



LIGAÇÃO DE RESILIÊNCIA ERVIDEL-SADO

PROJETO DE EXECUÇÃO

VOLUME I – ADUTOR

TOMO 1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA



Outubro de 2024

PROJETO DE EXECUÇÃO DA LIGAÇÃO DE RESILIÊNCIA ERVIDEL-SADO

ÍNDICE GERAL DE VOLUMES

VOLUME I	ADUTOR
	TOMO 1 MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA
	TOMO 2 PEÇAS DESENHADAS
	TOMO 3 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
	TOMO 4 MEDIÇÕES E LISTA DE QUANTIDADES
	TOMO 5 ESTIMATIVA ORÇAMENTAL
VOLUME II	CÂMARA DE CARGA E SISTEMA DE FILTRAÇÃO
	TOMO 1 MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA
	TOMO 2 PEÇAS DESENHADAS
	TOMO 3 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
	TOMO 4 MEDIÇÕES E LISTA DE QUANTIDADES
	TOMO 5 ESTIMATIVA ORÇAMENTAL
VOLUME III	CENTRAL MINI-HÍDRICA
	TOMO 1 MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA
	TOMO 2 PEÇAS DESENHADAS
	TOMO 3 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
	TOMO 4 MEDIÇÕES E LISTA DE QUANTIDADES
	TOMO 5 ESTIMATIVA ORÇAMENTAL
VOLUME IV	SISTEMA DE AUTOMAÇÃO E TELEGESTÃO
	TOMO 1 MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA
	TOMO 2 PEÇAS DESENHADAS
	TOMO 3 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
	TOMO 4 MEDIÇÕES E LISTA DE QUANTIDADES
	TOMO 5 ESTIMATIVA ORÇAMENTAL
VOLUME V	REDE VIÁRIA
	TOMO 1 MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA
	TOMO 2 PEÇAS DESENHADAS
	TOMO 3 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
	TOMO 4 MEDIÇÕES E LISTA DE QUANTIDADES
	TOMO 5 ESTIMATIVA ORÇAMENTAL
VOLUME VI	RELATÓRIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO
VOLUME VII	PLANO DE PREVENÇÃO E GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
VOLUME VIII	PLANO DE SEGURANÇA E SAÚDE
VOLUME IX	COMPILAÇÃO TÉCNICA

PROJETO DE EXECUÇÃO DA LIGAÇÃO DE RESILIÊNCIA ERVIDEL-SADO

VOLUME I - ADUTOR

EQUIPA TÉCNICA

Coordenação Geral	Sofia Azevedo Ph. D.
	Eng.º António Capelo
Hidráulica e equipamentos	Sofia Azevedo Ph. D.
	Engº Vitor Paulo
	Eng.º Miguel Capelo
Geologia e geotecnia	Dr. Eurico Teixeira
	Dr. Frederico Ribeiro
	Engº Fernando Ferreira
Estruturas	Engº João Vargas
Instalações Elétricas	Engº Bruno Adão
	Engº Pedro Carvalho
Desenho	Renato Barroso

ÍNDICES

TEXTO	Pág.
EQUIPA TÉCNICA	1
1 INTRODUÇÃO	1
2 CONCEÇÃO GERAL DO ADUTOR	3
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	3
2.2 CENÁRIOS DE FUNCIONAMENTO	4
2.3 CAUDAL DE DIMENSIONAMENTO E VOLUMES TRANSFERIDOS	5
3 TRAÇADO E PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO	8
3.1 TRAÇADO DO ADUTOR	8
3.2 MATERIAIS A UTILIZAR NA CONDUTA E ACESSÓRIOS	13
3.3 CRITÉRIOS DE TRAÇADO EM PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL	14
4 ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS	16
5 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	18
5.1 NÍVEIS DE MONTANTE – NO RESERVATÓRIO R1 DE ERVIDEL	18
5.2 NÍVEIS NA CÂMARA DE CARGA	19
5.3 NÍVEIS DE JUSANTE – NO RESERVATÓRIO R1 DO ROXO-SADO	19
5.4 PERDA DE CARGA NO ADUTOR	19
5.5 CLASSES DE PRESSÃO DA TUBAGEM	20
5.6 CLASSE DE PRESSÃO DA CONDUTA CP1 DO BLOCO 1 DE ERVIDEL EXISTENTE	20
6 ÓRGÃOS DE EXPLORAÇÃO E SEGURANÇA	22
6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	22
6.2 VÁLVULAS DE SECCIONAMENTO	22
6.3 VENTOSAS	23
6.3.1 Dimensionamento	23
6.3.2 Condições de instalação	26
6.4 DESCARGAS DE FUNDO	26
7 FUNDAÇÃO DA CONDUTA E ATRAVESSAMENTOS	28
7.1 FUNDAÇÃO TIPO DA CONDUTA	28
7.2 ATRAVESSAMENTOS DE ESTRADAS E LINHAS DE ÁGUA	28
7.2.1 Travessia da EN2 e da EM265-1	28
7.2.2 Travessia do Canal Condutor Geral (CCG) do Roxo	28
7.2.3 Travessia de caminhos e linhas de água	28
8 MACIÇOS DE AMARRAÇÃO	29
8.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	29
8.2 DIMENSIONAMENTO DOS MACIÇOS DE AMARRAÇÃO	29
9 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	31

9.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	31
9.2	CÁLCULOS ESTRUTURAIS	31
9.2.1	Regulamentação.....	31
9.2.2	Materiais	31
9.3	CÂMARA DE VÁLVULAS DO NÓ 1.1.....	32
9.3.1	Modelos de cálculo	32
9.3.2	Ações	32
9.3.3	Combinação de ações	32
9.3.4	Dimensionamento dos elementos	33
9.4	CÂMARA DE VÁLVULAS DO NÓ 1.12.....	38
9.4.1	Modelos de cálculo	38
9.4.2	Ações	38
9.4.3	Combinação de ações	39
9.4.4	Dimensionamento dos elementos	39
10	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS.....	45
10.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	45
10.2	CÂMARAS DE VÁLVULAS DE SECCIONAMENTO	45
10.3	CAMINHO DE CABOS.....	45

QUADROS

Quadro 2.1 – Cenários de simulação do funcionamento dos circuitos hidráulicos	4
Quadro 2.2– Caudais máximos a aduzir pelas diversas infraestruturas (adução pelo novo adutor Ervidel-Sado).....	6
Quadro 2.3– Caudais a aduzir e volumes mensais a transferir pelo novo adutor Ervidel-Sado	7
Quadro 2.4– Volumes anuais necessários a jusante do R1 do Circuito Hidráulico do Roxo-Sado e volumes a transferir a partir do adutor Ervidel-Sado (dam ³).....	7
Quadro 3.1 – Raios mínimos em tubagem de betão com alma de aço	14
Quadro 5.1 – Tempo de fecho da comporta de regulação de caudal.	21
Quadro 9.1 – Dimensionamento das secções críticas.....	37
Quadro 9.2 – Dimensionamento das secções críticas.....	43

FIGURAS

Figura 2.1 – Traçado do adutor do circuito Ervidel – Sado.....	3
Figura 3.1 – Tomada de água do reservatório de Ervidel.....	8
Figura 3.2 – Início do adutor junto à derivação para a conduta C1.1.....	9
Figura 3.3 – Vista para montante da conduta CP1 (do nó 119) e câmara de válvulas na derivação para a C1.1 do Bloco 1 de Ervidel	9
Figura 3.4 – (a) Parcela onde ficará localizada a câmara de válvulas no início do adutor; (b) casa de bombagem existente a jusante da EN2.	10

Figura 3.5 – Traçado do adutor (a vermelho) próximo do PK1+300.	10
Figura 3.6 – Traçado do adutor (a vermelho) próximo do PK1+500.	11
Figura 3.7 – Traçado do adutor (a vermelho) junto ao caminho agrícola CA3 (a) montante do PK 2+750; (b) jusante do PK 2+800.	11
Figura 3.8 – Olival do Monte do Sobrado, regado a partir dos blocos de Ervidel	12
Figura 3.9 – Nó do Xacafre (a) CCG do Roxo e derivação para R1; (b) vista para jusante do canal de derivação para o R1; (c) vista para montante; (d) comporta na entrada do R1 do Roxo-Sado.	13
Figura 4.1 – Vala tipo I. Fundação corrente	16
Figura 4.2 – Vala tipo II. Zonas com formações aluvionares (PK 4+350 a 4+444)	17
Figura 9.1 – Modelo de cálculo estrutural	32
Figura 9.2 – Laje de fundo. Momento fletor M11. Envolvente mínima de esforços.....	33
Figura 9.3 – Laje de fundo. Momento fletor M11. Envolvente máxima de esforços.....	33
Figura 9.4 – Laje de fundo. Momento fletor M22. Envolvente mínima de esforços.....	34
Figura 9.5 – Laje de fundo. Momento fletor M22. Envolvente máxima de esforços.....	34
Figura 9.6 – Laje de topo. Momento fletor M11. Envolvente mínima de esforços.....	34
Figura 9.7 – Laje de topo. Momento fletor M11. Envolvente máxima de esforços.....	35
Figura 9.8 – Laje de topo. Momento fletor M22. Envolvente mínima de esforços.....	35
Figura 9.9 – Laje de topo. Momento fletor M22. Envolvente máxima de esforços.....	35
Figura 9.10 – Paredes. Momento fletor M11. Envolvente mínima de esforços	36
Figura 9.11 – Paredes. Momento fletor M11. Envolvente máxima de esforços	36
Figura 9.12 – Paredes. Momento fletor M22. Envolvente mínima de esforços	36
Figura 9.13 – Paredes. Momento fletor M22. Envolvente máxima de esforços	37
Figura 9.14 – Modelo de Cálculo Estrutural	38
Figura 9.15 – Laje de fundo. Momento fletor M11. Envolvente mínima de esforços.....	39
Figura 9.16 – Laje de fundo. Momento fletor M11. Envolvente máxima de esforços.....	39
Figura 9.17 – Laje de fundo. Momento fletor M22. Envolvente mínima de esforços.....	40
Figura 9.18 – Laje de fundo. Momento fletor M22. Envolvente máxima de esforços.....	40
Figura 9.19 – Laje de topo. Momento fletor M11. Envolvente mínima de esforços.....	40
Figura 9.20 – Laje de topo. Momento fletor M11. Envolvente máxima de esforços.....	41
Figura 9.21 – Laje de topo. Momento fletor M22. Envolvente mínima de esforços.....	41
Figura 9.22 – Laje de topo. Momento fletor M22. Envolvente máxima de esforços.....	41
Figura 9.23 – Paredes. Momento fletor M11. Envolvente mínima de esforços	42
Figura 9.24 – Paredes. Momento fletor M11. Envolvente máxima de esforços	42
Figura 9.25 – Paredes. Momento fletor M22. Envolvente mínima de esforços	42
Figura 9.26 – Paredes. Momento fletor M22. Envolvente máxima de esforços	43

QUADROS EM ANEXO

Quadro A1 – Dimensionamento hidráulico do adutor Ervidel-Sado ($k=0,3$ mm)

Quadro A2 – Dimensionamento hidráulico do adutor Ervidel-Sado ($k=0,12$ mm)

Quadro A3 – Dimensionamento das ventosas

Quadro A4 – Descargas de fundo

Quadro A5 – Maciços de amarração. Câmaras de válvulas

Quadro A6 – Maciços de amarração. Curvas em planta

Quadro A7 – Maciços de amarração. Curvas côncavas em perfil

Quadro A8 – Maciços de amarração. Outras peças

ANEXOS

Anexo I – Estudo do regime de transitórios

1 INTRODUÇÃO

Na sequência do Concurso Público n.º 17/2023, a EDIA adjudicou ao consórcio CAMPO D'ÁGUA/AQUALOGUS a elaboração do “**Projeto de Execução da Ligação de Resiliência Ervidel-Sado**”, integrados no Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva (EFMA).

Os estudos e projetos a desenvolver visam a construção de uma infraestrutura alternativa à adução de caudais através da albufeira e do canal condutor geral (CCG) do Aproveitamento Hidroagrícola do Roxo, denominada adutor Ervidel-Sado, com os seguintes objetivos:

- Aumentar a resiliência de todo o sistema a jusante do R1 do Roxo-Sado;
- Melhorar a qualidade da água dos reservatórios a jusante da albufeira do Roxo;
- Reduzir os volumes de água elevados na estação elevatória dos Álamos e transferidos a partir da albufeira do Alqueva, com redução das perdas nas albufeiras do Penedrão e do Roxo;
- Reduzir as perdas de água no 1º Troço do CCG do Roxo e permitir efetuar paragens mais prolongadas para obras de manutenção e conservação desta infraestrutura;
- Aumentar a eficiência global do sistema de Alqueva do EFMA;
- Reduzir os custos energéticos na estação elevatória dos Álamos;
- Aumentar a garantia de abastecimento a todas as áreas de rega do EFMA;
- O dimensionamento das infraestruturas de adução às albufeiras do Penedrão e do Roxo, está no limite para as novas solicitações (Monte da Rocha, Fonte Serne), ganha-se capacidade de gestão / exploração, pois estes novos utilizadores não foram considerados no dimensionamento base.

Esta infraestrutura terá origem no reservatório R1 de Ervidel terminando no reservatório R1 do Roxo-Sado prevendo-se a construção de uma central mini-hídrica para aproveitamento da carga hidráulica disponível. O reservatório R1 de Ervidel encontra-se englobado na Ligação Pisão-Roxo, que tem início na albufeira do Pisão e termina na mini-hídrica existente a montante da albufeira do Roxo. As empreitadas de construção destas infraestruturas decorreram entre os anos de 2008 a 2010.

O reservatório R1 do Roxo-Sado faz parte do circuito hidráulico do Roxo-Sado, e tem início no final do 1º troço do CCG do Roxo (nó no Xacafre), gerido pela Associação de Regantes do Roxo (ABRoxo). As empreitadas de construção deste circuito hidráulico decorreram entre os anos de 2012 e 2013.

O presente projeto de execução refere-se ao adutor Ervidel-Sado e vem na sequência das notas técnicas, onde foram estudados vários cenários de funcionamento do sistema global desde a albufeira do Pisão até ao final do Circuito Hidráulico do Roxo-Sado e do Monte da Rocha, comparando o funcionamento dos circuitos hidráulicos e os volumes necessários a

transferir a jusante do CH do Roxo-Sado através da albufeira do Roxo, com a alternativa de parte deste volume ser transferido através do novo adutor Ervidel-Sado.

Foram identificados vários traçados alternativos, tendo sido efetuado o estudo do regime transitório para cada um dos traçados de modo a verificar quais os dispositivos de proteção necessários e definir, assim, o traçado mais favorável, que agora se desenvolve.

No **Desenho 1** é apresentada a planta de localização do adutor Ervidel-Sado, à escala 1:25 000.

Os estudos geológico-geotécnicos apresentam-se no Volume VI – Relatório Geológico-Geotécnico.

2 CONCEÇÃO GERAL DO ADUTOR

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O novo adutor Ervidel Sado terá origem no reservatório R1 de Ervidel terminando no reservatório R1 do Roxo-Sado, prevendo-se a construção de uma central mini-hídrica para o aproveitamento da energia resultante do desnível existente entre estas infraestruturas.

O reservatório R1 de Ervidel encontra-se integrado no circuito hidráulico da Ligação Pisão-Roxo. O reservatório R1 do Roxo-Sado faz parte do circuito hidráulico do Roxo-Sado.

Um dos principais objetivos dos estudos e projetos a executar, reside na criação de uma infraestrutura alternativa à adução de caudais através da barragem e do canal condutor geral do Roxo com as vantagens enumeradas anteriormente.

O adutor que ligará o R1 de Ervidel ao R1 do Roxo-Sado terá uma extensão total aproximada de 13 km, dependendo do traçado que for implementado dos quais, cerca de 4 km já se encontram construídos uma vez que será usada a conduta CP do Bloco 1 de Ervidel. O adutor terá dois troços, entre os quais se instalará uma câmara de carga, cujo traçado se apresenta na **Figura 2.1** e se detalha nos capítulos seguintes.



Figura 2.1 – Traçado do adutor do circuito Ervidel – Sado.

2.2 CENÁRIOS DE FUNCIONAMENTO

Na Nota Técnica nº1, foi efetuado um levantamento sobre o funcionamento hidráulico dos vários circuitos e das suas limitações, dos consumos nos vários pontos de distribuição, e analisados os protocolos existentes entre a EDIA e as várias entidades, para definir o modo como esses consumos devem ser distribuídos ao longo do ano, assim como os volumes máximos protocolados.

Com base em todos os elementos disponíveis foram definidos os cenários de funcionamento do sistema global desde a albufeira do Pisão até ao final do Circuito Hidráulico do Roxo-Sado e do Monte da Rocha que se apresentam no **Quadro 2.1**. Cada simulação compara o funcionamento dos circuitos hidráulicos e os volumes necessários a transferir a jusante do CH do Roxo-Sado através da albufeira do Roxo, com a alternativa de parte deste volume ser transferido através do novo adutor Ervidel-Sado.

Com estas simulações pretende-se definir quais os caudais máximos que terão de ser aduzidos a partir de cada infraestrutura, assim como definir os caudais máximos do novo adutor Ervidel-Sado.

Pretende-se ainda, com as simulações efetuadas quantificar a redução dos volumes elevados nos Álamos, e determinar os ganhos em eficiência do uso da água assim como os ganhos energéticos resultantes da construção deste adutor.

