannah adoptou a tecnologia de filtração como método preferencial para gerir a produção de rejeitados, com base numa avaliação dos riscos associados à gestão de rejeitados no local.

As instalações de rejeitados filtrados do projeto envolvem o transporte por camião de rejeitados parcialmente saturados e comportando-se como um solo em vez de um fluido. Os rejeitados filtrados serão desidratados até um teor de sólidos entre 76–88% (dependendo do fluxo de rejeitados) e, muitas vezes, próximos do teor de humidade ótimo (o teor de humidade a que se obtém a densidade máxima através da compactação). As infiltrações e o escoamento superficial são recolhidos e descarregados para um reservatório de controlo ambiental.

As instalações de rejeitados filtrados oferecem maior segurança, responsabilidade ambiental e eficiência hídrica, tornando-as uma alternativa cada vez mais atrativa às tecnologias convencionais de armazenamento de rejeitados – especialmente para operações mineiras modernas e sustentáveis. A tecnologia de rejeitados filtrados foi adotada no Projeto para:

- Controlar o volume de água na estrutura, reduzindo o risco de uma rotura por "fluxo de lama" e as suas potenciais consequências, nomeadamente a inundação de grandes áreas a jusante.
- Gerar um produto de rejeitados desidratado, reduzindo o volume de água armazenado na instalação. A redução do teor de água diminui os riscos de estabilidade e o potencial de liquefação da massa de rejeitados e das fundações.
- Limitar a infiltração e o escoamento superficial quando comparado com tecnologias convencionais de armazenamento de rejeitados.
- Proporcionar flexibilidade na estratégia de deposição e configuração, permitindo a reabilitação progressiva.

- Permitir o armazenamento em áreas com topografia acentuada e restrições de ocupação do solo.
- Melhorar a confiança da comunidade devido aos menores riscos ambientais e de segurança.

7.5.4 PARÂMETROS DE PROJETO

A Tabela 7.34 reúne os parâmetros físicos do programa de exploração e as características da solução de engenharia descrita pela COBA. A capacidade geométrica e a disponibilidade de armazenamento por fase são distintas do volume equivalente calculado a partir da massa de rejeitados.

Tabela 7.34 – Parâmetros do programa de exploração e da solução da TSF.

Parâmetro	**Valor / base proposta**
Período de produção e deposição	Outubro de 2028 a setembro de 2043 (Anos 1 a 15)
Frações geradas	15,319 Mt secas
MPS afetas à comercialização	5,721 Mt secas
Deposição na TSF	9,598 Mt secas
Volume equivalente da deposição	6,665 Mm³, calculado a 1,44 t/m³
Referência de capacidade nominal	10,388 Mt secas;
Área final	Aproximadamente 34 ha
Coroamento do aterro de arranque	651 m
Cota final da deposição	705 m
Taludes	Aterro de arranque: 2,5H:1V; pilha: 3H:1V
Impermeabilização	PVC de 3,0 mm no talude de montante do aterro e 2,5 mm na bacia; geotêxtil de 500 g/m²
Destino de águas de contacto	RCA-01, para gestão/tratamento/reutilização
Águas sem contacto	RA-01, mantendo a segregação e a verificação da qualidade
Classificação legal adotada	Categoria A para a TSF
Base sísmica da memória COBA	0,121 g; período de retorno de 1 000 anos; vida de referência de 100 anos
Referenciais de consequências anteriores	Extrema (ANCOLD) e Muito Elevada (GISTM).

7.6 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL

7.6.1 GEOLOGIA

A localização da Mina do Barroso e o respetivo enquadramento geológico regional e estrutural encontram-se descritos nos subcapítulos 1.4.7, 2.2 e 2.3, para os quais se remete.

7.6.2 CLIMA

A caracterização climática geral da área do projeto encontra-se descrita no subcapítulo 3.2, para o qual se remete. Apresentam-se seguidamente apenas os parâmetros climáticos de projeto relevantes para a instalação de resíduos.

Foi realizada uma avaliação detalhada da climatologia de referência para o projeto. Os principais parâmetros climáticos de projeto foram determinados com base nos registos diários de precipitação da estação meteorológica de Couto de Dornelas, pertencente ao Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), para o período compreendido entre 1931 e 2009.

As estatísticas climatológicas apresentadas foram calculadas, no estudo de origem, para períodos anuais de julho a junho. Estes períodos são distintos dos anos do programa de exploração, que decorrem de outubro a setembro.

As estatísticas resumidas são apresentadas nas Tabela 7.35 e Tabela 7.36. Os valores de projeto das precipitações de curta duração, expressos em termos de profundidade–duração–frequência, são apresentados no subcapítulo 6.9.3.

Tabela 7.35 – Estatísticas de precipitação anual.

Estatística selecionada	Couto de Dornelas (1931-2008)
Média (mm)	1 649
Mediana (mm)	1 565
Desvio-padrão (mm)	637
Valor mínimo (mm)	640
Valor máximo (mm)	3732
1.º quartil (25.º percentil) (mm)	1202
3.º quartil (75.º percentil) (mm)	2141
Número médio de dias com precipitação	122

Estatística selecionada	Couto de Dornelas (1931-2008)
Número de anos hidrológicos analisados	70
Distância ao local do projeto (km)	4
Altitude da estação meteorológica (m acima do nível médio do mar)	670

Tabela 7.36 – Precipitação e evaporação média mensal.

Mês	Precipitação Média (mm)	Evaporação Média (mm)
Julho	20	228
Agosto	24	208
Setembro	65	143
Outubro	141	85
Novembro	196	46
Dezembro	246	35
Janeiro	254	35
Fevereiro	222	47
Março	181	84
Abril	125	106
Maio	107	143
Junho	60	179

7.6.3 PARÂMETROS SÍSMICOS DE PROJETO

A ação sísmica de projeto adotada corresponde a uma aceleração máxima na fundação de 0,121 g para um período de retorno de 1 000 anos e uma vida de referência de 100 anos. Este valor resulta do estudo sismológico específico do LNEC descrito no subcapítulo 6.9.6 e é aplicado nas análises pseudoestáticas apresentadas no subcapítulo 7.10. O relatório de riscos sísmicos encontra-se no Anexo VI.5.

7.7 CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS E PROPRIEDADES DE MATERIAL

Para o presente estudo foram realizados ensaios laboratoriais dos materiais de rejeitados, bem como as avaliações de estabilidade da Instalação de Armazenamento de Rejeitados (TSF) proposta e da Instalação de Deposição de Estéreis adjacente, que se encontram integradas numa única estrutura. As análises dos materiais de construção e do aterro encontram-se no Anexo VII.3.

As conclusões deste trabalho estão resumidas abaixo.

7.7.1 MATERIAIS DA FUNDAÇÃO

A caracterização da fundação assenta nos trabalhos de reconhecimento e no zonamento geológico-geotécnico apresentados pela COBA - Consultores de Engenharia e Ambiente, SA. A preparação inclui a remoção do solo vegetal, o saneamento de materiais com reduzidas características resistentes e o tratamento localizado de zonas desfavoráveis. O projeto integra reconhecimento complementar na fase inicial da construção.

O modelo de estabilidade distingue as zonas ZG3, ZG2 e ZG1, com os parâmetros apresentados na tabela seguinte. Estes são parâmetros adotados no cálculo, não valores característicos de toda a área obtidos exclusivamente por ensaio.

Tabela 7.37 – Parâmetros geotécnicos de fundação adotados no modelo COBA.

Zona	Peso volúmico (kN/m³)	c′ (kPa)	ϕ′ (°)
ZG3	17	5	27
ZG2	19	20	30
ZG1	23	125	35

7.7.2 MATERIAIS DO ATERRO

A solução da COBA distingue cinco materiais: enrocamento de estéril de mina, rejeitados, betão poroso, material de transição e material drenante. A seleção e colocação dos materiais respeitam as funções estruturais, de transição e de drenagem definidas no projeto. O sistema de impermeabilização é descrito na Secção 7.9

Tabela 7.38 – Materiais constituintes da solução COBA.

Material / função	Descrição
Material 1	Enrocamento de estéril de mina
Material 2	Rejeitados
Material 3	Betão poroso
Material 4	Transição
Material 5	Material drenante

7.7.3 REJEITADOS

O balanço de processamento distingue as frações DMS, mica, flotação e fina. As quantidades acumuladas geradas, comercializadas e encaminhadas para a TSF constam da Tabela 7.27. A deposição anual consta da Tabela 7.45. As designações das amostras laboratoriais mantêm-se nos resultados de ensaio, permitindo distinguir as correntes efetivamente caracterizadas.

7.7.3.1 TESTES DE LABORATÓRIO

Foi realizado um programa de ensaios laboratoriais para avaliar as propriedades geotécnicas dos rejeitados, com base em amostras das cinco correntes de rejeitados. O programa de ensaios encontra-se apresentado na Tabela 7.39.

Tabela 7.39 – Teste de laboratório realizados.

ID Amostra	Número de Testes Realizados											
	Classificação				Consolidçaão - oedometro	Permeabilidade em carga variável	Corte Simples Estático	Corte Simples Cíclico	Triaxial	Coluna Ressonante	Compactação Padrão	Reologia
	Gravidade Específica, Gs	Distribuição Granolumétrica	Limites de Atterberg, AL	Humidade, w								
Rejeitados flotação DMS	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Rejeitados Finos do Processo	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
Concentrado de Micas	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Rejeitados da flotação de Espodumena	1	1	1	1	1	1	2	2	5	1	-	-
Rejeitados Minerais Magnéticos Processo	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-

Os ensaios foram realizados pela GTI Perth. Os resultados laboratoriais encontram-se resumidos na Tabela 7.40. Os resultados de classificação indicam que:

- Os rejeitados de flotação do DMS podem ser classificados como areia com cascalho.
- Os rejeitados finos de processo podem ser classificados como silte, com traços de areia, de baixa plasticidade (ML), com um teor de finos de 94%. A fração argilosa (<2 µm) é aproximadamente 28%.
- Os rejeitados de mica podem ser classificados como silte, com areia, de baixa plasticidade (ML), com um teor de finos de 77%.
- Os rejeitados de flotação de espodumena podem ser classificados como areia, siltosa, com um teor de finos de 28%.
- Os rejeitados de minerais magnéticos de processo podem ser classificados como silte, arenoso, de baixa plasticidade, com um teor de finos de 47%.

Foram realizados ensaios de permeabilidade em carga variável (*falling head*) nos rejeitados finos de processo e nos rejeitados de flotação de espodumena. A permeabilidade (k) foi de $2,6 \times 10^{-9}$ m/s para os rejeitados finos de processo e de $4,2 \times 10^{-10}$ m/s para os rejeitados de flotação de espodumena.

A caracterização reológica dos rejeitados finos foi realizada a 50% de sólidos, tendo sido obtida uma tensão de cedência de 9,163 Pa e uma viscosidade de 0,1545 Pa·s à taxa de corte indicada no ensaio. Estes resultados caracterizam a polpa ensaiada e não representam diretamente as condições dos materiais transportados para a TSF após desaguamento ou filtração.

Tabela 7.40 – Resultados dos testes de laboratório.

ID Amostra	Simbolo USCS	Gravidade Específica G_s	Distribuição Granulométrica (%)			Limites Atterberg (%)			Humidade	Densidade Seca máxima		Permeabilidade (m/s)		Reologia			
										ρ_d-max	Opt. w	a T°C	a 20°C	Sólidos (%)	Ponto de cedência a $1s^{-1}$(Pa)	Ponto de cedência Bingham	Viscosidade a 100 s^{-1} (Pa.s)
			D_{50} mm	<75µm	<2µm	LL	PL	PI	%	g/cm³	t/m³	m/s	m/s	-	-	-	-
Rejeitados flotação DMS	SP	2,6\3	1,522	0	NA	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Rejeitados Finos do Processo	ML	2,68	0,004	94	28	47	28	19	46	1,48	27,5	2,60E-09	2,50E-09	50	9,163	8,99	0,1545
Concentrado de Micas	ML	2,71	0,048	77	1	37	30	7	20,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Rejeitados da flotação de Espodumena	SM	2,62	0,103	28	0	36	NP	NP	13,8	-	-	4,20E-10	3,90E-10	-	-	-	-
Rejeitados Minerais Magnéticos Processo	ML	2,95	0,079	47	0	33	24	9	20,1	-	-	-	-	-	-	-	-

7.7.3.2 Ensaios de Linha de Estado Crítico (CSL) em Rejeitados

Os parâmetros da Linha de Estado Crítico (CSL - Critical State Line) dos rejeitados foram determinados através de ensaios triaxiais de fase única realizados no GTI Perth. Foram realizados cinco ensaios em amostras de rejeitados de flotação de espodumena para determinar a linha de estado crítico. Foi realizado um ensaio para os rejeitados de processo - finos, com densidade seca in situ alvo de 1,44 t/m³.

Foram realizados cinco ensaios triaxiais de fase única para interpretar os parâmetros CSL dos rejeitados de flotação de espodumena:

- Foram conduzidos dois ensaios triaxiais não drenados com consolidação isotrópica (CIU), um ensaio triaxial drenado com consolidação isotrópica (CID) e um ensaio triaxial não drenado com consolidação anisotrópica (CAU) em amostras soltas de rejeitados de flotação de espodumena, preparadas utilizando o método de compactação húmida por camadas (*moist tamping*). Os parâmetros de estado são superiores a 0,07, com base na linha de estado crítico determinada. Os parâmetros interpretados da linha CSL são apresentados na Tabela 7.41, e os resultados dos ensaios triaxiais encontram-se resumidos na Tabela 7.42.
- Foi realizado um ensaio CAU (24-034-TX-06-sc) com densidade seca alvo de 1,44 t/m³. O parâmetro de estado é aproximadamente -0,04, com base na linha de estado crítico determinada.

Tabela 7.41 – Parâmetros de CSL interpretados para os rejeitados da flotação.

M_{tc}	l	G
1,39	0,034	1,1667

Notas:

1. M_{tc} – Declive da CSL no espaço q–p'
2. λ – Declive da CSL no espaço e–ln(p')
3. Γ – Ordenada na origem da CSL no espaço e–ln(p')

As principais conclusões são as seguintes:

- Os resultados dos ensaios indicam que a representação semilogarítmica convencional da CSL é apropriada.
- O rácio de tensão crítica (M_{tc}) foi estimado a partir dos ensaios triaxiais, variando tipicamente entre 1,32 e 1,44 (ângulo de atrito de 30,3° a 35,5°), com exceção do ensaio 24-034-TX-02-sc. Considera-se representativo um valor médio de 1,39, correspondente a um ângulo de atrito de 34,4°.
- Os ensaios triaxiais não drenados indicam que os rácios de resistência ao corte não drenada de pico das amostras soltas de rejeitados de flotação de espodumena, preparadas pelo método de compactação húmida por camadas (moist tamping), variam entre 0,15 e 0,27, para parâmetros de estado entre 0,07 e 0,10, respetivamente. O rácio de resistência ao corte não drenada diminui com o aumento do parâmetro de estado. As resistências de pico foram obtidas para

deformações axiais entre 0,4% e 1,2%, indicando comportamento frágil durante o corte. A amostra compactada à densidade-alvo de campo apresentou comportamento dilatante durante o corte.

- Os rácios de resistência residual dos rejeitados situam-se entre 0,04 e 0,16, com base em ensaios laboratoriais realizados em amostras soltas de rejeitados de flotação de espodumena preparadas pelo método moist tamping. De igual modo, o rácio de resistência residual diminui com o aumento do parâmetro de estado.

Os parâmetros interpretados a partir dos ensaios de corte simples direto (DSS), corte simples direto cíclico (CDSS), coluna ressonante e edómetro são apresentados na Tabela 7.42 e resumidos abaixo.

Foram realizados dois ensaios DSS em rejeitados de processo – finos e rejeitados de flotação de espodumena, sob consolidação k_o (k_o = 0,70). Os resultados indicam que a resistência ao corte não drenada de pico aumenta com o aumento da pressão de consolidação. Os rejeitados de processo – finos atingiram resistências ao corte não drenadas de pico de 151 kPa e 253 kPa, para pressões verticais de consolidação de 400 kPa e 800 kPa, respetivamente. Os rejeitados de flotação de espodumena apresentaram resistências ao corte não drenadas de pico superiores, de 331,7 kPa e 527,7 kPa, sob as mesmas pressões de consolidação.

Os resultados dos ensaios CDSS encontram-se resumidos na Tabela 7.43. Foram realizados os seguintes ensaios:

- Amostras reconstituídas de rejeitados de processo – finos foram preparadas com parâmetro de estado de aproximadamente 0,04 e ensaiadas nas seguintes condições:
  - CDSS consolidado em k_o com rácio de tensão cíclica entre 0,075 e 0,15.
  - Após carregamento cíclico, os rácios de resistência ao corte não drenada pós-cíclica foram de 0,30 e 0,31, respetivamente.

- Amostras reconstituídas de rejeitados de flotação de espodumena foram ensaiadas nas seguintes condições:
  - CDSS consolidado em k_o com tensão cíclica entre 0,7su e 0,56su.

Foram realizados ensaios de coluna ressonante em rejeitados de processo – finos e rejeitados de flotação de espodumena.

Os ensaios de coluna ressonante indicaram módulos de corte iniciais de 140,4 MPa e 153,7 MPa, respetivamente para os rejeitados finos e de flotação de espodumena. Nos estados indicados nos boletins de ensaio, os módulos reduziram-se para 94,4 MPa e 103,2 MPa, correspondendo em ambos os casos a uma razão de aproximadamente 0,67 em relação ao módulo inicial.

Foram realizados ensaios de edómetro em amostras reconstituídas de rejeitados de processo – finos e rejeitados de flotação de espodumena.

- O ensaio de edómetro em rejeitados de processo – finos indicou um índice de compressão (Cc) de 0,165 e um índice máximo de expansão (C_{smax}) de 0,027.
- O ensaio de edómetro em rejeitados de flotação de espodumena indicou um Cc de 0,037 e um C_{smax} de 0,006.

Tabela 7.42 – Resultados dos ensaios triaxiais para os rejeitados.

Material	Geral		Estado consolidado						Estado crítico			Tensão								
	Amostra	Tipo Sólido	Teste	Tipo Teste	σ'$_v$ (kPa)	σ'$_h$(kPa)	p'_c (kPa)	K_0 (-)	e_c (-)	Deformação axial selecionada	p'_{cs} (kPa)	q_{cs} (kPa)	M_{tc} (-) = q_{cs}/p'_{cs}	e_{cs} (-) dos resultados laboratório	$e_{cs\,(p0)}$ interpolado com base na equação da CSL	Ψ_0 = e - $e_{cs\,(p0)}$	q pico (kPa)	s_u / p'_c	s_r / p'_c	IB, Índice de fragilidade	Ψ0/λe
Finos dos Rejeitados de Processo	24-034-TX-01-sc*	ML	1	CAU	800	560	640	0,7	0,82	26,0%	690	933	1,35	0,82	-	-	933,9	0,77	0,76	-	-
Rejeitados flotação Espodumena	24-034-TX-02-sc	SM	2	CIU	200	200	200	1,0	1,09	28,0%	6,3	17,9	2,83	1,09	0,987	0,10	58	0,15	0,04	0,69	2,523
	24-034-TX-03-sc	SM	3	CIU	400	400	400	1,0	1,06	12,5%	32,6	47,0	1,44	1,06	0,963	0,10	162	0,20	0,06	0,71	2,366
	24-034-TX-04-sc	SM	4	CAU	1000	700	800	0,7	1,01	12,5%	235,6	310,9	1,32	1,01	0,939	0,07	549	0,27	0,16	0,43	1,721
	24-034-TX-05-sc	SM	5	CID	400	400	400	1,0	1,08	29,0%	728,2	1005	1,38	0,94	0,963	0,12	-	-	-	-	2,854
	24-034-TX-06-sc*	SM	6	CAU	800	560	640	0,7	0,91	17,5%	1312	1839	1,40	0,91	0,947	-0.04	2000	1,25	1,15	0,08	-0.903

Notas:

1. σv' – Pressão vertical consolidada. σh' – Pressão horizontal consolidada.
2. ec – Rácio de vazios no final do estágio de consolidação.
3. p'cs – Tensão média efetiva no estado crítico. qcs – Tensão desviadora no estado crítico. qpico – Tensão desviadora de pico.
4. Su – Resistência ao corte não drenada de pico, Su,r – Resistência ao corte não drenada residual.
5. K_0 – Coeficiente de pressão lateral de terras em repouso
6. Ψ_0 – Parâmetro de estado inicial
7. CIU – Ensaio triaxial não drenado com consolidação isotrópica.
8. CAU – Ensaio triaxial não drenado com consolidação anisotrópica.
9. CID – Ensaio triaxial drenado com consolidação.
10. * Densidade-alvo: densidade seca de 1,44 t/m³ e densidade saturada de 1,62 t/m³

Tabela 7.43 – Ensaios adicionais para os rejeitados.

Material	Test	DSS						CDSS								Resonant Column				Oedometer	
		σ_v'	σ_h'	s_u	s_u/σ_v'	$s_{u,r}$	$s_{u,r}/\sigma_v'$	σ_v'	σ_h'	τ_{max}	τ_{min}	γ_{cyc} (%)	N_{cyc}	Post cyclic $s_{u,p}$	$s_{u,p}/\sigma_v'$	G_{max} @ end of consolidation	γmax	G @ γmax	G/Gmax @ γmax	Cc	Cs-Max
		kPa	kPa	kPa	-	kPa	-	kPa	kPa	kPa	kPa			kPa	-	MPa	-	MPa	-	-	-
Finos dos Rejeitados de Processo	24-034-SS-01-s	400	280	150,8	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24-034-SS-02-s	800	560	252,6	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24-034-SS-03-c	-	-	-	-	-	-	800	560	120	-120	5,1	130	245,6	0,31	-	-	-	-	-	-
	24-034-SS-04-c	-	-	-	-	-	-	800	560	60	-60	1,3	1500	238,1	0,30	-	-	-	-	-	-
	24-034-OED-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,165	0,027
	24-034-ResCol-01	-	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140,4	5,6E-02	94,4	0,67	-	-
Rejeitados flotação Espodumena	24-034-SS-05-s	400	280	331,7	0,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24-034-SS-06-s	800	560	527,7	0,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	24-034-SS-07-c	-	-	-	-	-	-	800	560	370	-370	24	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	24-034-SS-08-c	-	-	-	-	-	-	800	560	297	-297	20,2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
	24-034-OED-02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,037	0,006
	24-034-ResCol-02	-	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	153,7	5,2E-02	103,2	0,67	-	-

Notas:

a) σv' – Pressão vertical consolidada. σh' – Pressão horizontal consolidada.
b) S_u – Resistência ao corte não drenada de pico, T – Tensão de corte cíclica.
c) $S_{u,r}$ – Resistência ao corte não drenada residual
d) N_{cyc} – Número de ciclos
e) G – Módulo de corte, γ- Deformação de corte
f) Cc Índice de compressibilidade, Cs- Índice de expansã

7.7.3.3 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CORTE DOS REJEITADOS

Os parâmetros utilizados nas análises de estabilidade da COBA são apresentados na tabela seguinte. Para os rejeitados, foram adotados ϕ' = 30°, c' = 0 e cu/σv = 0,32. Os resultados laboratoriais apresentados nas secções anteriores constituem informação de caracterização e não se confundem com os valores adotados no modelo de cálculo.

Tabela 7.44 – Parâmetros resistentes adotados na análise da TSF.

Material	γ (kN/m³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	cu/σv
Enrocamento	23	0	42	Não indicado
Rejeitados	16,2	0	30	0,32
Material drenante	19	0	35	Não indicado

7.8 ANÁLISE GEOQUÍMICA DOS REJEITADOS

7.8.1 GERAL

Uma amostra de rejeitados, produzida no âmbito dos ensaios metalúrgicos do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso, foi submetida a análise geoquímica no laboratório Intertek Genalysis (Perth), tendo os respetivos resultados sido disponibilizados ao projeto. A caracterização geoquímica dos rejeitados da TSF encontra-se no Anexo VII.2.

A amostra foi recebida sob a forma de torta de filtração (filter cake), proveniente da Nagrom, e identificada como "GRA Flotation Tailings Comp", tendo sido produzida a partir do ensaio de flotação G12 Sighter realizado sobre uma amostra compósita de minério proveniente de Grandão.

Entende-se que esta amostra é semelhante aos rejeitados anteriormente ensaiados em dezembro de 2019. No entanto, foi utilizado um regime de reagentes diferente durante a sua produção, eliminando a necessidade de utilização de ácido sulfúrico.

As conclusões deste trabalho encontram-se nas secções seguintes.

7.8.2 POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE ÁCIDO

A amostra de rejeitados é classificada como Não Geradora de Ácido (NAF – Non Acid Forming), com base no teor negligenciável de enxofre, no valor positivo do Potencial Líquido de Neutralização (NNP – Net Neutralisation Potential) e no resultado de pH NAG (Net Acid Generation) aproximadamente neutro. Com base nestes resultados, considera-se que não existe risco de geração de drenagem ácida pelos rejeitados.

A amostra cumpre igualmente a definição de resíduo inerte, nos termos do artigo 1.º da Decisão da Comissão 2009/359/CE, que complementa a definição de resíduo inerte prevista na alínea f) do n.º 1 do artigo 22.º da Diretiva 2006/21/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à gestão de resíduos das indústrias extrativas. De acordo com esta legislação, um resíduo é considerado inerte quando apresenta um teor máximo de enxofre sob a forma de sulfuretos de 0,1%, ou um teor máximo de enxofre sob a forma de sulfuretos de 1%, desde que o Índice de Potencial de Neutralização (NPR – Neutralisation Potential Ratio) seja superior a 3. Os mesmos critérios encontram-se igualmente estabelecidos no Decreto-Lei n.º 10/2010, Anexo I, ponto 1, alínea b).

7.8.3 Enriquecimento Multielementar

A amostra apresentou um número muito reduzido de elementos enriquecidos, variando o grau de enriquecimento entre ligeiro e significativo. O berílio e o molibdénio apresentaram enriquecimento significativo, enquanto o estanho foi classificado como ligeiramente enriquecido. Importa ainda salientar que estes resultados evidenciam uma redução substancial do enriquecimento em metais e metaloides relativamente à amostra de rejeitados analisada em dezembro de 2019.

A comparação dos resultados da análise multielementar com os valores de referência da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) para solos, em particular com os valores da Tabela C, aplicáveis a locais com solos pouco profundos e uso industrial/comercial, revelou que as concentrações de berílio, crómio e molibdénio presentes nos rejeitados excedem os respetivos valores de referência para o solo.

A comparação das concentrações de metais e metaloides nos rejeitados com os dados de referência de qualidade dos solos e com a base de dados analítica das sondagens indica que as concentrações de vários destes elementos são superiores aos valores médios e máximos das condições de fundo geogeoquímicas. Contudo, de uma forma geral, as concentrações observadas são consideradas típicas de depósitos mineralizados, sendo que quaisquer potenciais impactes podem ser adequadamente geridos através da implementação de medidas de engenharia apropriadas.

7.8.4 Qualidade da Água

A amostra de extrato aquoso obtido com água destilada apresentou uma qualidade satisfatória quando comparada com as diretrizes da IFC para efluentes de mineração, com os limites de emissão definidos na legislação portuguesa e com os critérios da União Europeia para águas superficiais, cumprindo os diversos valores de referência aplicáveis. Estes resultados indicam que os metais e metaloides identificados nos rejeitados sólidos não são facilmente solubilizados nas condições de pH aproximadamente neutro que se prevê venham a ocorrer na Instalação de Armazenamento de Rejeitados (TSF). Assim, as concentrações de contaminantes no lixiviado gerado pelos rejeitados não deverão constituir um problema, tendo por referência os critérios de qualidade da água adotados neste estudo.

No entanto, verificou-se que a amostra excede ligeiramente os valores orientadores da União Europeia para água destinada ao consumo humano relativamente ao arsénio,

fluoreto e manganês. De um modo geral, as concentrações de metais e metaloides determinadas foram inferiores às obtidas na amostra de rejeitados analisada em dezembro de 2019. As medidas de controlo de engenharia definidas com base nestes resultados são apresentadas na Secção seguinte.

7.8.5 PROJETO DE GESTÃO DE REJEITADOS

As características geoquímicas dos rejeitados são, de um modo geral, consideradas de baixo risco, podendo ser adequadamente geridas através da implementação de soluções de engenharia apropriadas, conforme descrito em seguida.

Os rejeitados são depositados na bacia da TSF por espalhamento e compactação. O estéril selecionado integra o aterro de arranque e as zonas de proteção previstas no projeto. A colocação dos materiais respeita as funções e os limites definidos para cada zona.

A gestão hidráulica separa as águas de contacto das águas sem contacto com os rejeitados. As águas recolhidas pelos sistemas de drenagem da TSF são encaminhadas para o RCA-01, para tratamento e reutilização; as águas sem contacto são encaminhadas para o RA-01. A gestão de sedimentos e os destinos das águas articulam-se com o sistema descrito no Capítulo 5.

7.9 PROJETO DA INSTALAÇÃO DE RESÍDUOS

7.9.1 CONCEÇÃO GERAL DA INSTALAÇÃO

A Instalação de Armazenamento de Rejeitados (TSF) destina-se à deposição permanente e controlada dos rejeitados do processamento mineral encaminhados para este destino. Localiza-se no subsistema do Pinheiro, entre as áreas de exploração do Pinheiro e do Grandão, e ocupa aproximadamente 34 ha na configuração final, incluindo o aterro de arranque e a bacia de deposição. A solução desenvolvida pela COBA assenta na deposição de rejeitados previamente desaguados ou filtrados, conforme a fração de processamento, transportados por camião e colocados por espalhamento e compactação.

O programa de exploração prevê a deposição de 9,598 Mt de rejeitados secos na TSF, equivalentes a 6,665 Mm³ para uma densidade seca de 1,44 t/m³. A memória descritiva retoma uma referência de capacidade de 10,388 Mt. O balanço de deposição por período é apresentado na Tabela 7.45.

A instalação compreende um aterro de arranque em enrocamento de material estéril proveniente da exploração mineira e uma zona de deposição progressiva dos rejeitados a montante. O aterro de arranque apresenta coroamento à cota 651 m e taludes com inclinação de 2,5H:1V. A configuração final da deposição atinge a cota 705 m, com taludes de 3H:1V e revestimento de proteção em material estéril. A construção do aterro, a preparação da bacia e a colocação dos materiais desenvolvem-se de forma

faseada, em articulação com a exploração mineira e a evolução das necessidades de armazenamento.

A preparação da fundação inclui a remoção do solo vegetal e dos materiais de reduzida resistência, o saneamento das zonas alteradas e o tratamento localizado das descontinuidades que interfiram com as condições de apoio da estrutura. A solução apoia-se na caracterização geológica e geotécnica disponível e integra um programa complementar de reconhecimento na fase inicial da construção, destinado à verificação das condições de fundação e dos pressupostos adotados no dimensionamento.

A impermeabilização da instalação é assegurada por geomembranas de PVC com espessuras de 3,0 mm no talude de montante do aterro de arranque e de 2,5 mm na bacia de deposição, associadas a geotêxtil não tecido de polipropileno. No talude de montante, a geomembrana assenta sobre lintéis de betão poroso extrudido, que proporcionam uma superfície de suporte regular. Na bacia, a instalação é efetuada sobre uma camada granular preparada e regularizada. A colocação dos rejeitados acompanha o avanço da impermeabilização, limitando a exposição da geomembrana e protegendo-a durante a operação.

O sistema de drenagem interna compreende duas redes independentes. A rede superior, instalada acima da geomembrana, recolhe a água proveniente da massa de rejeitados e contribui para o controlo dos níveis de água no interior do depósito. A rede inferior, instalada sob a impermeabilização, permite recolher percolações provenientes da fundação. A recolha e o encaminhamento destas águas integram o sistema de gestão de águas da mina, com separação dos circuitos em função da sua origem e qualidade e encaminhamento das águas de contacto para controlo ambiental, tratamento e reutilização.

A deposição inicia-se nas zonas de menor cota da bacia e progride através da colocação e compactação de camadas sucessivas. A operação inclui o controlo da espessura das camadas, do teor de humidade e da compactação, acompanhado por ensaios de verificação em obra. A conformação das superfícies e a execução progressiva de valetas e dispositivos de drenagem promovem o escoamento controlado das águas superficiais e limitam a infiltração e a erosão.

O estudo da COBA apresenta verificações de estabilidade global em condições estáticas, drenadas e não drenadas, e em condições sísmicas por análise pseudo-estática. Os resultados reportados verificam os critérios de segurança adotados para as situações analisadas. O controlo do comportamento da instalação inclui piezómetros, marcas superficiais e inclinómetros, permitindo acompanhar as pressões intersticiais e os deslocamentos ao longo da construção, da deposição e do encerramento.

A memória descritiva e as peças desenhadas da COBA constituem os elementos de referência para o detalhe da solução, incluindo a preparação da fundação, os materiais de construção, a impermeabilização, a drenagem e as verificações de estabilidade.

7.9.2 OBRAS DO ATERRO

A preparação da fundação e da bacia é executada por fases, com remoção do solo vegetal, saneamento dos materiais inadequados e regularização das superfícies de apoio. Os desenhos, perfis e detalhes de construção encontram-se no Anexo VII.3.

A impermeabilização utiliza geomembrana de PVC de 3,0 mm no talude de montante do aterro de arranque e de 2,5 mm na bacia de deposição, associada a geotêxtil de proteção de 500 g/m².

O sistema integra drenagem superior à geomembrana para recolha das águas da massa de rejeitados e drenagem inferior para recolha das águas sob a impermeabilização. A disposição das redes, dos órgãos de recolha e dos equipamentos de bombagem corresponde às peças do projeto da COBA.



Figura 7.26 – Implantação da tela de impermeabilização.

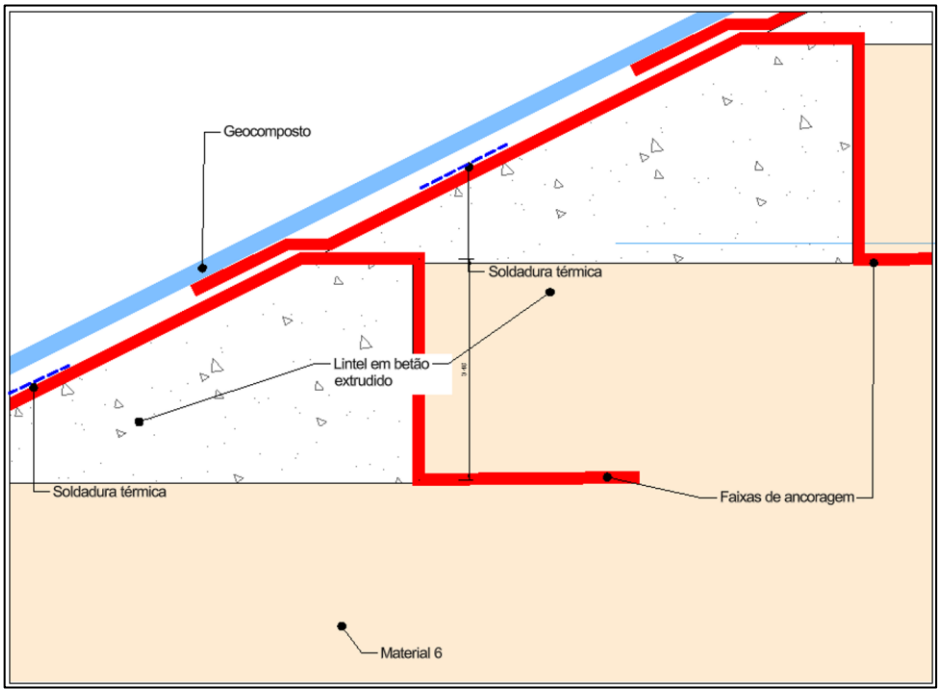


Figura 7.27 – Pormenor do sistema de impermeabilização – paramento de montante do aterro de arranque.

A disposição geral do sistema de drenagem interna é apresentada na Figura 7.28.

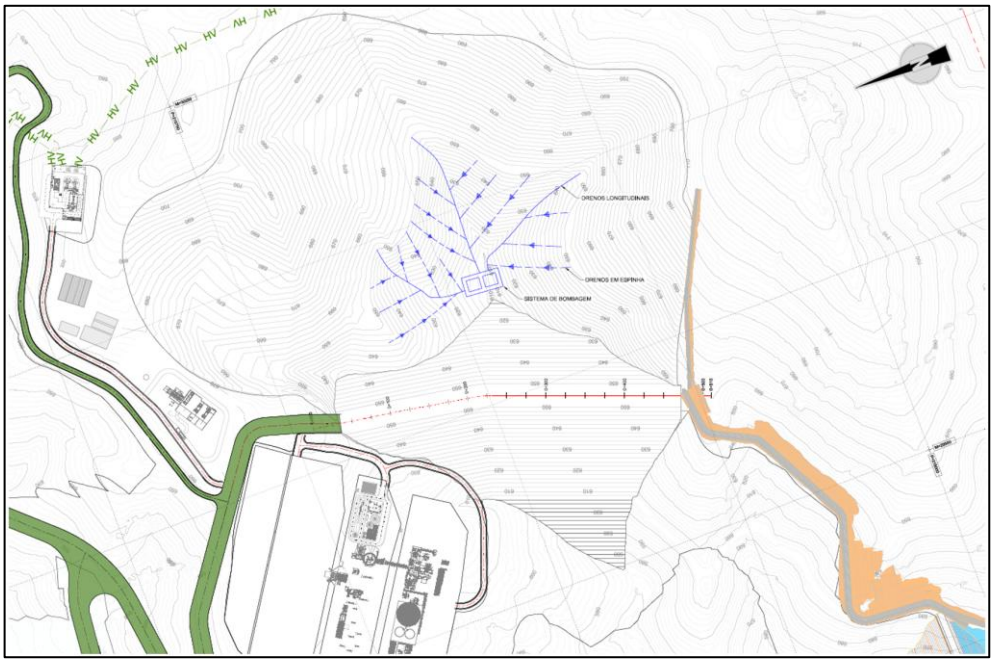


Figura 7.28 – Implantação da rede de drenagem superior (sobre o revestimento impermeável).

7.9.3 CONSTRUÇÃO DO ATERRO DE ARRANQUE

O aterro de arranque em enrocamento desenvolve-se por etapas até à cota 651 m, com taludes de 2,5H:1V. A preparação das fundações, a execução da drenagem e a instalação da impermeabilização acompanham a sequência construtiva.

Deposição e configuração final:

A deposição desenvolve-se progressivamente a montante do aterro de arranque, com taludes de 3H:1V e proteção em material estéril, até à configuração final à cota 705 m. A sequência geométrica consta do projeto da TSF; as quantidades anuais do programa de exploração são apresentadas naTabela 7.44.

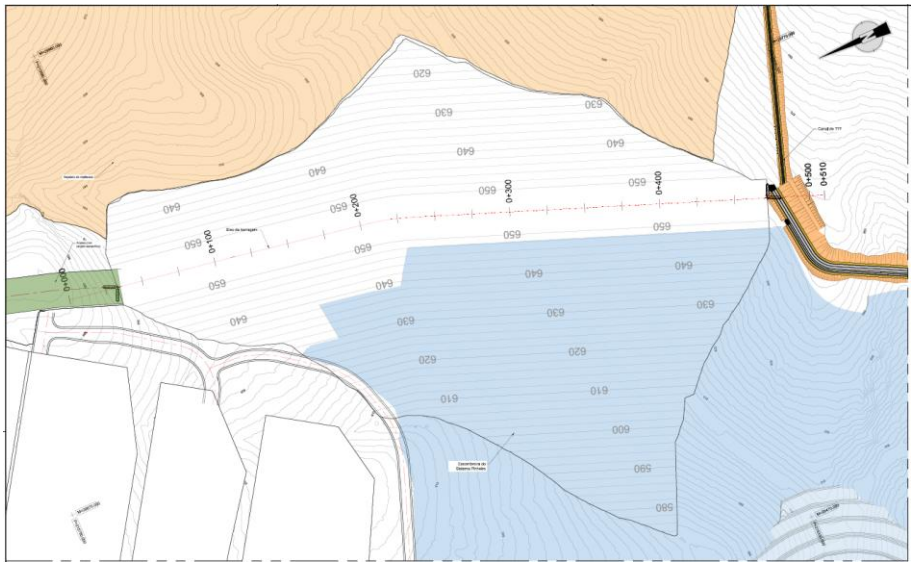


Figura 7.29 – Implantação da TSF.

A Tabela 7.45 apresenta as quantidades anuais e acumuladas de rejeitados encaminhados para a TSF, em massa seca. Os anos do plano decorrem de outubro a setembro. O volume equivalente é calculado com uma densidade seca de 1,44 t/m³ e não inclui o enrocamento nem substitui a curva de capacidade geométrica da instalação.

Tabela 7.45 – Construção faseada da TSF ao longo da vida da mina.

Ano	Período (outubro a setembro)	TSF anual (kt secas)	TSF acumulada (kt secas)	Volume acumulado equivalente (Mm³)
1	2028/2029	739,505	739,505	0,514
2	2029/2030	858,371	1 597,876	1,110
3	2030/2031	866,299	2 464,175	1,711
4	2031/2032	851,600	3 315,775	2,303
5	2032/2033	858,486	4 174,262	2,899

Ano	Período (outubro a setembro)	TSF anual (kt secas)	TSF acumulada (kt secas)	Volume acumulado equivalente (Mm³)
6	2033/2034	876,921	5 051,183	3,508
7	2034/2035	833,908	5 885,091	4,087
8	2035/2036	805,068	6 690,159	4,646
9	2036/2037	602,083	7 292,243	5,064
10	2037/2038	319,614	7 611,857	5,286
11	2038/2039	168,892	7 780,749	5,403
12	2039/2040	560,554	8 341,304	5,793
13	2040/2041	381,585	8 722,889	6,058
14	2041/2042	732,002	9 454,891	6,566
15	2042/2043	142,869	9 597,760	6,665
Total	2028/2029 a 2042/2043	9 597,760	9 597,760	6,665

Nota: anos do plano de outubro a setembro. Volume equivalente calculado com uma densidade seca de 1,44 t/m³; não inclui enrocamento nem substitui a curva geométrica de capacidade.

7.9.4 METODOLOGIA DE DEPOSIÇÃO DE REJEITADOS

A estratégia de deposição de materiais foi concebida e será gerida ao longo da vida útil do aterro para atingir os seguintes objetivos:

- Compactação adequada do material depositado para melhorar a estabilidade do talude.
- Compactação suficiente para utilizar eficazmente a capacidade líquida de armazenamento disponível.
- Gestão eficaz do escoamento superficial, reduzindo o volume de água que atinge a área de deposição ativa e a instalação reabilitada em qualquer momento.
- Otimização das rotas de transporte para entrega de resíduos de mina e rejeitados filtrados.
- Gestão da carga de sedimentos que chega ao pé do talude a jusante.
- Facilitar a implementação da estratégia de encerramento do aterro.

As frações destinadas à TSF são transportadas após desaguamento ou filtração, espalhadas em camadas e compactadas nas condições previstas no projeto. A colocação é progressiva e articula-se com a execução das proteções em estéril e da drenagem superficial. A pendente transversal de 2% orienta o escoamento para os órgãos de drenagem. O controlo de colocação inclui a espessura das camadas, o teor de água e a densidade seca obtida..

A colocação dos rejeitados inclui controlo da espessura das camadas, do teor de água e da compactação, com ensaios e registos de verificação em obra. Para o balanço de armazenamento deste capítulo é utilizada uma densidade seca de 1,44 t/m³. Este valor de conversão entre massa e volume é distinto dos critérios de aceitação da compactação definidos nas especificações de construção.

7.9.5 Controlo de Infiltrações

O controlo de infiltrações combina impermeabilização e duas redes de drenagem, localizadas acima e abaixo da geomembrana.

A drenagem superior recolhe as águas provenientes da pilha de rejeitados e limita a acumulação de água sobre a impermeabilização. A recolha e elevação utilizam o sistema de bombagem previsto no projeto, com uma bomba em serviço e outra de reserva.

A drenagem inferior recolhe as águas sob a geomembrana. As redes são independentes, permitindo a observação do funcionamento hidráulico e a identificação de alterações nos caudais e na qualidade da água.

As águas de contacto são encaminhadas para o RCA-01, para tratamento e reutilização. As águas sem contacto com os rejeitados são mantidas segregadas e encaminhadas para o RA-01. As características e a implantação dos drenos constam das peças de projeto da COBA.

7.9.6 Gestão de Água e Sedimentos do Aterro de Resíduos

A gestão das águas superficiais acompanha a construção e a deposição, através de valas periféricas, órgãos de encaminhamento e estruturas de retenção de sedimentos. Os circuitos mantêm a separação entre águas de contacto e águas sem contacto, em articulação com os reservatórios RCA-01 e RA-01 e com o sistema descrito no Capítulo 5.

A manutenção inclui a limpeza dos órgãos de drenagem, a remoção controlada de sedimentos e a reparação de zonas sujeitas a erosão. A recuperação progressiva das superfícies reduz a exposição dos materiais. A aplicação de água para controlo de poeiras é ajustada às condições de colocação e compactação, sem promover acumulação de água na massa depositada.

7.9.7 Especificação Técnica e QA/QC da Construção

A construção do aterro de resíduos será realizada por um empreiteiro dedicado de terraplenagem civil e/ou pela frota de mineração, supervisionada por um Engenheiro devidamente qualificado, de acordo com uma especificação técnica que define detalhadamente os requisitos de materiais.

A implementação da especificação técnica durante a construção é essencial para garantir que a instalação funcione de acordo com o objetivo de projeto.

Os seguintes aspetos, em particular, serão monitorizados durante a construção:

- Preparação da fundação do talude.
- Seleção do material adequado para preenchimento do talude.
- Deposição de rejeitados e do material de preenchimento do talude.

- Condicionamento de humidade e compactação dos materiais de preenchimento do talude.
- Construção da infraestrutura de gestão de águas superficiais.

Ensaios de controlo de qualidade, incluindo graduação, teor de humidade e densidade, serão realizados ao longo de toda a construção para garantir a conformidade com os requisitos técnicos.

O controlo de qualidade da construção abrange a preparação da fundação, a aceitação dos materiais, a compactação, a instalação e união das geomembranas, a proteção dos geossintéticos e a execução dos sistemas de drenagem. Os resultados são registados por frente e fase construtiva.

7.9.8 SUMÁRIO DA GESTÃO DE RISCO

Durante o processo de projeto, foram identificados vários riscos com potencial para impactar significativamente as partes interessadas a jusante, o meio ambiente, o desempenho e a integridade a longo prazo da estrutura do aterro de resíduos.

A Tabela 7.46 sintetiza os principais riscos e as medidas de controlo consideradas na conceção, construção e operação da TSF.

Tabela 7.46 – Sumário das Medidas de Redução de Risco.

Risco	Medida proposta
Condições de fundação distintas das previstas	Reconhecimento complementar, inspeção e registo do saneamento; verificação das condições de apoio.
Água na massa depositada / infiltrações	Impermeabilização, redes de drenagem independentes, monitorização piezométrica e controlo de caudais.
Colocação ou compactação inadequadas	Controlo de espessura, teor de água e densidade; aceitação dos materiais por lote.
Danos na impermeabilização	Proteção, inspeção e controlo das uniões antes da cobertura.
Redução das vendas de MPS	Atualização do balanço e da capacidade disponível antes da alteração do destino dos materiais.
Variação das proporções das frações	Verificação das características da mistura efetivamente depositada.
Indisponibilidade de filtração/desaguamento	Redução ou suspensão do circuito afetado; impedir deposição de materiais fora das condições de aceitação.
Base sísmica / classificações de consequências	Reconciliação documentada pelo responsável pelo projeto antes do fecho técnico.

7.10 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

A estabilidade da TSF foi analisada pela COBA através do método de Bishop, considerando a secção aproximadamente ao Pk 0+100, representativa da maior altura e das condições de fundação adotadas no modelo. Foram avaliadas superfícies de deslizamento superficiais, intermédias e profundas, no aterro de arranque e no talude de rejeitados. A caracterização dos materiais de construção e a análise de estabilidade global da TSF encontram-se, respetivamente, nas secções 5.2 e 5.4 da Memória Descritiva e Justificativa da COBA, Volume 1 do Anexo VII.3.

As verificações compreendem situações estáticas drenadas e não drenadas e uma situação sísmica drenada. A análise sísmica utiliza uma aceleração máxima na fundação de 0,121 g, associada a um período de retorno de 1 000 anos e a uma vida de referência de 100 anos.

Na combinação estática A2, o menor coeficiente apresentado é 1,151, associado a uma superfície superficial no talude de rejeitados em condições não drenadas. Na situação sísmica drenada, os menores coeficientes são 1,249 no aterro de arranque e 1,674 no talude de rejeitados. Os resultados referem-se às situações e hipóteses de cálculo identificadas na memória descritiva.

Tabela 7.47 – Síntese dos coeficientes de segurança reportados pela COBA.

Situação	Aterro de arranque: superficial / intermédia / profunda	Talude de rejeitados: superficial / intermédia / profunda
Estática drenada (A2)	1,512 / 2,004 / 2,752	1,909 / 2,504 / 2,568
Estática não drenada (A2)	1,513 / 1,731 / 2,539	1,151 / 1,241 / 2,690
Sísmica drenada	1,249 / 1,280 / 1,978	1,674 / 1,771 / 2,260

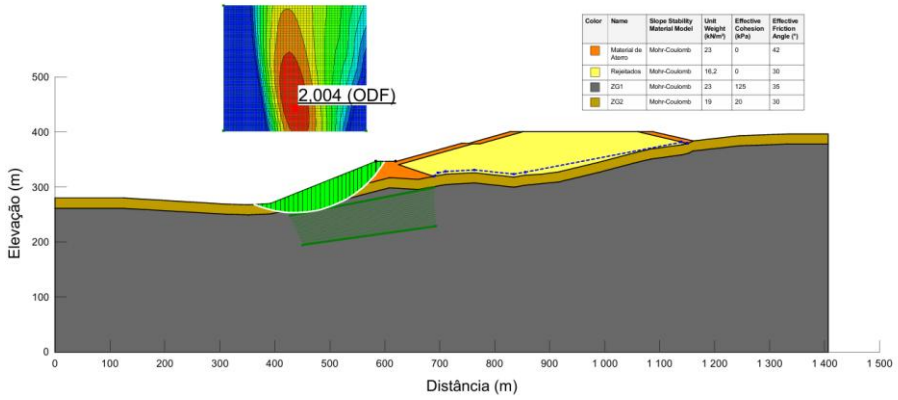


Figura 7.30 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (aterro). Superfície Intermédia. Análise estática em condições drenadas. Combinação A2.

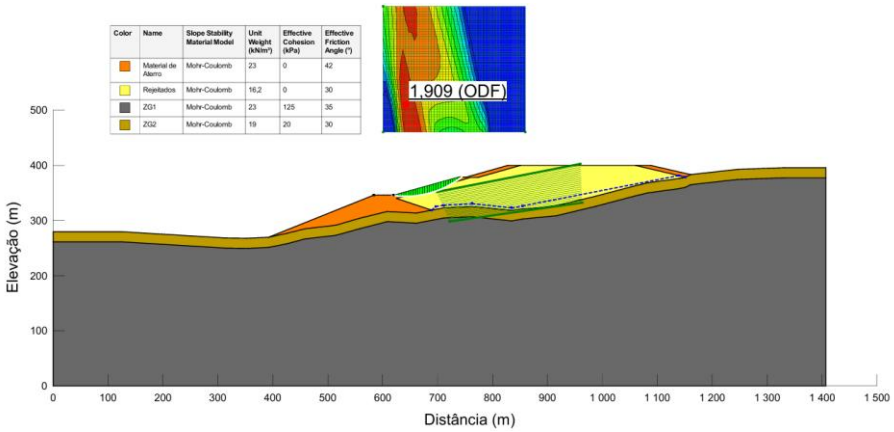


Figura 7.31 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (rejeitados). Superfície Superficial. Análise estática em condições drenadas. Combinação A2.

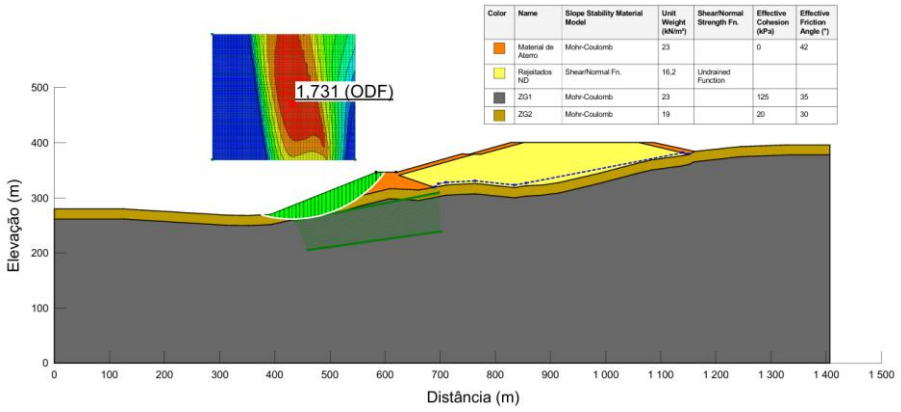


Figura 7.32 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (aterro). Superfície Intermédia. Análise estática em condições não drenadas. Combinação A2.

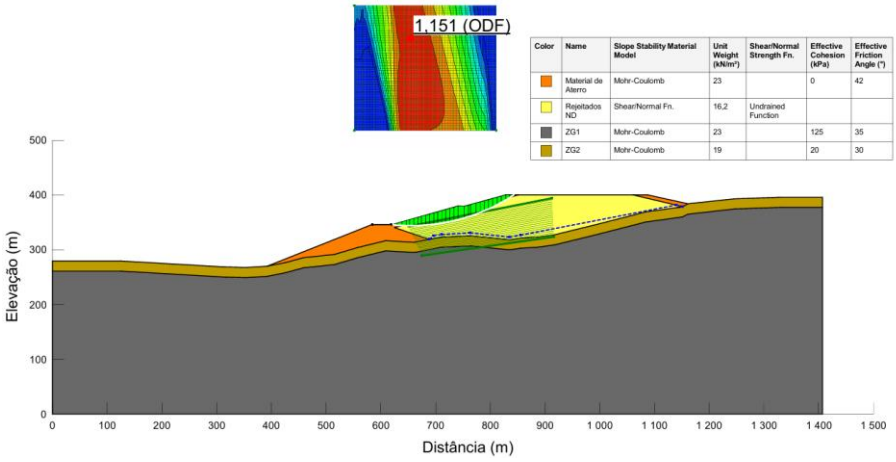


Figura 7.33 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (rejeitados). Superfície Superficial. Análise estática em condições não drenadas. Combinação A2.

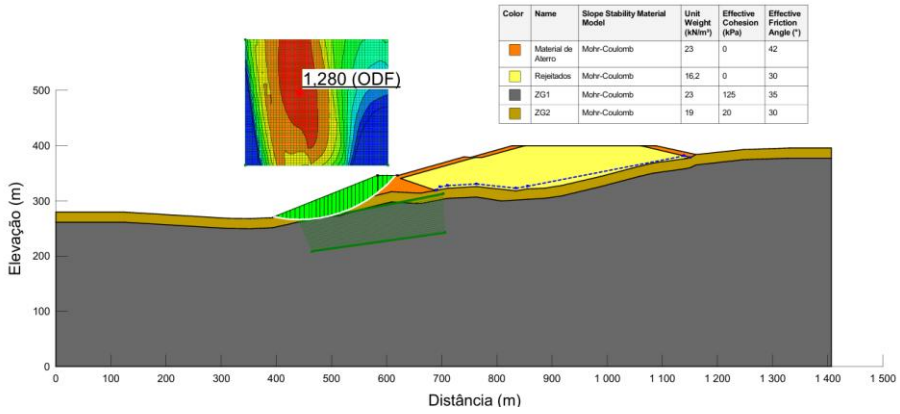


Figura 7.34 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (aterro). Superfície Intermédia. Análise pseudo-estática.

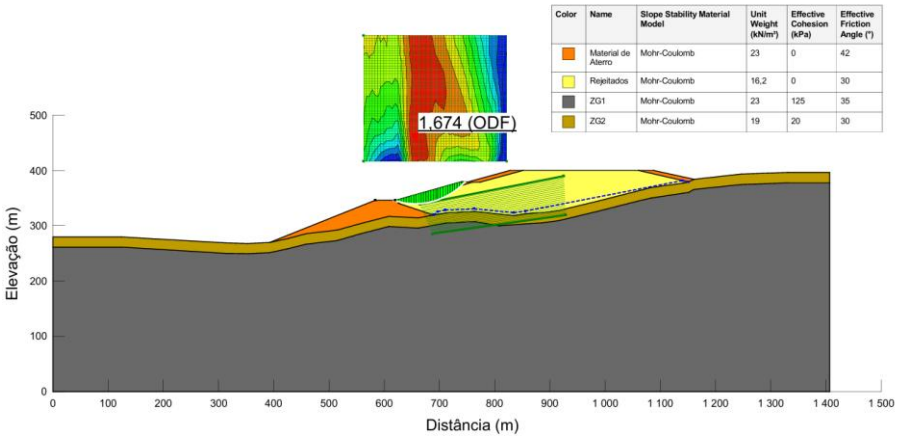


Figura 7.35 – Verificação da segurança ao colapso por perda de estabilidade global (rejeitados). Superfície Superficial. Análise pseudo-estática.

7.11 MONITORIZAÇÃO E MANUTENÇÃO DA TSF

7.11.1 GERAL

O programa de operação e monitorização abrange os procedimentos de exploração, inspeção, manutenção, registo e comunicação, incluindo as responsabilidades e as ações associadas aos níveis de alerta.

Um resumo é fornecido nas secções seguintes.

7.11.2 PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO

Como parte da operação do aterro de resíduos, será realizada uma monitorização extensiva de todos os aspetos da instalação, para garantir que o objetivo de projeto é alcançado.

A monitorização compreenderá três tipos básicos:

- Monitorização operacional: inclui aspetos como localização da deposição de materiais, métodos e tipos de materiais. Este nível de monitorização visa garantir que a instalação está a ser construída e desenvolvida de acordo com o projeto.
- Monitorização de conformidade: inclui aspetos como verificação de estacas de levantamento para deslocamentos, resposta de pressão da água nos poros registada por piezómetros, teor de humidade do preenchimento e qualidade da água nos furos de monitorização a jusante. Esta monitorização é necessária para garantir que o projeto cumpre todos os compromissos relativos a uma operação segura e protegida.
- Monitorização de desempenho: inclui aspetos como levantamentos de nível do talude, medições de caudal de águas superficiais, entre outros. Esta monitorização é necessária para avaliar o desempenho da instalação e refinar os níveis futuros de elevação do talude e os limites finais do aterro.

O programa de monitorização da instalação está resumido na Tabela 7.48.

Tabela 7.48 – Programa de Monitorização Operacional, Ambiental e Geotécnica da TSF.

Área/componente	Requisitos de monitorização	Frequência	Método
Monitorização operacional e do desempenho			
Materiais depositados	Tipos, quantidades e localização dos rejeitados e do estéril colocados na TSF.	Diária, durante a deposição.	Medição e registo por tipo de material.
Humidade e água nos materiais	Teor de humidade dos rejeitados e do estéril; quantidade de água incorporada nos materiais depositados.	Diária, durante a deposição.	Medição e registo.
Áreas de deposição	Áreas e sequência de colocação dos materiais.	Diária, durante a deposição.	Inspeção e registo.
Integridade e drenagem	Integridade da instalação, gestão das águas superficiais e estado das infraestruturas de drenagem adjacentes.	Diária, durante a deposição.	Inspeção visual e registo de anomalias.
Superfície do depósito	Geometria e evolução da superfície de deposição, incluindo as áreas de acesso condicionado.	Mensal, durante a deposição.	Levantamento topográfico e tratamento dos dados.

Área/componente	Requisitos de monitorização	Frequência	Método
Caudais de drenagem	Caudais encaminhados pelo sistema de drenagem para as estruturas de recolha e para os reservatórios.	Diária, durante a deposição.	Medição automática e registo.
Balanço de água	Revisão das entradas, do armazenamento e das saídas de água e avaliação das medidas de gestão.	Trimestral, durante a deposição.	Balanço hídrico e análise dos registos.
Observação geotécnica e inspeções de segurança			
Marcassuperficiais	Deslocamentos superficiais: 12 marcas no coroamento do aterro de arranque, 3 na banqueta e 6 no topo final dos rejeitados.	Deposição: no fim de cada fase ou trimestralmente, o que for mais frequente. Pós-deposição: anual.	Nivelamento geométrico de precisão, apoiado em pilares de referência.
Inclinómetros	Deslocamentos horizontais internos, em 2 tubos inclinométricos.	Deposição: semanal. Pós-deposição: trimestral.	Leitura com sonda inclinométrica, em intervalos de 0,5 m.
Piezómetros hidráulicos	Níveis piezométricos e pressões intersticiais: 4 piezómetros de tubo aberto em 2 furos, no contacto aterro-fundação e na fundação.	Deposição: no fim de cada fase ou semanalmente, o que for mais frequente. Pós-deposição: quinzenal.	Leitura manual do nível de água com sonda e conversão em cota piezométrica.
Precipitação	Precipitação atmosférica, para interpretação do comportamento da estrutura e gestão da água.	Diária, nas fases de deposição e pós-deposição.	Estação meteorológica e registo automático.
Sismicidade	Acelerações sísmicas nas três componentes: 2 acelerógrafos triaxiais comuns às infraestruturas do projeto.	Registo contínuo.	Aquisição automática e análise dos registos sísmicos.
Inspeções de rotina	Estado da impermeabilização, superfícies de deposição, coroamentos, banquetas, taludes, fundação, drenagem e sistema de observação.	Deposição: no fim de cada fase ou mensalmente, o que for mais frequente. Pós-deposição: semestral.	Inspeção visual, ficha de registo e fotografias.
Inspeções de especialidade	Avaliação das condições da instalação e dos resultados da observação por técnicos especializados.	Deposição: semestral. Pós-deposição: anual.	Inspeção multidisciplinar e relatório de especialidade.
Inspeções excecionais	Avaliação após precipitação extrema, sismo importante ou interrupção prolongada da deposição.	Após ocorrência excecional, nas duas fases.	Inspeção e relatório, segundo os critérios do Plano de Observação.
Monitorização ambiental			
Meteorologia	Evaporação, temperaturas máxima e mínima do ar, direção e velocidade do vento.	Diária.	Estação meteorológica e registo automático.

Área/componente	Requisitos de monitorização	Frequência	Método
Furos de controlo	Nível da água subterrânea nos pontos de monitorização ambiental.	Mensal.	Medição manual e registo.
Águas subterrâneas	Qualidade da água nos furos de controlo: análises básica e completa.	Mensal.	Amostragem e análise laboratorial.
Águas superficiais	Qualidade da água nos pontos de monitorização.	Semanal.	Amostragem e análise laboratorial.
Auditorias técnicas			
Auditoria técnica	Verificação pelo engenheiro responsável ou engenheiro geotécnico.	Anual.	Inspeção local e relatório.
Revisão independente	Avaliação por engenheiro geotécnico independente ou painel com experiência em rejeitados e grandes estruturas de aterro.	Anual.	Inspeção local e relatório independente.

Notas: A fase de deposição abrange o período entre o início da construção do aterro de arranque e a cota final de deposição. A fase pós-deposição inicia-se após atingir essa cota, sem novos alteamentos. A leitura de cada dispositivo inicia-se após a sua instalação, acompanhando a evolução da obra.

As inspeções de rotina e de especialidade são complementares às verificações operacionais diárias. A frequência do levantamento da superfície de deposição é distinta da frequência de leitura das marcas geotécnicas. Os furos de controlo ambiental são distintos dos piezómetros hidráulicos de observação da TSF.

As situações extraordinárias e os comportamentos anómalos desencadeiam as inspeções, a análise dos registos e as ações previstas no Plano de Observação e no Manual de Operação.

7.11.3 MONITORIZAÇÃO DE PERFORMANCE

7.11.3.1 GERAL

O programa de observação integra piezómetros para acompanhamento das pressões de água, inclinómetros para avaliação de deslocamentos em profundidade e marcas superficiais para controlo dos deslocamentos da estrutura. A observação geotécnica articula-se com a medição de caudais e com a monitorização da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Os registos são avaliados em relação às hipóteses de projeto e aos níveis de atuação definidos no plano de observação.

7.11.3.2 FUROS DE MONITORIZAÇÃO

Serão instaladas estações de monitorização de águas subterrâneas a jusante do aterro de resíduos para permitir a deteção precoce de alterações no nível e/ou qualidade da água subterrânea, tanto durante a vida útil operacional como após a desativação do aterro de resíduos.

A rede de monitorização acompanha as condições de fundação e a configuração da TSF, permitindo distinguir o comportamento da instalação da qualidade das águas na envolvente.

Cada estação de furo de monitorização consiste em:

- Furos de monitorização do horizonte superficial, destinados ao acompanhamento da qualidade da água e à identificação de eventuais percolações.
- Furos de monitorização em rocha, destinados ao acompanhamento da qualidade da água subterrânea.

Cada furo integra dispositivos de medição e amostragem adequados ao horizonte observado, com revestimento e selagem ajustados às condições identificadas na instalação.

O esquema apresentado ilustra um dispositivo típico de monitorização e não define as dimensões construtivas da rede. A recolha de dados de referência antecede a entrada em operação da instalação.

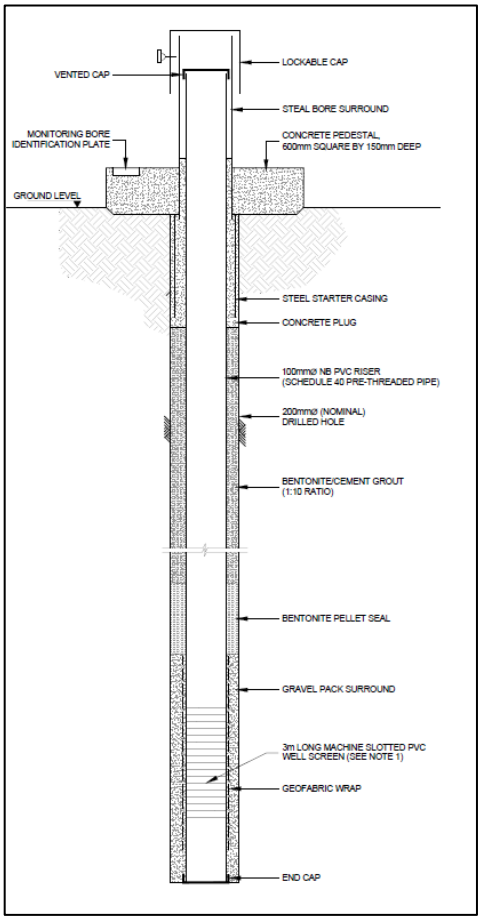


Figura 7.36 – Esquema ilustrativo do dispositivo de observação: Detalhe de uma instalação de um furo de monitorização.

7.11.3.3 PIEZÓMETROS HIDRÁULICOS

O Plano de Observação do Projeto prevê quatro piezómetros hidráulicos de tubo aberto, instalados em dois furos a partir do coroamento do aterro de arranque. Em cada furo são observados o contacto aterro-fundação e a fundação. Os trechos de captação têm, respetivamente, 2,0 m e 3,0 m de desenvolvimento.

A implantação, as cotas de referência, os pormenores de instalação e as frequências de leitura constam do Plano de Observação, Volume 3 do Anexo VII.3, e dos desenhos 40889-PE-2200-DE-1301 a 40889-PE-2200-DE-1303. As cotas de instalação são aferidas com as condições encontradas em obra, conforme previsto nesse plano.

Os resultados são interpretados conjuntamente com os deslocamentos, a precipitação e as inspeções, aplicando os níveis de alerta e as ações definidos no Plano de Observação e no Manual de Operação.

A Figura 7.37 ilustra um arranjo típico de um piezômetro de corda vibrante e a Figura 7.38 ilustra um arranjo típico de um piezómetro do tipo Standpipe.

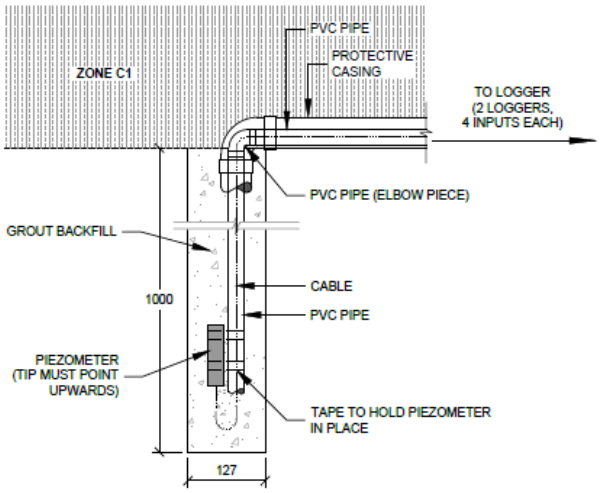


Figura 7.37 – Esquema ilustrativo do dispositivo de observação: Piezómetro de Corda Vibrante.

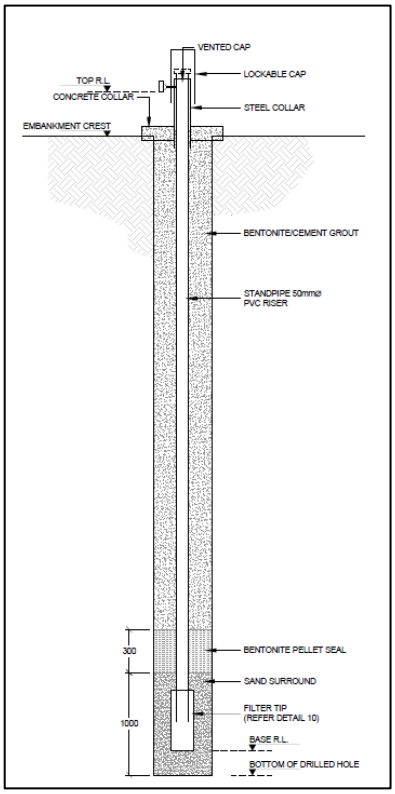


Figura 7.38 – Esquema ilustrativo do dispositivo de observação: Detalhe de Piezómetro do tipo Standpipe.

7.11.3.4 MARCOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Pinos de monitorização topográfica serão instalados a intervalos regulares ao longo do talude montante do aterro de resíduos, com o objetivo de monitorizar os movimentos do talude e avaliar os efeitos previstos de quaisquer deslocamentos na integridade do maciço. Os detalhes de cada pino (data de instalação, identificação do pino, coordenadas Norte, Este e cotas) serão registados no momento da sua instalação.

Cada pino será monitorizado para deteção de movimentos em intervalos regulares, conforme estabelecido no programa de monitorização. Qualquer deslocamento do talude que seja considerado excessivo ou persistente poderá indicar problemas de estabilidade e deverá ser investigado por um engenheiro geotécnico qualificado. Em conformidade com o plano de ação por gatilhos a incluir no Manual de Operação do aterro de resíduos, serão implementadas medidas corretivas caso tal seja necessário, com base nas conclusões dessa investigação. Estas medidas podem incluir, mas não se limitam a: isolamento da área em construção, instalação adicional de instrumentação de monitorização ou realização de avaliações de estabilidade adicionais.

As localizações propostas para os pinos topográficos e os respetivos detalhes encontram-se apresentados nos Desenhos n.º 501-080-A3000-800. O detalhe de um marco de levantamento topográfico está ilustrado na Figura 7.39

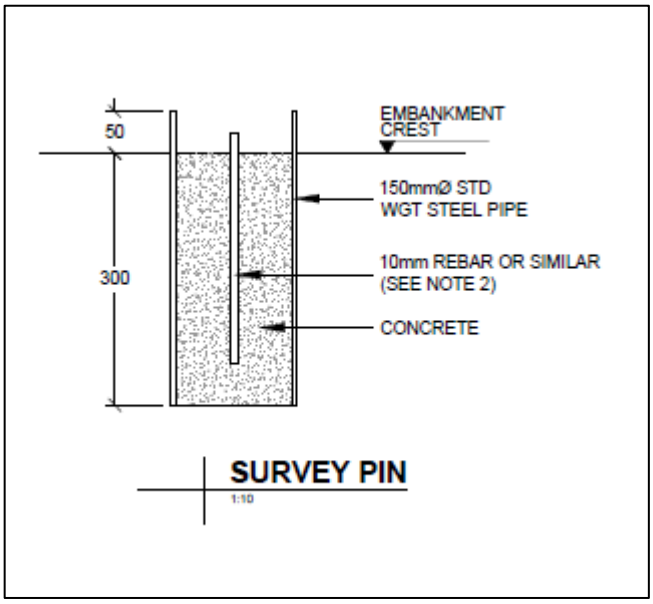


Figura 7.39 – Esquema ilustrativo do dispositivo de observação: Detalhe de Marco de Levantamento Topográfico.

7.11.4 PROGRAMA DE MANUTENÇÃO

A inspeção e manutenção do aterro de resíduos têm como objetivo mitigar potenciais problemas, identificando-os e corrigindo-os antes que se desenvolvam em questões

significativas. A Tabela 7.49 apresenta os requisitos gerais de manutenção para cada área do aterro de resíduos.

As modificações aos programas de manutenção, decorrentes de situações de emergência ou de revisões anuais, serão avaliadas regularmente.

Será realizada uma inspeção do talude e dos sistemas de gestão de águas após eventos sísmicos significativos.

Tabela 7.49 – Programa de Manutenção.

Área	Requisitos de Monitorização/Manutenção	Frequência
Aterro de Resíduos	Verificar a integridade estrutural geral e identificar visualmente sinais de percolação através do talude.	Diário
	Inspeção visual para deslizamentos, problemas de erosão, incluindo nas imediações dos pinos de monitorização, fissuras de tensão, etc. Quaisquer problemas deverão ser encaminhados para avaliação por um engenheiro geotécnico qualificado.	Diário
	Verificar se a infraestrutura de águas superficiais está a desviar corretamente a água para longe do talude	Diário
Sistema de Drenagem	Verificar a existência de danos. Verificar a qualidade da água de saída à procura de sinais de erosão interna do talude.	Semanal e após eventos significativos de chuva
Instrumentação do aterro de resíduos	Inspecionar e testar toda a instrumentação, reparando ou substituindo conforme necessário.	Semanal Frequência de testes conforme indicado nas instruções da instrumentação
Geral	Inspeção geral ao aterro de resíduos e todas as estruturas	Mensal Após chuva extrema ou eventos sísmicos
	Auditoria geotécnica e relatório (Engenheiro de Registo).	Anual
	Revisão por painel técnico independente de terceiros	Anual

7.11.5 REPORTE DE INCIDENTES

A operação do aterro de resíduos pode dar origem a incidentes que deverão ser registados, comunicados e formalmente analisados.

A comunicação de incidentes é dividida em duas categorias:

- Comunicação interna – são incidentes que podem afetar as operações diárias do aterro e, geralmente, são relativamente menores. O Designer / Engenheiro de Registo deve ser notificado destes incidentes.
- Comunicação externa – são incidentes graves que afetam o ambiente, a saúde e segurança dos colaboradores, do público e de partes interessadas a jusante.

Estes são incidentes significativos e são obrigatoriamente reportáveis por lei à agência governamental competente. O Designer / Engenheiro de Registo deve ser notificado e deve ser solicitada assessoria especializada.

Os procedimentos de inspeção e comunicação integram os resultados da observação, os níveis de alerta, as responsabilidades e as ações de resposta, em articulação com as condições de licenciamento.

7.11.6 AUDITORIAS OPERACIONAIS

O aterro de resíduos será sujeito a auditorias anuais pelo Engenheiro de Registo, de forma a garantir que as instalações operam de maneira segura e eficiente, em conformidade com o objetivo de conceção.

Como a categoria de consequência do aterro é considerada "Extrema", deverá ser realizada uma auditoria adicional por um especialista em barragens, em base anual (a partir do Ano 1), de acordo com as diretrizes ANCOLD.

Com base na classificação de consequência "Muito Elevada" segundo a GISTM, a Savannah considerará a nomeação de um Painel Técnico Independente Sénior para o aterro de resíduos.

A observação, a inspeção e a revisão técnica independente são organizadas em função da classificação de consequências da instalação e dos referenciais adotados. A classificação legal como Categoria A é apresentada na secção 12.

7.12 REABILITAÇÃO DA TSF

7.12.1 GERAL

A recuperação da TSF é executada progressivamente nas superfícies concluídas e completada após o termo da deposição, previsto para setembro de 2043. A configuração final integra proteção superficial, drenagem, controlo da erosão e revegetação, em articulação com o plano de recuperação.

Os sistemas de drenagem, monitorização e tratamento mantêm-se em funcionamento enquanto necessários ao controlo das águas e à verificação do desempenho da instalação. A desativação dos equipamentos depende da demonstração de condições estáveis e das condições aplicáveis ao encerramento.

O modelo financeiro considera encargos de encerramento do conjunto do projeto entre o quarto trimestre de 2038 e o primeiro trimestre de 2049. Este faseamento financeiro não constitui, por si só, um prazo de cessação da monitorização da TSF

7.13 ANÁLISE DE RISCO DA TSF

7.13.1 GERAL

A TSF e as estruturas associadas de gestão de águas superficiais são consideradas como apresentando riscos técnicos e operacionais.

Foi realizada uma avaliação de riscos do projeto para a solução de projeto apresentada neste relatório. Os riscos identificados estão, de um modo geral, relacionados com os aspetos técnicos do trabalho, embora sejam também abordados alguns aspetos relacionados com custos.

A conceção apoia-se na caracterização geológica e geotécnica apresentada pela COBA e integra reconhecimento complementar na fase inicial da construção. O controlo da fundação inclui a verificação das condições encontradas e o registo dos saneamentos e tratamentos executados.

7.13.2 RISCOS IDENTIFICADOS E MITIGAÇÃO

7.13.2.1 CONSTRUÇÃO EM CLIMA HÚMIDO

Risco: A capacidade de execução de trabalhos de movimentação de terras num clima húmido será um desafio contínuo e significativo.

Mitigação: A construção ao longo da vida do projeto será cuidadosamente planeada, calendarizada e monitorizada, de modo a que os trabalhos sejam executados de forma a reduzir o risco de atrasos (que poderiam resultar na inexistência de áreas disponíveis para deposição de estéreis ou rejeitados) e de problemas relacionados com a qualidade das águas a jusante.

7.13.2.2 ESTABILIDADE

Risco: A solução de projeto requer a execução de extensos sistemas de gestão de águas superficiais em terreno de topografia acentuada, o que é considerado um risco de estabilidade em condições de elevada precipitação.

Mitigação: Serão necessárias ações contínuas de manutenção, remoção de detritos, reformulação/regularização e trabalhos de reparação, que serão executados de forma a garantir a operacionalidade dos sistemas de drenagem e das estradas de acesso.

7.13.2.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS REJEITADOS

Risco: Alterações no tipo de minério e/ou nos métodos de processamento poderão resultar em alterações das propriedades geotécnicas dos rejeitados, afetando a estabilidade e a capacidade final de armazenamento para uma determinada altura de aterro. A distribuição das frações entre comercialização e TSF influencia a quantidade e

a composição dos materiais depositados. O controlo operacional acompanha o balanço de massas, a capacidade disponível e as características da mistura. As alterações ao destino das frações são avaliadas face às condições de colocação, drenagem e estabilidade previstas no projeto.

Mitigação: Serão definidas rigorosas procedimentos de garantia e controlo de qualidade (QA/QC) para confirmar que o material colocado na TSF está de acordo com os objetivos de projeto. Serão realizados regularmente ensaios físicos, tanto em campo como em laboratório, para confirmar as propriedades dos rejeitados e validar os parâmetros de projeto.

7.13.2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS ESTÉREIS

Risco: Alterações nas propriedades dos materiais estéreis foram identificadas como um risco que exigirá ensaios e revisões contínuas.

Mitigação: Serão definidos procedimentos rigorosos de QA/QC para confirmar que o material colocado na TSF está de acordo com a solução de projeto. Serão realizados regularmente ensaios físicos para determinação das propriedades geotécnicas dos estéreis, permitindo validar os parâmetros adotados no projeto.

7.13.2.5 DISPONIBILIDADE DE ESTÉREIS DE MINA PARA CONSTRUÇÃO

Risco: O fornecimento de estéril selecionado para a TSF é articulado com o programa de lavra e com a sequência construtiva. O controlo considera a quantidade, a qualidade e a disponibilidade temporal dos materiais, bem como a capacidade de deposição já executada.