Quadro 2.1 – Cenários de simulação do funcionamento dos circuitos hidráulicos

Simulação	Alternativa	Condições de funcionamento e de fronteira
S1 – Necessidades de água para rega atuais – Ano médio	S1.1 – Albufeira do Roxo	Necessidades de água para rega – ano médio - consumos atuais Transferência para Morgavél – 10 hm ³ Transferência para a ABROxo – 29 hm ³
	S1.2 – Adutor Ervidel-Sado	Transferência para a ARBCAS – 22 hm ³ - 3 hm ³ em Fonte Serne; 10 hm ³ no Canal Condutor Geral do Alto Sado (CCGAS); 9 hm ³ em Monte da Rocha
S2 - Necessidades de água para rega futuras – Ano médio	S2.1 – Albufeira do Roxo	Necessidades de água para rega – ano médio - consumos futuros – 4.000 m ³ /ha Transferência para Morgavél – 10 hm ³ Transferência para a ABROxo – 29 hm ³
	S2.2 – Adutor Ervidel-Sado	Transferência para a ARBCAS – 22 hm ³ - 3 hm ³ em Fonte Serne; 10 hm ³ no Canal Condutor Geral do Alto Sado (CCGAS); 9 hm ³ em Monte da Rocha
S3 - Necessidades de água para rega futuras – Ano médio. Aumento dos volumes transferidos para Monte da Rocha	S3.1 – Albufeira do Roxo	Necessidades de água para rega – ano médio - consumos futuros – 4.000 m ³ /ha Transferência para Morgavél – 10 hm ³ Transferência para a ABROxo – 29 hm ³
	S3.2 – Adutor Ervidel-Sado	Transferência para a ARBCAS – 22 hm ³ - 3 hm ³ em Fonte Serne; 5 hm ³ no Canal Condutor Geral do Alto Sado (CCGAS); 14 hm ³ em Monte da Rocha

Simulação	Alternativa	Condições de funcionamento e de fronteira
S4 - Necessidades de água para rega futuras – Ano húmido	S4.1 – Albufeira do Roxo	Necessidades de água para rega – ano húmido - consumos futuros – 3.800 m ³ /ha Transferência para Morgavél – 5 hm ³
	S4.2 – Adutor Ervidel-Sado	Sem transferência para a ABROxo Transferência para a ARBCAS – 5 hm ³ no Canal Condutor Geral do Alto Sado (CCGAS); Sem transferência para as albufeiras de Fonte Serne e Monte da Rocha
S5 - Necessidades de água para rega futuras – Ano seco	S5.1 – Albufeira do Roxo	Necessidades de água para rega – ano seco - consumos futuros – 4.200 m ³ /ha Transferência para Morgavél – 20 hm ³
	S5.2 – Adutor Ervidel-Sado	Transferência para a ABROxo – 29 hm ³ Transferência para a ARBCAS – 22 hm ³ - 3 hm ³ em Fonte Serne; 10 hm ³ no Canal Condutor Geral do Alto Sado (CCGAS); 9 hm ³ em Monte da Rocha
S6 - Necessidades de água para rega futuras – Ano seco – sem transferência para a albufeira do Roxo nos meses de ponta	S6.1 – Albufeira do Roxo	Necessidades de água para rega – ano seco - consumos futuros – 4.200 m ³ /ha Transferência para Morgavél – 20 hm ³
	S6.2 – Adutor Ervidel-Sado	Transferência para a ABROxo – 29 hm ³ Transferência para a ARBCAS – 22 hm ³ - 3 hm ³ em Fonte Serne; 10 hm ³ no Canal Condutor Geral do Alto Sado (CCGAS); 9 hm ³ em Monte da Rocha Sem transferência para a albufeira do Roxo nos meses de maior sobrecarga do subsistema de Alqueva (entre 15 de junho e 15 de setembro)

A simulação que considera o ano húmido tem pouca probabilidade de ocorrer tendo em conta as solicitações cada vez mais exigentes à albufeira do Roxo, Fonte Serne e Monte da Rocha. No entanto, considera-se importante analisar para determinar se, nestas circunstâncias, seria possível transferir todo o caudal necessário aos sistemas do Roxo-Sado e Monte da Rocha através do adutor Ervidel-Sado.

Por outro lado, na simulação S6, verifica-se não ser possível transferir os volumes necessários para o Aproveitamento Hidroagrícola do Roxo, quando o abastecimento aos circuitos hidráulicos a jusante do R1 do Roxo-Sado é efetuada exclusivamente a partir do CCG do Roxo.

2.3 CAUDAL DE DIMENSIONAMENTO E VOLUMES TRANSFERIDOS

As simulações efetuadas permitiram calcular os caudais máximos a transportar nas diversas infraestruturas. No **Quadro 2.2** apresentam-se os caudais de dimensionamento e os caudais máximos que será necessário aduzir através de cada uma das infraestruturas considerando novo circuito hidráulico alternativo – adutor Ervidel-Sado.

Verifica-se que os caudais máximos a aduzir por cada uma das infraestruturas nunca é superior ao caudal que foi adotado no dimensionamento dessas infraestruturas hidráulicas,

não sendo necessário aumentar a capacidade nominal de vazão de nenhuma das infraestruturas existentes.

Com a construção do adutor Ervidel-Sado, verifica-se que, no troço Pisão-Ferreira, o caudal máximo necessário a aduzir é de 7,46 m³/s, bastante inferior ao caudal máximo de dimensionamento (10,9 m³/s). No troço Ferreira-Ervidel, atualmente bastante estrangulado, o caudal máximo a transferir é o caudal de dimensionamento da infraestrutura (5,9 m³/s) na simulação que considera que a transferência não pode ser efetuada em período de ponta.

Há que tomar em conta que o subsistema de Alqueva não foi dimensionado para as novas solicitações, nomeadamente o reforço a Fonte Serne e a Monte da Rocha, assim como o bloco de rega associado. Para além disso, todos os estudos efetuados, nomeadamente o Projecto de Execução e Estudo de Impacte Ambiental do Circuito Hidráulico Roxo-Sado e respectivo Bloco de Rega”, realizado pelo Consórcio “Cingral & CENOR”, não consideraram estes novos pedidos.

Para além disso, em todo o subsistema de Alqueva foram adicionados novos blocos de rega, a que acresce o facto de regar uma área a título precário muito significativa. Por esse motivo, nos meses de maior consumo, todo o sistema primário está sujeito a grandes solicitações verificando-se que, nestes períodos, não é possível transportar mais água para além da estritamente necessária aos blocos de rega.

Quadro 2.2– Caudais máximos a aduzir pelas diversas infraestruturas (adução pelo novo adutor Ervidel-Sado)

Infraestrutura	Caudal dimensionamento. ⁽¹⁾ (m ³ /s)	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Ligação Pisão-Roxo - troço Pisão-Ferreira	10,90	6,16	7,18	7,18	6,10	7,46	7,06
Ligação Pisão-Roxo - troço Ferreira- Ervidel	5,90	4,80	5,60	5,60	4,50	5,70	5,90
Adutor Ervidel - Sado	4,00	2,72	2,96	3,16	1,96	3,41	3,41
Ligação Pisão-Roxo - troço Ervidel-Penedrão	5,65	2,50	3,20	3,20	2,20	3,40	3,28
Ligação Pisão-Roxo - troço Penedrão - Roxo	5,70	1,80	2,00	1,90	1,20	3,00	3,00
CH Roxo-Sado (Troço 1)	5,93	2,72	3,20	3,16	2,57	3,81	3,81
CH Ermidas - Morgavél	1,00/1,25 ⁽²⁾	0,83	0,84	0,84	0,34	1,25	1,25
CH Roxo-Sado (Troço 1) - Jusante Ermidas-Morgavel	5,45	2,53	2,99	2,59	2,49	3,09	3,09
CH Roxo-Sado (Troço 2) - R2 - Campilhas e Alto Sado	1,99	1,11	1,14	0,74	0,73	1,14	1,14
CH Roxo-Sado, Rio de Moinhos - R2 - R3	2,77	1,47	1,88	1,98	1,79	1,97	1,97
CH Monte da Rocha	1,50	1,15	1,21	1,45	0,72	1,22	1,22

(1) Caudal de dimensionamento da infraestrutura; (2) – Caudal observado nos ensaios.

No **Quadro 2.3** apresentam-se os caudais a aduzir e volumes mensais a transferir pelo novo adutor Ervidel-Sado.

Quadro 2.3– Caudais a aduzir e volumes mensais a transferir pelo novo adutor Ervidel-Sado

Simulação	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Total
Caudal máximo a transportar													
S1	2,11	1,65	0,15	0,00	1,56	1,62	2,36	2,72	2,34	1,60	1,63	2,11	-
S2	2,43	1,72	0,17	0,00	1,63	1,78	2,49	2,96	2,68	1,42	1,46	2,38	-
S3	2,43	1,72	0,17	0,00	2,13	2,28	2,69	3,16	2,48	1,42	1,46	1,98	-
S4	1,39	0,71	0,17	0,00	0,73	0,86	1,16	1,61	1,96	1,46	1,50	1,80	-
S5	2,98	2,23	0,17	0,00	2,14	2,29	2,91	3,41	3,25	1,37	1,42	2,44	-
S6	2,98	2,23	0,17	0,00	2,14	2,29	2,91	3,41	3,25	1,37	1,42	2,44	-
Valor máximo	2,98	2,23	0,17	0,00	2,14	2,29	2,91	3,41	3,25	1,60	1,63	2,44	
Volumes a transferir													
S1	5 646	4 270	404	0	3 770	4 349	6 128	7 284	6 057	4 287	4 372	5 480	52 046
S2	6 512	4 462	452	0	3 951	4 760	6 450	7 928	6 958	3 800	3 908	6 176	55 357
S3	6 512	4 462	452	0	5 160	6 099	6 968	8 463	6 440	3 800	3 908	5 140	57 405
S4	3 716	1 844	446	0	1 756	2 310	3 015	4 315	5 091	3 918	4 020	4 672	35 103
S5	7 969	5 784	459	0	5 177	6 138	7 552	9 130	8 411	3 682	3 795	6 333	64 431
S6	7 969	5 784	459	0	5 177	6 138	7 552	9 130	8 411	3 682	3 795	6 333	64 431

O caudal de dimensionamento a considerar deverá ser igual ou superior ao caudal máximo que será necessário aduzir, que é de 3,41 m³/s. Assim, para permitir alguma flexibilidade no funcionamento do sistema, recomenda-se que o caudal de dimensionamento do adutor Ervidel-Sado seja um pouco mais elevado. De acordo com a reunião de análise dessa nota técnica, considerou-se suficiente dimensionar esta infraestrutura para um caudal de 3,5 m³/s.

No **Quadro 2.4** apresentam-se os volumes necessários a jusante do R1 do Circuito Hidráulico do Roxo-Sado e os volumes que é possível transferir com o novo adutor Ervidel-Sado.

Quadro 2.4– Volumes anuais necessários a jusante do R1 do Circuito Hidráulico do Roxo-Sado e volumes a transferir a partir do adutor Ervidel-Sado (dam³)

Simulação	Volumes a transferir a partir do adutor Ervidel-Sado	Volumes necessários a jusante do R1 do CH do Roxo-Sado	%
S1	52 046	57 767	90%
S2	55 357	64 526	86%
S3	57 405	64 431	89%
S4	35 103	40 694	86%
S5	64 431	75 731	85%
S6	64 431	75 731	85%

Verifica-se que os volumes transferidos através deste novo adutor variam entre 35,1 hm³ em ano húmido e 64,4 hm³ em ano seco, o que representa 86% e 85% dos volumes totais necessários a jusante do R1 nos circuitos hidráulicos do Roxo-Sado e de Monte da Rocha.

Em ano médio, com os consumos atuais, o volume que é possível aduzir a partir do novo adutor Ervidel-Sado são da ordem dos 90%, estimando-se que, em ano médio, no futuro este valor ronde os 86%.

3 TRAÇADO E PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO

3.1 TRAÇADO DO ADUTOR

Nesta fase de projeto de execução, foi efetuado o levantamento topográfico de pormenor, à escala 1:1000, que serviu de base ao traçado da conduta adutora.

O adutor Ervidel-Sado, que se apresenta no **Desenho 2**, à escala 1:5000, terá origem no reservatório R1 de Ervidel terminando no reservatório R1 do Roxo-Sado. Na parte inicial do traçado, será utilizada a conduta CP1 existente do bloco de Ervidel 1, em betão armado com alma de aço DN1600, PN6, numa extensão de 3 914 m.

A partir da derivação a construir nesta conduta, o adutor terá dois troços. O troço 1, entre este ponto e a câmara de carga tem uma extensão de mais 5 997 m. O troço 2, entre a câmara de carga e a central mini-hídrica tem uma extensão de 3 224 m.

A conduta CP1 existente, tem início na tomada de água do reservatório R1 de Ervidel (**Figura 3.1**)



Figura 3.1 – Tomada de água do reservatório de Ervidel

A derivação para o novo adutor, será efetuada junto ao nó 119 da rede de rega existente, a montante da curva e da derivação para a conduta C1.1. Na figura seguinte apresenta-se a planta extraída da tela final, com a indicação da derivação para o novo adutor, a azul.



Figura 3.2 – Início do adutor junto à derivação para a conduta C1.1

Fonte: Telas Finais da Rede Secundária de Rega do Bloco 1 de Ervidel. Ferroviária Agroman

Optou-se por efetuar a derivação antes da curva, para que o escoamento no adutor ocorra com menos singularidades, e num local onde haja espaço para a construção de uma câmara de válvulas, a montante do atravessamento da estrada nacional EN2.



Figura 3.3 – Vista para montante da conduta CP1 (do nó 119) e câmara de válvulas na derivação para a C1.1 do Bloco 1 de Ervidel

Após a câmara de válvulas, é necessário prever o atravessamento da EN2 que, naturalmente, será efetuado por perfuração horizontal. A jusante da EN2 o adutor terá de atravessar um olival novo existente, sendo implantada do lado direito da casa de bombagem visível na fotografia seguinte.



Figura 3.4 – (a) Parcela onde ficará localizada a câmara de válvulas no início do adutor; (b) casa de bombagem existente a jusante da EN2.

Após o olival, o adutor cruza a conduta C3.2.2, em PEAD DN200 do Bloco 3 de Ervidel.



Figura 3.5 – Traçado do adutor (a vermelho) próximo do PK1+300.

De referir que a dinâmica de plantação de olivais é muito elevada, pelo que entre o anterior olival, junto à EN2 e a casa visível na foto, o terreno do lado direito do adutor já se encontra preparado para nova plantação e com sistema de rega instalado.

Após o atravessamento da conduta C3.2.6 do Bloco 3 de Ervidel, em PEAD DN400, junto ao PK1+400 a tubagem segue um limite de parcela que se encontra com um olival já desenvolvido do lado direito (**Figura 2.7**). De referir que a parcela à esquerda do adutor já tem implantado um olival novo, como também se pode ver na fotografia.



Figura 3.6 – Traçado do adutor (a vermelho) próximo do PK1+500.

Ainda antes de cruzar o caminho agrícola CA3 pavimentado, o adutor cruza a conduta C3.2.7, do Bloco 3 de Ervidel, em PEAD DN315. A montante do caminho agrícola será implantada uma câmara de válvulas.

As fotografias apresentadas na figura seguinte são tiradas a partir do caminho CA3, a primeira para montante e a segunda para jusante. Foi previsto um afastamento de cerca de 20 m à casa em ruína existente.

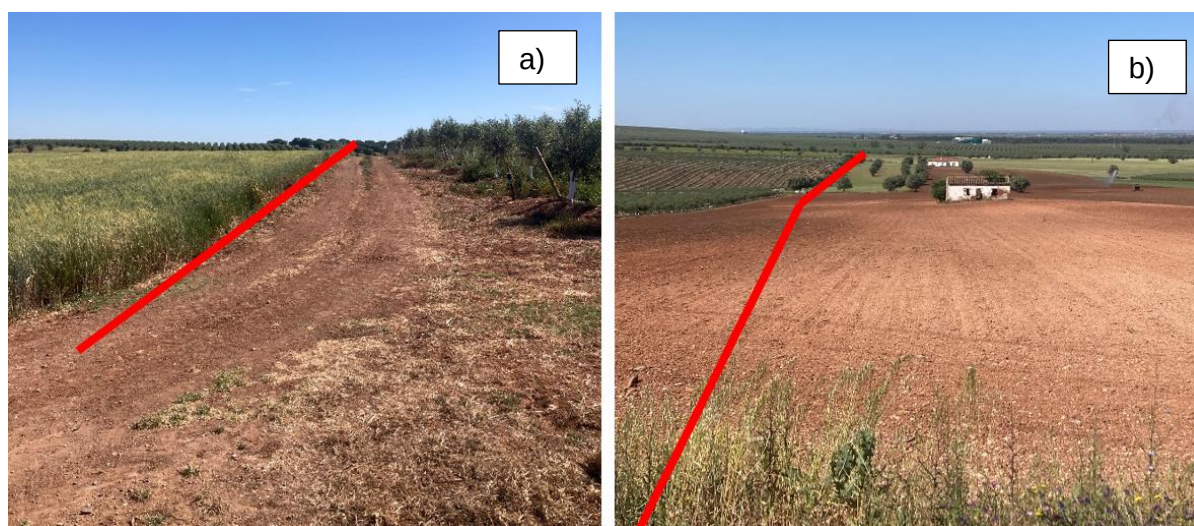


**Figura 3.7 – Traçado do adutor (a vermelho) junto ao caminho agrícola CA3
(a) montante do PK 2+750; (b) jusante do PK 2+800.**

Junto ao PK3+100 o adutor atravessa a conduta C3.2 do Bloco 3 de Ervidel, em PEAD DN450. Ao PK3+450 o adutor atravessa a conduta C3.2.9 do Bloco 3 de Ervidel, em PEAD DN280.