Mitigação: Caso não exista disponibilidade imediata de estéril adequado, poderão ser antecipadas fontes adicionais de empréstimo (provenientes de canais de desvio, descarregadores (spillways) e estradas de transporte), garantindo que o efeito de suporte (buttressing) esteja implementado o mais cedo possível.

7.13.2.6 COLOCAÇÃO DE ESTÉREIS DE MINA

Risco: O teor de humidade dos rejeitados e dos estéreis de mina será influenciado pelo desempenho da unidade de filtragem, pela precipitação e pelos métodos de deposição e selagem. Um aumento do teor de humidade poderá reduzir a estabilidade da instalação em condições de carregamento estático e sísmico.

Mitigação: O aumento do teor de humidade dos estéreis entre a fase de desmonte e a colocação em obra, bem como dos rejeitados filtrados produzidos, será rigorosamente controlado e limitado tanto quanto possível, garantindo que os estéreis são colocados com compactação adequada e atingem as densidades e teores de humidade especificados.

O controlo da humidade dos materiais colocados na TSF articula a gestão das águas superficiais, a proteção das superfícies de trabalho e a verificação das condições de colocação e compactação. As medidas de controlo são aplicadas às zonas de deposição e construção da instalação.

7.13.2.7 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Risco: Aumento das pressões de água no interior da fundação ou do aterro devido a condições inadequadas de drenagem ou a taxas de carregamento durante a construção não controladas.

Mitigação: A superfície freática no interior do aterro será controlada. Para tal, será necessária uma gestão abrangente das águas superficiais e subterrâneas, implementada de forma eficiente, permitindo a drenagem e encaminhamento das águas para fora do aterro, minimizando a infiltração e promovendo a drenagem dos rejeitados filtrados, evitando a acumulação excessiva de pressões intersticiais no interior dos aterros.

7.13.2.8 DISPONIBILIDADE DE REJEITADOS FILTRADOS

Risco: Indisponibilidade da unidade de filtragem ou produção de rejeitados fora das especificações previstas.

Mitigação: O planeamento da deposição dos rejeitados depende da eficiência operacional da unidade de processamento por filtragem. Caso a produção de rejeitados filtrados não esteja disponível, deverá ser implementada uma solução alternativa de deposição de rejeitados, garantindo a continuidade da operação da unidade de processamento.

7.13.2.9 QUALIDADE DA DESCARGA PARA JUSANTE

Risco: Poderá ocorrer geração de sedimentos durante a fase de construção.

Mitigação: Será necessária uma gestão ativa e contínua dos estéreis/rejeitados, recorrendo a sistemas temporários localizados de controlo e interceção na origem como principal medida de controlo.

7.14 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DAS ESCOMBREIRAS

7.14.1 GEOMETRIA DAS ESCOMBREIRAS

A avaliação apresentada para as escombreiras abrange as implantações do Grandão, Pinheiro e Reservatório.

7.14.2 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DAS ESCOMBREIRAS

A avaliação das escombreiras utiliza a informação documental e os dados de sondagens de referência apresentados nesta secção. A investigação específica da TSF tem âmbito próprio e não substitui a caracterização das fundações das escombreiras.

7.14.3 PARÂMETROS DA FUNDAÇÃO

A base de informação da avaliação das escombreiras reúne estudos geotécnicos anteriores, dados de exploração disponibilizados pela Savannah e pela Snowden e informação hidrogeológica pertinente. As sondagens de referência são identificadas nas tabelas seguintes, sem as equiparar a uma campanha específica das fundações de todas as escombreiras.

Com base nesta informação, foi desenvolvida uma estratigrafia de alto nível, conforme descrito de seguida:

- Terra vegetal / aterro superficial: Identificada à superfície na maioria das localizações das sondagens. A espessura varia tipicamente entre 1,0 m e 2,0 m. É descrita como uma camada argilosa com matéria orgânica (raízes) e cascalho arenoso argiloso-siltoso, representando provavelmente camadas superficiais perturbadas ou plataformas de perfuração previamente preparadas.
- Depósitos aluvionares (zonas próximas de linhas de água): Identificados em sondagens localizadas junto a cursos de água. Esta unidade é constituída por cascalho arenoso argiloso-siltoso e, localmente, por camadas de silte mole. A espessura varia tipicamente entre 1,0 m e 4,0 m. Estes depósitos encontram-se frequentemente saturados e representam o material superficial de menor competência geotécnica.
- Xisto/Filito altamente alterado (HW – Highly Weathered): Presente imediatamente abaixo da terra vegetal, com espessuras entre 5,0 m e 14,0 m. Esta unidade é constituída por cascalho argiloso-siltoso castanho a castanho-escuro de origem xistosa, contendo uma quantidade significativa de quartzo (10–20%). Caracteriza-se por uma perfuração rápida e fácil, apresentando um comportamento geotécnico semelhante ao de um solo muito rijo e oxidado.
- Rocha moderadamente alterada (MW – Moderately Weathered) (Topo Rochoso): Zona de transição constituída por filito/xisto de cor cinzento-acastanhada a castanho-acinzentada, normalmente encontrada entre 6,0 m e 10,0 m de profundidade. Apresenta fraturação moderada e sinais de oxidação. Esta unidade corresponde ao topo rochoso efetivo para efeitos de fundação, evidenciando um aumento significativo da resistência à perfuração.
- Rocha pouco alterada a sã (Xisto e Pegmatito): Identificada entre profundidades de 15 m e 40 m, prolongando-se para além da profundidade final das sondagens (até cerca de 150 m). Esta unidade é constituída por xisto competente, de cor cinzenta a cinzento-escura, e por diques de pegmatito branco/cinzento de elevada resistência. A fraturação é localizada e o maciço rochoso apresenta elevada qualidade, com valores médios de GSI de 60.

O perfil geológico adotado na avaliação das escombreiras baseia-se nas sondagens de referência indicadas na Tabela 7.50. A tabela distingue as áreas do Pinheiro, Grandão e NOA/Reservatório.

Tabela 7.50 – Perfil geotécnico do subsolo.

Escombreira (WRD)	Sondagens de Referência	Espessuras médias		
		Terra Vegetal (m)	Solo Residual/ Material muito ou extremamente alterado (m)	Maciço Rochoso (m)
Pinheiro	EX9 R, EX7 e EX9	0 - 1	1 - 6	6 – 50*
Grandão	EX4 R, EX1, EX2, EX4 e EX5	0 - 3	3 - 17	14 – 50*
NOA/Reservatório	EX10, EX1 e EX12	0 - 3	3 - 9	9 -50*

* Espessura assumida para a análise de estabilidade

Considera-se que todo o material inadequado à fundação, incluindo a terra vegetal e os depósitos aluvionares existentes na área de implantação das fundações, será removido e substituído por aterro estrutural.

Com base na informação atualmente disponível e na experiência adquirida em materiais de natureza semelhante, os parâmetros de resistência ao corte adotados para o perfil geológico-geotécnico típico esperado são apresentados nas Tabela 7.51 e Tabela 7.52.

Tabela 7.51 – Parâmetros de resistência ao corte em condições estáticas adotados para os materiais de fundação.

Materiais	Peso Específico, γ (kN/m³)	Condições drenadas		Condições não drenadas
		c' (kPa)	ϕ' (°)	Su/σv'
Material muito ou extremamente alterado	19	50	30	Idêntico aos parâmetros drenados
Maciço Rochoso	23	125	35	

Tabela 7.52 – Parâmetros de resistência ao corte pós-sísmica adotados para os materiais de fundação.

Materiais	Peso Específico, γ (kN/m³)	Condições drenadas		Abaixo do nível freático
		c' (kPa)	ϕ' (°)	Su/σv'
Material muito ou extremamente alterado	19	0*	24,8**	Idêntico aos parâmetros drenados
Maciço Rochoso	23	125	35	

Nota:
*1 – Adotado conservadoramente como zero, de acordo com as recomendações de Skempton (Ref. 2), Stark e Duncan e Stark e Eid.
**2 – Foi adotada uma redução de 20% da resistência para as condições pós-sísmicas, de acordo com Hynes-Griffin e Franklin.

7.14.4 MATERIAIS DAS ESCOMBREIRAS

A escombreira de estéreis (WRD) proposta será constituída por enrocamento de estéreis de mina, transportado pela frota de equipamentos de lavra. O material estéril será colocado em camadas e compactado pela circulação dos camiões de transporte, de forma a atingir a densidade especificada.

Assume-se que o enrocamento de estéreis apresenta uma elevada permeabilidade, pelo que a sua resistência em condições não drenadas será igual à resistência em condições drenadas.

Com base nos resultados da revisão documental e do Estudo Geotécnico ao Nível de Estudo de Viabilidade, foram adotados ângulos de atrito residual (ϕr) entre 27° e 31° para o xisto de transição a fresco e para o pegmatito fresco, correspondentes a um Coeficiente de Rugosidade das Descontinuidades (JRC) entre 1,5 e 2,5 e a uma Resistência à Compressão das Descontinuidades (JCS) entre 18,8 MPa e 87,5 MPa.

A Resistência à Compressão Uniaxial (UCS) média adotada para o xisto de transição a fresco varia entre 37,5 MPa e 75 MPa, enquanto para o pegmatito fresco foi adotado o valor de 175 MPa. A seleção dos materiais para construção considera a sua aptidão geotécnica e os requisitos de cada estrutura. Os valores de resistência utilizados na avaliação das escombreiras correspondem às hipóteses e fontes indicadas nesta secção.

Assumindo um d_{50} não inferior a 500 mm para o enrocamento de estéreis, foi adotada uma relação entre a resistência equivalente do enrocamento (S) e a UCS de 0,20. A resistência ao corte do enrocamento foi estimada para tensões normais até 3 000 kPa, utilizando a seguinte equação:

$$\tau = \sigma_n tan\left(Rlog\,{}^{S}/_{\sigma_n} + \emptyset_r\right)$$

Dado que se prevê que as escombreiras de estéreis apresentem um volume significativo de vazios, Barton recomenda que o parâmetro de rugosidade (R) se situe, tipicamente, entre 5 e 7. Assim, foi realizada uma análise de sensibilidade da resistência ao corte de

pico do enrocamento para cada tipo de rocha, considerando um valor mínimo de rugosidade equivalente de 5 para o material britado proveniente das operações de lavra. Os resultados são apresentados na Tabela 7.53. Para a análise de estabilidade, foram adotados os parâmetros médios da resistência ao corte de pico do enrocamento.

Tabela 7.53 – Resistência ao corte de pico do enrocamento.

Material	UCS (MPa)	S (MPa)	R	ϕ_r (deg.)	σ_n (kPa)					
					100	250	500	1000	1500	3000
					τ (kPa)					
F_PEG	175	35,0	5	31	96	223	423	802	1165	2207
T_SCH	37,5	7,5	5	26	71	165	311	586	848	1594
F_SCH	75,0	15,0	5	27	78	181	342	646	937	1767

Nota: F_PEG – Pegmatito Fresco, T_SCH – Xisto de Transição e F_SCH – Xisto Fresco

Assume-se que o enrocamento de estéreis apresenta uma elevada permeabilidade, pelo que a sua resistência em condições não drenadas será igual à resistência em condições drenadas.

O ângulo de atrito residual do enrocamento corresponde ao ângulo de atrito mobilizado após a ocorrência de grandes deslocamentos ou de um evento sísmico, quando as asperezas das descontinuidades se encontram desgastadas. O ângulo de atrito residual é, normalmente, independente do nível de tensão. Na prática, pode variar entre 15° e 30°, dependendo do grau de alteração e da mineralogia da rocha. Quando a rocha e as suas descontinuidades não apresentam alteração significativa, o ângulo de atrito residual pode aumentar para valores entre 25° e 35°, de acordo com o estudo de Barton e Kjærnsli (1981).

Para descontinuidades em xisto e pegmatito com diferentes graus de alteração, foi adotado um intervalo de 26° a 31° para o ângulo de atrito residual. Assim, para a análise em condições pós-sísmicas, foi adotado um ângulo de atrito residual de 31° para o enrocamento britado.

Os parâmetros de resistência do enrocamento de estéreis adotados para as condições estáticas e pós-sísmicas são apresentados na Tabela 7.54.

Tabela 7.54 – Parâmetros de resistência ao corte adotados para o enrocamento de estéreis.

Materiais	Condição	Peso Específico, γ (kN/m³)	Condições Drenadas		Condições Não-Drenadas	
			c' (kPa)	ϕ' (°)	Su/σv'	Su,min
Estéril	Estática	20	0	32º to 40º baseado em Barton	Idêntico aos parâmetros drenados	
	Pós-Sísmica	20	0	310	Idêntico aos parâmetros drenados	

7.14.5 NÍVEIS FREÁTICOS

Para simular o efeito da subida do nível freático no material depositado acima do terreno natural e avaliar a incerteza associada à variação do nível freático ao longo da vida útil da mina (LoM – Life of Mine), considerou-se, de forma conservadora, uma elevação de 1 m do nível freático no interior das escombreiras de estéreis (WRDs).

7.14.6 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

A estabilidade das escombreiras de estéreis foi analisada utilizando o SLOPE/W, um programa bidimensional de análise de estabilidade baseado no método do equilíbrio limite. Para o cálculo dos fatores de segurança foi utilizado o método de Morgenstern-Price. Os resultados destas análises são apresentados na secção 7.14.8, incluindo a Tabela 7.57, Tabela 7.58 e Tabela 7.59, e o intervalo de Figuras entre a Figura 7.40 e a Figura 7.67.

O SLOPE/W calcula a magnitude das forças mobilizadoras atuantes no talude e compara-as com as forças resistentes, as quais dependem da resistência ao corte dos materiais que constituem a estrutura. A razão entre as forças resistentes e as forças mobilizadoras corresponde ao Fator de Segurança (FoS – Factor of Safety). Quando estas forças são iguais, o FoS é igual a 1,0, considerando-se que o talude se encontra em condição de equilíbrio limite. À medida que o FoS aumenta, diminui a probabilidade de ocorrência de rotura por deslizamento. Para a identificação das superfícies críticas de rotura foi utilizado o método de entrada e saída, complementado por técnicas de otimização. As superfícies críticas são definidas como aquelas que apresentam o menor Fator de Segurança e que representam mecanismos de rotura suscetíveis de provocar danos significativos caso ocorra deslizamento. As superfícies de rotura superficiais que originam baixos fatores de segurança, mas que não representam mecanismos de rotura críticos, não foram consideradas nesta avaliação.

As análises de estabilidade realizadas neste estudo contemplaram as seguintes condições de carregamento críticas:

- Condição estática;
- Condições pós-sísmicas.

7.14.7 CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO

Os critérios de aceitação para a estabilidade dos taludes das escombreiras de estéreis foram definidos de forma a garantir que o projeto cumpre os requisitos do Eurocódigo 7 – Projeto Geotécnico (EN 1997-1:2004) e das Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design, de Hawley e Cunning (2017), tendo por base as consequências estimadas de uma eventual rotura e o nível de confiança nas condições de fundação.

Foi adotada a Abordagem de Projeto 1 (Design Approach 1 – DA1), considerando as seguintes combinações:

- DA1 – Combinação 1: A1 + M1 + R1;
- DA1 – Combinação 2: A2 + M2 + R1.

O perfil das fundações foi definido com base numa avaliação documental, considerando estudos geotécnicos anteriores e dados de exploração disponibilizados pela Savannah, pela Snowden e pelas investigações hidrogeológicas, sempre que existiam dados relevantes de sondagens na área de implantação das cortas. Assim, considera-se que o nível de confiança nas condições de fundação é baixo. Uma eventual rotura poderá provocar danos nas estruturas do Sistema de Gestão de Águas Superficiais, podendo igualmente originar uma suspensão temporária das operações no local. Estas consequências são classificadas como de baixa gravidade.

Os coeficientes parciais adotados para cada combinação da DA1 encontram-se resumidos na Tabela 7.55, com base no Eurocódigo 7 e nos fatores de redução da resistência definidos nas Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design, com o objetivo de alcançar a classificação máxima possível na análise de estabilidade. As condições pós-sísmicas foram avaliadas como uma Situação de Projeto Acidental, tendo sido aplicados os coeficientes parciais correspondentes aos estados limites acidentais, tanto às ações como às propriedades dos materiais. Os coeficientes parciais adotados para a análise pós-sísmica encontram-se resumidos na Tabela 7.56.

Tabela 7.55 – Fatores Parciais para DA1.

DA1			Combinação 1			Combinação 2		
			A1	M1	R1	A2	M2	R1
Ação Permanente (G)	Desfavorável	γ_G	1,35			1,00		
	Favorável	γ_G	1,00			1,00		
Ação Variável (Q)	Desfavorável	γ_Q	1,50			1,30		
	Favorável	γ_Q	0			0		

DA1		Combinação 1			Combinação 2		
		A1	M1	R1	A2	M2	R1
tanϕ′	$\gamma_{\phi'}$		1,00			1,25	
C′	$\gamma_{c'}$		1,00			1,25	
S_u/Resistência ao corte	γ_{su}		1,00			1,40	
Peso Específico,γ	γ_{γ}		1,35			1,00	
Resistência Deslizamento (Rv)				1,00			1,00

Tabela 7.56 – Coeficientes parciais para situações de projeto acidentais (pseudoestáticas/pós-sísmicas).

Parâmetro Solo	Fatores Parciais
tanϕ′	1,10
c′	1,10
S_u/Resistência ao corte	1,15
Peso Específico,γ	1,00

7.14.8 RESULTADOS DA ANÁLISE

7.14.8.1 ESCOMBREIRA DO PINHEIRO

A implantação da escombreira é apresentada na Figura 7.40, enquanto a geometria dos modelos de estabilidade é apresentada nas Figura 7.41 e Figura 7.42.

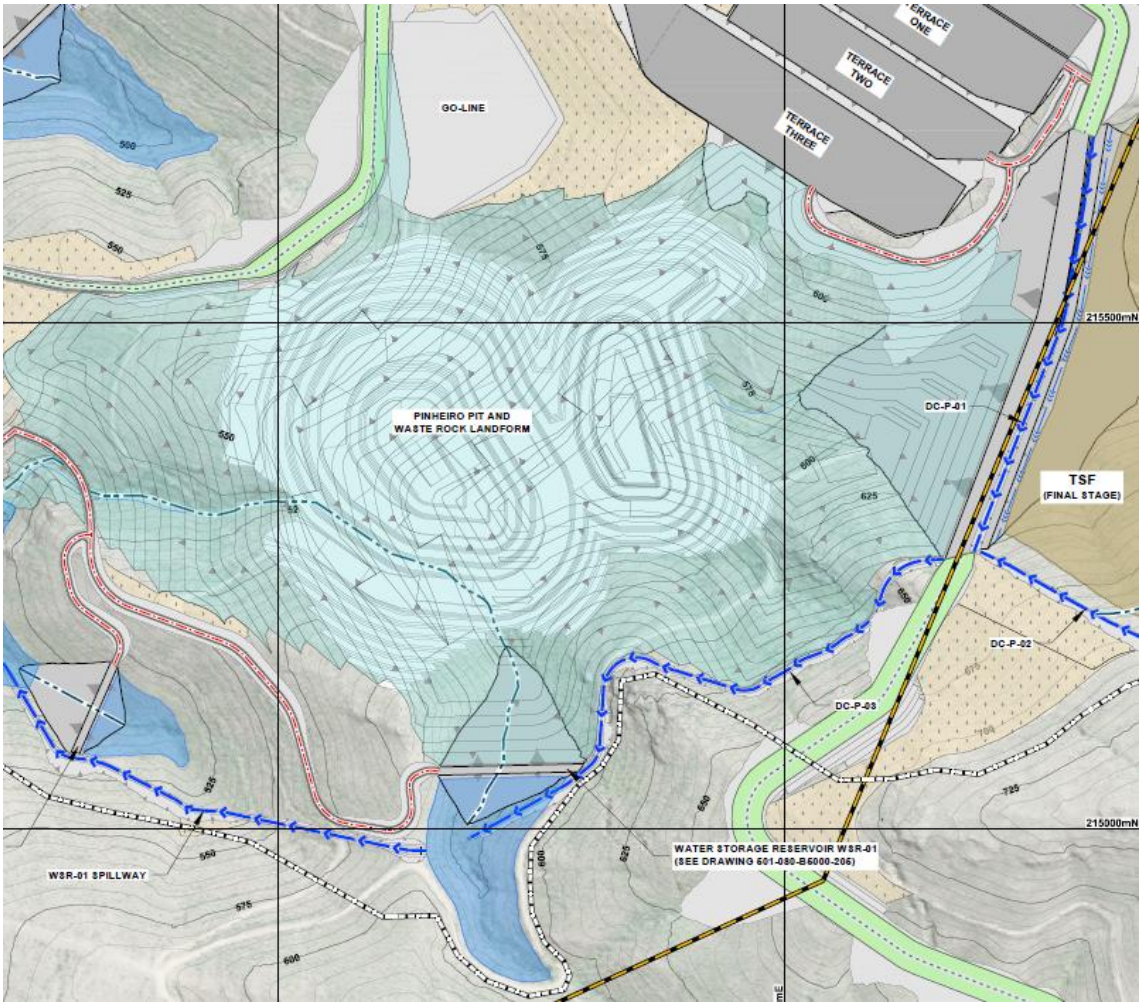


Figura 7.40 – Layout da Escombreira do Pinheiro.

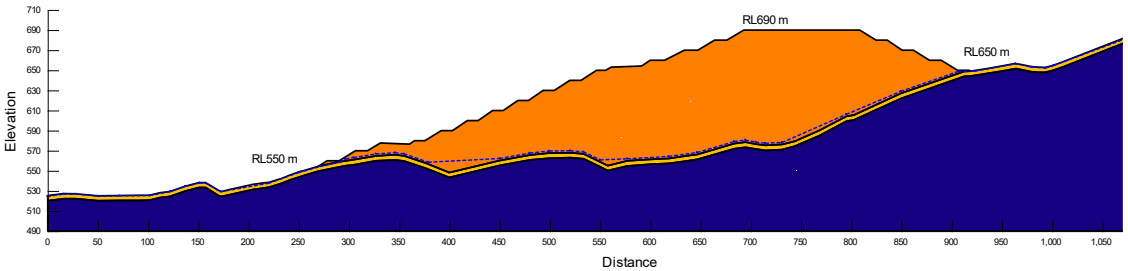


Figura 7.41 – Escombreira do Pinheiro – Secção A.

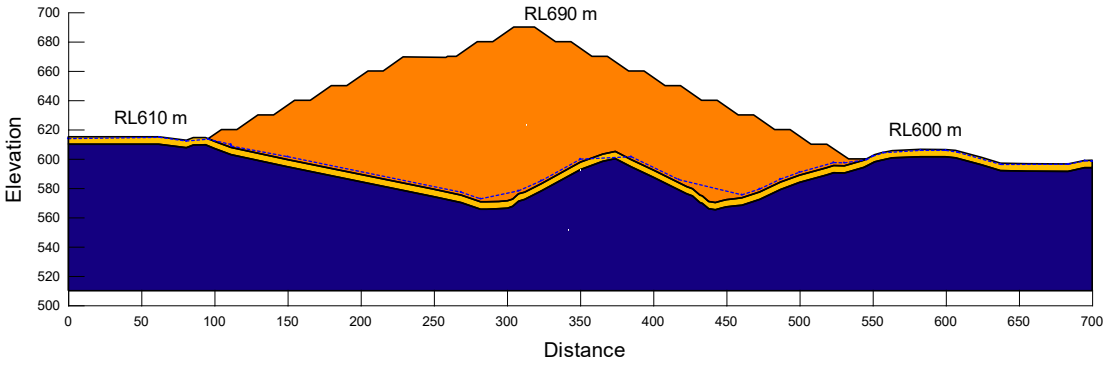


Figura 7.42 – Escombreira do Pinheiro – Secção B.

Os resultados da análise de estabilidade encontram-se resumidos na Tabela 7.57 e são apresentados graficamente nas Figura 7.43 a Figura 7.50.

Tabela 7.57 – Sumário dos resultados da análise de estabilidade da escombreira do Pinheiro.

Secção	Situação de Carga	Localização	FoS Alvo	FoS Atingido	
				DA1C1	DA1C2
A	Estático (longo prazo)	Jusante	1,0	1,97	1,76
	Pós-sísmico		1,0	1,61	1,61
	Estático (longo prazo)	Montante	1,0	2,09	1,76
	Pós-sísmico		1,0	1,50	1,50
B	Estático (longo prazo)	Jusante	1,0	1,93	1,63
	Pós-sísmico		1,0	1,43	1,43
	Estático (longo prazo)	Montante	1,0	1,84	1,55
	Pós-sísmico		1,0	1,38	1,38

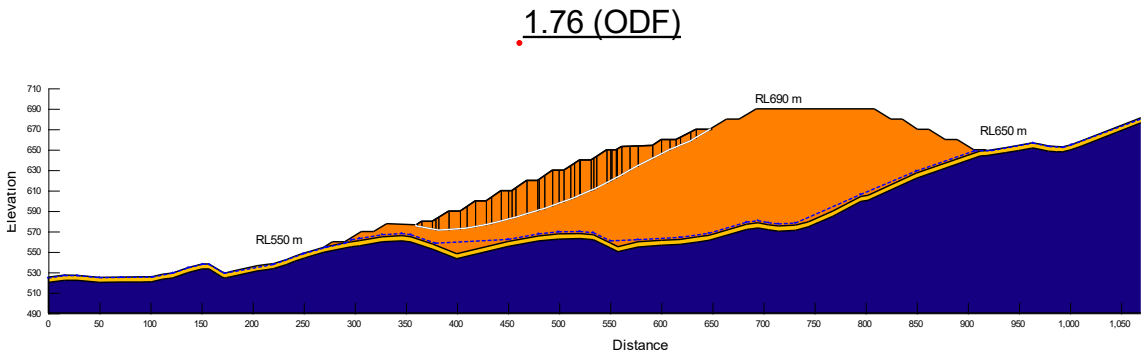


Figura 7.43 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção A (D/S) - Estático.

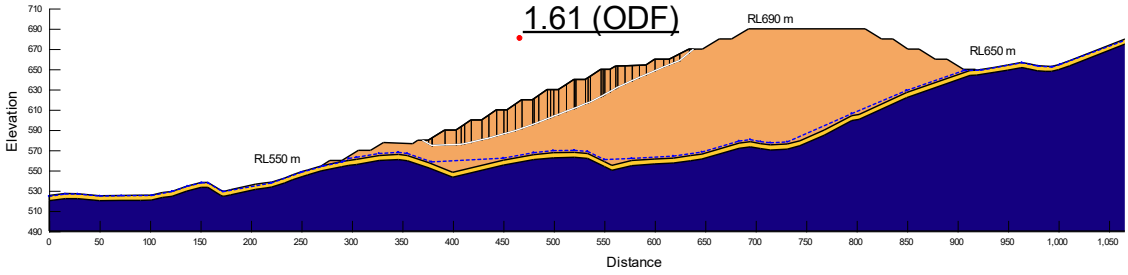


Figura 7.44 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção A (D/S) – Pós-sísmico.

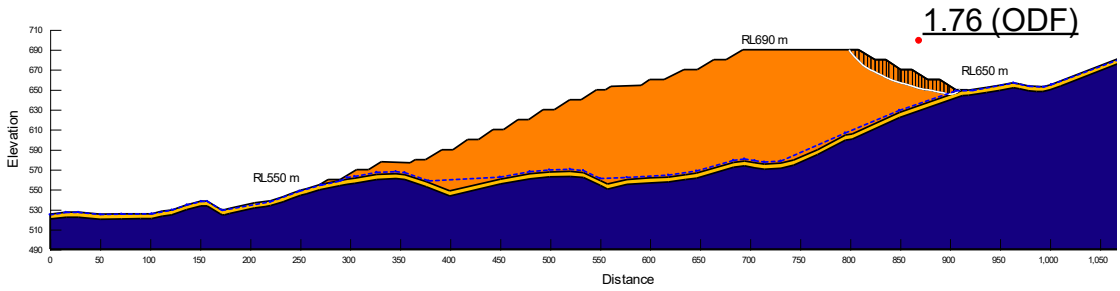


Figura 7.45 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção A (U/S) - Estático.

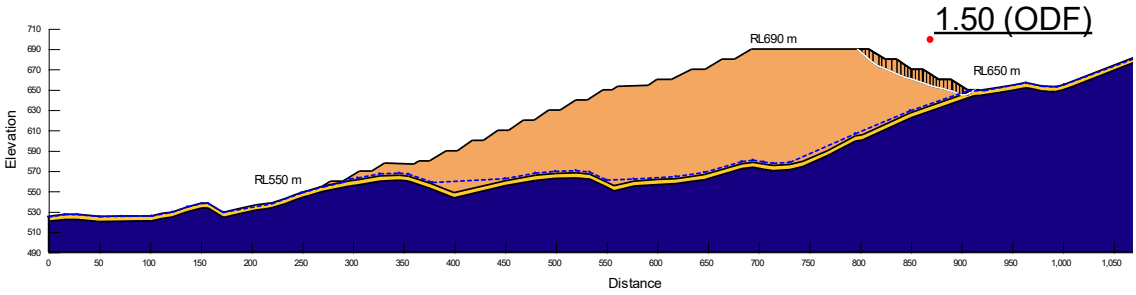


Figura 7.46 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção A (D/S) – Pós-sísmico.

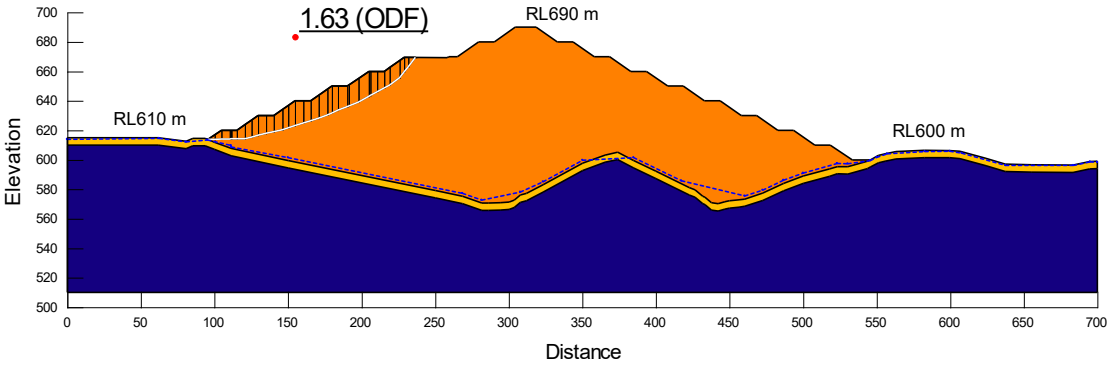


Figura 7.47 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção B (D/S) - Estático.

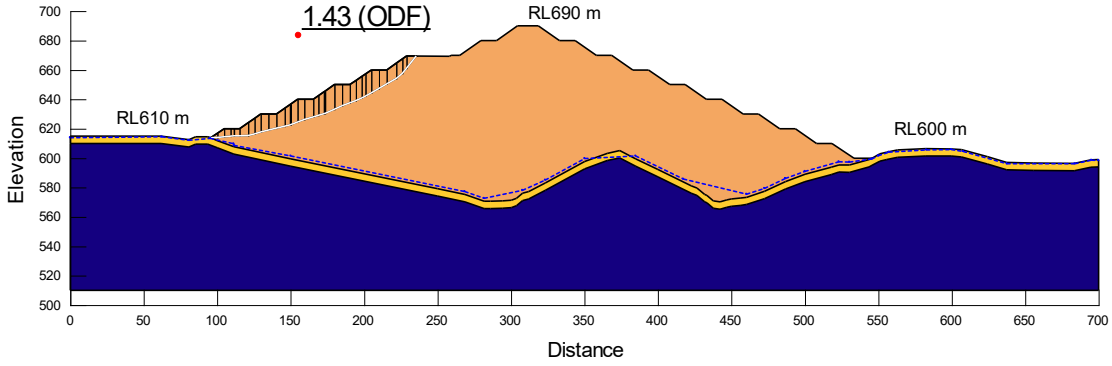


Figura 7.48 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção B (D/S) – Pós-sísmico.

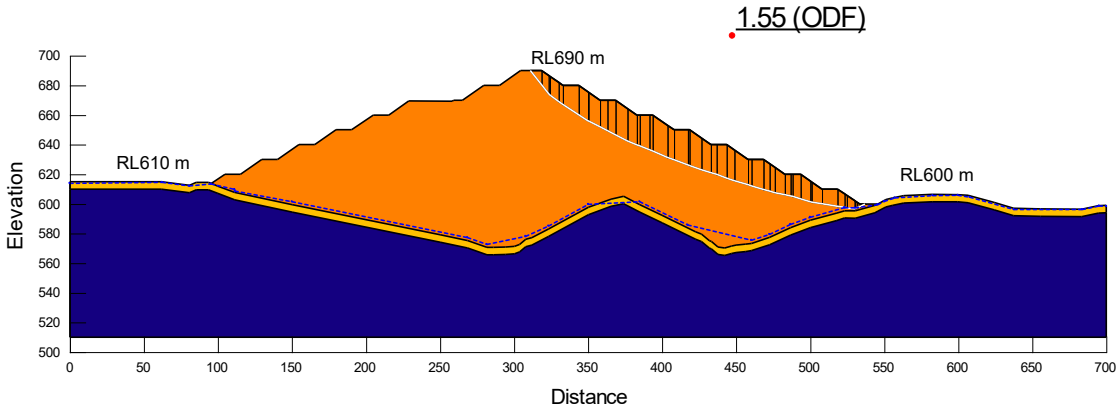


Figura 7.49 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção B (U/S) - Estático.

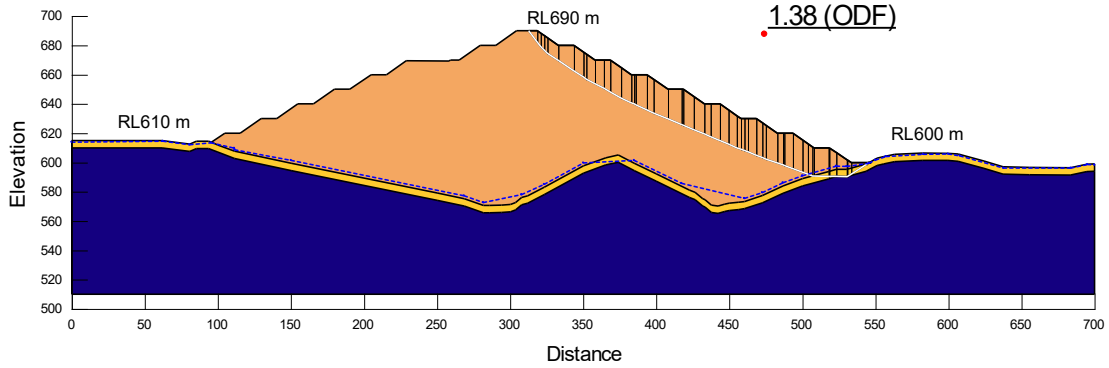


Figura 7.50 – Análise de Estabilidade da escombreira do Pinheiro Secção B (U/S) – Pós-sísmico.

Os resultados da análise de estabilidade demonstram que a Escombreira de Estéreis (WRD) do Pinheiro, conforme proposta, apresenta fatores de segurança adequados para as condições de carregamento estáticas e pós-sísmicas, bem como para as combinações de projeto consideradas. Todos os valores calculados são superiores ao fator de segurança mínimo de 1,0, conforme exigido pela EN 1997-1.

7.14.8.2 ESCOMBREIRA DO GRANDÃO

A implantação da escombreira de estéreis é apresentada na Figura 7.51, enquanto a geometria dos modelos de estabilidade é apresentada nas Figura 7.52 e Figura 7.53.

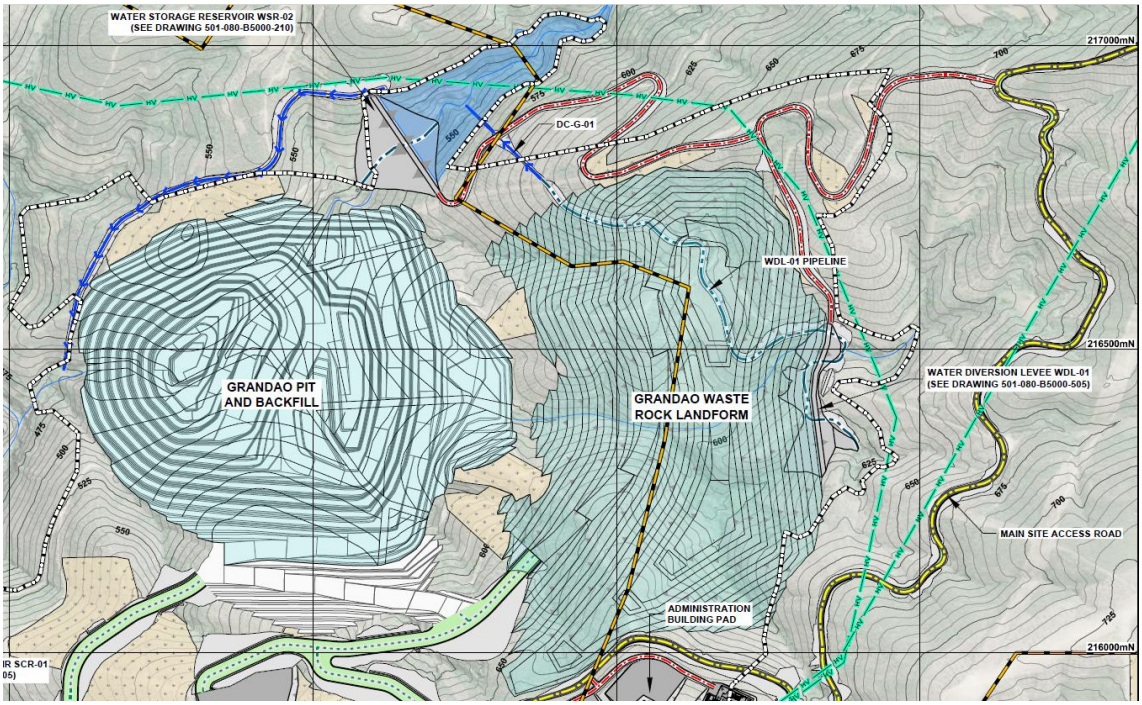


Figura 7.51 – Layout da escombreira do Grandão.

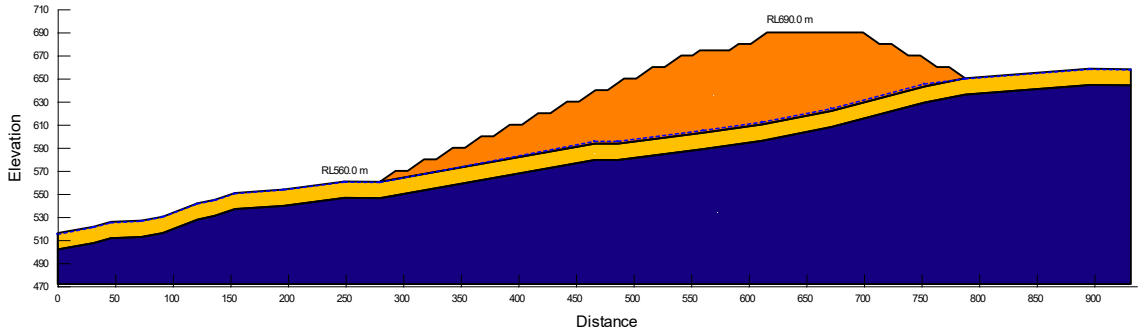


Figura 7.52 – Escombreira do Grandão Secção A.

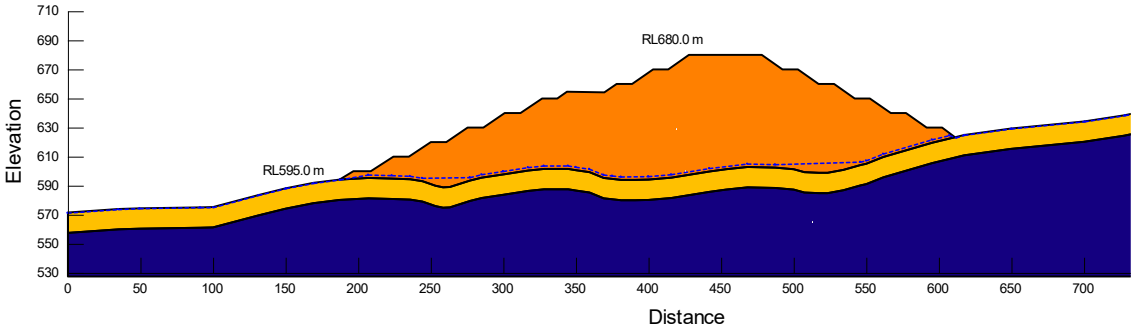


Figura 7.53 – Escombreira do Grandão Secção B.