A partir deste ponto, próximo do Cabeço do Doroal, o adutor entra no olival do Monte do Sobrado, em que a maior parte da área foi plantada antes de 2006, ou seja, trata-se de um olival com quase 20 anos.



Figura 3.8 – Olival do Monte do Sobrado, regado a partir dos blocos de Ervidel

Na zona do olival, tendo em conta a densidade da plantação não será possível evitar o abate significativo de árvores, pelo que o traçado do adutor foi o mais reto possível, até chegar à câmara de carga.

A jusante da câmara de carga, desenvolve-se o Troço 2 do adutor, que tem um traçado retilíneo até à central mini-hídrica. Os primeiros 1300 m desenvolvem-se dentro do Monte do Sobrado.

Após o Monte do Sobrado, o adutor cruza a EM526-1, que liga as povoações de Montes Velhos e Aldeia Nova à EM526, numa zona aberta sem nenhuma plantação, à data. Este atravessamento foi também previsto por perfuração horizontal.

A partir da estrada municipal o traçado segue em aproximadamente 700 m em parcelas com culturas arvenses, após o que entra novamente em zona de olival, na zona do Monte do Estanque.

Na restituição ao reservatório R1 do Roxo-Sado, junto ao nó do Xacafre, o adutor terá de passar sob o CCG do Roxo e do caminho de apoio, por perfuração horizontal.

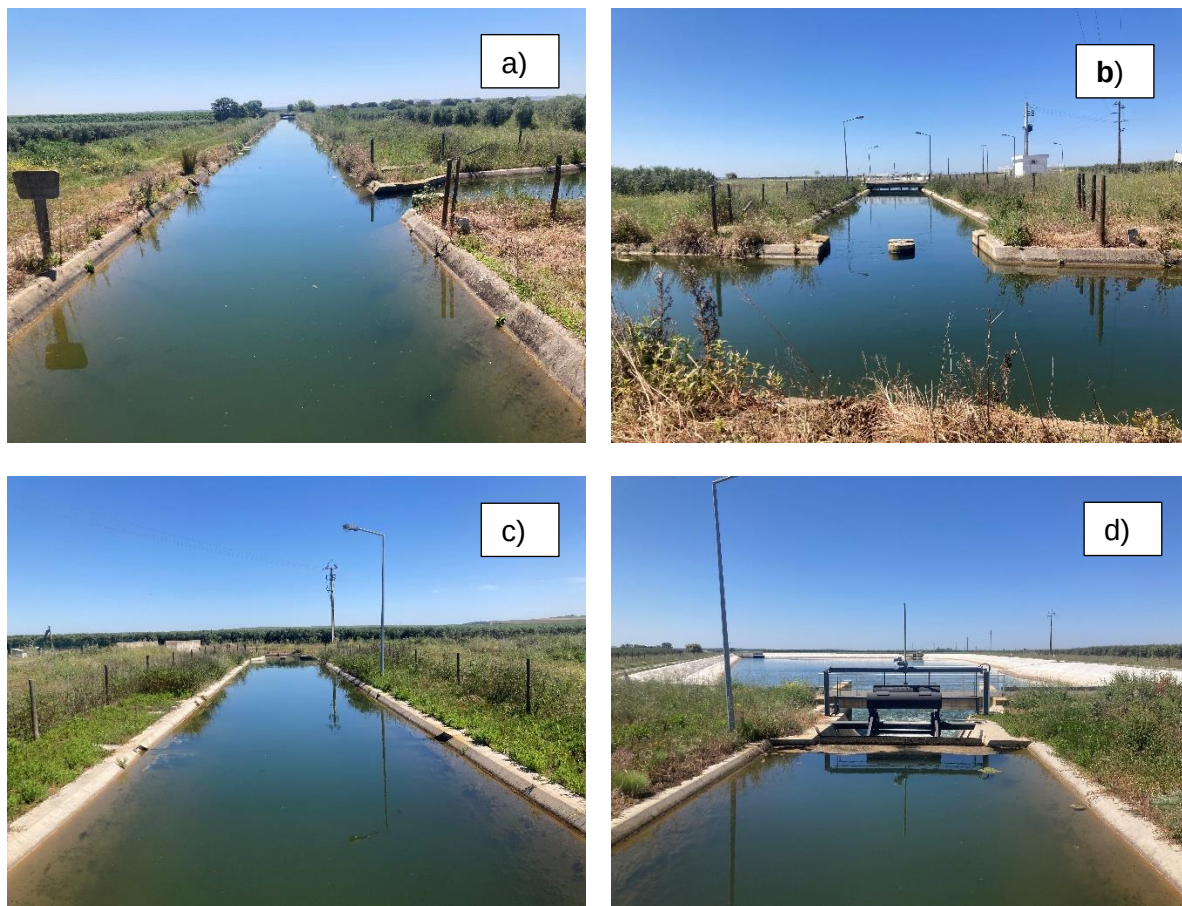


Figura 3.9 – Nó do Xacafre (a) CCG do Roxo e derivação para R1; (b) vista para jusante do canal de derivação para o R1; (c) vista para montante; (d) comporta na entrada do R1 do Roxo-Sado.

3.2 MATERIAIS A UTILIZAR NA CONDUTA E ACESSÓRIOS

A seleção do material a utilizar nas condutas teve em consideração as características gerais das mesmas, nomeadamente a sua pressão de serviço, e as características específicas da região.

A análise desenvolvida na fase de nota técnica para a seleção dos materiais mais adequados incidiu sobre os seguintes aspetos:

- Características físicas e dimensionais (diâmetro, comprimento, peso) dos tubos comercializados e custo unitário;
- Grau de resistência às pressões, interno e externa;
- Facilidade de transporte, manuseamento e montagem dos tubos e acessibilidade à obra;
- Grau de resistência à corrosão, tanto interna como externa;

- Grau de rugosidade interna do tubo ou do seu revestimento, com incidência direta nas perdas de carga;
- Pessoal disponível, com formação adequada, para montagem dos tubos.

Em Portugal, os materiais mais usados em adutores e redes de rega para os maiores diâmetros, em geral superiores a 600 mm, são: o ferro fundido dúctil (FFD) e o betão armado/pré-esforçado com alma de aço (BT) e para os pequenos diâmetros (em geral, inferiores a 600 mm), o polietileno de alta densidade (PEAD) e o cloreto de polivinilo (PVC). Também já foram utilizados o poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV) e o aço revestido interiormente com epóxi.

Para a estimativa dos custos dos diversos tipos de tubagem considerou-se os custos das tubagens aplicadas em vala, bem como os custos dos movimentos de terras que serão semelhantes para diâmetros iguais.

O caudal de dimensionamento do adutor é de 3,5 m³/s, pelo que o diâmetro da tubagem é superior a 1000 mm. Assim foram analisados os seguintes materiais:

- Betão armado/pré-esforçado com alma de aço (BT);
- Ferro fundido dúctil (FFD);
- Poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV);
- Aço revestido interiormente com époxy (AÇO).

Da análise efetuada e apresentada na fase anterior propôs-se a adoção de tubagens de betão armado/pré-esforçado com alma de aço, com juntas elásticas. Os acessórios serão do mesmo material com junta elástica, ou em aço com juntas para betão.

3.3 CRITÉRIOS DE TRAÇADO EM PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL

Com base nas fábricas que normalmente fornecem tubagem de betão com alma de aço para este tipo de obras, no sul do país, independentemente da tubagem poder ser fornecida por qualquer outro fabricante certificado, elaborou-se um quadro com os raios mínimos a adotar em tubagens com juntas elásticas:

Quadro 3.1 – Raios mínimos em tubagem de betão com alma de aço

Tubagem	Transwater			Alentubo		
	L (m)	Ângulo máximo de deflexão (°)	Raio mínimo (m)	L (m)	Ângulo máximo de deflexão (°)	Raio mínimo (m)
DN1400	6,0	1,1	312	6,4	1,1	333
DN1600	6,0	1,0	344	6,4	1,0	367

No caso da Transwater a junta soldada permite uma deflexão de 3°. No entanto, não se recomenda a instalação de tubagem com junta soldada.

Ao nível do perfil longitudinal da conduta do adutor, o projeto teve em consideração alguns aspetos considerados fundamentais:

- O recobrimento mínimo das tubagens;
- O estabelecimento de declives mínimos ascendente e descendente, inerentes à circulação do ar até às ventosas e à não deposição de material sólido;
- A otimização das escavações, no sentido de, por um lado, reduzir estes custos mas, sem contudo deixar de considerar a minimização do número de ventosas e de descargas de fundo necessárias.

No que se refere ao recobrimento mínimo adotou-se um valor de 1,0 m, altura de aterro que permitirá o trabalho de maquinaria agrícola pesada, sem originar danos quer na conduta, quer no equipamento agrícola.

A conduta deverá apresentar, no seu traçado em perfil, declives mínimos compatíveis com o transporte do ar libertado pela água até ao local de instalação das ventosas e com o arrastamento de eventual material sólido transportado pela água até aos pontos onde se localizarão das descargas de fundo.

Assim, para o traçado da conduta adutora em perfil adotaram-se os seguintes declives mínimos:

- Declive mínimo em troços ascendentes: 0,3 %;
- Declive mínimo em troços descendentes: 0,5 %.

Quanto aos declives máximos, os mesmos estão associados à necessidade, ou não, de amarração das tubagens que atravessem zonas mais declivosas, por forma a evitar o seu escorregamento.

Em princípio adotou-se um o seguinte valor máximo de 20%, a partir do qual a conduta deverá ser equipada com maciços de amarração que garantam a sua fixação, ou em alternativa prever a soldadura da tubagem, o que não foi necessário neste projeto.

Com base no levantamento topográfico elaborado à escala 1:1000 foi levantado o perfil da conduta, que se apresenta no **Desenhos 3 e 4** à escala 1:2000 (h) e 1:200(v), para o Troço 1 e 2, respetivamente.

Os perfis transversais são apresentados nos **Desenhos 5 e 6** de acordo com as valas tipo para instalação da conduta adutora apresentadas no **Desenho 7**. No **Desenho 8** apresenta-se o mapa de nós.

4 ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

No âmbito do presente projeto de execução procedeu-se à execução de um conjunto de trabalhos de prospeção geológico-geotécnica que visaram a caracterização geológico-geotécnica detalhada das formações intersetadas pela futura conduta adutora. Tais trabalhos de prospeção geológico-geotécnica incluíram a realização de sondagens com a realização de ensaios SPT, realização de perfis sísmicos, piezómetros e leituras de nível freático, poços, recolha de amostras e ensaios laboratoriais sobre as amostras recolhidas dos poços e sondagens, entre outros trabalhos.

Os resultados obtidos e a caracterização geológico-geotécnica detalhada das formações existentes encontram-se no relatório geológico-geotécnico, apresentado no Volume VI.

Verifica-se através da análise dos resultados obtidos que a abertura e fecho de vala deverá ser efetuada compreendendo taludes com inclinações distintas, conforme as formações intersetadas e a profundidade de escavação necessária, em conformidade com o indicado na figura seguinte.

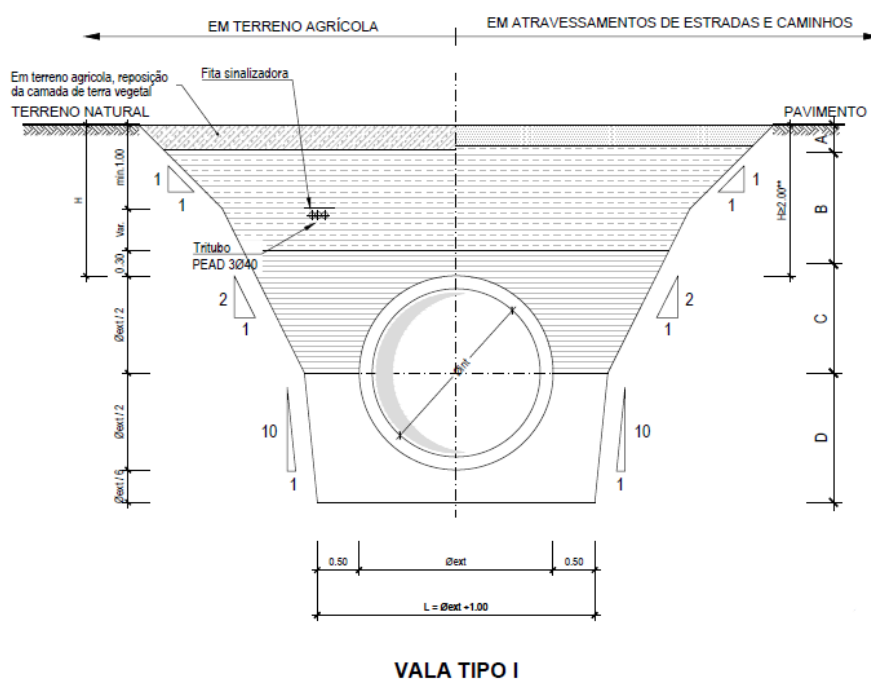


Figura 4.1 – Vala tipo I. Fundação corrente

De referir que a vala tipo é definida para efeitos de medição. Por questões de segurança associadas ao tipo de terreno intersetado e às condições climáticas, a profundidade da camada superficial com inclinação 1/1 poderá variar entre 1 e 2 m.

Nos atravessamentos das zonas das aluviões definiu-se uma vala tipo de acordo com a figura seguinte:

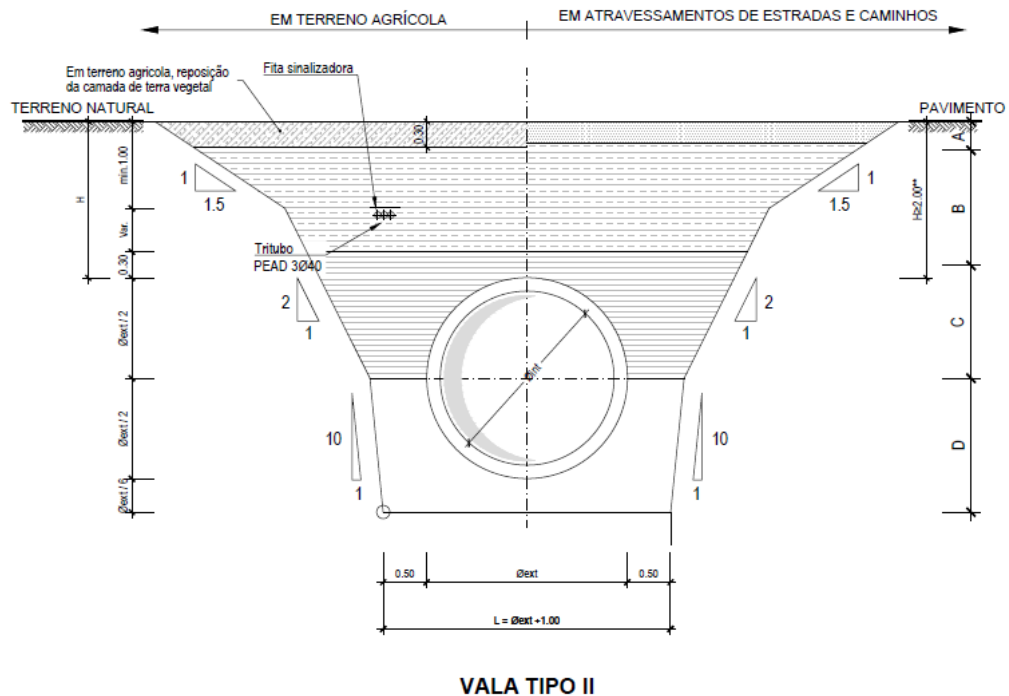


Figura 4.2 – Vala tipo II. Zonas com formações aluvionares (PK 4+350 a 4+444)

As plantas geológicas e de localização dos trabalhos de prospeção, assim como os perfis longitudinais e pente geotécnico do adutor são apresentados no **Desenho G01** e **G02**, para os Troços 1 e 2, respetivamente.

5 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

5.1 NÍVEIS DE MONTANTE – NO RESERVATÓRIO R1 DE ERVIDEL

Os níveis no reservatório R1 de Ervidel variam entre as cotas:

- Nível de pleno armazenamento, NPA: 172,46;
- Nível mínimo de exploração: 167,00.

No entanto na tomada de água no reservatório R1 de Ervidel (obra de saída) será instalada uma nova grelha e respetiva máquina de limpeza automática.

De acordo o Projeto de Execução das Tomadas de Água no Canal Ferreira-Penedrão e no Reservatório R1 de Ervidel, as perdas de carga na grelha são de 0,05 m. A jusante da grelha o escoamento processa-se em superfície livre, com um aprofundamento do rasto na zona da entrada da conduta. Neste troço considera-se uma perda de carga de 0,02 m.

Submergência mínima a considerar

A montante da comporta vagão deverá garantir-se a submergência mínima de modo a evitar a entrada de ar na conduta do adutor.

A submergência mínima é a altura de água que terá de existir sobre o eixo do orifício da tomada de água de modo a evitar a entrada de ar para o interior da tubagem. A submergência mínima foi obtida através da expressão:

$$S \geq h \left(\frac{1}{2} + C F_r \right), \text{ com } F_r = \frac{V}{\sqrt{gh}},$$

na qual S é a altura de água sobre o eixo do orifício da tomada de água (m), h a altura do orifício (m), C um coeficiente que toma o valor de 1,7, se o escoamento se aproxima de forma simétrica, como é o presente caso, e 2,2 no caso da aproximação tangencial e F_r o número de Froude, e V a velocidade média de escoamento (m/s).