Os resultados da análise de estabilidade encontram-se resumidos na Tabela 7.58 e são apresentados graficamente nas Figura 7.54 a Figura 7.61.

Tabela 7.58 – Sumário dos resultados da análise de estabilidade da escombreira do Grandão.

Secção	Situação de Carga	Localização	FoS Alvo	FoS Atingido	
				DA1C1	DA1C2
A	Estático (longo prazo)	Jusante	1,0	1,62	1,29
	Pós-sísmico		1,0	1,06	1,06
	Estático (longo prazo)	Montante	1,0	1,95	1,44
	Pós-sísmico		1,0	1,28	1,28
B	Estático (longo prazo)	Jusante	1,0	1,82	1,51
	Pós-sísmico		1,0	1,15	1,15
	Estático (longo prazo)	Montante	1,0	1,89	1,49
	Pós-sísmico		1,0	1,32	1,32

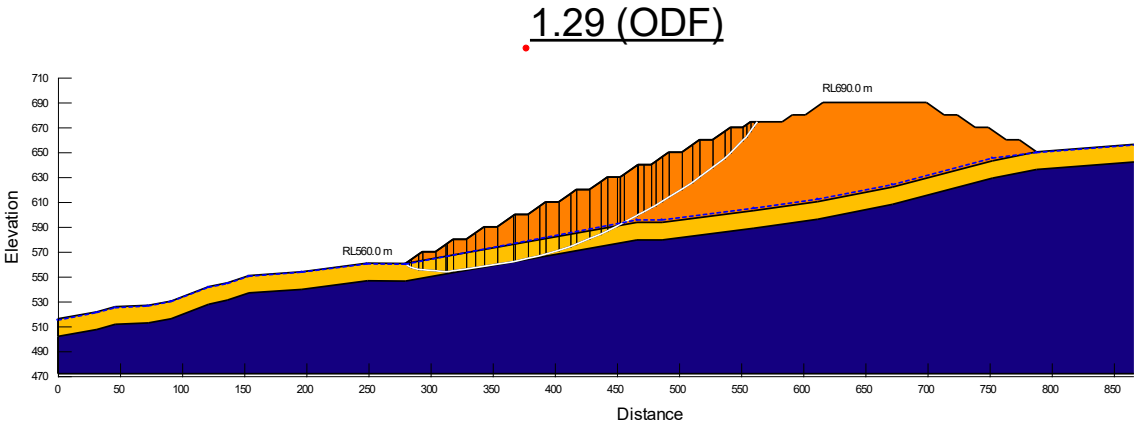


Figura 7.54 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção A (D/S) - Estático.

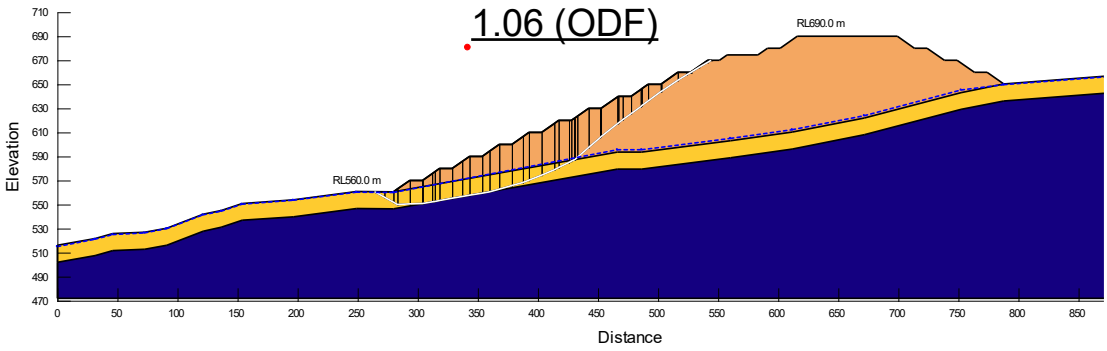


Figura 7.55 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção A (D/S) – Pós-sísmico.

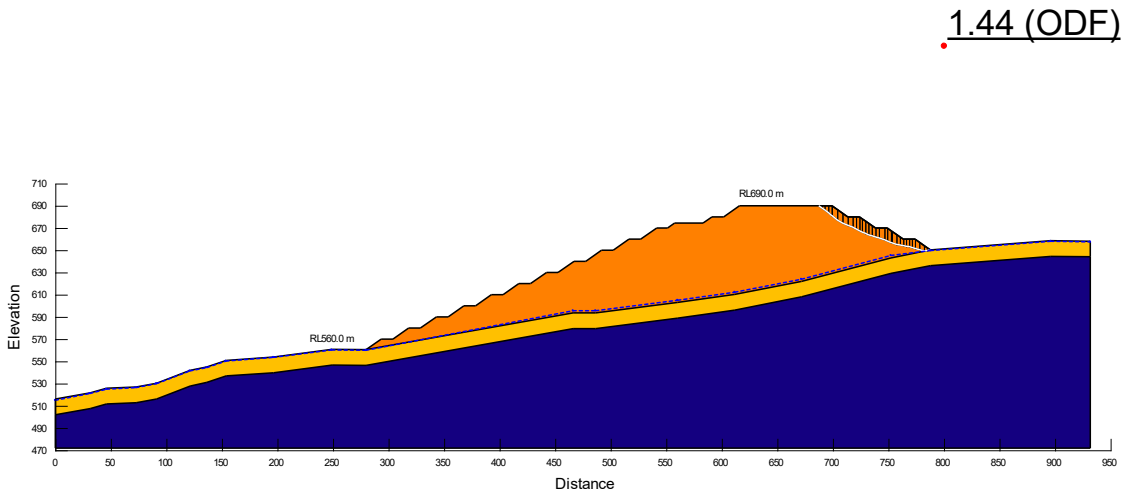


Figura 7.56 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção A (U/S) - Estático.

1.28 (ODF)

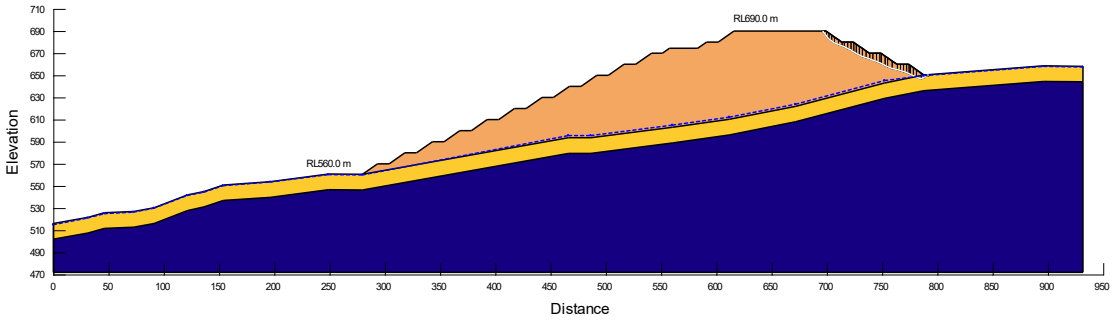


Figura 7.57 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção A (U/S) – Pós-sísmico.

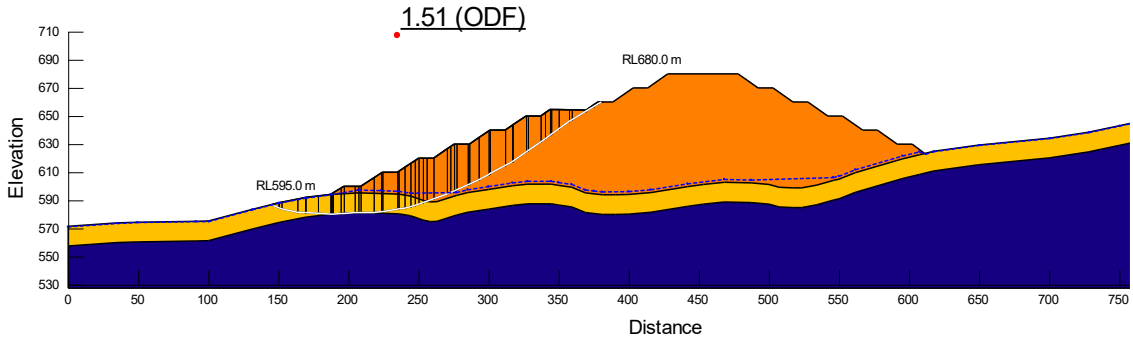


Figura 7.58 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção B (D/S) - Estático.

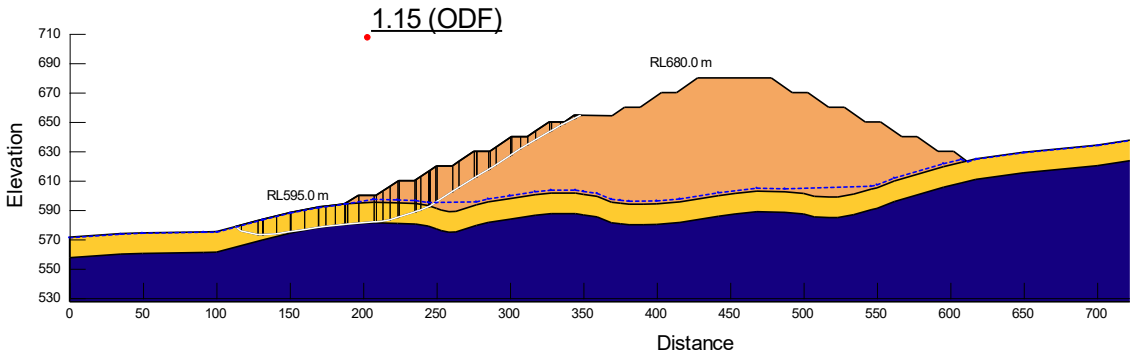


Figura 7.59 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção B (D/S) – Pós-sísmico.

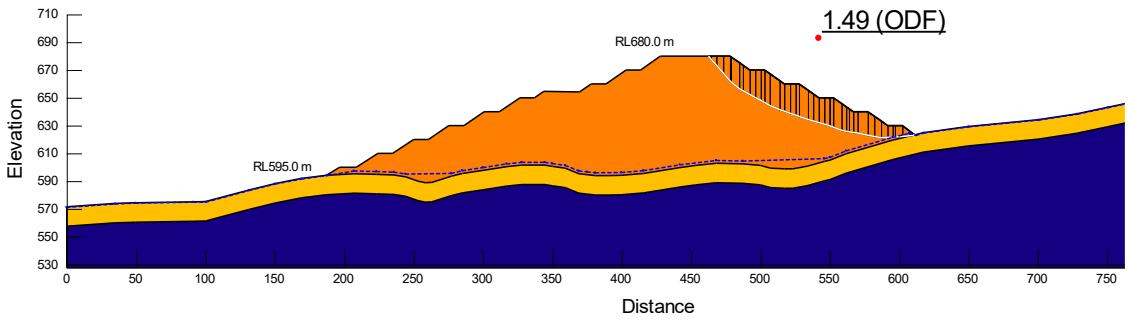


Figura 7.60 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção B (U/S) - Estático.

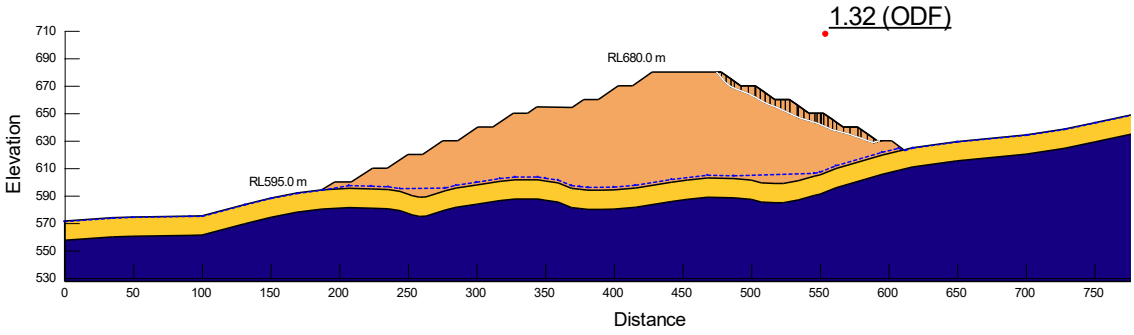


Figura 7.61 – Análise de Estabilidade da escombreira do Grandão Secção B (U/S) – Pós-sísmico.

Os resultados da análise de estabilidade demonstram que a Escombreira de Estéreis do Grandão, conforme proposta, apresenta fatores de segurança adequados para as condições de carregamento estáticas e pós-sísmicas, bem como para as combinações de projeto consideradas. Todos os valores calculados são superiores ao fator de segurança mínimo de 1,0, conforme exigido pela EN 1997-1.

7.14.8.3 ESCOMBREIRA DO RESERVATÓRIO

A implantação da escombreira de estéreis é apresentada na Figura 7.62, enquanto a geometria do modelo de estabilidade é apresentada na Figura 7.63.

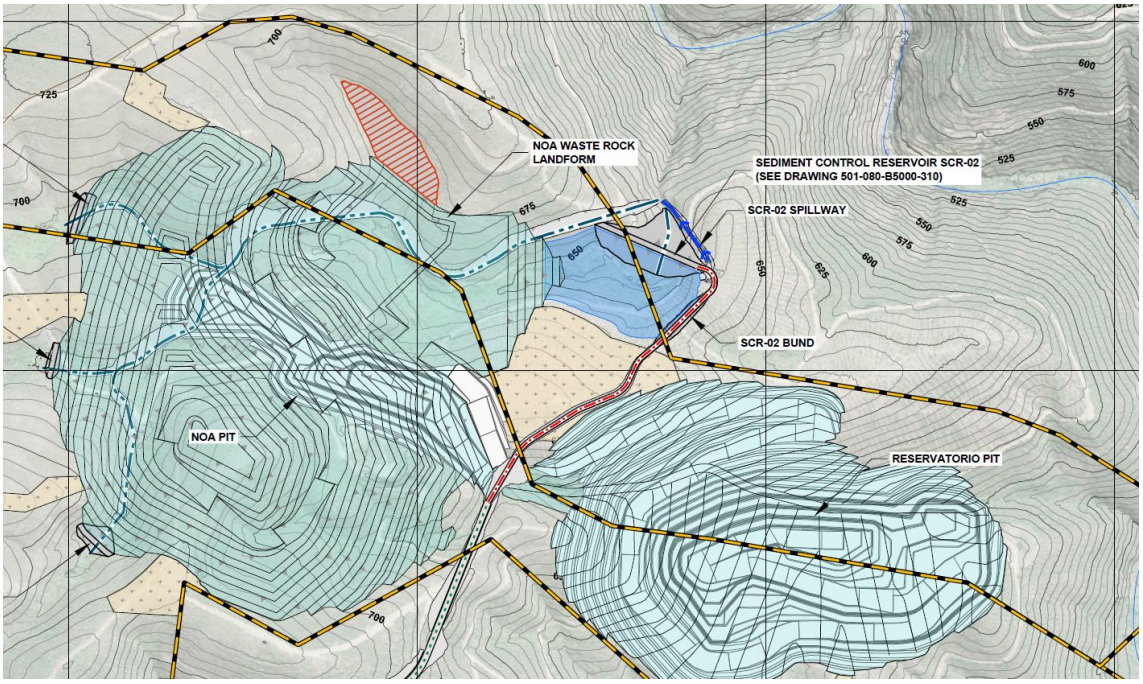


Figura 7.62 – Layout da escombreira do Reservatório.

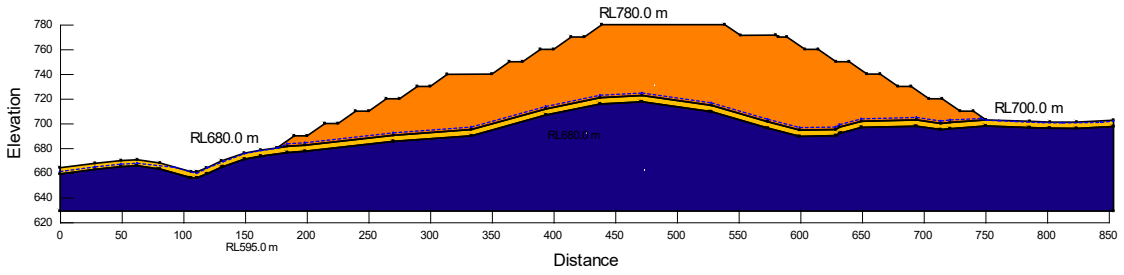


Figura 7.63 – Secção A da escombreira do Reservatório.

Os resultados da análise de estabilidade encontram-se resumidos na Tabela 7.59 e são apresentados graficamente nas Figura 7.64 a Figura 7.67.

Tabela 7.59 – Sumário dos resultados da análise de estabilidade da escombreira do Reservatório.

Secção	Situação de Carga	Localização	FoS Alvo	FoS Atingido	
				DA1C1	DA1C2
A	Estático (longo prazo)	Jusante	1,0	1,95	1,51

Secção	Situação de Carga	Localização	FoS Alvo	FoS Atingido	
				DA1C1	DA1C2
	Pós-sísmico		1,0	1,35	1,35
	Estático (longo prazo)	Montante	1,0	1,83	1,47
	Pós-sísmico		1,0	1,29	1,29

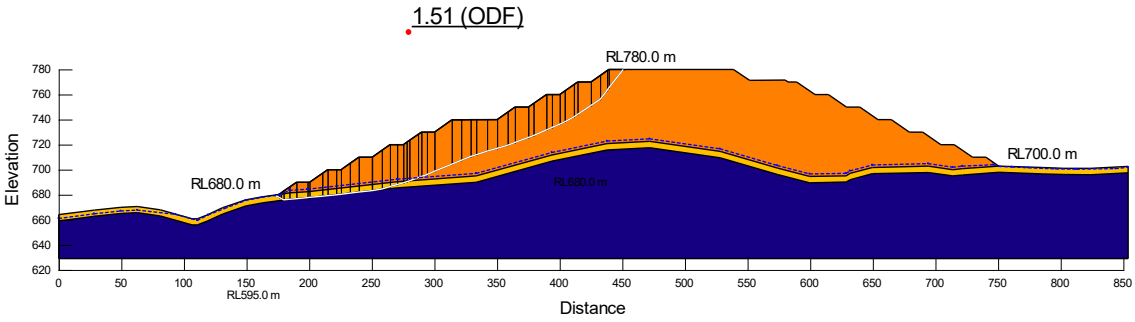


Figura 7.64 – Análise de Estabilidade da escombreira do Reservatório Secção A (D/S) - Estático.

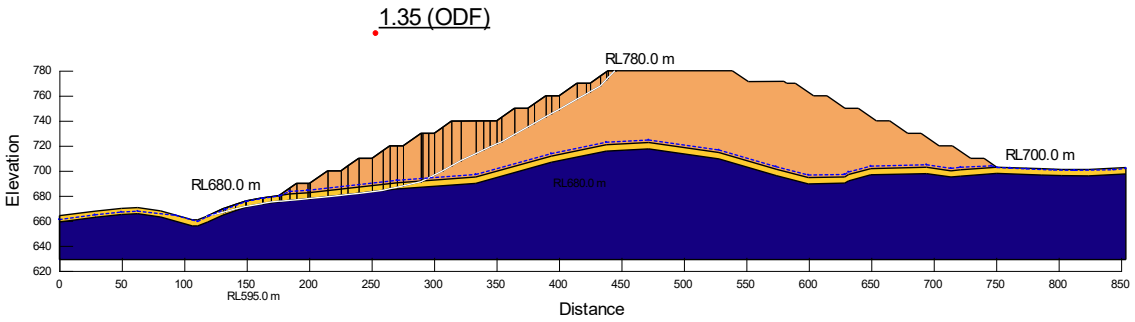


Figura 7.65 – Análise de Estabilidade da escombreira do Reservatório Secção A (D/S) – Pós-sísmico.

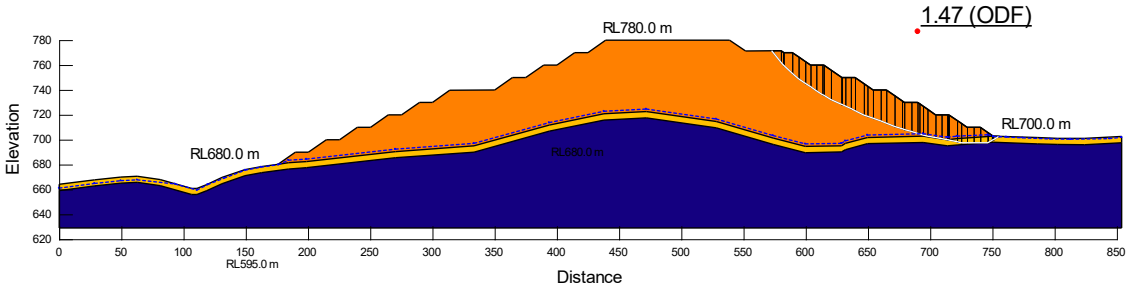


Figura 7.66 – Análise de Estabilidade da escombreira do Reservatório Secção A (U/S) – Estático.

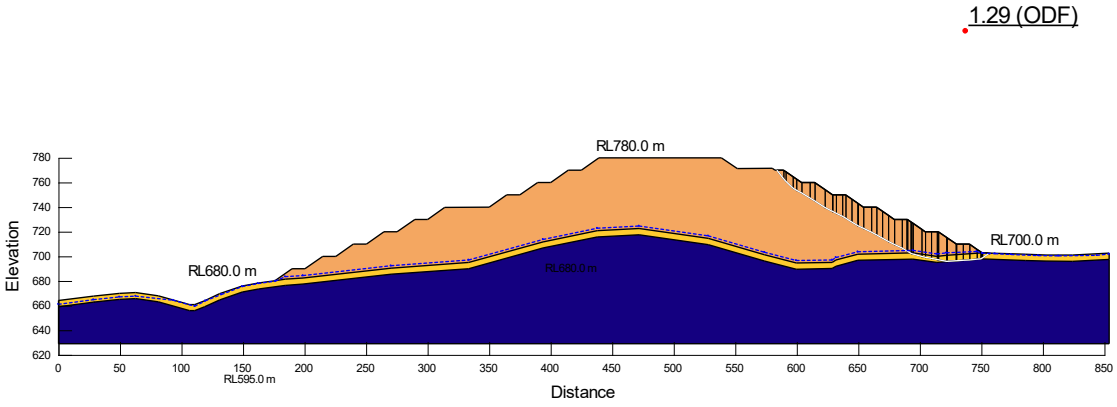


Figura 7.67 – Análise de Estabilidade da escombreira do Reservatório Secção A (U/S) – Pós-sísmico.

Os resultados da análise de estabilidade demonstram que a Escombreira de Estéreis do Reservatório, conforme proposta, apresenta fatores de segurança adequados para as condições de carregamento estáticas e pós-sísmicas, bem como para as combinações de projeto consideradas. Todos os valores calculados são superiores ao fator de segurança mínimo de 1,0, conforme exigido pela EN 1997-1.

7.14.9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos pressupostos adotados e na informação disponível nesta fase, foram realizadas análises de estabilidade para as secções críticas das escombreiras de estéreis do Grandão, Pinheiro e Reservatório. Os resultados das análises indicam que as escombreiras de estéreis propostas apresentam fatores de segurança adequados para as condições estáticas e pós-sísmicas, em conformidade com as diretrizes aplicáveis.

7.15 CLASSIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DE RESÍDUOS

Considerando os pressupostos no Decreto-Lei n.º 10/2010 de 4 de fevereiro que estabelece o regime jurídico a que está sujeita a gestão de resíduos das explorações de

depósitos minerais e de massas minerais, particularmente em relação à 12 classificação das instalações de resíduos nos artigos 9ª e Anexo II do mesmo Decreto-Lei, onde são definidos os critérios de classificação das instalações de resíduos, é proposta a classificação seguinte classificação para as instalações do projeto:

- Instalações de Resíduos – Escombreiras – As 3 escombreiras do projeto não são classificadas na Categoria A, sendo compostas por (rochas) inertes e estáveis.
- Instalações de Resíduos – Rejeitados – Classifica-se como sendo da Categoria A, mesmo sendo compostas por (materiais minerais) inertes e estáveis.

A alínea A) do ANEXO II (a que se refere o artigo 9.º) define os seguintes critérios de classificação das instalações de resíduos:

> *"1 – Uma avaria ou mau funcionamento, tal como o desmoronamento de uma escombreira ou o rebentamento de uma barragem, possam provocar um acidente grave com base numa avaliação de riscos que atenda a factores como ma dimensão actual ou futura, a localização e o impacto ambiental da instalação de resíduos; ou*
>
> *2 – Contiver, acima de um certo limiar, resíduos classificados como perigosos, nos termos da Decreto -Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro; ou*
>
> *3 – Contiver, acima de um certo limiar, substâncias ou preparações classificadas como perigosas nos termos do Decreto -Lei n.º 209/99, de 11*
>
> *Os n.ºs 2 e 3 não são aplicáveis a instalações de resíduos que contenham apenas resíduos inertes ou solo não poluído."*

Assim, como as Escombreiras são constituídas por materiais geológicos inertes (ver classificação de rejeitados), aplica-se apenas o ponto 1. E, como são empilhados em granulometrias e condições geotécnicas (demonstradas na avaliação de estabilidade) como muito estáveis e, mesmo em caso de instabilidade, deslizamento de talude, ou desmoronamento, com a devidas medidas de monitorização e regras operacionais adequadas, não apresentam potencial de provocar um acidente grave, considerando-se adequado não as enquadrar na Categoria A.

No caso da Instalações de Resíduos – Rejeitados provenientes da Lavaria, e considerando que os materiais a ser depositados são inertes (ver classificação de rejeitados), aplica-se apenas o ponto 1. E, mesmo considerando que os fatores de dimensionamento aplicados no design da instalação são mais conservadores que os requisitos de deposição de materiais secos em aterro (demonstrado na avaliação de estabilidade) podendo ser estes critérios equiparados aos aplicáveis a barragens de rejeitados, e ainda assim consideram a instalação como segura, considera-se pela tipologia granulométrica e pelo volume depositado que será prudente classificar a instalação como Categoria A.

Neste Capítulo foi apresentada toda a informação relativas às análises de estabilidade e integridade estrutural, avaliação de riscos e consequências em termos de perdas de vida, riscos para a saúde humana e para o ambiente, bem como o ciclo de vida da

instalação, as regras operacionais e as medidas de monitorização previstas na alínea B) do ANEXO II do Decreto-Lei n.º 10/2010 de 4 de fevereiro, e seguindo as recomendações técnicas nos guias de classificação da DGEG relativos aos elementos a entregar no Plano de Gestão de Resíduos, que permitem concluir esta proposta de classificação como Categoria A.

8 AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÓMICA

A avaliação económica do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso integra o programa de lavra e de processamento, o investimento inicial e de manutenção, os custos operacionais, as receitas de venda, a fiscalidade, o fundo de maneio e os encargos de recuperação ambiental e de encerramento. A análise abrange as fases de construção, exploração e encerramento, com base nos fluxos de caixa do projeto antes de financiamento.

As receitas consideradas resultam da comercialização do concentrado de espodumena e das matérias-primas secundárias. O calendário económico distingue a produção, a evolução dos stocks e as vendas, articulando os respetivos recebimentos e pagamentos com o faseamento das atividades.

Nas condições técnicas, económicas e comerciais adotadas, o caso base apresenta indicadores de viabilidade positivos. A análise de sensibilidade identifica o preço do concentrado como a variável com maior influência entre os cenários testados, sendo também avaliados os efeitos das variações do investimento e dos custos operacionais. Os resultados são específicos dos pressupostos e do inventário considerados, que inclui uma parcela de Recursos Inferidos sem classificação como Reserva de Minério.

A análise detalhada de viabilidade económica consta do Capítulo 8 – confidencial, que reúne os pressupostos, o programa de produção, os investimentos, os custos, as receitas, os fluxos de caixa, os indicadores económicos e as análises de sensibilidade. O plano mineiro e o modelo económico que lhe servem de base constam, respetivamente, dos Anexos VIII.1 e VIII.2, igualmente confidenciais. A descrição técnica das atividades e das medidas de recuperação e encerramento mantém-se nos respetivos capítulos do Plano de Lavra.

9 PLANO AMBIENTAL DE RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA

O presente capítulo do Plano de Lavra sintetiza o Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística (PARP) da Mina do Barroso, desenvolvido em fase de Projeto de Execução, no âmbito do Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE). O documento integral do PARP (T2022-499-Mina do Barroso_PARP-RECAPE_V00 de 30 de outubro de 2026) e as respetivas peças desenhadas constituem o **Anexo IX.1** deste Plano de Lavra, para onde se remete para todos os detalhes de projeto, especificações técnicas e mapa de quantidades completo.

O PARP foi elaborado em conformidade com o Decreto-Lei n.º 30/2021, de 7 de maio, que regulamenta a Lei n.º 54/2015, de 22 de junho, no que respeita aos depósitos minerais, tendo em conta, em particular, o seu artigo 65.º e o conteúdo definido no

Anexo V para projetos sujeitos a Avaliação de Impacte Ambiental. Foram igualmente seguidas as orientações para os Planos de Integração Paisagística constantes do ponto 34 dos "Elementos a Apresentar em RECAPE" da Declaração de Impacte Ambiental (DIA) do projeto, cujo cumprimento se resume na secção 9 deste capítulo.

O PARP centra-se nas medidas de recuperação e integração paisagística das estruturas e intervenções previstas no Plano de Lavra, nomeadamente: Unidade Industrial da Lavaria e Áreas Sociais; acesso entre a Lavaria e as cortas do NOA e do Reservatório; cortas do Reservatório, do Grandão e do Pinheiro; escombreiras; Instalação de Resíduos de Rejeitados (TSF – *Tailings Storage Facility*); reservatórios (RA1, RA2, RA3, RCA e RCS1 e RCS2) e infraestruturas de transporte de água.

O projeto foi desenvolvido por uma equipa de Arquitetura Paisagista com especialização em flora, vegetação e ecologia vegetal, com o apoio das equipas do Estudo de Impacte Ambiental (EIA), nomeadamente do descritor Sistemas Ecológicos (fauna e avifauna), e do Plano de Lavra (estabilidade de aterros).

9.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO

9.1.1 ENQUADRAMENTO

A área de projeto localiza-se no concelho de Boticas, distrito de Vila Real, nos contrafortes da Serra do Barroso, nas encostas sobre o troço terminal do rio Covas, pouco antes da sua confluência com o rio Beça. O relevo é acidentado, com vales encaixados e predomínio de encostas com declives superiores a 16 %, e solos pobres e incipientes. Os solos mais férteis ocorrem apenas na base das encostas, junto às linhas de água, ocupados habitualmente por pastagens permanentes (lameiros) associadas a alinhamentos de folhosas, suporte da atividade pecuária de bovinos e ovinos.

Em termos biogeográficos, a área insere-se no Distrito Serrano Barrosão-Cabreirense (Setor Serrano Norlusitano, Província Atlântica Europeia), com macrobioclima Mediterrânico, termotipo predominantemente Mesomediterrânico superior e ombrotipo Húmido. A área está ainda abrangida, no seu extremo sul, pelo sítio GIAHS (*Globally Important Agricultural Heritage Systems*) "Sistema Agro-silvo-pastoril do Barroso", reconhecido pela FAO pela preservação do sistema agro-silvo-pastoril tradicional de montanha.

9.1.2 VEGETAÇÃO POTENCIAL

A vegetação natural climatófila enquadra-se na série *Viburno tini-Querco roboris Sigmetum*, cuja etapa climácica é um bosque de carvalho-alvarinho (*Quercus robur*), onde surgem frequentemente sobreiros e, mais raramente, carvalho-negral e zambujeiro. As etapas de substituição correspondem, sucessivamente, a matagais de medronheiro, giestais, prados vivazes de gramíneas altas e, nas etapas mais degradadas, tojais e urzais baixos.

Ao longo das linhas de água, a geossérie ripícola potencial inclui as séries do amial ripícola (*Galio broteroani-Alneto glutinosae* S.), do borrazeiral-negro (*Rubo lainzii-Salico salvifoliae* S.), do borrazeiral-branco (*Salico salvifoliae* S.) e a série herbácea de leitos rochosos (*Galio broteroanae-Carico reuterianae*).

9.1.3 SITUAÇÃO ATUAL

A área de projeto é maioritariamente ocupada por matos e florestas de pinheiro-bravo, resultantes de regeneração natural após os incêndios de 2008 e 2010, que destruíram os povoamentos de produção anteriormente existentes. Na base das encostas ocorrem florestas de espécies autóctones (carvalho-alvarinho e sobreiro) e, ao longo das linhas de água, galerias ripícolas dominadas por amieiros, com freixos e borrazeiras. Pontualmente existem áreas agrícolas, sobretudo lameiros, e pequenas parcelas de vinha e olival junto a Romainho (Figura 9.1 e Figura 9.2).



Figura 9.1 - Área de implementação do projeto. Predomínio da floresta de pinheiro-bravo

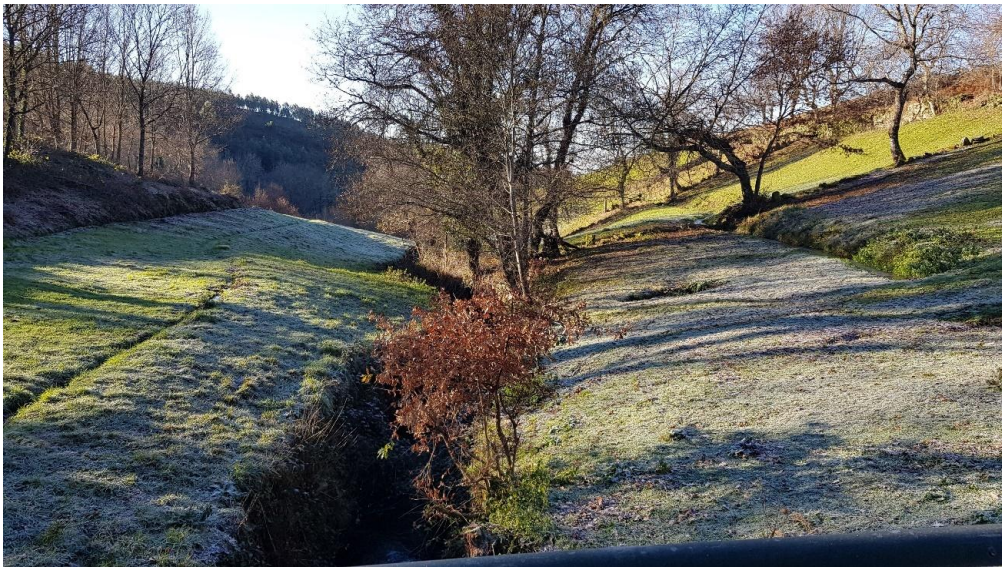


Figura 9.2 – Lameiro junto a uma linha de água

9.1.4 SITUAÇÃO PRÉVIA ÀS INTERVENÇÕES

À data das intervenções, todas as áreas a tratar apresentarão uma topografia decorrente da evolução da lavra, definida a montante do PARP no presente Plano de Lavra. Consoante a sua tipologia, distinguem-se intervenções permanentes (recuperação final) e intervenções temporárias (integração paisagística durante a exploração), conforme a Tabela 9.1.

Tabela 9.1 – Situações de partida das áreas de intervenção

Área de intervenção	Situação à data da intervenção
Intervenções permanentes	
Escombreiras	Depósito de estéreis em aterro, de granulometria muito variada
Cortas	Maciço rochoso exposto em patamares e escombro depositado na área de escavação
Escombreira temporária	Relevo próximo do atual, após remoção dos escombros depositados temporariamente
Aterro de rejeitados (TSF)	Rejeitados finos confinados em geomembrana, cobertos com escombro de granulometria variada
Barragens e albufeiras (reservatórios)	Relevo próximo do atual, após remoção da barragem; eventual deposição de sedimentos nas áreas inundadas
Lavaria, Áreas Sociais e infraestruturas de apoio	Espaços com edificações, instalações industriais e equipamentos a desmantelar
Espaços intersticiais da Lavaria e Áreas Sociais	Espaços sujeitos previamente a vários tipos de intervenção
Canais, tubaria enterrada e acessos temporários	Recobrimento das estruturas desativadas, após reposição do relevo
Intervenções temporárias	
Acessos criados ou melhorados	Taludes recentemente criados
Pargas	Taludes recentes de armazenamento temporário de terra viva
Corta do Grandão (parcial)	Maciço rochoso exposto em patamares
Escombreiras temporária e do NOA	Depósito de estéreis em aterro, de granulometria muito variada
Encosto de reforço (*buttress*) da TSF	Material de aterro zonado

9.2 OBJETIVOS E PRINCÍPIOS

O objetivo geral do PARP é a recuperação de todas as áreas afetadas temporariamente pela exploração, com reposição do relevo e da ocupação do solo anteriores, e a integração cénica e funcional na paisagem envolvente de todas as estruturas e elementos novos, de caráter duradouro ou permanente, que surgirão ao longo da vida da mina.

A recuperação inicia-se o mais cedo possível — ainda na fase de construção para as estruturas presentes durante toda a vida do projeto e imediatamente após o encerramento de cada estrutura, em concomitância com a lavra — de forma a reduzir, e eventualmente eliminar, alguns dos impactes negativos da atividade mineira. O restauro da vegetação recorre exclusivamente a espécies autóctones e arqueófitos, respeitando a posição no território dos biótopos higrófilos e temporohigrófilos ("Sistema Húmido") e mesófilos ou edafoxerófilos ("Sistema Seco"), de modo a garantir a continuidade da leitura da paisagem.

Os objetivos específicos do PARP são os seguintes:

- Criação de cortinas de vegetação ao longo dos acessos, nos troços potencialmente visíveis a partir das povoações próximas;

- Estabilização das áreas intervencionadas, após recobrimento com terra viva das decapagens, através de hidrossementeiras;
- Integração dos novos volumes criados, através da sua vegetalização e da criação de sebes arbóreo-arbustivas, minimizando os impactes cénicos sobre as povoações;
- Recuperação das áreas afetadas temporariamente, com modelação naturalizada do terreno e revestimento com terra viva, promovendo a regeneração natural;
- Restauro da vegetação ripícola ao longo das linhas de água afetadas;
- Restauro da vegetação arbustiva e arbórea nativa.

Para assegurar a disponibilidade de plantas e sementes, deverá ser estabelecido, logo que possível e preferencialmente antes do primeiro ano de trabalhos preparatórios, um contrato com uma empresa especializada na propagação de espécies autóctones portuguesas.

9.3 CONCEÇÃO DAS INTERVENÇÕES

A estrutura formal da área (rede de caminhos, localização de infraestruturas e modelação) é definida *a priori* pelo projeto da mina e pelo presente Plano de Lavra. O PARP acompanha os trabalhos de lavra de acordo com o seu faseamento, focando-se na componente vegetal a implementar nas áreas da mina, acessos e envolvente imediata.

Embora a área de projeto seja maioritariamente mesófila, as cortas e escombreiras a recuperar, por corresponderem a depósitos de materiais rochosos cobertos por terra viva, terão baixa capacidade de retenção de água, constituindo biótopos análogos a situações edafoxerófilas. Junto às linhas de água ocorrem biótopos edafohigrófilos (vegetação ripícola) e, no contacto entre ambas as situações, na base das encostas, comunidades temporohigrófilas.

9.3.1 TIPOLOGIAS DE INTERVENÇÃO

A Tabela 9.2 sintetiza as soluções preconizadas para cada tipologia de intervenção. Os módulos de plantação e as misturas de sementeira referidos são descritos na secção 9.3.3.

Tabela 9.2 – Síntese das tipologias de intervenção do PARP

Tipologia	Solução preconizada	Módulo / Sementeira
Espaços intersticiais da Lavaria e Áreas Sociais	Barreira arbóreo-arbustiva com 16 m de largura (5 alinhamentos), com espécies caducas e persistentes, para minimizar o impacte cénico e reduzir a luminosidade noturna sobre as alcateias de lobo-ibérico; hidrossementeira para estabilização das superfícies	Módulo 1 Sementeira 1

Tipologia	Solução preconizada	Módulo / Sementeira
Acessos (ligação entre núcleos, c. 4,8 km; internos, c. 12,8 km)	Espalhamento de terra viva e hidrossementeira dos taludes logo após a construção; árvores de alinhamento de crescimento rápido no acesso de ligação, nos troços visíveis das povoações (a 5 m da via). Na desativação: remoção de pavimentos, descompactação, terra viva e hidrossementeira	Módulo 2 Sementeira 1
Pargas	Decapagem prévia de todas as áreas afetadas e armazenamento em pargas (solos agrícolas em separado), segundo o Plano de Gestão das Pargas de Solo Vivo; sementeira de proteção; após desmonte, reposição do relevo e plantação mesófila	Sementeira 4 Módulo 5
Cortas e escombreiras permanentes	Enchimento das cortas com estéreis até cotas próximas das iniciais; cobertura com terra viva, hidrossementeira arbóreo-arbustiva e plantação edafoxerófila. Intervenção temporária nas áreas da corta do Grandão e da escombreira do NOA visíveis das povoações	Módulo 6 Sementeira 1
Escombreira temporária	Intervenção temporária nas áreas expostas (terra viva, hidrossementeira e plantação). Após remoção do escombro: limpeza, descompactação e plantação segundo as condições ecológicas — ripícola nos talvegues, temporohigrófila na base das encostas e mesófila nas restantes	Módulos 6, 3, 4 e 5 Sementeira 1
Aterro de rejeitados (TSF)	Três alinhamentos de árvores de crescimento rápido no encosto de reforço (*buttress*). Na área de depósito, apenas hidrossementeira herbácea e de arbustos baixos, sem espécies arbóreas cujas raízes possam afetar a geomembrana	Módulo 2 Sementeira 2
Lavaria, escritórios e oficinas	Remoção das estruturas e reposição da topografia (ou manutenção dos socalcos, se acordado com os proprietários); terra viva, hidrossementeira e plantação edafoxerófila	Módulo 6 Sementeira 1
Barragens e albufeiras (reservatórios)	Remoção das barragens e modelação a cotas semelhantes às iniciais; terra viva se disponível; vegetação ripícola nos talvegues e temporohigrófila na restante área, após sementeira de prado	Módulos 3 e 4 Sementeira 3
Canais, tubaria e acessos temporários	Remoção total das estruturas, descompactação, reposição da topografia, terra viva e hidrossementeira; plantação higrófila nos cruzamentos com linhas de água	Módulo 3 Sementeira 1

9.3.2 ACABAMENTO DAS SUPERFÍCIES

Previamente ao espalhamento da terra viva, as superfícies de aterro a tratar serão acabadas com uma camada de materiais estéreis, com pelo menos 2 m de espessura, disposta em camadas de granulometria decrescente (Figura 9.3), de forma a criar condições de viabilidade para o desenvolvimento do sistema radicular das árvores (alínea k) da DIA). A espessura desta camada será variável, eliminando formas excessivamente geométricas e arestas vivas e privilegiando formas orgânicas, com perfis em "S" e concavidades e convexidades naturais.

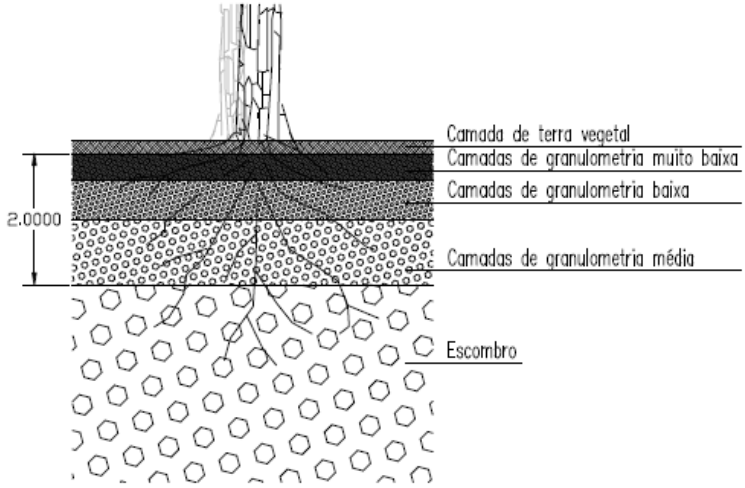


Figura 9.3 – Pormenor da camada de acabamento das superfícies de aterro a tratar

Fonte: PARP da Mina do Barroso (Anexo IX.1)

9.3.3 MATERIAL VEGETAL

9.3.3.1 MÓDULOS DE PLANTAÇÃO

As plantações recorrem a 23 espécies — 12 arbóreas e 11 arbustivas — todas autóctones da unidade biogeográfica em presença, com exceção de um arqueófito (o castanheiro), combinadas em seis módulos-tipo repetíveis lateral e longitudinalmente. A seleção dá resposta às alíneas d) e e) da DIA, distinguindo quatro situações ecológicas: galeria ripícola, vegetação temporohigrófila de base de encosta, vegetação mesófila e vegetação edafoxerófila.

Tabela 9.3 – Módulos de plantação

Módulo	Dimensão	Composição	Aplicação
M1 – Barreira arbóreo-arbustiva	16 m de largura (5 alinhamentos a 4 m)	Zambujeiro, sobreiro, folhado, carvalho-alvarinho, pilriteiro, bordo, freixo, cerejeira-brava, borrazeira-preta, loureiro, medronheiro, azevinho	Envolvente da Lavaria e Áreas Sociais
M2 – Árvores de alinhamento	Alinhamentos simples ou múltiplos, a 5 m das vias	Bordo, freixo, lódão-bastardo, choupo-negro (crescimento rápido)	Acesso de ligação entre núcleos; encosto da TSF
M3 – Galeria ripícola	7 m de largura (2 alinhamentos)	Amieiro, borrazeira-branca, borrazeira-preta, freixo, sanguinho-de-água	Linhas de água e talvegues
M4 – Temporohigrófilo	21 × 15 m	Castanheiro, carvalho-alvarinho, azereiro, azevinho, aveleira, pilriteiro	Base das encostas e solos frescos

Módulo	Dimensão	Composição	Aplicação
M5 – Mesófilo	16 × 20 m	Carvalho-alvarinho, carvalho-negral, sobreiro, zambujeiro, medronheiro, urze-branca	Áreas de pargas e encostas
M6 – Edafoxerófilo	16 × 12 m	Sobreiro, zambujeiro, freixo, medronheiro, urze-branca	Cortas, escombreiras e área da Lavaria

As figuras seguintes reproduzem os planos-tipo dos seis módulos, cujos pormenores constam do Desenho 16 do Anexo do PARP.

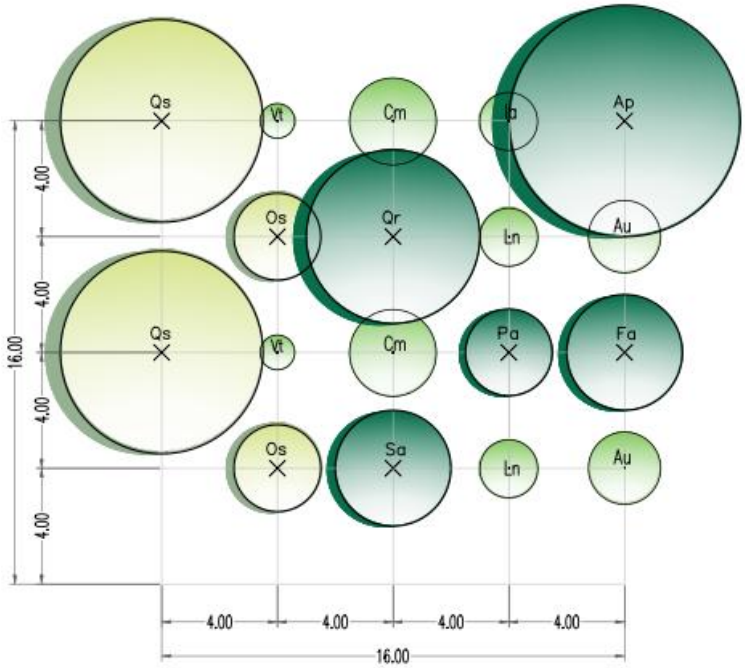


Figura 9.4 – Módulo 1 – Barreira arbóreo-arbustiva

Ap – *Acer pseudoplatanus*; Au – *Arbutus unedo*; Cm – *Crataegus monogyna*; Fa – *Fraxinus angustifolia*; Ln – *Laurus nobilis*; Os – *Olea europaea* var. *sylvestris*; Pa – *Prunus avium*; Qr – *Quercus robur*; Qs – *Quercus suber*; Sa – *Salix atrocinerea*; Vt – *Viburnum tinus*

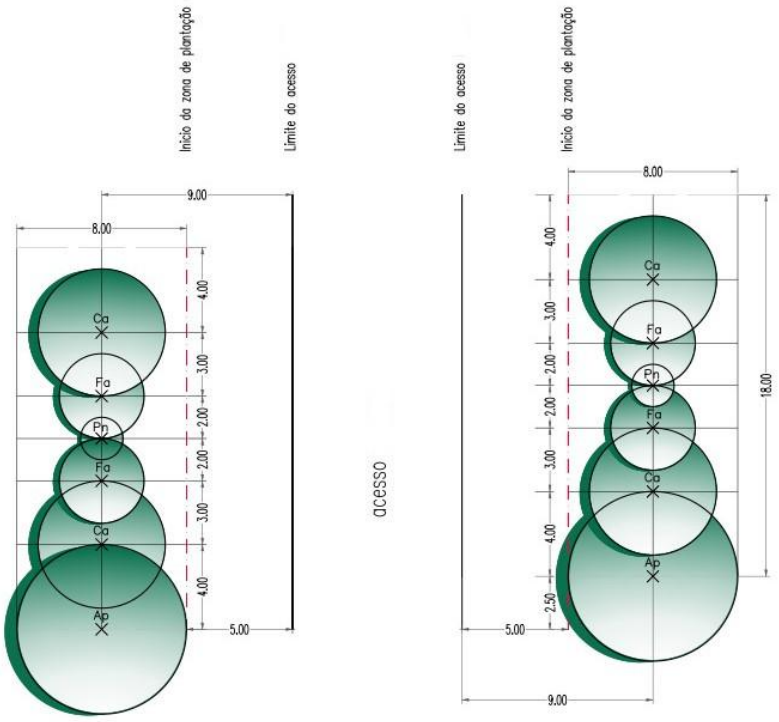


Figura 9.5 – Módulo 2 – Plantação de árvores de alinhamento em acessos

Ap – *Acer pseudoplatanus*; Ca – *Celtis australis*; Fa – *Fraxinus angustifolia*; Pn – *Populus nigra*

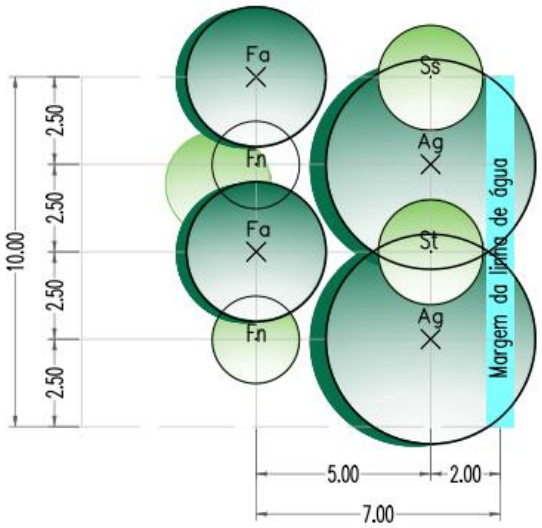


Figura 9.6 – Módulo 3 – Galeria arbóreo-arbustiva em margens de linhas de água

Ag – *Alnus glutinosa*; Fa – *Fraxinus angustifolia*; Fn – *Frangula alnus*; Ss – *Salix salviifolia*; St – *Salix atrocinerea*

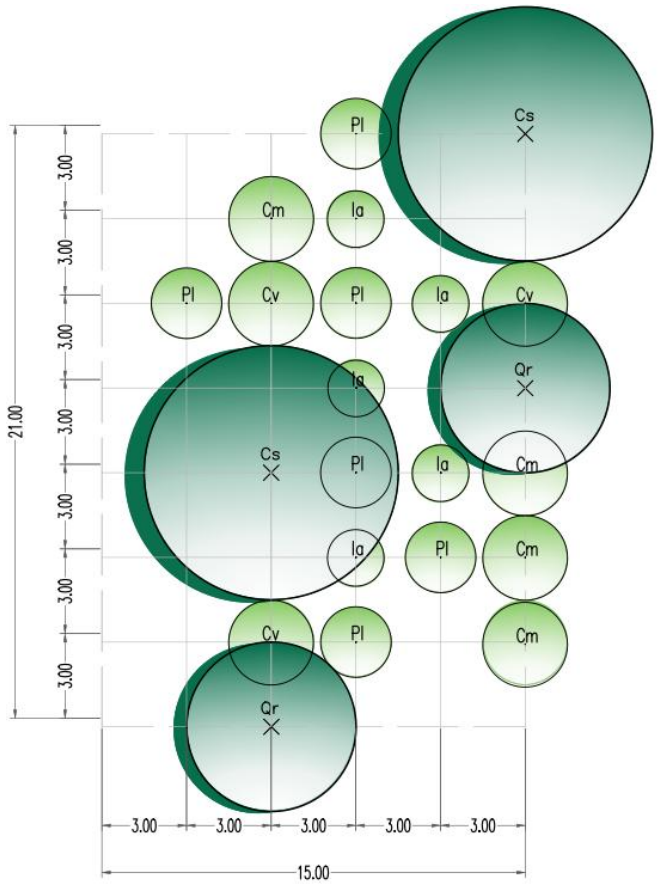


Figura 9.7 – Módulo 4 – Plantação arbóreo-arbustiva temporohigrófila (base das encostas)

Cm – *Crataegus monogyna*; Cs – *Castanea sativa*; Cv – *Corylus avellana*; Ia – *Ilex aquifolium*; Pl – *Prunus lusitanica*; Qr – *Quercus robur*

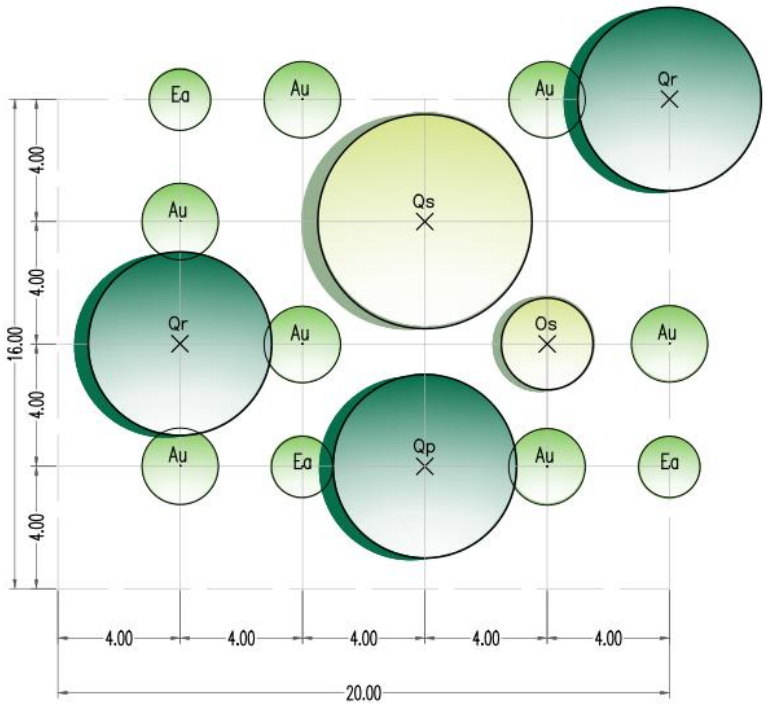


Figura 9.8 – Módulo 5 – Plantação arbóreo-arbustiva mesófila

Au – *Arbutus unedo*; Ea – *Erica arborea*; Os – *Olea europaea* var. *sylvestris*; Qp – *Quercus pyrenaica*; Qr – *Quercus robur*; Qs – *Quercus suber*

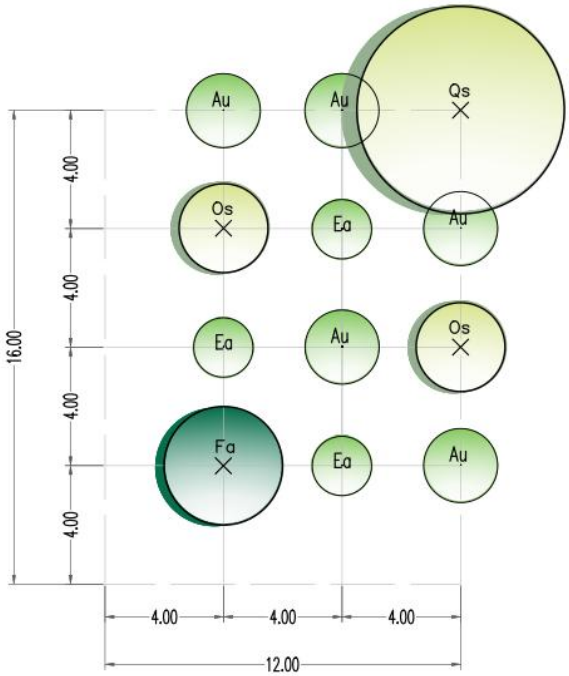


Figura 9.9 – Módulo 6 – Plantação arbóreo-arbustiva edafoxerófila

Au – *Arbutus unedo*; Ea – *Erica arborea*; Fa – *Fraxinus angustifolia*; Qs – *Quercus suber*

9.3.3.2 ESPÉCIES A PLANTAR

A Tabela 9.4 apresenta as características gerais das espécies a plantar consideradas relevantes no âmbito do PARP.

Tabela 9.4 – Características gerais das espécies a plantar

Nome científico	Sigla	Nome comum	Folhagem	Crescimento	Altura média (m)	Diâmetro médio (m)
Árvores						
Acer pseudoplatanus	Ap	bordo	caduca	rápido	20-25	8-10
Alnus glutinosa	Ag	amieiro	caduca	rápido	15-25	6-8
Castanea sativa	Cs	castanheiro	caduca	rápido	20-25	12-20
Celtis australis	Ca	lódão-bastardo	caduca	médio	10-20	6-8
Fraxinus angustifolia	Fa	freixo	caduca	rápido	10-20	6-12
Olea europaea var. *sylvestris*	Os	zambujeiro	persistente	lento	5-10	4-5
Populus nigra	Pn	choupo-negro	caduca	rápido	23-30	2-4
Prunus avium	Pa	cerejeira-brava	caduca	rápido	10-15	2-4
Quercus pyrenaica	Qp	carvalho-negral	caduca	médio	15-20	6-10
Quercus robur	Qr	carvalho-alvarinho	caduca	médio	10-12	6-10
Quercus suber	Qs	sobreiro	persistente	lento	8-10	6-10
Sorbus aucuparia	Sa	tramazeira	caduca	médio	10-15	3-6
Arbustos						
Arbutus unedo	Au	medronheiro	persistente	médio	2-6	2-3
Corylus avellana	Cv	aveleira	caduca	médio	2-6	2-4
Crataegus monogyna	Cm	pilriteiro	caduca	médio	4-8	2-4
Erica arborea	Ea	urze-branca	persistente	médio	5-7	1-5
Frangula alnus	Fn	sanguinho-de-água	caduca	médio	5	2,5
Ilex aquifolium	Ia	azevinho	persistente	lento	8-10	2-4
Laurus nobilis	Ln	loureiro	persistente	médio	3-8	2-3
Prunus lusitanica	Pl	azereiro	persistente	médio	3-4	2-3
Salix salviifolia	Ss	borrazeira-branca	caduca	rápido	5-6	2-4
Salix atrocinerea	St	borrazeira-preta	caduca	rápido	5-6	2-4
Viburnum tinus	Vt	folhado	persistente	médio	2	1,2

9.3.3.3 SEMENTEIRAS

As plantações são complementadas por sementeiras, realizadas por sementeira direta (prados e proteção das pargas) ou por hidrossementeira, com recurso a fibras de madeira, estabilizadores e fertilizantes, quando se pretende uma estabilização mais rápida do solo. As misturas definidas resumem-se na Tabela 9.5.

Tabela 9.5 – Misturas de sementeira

Tipologia	Composição (% em peso)	Densidade	Aplicação
S1 – Hidrossementeira herbácea e arbustiva	Herbácea: *Ornithopus compressus* 28 %, *Lolium perenne* 19 %, *Trifolium incarnatum* 19 %, *Lupinus luteus* 17 %, *Dactylis glomerata* 10 %, *Lotus corniculatus* 7 % Arbustiva: *Rosa canina* 35 %, *Cytisus multiflorus* 20 %, *Cytisus striatus* 20 %, *Lonicera periclymenum* 20 %, *Cistus psilosepalus* 5 %	Herbácea: 20 kg/ha (aterro); 25 kg/ha (escavação) Arbustiva: 2 kg/ha (aterro); 4 kg/ha (escavação)	Maioria das situações (taludes, cortas, escombreiras, acessos)
S2 – Hidrossementeira sem arbustos altos	Herbácea: idêntica à S1 Arbustiva: *Pterospartum tridentatum* 58 %, *Cistus psilosepalus* 25 %, *Lavandula pedunculata* 17 %	Herbácea: 20 kg/ha Arbustiva: 2 kg/ha	Cobertura da TSF
S3 – Mistura de prado	*Lolium perenne* 40 %, *Arrhenatherum elatius* 33 %, *Festuca arundinacea* 15 %, *Trifolium pratense* 6 %, *Trifolium repens* 6 %, *Trifolium resupinatum* 2 %, *Agrostis castellana* 1 %	20 kg/ha	Áreas planas junto às linhas de água e de maior frescura edáfica (reservatórios)
S4 – Proteção das pargas	Tremocilha (*Lupinus luteus*) no outono; abóbora (*Cucurbita pepo*) na primavera	50 kg/ha	Pargas com permanência superior a 6 meses (repetida sempre que necessário)

9.4 FASEAMENTO

As ações de integração e recuperação paisagística serão executadas de forma concomitante com a instalação da mina e o avanço da lavra, intervindo-se em cada área logo após a sua desativação, sempre que compatível com a atividade mineira. A implementação do PARP decorre ao longo de 22 anos, entre o ano -2 (início da construção) e o ano 20, cinco anos após o fim da exploração (ano 15). O faseamento indicativo, definido de acordo com o Plano de Lavra e a adaptar à evolução real dos trabalhos, resume-se na Tabela 6.

Tabela 9.6 – Faseamento indicativo dos trabalhos do PARP

Período	Atividade mineira relevante	Trabalhos do PARP
Após aprovação	—	Contrato com empresa especializada para recolha de sementes e propagação de plantas autóctones

Período	Atividade mineira relevante	Trabalhos do PARP
Ano -2	Início da decapagem e criação de pargas; abertura/melhoria de acessos; estágio 1 do muro de encosto da TSF	Sementeira das pargas; estabilização dos taludes dos acessos
Ano -1	Continuação da decapagem; estágios 1 e 2 do muro da TSF	Sementeiras e ressementeiras das pargas; taludes dos acessos; plantação da envolvente da Lavaria e Áreas Sociais e do encosto da TSF
Anos 1 a 3	Início da exploração das cortas do Grandão e do Pinheiro; fim da exploração do Pinheiro (ano 3)	Sementeiras e ressementeiras das pargas
Anos 4 e 5	Início do enchimento da corta do Pinheiro	Pargas; intervenção temporária na corta do Grandão
Ano 6	Continuação da exploração	Pargas; intervenção temporária na escombreira temporária
Ano 7	Continuação da exploração	Sementeiras e ressementeiras das pargas
Ano 8	Construção do acesso de ligação entre núcleos; início da exploração da corta do NOA	Pargas; estabilização e plantação do acesso de ligação; taludes dos acessos internos do núcleo norte
Ano 9	Fim da exploração do NOA; início da corta do Reservatório	Sementeiras e ressementeiras das pargas
Anos 10 e 11	Continuação da exploração	Pargas; intervenção temporária na escombreira do NOA
Anos 12 a 14	Recobrimento da escombreira do Grandão com terras das pargas (a partir do ano 12)	Pargas; possível início da recuperação da escombreira temporária do Grandão
Ano 15	Último ano de exploração (corta do Reservatório) e de operação da Lavaria	Pargas; recuperação da escombreira temporária; recuperação do reservatório RA2 e infraestruturas associadas
Ano 16	Fim da extração; consolidação e cobertura da TSF	Escombreira temporária; início da recuperação das escombreiras do Reservatório e do Pinheiro
Ano 17	Reabilitação	Continuação dos trabalhos anteriores; início da recuperação da escombreira do NOA e da TSF
Ano 18	Reabilitação	Conclusão da escombreira temporária e do NOA; início da corta do Grandão e da área da Lavaria; recuperação dos reservatórios RCA2, RCS1 e RCS2
Ano 19	Reabilitação	Conclusão das escombreiras do Reservatório e do Pinheiro, da corta do Grandão e da área da Lavaria; recuperação dos reservatórios RA1 e RCA1
Ano 20	Desativação e remoção de todas as estruturas remanescentes (acessos temporários, estaleiros)	Recuperação das últimas áreas libertadas; início da monitorização, manutenção e conservação

Fonte: PARP da Mina do Barroso (Anexo IX.1)

9.4.1 MANUTENÇÃO E GESTÃO DA VEGETAÇÃO

9.4.2 PROGRAMA DE MANUTENÇÃO

Após a conclusão das plantações em cada fase, e mediante inspeção da fiscalização, é acionada a receção provisória, iniciando-se o período de garantia, durante o qual a manutenção do material vegetal é da responsabilidade do executante. Este período não será inferior a 3 anos após a entrega provisória dos trabalhos e compreende:

- **Podas** de formação e manutenção, apenas sob orientação da fiscalização, preservando a forma natural das árvores (podas de caducifólias no inverno, entre dezembro e março, e eventual poda estival moderada);
- **Retanchas**, com substituição dos exemplares em más condições por outros equivalentes, garantindo as densidades e localizações dos planos de plantação;
- **Ressementeiras** sempre que a cobertura obtida nas áreas semeadas ou hidrossemeadas seja inferior a 70 %;
- **Tratamentos fitossanitários**, com vigilância contínua e intervenção apenas após consulta à fiscalização;
- **Tutoragem e proteção contra a herbivoria**, com colocação ou substituição de tutores e protetores (tipo Tubex Ventex ou equivalente, com 1,2 m para árvores e 0,8 m para arbustos, ou rede ovelheira a separar zonas plantadas de zonas semeadas que possam ser pastoreadas);
- Ceifas, fertilizações e desbastes, de acordo com o calendário de operações do PARP.

9.4.3 PLANO DE GESTÃO DA VEGETAÇÃO

Findo o período de garantia, a vegetação instalada será sujeita a um plano de gestão de longo prazo que inclui podas de correção estritamente necessárias (formação do fuste ou fins sanitários), retanchas dos exemplares mortos ou em más condições, vigilância fitossanitária, substituição e posterior remoção de tutores e protetores quando deixem de ser necessários, e limpeza geral das áreas plantadas, com encaminhamento dos detritos para vazadouro certificado.

9.5 CONDIÇÕES TÉCNICAS DE EXECUÇÃO

O Caderno de Encargos do PARP (Anexo) estabelece as condições técnicas de execução dos trabalhos, das quais se destacam:

- **Antecedência das encomendas** – o material vegetal e as sementes devem ser encomendados com pelo menos três anos de antecedência;
- **Análises de terra** – realização de análises (pH, condutividade elétrica, N, P e K assimiláveis, textura, fertilidade e micronutrientes) antes de qualquer trabalho, nas zonas baixas e altas da exploração, e numa das áreas que estiveram submersas, podendo os resultados conduzir a ajustes dos planos de plantação e das fertilizações;
- **Descompactação** – limpeza de materiais impermeabilizantes e estranhos (incluindo fundações) e ripagem de todas as áreas compactadas;
- **Terra viva** – proveniente das decapagens, com espessura média mínima de 0,10 m, isenta de elementos superiores a 50 mm e com pedra miúda inferior a 10 % do volume;

- **Material vegetal** – exemplares certificados, de origem preferencialmente local, isentos de *Xylella fastidiosa* subsp. *multiplex* e *Trioza erytreae*; árvores em contentor com PAP 6/8 cm e altura de 80/120 cm; arbustos em contentor com 0,30 a 0,60 m e 3 a 5 caules;
- **Plantação** – covas de 0,5 m × 0,5 m, fertilização orgânica, tutoragem, proteção contra herbívoros e rega de instalação; as sementeiras realizam-se, sempre que possível, após as plantações;
- **Medidas cautelares** – proteção da vegetação existente e da área envolvente, com reposição da situação original pelo executante em caso de dano.

9.6 ESTIMATIVA DE QUANTIDADES

O mapa de quantidades do PARP distingue as intervenções temporárias, realizadas durante a exploração, das intervenções permanentes de recuperação final. A Tabela 9.7 apresenta a síntese das principais quantidades e a Tabela 9.8 a distribuição dos exemplares por módulo de plantação. As quantidades de árvores e arbustos correspondem a valores máximos, estimados para a situação teórica de solo nu; dado que parte da vegetação existente será mantida, os valores finais serão inferiores.

Tabela 9.7 – Síntese das principais quantidades do PARP

Designação	Un.	Temporárias	Permanentes	Total
Análises de solo	un.	2	10	12
Distribuição de terra viva proveniente das pargas	m³	242 992	591 722	834 714
Regularização final do terreno	ha	121,50	295,86	417,36
Árvores a plantar	un.	7 618	102 705	110 323
Arbustos a plantar	un.	11 336	158 189	169 525
Sementeira de pargas (S4)	ha	42,41	—	42,41
Sementeira de prado (S3)	ha	—	32,98	32,98
Hidrossementeira em aterro (S1)	ha	6,06	178,94	185,00
Hidrossementeira em escavação (S1)	ha	43,48	185,52	229,00
Hidrossementeira sem arbustos altos (S2)	ha	—	27,34	27,34
Manutenção de zonas plantadas (3 anos)	ha	31,88	268,52	300,40
Manutenção de zonas semeadas (3 anos)	ha	89,62	27,34	116,96

Tabela 9.8 – Número de exemplares a plantar por módulo

Módulo	Intervenção	Árvores	Arbustos	Total
M1 – Barreira arbóreo-arbustiva	Permanente	47 781	47 781	95 562
M2 – Árvores de alinhamento	Temporária	1 950	—	1 950
M3 – Galeria ripícola	Permanente	5 944	1 981	7 925
M4 – Temporohigrófilo	Permanente	4 188	18 846	23 034
M5 – Mesófilo	Permanente	7 540	15 077	22 617
M6 – Edafoxerófilo	Temporária	5 668	11 336	17 004

Módulo	Intervenção	Árvores	Arbustos	Total
M6 – Edafoxerófilo	Permanente	37 252	74 504	111 756
Total		**110 323**	**169 525**	**279 848**

9.7 CUMPRIMENTO DA DIA

O PARP responde ponto a ponto às orientações do ponto 34 dos "Elementos a Apresentar em RECAPE" da DIA. A Tabela 9.9 resume a forma como cada orientação é acolhida.

Tabela 9.9 – Síntese do cumprimento das orientações da DIA (ponto 34)

Alínea	Orientação	Resposta do PARP
a)	Equipa interdisciplinar	Arquitetos paisagistas com especialização em flora, vegetação e ecologia vegetal, apoiados pelas equipas do EIA (fauna) e do Plano de Lavra (estabilidade de aterros)
b), c)	Memória descritiva e componentes do projeto	Todas as componentes indicadas na DIA são objeto de intervenção, organizadas por tipologias (secção 4.1)
d)	Elenco exclusivamente autóctone, diferenciado por situação ecológica	23 espécies autóctones (incluindo um arqueófito), identificadas até à subespécie quando aplicável, distribuídas por quatro situações ecológicas
e)	Design ecológico em mosaico e orientações para a UP 13	Elenco de várias etapas sucessionais; diferenciação natural do mosaico bosquete-orla-clareira; reposição do relevo e da ocupação, em linha com a preservação da UP 13 – Serras do Larouco e Barroso
f), n)	Modelação orgânica e abrigo para avifauna	Reposição do relevo como premissa; onde não coincide com o atual, modelação final com perfis em "S" e concavidades/convexidades; abrigos surgirão com a recuperação da vegetação
g)	Barreiras de vegetação na Lavaria e Áreas Sociais	Barreira arbóreo-arbustiva (Módulo 1) na envolvente, apresentada no Desenho 01
h), i), j), p)	Fruição pública, miradouros, faces expostas e outras propostas	Não prevista visitação após o encerramento; a ocorrer, será objeto de projeto autónomo. Não existem condições de visibilidade para miradouros; a reposição do relevo não permite manter faces expostas
k)	Camada de 2 m com granulometrias diferenciadas	Acolhida (secção 4.2 e Caderno de Encargos)
l)	Áreas de solo compatíveis com bosquete alternando com clareiras/pastagens	Diferenciação por processos naturais; mistura de prado com gramíneas e leguminosas nas áreas depressionárias (lameiros), passível de pastoreio
m)	Planos de água de forma dendrítica	Não está prevista a criação de planos de água
o)	Plantações junto a canais, base das escombreiras/TSF, rampas e barragens	Alinhamentos arbóreos na base da TSF e barreiras nas escombreiras temporária e do NOA; intervenções temporárias nas rampas do Grandão e do NOA; infraestruturas hidráulicas pouco visíveis e já envolvidas por floresta, a recuperar no encerramento

9.8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O PARP da Mina do Barroso assegura a recuperação de todas as áreas afetadas pela exploração e a integração paisagística das estruturas permanentes, assente na reposição do relevo e da ocupação do solo pré-existentes e no restauro da vegetação natural com espécies exclusivamente autóctones, adaptadas às condições ecológicas de cada local. A recuperação é progressiva e concomitante com a lavra, iniciando-se na fase de construção e prolongando-se até cinco anos após o fim da exploração, seguida de um período de manutenção e de gestão da vegetação.

Para a boa implementação do PARP em articulação com o presente Plano de Lavra, recomenda-se:

- Contratar, logo após a aprovação do projeto, uma empresa especializada em propagação de espécies autóctones e acautelar as encomendas de plantas e sementes com, pelo menos, três anos de antecedência;
- Garantir a decapagem prévia de todas as áreas a afetar e a correta gestão das pargas, de acordo com o Plano de Gestão das Pargas de Solo Vivo, uma vez que a terra viva é o recurso crítico para a recuperação;
- Atualizar o faseamento do PARP sempre que o ritmo da lavra se afaste do previsto, mantendo o princípio de intervir em cada área logo que desativada;
- Assegurar a execução da camada de acabamento de 2 m sobre as superfícies de aterro, condição para o desenvolvimento das espécies arbóreas;
- Salvaguardar a integridade da geomembrana da TSF, restringindo a sua cobertura a espécies herbáceas e arbustivas baixas;
- Monitorizar a evolução das áreas recuperadas, em especial das antigas albufeiras, cuja recuperação apresenta maior incerteza, ajustando as intervenções se necessário.

10 PLANO DE SEGURANÇA E SAÚDE

10.1 ENQUADRAMENTO

Em cumprimento do disposto no Decreto-Lei n.º 273/2003, de 29 de outubro, foi elaborado o Plano de Segurança e Saúde em fase de Projeto (PSS) referente ao Plano de Lavra da Ampliação da Mina do Barroso, localizado nas freguesias de Covas do Barroso e de Dornelas, concelho de Boticas, de que é requerente a Savannah Lithium, Lda.

O PSS constitui um documento autónomo e integra o presente Plano de Lavra como Anexo X.1 – Plano de Segurança e Saúde (T2023-453-PLANO DE SEGURANCA E SAUDE MINA DO BARROSO), para o qual se remete a consulta detalhada.

10.2 ÂMBITO E OBJETIVOS

O PSS aplica-se a todas as atividades desenvolvidas no estaleiro e nas zonas imediatamente contíguas, bem como aos locais onde se desenvolvam trabalhos sob orientação e responsabilidade da Entidade Executante, abrangendo as intervenções previstas no âmbito da ampliação, nomeadamente a abertura e exploração das cortas, a construção do Estabelecimento Industrial de tratamento da mineralização, os acessos, as instalações de resíduos e as instalações de apoio.

Tem como objetivos garantir condições de segurança e saúde adequadas a todos os trabalhadores, minimizar a sinistralidade laboral e as doenças profissionais, e assegurar que os trabalhos são realizados num espaço organizado e ambientalmente correto.

10.3 CONTEÚDO DO PSS

O PSS está organizado em quatro partes principais: Introdução, Memória Descritiva (caracterização da empreitada, plano de trabalhos e trabalhos e materiais com riscos especiais), Ações para a Prevenção de Riscos (projeto de estaleiro, circulação e sinalização, proteções coletivas e individuais, formação, plano de emergência e Planos Específicos de Segurança) e Monitorização e Acompanhamento (registo de acidentes, reuniões da comissão de segurança, auditorias e relatório final). O PSS é apresentado no Anexo X.1.

Entre os Planos Específicos de Segurança previstos, destacam-se os relativos a escavações, movimentação de terras e terraplenagens, utilização de explosivos, movimentação mecânica de cargas, trabalhos em espaços confinados, montagem de estruturas metálicas e trabalhos com infraestruturas elétricas.

10.4 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO EM OBRA

O PSS em fase de projeto deverá ser desenvolvido e especificado pela Entidade Executante antes do início dos trabalhos, sendo o seu desenvolvimento sujeito a validação pelo Coordenador de Segurança em Obra e aprovação pelo Dono de Obra. O PSS é um documento dinâmico, devendo ser atualizado ao longo da execução sempre que se verifiquem alterações aos trabalhos, métodos construtivos ou condições do local.

11 PLANO DE ENCERRAMENTO

11.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Após a conclusão das atividades de produção da mina, serão necessárias intervenções que visam preparar a área de atividade do projeto para devolver o local em adequadas condições de segurança e enquadramento com o meio envolvente, permitindo o uso futuro.

O encerramento de uma mina é um processo complexo e cuidadoso que deve ser planeado com antecedência para garantir a segurança dos trabalhadores, a proteção do

meio ambiente e a conformidade com as leis e regulamentos aplicáveis. O plano de encerramento da mina deve ser desenvolvido antes do início da operação e deve ser atualizado regularmente durante a vida útil da mina, sendo que as operações de recuperação devem ser realizadas em conjunto com a exploração da mina e concluídas após o seu encerramento, constituindo uma forma importante de reduzir o passivo da fase de encerramento.

O presente Plano de Encerramento segue o conceito técnico de encerramento definido no Estudo de Viabilidade Definitivo (DFS) de julho de 2026, aplicado à área de exploração da concessão C-100. O âmbito abrange as cortas do Grandão, Pinheiro, Noa e Reservatório, bem como as respetivas escombreiras, infraestruturas de gestão de águas superficiais, a Instalação de Resíduos (TSF), as infraestruturas de superfície e a monitorização pós-encerramento.

A configuração final prevista para cada corta é apresentada na tabela seguinte.

Tabela 11.1 – Configuração de encerramento das cortas incluídas no âmbito C-100.

Corta	Âmbito	Configuração de encerramento (DFS)
Grandão	Incluída	Enchimento parcial em relação ao nível freático pré-exploração
Pinheiro	Incluída	Enchimento acima do nível freático pré-exploração
Noa	Incluída	Enchimento acima do nível freático pré-exploração
Reservatório	Incluída	Enchimento acima do nível freático pré-exploração

Os objetivos do encerramento são:

- **Formas de relevo seguras e estáveis:** as formas finais do terreno devem ser seguras para pessoas e fauna, não poluentes, geotecnicamente estáveis e com controlo de erosão, com linhas de drenagem concebidas para se tornarem autorregeneráveis ou autoblindadas;
- **Paisagem pós-mineira reabilitada:** procura-se uma vegetação autossustentável, habitat nativo sempre que praticável, compatibilidade visual com a paisagem envolvente e adequação aos usos pós-mineiros acordados;
- **Cortas e escombreiras:** remobilização de estéreis, enchimento das cortas concluídas, reposição das linhas de drenagem e modelação das escombreiras remanescentes;
- **Reabilitação:** recuperação e colocação de terra vegetal, escarificação e sementeira das superfícies concluídas e instalação de vegetação nas áreas adequadas;
- **Águas superficiais:** reposição da drenagem natural e desativação faseada das estruturas de gestão de águas após o cumprimento dos critérios de sedimentos e de qualidade da água definidos;
- **Rejeitados:** criação de uma forma final da TSF estável e que promova o escoamento das águas, com cobertura, drenagem, vegetação e gestão de águas continuada após a desativação;

- **Infraestruturas:** desmantelamento da unidade de processamento e das infraestruturas do local, com valorização dos ativos passíveis de venda.