Para a adução do caudal máximo de 3,5 m³/s e considerando C=1,7, e como h=1,60 m, o valor da submergência mínima a considerar deverá ser igual a 2,17 m.

Visto que o eixo do orifício da tomada de água se encontra situado à cota 165,20, o nível mínimo deverá situar-se à cota 167,37 m.

Considerando a perda de carga na grelha e na entrada, o NmE no reservatório será 167,44 m.

Deste modo, nos quadros de dimensionamento apresentados em anexo este foi o valor considerado.

5.2 NÍVEIS NA CÂMARA DE CARGA

Os níveis na câmara de carga localizada entre o Troço 1 e o Troço 2 do adutor variam entre as cotas:

- Nível de pleno armazenamento, NPA: 154,00;
- Nível mínimo de exploração, NmE: 150,00.

5.3 NÍVEIS DE JUSANTE – NO RESERVATÓRIO R1 DO ROXO-SADO

Os níveis no reservatório R1 do Roxo-Sado variam, de acordo com o projeto de execução (Cingral/Cenor) entre as cotas:

- Nível máximo de emergência, NMáx: 102,50;
- Nível de pleno armazenamento, NPA: 102,20;
- Nível mínimo de exploração de emergência, NmEe: 99,80.

5.4 PERDA DE CARGA NO ADUTOR

A perda de carga contínua foi estimada por aplicação da fórmula de Colebrook-White, que se apresenta seguidamente na **Equação (5.1)**:

$$J = \frac{V^2}{8gD} \log^{-2} \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51v}{D\sqrt{2gDJ}} \right) \quad (5.1)$$

em que:

- J: Perda de carga unitária (m/m);
- V: Velocidade média do escoamento (m/s);
- D: Diâmetro do tubo (m);
- k: Rugosidade absoluta das condutas (mm);
- ν : Viscosidade cinemática da água (m²/s).

A perda de carga contínua (ΔE_c) em cada troço da conduta gravítica foi calculada pela expressão $\Delta E_c = L J$, sendo L o comprimento do adutor.

Os **Quadros A1 e A2**, apresentam o dimensionamento hidráulico do adutor Ervidel-Sado, considerando um coeficiente de rugosidade absoluta k, de 0,3 mm e de 0,12 mm, para ter em consideração o envelhecimento natural da tubagem. A viscosidade cinemática da água foi considerada igual a $\nu = 1,3 \times 10^{-6}$ m²/s, correspondente à temperatura de aproximadamente 10°C.

De forma conservativa, considerou-se uma perda de carga localizada de 5% relativamente às perdas de carga totais. A perda de carga à saída da câmara de carga considerada foi de 0,5 m, tendo em atenção os equipamentos instalados.

5.5 CLASSES DE PRESSÃO DA TUBAGEM

As classes de pressão da tubagem foram definidas tendo por base as envolventes máximas de pressão determinadas no estudo do regime transitório que se apresenta no **Anexo 1**.

O adutor terá um funcionamento gravítico nos dois troços. Até à câmara de carga, tendo em conta dos resultados do regime transitório, a tubagem será PN8, com exceção de um troço com cerca de 200 m em que se adotou PN10.

Após a câmara de carga, e tendo em conta dos resultados do regime transitório gerados pela paragem das turbinas da central, foram adotadas tubagens PN6 até cerca do PK 2+000 e PN8 a partir deste ponto.

5.6 CLASSE DE PRESSÃO DA CONDUTA CP1 DO BLOCO 1 DE ERVIDEL EXISTENTE

Ao alterar o funcionamento da conduta CP existente, foram analisadas as classes de pressão das condutas instaladas, com bases nos resultados do estudo dos regimes transitórios, que se apresenta no **Anexo I**.

Em todas as alternativas, verifica-se as sobrepressões se enquadram dentro dos limites das classes de pressão da tubagem, sendo que a situação mais desfavorável se localiza entre aproximadamente os PK3+100 e PK3+200, numa extensão da ordem dos 100 m, a pressão aproxima-se de pressão da tubagem instalada (PN6), nas zonas a montante e a jusante do atravessamento da ribeira de Canhestros, com soleira à cota 112,3.

Esta situação ocorre com o fecho da comporta regulado para 900 s, ou seja, aproximadamente 15 minutos, quando se está a aduzir o caudal máximo.

No entanto, é esperado que o caudal que aflui à Câmara de Carga seja, grande parte do tempo, inferior ao de dimensionamento.

Para tal, foram realizadas simulações adicionais para a definição do tempo de fecho total da comporta de regulação de caudal para estas situações de caudal parcial.

O quadro seguinte resume a definição dos tempos de fecho da comporta de regulação de caudal para vários caudais afluentes.

Quadro 5.1 – Tempo de fecho da comporta de regulação de caudal.

Q_{afluente} (m³/s)	1,0	2,0	3,0
Tempo de fecho da comporta (s)	360	540	720

6 ÓRGÃOS DE EXPLORAÇÃO E SEGURANÇA

6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os órgãos de manobra e segurança serão constituídos por válvulas de seccionamento, ventosas e descargas de fundo, cujo objetivo será o de assegurar o bom funcionamento do adutor e o seu seccionamento por troços para eventual reparação da conduta. Nos pontos seguintes serão descritos, com maior pormenor, cada um destes equipamentos.

6.2 VÁLVULAS DE SECCIONAMENTO

Durante o funcionamento do adutor poderá surgir a necessidade de isolar um troço da conduta por necessidade de reparação e manutenção. Assim, para evitar o esvaziamento de todo o adutor, foi necessário prever a instalação de uma válvula de seccionamento.

As válvulas a instalar, com diâmetro de 1400 mm (**Desenhos 12 e 13**) serão do tipo borboleta com extremidade flangeada, de comando elétrico. Tendo em conta o diâmetro da válvula esta deverá ser duplamente excêntrica. Prevê-se a existência de um “by-pass” DN200 para que, no restabelecimento da conduta após um corte, o enchimento da mesma a jusante da válvula seja feito de uma forma gradual.

Para o dimensionamento do diâmetro da válvula, considerou-se uma velocidade máxima de 3 m/s.

A capacidade de escoamento das válvulas é geralmente expressa através de um coeficiente K_v expresso em m^3/h (caudal que provoca uma perda de carga de 1 bar). As válvulas a instalar DN1400 deverão ter um coeficiente $K_v \geq 180000 m^3/h$.

A válvula será instalada numa câmara de secção retangular em betão armado, munida de tampas metálicas superiores e tubos de ventilação. A ligação da válvula DN1400 à conduta de betão com alma de aço será feita através de troços em tubo de aço, flangeados numa extremidade, com emboquilhamento para betão na outra extremidade.

Os pormenores das escadas e das tampas metálicas são apresentados nos **Desenhos 15 e 16**, respetivamente.

A válvula terá um atuador elétrico. No entanto, não se prevê a instalação de posto de transformação no local, mas sim que seja atuada a partir de um gerador que é transportado numa carrinha ao local sempre que é necessário à sua atuação.

Tanto a válvula de borboleta como a válvula de by-pass terão fins de curso. Esta informação será recolhida por uma RTU, alimentada a partir do painel solar e das baterias e será transmitida ao centro de comando através da fibra ótica instalada ao longo do adutor.

A localização, em planta e em perfil, das válvulas de seccionamento propostas para o adutor apresenta-se nos **Desenhos 3 e 4**.

6.3 VENTOSAS

6.3.1 Dimensionamento

Considerando que o adutor funcionará sempre em pressão, ocorrerá uma variação permanente das alturas piezométricas que será função da variação dos caudais escoados e da variação altimétrica ao longo da conduta. Esta variação alterará as condições de dissolução do ar na água, provocando a sua libertação. As bolhas de ar assim formadas, devido ao escoamento, são transportadas para os pontos altos da conduta, onde se acumulam. Por este motivo, prevê-se, nestes locais, a instalação de dispositivos extratores de ar, geralmente designados por ventosas.

As ventosas permitirão também a extração do ar durante o enchimento e a entrada de ar durante o esvaziamento das condutas. A especificação das ventosas é geralmente feita pelo diâmetro dos orifícios e pelo diâmetro da ligação à conduta, designado por diâmetro nominal da ventosa. No entanto, é importante ter em conta o caudal de ar escoado para os mesmos diâmetros.

Procedeu-se assim ao dimensionamento das ventosas segundo a metodologia proposta por Cary (1992).

Para o cenário de funcionamento em regime permanente da conduta adutora, o caudal de ar libertado resultou do maior dos valores obtidos através da aplicação das expressões seguintes:

$$q_1 = \frac{p_1 - p_2}{p_2} \times 0.02 \times Q$$

Em que:

- Q – Caudal de água que se escoia na conduta (l/s);
- q_1 – Caudal de ar libertado no ponto alto, à pressão de serviço (l/s);
- p_1 – Pressão absoluta na secção inicial do escoamento (MPa);
- p_2 – Pressão absoluta no ponto alto onde se encontra instalada a ventosa (MPa);

$$q_2 = 0.010 \times Q, \text{ se } n_1 > 5$$

Em que:

- Q – Caudal de água que se escoia na conduta (l/s);
- q_2 – Caudal de ar libertado no ponto alto, à pressão de serviço (l/s);
- n_1 – Número de ventosas de pequeno orifício instaladas na conduta;

Tendo por base o caudal de ar obtido, considerando-se uma velocidade de escoamento sónico do ar no orifício de menores dimensões da ventosa (orifício automático) de 195 m/s, obteve-se o diâmetro do purgador de cada ventosa, com recurso à expressão seguinte:

$$d_1 = 2.56 \times \sqrt{q}$$

Em que:

d_1 – diâmetro do orifício (mm);

q – Caudal de ar libertado no ponto alto, à pressão de serviço (l/s);

Procedeu-se ainda à verificação do diâmetro d_1 obtido tendo por base a sobrepressão resultante do funcionamento da conduta em regime transitório. Para tal, recorreu-se à seguinte expressão:

$$d_1 < 200 \times D \sqrt{\frac{H}{a}}$$

Em que:

d_1 – diâmetro do orifício (mm);

D – diâmetro da conduta adutora (m);

H – Sobrepressão resultante do regime transitório (m);

a – Velocidade da onda de pressão (m/s).

Na aplicação da expressão considerou-se por segurança 50% do valor de sobrepressão resultante do regime transitório, em conformidade com a metodologia indicada anteriormente.

O diâmetro do orifício cinético de cada ventosa foi obtido tendo em conta o caudal de ar a libertar nos cenários de enchimento, esvaziamento e rutura da conduta.

Para o cenário de funcionamento correspondente ao enchimento da conduta, considerou-se que o mesmo se procederá com uma velocidade máxima de escoamento correspondente a cerca de 0,30 m/s. O caudal de ar a escoar pela ventosa foi considerado sensivelmente igual ao caudal de água escoado na conduta, corrigido para um diferencial de pressão de 2,0 m:

$$q_3 = 1000 \times 0,30 \times S \times \frac{(10,13 + \Delta P)}{13,13}$$

Em que:

q_3 – caudal de ar igual ao caudal máximo de enchimento da conduta (l/s);

S – secção da conduta (m²);

ΔP – Diferencial de pressão entre o interior da conduta e a pressão atmosférica (igual a 2,00 m).

Para o cenário de funcionamento correspondente ao esvaziamento da conduta adutora, o caudal de ar que deverá ser admitido através da ventosa resultou da aplicação da expressão seguinte:

$$q_4 = 3100 \times S \times \sqrt{h}$$

Em que:

q_4 – caudal de ar igual ao caudal máximo escoado por uma descarga de fundo (l/s);

S – secção da descarga de fundo (m²);

h – carga hidráulica máxima na secção da descarga de fundo (m.c.a.).

Para o cenário de rutura da conduta, o caudal de ar a ser admitido pela ventosa resultou da aplicação da seguinte expressão:

$$q_5 = t \times 785 \times D^2 \times \left[\frac{H_c}{\left(\frac{0.00064 \times L_c}{D^{4/3}} + 0.1 \right)} \right]^{0.5}$$

Em que:

q_5 – caudal de ar igual para o cenário de rutura franca da conduta (l/s);

t – fator de valor igual a 1/3 (condutas rígidas) ou 1/2 (condutas flexíveis);

D – diâmetro da conduta (m);

H_c – desnível máximo no troço crítico (m);

L_c – comprimento do troço crítico (m);

Tendo em conta o diâmetro e o material da conduta, considerou-se admissível uma rutura parcial correspondente a 50% da respetiva secção.

Os caudais anteriores foram ainda comparados com o caudal nominal que se escoar na conduta, ou seja:

$$q_6 = Q$$

Em que:

Q – Caudal de água que se escoar na conduta (l/s);

Tendo por base o maior dos caudais de ar obtidos através da aplicação das expressões anterior, considerando-se uma velocidade de escoamento do ar no orifício cinético de 100 m/s, o diâmetro mínimo do mesmo foi obtido com recurso à expressão seguinte:

$$d_2 = 3.57 \times \sqrt{q}$$

Tendo por base os valores obtidos considerou-se em todos os pontos do adutor a instalação de ventosas de triplo efeito DN200, por forma a obterem-se as capacidades de extração de ar calculadas. As capacidades de admissão e extração de ar das ventosas a instalar são indicadas em detalhe nas especificações técnicas do projeto.

No **Quadro A3** em anexo apresentam-se os resultados detalhados do dimensionamento das ventosas, onde constam todos os parâmetros considerados no cálculo e os correspondentes resultados obtidos.

6.3.2 Condições de instalação

As ventosas deverão ser de triplo efeito instaladas no interior de uma câmara retangular ou circular pré-fabricada. As câmaras terão acesso superior devidamente protegido por uma tampa metálica.

Na tubagem DN1600, a ligação das ventosas às tubagens será feita através de um tê em betão, com saída DN800 e com extremidade flangeada (**Desenho 9**). No final dessa peça será instalada uma placa de aço flangeada (flange cega) com duas picagens flangeadas para ligação das duas ventosas.

Na tubagem DN1400 será instalada apenas uma ventosa, sendo a ligação efetuada através de um tê em aço com extremidade flangeada, de acordo com o **Desenho 10**.

À saída da câmara de carga, uma vez que não existe carga hidráulica suficiente, será instalado um tubo de arejamento no ponto alto.

A localização, em planta e em perfil, das ventosas propostas para o adutor apresenta-se nos **Desenhos 3 e 4** e no **Desenho 8** do mapa de nós.

6.4 DESCARGAS DE FUNDO

Para esvaziar os troços do adutor previamente seccionados, considerou-se a instalação de descargas de fundo nos principais pontos baixos das condutas. As descargas de fundo, serão constituídas por válvulas de seccionamento, do tipo cunha com extremidades flangeadas.

O diâmetro das válvulas será definido tendo em consideração essencialmente critérios relacionados com as suas funções de esvaziamento. Geralmente, considera-se que o diâmetro das válvulas das descargas de fundo deverá ser, pelo menos, igual a 1/8 a 1/10 do diâmetro das condutas de inserção.

Assim, tendo em consideração o diâmetro do adutor, adotaram-se descargas de fundo com 200 mm de diâmetro, em ambos os troços.

As válvulas das descargas de fundo serão instaladas no interior de caixas circulares constituídas por uma base em betão armado e a parte superior em anéis pré-fabricados, munida de tampa metálica superior de acesso (**Desenho 11**).

A ligação das válvulas das descargas de fundo às condutas será feita através de tês em aço, ou em betão.

A localização, em planta e em perfil, das descargas de fundo propostas para o adutor apresenta-se nos **Desenhos 3 e 4** e no **Desenho 8** do mapa de nós.

As câmaras das descargas de fundo não podem ser implantadas a menos de 5 m medidos a partir da crista superior dos taludes marginais dos cursos de água. O encaminhamento até às linhas de água é efetuado através de um tapete de enrocamento de modo a não erosionar as margens das linhas de água.

Os pormenores das escadas e das tampas metálicas são apresentados nos **Desenhos 15 e 16**, respetivamente.

No **Quadro A4** em anexo apresentam-se as descargas de fundo a instalar no adutor.

7 FUNDAÇÃO DA CONDUTA E ATRAVESSAMENTOS

7.1 FUNDAÇÃO TIPO DA CONDUTA

A fundação tipo da conduta adutora deverá ser efetuada de acordo com o **Desenho 7**, a uma profundidade nunca inferior a 1 m, tal como definido no estudo geológico-geotécnico.

Os perfis transversais da obra são apresentados no **Desenho 5 e 6**, para o Troço 1 e 2, respetivamente.

7.2 ATRAVESSAMENTOS DE ESTRADAS E LINHAS DE ÁGUA

7.2.1 Travessia da EN2 e da EM265-1

Os atravessamentos das estradas nacionais serão efetuados por perfuração horizontal. Na EN2, tendo em conta o diâmetro da conduta (DN 1600), nesta travessia, a conduta do adutor em betão armado ou pré-esforçado com alma de aço será instalada sem camisa.

Na passagem da estrada municipal EM265-1, com a tubagem DN1400, preconiza-se o atravessamento por perfuração horizontal com camisa de aço.

7.2.2 Travessia do Canal Condutor Geral (CCG) do Roxo

A conduta do adutor cruza o CCG Roxo junto ao nó de Xacafre, antes da ligação à central mini-hídrica.

Para não condicionar a execução destas travessias ao período em que não se rega, previu-se que esta travessia fosse executada por perfuração horizontal, evitando assim qualquer interrupção do abastecimento de água para rega. A travessia deverá abranger o canal e o caminho de acesso de modo a não criar constrangimentos.