Assim, nos próximos pontos serão descritas as medidas a implementar durante e após o término da exploração sobre os equipamentos móveis, desativação das instalações fixas, ambiente, sistemas de segurança, planos de monitorização e recursos humanos, para que tais objetivos possam ser atingidos.

11.2 FASEAMENTO DO ENCERRAMENTO

A recuperação progressiva das áreas intervencionadas acompanha a operação mineira, através do enchimento das cortas disponíveis, da gestão da terra vegetal e da recuperação das superfícies concluídas. No modelo financeiro, os custos classificados na rubrica de encerramento iniciam-se no quarto trimestre de 2038 e prolongam-se até ao primeiro trimestre de 2049, correspondendo a um período de 10,5 anos que se sobrepõe aos últimos anos de produção.

Tabela 11.2 – Principais marcos temporais do encerramento.

Marco	Data / duração
Período de exploração mineira	16 anos
Período de processamento	15 anos
Início do período da fase de encerramento no modelo financeiro	4ºT 2038
Fim do período de exploração mineira	3ºT 2043
Fim do período de processamento	3ºT 2043
Fim do período financeiro de encerramento	1ºT 2049
Duração do período financeiro de encerramento	10,5 anos

O processamento e as vendas de concentrado terminam no terceiro trimestre de 2043. As vendas dos coprodutos prolongam-se até ao quarto trimestre de 2043, conforme o calendário económico apresentado no Capítulo VIII.

As atividades previstas em cada etapa do encerramento são resumidas na tabela seguinte.

Tabela 11.3 – Etapas e atividades do encerramento.

Etapa	Atividades
Durante a operação	Decapagem e armazenamento da terra vegetal para posterior reutilização, deposição direta de estéreis nas cortas disponíveis e recuperação progressiva dos taludes de jusante da TSF
Conclusão das cortas	Afetação dos equipamentos mineiros à remobilização de estéreis, recuperação das escombreiras externas e enchimento das cortas concluídas

Etapa	Atividades
Modelação do terreno	Reposição das linhas de drenagem, remodelação das escombreiras remanescentes, espalhamento de terra vegetal, escarificação e sementeira das superfícies adequadas
Transição dos ativos hídricos	Remoção dos aterros dos reservatórios designados e estruturas associadas após o cumprimento dos critérios de encerramento aplicáveis
Fase final e pós-encerramento	Conclusão da revegetação, desmantelamento das infraestruturas, continuação da recuperação de água da TSF e manutenção da monitorização das águas superficiais e subterrâneas

O programa de encerramento articula a remobilização de materiais e o enchimento das cortas com as intervenções de recuperação paisagística, reposição da drenagem e cobertura da TSF. A desativação das infraestruturas de gestão de águas é faseada. O detalhe da modelação final, da recuperação dos solos e da revegetação integra o Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística.

O PARP, sintetizado no Capítulo IX e apresentado integralmente em Anexo, é implementado de forma concomitante com a lavra, intervindo-se em cada área logo após a sua desativação. A sua execução decorre ao longo de 22 anos, entre o ano -2 e o ano 20, terminando cinco anos após o fim da exploração. Durante a operação são realizadas as sementeiras de proteção das pargas, a estabilização dos taludes dos acessos, a plantação da barreira arbórea da Unidade Industrial e do encosto da TSF, e intervenções temporárias de integração paisagística na corta do Grandão (anos 4 e 5), na escombreira temporária (ano 6) e na escombreira do NOA (anos 10 e 11). A recuperação final concentra-se entre os anos 15 e 20, de acordo com o calendário indicativo apresentado na tabela seguinte, a ajustar à evolução real dos trabalhos.

Tabela 11.4 – Calendário indicativo da recuperação paisagística final (PARP).

Ano	Trabalhos de recuperação paisagística
Anos 12 a 14	Recobrimento da escombreira do Grandão com terras das pargas; possível início da recuperação da escombreira temporária
Ano 15	Continuação da recuperação da escombreira temporária; ressementeiras das pargas
Ano 16	Início da recuperação das escombreiras do Reservatório e do Pinheiro
Ano 17	Início da recuperação da escombreira do NOA e da TSF
Ano 18	Conclusão da escombreira temporária e da escombreira do NOA; início da recuperação da corta do Grandão e da área da Unidade Industrial da Lavaria e Áreas Sociais; recuperação dos reservatórios RCA2, RCS1 e RCS2 e infraestruturas associadas
Ano 19	Conclusão das escombreiras do Reservatório e do Pinheiro, da corta do Grandão e da área da Lavaria; recuperação dos reservatórios RA1 e RCA1 e infraestruturas associadas
Ano 20	Remoção das últimas estruturas (acessos temporários, estaleiros) e recuperação das áreas libertadas; início da monitorização, manutenção e conservação da vegetação

11.3 EQUIPAMENTOS MÓVEIS

A desmobilização dos equipamentos móveis acompanha a conclusão das tarefas de encerramento. A frota necessária à remobilização de estéreis, à movimentação de solos e à recuperação das áreas permanece no local durante a execução desses trabalhos. Após a conclusão da respetiva utilização, os equipamentos são removidos para reutilização, venda ou gestão como resíduos, conforme o seu estado.

Com a conclusão de cada corta, parte da frota mineira transita para os trabalhos de remobilização de estéreis e enchimento das cortas. Durante a fase de encerramento existirão ainda atividades que vão utilizar alguns equipamentos que permanecerão no local depois do fim da exploração e até à conclusão de todo o plano de encerramento e cessação das atividades.

Tabela 11.5 – Equipamentos afetos aos trabalhos de encerramento.

Equipamento	Quantidade				
	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
Escavadora de 130t	3	3	3	3	
Escavadora de 50t	1		1	1	1
Pá Carregadora Frontal 50t	1	1	1	1	1
Dumper 90t	7	7	6	4	
Dumper 24t	1	1	2	3	3
Niveladora	2	2	2	1	1
Bulldozer 65t	4	3	3	3	1
Camião de Rega de 75kl	1	1	1	1	1
Compactador de Rolo	1	1	1	1	1

11.4 DESATIVAÇÃO DAS INSTALAÇÕES

11.4.1 CORTAS E ESCOMBREIRAS

O projeto não inclui trabalhos mineiros subterrâneos, sendo a exploração realizada integralmente a céu aberto. O encerramento das cortas assenta na remobilização dos estéreis das escombreiras externas e no enchimento das cortas concluídas, de acordo com a configuração definida na Tabela 11.1. As cortas do Pinheiro, Noa e Reservatório serão cheias acima do nível freático pré-exploração, enquanto a corta do Grandão será parcialmente cheia.

Os estéreis são depositados diretamente nas cortas disponíveis sempre que o sequenciamento da lavra o permita, reduzindo a remobilização final. Após o

enchimento, são restabelecidas as linhas de drenagem, remodeladas as escombreiras remanescentes e as faces finais do terreno, espalhada a terra vegetal e escarificadas e semeadas as superfícies adequadas.

Previamente ao espalhamento da terra vegetal, as superfícies de aterro serão acabadas com uma camada de estéreis com pelo menos 2 m de espessura, disposta em camadas de granulometria decrescente, de modo a assegurar condições para o desenvolvimento do sistema radicular das espécies arbóreas. A espessura desta camada será variável, eliminando formas geométricas e arestas vivas e privilegiando formas orgânicas, com perfis em "S" e concavidades e convexidades naturais.

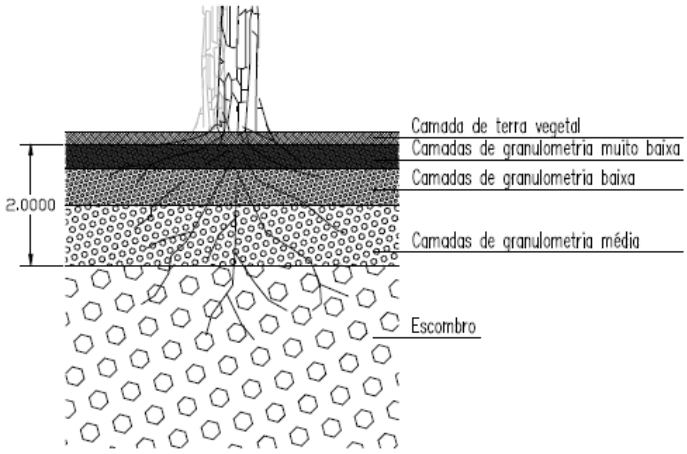


Figura 11.1 – Pormenor da camada de acabamento das superfícies de aterro.

Concluída a modelação, as superfícies das cortas cheias e das escombreiras permanentes serão cobertas com terra vegetal proveniente das pargas, tratadas com hidrossementeira de mistura herbácea e arbustiva e plantadas com o módulo de vegetação edafoxerófila (sobreiro, zambujeiro, freixo, medronheiro e urze-branca), adaptado à reduzida capacidade de retenção de água destes materiais. Na escombreira temporária, após a remoção integral dos estéreis, o terreno será limpo, descompactado e plantado de acordo com as condições ecológicas presentes: vegetação ripícola nos talvegues, temporohigrófila na base das encostas e mesófila nas restantes áreas. O detalhe destas soluções encontra-se no Capítulo IX – Gestão Ambiental e Reabilitação e no PARP integral (Anexo).

Antes do enchimento da corta do Grandão serão desmantelados e selados os furos verticais de drenagem da água subterrânea, seguindo as boas práticas de gestão ambiental (medida MMC-162 da DIA).

A bombagem de água das cortas cessará com o fim da exploração e do rebaixamento, iniciando-se a recuperação dos níveis de água subterrânea, conforme descrito na secção relativa à gestão das águas.

11.4.2 EDIFÍCIOS DE SUPERFÍCIE E LAVARIA

As instalações sociais e de apoio, bem como a oficina, laboratório e armazém serão, na fase de desativação, desmanteladas e deslocadas para fora da área da mina. O desmantelamento destas instalações e a demolição das estruturas de betão serão executados por empreiteiros externos especializados. No entanto, se existir interesse das entidades locais e/ou outras entidades, poderá ser equacionada a manutenção de algumas instalações.

O desmantelamento da lavaria será efetuado por setores e faseadamente. Antes do desmantelamento e remoção dos edifícios, serão removidos todos os equipamentos do processo mineralúrgico, as instalações elétricas, de águas e esgotos. As restantes instalações industriais de apoio serão também removidas para fora da área da mina, sendo o solo regularizado.

Após a remoção das estruturas, as áreas da Lavaria, escritórios e oficinas serão limpas de materiais impermeabilizantes e de fundações, descompactadas por ripagem e repostas à topografia anterior à instalação da mina, podendo ser mantida a estrutura em socalcos se assim for acordado com os proprietários. Seguir-se-á o recobrimento com terra vegetal, a hidrossementeira e a plantação de árvores e arbustos adaptados a situações de secura edáfica. A barreira arbóreo-arbustiva instalada na envolvente destas estruturas no início do projeto, destinada a minimizar o impacte cénico e a luminosidade noturna, será mantida.

O orçamento de encerramento contempla uma verba de 2,850 M US$ para o desmantelamento e remoção das infraestruturas (excluindo as terraplenagens já incluídas no plano de lavra), prevista para os anos 15 e 16 do projeto, e uma receita de venda/salvados de valor equivalente no ano 15.

O destino das instalações mineiras a serem removidas está resumido na tabela seguinte.

Tabela 11.6 – Destino das instalações, equipamentos e materiais a desmantelar.

Instalação	Ação	Destino
Unidade de Processamento Mineralúrgico	Desmantelamento e transporte	Venda dos equipamentos
Equipamentos Fixos – britagem, telas transportadoras e silos	Desmantelamento e transporte	Venda dos equipamentos
Parque de Minério	Remoção da impermeabilização e modelação do terreno	Integração Paisagística
Equipamentos Móveis	Transporte	Venda dos equipamentos

Instalação	Ação	Destino
Subestação Elétrica	Redução de capacidade	Venda dos equipamentos ou realocação noutro local
Depósitos de Combustível	Desmantelamento e transporte	Venda dos equipamentos. As fundações seguem para aterro
Instalações Sociais	Desmantelamento e transporte	Venda dos equipamentos ou realocação noutro local
Tratamento de águas (ETARI)	Desmantelamento e transporte após término da gestão de águas pós-encerramento	Venda dos equipamentos
Reservatórios de gestão de águas (RCA, RCS e RA)	Esvaziamento, remoção de sedimentos e remoção dos aterros e estruturas após cumprimento dos critérios de encerramento	Integração paisagística

11.4.3 ACESSOS

Os acessos criados para aceder ao complexo mineiro/industrial serão mantidos no final, quer para uso das populações servidas por esses acessos, quer para o local ser explorado do ponto de vista florestal e agropastoril. Será também mantido o acesso ao local da antiga exploração de modo a poderem ser executadas ações de monitorização e eventuais visitas de arqueologia industrial.

Os acessos internos e temporários que não venham a ser mantidos por acordo com as populações locais serão desativados, com remoção total dos materiais de pavimentação, descompactação da plataforma, reposição da topografia, espalhamento de terra vegetal e hidrossementeira. Nos locais em que estes acessos intercetem linhas de água serão plantadas espécies ripícolas. As árvores de alinhamento plantadas ao longo do acesso de ligação entre os dois núcleos mineiros permanecerão como elemento de integração paisagística.

11.4.4 INSTALAÇÃO DE RESÍDUOS (TSF)

O encerramento da Instalação de Resíduos (TSF) mantém a geometria, cobertura, drenagem e medidas de monitorização definidas no Plano de Lavra, tendo como objetivo uma forma final estável, que promova o escoamento das águas e será feita a sua revegetação. A cobertura da TSF encontra-se incluída no plano de lavra. Os

rejeitados são classificados como resíduo inerte, nos termos do Decreto-Lei n.º 10/2010, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, e não geradores de ácido.

Tabela 11.7 – Elementos de projeto do encerramento da TSF.

Elemento	Descrição
Geometria final	Taludes globais de jusante de 3H:1V com valetas de banqueta; superfície final modelada para encerramento a seco, sem acumulação de água e com escoamento superficial
Cobertura	Camada nominal de 0,30 m de terra vegetal; a superfície final dos rejeitados é escarificada superficialmente e semeada com arbustos e herbáceas
Trabalhos progressivos	Revegetação progressiva dos taludes de jusante à medida que a instalação avança; podem ser usadas vegetação temporária e barreiras de retenção de sedimentos em geotêxtil antes da recuperação final
Recuperação final	Inicia-se no final da deposição na TSF e combina a cobertura final, revegetação, controlo de erosão e gestão das águas pluviais
Confirmação da cobertura	Ensaios de recuperação em operação e ensaios geoquímicos dos rejeitados para confirmar a solução de cobertura antes da sua instalação

A revegetação da TSF segue as soluções do PARP. Na área de depósito de rejeitados, de forma a não comprometer a integridade da geomembrana, não serão instaladas espécies arbóreas nem arbustivas altas, prevendo-se apenas uma hidrossementeira de herbáceas e de arbustos baixos (*Pterospartum tridentatum*, *Cistus psilosepalus* e *Lavandula pedunculata*). O encosto de reforço (*buttress*) de jusante é plantado logo no início do projeto com três alinhamentos de árvores de crescimento rápido, para minimização do impacte cénico. A recuperação final da TSF tem início previsto no ano 17.

Após a cobertura e revegetação, o sistema de drenagem de fundo da TSF mantém-se em funcionamento para recolher a água residual da instalação. O planeamento considera um período indicativo de recuperação de água de cinco anos, sendo a duração efetiva determinada pela evolução dos caudais e da qualidade da água.

A água recolhida é encaminhada para o sistema de retenção e gestão de águas mantido em serviço durante o pós-encerramento. A descarga ocorre nas condições estabelecidas para o ponto de rejeição; as águas que não cumprem os requisitos aplicáveis permanecem no circuito de retenção e tratamento.

A remoção das bombas e a selagem da conduta vertical ocorrem após a confirmação de que a recolha ativa deixou de ser necessária, com base nos registos de caudal, na avaliação do comportamento da instalação e nas condições de encerramento aplicáveis.

11.5 REPOSIÇÃO DAS LINHAS DE ÁGUA

A estratégia de encerramento para as águas superficiais combina a reposição das linhas de drenagem natural, a desativação faseada das estruturas de gestão de águas e a monitorização continuada. Sempre que praticável, serão restabelecidos os percursos de drenagem natural e as respetivas bacias, recorrendo à vegetação para reduzir a erosão.

Aquando da desativação das cortas do Grandão, do Pinheiro e do Reservatório, serão iniciados os trabalhos de definição do leito das linhas de água represadas a montante, de acordo com a configuração de recuperação apresentada no PARP. Estes trabalhos envolvem a definição do leito o mais próximo possível da situação pré-exploração, recorrendo a técnicas de engenharia natural, e o repovoamento com vegetação ripícola semelhante à existente nos cursos originais. O detalhe destas intervenções é apresentado no PARP.

Tabela 11.8 – Ações de encerramento das estruturas de gestão de águas superficiais.

Estrutura / ação	Tratamento no encerramento
Linhas de drenagem	Restabelecimento dos percursos de drenagem natural e bacias sempre que praticável, com recurso à vegetação para reduzir a erosão
Reservatórios de controlo ambiental (RCA) e de controlo de sedimentos (RCS)	Esvaziamento, remoção dos sedimentos acumulados e desmantelamento das estruturas após a confirmação de que deixaram de ser necessárias ao controlo de sedimentos, à retenção de águas e ao funcionamento dos sistemas de tratamento. O prazo de três anos constitui uma previsão de planeamento, subordinada ao desempenho observado e à manutenção das funções necessárias ao pós-encerramento
Reservatórios de armazenamento de água (RA)	Desativação do máximo possível das infraestruturas de águas superficiais; a remoção dos aterros dos reservatórios está incluída nos trabalhos de encerramento do plano de lavra

As áreas ocupadas pelas barragens e albufeiras dos reservatórios desativados serão modeladas a cotas semelhantes às iniciais e, havendo disponibilidade, cobertas com terra vegetal. Prevê-se a sementeira de uma mistura de prado e a plantação de vegetação ripícola nos talvegues e de vegetação temporohigrófila na restante área. Dado que estas áreas estiveram inundadas durante um longo período, a combinação de prado com árvores e arbustos de base de encosta procura maximizar a probabilidade de recuperação do ecossistema.

As áreas afetadas por canais, valas e tubaria enterrada serão totalmente recuperadas, com remoção das estruturas, descompactação, reposição da topografia, terra vegetal e hidrossementeira, e plantação de espécies higrófilas nos troços coincidentes com linhas de água. Ao longo das linhas de água repostas será instalada uma galeria ripícola com cerca de 7 m de largura, composta por amieiro, freixo, borrazeira-branca, borrazeira-preta e sanguinho-de-água.

11.6 AMBIENTE

A atividade mineira tem como um dos seus principais objetivos, além de garantir uma exploração responsável e eficiente do recurso mineral, um plano de encerramento das atividades em consonância com o esperado numa sociedade moderna, respeitando as vertentes ambientais, sociais e humanas.

O principal objetivo do plano de encerramento é deixar um legado positivo após a atividade mineira, de modo que os benefícios da atividade perdurem no tempo, minimizando os impactes e promovendo a resolução de problemas que afetam este tipo de atividades, tais como: degradação ambiental, contaminação de solos e águas e paisagem.

Como referido nas secções anteriores, o plano de encerramento deve iniciar-se ainda na fase de projeto, de modo que tudo o que seja planeado e projetado tenha em conta o futuro dessas atividades e o modo como serão descomissionadas. Devem também ser executadas o mais cedo possível as atividades de encerramento, descomissionamento e recuperação ambiental ainda durante a exploração, de modo a minimizar o passivo de recuperação para etapas posteriores onde já não existe atividade mineira e entrada de capitais, permitindo também uma recuperação mais rápida dos locais afetados.

As principais medidas contempladas no plano de encerramento de modo a minimizar o impacte ambiental serão:

- Enchimento das cortas concluídas com estéreis e modelação das formas finais do terreno, garantindo condições de segurança para pessoas e fauna e a estabilidade geotécnica;
- Garantir que existam zonas de terreno necessárias, durante o período de atividade, para que seja possível armazenar materiais para a fase de encerramento, nomeadamente pargas (terra vegetal de cobertura);
- Garantir que os estéreis produzidos, bem como os rejeitados provenientes do processo mineralúrgico, se encontram devidamente acondicionados e isolados do meio, evitando o risco de interação e contaminação de águas e solos;
- Realizar atividades de recuperação paisagística de forma progressiva, incluindo a revegetação dos taludes de jusante da TSF durante a sua fase de enchimento;
- Repor as linhas de água e desativar faseadamente as estruturas de gestão de águas após o cumprimento dos critérios de encerramento.

11.6.1 ENQUADRAMENTO LEGAL

O regime português de avaliação e licenciamento ambiental aplica-se às fases de construção, operação, monitorização, encerramento e pós-encerramento. Destacam-se o regime jurídico de Avaliação de Impacte Ambiental (Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro, na sua redação atual, republicado pelo Decreto-Lei n.º 11/2023, de 10 de fevereiro), o Regime de Licenciamento Único de Ambiente (Decreto-Lei n.º 75/2015, de 11 de maio), o Regime de Emissões Industriais (Decreto-Lei n.º 127/2013, de 30 de agosto) e o regime jurídico de utilização dos recursos hídricos.

A gestão dos resíduos das indústrias extrativas rege-se pelo Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, que transpõe a Diretiva 2006/21/CE e abrange a conceção, licenciamento, operação, monitorização, encerramento e pós-encerramento das instalações de resíduos, exigindo a elaboração de um plano de gestão de resíduos.

11.6.2 RESÍDUOS

A conclusão dos trabalhos inclui uma inspeção às áreas desmanteladas e recuperadas, com verificação da remoção dos resíduos gerados pela desativação e dos respetivos comprovativos de encaminhamento para operadores autorizados. Os resíduos de extração integrados no enchimento das cortas, nas escombreiras e na TSF permanecem nas configurações previstas no Plano de Gestão de Resíduos e no plano de recuperação. A tabela seguinte identifica os principais fluxos associados ao encerramento.

Tabela 11.9 – Principais resíduos associados ao encerramento e respetivos destinos.

Tipo de Resíduo	Código LER	Destino
Outros óleos de motores, transmissões e lubrificação	130208	Operador de gestão de resíduos licenciado
Lamas provenientes dos separadores óleo/água	130502	
Óleos provenientes dos separadores óleo/água	130506	
Fuelóleo e gasóleo	130701	
Embalagens de papel e cartão	150101	
Embalagens de plástico	150102	
Embalagens de madeira	150103	
Embalagens de metal	150104	
Embalagens contendo ou contaminadas por resíduos de substâncias perigosas	150110	
Embalagens de metal, incluindo recipientes vazios sob pressão, contendo uma matriz porosa sólida perigosa (por exemplo, amianto) (latas de sprays)	150111	
Absorventes, materiais filtrantes (incluindo filtros de óleo sem outras especificações), panos de limpeza e vestuário de proteção, contaminados por substâncias perigosas	150202	
Absorventes, materiais filtrantes, panos de limpeza e vestuário de proteção não abrangidos em 15 02 02 (filtros de ar)	150203	
Pneus usados	160103	
Filtros de óleo	160107	
Componentes contendo mercúrio (lâmpadas veículos)	160108	
Pastilhas de travões, contendo amianto	160111	
Pastilhas de travões não abrangidas em 16 01 011	160112	
Fluidos de travões	160113	

Tipo de Resíduo	Código LER	Destino
Fluidos anticongelantes contendo substâncias perigosas	160114	
Fluidos anticongelantes não abrangidos em 16 01 14	160115	
Metais ferrosos	160117	
Metais não ferrosos	160118	
Resíduos inorgânicos não abrangidos em 16 03 03	160304	
Acumuladores de chumbo	160601	
Betão	170101	
Tijolos	170102	
Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos	170103	
Misturas ou frações separadas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, contendo substâncias perigosas	170106	
Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, não abrangidas em 17 01 06	170107	
Madeira	170201	
Vidro	170202	
Plástico	170203	
Vidro, plástico e madeira contendo ou contaminados com substâncias perigosas	170204	
Misturas betuminosas contendo alcatrão	170301	
Misturas betuminosas não abrangidas em 17 03 01	170302	
Cobre, bronze e latão	170401	
Alumínio	170402	
Chumbo	170403	
Zinco	170404	
Ferro e aço	170405	
Estanho	170406	
Mistura de metais	170407	
Resíduos metálicos contaminados com substâncias perigosas	170409	
Cabos não abrangidos em 17 04 10	170411	
Outros materiais de isolamento contendo ou constituídos por substâncias perigosas	170603	
Materiais de isolamento não abrangidos em 17 06 01 e 17 06 03	170604	
Materiais de construção à base de gesso contaminados com substâncias perigosas	170801	
Materiais de construção à base de gesso não abrangidos em 17 08 01	170802	
Resíduos de construção e demolição contendo mercúrio	170901	
Resíduos de construção e demolição contendo PCB	170902	

Tipo de Resíduo	Código LER	Destino
Outros resíduos de construção e demolição (incluindo misturas de resíduos) contendo substâncias perigosas	170903	
Misturas de resíduos de construção e demolição não abrangidos em 17 09 01, 17 09 02 e 17 09 03	170904	
Resíduos cujas recolha e eliminação não estão sujeitas a requisitos específicos com vista à prevenção desinfeções	180104	
Medicamentos não abrangidos em 18 01 08	180109	
Vidro	200102	
Lâmpadas fluorescentes e outros resíduos contendo mercúrio	200121	
Equipamento elétrico e eletrónico fora de uso	200136	
Plásticos	200139	
Resíduos desmatação	200201	
Mistura de resíduos equiparados a resíduos sólidos urbanos	200301	
Lamas de fossa sépticas	200304	
Rejeitados do processamento mineralúrgico (areia siltosa, inerte e não geradora de ácido)	010306	Instalação de Resíduos (TSF)
Estéreis provenientes da exploração a céu aberto das cortas do Grandão, Pinheiro, Noa e Reservatório	010101	Enchimento das cortas e escombreiras

11.6.3 RUÍDOS E POEIRAS

As principais fontes de ruído durante o encerramento são a movimentação de máquinas e veículos, o desmantelamento de equipamentos e a demolição das estruturas. O controlo do ruído assenta na manutenção dos equipamentos, na organização dos trabalhos e dos percursos de circulação e na aplicação das medidas de minimização e monitorização previstas para os recetores sensíveis. A vegetação existente é preservada nas áreas compatíveis com os trabalhos de recuperação.

Em relação às poeiras, terão como origem a movimentação de equipamentos e viaturas. Para mitigação deste impacte, a estratégia adotada será a mesma durante todo o projeto, ou seja, a rega ajustada às condições meteorológicas e à emissão de poeiras de acessos e estradas, bem como das zonas de demolição.

11.6.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SOLOS

A avaliação da qualidade dos solos no encerramento utiliza a caracterização de referência anterior à intervenção e o histórico de utilização de cada área. A investigação incide particularmente nas zonas de armazenamento de combustíveis e reagentes, oficinas, instalações de processamento e locais com registo de derrames. Os resultados

fundamentam as ações de recuperação necessárias à compatibilidade dos solos com os usos pós-mineiros previstos.

Sempre que praticável, o solo será decapado até cerca de 0,20 m de profundidade e armazenado em pargas para utilização nos trabalhos de recuperação. De modo a mitigar ações que potenciem a degradação da qualidade dos solos na fase de operação, serão implantadas uma série de medidas para minimizar este risco inerente a esta atividade.

A gestão da terra vegetal segue o Plano de Gestão das Pargas de Solo Vivo da Mina do Barroso. Os solos provenientes de terrenos agrícolas serão armazenados separadamente e as pargas com permanência superior a seis meses serão semeadas (tremocilha no outono e abóbora na primavera, à razão de 50 kg/ha), com ressementeiras sempre que necessário para manter as propriedades do solo e protegê-lo da erosão e compactação.

Antes dos trabalhos de recuperação serão realizadas análises de terra (pH, condutividade elétrica, azoto, fósforo e potássio assimiláveis, textura, fertilidade e micronutrientes) nas zonas baixas e altas da exploração e numa das áreas que estiveram submersas, num total de 12 análises previstas no PARP, podendo os resultados conduzir a ajustes dos planos de plantação e das fertilizações. A terra vegetal a aplicar deverá ter uma espessura média mínima de 0,10 m, estar isenta de elementos com dimensão superior a 50 mm e não conter pedra miúda em mais de 10 % do volume.

11.6.5 Recuperação Paisagística e Uso Pós-Mineiro

A recuperação articula a recuperação da terra vegetal, o enchimento das cortas, a modelação do terreno, a reposição da drenagem e a instalação da vegetação, de acordo com as seguintes etapas:

- **Recuperação da terra vegetal:** decapagem do solo até cerca de 0,20 m, sempre que praticável, e armazenamento para utilização na recuperação;
- **Reposição das formas do terreno:** enchimento das cortas concluídas, remobilização das escombreiras e restabelecimento das linhas de drenagem;
- **Modelação e preparação:** remodelação das faces finais, espalhamento da terra vegetal, escarificação das superfícies e preparação das áreas adequadas para sementeira;
- **Instalação da vegetação:** sementeira e revegetação das áreas perturbadas, incorporando flora nativa local e habitat sempre que praticável.

Tabela 11.10 – Medidas de recuperação e de entrega do terreno.

Medida	Base
Revegetação	1,437 M US$ distribuídos em seis parcelas anuais iguais entre os anos 15 e 20 do projeto
Desmantelamento de infraestruturas	2,850 M US$, entre os anos 15 e 16 do projeto
Venda / salvados de infraestruturas	Receita de 2,850 M US$ no ano 15 do projeto

Medida	Base
Ativos hídricos	Desativação faseada das estruturas após a cessação das respetivas funções de control e tratamento.
Resultado final	Formas de terreno estáveis, com controlo de erosão, visualmente integradas, com drenagem reposta e vegetação autossustentável sempre que possível

As soluções de recuperação paisagística e uso pós-mineiro são definidas no Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística (PARP), elaborado nos termos do Decreto-Lei n.º 30/2021 e das orientações da DIA, sintetizado no Capítulo IX e apresentado integralmente no Anexo IX.1. O objetivo é a reposição do relevo e da ocupação do solo anteriores à exploração e o restauro da vegetação natural, recorrendo exclusivamente a espécies autóctones da unidade biogeográfica (e a um arqueófito, o castanheiro), diferenciadas por quatro situações ecológicas: galeria ripícola, vegetação temporohigrófila de base de encosta, vegetação mesófila e vegetação edafoxerófila.

A Tabela 11.11 resume as soluções de recuperação final previstas para cada área.

Tabela 11.11 – Soluções de recuperação final por área de intervenção (PARP).

Área	Solução de recuperação	Vegetação
Cortas e escombreiras permanentes	Camada de acabamento de 2 m, terra vegetal, hidrossementeira e plantação	Edafoxerófila
Escombreira temporária	Remoção do escombro, limpeza, descompactação e plantação segundo as condições ecológicas	Ripícola, temporohigrófila e mesófila
TSF (área de depósito)	Terra vegetal e hidrossementeira de herbáceas e arbustos baixos, sem espécies arbóreas	Herbácea e arbustiva baixa
TSF (encosto de reforço)	Alinhamentos de árvores de crescimento rápido	Árvores de alinhamento
Lavaria, escritórios e oficinas	Remoção de estruturas, descompactação, reposição da topografia (ou socalcos), terra vegetal, hidrossementeira e plantação	Edafoxerófila
Barragens e albufeiras	Modelação, terra vegetal se disponível, sementeira de prado e plantação	Ripícola e temporohigrófila
Canais, tubaria e acessos desativados	Remoção, descompactação, reposição da topografia, terra vegetal e hidrossementeira	Ripícola nas linhas de água
Pargas desmontadas	Reposição do relevo, regularização e plantação	Mesófila

As plantações organizam-se em módulos-tipo repetíveis, cuja composição se resume na Tabela 11.12. A Figura 11.2 reproduz o módulo edafoxerófilo, o mais aplicado na recuperação final das cortas e escombreiras.

Tabela 11.12 – Módulos de plantação do PARP.

Módulo	Dimensão	Espécies
M1 – Barreira arbóreo-arbustiva	16 m de largura	Zambujeiro, sobreiro, folhado, carvalho-alvarinho, pilriteiro, bordo, freixo, cerejeira-brava, borrazeira-preta, loureiro, medronheiro, azevinho
M2 – Árvores de alinhamento	Alinhamentos	Bordo, freixo, lódão-bastardo, choupo-negro
M3 – Galeria ripícola	7 m de largura	Amieiro, freixo, borrazeira-branca, borrazeira-preta, sanguinho-de-água
M4 – Temporohigrófilo	21 × 15 m	Castanheiro, carvalho-alvarinho, azereiro, azevinho, aveleira, pilriteiro
M5 – Mesófilo	16 × 20 m	Carvalho-alvarinho, carvalho-negral, sobreiro, zambujeiro, medronheiro, urze-branca
M6 – Edafoxerófilo	16 × 12 m	Sobreiro, zambujeiro, freixo, medronheiro, urze-branca

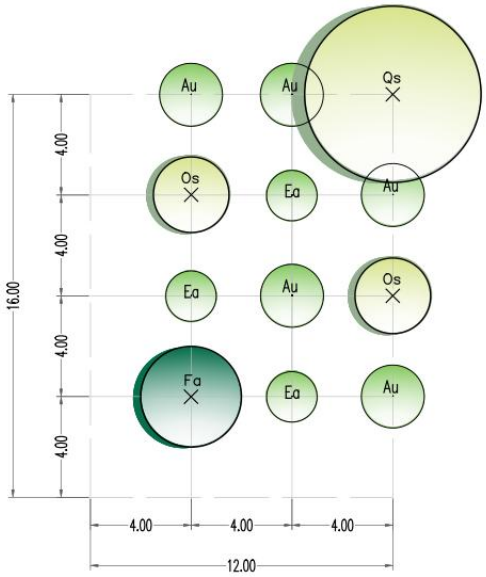


Figura 11.2 – Módulo 6 – Plantação arbóreo-arbustiva edafoxerófila.

Au – *Arbutus unedo*; Ea – *Erica arborea*; Fa – *Fraxinus angustifolia*; Qs – *Quercus suber*. Fonte: PARP da Mina do Barroso

As plantações são complementadas por sementeiras: hidrossementeira de mistura herbácea e arbustiva na generalidade das superfícies (20 a 25 kg/ha de herbáceas e 2 a 4 kg/ha de arbustivas, consoante se trate de aterro ou escavação), hidrossementeira sem arbustos altos na TSF e sementeira de prado (20 kg/ha) nas áreas planas e frescas junto às linhas de água, passível de utilização como pastagem.

Na fase atual do projeto não está prevista a visitação pública da área após o encerramento, a criação de miradouros ou de planos de água, nem a manutenção de

faces expostas das cortas, uma vez que a reposição do relevo constitui a premissa de base do PARP. Caso venham a ser equacionados usos de fruição turística ou pedagógica, serão objeto de projeto autónomo, articulado com as populações locais.

11.6.6 GESTÃO DAS ÁGUAS

Desde 2022, o promotor monitoriza pontos de água subterrânea e superficial para acompanhar a evolução da quantidade e qualidade da água ao longo do ano hidrológico. Durante o encerramento e o pós-encerramento, esta monitorização acompanha a recuperação dos níveis piezométricos, a evolução dos caudais e a qualidade da água, por comparação com a situação de referência, as previsões do modelo hidrogeológico e os critérios aplicáveis ao Projeto. A avaliação considera a configuração final de cada corta, incluindo o nível de equilíbrio previsto para o Grandão após o enchimento parcial.

A recuperação dos níveis de água subterrânea inicia-se quando cessam a exploração e o rebaixamento. O modelo hidrogeológico de encerramento do DFS estende-se por 30 anos após a exploração e o enchimento das cortas, acompanhando a recuperação até aos níveis de equilíbrio finais. As cortas de Noa, Reservatório e Pinheiro recuperam, de acordo com o modelo, até aos níveis freáticos pré-exploração, enquanto a corta do Grandão atinge um nível de equilíbrio pós-encerramento inferior, refletindo a sua configuração de enchimento parcial. O horizonte de 30 anos corresponde à duração da simulação hidrogeológica e não constitui um prazo uniforme de recuperação nem uma data automática de conclusão da monitorização. Os tempos de recuperação e os respetivos intervalos de incerteza são apresentados no Capítulo III.

É importante também garantir que eventuais impactes, ainda que pouco significativos, que se tenham verificado na fase operacional da mina sejam monitorizados também na fase de desativação, de modo a verificar que os referidos impactes são eliminados, nomeadamente os relacionados com a quantidade da água subterrânea. Os dados de monitorização suportarão a avaliação da recuperação e o refinamento contínuo do modelo hidrogeológico.

A ETARI e as infraestruturas associadas permanecem disponíveis durante o encerramento e o pós-encerramento enquanto existir necessidade de tratamento das águas recolhidas. A sua desativação ocorre após a demonstração de que as águas remanescentes são geridas em conformidade com os requisitos aplicáveis sem recurso a esta instalação. A desativação do ponto de rejeição acompanha a conclusão do respetivo circuito de gestão de águas.

11.7 SISTEMAS DE SEGURANÇA

As formas finais do terreno serão concebidas para serem seguras para pessoas e fauna, geotecnicamente estáveis e com controlo de erosão. Durante os trabalhos de encerramento, as áreas em intervenção e em recuperação serão sinalizadas e o acesso restringido, até que estejam cumpridos os critérios de estabilidade e revegetação.

Os reservatórios de gestão de águas, classificados na Classe II ao abrigo do Decreto-Lei n.º 21/2018, manter-se-ão sujeitos, enquanto existirem, a inspeções pelo menos anuais e após eventos excecionais (cheias ou sismos), bem como a relatórios de comportamento com periodicidade até cinco anos. A segurança da TSF continuará a ser assegurada através do Manual de Operação e Monitorização, de inspeções de rotina, de auditorias pelo Engenheiro Responsável (Engineer of Record) e de revisão independente.

11.8 MONITORIZAÇÃO

De forma a garantir que a fase de desativação cumpre todos os padrões de segurança, é necessário realizar o controlo de qualidade das atividades relacionadas com esse processo. Portanto, é fundamental monitorizar as operações de desmantelamento e desmobilização das estruturas, verificando a remoção dos resíduos de desmantelamento e a conformidade das instalações e áreas onde permanecem resíduos de extração, bem como garantir as condições ambientais e de segurança adequadas, entre outras medidas de inspeção.

O operador assegura o controlo de qualidade dos trabalhos de encerramento, através do Diretor Técnico da mina e dos responsáveis técnicos pelas intervenções. Este controlo inclui o registo das inspeções, dos resultados de monitorização, das não conformidades e das medidas corretivas executadas.

Importa referir que o Projeto da Mina do Barroso, durante a fase de operação, implementará ações de monitorização, dado que as atividades de extração, processamento mineral e gestão de resíduos mineiros podem ter um impacte significativo no meio recetor se os respetivos processos não forem devidamente acompanhados. Assim, serão implementadas medidas de minimização/monitorização dos recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos, gestão de resíduos e acompanhamento geotécnico das infraestruturas.

A monitorização durante a fase de desativação e encerramento da mina, além dos Planos de Monitorização definidos tanto na fase de avaliação ambiental (AIA) como no licenciamento ambiental, deve reforçar a verificação e avaliação da qualidade das atividades relacionadas com o desmantelamento das instalações e a ausência de resíduos não mineiros na área de exploração, garantindo as devidas condições ambientais e de segurança. Além destas atividades, é importante destacar as operações de monitorização relacionadas com a estabilidade e segurança das formas de terreno concebidas para a recuperação topográfica. Os níveis e a qualidade das águas subterrâneas continuarão a ser acompanhados através da rede de monitorização do local e do respetivo plano de gestão.

No que respeita à recuperação paisagística, após a conclusão das plantações e sementeiras de cada fase e a respetiva receção provisória, inicia-se um período de garantia e manutenção não inferior a três anos, durante o qual são assegurados:

- **Ressementeiras**, sempre que a cobertura vegetal das áreas semeadas ou hidrossemeadas seja inferior a 70 %;

- **Retanchas**, com substituição dos exemplares mortos ou em más condições, mantendo as densidades e localizações dos planos de plantação;
- **Podas** de formação, apenas sob orientação técnica, e **vigilância fitossanitária** contínua;
- **Tutoragem e proteção contra a herbivoria**, com substituição dos tutores e protetores deteriorados e sua remoção quando deixem de ser necessários.

Findo este período, aplica-se o Plano de Gestão da Vegetação previsto no PARP, com podas de correção, retanchas, tratamentos fitossanitários e limpeza geral das áreas plantadas, até à confirmação de que a vegetação instalada é autossustentável.

No caso da TSF, a monitorização e inspeção pós-encerramento incluem as componentes apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 11.13 – Monitorização e inspeção da TSF.

Componente	Elementos
Geotécnica	Marcos topográficos no aterro, piezómetros de corda vibrante e piezómetros abertos
Águas	Piezómetros de águas subterrâneas, amostragem de águas superficiais, níveis e qualidade da água
Desempenho	Levantamentos topográficos da TSF, dados climáticos, caudais de drenagem e revisão do balanço hídrico
Governação	Manual de Operação e Monitorização, inspeções de rotina, auditoria do Engenheiro Responsável e revisão independente

Em suma, a fase de desativação e encerramento deve assegurar a recuperação do meio recetor, tendo como referência as condições ambientais iniciais caracterizadas na fase de AIA e considerando a configuração final prevista no Projeto. A conclusão dos trabalhos deverá ser comprovada pela estabilidade do terreno, eficácia da drenagem, controlo da erosão, recuperação da cobertura vegetal e adequada gestão das águas e dos resíduos. O Diretor Técnico da mina e os responsáveis pelos trabalhos de desativação deverão assegurar o acompanhamento e a verificação destas condições, bem como a implementação das medidas corretivas necessárias, sem prejuízo das obrigações de monitorização e pós-encerramento.

11.9 RECURSOS HUMANOS

Os recursos humanos do projeto da Mina do Barroso serão redistribuídos para atender às necessidades do grupo empresarial, que incluem outros projetos semelhantes. Dependendo do volume de trabalho, poderá ser necessário afetar alguns trabalhadores da Mina do Barroso à fase de desativação da mina.

No entanto, os trabalhadores que ocupam cargos ou funções que não sejam compatíveis com as necessidades do grupo empresarial poderão ter os seus contratos rescindidos.

11.10 ORÇAMENTO DA DESATIVAÇÃO

11.10.1 ESTIMATIVA GLOBAL

O custo líquido de encerramento considerado na avaliação económica é de 158,165 MUSD. Este valor resulta de 161,015 M US$ de despesas previstas — 156,728 M US$ de trabalhos associados ao plano mineiro, 1,437 M US$ de revegetação e 2,850 M US$ de desmantelamento de infraestruturas - deduzidos de 2,850 M US$ de receitas de alienação de infraestruturas. O custo líquido é apresentado separadamente do capital de sustentação e encontra-se refletido na avaliação económica do Capítulo VIII.

Tabela 11.14 – Estimativa do custo de encerramento.

Componente	M US$	Base
Trabalhos de encerramento no plano de lavra	156,728	Remobilização de materiais, enchimento das cortas, recuperação paisagística e da drenagem, remoção dos reservatórios, movimentação de solos e cobertura da TSF
Revegetação	1,437	Seis parcelas anuais iguais entre os anos 15 e 20 do projeto
Desmantelamento de infraestruturas	2,850	Desmantelamento e remoção, excluindo terraplenagens já incluídas no plano de lavra
Venda / salvados de infraestruturas	(2,850)	Receita de venda equivalente à verba de desmantelamento
Total líquido de encerramento	**158,165**	Despesas de encerramento deduzidas das receitas de alienação de infraestruturas

Complementarmente, destacam-se os seguintes aspetos do tratamento financeiro:

- **Garantia financeira:** depósito de caixa de 15,816 MUSD considerado como pressuposto da avaliação económica, com o tratamento descrito em 1.10.3;
- **Provisionamento:** o custo de encerramento é acumulado ao longo da operação, entre 1 de outubro de 2027 e 31 de dezembro de 2042;
- **Custo unitário:** o encerramento contribui com 74,72 US$ por tonelada seca de concentrado SC5.5, no âmbito de um AISC para a vida da mina de 669,46 US$/dmt;
- **Custos gerais e administrativos no encerramento:** o modelo considera 8,5 MUSD, contabilizados autonomamente na rubrica G&A e não incluídos no total líquido da Tabela 1.14.

11.10.2 FASEAMENTO ANUAL DO CUSTO DE ENCERRAMENTO

A distribuição temporal do custo líquido de encerramento é apresentada na tabela seguinte, obtida por agregação dos fluxos trimestrais do modelo financeiro em períodos anuais de julho a junho. O ano fiscal é identificado pelo ano civil em que termina. Os primeiros encargos ocorrem no quarto trimestre de 2038, ainda durante a operação, e

os últimos no primeiro trimestre de 2049. Aproximadamente 73,5% do custo líquido concentra-se nos anos fiscais de 2044 a 2048, correspondentes ao período entre julho de 2043 e junho de 2048.

Tabela 11.15 – Faseamento anual do custo líquido de encerramento.

Ano fiscal	Período	M US$	Acumulado
2039	jul/2038 – jun/2039	7,206	4,6%
2040	jul/2039 – jun/2040	7,539	9,3%
2041	jul/2040 – jun/2041	6,753	13,6%
2042	jul/2041 – jun/2042	6,158	17,5%
2043	jul/2042 – jun/2043	10,589	24,2%
2044	jul/2043 – jun/2044	17,959	35,5%
2045	jul/2044 – jun/2045	27,554	53,0%
2046	jul/2045 – jun/2046	27,571	70,4%
2047	jul/2046 – jun/2047	26,006	86,8%
2048	jul/2047 – jun/2048	17,225	97,7%
2049	jul/2048 – mar/2049	3,605	100,0%
Total		**158,165**	100,0 %

11.10.3 Provisão e Caução de Reabilitação

O modelo financeiro adota o provisionamento dos custos de encerramento ao longo da operação, abrangendo 61 trimestres entre 1 de outubro de 2027 e 31 de dezembro de 2042. As dotações reconhecidas na provisão totalizam 82,240 MUSD e a atualização financeira da provisão totaliza 75,925 MUSD. Estas componentes perfazem os 158,165 MUSD utilizados para suportar os custos líquidos de encerramento, realizados entre o quarto trimestre de 2038 e o primeiro trimestre de 2049.

Para efeitos da avaliação económica, a garantia financeira de recuperação é representada por um depósito de caixa de 15,816 MUSD, equivalente a 10% do custo líquido de encerramento, com constituição modelada em 30 de junho de 2028. A constituição e a libertação deste depósito são movimentos de tesouraria distintos das despesas de execução dos trabalhos. O montante e as condições da garantia efetivamente prestada são os estabelecidos no procedimento de licenciamento aplicável.

11.10.4 Quantidades do Plano de Lavra Associadas ao Encerramento

A principal componente do custo de encerramento (156,728 M US$) corresponde aos trabalhos incluídos no plano de lavra, com destaque para a remobilização de estéreis das escombreiras para o enchimento das cortas. De acordo com o plano de lavra (cenário 2025v1QHA40), a remobilização de estéreis decorre entre os anos 10 e 20, totalizando cerca de 31,70 Mm³ (volume empolado), equivalentes a cerca de 63,40 Mt, com um máximo no ano 16.

Tabela 11.16 – Remobilização anual de estéreis para enchimento das cortas (plano de lavra).

Ano do plano de lavra	Volume (Mm³ empolados)	Massa (Mt)
Ano 10	1,50	3,00
Ano 11	2,35	4,70
Ano 12	1,70	3,40
Ano 13	1,70	3,40
Ano 14	2,55	5,10
Ano 15	3,86	7,72
Ano 16	5,02	10,04
Ano 17	4,98	9,97
Ano 18	4,58	9,17
Ano 19	2,93	5,85
Ano 20	0,52	1,04
Total	**31,70**	**63,40**

Estes trabalhos são realizados com a frota mineira afeta ao encerramento, considerando no plano de lavra três tipos de operação:

- **remobilização em massa das escombreiras:** escavadoras de 130 t com dumpers de 90 t;
- **remobilização seletiva das escombreiras:** escavadoras de 50 t com dumpers de 24 t;
- **movimentação de terra vegetal:** pás carregadoras frontais de 50 t com dumpers de 24 t. A referência geral de 0,20 m para decapagem e reposição de solo distingue-se da cobertura nominal de 0,30 m prevista para a TSF na Tabela 11.7. As quantidades de recuperação são contabilizadas por área de intervenção e pela espessura de cobertura correspondente.

As quantidades associadas à recuperação paisagística final (intervenções permanentes) constam do mapa de quantidades do PARP e resumem-se na Tabela 11.17. As quantidades de árvores e arbustos correspondem a valores máximos, estimados para solo nu, pelo que os valores finais serão inferiores.

Tabela 11.17 – Quantidades da recuperação paisagística final (PARP, intervenções permanentes).

Designação	Un.	Quantidade
Análises de solo	un.	10
Distribuição de terra vegetal proveniente das pargas	m³	591 722
Regularização final do terreno	ha	295,86
Árvores a plantar	un.	102 705
Arbustos a plantar	un.	158 189
Sementeira de prado	ha	32,98
Hidrossementeira (aterro)	ha	178,94
Hidrossementeira (escavação)	ha	185,52

Designação	Un.	Quantidade
Hidrossementeira sem arbustos altos (TSF)	ha	27,34
Manutenção de zonas plantadas (3 anos)	ha	268,52
Manutenção de zonas semeadas (3 anos)	ha	27,34

A estimativa e o faseamento dos custos de encerramento são apresentados nas secções 11.10.1 e 11.10.2 deste capítulo. O seu tratamento na avaliação económica é apresentado no Capítulo VIII, na secção «Encerramento, Recuperação e Garantia Financeira».

12 PLANEAMENTO DE ATIVIDADES

O presente capítulo descreve as principais operações de movimentação de terras nos períodos do programa de exploração, que incluem os Anos -2 e -1 e os Anos 1 a 20. Os anos do plano decorrem de outubro a setembro. O calendário financeiro distingue a construção, o comissionamento, a operação e os encargos de encerramento, prolongando estes últimos até março de 2049, conforme os Capítulos 8 e 11.

Para cada período são apresentadas as massas movimentadas, a alimentação da lavaria, a produção de concentrado e das matérias-primas secundárias, dos rejeitados e dos materiais de construção e recuperação. Os diagramas distinguem os fluxos anuais dos stocks no final de cada ano e utilizam as quantidades do cronograma de lavra do Plano de Lavra. O faseamento das atividades é sintetizado na Figura 12.1.

Projeto do Barroso | Cronograma integrado da vida da mina

Ano do plano de lavra				Ano -2	Ano -1	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20	Ano 21	Continuidade
Meses relativos do PAAO				M1 a 8	M9 a 20	M21 a 32	M33 a 44	M45 a 56	M57 a 68	M69 a 80	M81 a 92	M93 a 104	M105 a 116	M117 a 128	M129 a 140	M141 a 152	M153 a 164	M165 a 176	M177 a 188	M189 a 200	M201 a 212	M213 a 224	M225 a 236	M237 a 248	M249 a 260	M261 a 266	Após M266
ID	Atividade	Início M	Fim M																								Continua
Construção																											
C01	Bloco Este | acessos e mobilização	1	30																								
C02	Bloco Este | infraestruturas hidráulicas	5	22																								
C03	Bloco Este | lavaria, energia e edifícios	2	29																								
C04	TSF | construção inicial	4	22																								
C05	Bloco Oeste | acesso e ponte	93	104																								
C06	Bloco Oeste | infraestruturas hidráulicas	93	104																								
Exploração e recuperação progressiva																											
P01	Pinheiro | preparação e decapagem faseada	2	11																								
P02	Pinheiro | extração de minério e estéril	9	50																								
P03	Pinheiro | enchimento e recuperação	57	104																								
P04	Grandão | preparação e decapagem faseada	2	44																								
P05	Grandão | extração de minério e estéril	12	140																								
P06	Grandão | enchimento	135	236																								
P07	Grandão | recuperação superficial	201	248																								
P08	NOA | preparação e decapagem faseada	93	116																								
P09	NOA | extração de minério e estéril	111	140																								
P10	NOA | enchimento e recuperação	141	164																								
P11	Reservatório | preparação e decapagem faseada	123	140																								
P12	Reservatório | extração de minério e estéril	123	200																								
P13	Reservatório | enchimento	195	224																								
P14	Reservatório | recuperação superficial	207	224																								
P15	Lavaria | processamento e concentrado	21	200																								
P16	Minério | stocks e retoma	9	116																								
P17	Matérias-primas secundárias | vendas	24	203																								
P18	Escombreiras | deposição e remobilização	12	242																								
P19	TSF | deposição e construção progressiva	21	200																								
Encerramento e pós-encerramento																											
E01	Desmantelamento faseado das instalações	189	212																								
E02	Recuperação progressiva e final das infraestruturas	21	254																								
E03	Recuperação das escombreiras	153	248																								
E04	TSF | cobertura e recuperação	21	212																								
E05	Gestão de águas no pós-encerramento	201	266																								→
E06	Monitorização e manutenção pós-encerramento	201	266																								→
E07	Encargos de encerramento | horizonte financeiro	141	266																								

Figura 12.1 – Resumo do Cronograma do Projeto de Ampliação da Mina do Barroso.

12.1 FASE DE CONSTRUÇÃO

A fase de construção decorre durante dois anos anteriores ao início da produção e é inteiramente dedicada à preparação das infraestruturas mineiras. Neste período, no ano -1, ocorrerá extração de 154kt de minério das cortas do Pinheiro e Grandão, que será depositado no parque de minério e não será processado, não ocorrendo a produção de concentrado de espodumena.

As operações centram-se na terraplanagem de plataformas e estradas, na construção de reservatórios de água e de controlo de sedimentos (RCA/RCS), e no arranque da construção do muro de contenção da instalação de resíduos mineiros (TSF). A terra vegetal decapada é devidamente armazenada em pargas (PRG) para posterior utilização na reabilitação paisagística.

Nos próximos pontos estão esquemas de toda a movimentação de terras. Para mais fácil interpretação, na Figura 12.2 encontra-se a legenda dos esquemas.

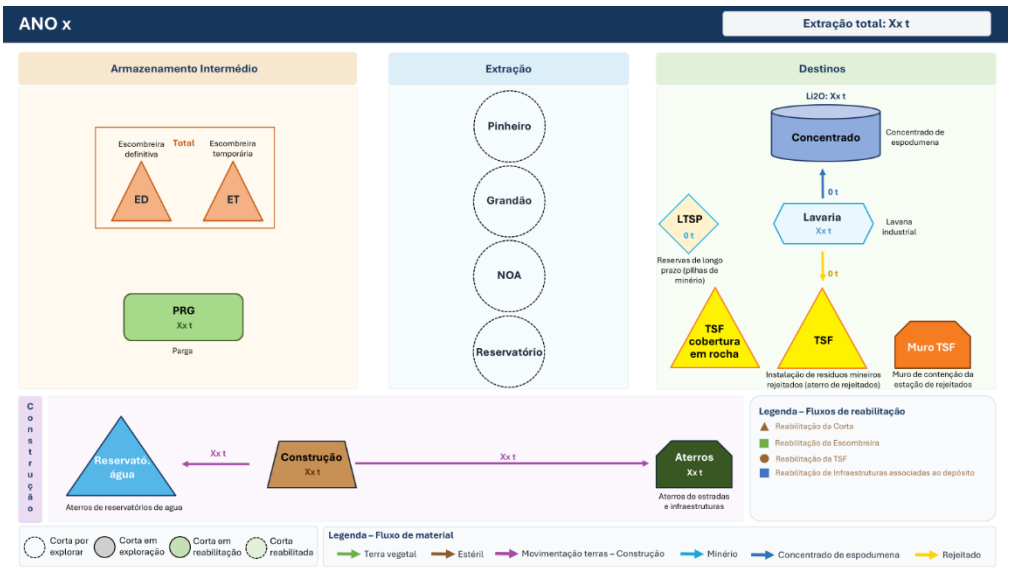


Figura 12.2 – Esquema tipo e Legenda dos Esquemas das Movimentações de Material.

12.1.1 ANO -2 – PREPARAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS

No primeiro ano de construção as atividades concentram-se na implantação das infraestruturas de base do projeto, incluindo a construção do principal acesso rodoviário, a estrada de acesso norte. Procede-se ao início da decapagem e armazenamento de terra vegetal nas pargas (PRG) e ao início da construção dos aterros de estradas e plataformas.

Neste ano inicia-se a construção do muro da TSF (Estágio 1), cujas movimentações ascendem a valores significativos de material para aterro, e constroem-se dois dos seis reservatórios de água e de controlo ambiental.

As cortas do Pinheiro, Grandão, Reservatório e NOA encontram-se ainda inalteradas, não havendo extração de minério. O volume total movimentado neste ano destina-se exclusivamente a obras de construção civil e preparação do couto mineiro.

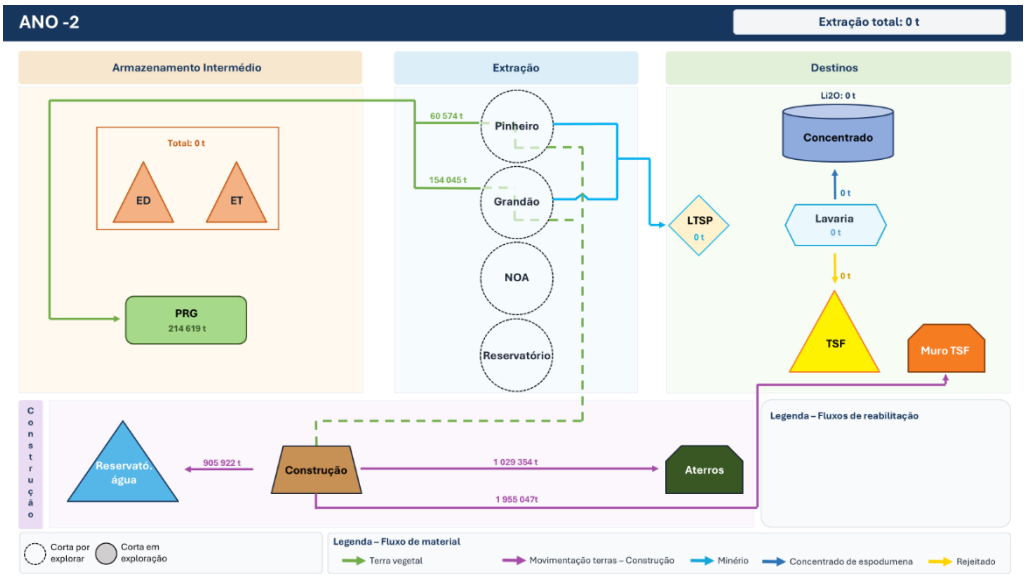


Figura 12.3 – Fluxos de materiais no Ano -2.

12.1.2 ANO -1 – PRÉ-DECAPAGEM E ARRANQUE DAS CORTAS

No segundo ano de construção inicia-se o desmonte e remoção de estéril nas cortas, numa operação denominada pré-decapagem, que visa expor o maciço mineralizado e permitir o arranque imediato da produção de concentrado no Ano 1.

A extração das cortas no Ano -1 totaliza aproximadamente 3,449 Mt, incluindo 3,296 Mt de estéril e 0,154 Mt de minério. O estéril e os materiais das escavações de construção são encaminhados para os destinos individualizados na Figura 12.4.

Uma porção de minério é colocada em stocks de minério (LTSP) na plataforma de minério (ROM). Continuam os trabalhos de construção do muro da TSF (Estágios 1 e 2) e dos reservatórios de água, com volumes de aterro substanciais. A lavaria não se encontra ainda em operação e não há produção de concentrado de espodumena neste período.

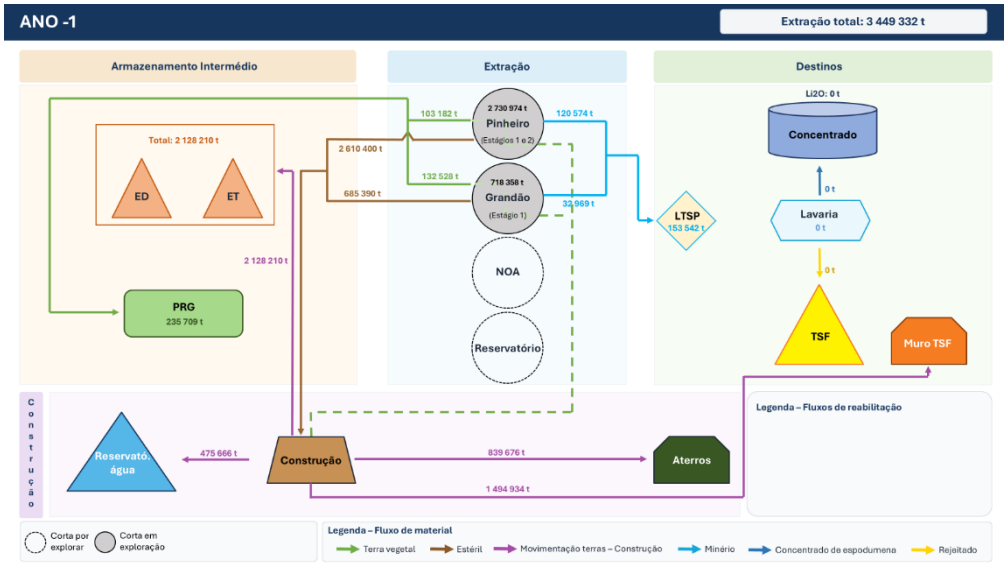


Figura 12.4 – Fluxos de materiais no Ano -1.

12.2 FASE DE OPERAÇÃO (ANOS 1 A 15)

A fase de processamento abrange os Anos 1 a 15. A exploração das quatro cortas é sequencial e parcialmente sobreposta, de acordo com o programa do Capítulo 4. A lavaria produz concentrado de espodumena e frações minerais repartidas entre comercialização como matérias-primas secundárias e deposição na TSF.

Em paralelo, decorrem progressivamente atividades de reabilitação nas áreas já exploradas. Os volumes de extração anuais situam-se tipicamente entre 3 e 9,5 milhões de toneladas, com variações associadas à geometria e teor dos diferentes setores das cortas. A produção de concentrado de espodumena terá uma recuperação estimada de Li_2O que oscila entre aproximadamente 2 000 e 12 000 toneladas por ano, refletindo as variações de teor do minério processado.

12.2.1 ANO 1 – INÍCIO DA PRODUÇÃO

O Ano 1 marca o arranque da operação mineira plena, com a lavaria a entrar em funcionamento e a produção de concentrado de espodumena a iniciar-se. A extração total ultrapassa os 8,3 milhões de toneladas, das quais cerca de 1,3 milhões correspondem a minério alimentado à lavaria.

O estéril é encaminhado para a escombreira definitiva e temporária, enquanto o material de reserva é depositado nas LTSP. Produzem-se aproximadamente 7 116 toneladas de Li_2O.

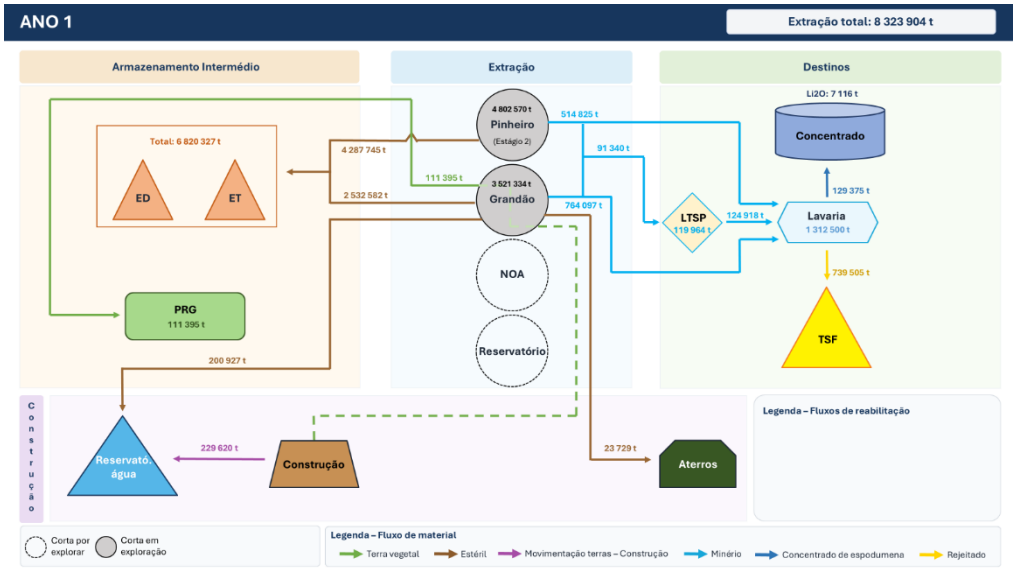


Figura 12.5 – Fluxos de materiais no Ano 1.

12.2.2 ANO 2 – CONSOLIDAÇÃO DA PRODUÇÃO E COBERTURA DA TSF

No Ano 2 a produção estabiliza, com uma extração total próxima dos 8,0 milhões de toneladas e uma produção de Li_2O de cerca de 9 870 toneladas. A lavaria opera em plena capacidade.

Neste ano procede-se também ao primeiro levantamento de cobertura em rocha na TSF, operação que consiste na deposição de material rochoso sobre a superfície dos rejeitados já depositados, garantindo a estabilidade física e a contenção de poeiras. Esta operação irá repetir-se em anos subsequentes à medida que a TSF é progressivamente preenchida.

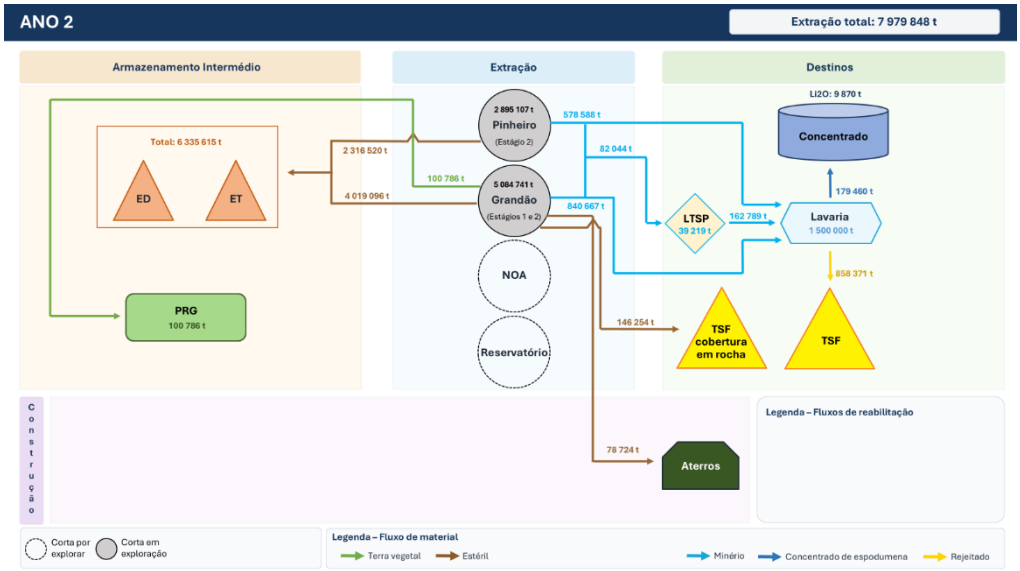


Figura 12.6 – Fluxos de materiais no Ano 2.

12.2.3 ANO 3 – OPERAÇÃO CONTÍNUA

O Ano 3 mantém o ritmo de produção estabelecido, com aproximadamente 8,6 milhões de toneladas extraídas e uma produção de Li_2O de cerca de 9 295 toneladas.

Prosseguem as operações de deposição de estéril na escombreira definitiva e de alimentação da lavaria. A corta do Pinheiro termina a exploração.

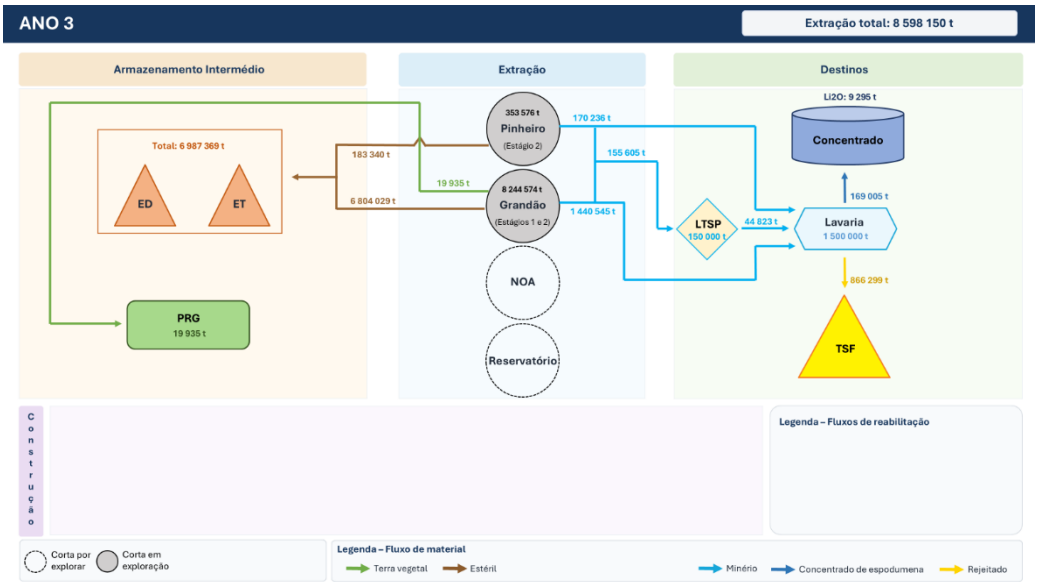


Figura 12.7 – Fluxos de materiais no Ano 3.

12.2.4 Ano 4 – Reabilitação Progressiva das Cortas

O Ano 4 regista uma extração total que atinge praticamente 9,3 milhões de toneladas, com uma produção de Li_2O de aproximadamente 10 361 toneladas – um dos valores mais elevados do projeto.

A partir deste ano inicia-se o processo de reabilitação da corta do Pinheiro com enchimento direto da exploração do Grandão, evidenciando o carácter progressivo da recuperação das áreas afetadas. Procede-se também a uma nova cobertura em rocha na TSF. A escombreira temporária do Grandão mantém o material acumulado para a retoma programada a partir do Ano 10.

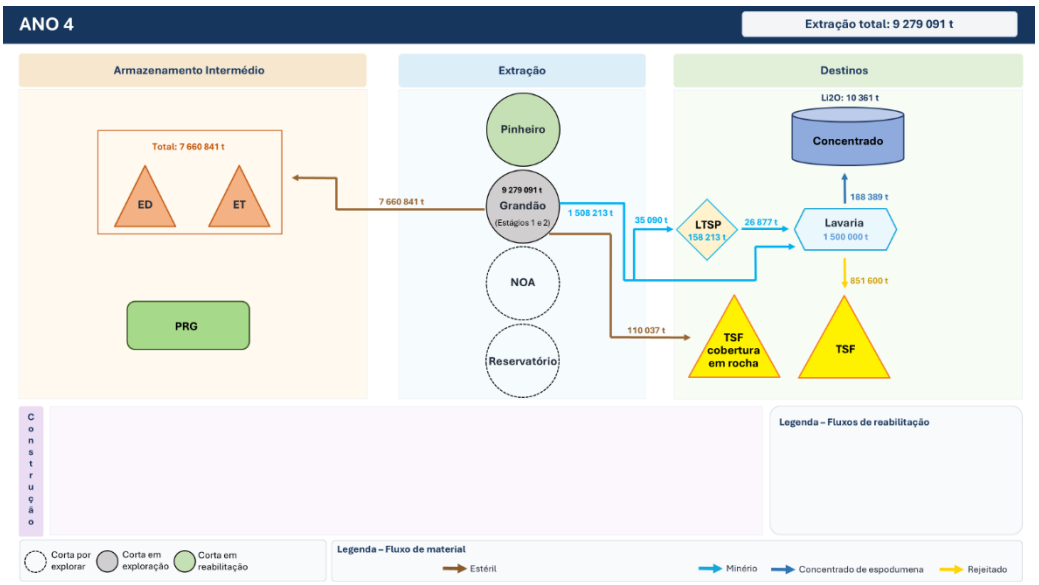


Figura 12.8 – Fluxos de materiais no Ano 4.

12.2.5 Ano 5 – Operação Contínua

O Ano 5 mantém o ritmo de maior intensidade operacional, com extração total de cerca de 9,3 milhões de toneladas e produção de Li_2O de 9 862 toneladas.

As cortas ativas neste período são a do Grandão em extração e a do Pinheiro em preenchimento, decorrendo em paralelo nova cobertura em rocha da TSF, e continuação da deposição de estéril na escombreira definitiva. A escombreira temporária do Grandão mantém o material acumulado para a retoma programada a partir do Ano 10.

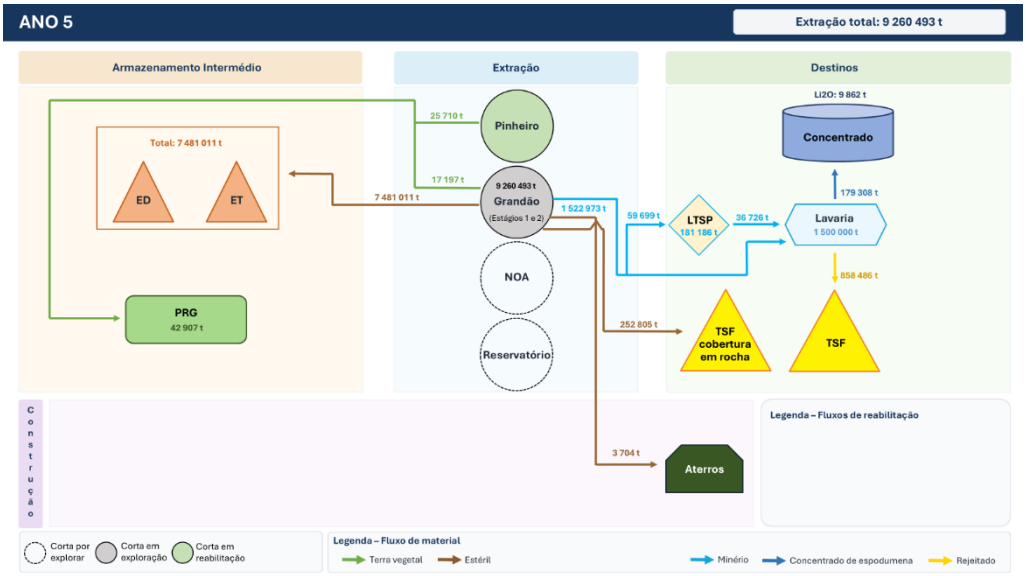


Figura 12.9 – Fluxos de materiais no Ano 5.

12.2.6 ANO 6 – PRODUÇÃO ESTABILIZADA

No Ano 6 a extração total aproxima-se dos 9,4 milhões de toneladas, com uma produção de Li_2O de 8 525 toneladas. O fluxo operacional mantém-se estável, com alimentação contínua à lavaria, deposição de estéril e rejeitados nos respetivos destinos finais, e prosseguimento das coberturas da TSF. Prossegue o preenchimento da corta do Pinheiro.

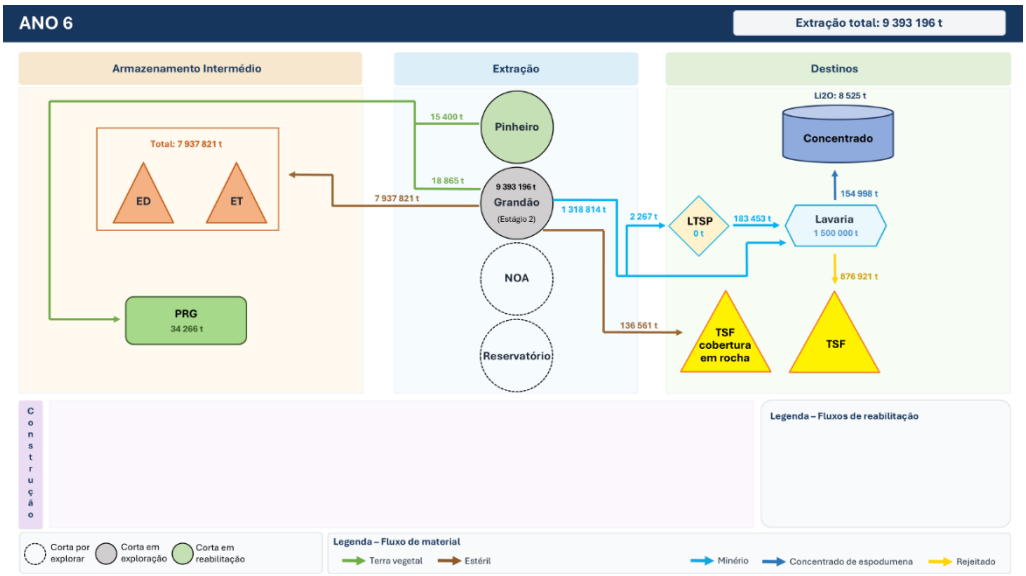


Figura 12.10 – Fluxos de materiais no Ano 6.

12.2.7 ANO 7 – MÁXIMA PRODUÇÃO DE Li_2O

O Ano 7 destaca-se por registar a maior produção anual de Li_2O do projeto, com aproximadamente 11 645 toneladas, correspondendo a um total extraído de cerca de 9,1 milhões de toneladas. Este valor reflete a exploração de setores de elevado teor na corta ativa do Grandão. A lavaria mantém a operação em plena capacidade e prossegue a cobertura em rocha da TSF. A extração da corta do Grandão leva ao preenchimento por completo da corta do Pinheiro, continuando posteriormente a deposição de estéril nas escombreiras temporária e definitiva.

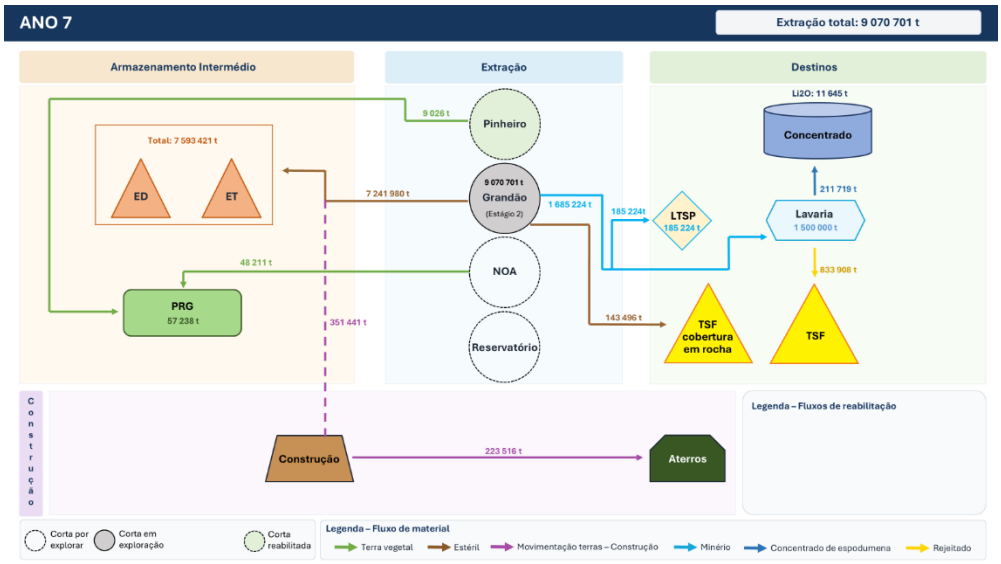


Figura 12.11 – Fluxos de materiais no Ano 7.

12.2.8 ANO 8 – INÍCIO DA REDUÇÃO DA PRODUÇÃO

No Ano 8 a extração total situa-se em torno dos 6,3 milhões de toneladas, com uma produção de Li_2O de 10 055 toneladas. O volume de extração entra em declínio gradualmente, reflexo do aprofundamento das cortas e da transição para setores de lavra mais complexos. Neste ano é iniciada a exploração mineira na corta do NOA, mantendo-se o Grandão com a maioria da tonelagem extraída. Realizam-se novas coberturas em rocha da TSF. Este é o último ano em que são utilizadas as pilhas de reserva de longo prazo (LTSP).