7.2.3 Travessia de caminhos e linhas de água

No atravessamento de caminhos e pequenas linhas de água as tubagens deverão ser envolvidas em maciços de betão armado com secção retangular (**Desenho 7**). O envolvimento em betão será feito até 1,5 m para além dos limites dos caminhos ou das linhas de água, sendo toda a zona protegida com enrocamento.

Após aterro da vala o leito da linha de água será protegido por enrocamento com granulometria indicada nas peças desenhadas, e numa camada com espessura mínima 1,00 metro.

8 MACIÇOS DE AMARRAÇÃO

8.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Nas tubagens de betão com alma de aço, tendo em conta que a ligação entre as tubagens não permite a transmissão de esforços, será necessário construir maciços em betão para amarração dos nós onde podem ser gerados impulsos hidráulicos, tais como curvas, cones, tês e válvulas.

Deste modo, no dimensionamento dos maciços de amarração deverão ser tomadas em consideração as condições que se situam a montante, isto é, as situações que originam os esforços para os quais há que dimensionar amarrações.

Assim será necessário considerar:

- a) Força hidrostática devida a mudança de direção do eixo da tubagem;
- b) Força dinâmica devida à quantidade de movimento;

Para o dimensionamento dos maciços, os impulsos hidráulicos foram calculados admitindo que as quantidades de movimento são pouco significativas, assim como as forças devido ao atrito nas juntas.

Considerou-se uma pressão de ensaio igual ao máximo das duas condições:

- P máxima resultante do regime transitório + 10 m.c.a
- P nominal de funcionamento x 1,5

No caso da câmara de válvulas, o maciço foi incorporado na mesma de forma a evitar a construção separada de caixas e de maciços gravíticos, com a consequente economia de espaço e de obras de arte.

8.2 DIMENSIONAMENTO DOS MACIÇOS DE AMARRAÇÃO

O dimensionamento dos maciços deverá obedecer, em geral, aos critérios habituais de segurança e estabilidade, devendo ser dimensionados para a situação mais desfavorável.

A segurança dos maciços foi verificada em relação aos estados limites de perda de equilíbrio por deslizamento e ao derrubamento. Por outro lado, as tensões que se geram na fundação do maciço devem ser compatíveis com as tensões de segurança à rotura do solo de fundação.

Para efeitos de dimensionamento consideram-se que, no ensaio, os maciços de amarração se encontram desenterrados.

Deste modo, no dimensionamento consideraram-se os seguintes pressupostos:

Peso específico do betão armado	25,0 kN/m ³
Peso específico do terreno existente	19,0 kN/m ³
Coeficiente de atrito solo-betão	0,55
Tensão de segurança do terreno de fundação	250 kPa

Estabilidade ao deslizamento (E_d)

$$E_d = \frac{(P - I)c_{at}}{F_h}$$

P – peso do maciço

I – força da impulsão

C_{at} – coeficiente de atrito solo-betão

F_h – força hidrostática

Estabilidade ao derrubamento (E_r)

$$E_r = \frac{M_e}{M_d} = \frac{(P - I)b_e}{F_h b_d}$$

M_e – momento estabilizador

M_d – momento derrubante

b_e – braço das forças estabilizadoras

b_d – braço das forças derrubantes

Neste caso, não se considerou a impulsão, tendo em conta que o ensaio não será efetuado com níveis freáticos elevados, assim como os caudais máximos ocorrerão em tempo seco.

Adotou-se no cálculo dos maciços de amarração um coeficiente de segurança igual a 1,5 para a pressão de serviço e 1,2 para a pressão de ensaio.

Nos **Quadros A5 a A8** em anexo apresenta-se o dimensionamento dos maciços de amarração das diversas peças e acessórios existentes ao longo da conduta adutora, assim como na câmara de válvulas. Os maciços são apresentados no **Desenho 14**.

Para cada um destes maciços foi verificada a tensão transmitida pelo maciço ao terreno. Assim, constatou-se que em todos os casos a tensão transmitida ao terreno era inferior à tensão de segurança. De referir que a tensão considerada é bastante conservativa, tendo em conta os resultados da prospeção geológico-geotécnica apresentados no relatório.

9 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

9.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo são apresentados os cálculos estruturais efetuados para as câmaras de válvulas do nó 1.1 e do nó 1.12. que, em face da sua dimensão e especificidade, merecem uma especial atenção.

As formas e as espessuras dos diferentes elementos resultaram das condicionantes impostas pelos equipamentos, das condicionantes do comportamento hidráulico e da otimização de diversos fatores de índole estrutural.

9.2 CÁLCULOS ESTRUTURAIS

9.2.1 Regulamentação

Os cálculos estruturais foram elaborados com base nos regulamentos em vigor, quando aplicáveis.

Na quantificação das ações e das combinações adotaram-se os valores expressos no Eurocódigo n.º1 e 8.

No dimensionamento de betão armado foram utilizados os critérios expressos no Eurocódigo n.º 2.

Na classificação e composição dos betões foram utilizados os critérios expressos Norma Europeia NP EN 206 – 1: Betão, comportamento, produção, colocação e critérios de qualidade.

9.2.2 Materiais

Os materiais utilizados no cálculo estrutural, de acordo com as características exigidas nas especificações, regulamentos e normas em vigor, e são os seguintes:

- Betão: C30/37, da classe XC2;
- Aço: A500 NR – nas armaduras de betão armado;

Os recobrimentos das armaduras são indicados nas peças desenhadas. No entanto, a não ser em casos pontuais, referidos especificamente, será garantido um recobrimento mínimo de 4,5 cm em todos os elementos.

9.3 CÂMARA DE VÁLVULAS DO NÓ 1.1

9.3.1 Modelos de cálculo

Os modelos de cálculo estrutural foram elaborados com base num sistema tridimensional constituído por elementos finitos do tipo “laje” para a modelação de lajes e paredes.

Foi utilizado um programa de cálculo automático, que considera o regime elástico linear efetuando a análise com base no Método dos Elementos Finitos.

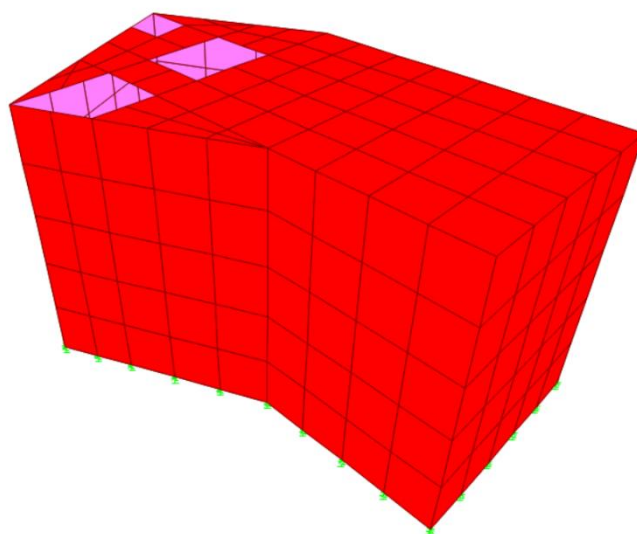


Figura 9.1 – Modelo de cálculo estrutural

9.3.2 Ações

9.3.2.1 Pesos próprios

- Peso específico do betão armado (PP)	25,0 kN/m ³
- Peso próprio não estrutural (PPNE)	10,00 kN/m ²
- Peso volúmico do terreno envolvente (IK0)	19,0 kN/m ³

9.3.2.2 Sobrecarga

- Sobrecarga de utilização na laje de topo (SC1)	5,00 kN/m ²
- Sobrecarga no terreno (SC2)	10,00 kN/m ²

9.3.3 Combinação de ações

Foram efetuadas as combinações de ações previstas na regulamentação observada.

9.3.4 Dimensionamento dos elementos

9.3.4.1 Esforços atuantes

As figuras seguintes representam os diagramas de momentos fletores e esforços transversos no elemento estrutural em causa:

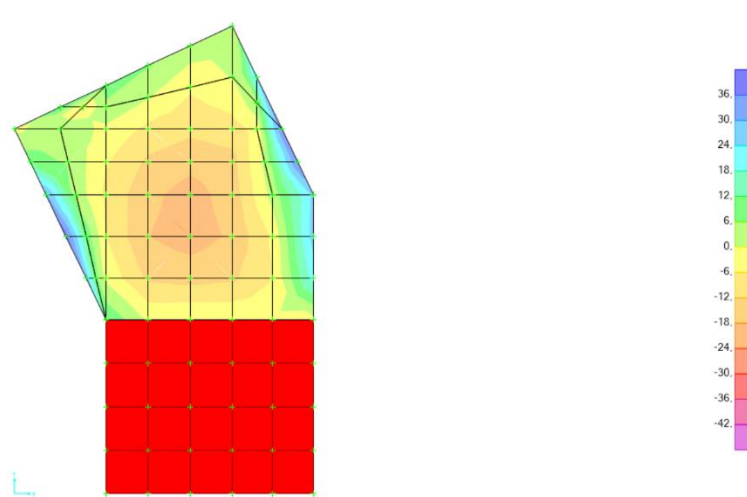


Figura 9.2 – Laje de fundo. Momento fletor M11. Envoltório mínima de esforços

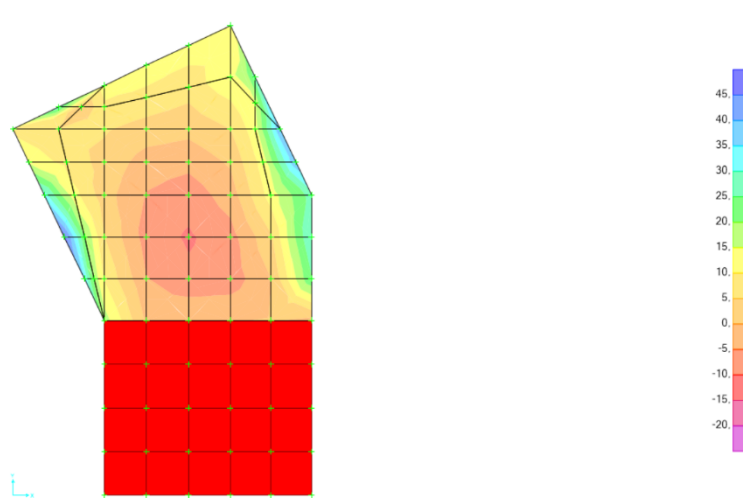


Figura 9.3 – Laje de fundo. Momento fletor M11. Envoltório máxima de esforços

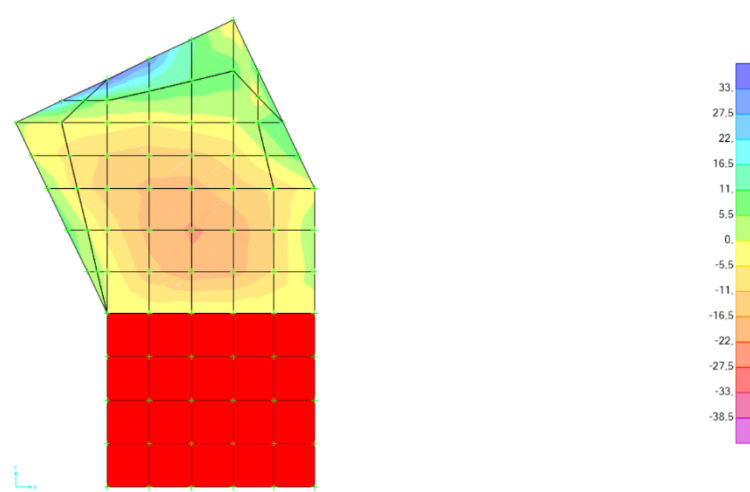


Figura 9.4 – Laje de fundo. Momento fletor M22. Envolvente mínima de esforços

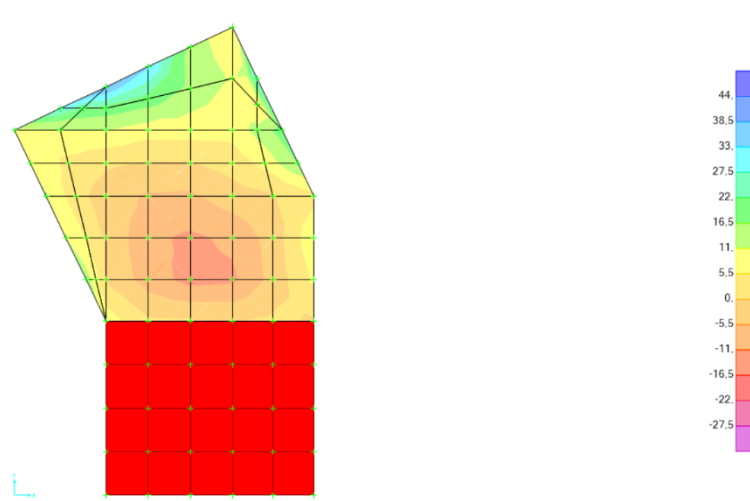


Figura 9.5 – Laje de fundo. Momento fletor M22. Envolvente máxima de esforços

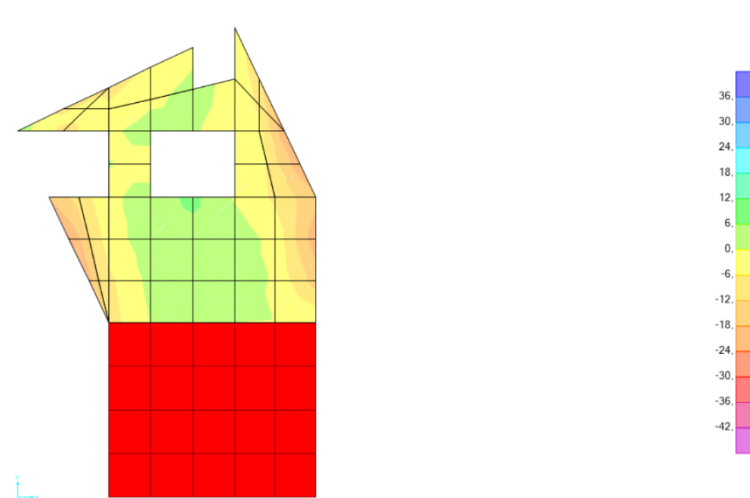


Figura 9.6 – Laje de topo. Momento fletor M11. Envolvente mínima de esforços



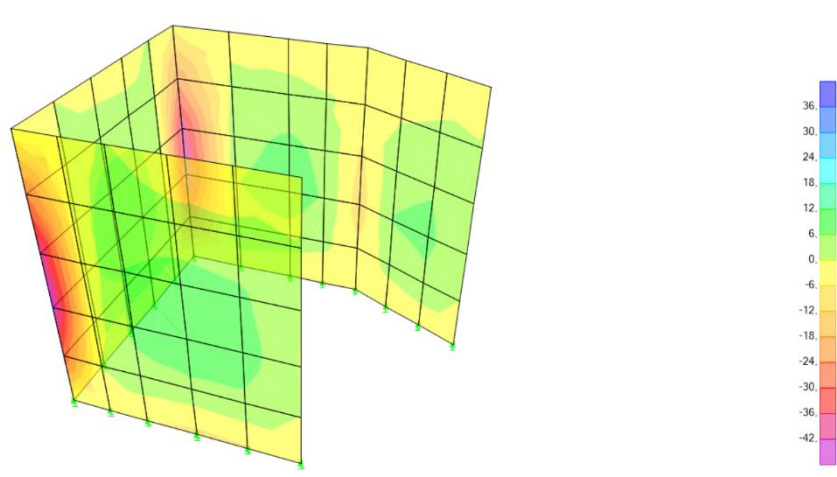


Figura 9.10 – Paredes. Momento fletor M11. Envolvente mínima de esforços

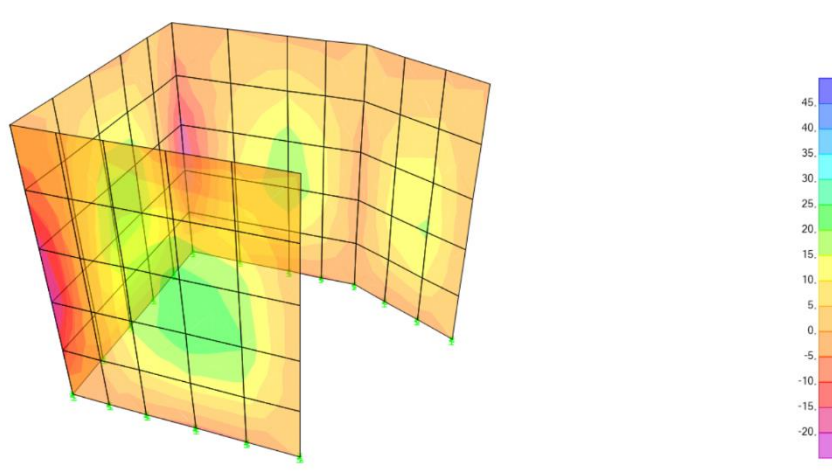


Figura 9.11 – Paredes. Momento fletor M11. Envolvente máxima de esforços

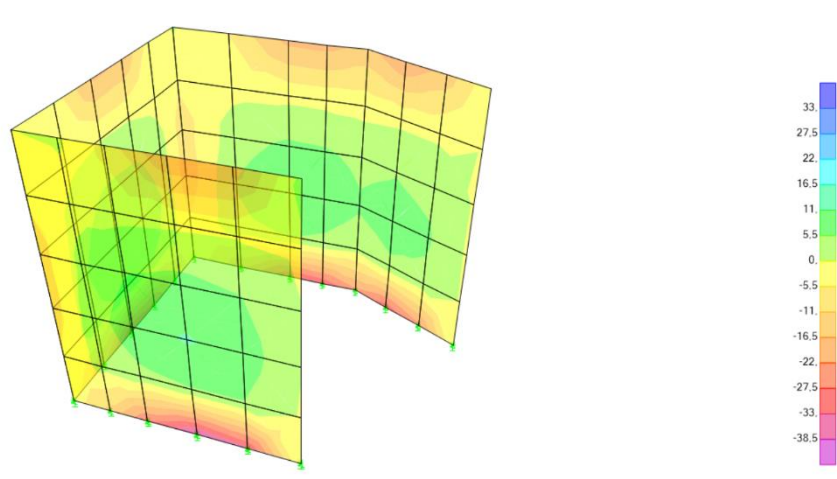


Figura 9.12 – Paredes. Momento fletor M22. Envolvente mínima de esforços

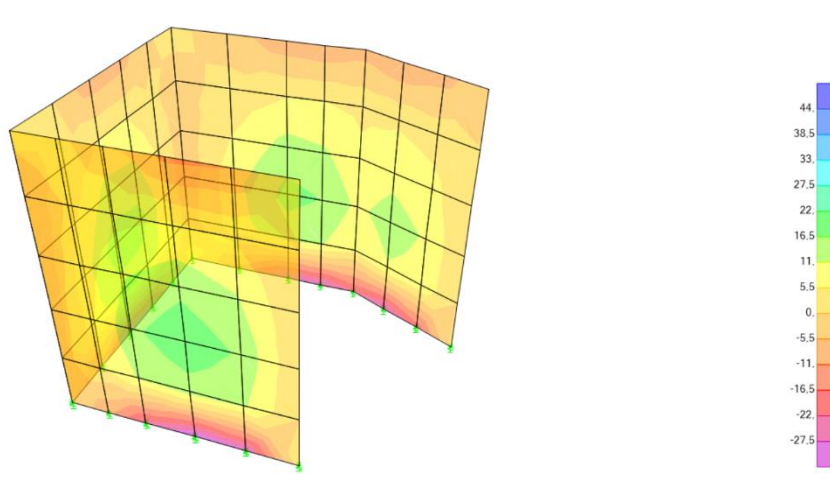


Figura 9.13 – Paredes. Momento fletor M22. Envolvente máxima de esforços

9.3.4.2 Verificação da segurança em relação aos Estados Limites Últimos de Flexão

O dimensionamento das secções críticas foi efetuado com base nos parâmetros regulamentares vigentes, pelo que seguidamente se apresentam os resultados obtidos para a envolvente de esforços:

Quadro 9.1 – Dimensionamento das secções críticas

CAIXA NÓ 1.1									
Dimensionamento dos Elementos Estruturais									
Betão		C30/37	fcd (kN/m2)	20000,00	Rec. (m)	0,05			
Aço		A500	fsyd (kN/m2)	435000,00					
LAJE DE TOPO									
Msd (kN.m)		b (m)	h (m)	d (m)	μ (KN.m)	ω (KN.m)	As (cm2)	Arm. Adoptada	As (cm2)
M11-	25,00	1,00	0,20	0,15	0,0556	0,0575	3,97	φ12//0.15	7,54
M11+	25,00				0,0556	0,0575	3,97	φ12//0.15	7,54
M22-	20,00				0,0444	0,0457	3,15	φ12//0.15	7,54
M22+	15,00				0,0333	0,0340	2,35	φ12//0.15	7,54
LAJE DE FUNDO									
Msd (kN.m)		b (m)	h (m)	d (m)	μ (KN.m)	ω (KN.m)	As (cm2)	Arm. Adoptada	As (cm2)
M11-	25,00	1,00	0,40	0,35	0,0102	0,0103	1,65	φ12//0.15	7,54
M11+	45,00				0,0184	0,0186	2,99	φ12//0.15	7,54
M22-	25,00				0,0102	0,0103	1,65	φ12//0.15	7,54
M22+	40,00				0,0163	0,0165	2,65	φ12//0.15	7,54
PAREDE									
Msd (kN.m)		b (m)	h (m)	d (m)	μ (KN.m)	ω (KN.m)	As (cm2)	Arm. Adoptada	As (cm2)
M11-	45,00	1,00	0,30	0,25	0,0360	0,0368	4,23	φ12//0.15	7,54
M11+	25,00				0,0200	0,0202	2,33	φ12//0.15	7,54
M22-	40,00				0,0320	0,0326	3,75	φ12//0.15	7,54
M22+	20,00				0,0160	0,0162	1,86	φ12//0.15	7,54

9.3.4.3 Verificação da segurança em relação aos Estados Limites Últimos – Rotura da fundação

As condições para a verificação das tensões transmitidas ao terreno são as seguintes:

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{adm}}$$

Do cálculo, as tensões máximas de compressão introduzidas no terreno são de:

$$\sigma_{\max} \approx 101,75 \text{ kPa}$$

Desta forma, verifica-se que a máxima tensão transmitida ao terreno de fundação é inferior à tensão admissível considerada, pelo que a segurança está verificada.

9.4 CÂMARA DE VÁLVULAS DO NÓ 1.12

9.4.1 Modelos de cálculo

Os modelos de cálculo estrutural foram elaborados com base num sistema tridimensional constituído por elementos finitos do tipo “laje” para a modelação de lajes e paredes.

Foi utilizado um programa de cálculo automático, que considera o regime elástico linear efetuando a análise com base no Método dos Elementos Finitos.

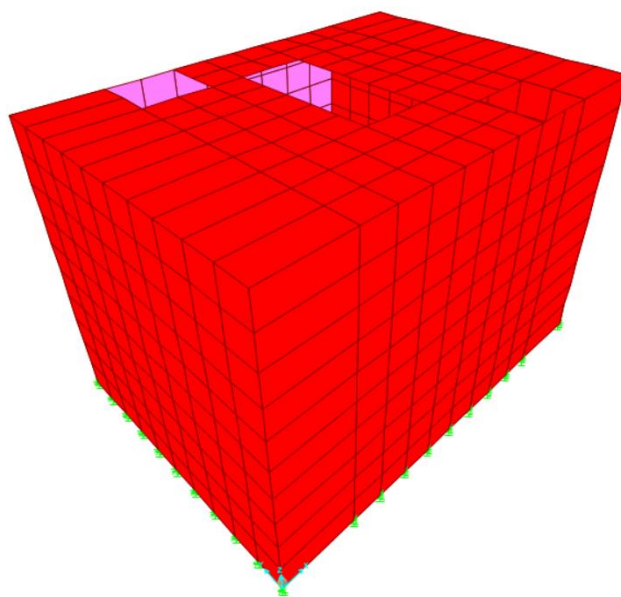


Figura 9.14 – Modelo de Cálculo Estrutural

9.4.2 Ações

9.4.2.1 Pesos próprios

- Peso específico do betão armado (PP)	25,0 kN/m ³
- Peso próprio não estrutural (PPNE)	10,00 kN/m ²
- Peso volúmico do terreno envolvente (IK0)	19,0 kN/m ³

9.4.2.2 Sobrecarga

- Sobrecarga de utilização na laje de topo (SC1) 5,00 kN/m²
- Sobrecarga no terreno (SC2) 10,00 kN/m²

9.4.3 Combinação de ações

Foram efetuadas as combinações de ações previstas na regulamentação observada.

9.4.4 Dimensionamento dos elementos

9.4.4.1 Esforços atuantes

As figuras seguintes representam os diagramas de momentos fletores e esforços transversos no elemento estrutural em causa:

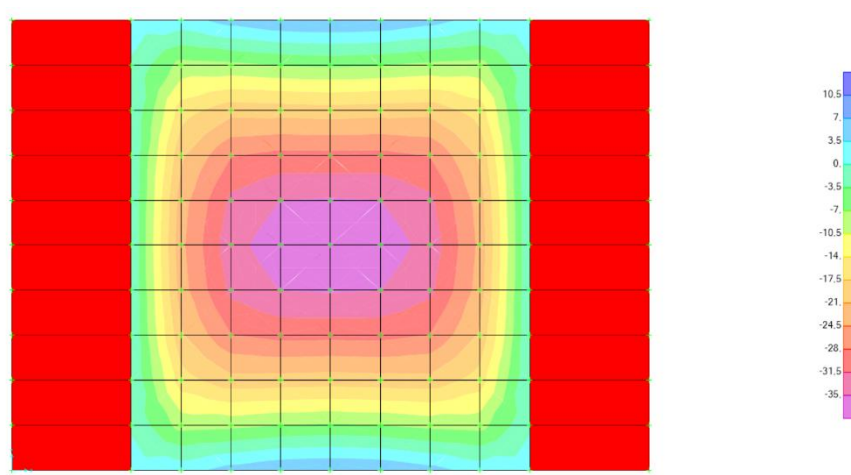


Figura 9.15 – Laje de fundo. Momento fletor M11. Envoltório mínimo de esforços

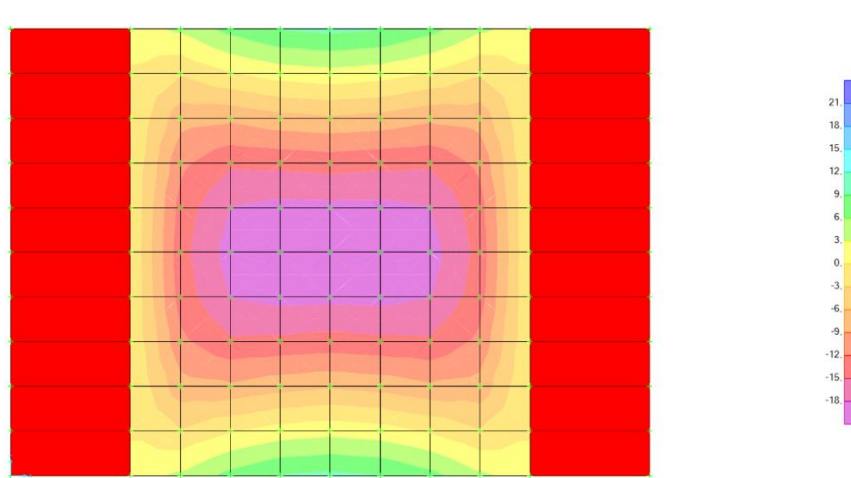


Figura 9.16 – Laje de fundo. Momento fletor M11. Envoltório máxima de esforços

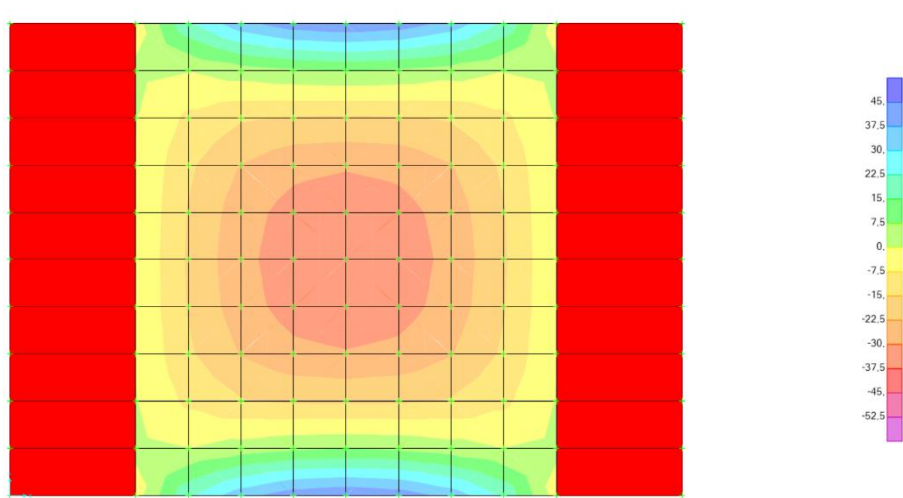


Figura 9.17 – Laje de fundo. Momento fletor M22. Envolvente mínima de esforços

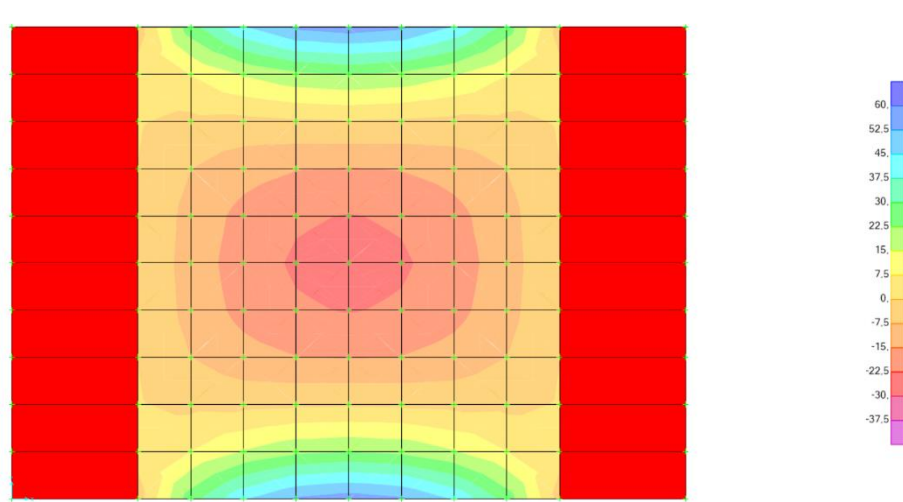


Figura 9.18 – Laje de fundo. Momento fletor M22. Envolvente máxima de esforços

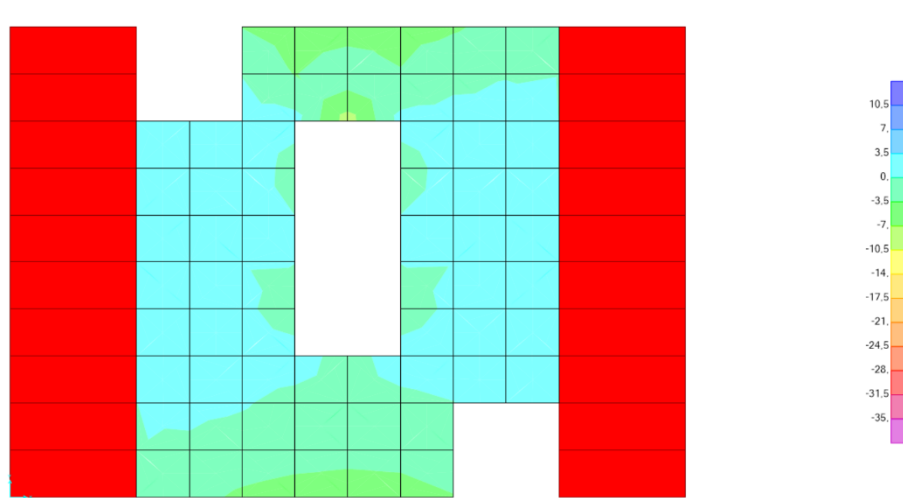


Figura 9.19 – Laje de topo. Momento fletor M11. Envolvente mínima de esforços

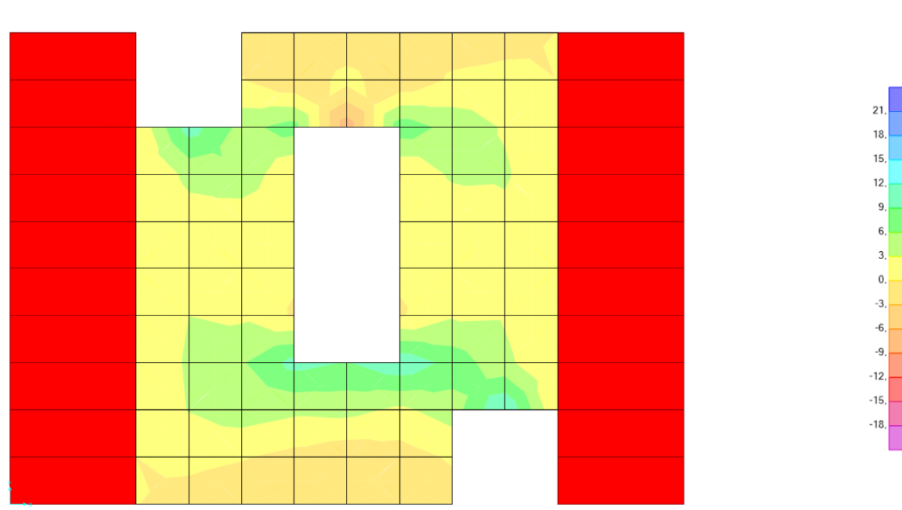


Figura 9.20 – Laje de topo. Momento fletor M11. Envolvente máxima de esforços

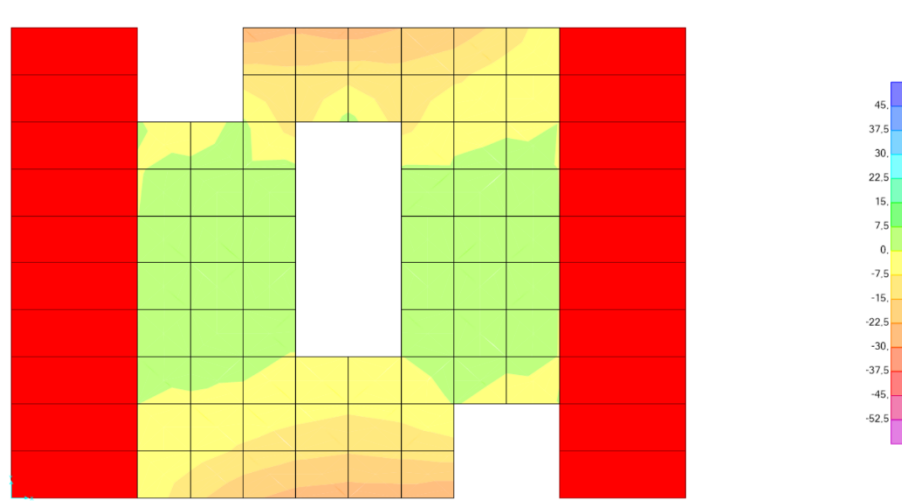


Figura 9.21 – Laje de topo. Momento fletor M22. Envolvente mínima de esforços

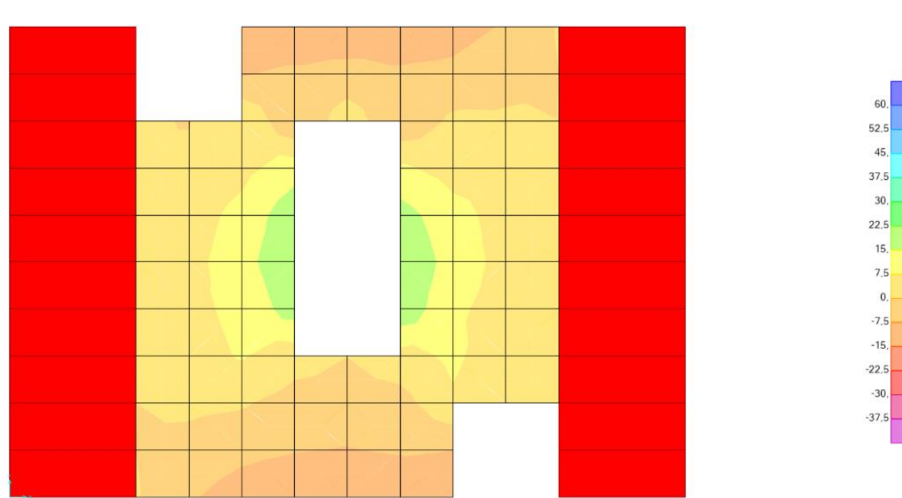


Figura 9.22 – Laje de topo. Momento fletor M22. Envolvente máxima de esforços

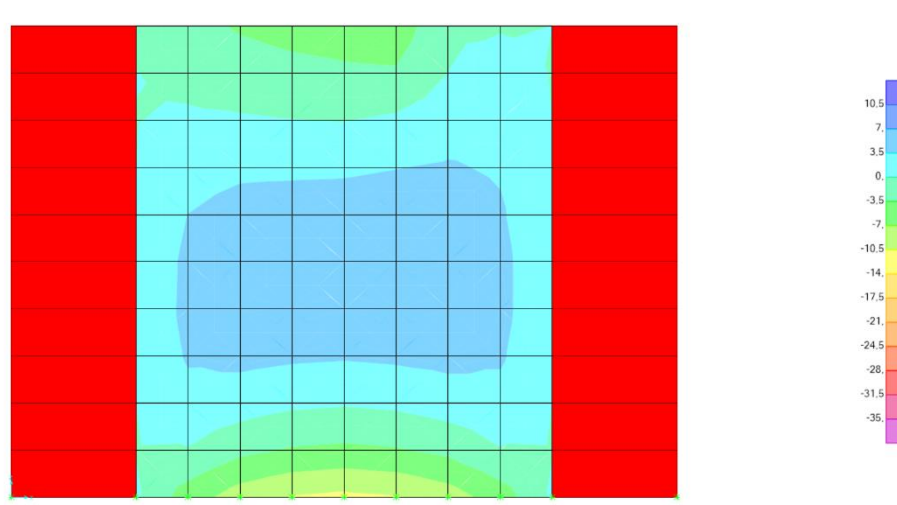


Figura 9.23 – Paredes. Momento fletor M_{11} . Envolvente mínima de esforços

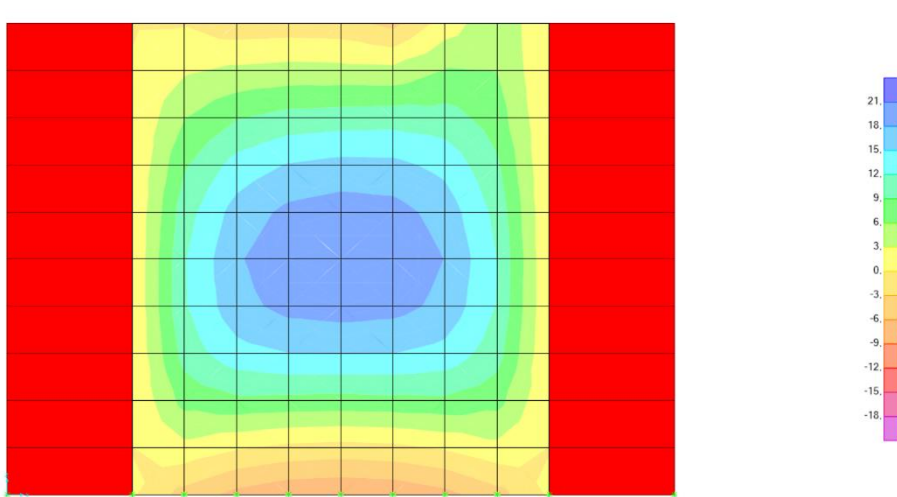


Figura 9.24 – Paredes. Momento fletor M_{11} . Envolvente máxima de esforços

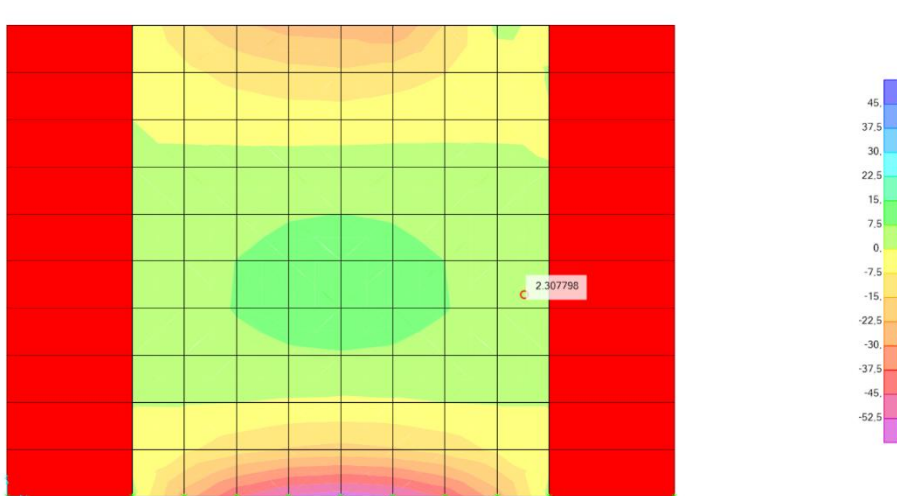


Figura 9.25 – Paredes. Momento fletor M_{22} . Envolvente mínima de esforços

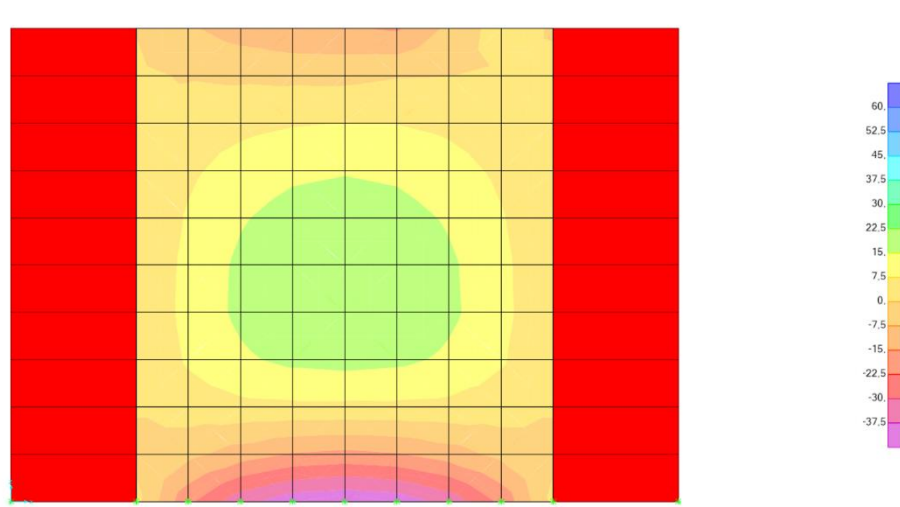


Figura 9.26 – Paredes. Momento fletor M22. Envolvente máxima de esforços

9.4.4.2 Verificação da segurança em relação aos Estados Limites Últimos de Flexão

O dimensionamento das secções críticas foi efectuado com base nos parâmetros regulamentares vigentes, pelo que seguidamente se apresentam os resultados obtidos para a envolvente de esforços:

Quadro 9.2 – Dimensionamento das secções críticas

CAIXA NÓ 1.1									
Dimensionamento dos Elementos Estruturais									
Betão		C30/37	fcd (kN/m2)	20000,00	Rec. (m)	0,05			
Aço		A500	fsyd (kN/m2)	435000,00					
LAJE DE TOPO									
Msd (kN.m)		b (m)	h (m)	d (m)	μ (KN.m)	ω (KN.m)	As (cm2)	Arm. Adoptada	As (cm2)
M11-	25,00	1,00	0,20	0,15	0,0556	0,0575	3,97	φ12//0,15	7,54
M11+	25,00				0,0556	0,0575	3,97	φ12//0,15	7,54
M22-	20,00				0,0444	0,0457	3,15	φ12//0,15	7,54
M22+	15,00				0,0333	0,0340	2,35	φ12//0,15	7,54
LAJE DE FUNDO									
Msd (kN.m)		b (m)	h (m)	d (m)	μ (KN.m)	ω (KN.m)	As (cm2)	Arm. Adoptada	As (cm2)
M11-	25,00	1,00	0,40	0,35	0,0102	0,0103	1,65	φ12//0,15	7,54
M11+	45,00				0,0184	0,0186	2,99	φ12//0,15	7,54
M22-	25,00				0,0102	0,0103	1,65	φ12//0,15	7,54
M22+	40,00				0,0163	0,0165	2,65	φ12//0,15	7,54
PAREDE									
Msd (kN.m)		b (m)	h (m)	d (m)	μ (KN.m)	ω (KN.m)	As (cm2)	Arm. Adoptada	As (cm2)
M11-	45,00	1,00	0,30	0,25	0,0360	0,0368	4,23	φ12//0,15	7,54
M11+	25,00				0,0200	0,0202	2,33	φ12//0,15	7,54
M22-	40,00				0,0320	0,0326	3,75	φ12//0,15	7,54
M22+	20,00				0,0160	0,0162	1,86	φ12//0,15	7,54

9.4.4.3 Verificação da segurança em relação aos Estados Limites Últimos – Rotura da fundação

As condições para a verificação das tensões transmitidas ao terreno são as seguintes:

$$\sigma_{\max} < \sigma_{adm}$$

Do cálculo, as tensões máximas de compressão introduzidas no terreno são de:

$$\sigma_{\max} \approx 84,08 \text{ kPa}$$

Desta forma, verifica-se que a máxima tensão transmitida ao terreno de fundação é inferior à tensão admissível pelo que a segurança está verificada.

10 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

10.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Ao longo do traçado do adutor será instalado um cabo de fibra ótica. Neste projeto encontra-se incluído o caminho de cabos, ou seja, as tubagens e caixas para instalação do cabo. O cabo de fibra ótica está incluído no Volume IV, relativo ao Projeto de Execução do Sistema de Automação e Telegestão.

10.2 CÂMARAS DE VÁLVULAS DE SECCIONAMENTO

As válvulas de seccionamento DN1400 terão um atuador elétrico. No entanto, não se prevê a instalação de posto de transformação no local, mas sim que sejam atuadas a partir de um gerador que é transportado numa carrinha ao local sempre que é necessário a sua atuação.

Para verificação do estado das válvulas, estas terão fins de curso. Também as válvulas DN200 dos by-pass terão fins de curso. Esta informação será recolhida por uma UTR, alimentada a partir do painel solar e das baterias e será transmitida ao centro de comando através da fibra ótica instalada ao longo do adutor. Para tal prevê-se a instalação de painéis solares (300 W pico) e baterias.

Para acionamento de cada uma das válvulas será instalado um quadro elétrico mural, em poliéster, IP65, equipado com uma tomada à face exterior para ligação do grupo eletrogéneo, proteções elétricas e de pessoas e contactores para comando da válvula. O comando de abertura e fecho da válvula será realizado através de botoneiras instaladas à face do quadro. Existirá ainda um sinalizador para indicação de defeitos da válvula.

Os pormenores das instalações elétricas da câmara de válvulas são apresentados nos **Desenhos E01 e E02**.

10.3 CAMINHO DE CABOS

Previu-se uma ligação entre central mini-hídrica e o reservatório de regularização R1 de Ervidel e a Estrutura de Regulação 12, através de um cabo de fibra ótica que permitirá a comunicação entre as infraestruturas, passando pela câmara de carga, sendo possível centralizar todos os dados na ER12.

No **Desenho E03** apresenta-se o traçado das tubagens que permitirão a instalação do cabo de fibra ótica.

Serão instaladas caixas para passagem de cabos de 150 em 150 metros, sendo a definição das caixas indicada no mesmo desenho.

Entre as caixas será instalado um tritubo em PEAD DN40, que será colocada na mesma vala do adutor, de acordo com o desenho tipo da fundação (**Desenho 7**).

O cabo de fibra ótica está incluído no Volume IV relativo ao Projeto de Execução do Sistema de Automação e Telegestão.

QUADROS

Quadro A1 - Dimensionamento hidráulico do adutor Ervidel-Sado (k=0,3 mm)

	NMC	NPA	NmE
R1 Ervidel	172.66	172.46	167.44
Câmara de Carga	154.30	154.00	150.00

Conduta	Troço	Nó Montante	Nó Jusante	Nó Jusante	PK	L	Material	Rugosidade	DN	Classe de pressão (PN)	Ø interno	Q dimens.	v	i unitária	i total	Cota da soleira do adutor	Cota piezométrica no nó	Pressão mínima	Pressão estática
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(m)	(-)	(m)	(mm)	(bar)	(mm)	(l/s)	(m/s)	(m/m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
					0.0	R1 de Ervidel													
																167.44			172.46
C Lig.	1	0	1	CP	212.8	212.8	BT	0.0003	1600	6	1600	3500	1.74	0.0014	0.30	160.06	167.14	7.1	12.4
CP1	2	1	2	Nó 101 - DF	171.7	171.7	BT	0.0003	1600	6	1600	3500	1.74	0.0014	0.24	158.35	166.89	8.5	14.1
	3	2	3	Nó 102 - V	228.0	56.3	BT	0.0003	1600	6	1600	3500	1.74	0.0014	0.08	159.74	166.81	7.1	12.7
	4	3	4	Nó 109 - DF	1978.0	1750.0	BT	0.0003	1600	6	1600	3500	1.74	0.0014	2.49	131.26	164.33	33.1	41.2
	5	4	5	Nó 111 - V	2064.0	86.0	BT	0.0003	1600	6	1600	3500	1.74	0.0014	0.12	134.66	164.21	29.5	37.8
	6	5	6	Nó 113 - DF	2240.5	176.5	BT	0.0003	1600	6	1600	3500	1.74	0.0014	0.25	123.65	163.95	40.3	48.8
	7	6	7	Nó 114 - V	2310.0	69.5	BT	0.0003	1600	6	1600	3500	1.74	0.0014	0.10	125.70	163.86	38.2	46.8
	8	7	8	Nó 115 - DF	2460.5	150.5	BT	0.0003	1600	6	1600	3500	1.74	0.0014	0.21	120.05	163.64	43.6	52.4
	9	8	9	Nó 116 - V	2673.0	212.5	BT	0.0003	1600	6	1600	3500	1.74	0.0014	0.30	124.28	163.34	39.1	48.2
	10	9	10	Nó 117 - DF	3053.0	380.0	BT	0.0003	1600	6	1600	3500	1.74	0.0014	0.54	111.58	162.80	51.2	60.9
	11	10	11	Derivação	3701.1	648.1	BT	0.0003	1600	6	1600	3500	1.74	0.0014	0.92	139.45	161.88	22.4	33.0
Adutor Ervidel-Sado Troço 1	12	11	12	DF	88.7	88.7	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.13	138.19	161.75	23.6	34.3
	13	12	13	V	381.1	292.4	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.42	152.47	161.34	8.9	20.0
	14	13	14	DF	823.9	442.8	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.63	127.02	160.71	33.7	45.4
	15	14	15	V	920.0	96.1	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.14	133.68	160.57	26.9	38.8
	16	15	16	V	1367.2	447.2	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.64	149.73	159.94	10.2	22.7
	17	16	17	DF	1864.1	496.9	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.71	129.01	159.23	30.2	43.5
	18	17	18	V	1980.0	115.9	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.16	137.40	159.07	21.7	35.1
	19	18	19	V	2371.1	391.1	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.56	152.03	158.51	6.5	20.4
	20	19	20	DF	2485.2	114.1	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.16	143.92	158.35	14.4	28.5
	21	20	21	V	2722.4	237.2	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.34	147.68	158.01	10.3	24.8
	22	21	22	C.VÁLVULAS	2760.0	37.6	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.05	146.45	157.96	11.5	26.0
	23	22	23	DF	3196.3	436.3	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.62	123.13	157.34	34.2	49.3
	24	23	24	V	3301.8	105.5	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.15	127.77	157.19	29.4	44.7
	25	24	25	DF	3653.4	351.6	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.50	121.68	156.69	35.0	50.8
	26	25	26	V	3863.2	209.8	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.30	127.13	156.39	29.3	45.3
	27	26	27	DF	4390.9	527.7	BT	0.0003	1600	8/10	1600	3500	1.74	0.0014	0.75	111.61	155.64	44.0	60.9
	28	27	28	V	4592.0	201.1	BT	0.0003	1600	10/8	1600	3500	1.74	0.0014	0.29	120.84	155.36	34.5	51.6
	29	28	29	DF	4722.9	130.9	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.19	118.07	155.17	37.1	54.4
	30	29	30	V	5040.0	317.1	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.45	124.71	154.72	30.0	47.8
	31	30	31	V	5534.8	494.8	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.70	142.02	154.02	12.0	30.4
	32	31	32	DF	5693.7	158.9	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.23	134.94	153.79	18.9	37.5
	33	32	33	PK final	5959.0	265.3	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.38	147.04	153.41	6.4	25.4
	33	32	33	C. CARGA *	5997.4	38.4	BT	0.0003	1600	8	1600	3500	1.74	0.0014	0.05	147.02	153.36	6.3	25.4