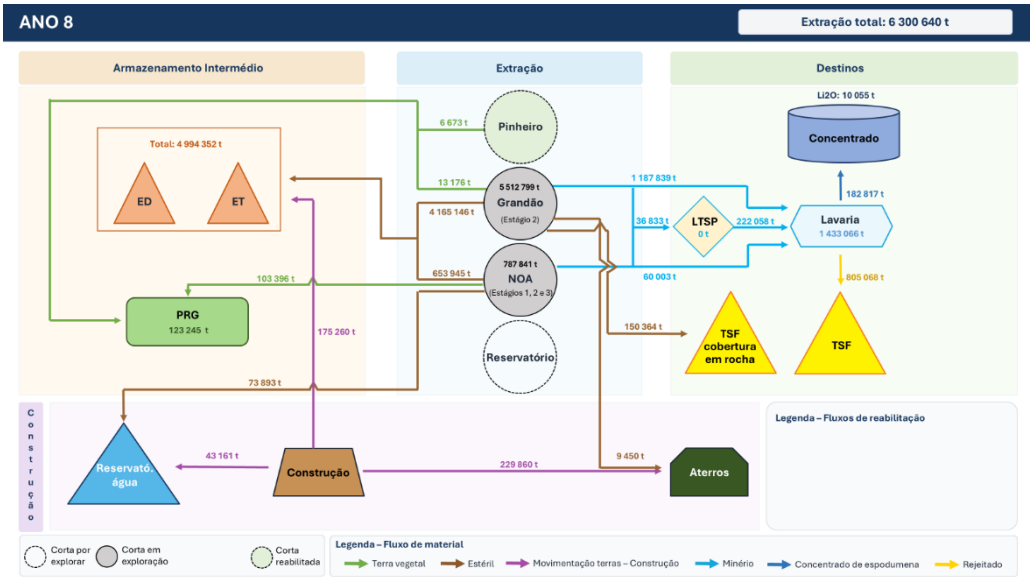


Figura 12.12 – Fluxos de materiais no Ano 8.

12.2.9 ANO 9 – TRANSIÇÃO OPERACIONAL

O Ano 9 regista uma extração total de aproximadamente 4,4 milhões de toneladas e uma produção de Li_2O de 8 950 toneladas. A redução do volume extraído reflete o esgotamento progressivo das reservas mais acessíveis e a geometria das cortas em profundidade no Grandão. A exploração da corta do NOA prossegue, terminando no Ano 10. Iniciam-se os trabalhos de extração no Reservatório, ainda sem produção de minério nessa corta no Ano 9. A lavaria mantém o processamento, sendo o minério exclusivamente proveniente das cortas do Grandão e do NOA.

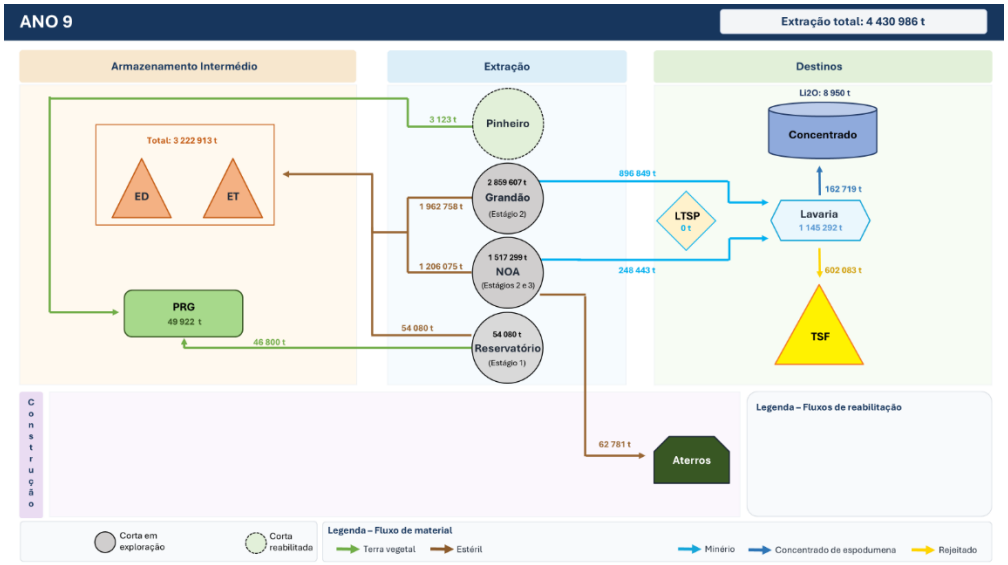


Figura 12.13 – Fluxos de materiais no Ano 9.

12.2.10 Ano 10 – Conclusão da Exploração do Grandão e do NOA

O Ano 10 marca o último ano de extração nas cortas do Grandão e do NOA, mantendo-se os trabalhos no Reservatório. A extração total cai para cerca de 2,8 milhões de toneladas, com uma produção de Li_2O de 4 591 toneladas. O menor volume extraído resulta da combinação entre o aprofundamento das cortas e o incremento de estéril por tonelada de minério lavrado (rácio de desmonte).

A lavaria continua em operação. Neste ano inicia-se a reabilitação da corta do Grandão, sendo preenchido com material estéril proveniente da sua escombreira.

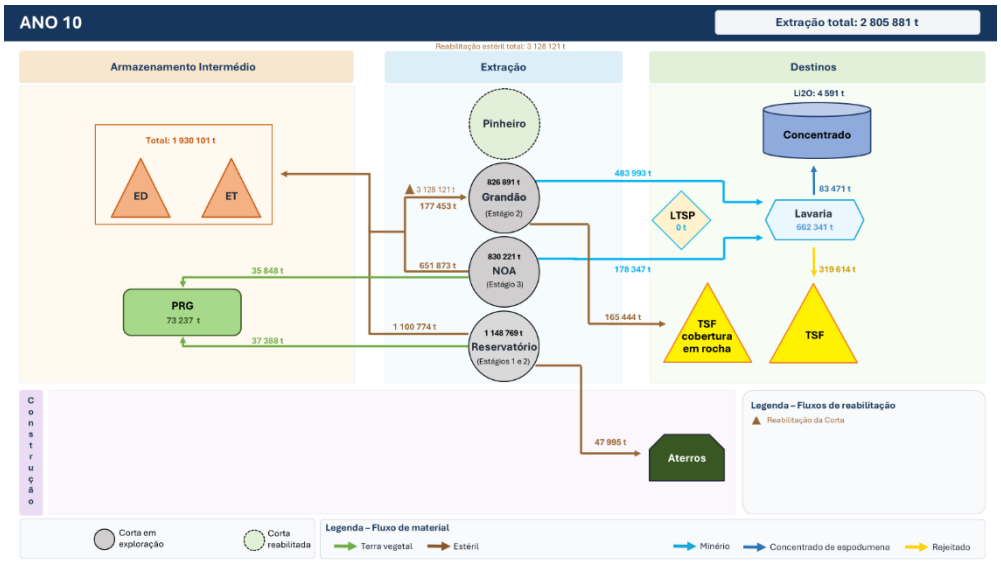


Figura 12.14 – Fluxos de materiais no Ano 10.

12.2.11 Ano 11 – Período de Baixo Teor

No Ano 11 registam-se cerca de 4,5 milhões de toneladas extraídas e uma produção de Li_2O de 2 164 toneladas – o valor mais baixo de toda a fase de operação – refletindo a exploração de setores de menor teor. A lavaria processa mais uma vez apenas o minério extraído, neste caso do Reservatório. Inicia-se a reabilitação da corta do NOA e a reabilitação da corta do Grandão e escombreiras prossegue de forma ativa. A partir deste ano apenas é feita extração na corta do Reservatório.

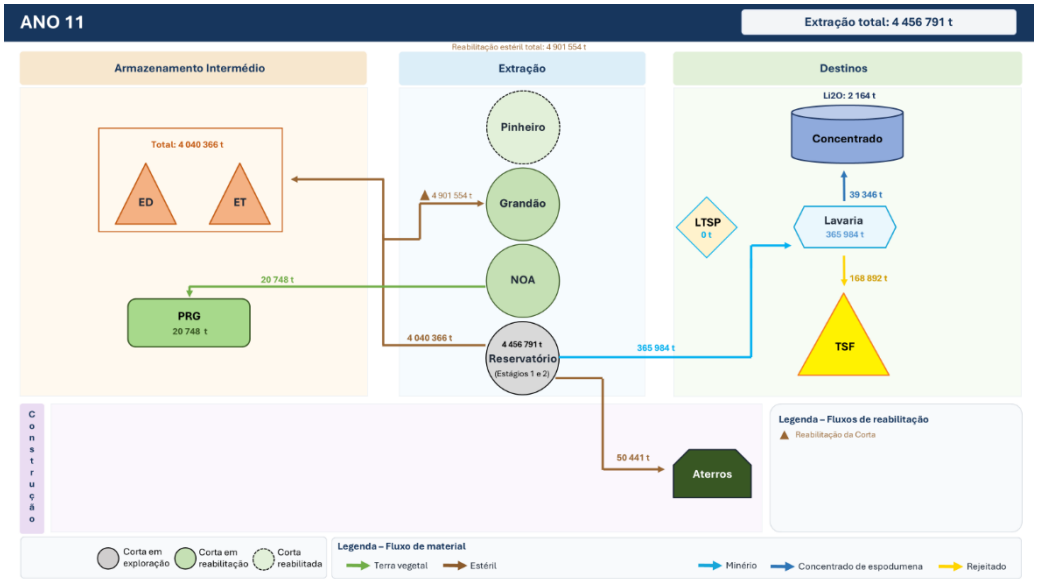


Figura 12.15 – Fluxos de materiais no Ano 11.

12.2.12 Ano 12 – Recuperação da Produção e Início da Reabilitação das Pargas de Solos

O Ano 12 apresenta uma recuperação dos volumes de produção, com extração total de 5,4 milhões de toneladas e produção de Li_2O de 7 878 toneladas. Esta recuperação deve-se ao acesso a novos setores de lavra com teor mais elevado. As atividades de reabilitação de solos iniciam neste ano, com colocação de terra vegetal proveniente das pargas e estabelecimento da cobertura vegetal na escombreira do GRA. Dada a dimensão reduzida da corta do NOA, a sua reabilitação termina neste ano.

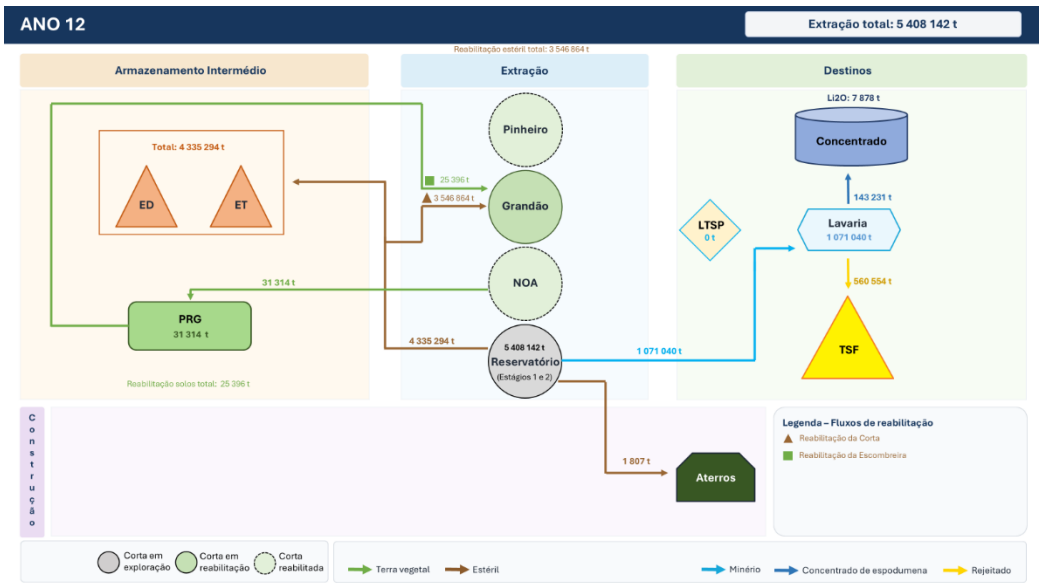


Figura 12.16 – Fluxos de materiais no Ano 12.

12.2.13 ANO 13 – ESTABILIDADE DA PRODUÇÃO

No Ano 13 extrai-se um total de cerca de 4,6 milhões de toneladas, com produção de Li_2O de 4 481 toneladas. O projeto continua a fase de operação com estabilidade, com a lavaria em funcionamento e os rejeitados a ser depositados na TSF. As reabilitações progressivas continuam a avançar, abrangendo já uma área significativa da área de implantação do projeto mineiro.

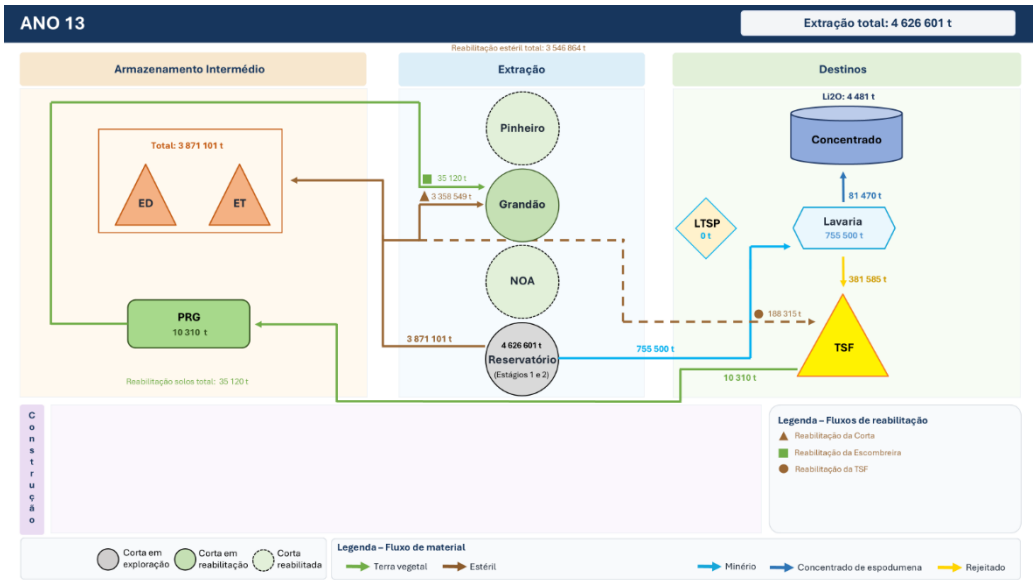


Figura 12.17 – Fluxos de materiais no Ano 13.

12.2.14 ANO 14 – ELEVADO TEOR COM MENOR VOLUME

O Ano 14 regista aproximadamente 3,0 milhões de toneladas extraídas e uma produção de Li_2O de 9 103 toneladas. O elevado teor médio do minério processado neste período justifica a produção expressiva de concentrado de espodumena face ao menor volume extraído. As atividades de reabilitação ambiental continuam em paralelo, com reabilitação de escombreiras e cortas e reabilitação das infraestruturas associadas.

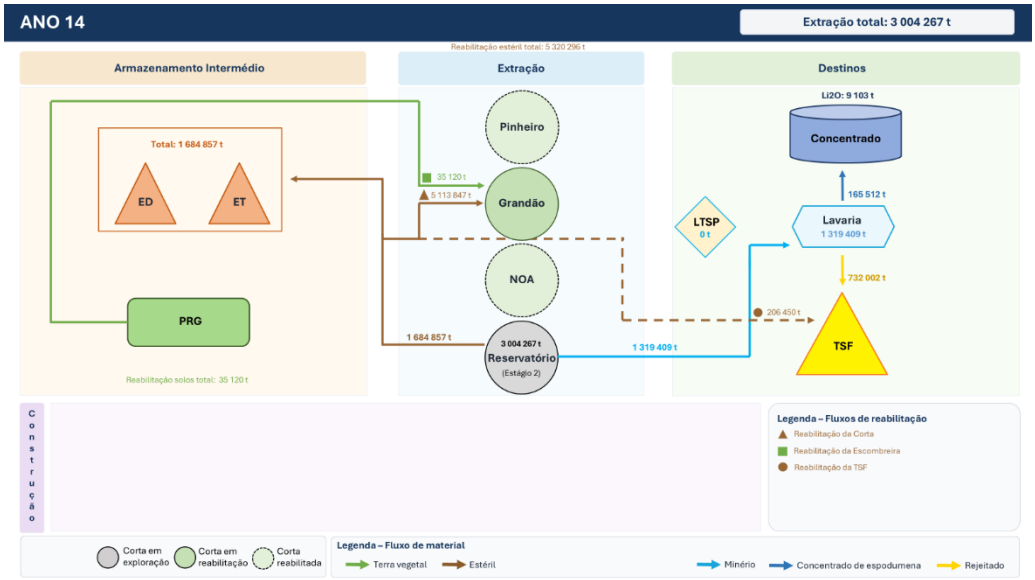


Figura 12.18 – Fluxos de materiais no Ano 14.

12.2.15 Ano 15 – Último Ano de Processamento

O Ano 15 constitui o último ano de processamento na lavaria. São extraídas cerca de 0,63 milhões de toneladas e produzidas aproximadamente 2 525 toneladas de Li_2O.

O decréscimo acentuado dos volumes de extração reflete o quase esgotamento das reservas exploráveis no final da vida útil da corta do Reservatório. A lavaria encerra a sua operação no final deste ano. As atividades de reabilitação ambiental já abrangem uma parte muito significativa da área intervencionada do projeto. No final do Ano 15 encontra-se concluída a remoção integral da escombreira temporária do Grandão.

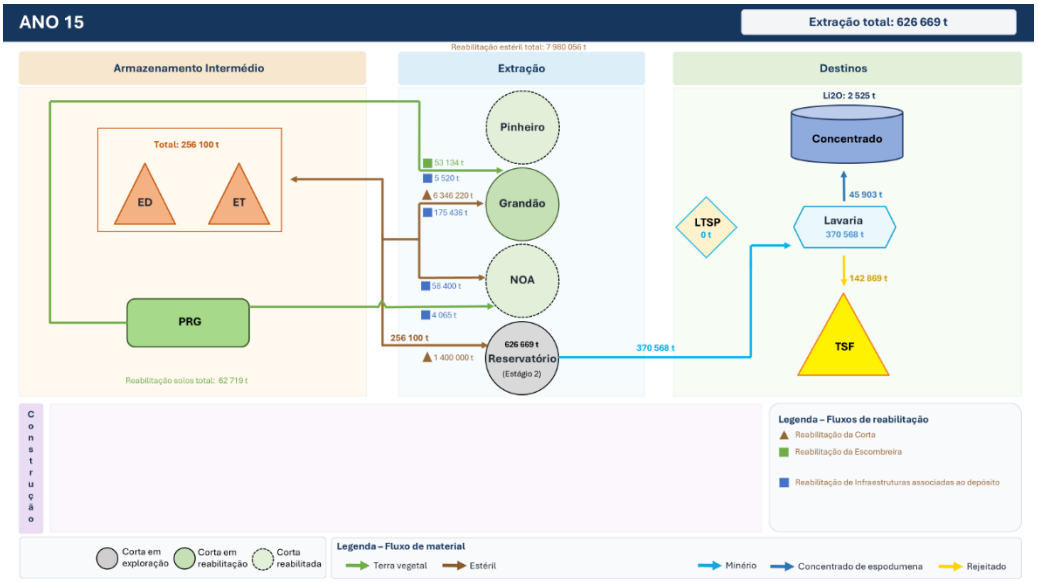


Figura 12.19 – Fluxos de materiais no Ano 15.

12.3 Fase de Encerramento e Reabilitação (Anos 16 a 20)

A fase de encerramento e reabilitação decorre entre os Anos 16 e 20, após o encerramento da lavaria. Não há produção de concentrado de espodumena neste período.

O foco desta fase é a reabilitação ambiental integral de toda a área mineira, incluindo a modelação final das escombreiras, a reabilitação das cortas, a cobertura e estabilização da TSF, a remoção e reabilitação das infraestruturas associadas, e a reposição da terra vegetal armazenada nas pargas. O objetivo é devolver ao território uma morfologia e cobertura vegetal compatíveis com os usos do solo pré-existentes.

12.3.1 Ano 16 – Continuação da Recuperação após o Processamento

No Ano 16 não há extração de minério nem produção de concentrado. As operações centram-se na reabilitação das cortas (RE CO) do Grandão e do Reservatório, na reabilitação das infraestruturas associadas (RE INF) e no início da reabilitação das escombreiras (RE ES), incluindo a escombreira definitiva (Pinheiro). Os volumes mobilizados neste ano, da ordem das 144 000 toneladas de solos reabilitados, refletem a intensidade crescente dos trabalhos de fecho. A TSF é consolidada, com os rejeitados cobertos e estabilizados.

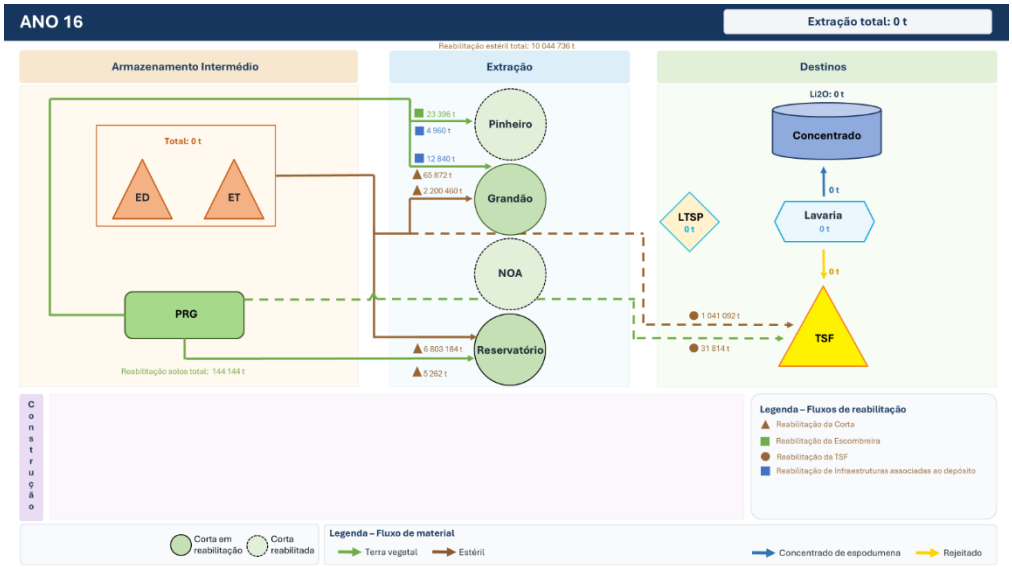


Figura 12.20 – Fluxos de materiais no Ano 16.

12.3.2 ANO 17 – REABILITAÇÃO INTENSIVA

O Ano 17 apresenta uma massa de solos mobilizados para reabilitação próxima das 339 000 toneladas. Este indicador distingue-se da remobilização de estéreis, cujo máximo ocorre no Ano 16. Os trabalhos de reabilitação de cortas (RE CO), infraestruturas (RE INF) e escombreiras (RE ES) decorrem simultaneamente em múltiplos setores do projeto, mobilizando equipamento de terraplenagem em larga escala. A reabilitação da corta do Reservatório é terminada neste ano.

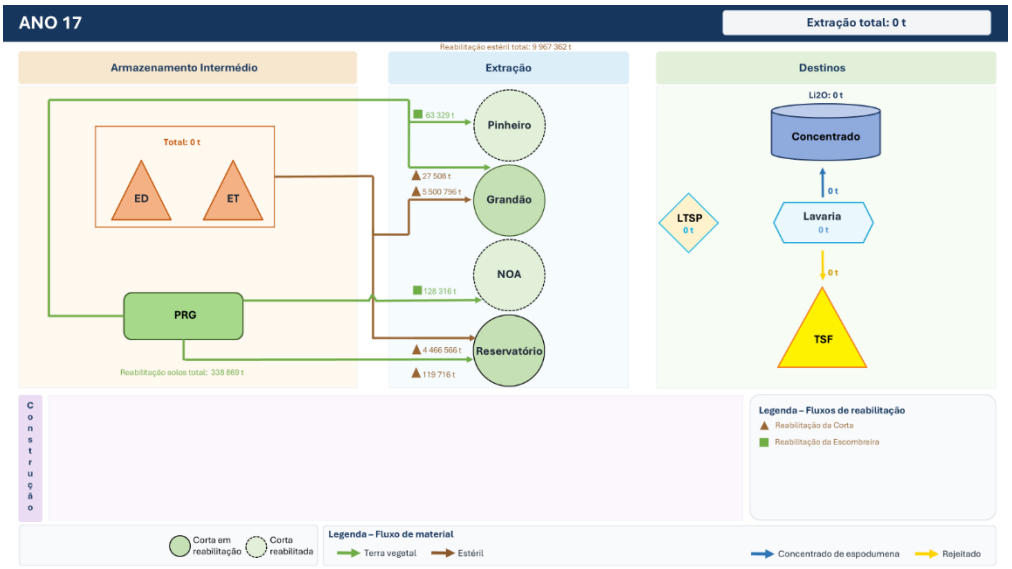


Figura 12.21 – Fluxos de materiais no Ano 17.

12.3.3 ANO 18 – COBERTURA VEGETAL E REABILITAÇÃO

No Ano 18 os trabalhos de reabilitação prosseguem com a deposição de terra vegetal sobre as superfícies modeladas e a sementeira ou plantação de espécies vegetais autóctones. A massa total de solos mobilizados é de cerca de 146 000 toneladas. Prosseguem ainda trabalhos de reabilitação da corta do Grandão e das infraestruturas associadas ao depósito de rejeitados. Não há qualquer extração de minério neste ano.

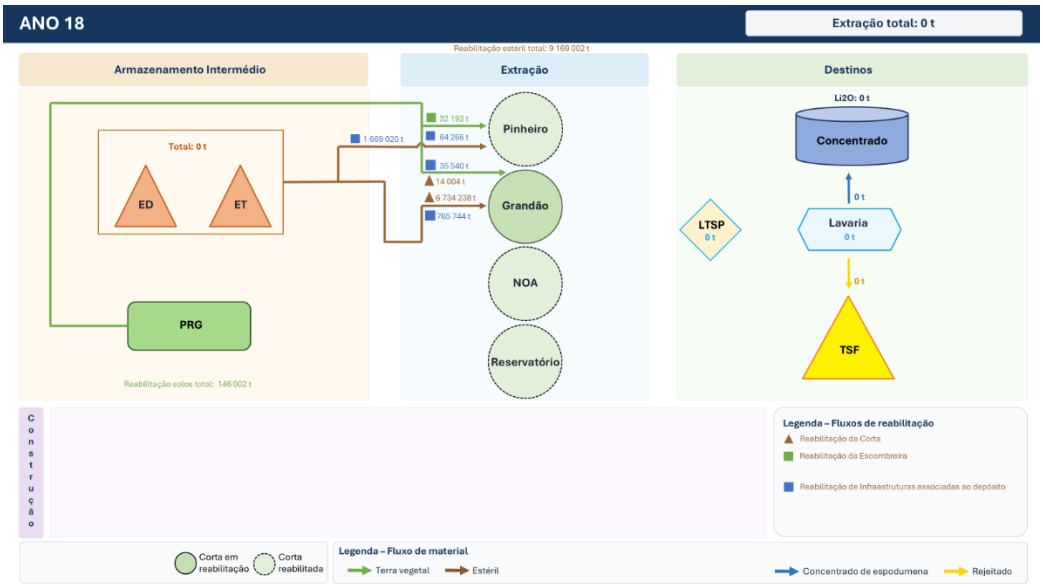


Figura 12.22 – Fluxos de materiais no Ano 18.

12.3.4 ANO 19 – CONCLUSÃO DA REABILITAÇÃO

O Ano 19 continua a reabilitação ambiental das áreas remanescentes, com trabalhos de reabilitação de cortas (Grandão), infraestruturas e escombreiras nos setores ainda pendentes de conclusão. A massa total de solos reabilitados aproxima-se das 277 000 toneladas. Este ano é marcado pela conclusão da reabilitação da corta do Grandão, terminando a reabilitação das cortas, e pelo fim da reabilitação das terras vegetais na escombreira definitiva, no Pinheiro. As áreas já reabilitadas nos anos anteriores encontram-se em monitorização, com avaliação do estabelecimento da cobertura vegetal e da estabilidade geotécnica das superfícies modeladas.

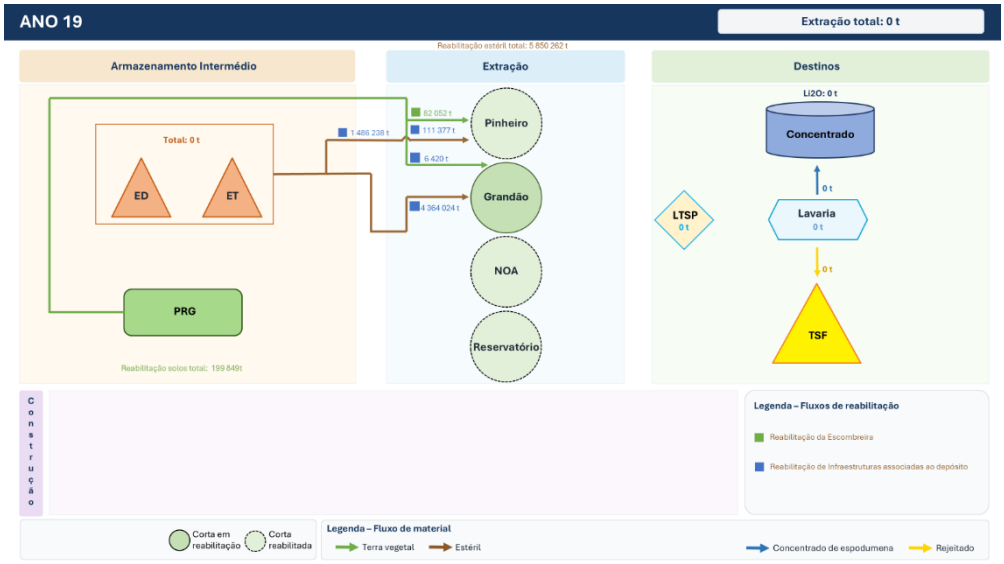


Figura 12.23 – Fluxos de materiais no Ano 19.

12.3.5 ANO 20 – ÚLTIMO PERÍODO DE MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS

O Ano 20 corresponde ao último período de movimentação de materiais representado no cronograma de lavra. As operações finais incluem a reabilitação das últimas áreas de infraestruturas (RE INF), com uma massa total de solos mobilizados de cerca de 73 000 toneladas.

No final deste período, a configuração física prevista no programa de movimentação de materiais contempla superfícies reabilitadas, a TSF estabilizada e coberta, as escombreiras modeladas e infraestruturas removidas ou integradas na paisagem, conforme o plano de encerramento. A monitorização ambiental pós-encerramento prossegue pelo período estabelecido no plano aprovado e nas condições de licenciamento.

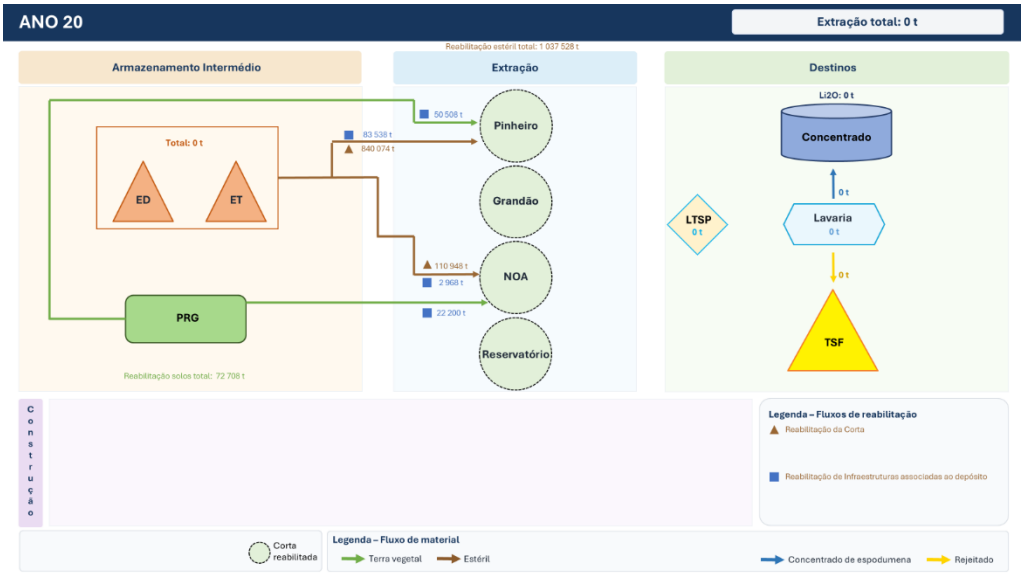


Figura 12.24 – Fluxos de materiais no Ano 20.

12.4 SÍNTESE DO CICLO DE VIDA MINEIRO

O programa de exploração contempla 97,015 Mt secas de material extraído das cortas, incluindo 17,436 Mt de minério e 79,579 Mt de estéril. A movimentação global contabilizada no cronograma de lavra, incluindo construção e outras movimentações, totaliza 169,095 Mt, pelo que não corresponde apenas à extração das cortas. A produção acumulada é de 2,117 Mt secas de concentrado SC5,5, contendo aproximadamente 116,420 kt de Li_2O. O máximo anual de Li_2O recuperado ocorre no Ano 7, com cerca de 11,645 kt.

A gestão da movimentação de terras segue o princípio da mínima pegada ambiental e da reabilitação progressiva: à medida que cada setor de corta é esgotado, inicia-se a sua reabilitação, minimizando a área perturbada em simultâneo e reduzindo o impacte visual e ambiental do projeto. A terra vegetal decapada no início do projeto é conservada em pargas e reintroduzida faseadamente nas superfícies reabilitadas, garantindo a continuidade dos processos edáficos e o restabelecimento da cobertura vegetal autóctone.

O esquema de movimentação de terras descrito neste capítulo, e ilustrado pelos diagramas de fluxo de material para cada ano do projeto, constitui a base do plano de gestão de resíduos e do plano de encerramento e reabilitação do Projeto Barroso.

BIBLIOGRAFIA

Agência Portuguesa do Ambiente (2023) - Critérios Para a Classificação das Massas de Água. Ficha Técnica DRH/DEQA.

Barnett, B., Townley, L. R., Hunt, R. J. & Peeters, L. (2012) - Australian Groundwater Modelling Guidelines, Waterlines report, National Water Commission, Canberra.

Clos, P., Thamm, R., Struckmeier, W. & Winter, P. (2008) - International Hydrogeological Map of Europe, reduced to the scale of 1:5 000 000. Planetearth - Earth Sciences for Society.

Hatch (2018) - Scoping Study Report, H356699-00000-100-146-0001, July 2018.

Knight Piésold (2018) - Mina Do Barroso Lithium Project – Groundwater Review Rev 1, PE18-01131, November 2018.

Knight Piésold (2023) - Mina Do Barroso Project – Hydrogeology (Numerical Modelling), LO501-00080/15-M02 Rev2, 23 January 2023.

Knight Piésold (2023) - Barroso Lithium Project – Groundwater Desktop Assessment, PE23-01101, October 2023.

Knight Piésold (2024) - Barroso Lithium Project – Hydrogeology Investigation Summary Rev 1, PE24-00150, February 2024.

Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2010), Carta Geológica de Portugal, na escala 1:1 000 000, 2ª Edição. Unidade de Geologia, Hidrogeologia e Geologia Costeira, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.

Noronha, F. & Lima, J. (1992) - Carta Geológica de Portugal, folha 6-C, na escala 1:50 000. Serviços Geológicos de Portugal.

Northern Ireland Environment Agency (2020) - European and National Drinking Water Quality Standards.

Pérez-Estaún, A., Bea, F., Castida, F., Marcos, F., Martínez Catalán, J. R., Martínez Poyatos, D., Arenas, R., Díaz Garcia, F., Azor., Simancas, J., & Gonzalez, F. (2004) - La cordillera Varisca Europea: El Macizo Ibérico. In: J.A. VERA (Ed.) Geologia de España. SGE-IGME, Madrid, pp. 21-25.

Visa Consultores (2004) - Estudo Hidrogeológico da área de Implantação de Mina de Feldspato “Mina do Barroso”.

Visa Consultores (2021) - Estudo de Impacte Ambiental da Ampliação da Mina do Barroso. Savannah Lithium Lda.

- Groundwater Modelling Decision Support Initiative

  https://gmdsi.org

- Climate Data for Cities Worldwide

  Https://en.climate-ata.org/europe/portugal/guimaraes/guimaraes-573

ANEXOS

ANEXO I

A lista de Anexos do Anexo I contém a seguinte documentação:

a) ANEXO I.1 – Localização na Carta Militar
b) ANEXO I.2 – Disposição dos Elementos do Projeto

ANEXO II

A lista de Anexos do Anexo II contém a seguinte documentação:

a) ANEXO II.1 – Mineralogia
b) ANEXO II.2 – Analises Químicas das Amostras
c) ANEXO II.3 – Planos de Prospeção - CONFIDENCIAL
d) ANEXO II.4 – Secções, Mapas e Striplogs (Registos em Colunas)
e) ANEXO II.5 – Estimativa de Recursos (Detalhe MatPrimSec)
f) ANEXO II.6 – Estimativa de Recursos (Detalhe por Jazigo_Corta)

ANEXO III

A lista de Anexos do Anexo III contém a seguinte documentação:

a) ANEXO III.1 – Analises de Águas
b) ANEXO III.2 – Logs de Sondagens
c) ANEXO III.3 – Atualização do Inventario das Nascentes
d) ANEXO III.4 – Ensaios de Infiltração em Lameiros
e) ANEXO III.5 – Ensaios de Caudal (AQTSOLV)
f) ANEXO III.6 – Cenário de Dewatering

ANEXO IV

A lista de Anexos do Anexo IV contém a seguinte documentação:

a) ANEXO IV.1 – Declaração de Certificação de Reservas
b) ANEXO IV.2 – Detalhes dos Explosivos
c) ANEXO IV.3 – Estudo Geotécnico
d) ANEXO IV.4 – Desenhos da Cortas - Planos e Secções
e) ANEXO IV.5 – Cronograma de Trabalhos

ANEXO V

A lista de Anexos do Anexo V contém a seguinte documentação:

a) ANEXO V.1 – Critérios de Dimensionamento – CONFIDENCIAL
b) ANEXO V.2 – Ensaios de Metalurgia – CONFIDENCIAL
c) ANEXO V.3 – Caracterização dos Concentrados
d) ANEXO V.4 – Desenhos de Estruturas
e) ANEXO V.5 – Diagramas de Processo (PFD) – CONFIDENCIAL
f) ANEXO V.6 – Balanco de Água e de Massa
g) ANEXO V.7 – Lista de Equipamentos
h) ANEXO V.8 – Detalhes dos Reagentes
i) ANEXO V.9 – Projeto Elétrico da Lavaria

ANEXO VI

A lista de Anexos do Anexo VI contém a seguinte documentação:

a) ANEXO VI.1 – Estradas Acessos
b) ANEXO VI.2 – Masterplan
c) ANEXO VI.3 – Desenhos dos Edifícios
d) ANEXO VI.4 – Projeto Hidráulico (ETA_ETAR_ETARI)
e) ANEXO VI.5 – Projeto de Infraestruturas Hidráulicas
f) ANEXO VI.6 – Separador de Hidrocarbonetos
g) ANEXO VI.7 – Projeto Elétrico

ANEXO VII

A lista de Anexos do Anexo VII contém a seguinte documentação:

a) ANEXO VII.1 – Caracterização de Escombro
b) ANEXO VII.2 – Caracterização dos Rejeitados
c) ANEXO VII.3 – Projeto – Instalação de Resíduos – Rejeitados

ANEXO VIII

A lista de Anexos do Anexo VIII contém a seguinte documentação:

a) ANEXO VIII.1 – Plano Mineiro – CONFIDENCIAL
b) ANEXO VIII.2 – Modelo Económico – CONFIDENCIAL

ANEXO IX

A lista de Anexos do Anexo IX contém a seguinte documentação:

a) ANEXO IX.1 - PARP-RECAPE

ANEXO X

A lista de Anexos do Anexo X contém a seguinte documentação:

a) ANEXO X.1 – Plano de Segurança e Saúde