Quadro A1 - Dimensionamento hidráulico do adutor Ervidel-Sado (k=0,3 mm)

Quadro A1 - Dimensionamento hidráulico do adutor Ervidel-Sado (k=0,3 mm)																NMC		NPA	NmE	
																R1 Ervidel		172.66	172.46	167.44
																Câmara de Carga		154.30	154.00	150.00
Conduta	Troço	Nó Montante	Nó Jusante	Nó Jusante	PK	L	Material	Rugosidade	DN	Classe de pressão (PN)	ø interno	Q dimens.	v	i unitária	i total	Cota da soleira do adutor	Cota piezométrica no nó	Pressão mínima	Pressão estática	
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(m)	(-)	(m)	(mm)	(bar)	(mm)	(l/s)	(m/s)	(m/m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
Adutor Ervidel-Sado Troço 2	34	33	34	PK 0 *	24.5	24.5	BT	0.0003	1400	6	1400	3500	2.27	Câmara de carga		0.50	150.00		154.00	
	35	34	35	DF	22.6	22.6	BT	0.0003	1400	6	1400	3500	2.27	0.0027	0.07	144.87	149.43	4.6	9.1	
	36	35	36	T. arejamento	101.9	79.3	BT	0.0003	1400	6	1400	3500	2.27	0.0027	0.06	144.53	149.37	4.8	9.5	
	37	36	37	V	730.4	628.5	BT	0.0003	1400	6	1400	3500	2.27	0.0027	0.22	146.61	149.14	2.5	7.4	
	38	37	38	DF	1338.3	607.9	BT	0.0003	1400	6	1400	3500	2.27	0.0027	1.78	126.13	147.37	21.2	27.9	
	39	38	39	V	1518.1	179.8	BT	0.0003	1400	6	1400	3500	2.27	0.0027	1.72	107.78	145.65	37.9	46.2	
	40	39	40	V	2000.0	481.9	BT	0.0003	1400	6	1400	3500	2.27	0.0027	0.51	108.26	145.14	36.9	45.7	
	41	40	41	V	2000.0	481.9	BT	0.0003	1400	6	1400	3500	2.27	0.0027	1.36	105.57	143.78	38.2	48.4	
	42	41	42	DF	2208.8	208.8	BT	0.0003	1400	8	1400	3500	2.27	0.0027	0.59	101.61	143.19	41.6	52.4	
	43	42	43	V	2509.3	300.5	BT	0.0003	1400	8	1400	3500	2.27	0.0027	0.85	104.12	142.34	38.2	49.9	
	44	43	44	V	3150.8	641.5	BT	0.0003	1400	8	1400	3500	2.27	0.0027	1.81	98.74	140.53	41.8	55.3	
	45	44	45	DF	3155.8	5.0	BT	0.0003	1400	8	1400	3500	2.27	0.0027	0.01	96.70	140.51	43.8	57.3	
				CENTRAL	3199.0	43.2	BT	0.0003	1400	8	1400	3500	2.27	0.0027	0.12	99.30	140.39	41.1	54.7	

* extensão incluída no projeto da câmara de carga

L total 13135

L novo 9221

Quadro A2 - Dimensionamento hidráulico do adutor Ervidel-Sado (k=0,12 mm)

Quadro A2 - Dimensionamento hidráulico do adutor Ervidel-Sado (k=0,12 mm)																		NMC	NPA	NmE	
																R1 Ervidel		172.66	172.46	167.44	
																Câmara de Carga		154.30	154.00	150.00	
Conduta	Troço	Nó Montante	Nó Jusante	Nó Jusante	PK	L	Material	Rugosidade	DN	Classe de pressão (PN)	ø interno	Q dimens.	v	i unitária	i total	Cota da soleira do adutor	Cota piezométrica no nó	Pressão mínima	Pressão estática		
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(m)	(-)	(m)	(mm)	(bar)	(mm)	(l/s)	(m/s)	(m/m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
					0.0	R1 de Ervidel														167.44	172.46
C Lig.	1	0	1	CP	212.8	212.8	BT	0.00012	1600	6	1600	3500	1.74	0.0012	0.26	160.06	167.18	7.1	12.4		
CP1	2	1	2	Nó 101 - DF	171.7	171.7	BT	0.00012	1600	6	1600	3500	1.74	0.0012	0.21	158.35	166.96	8.6	14.1		
	3	2	3	Nó 102 - V	228.0	56.3	BT	0.00012	1600	6	1600	3500	1.74	0.0012	0.07	159.74	166.89	7.2	12.7		
	4	3	4	Nó 109 - DF	1978.0	1750.0	BT	0.00012	1600	6	1600	3500	1.74	0.0012	2.17	131.26	164.73	33.5	41.2		
	5	4	5	Nó 111 - V	2064.0	86.0	BT	0.00012	1600	6	1600	3500	1.74	0.0012	0.11	134.66	164.62	30.0	37.8		
	6	5	6	Nó 113 - DF	2240.5	176.5	BT	0.00012	1600	6	1600	3500	1.74	0.0012	0.22	123.65	164.40	40.8	48.8		
	7	6	7	Nó 114 - V	2310.0	69.5	BT	0.00012	1600	6	1600	3500	1.74	0.0012	0.09	125.70	164.32	38.6	46.8		
	8	7	8	Nó 115 - DF	2460.5	150.5	BT	0.00012	1600	6	1600	3500	1.74	0.0012	0.19	120.05	164.13	44.1	52.4		
	9	8	9	Nó 116 - V	2673.0	212.5	BT	0.00012	1600	6	1600	3500	1.74	0.0012	0.26	124.28	163.87	39.6	48.2		
	10	9	10	Nó 117 - DF	3053.0	380.0	BT	0.00012	1600	6	1600	3500	1.74	0.0012	0.47	111.58	163.40	51.8	60.9		
	11	10	11	Derivação	3701.1	648.1	BT	0.00012	1600	6	1600	3500	1.74	0.0012	0.80	139.45	162.60	23.1	33.0		
Adutor Ervidel-Sado Troço 1	12	11	12	DF	88.7	88.7	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.11	138.19	162.49	24.3	34.3		
	13	12	13	V	381.1	292.4	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.36	152.47	162.12	9.7	20.0		
	14	13	14	DF	823.9	442.8	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.55	127.02	161.58	34.6	45.4		
	15	14	15	V	920.0	96.1	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.12	133.68	161.46	27.8	38.8		
	16	15	16	V	1367.2	447.2	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.55	149.73	160.90	11.2	22.7		
	17	16	17	DF	1864.1	496.9	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.62	129.01	160.29	31.3	43.5		
	18	17	18	V	1980.0	115.9	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.14	137.40	160.14	22.7	35.1		
	19	18	19	V	2371.1	391.1	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.48	152.03	159.66	7.6	20.4		
	20	19	20	DF	2485.2	114.1	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.14	143.92	159.52	15.6	28.5		
	21	20	21	V	2722.4	237.2	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.29	147.68	159.23	11.5	24.8		
	22	21	22	C.VÁLVULAS	2760.0	37.6	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.05	146.45	159.18	12.7	26.0		
	23	22	23	DF	3196.3	436.3	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.54	123.13	158.64	35.5	49.3		
	24	23	24	V	3301.8	105.5	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.13	127.77	158.51	30.7	44.7		
	25	24	25	DF	3653.4	351.6	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.44	121.68	158.07	36.4	50.8		
	26	25	26	V	3863.2	209.8	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.26	127.13	157.81	30.7	45.3		
	27	26	27	DF	4390.9	527.7	BT	0.00012	1600	8/10	1600	3500	1.74	0.0012	0.65	111.61	157.16	45.5	60.9		
	28	27	28	V	4592.0	201.1	BT	0.00012	1600	10/8	1600	3500	1.74	0.0012	0.25	120.84	156.91	36.1	51.6		
	29	28	29	DF	4722.9	130.9	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.16	118.07	156.75	38.7	54.4		
	30	29	30	V	5040.0	317.1	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.39	124.71	156.36	31.6	47.8		
	31	30	31	V	5534.8	494.8	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.61	142.02	155.74	13.7	30.4		
	32	31	32	DF	5693.7	158.9	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.20	134.94	155.55	20.6	37.5		
	33	32	33	PK final	5959.0	265.3	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.33	147.04	155.22	8.2	25.4		
	33	32	33	C. CARGA *	5997.4	38.4	BT	0.00012	1600	8	1600	3500	1.74	0.0012	0.05	147.02	155.17	8.2	25.4		

Quadro A2 - Dimensionamento hidráulico do adutor Ervidel-Sado (k=0,12 mm)

Quadro A2 - Dimensionamento hidráulico do adutor Ervidel-Sado (k=0,12 mm)																NMC		NPA	NmE	
																R1 Ervidel		172.66	172.46	167.44
																Câmara de Carga		154.30	154.00	150.00
Conduta	Troço	Nó Montante	Nó Jusante	Nó Jusante	PK	L	Material	Rugosidade	DN	Classe de pressão (PN)	ø interno	Q dimens.	v	i unitária	i total	Cota da soleira do adutor	Cota piezométrica no nó	Pressão mínima	Pressão estática	
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m)	(m)	(-)	(m)	(mm)	(bar)	(mm)	(l/s)	(m/s)	(m/m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
Adutor Ervidel-Sado Troço 2	34	33	34	PK 0 *	24.5	24.5	BT	0.00012	1400	6	1400	3500	2.27	Câmara de carga		0.50	150.00		154.00	
	35	34	35	DF	22.6	22.6	BT	0.00012	1400	6	1400	3500	2.27	0.0023	0.06	144.87	149.44	4.6	9.1	
	36	35	36	T. arejamento	101.9	79.3	BT	0.00012	1400	6	1400	3500	2.27	0.0023	0.06	144.53	149.39	4.9	9.5	
	37	36	37	V	730.4	628.5	BT	0.00012	1400	6	1400	3500	2.27	0.0023	0.19	146.61	149.19	2.6	7.4	
	38	37	38	DF	1338.3	607.9	BT	0.00012	1400	6	1400	3500	2.27	0.0023	1.53	126.13	147.66	21.5	27.9	
	39	38	39	V	1518.1	179.8	BT	0.00012	1400	6	1400	3500	2.27	0.0023	1.48	107.78	146.18	38.4	46.2	
	40	39	40	V	2000.0	481.9	BT	0.00012	1400	6	1400	3500	2.27	0.0023	0.44	108.26	145.74	37.5	45.7	
	41	40	41	DF	2208.8	208.8	BT	0.00012	1400	6	1400	3500	2.27	0.0023	0.18	105.57	144.56	39.0	48.4	
	42	41	42	V	2509.3	300.5	BT	0.00012	1400	8	1400	3500	2.27	0.0023	1.18	101.61	144.05	42.4	52.4	
	43	42	43	V	3150.8	641.5	BT	0.00012	1400	8	1400	3500	2.27	0.0023	0.51	104.12	143.32	39.2	49.9	
	44	43	44	DF	3155.8	5.0	BT	0.00012	1400	8	1400	3500	2.27	0.0023	0.73	104.12	143.32	39.2	49.9	
	45	44	45	CENTRAL	3199.0	43.2	BT	0.00012	1400	8	1400	3500	2.27	0.0023	1.56	98.74	141.76	43.0	55.3	
														0.0023	0.01	96.70	141.74	45.0	57.3	
														0.0023	0.11	99.30	141.64	42.3	54.7	

* extensão incluída no projeto da câmara de carga

L total 13135

L novo 9221

Quadro A3 - Dimensionamento das ventosas

	Ventosa	PK	Q (l/s)	P1 (m)	P1 (MPa)	P2 (m)	P2 (MPa)	D (DF)	S (DF)	h (DF) /Hc	tipo conduta	t	D (conduta)	S (m ²)	Lc	q1 (l/s)	q2 (l/s)	q	q/2	d1 (mm)	Q enchimento (m ³ /s)	q3 (l/s)	q4 (l/s)	q5 (l/s)	q6 (l/s)	q	q/2	d2 (mm)	d2/2 adotado (mm)
Adutor Evidel-Sado Troço 1	Ventosa 1.1	381.1	3500	2.00	0.12	5.98	0.16	0.20	0.03	28.34	BETÃO	0.33	1.60	2.01	442.80	-17	35	35	18	11	0.60	722	444	3556	3500	3556	1778	213	2x200
	Ventosa 1.2	920.0	3500	2.00	0.12	23.64	0.33	0.20	0.03	9.91	BETÃO	0.33	1.60	2.01	96.10	-45	35	35	18	11	0.60	722	263	2893	3500	3500	1750	149	2x200
	Ventosa 1.3	1367.2	3500	2.00	0.12	6.90	0.17	0.20	0.03	24.03	BETÃO	0.33	1.60	2.01	496.90	-20	35	35	18	11	0.60	722	409	3160	3500	3500	1750	149	2x200
	Ventosa 1.4	1980.0	3500	2.00	0.12	18.87	0.28	0.20	0.03	11.19	BETÃO	0.33	1.60	2.01	115.90	-41	35	35	18	11	0.60	722	279	2998	3500	3500	1750	149	2x200
	Ventosa 1.5	2371.1	3500	2.00	0.12	3.33	0.13	0.20	0.03	14.98	BETÃO	0.33	1.60	2.01	391.10	-7	35	35	18	11	0.60	722	323	2681	3500	3500	1750	149	2x200
	Ventosa 1.6	2722.4	3500	2.00	0.12	7.34	0.17	0.20	0.03	6.75	BETÃO	0.33	1.60	2.01	237.20	-21	35	35	18	11	0.60	722	217	2045	3500	3500	1750	149	2x200
	Ventosa CV	2760.0	3500	2.00	0.12	8.51	0.18	0.20	0.03	26.33	BETÃO	0.33	1.60	2.01	436.30	-24	35	35	18	11	0.60	722	428	3443	3500	3500	1750	149	2x200
	Ventosa 1.7	3301.8	3500	2.00	0.12	26.07	0.36	0.20	0.03	9.44	BETÃO	0.33	1.60	2.01	351.60	-46	35	35	18	11	0.60	722	257	2193	3500	3500	1750	149	2x200
	Ventosa 1.8	3863.2	3500	2.00	0.12	26.52	0.36	0.20	0.03	18.26	BETÃO	0.33	1.60	2.01	527.70	-47	35	35	18	11	0.60	722	357	2702	3500	3500	1750	149	2x200
	Ventosa 1.9	4592.0	3500	2.00	0.12	31.80	0.41	0.20	0.03	11.95	BETÃO	0.33	1.60	2.01	201.10	-50	35	35	18	11	0.60	722	289	2818	3500	3500	1750	149	2x200
Adutor Evidel-Sado Troço 2	Ventosa 1.10	5040.0	3500	2.00	0.12	27.17	0.37	0.20	0.03	9.48	BETÃO	0.33	1.60	2.01	317.10	-47	35	35	18	11	0.60	722	257	2259	3500	3500	1750	149	2x200
	Ventosa 1.11	5534.8	3500	2.00	0.12	8.92	0.19	0.20	0.03	17.55	BETÃO	0.33	1.60	2.01	494.80	-25	35	35	18	11	0.60	722	350	2704	3500	3500	1750	149	2x200
	Ventosa 2.1	730.4	3500	2.00	0.12	17.86	0.27	0.20	0.03	21.73	BETÃO	0.33	1.40	1.54	607.90	-40	35	35	-	15	0.46	553	389	2025	3500	3500	-	211	200
	Ventosa 2.2	1518.1	3500	2.00	0.12	34.32	0.44	0.20	0.03	3.04	BETÃO	0.33	1.40	1.54	179.80	-51	35	35	-	15	0.46	553	146	1073	3500	3500	-	211	200
	Ventosa 2.3	2000.0	3500	2.00	0.12	35.35	0.45	0.20	0.03	6.82	BETÃO	0.33	1.40	1.54	208.80	-51	35	35	-	15	0.46	553	218	1556	3500	3500	-	211	200
	Ventosa 2.4	2509.3	3500	2.00	0.12	35.64	0.45	0.20	0.03	5.10	BETÃO	0.33	1.40	1.54	641.50	-51	35	35	-	15	0.46	553	189	962	3500	3500	-	211	200
	Ventosa 2.5	3150.8	3500	2.00	0.12	38.93	0.48	0.20	0.03	4.90	BETÃO	0.33	1.40	1.54	5.00	-53	35	35	-	15	0.46	553	185	1777	3500	3500	-	211	200

P1 - pressão absoluta na secção inicial do escoamento (pressão + 1 atm)

P2 - cota piezométrica - cota do terreno (onde está instalada a ventosa)

D (DF) - diâmetro da descarga de fundo

h (DF) ou Hc - distancia vertical entre a ventosa e DF mais desfavorável (mais baixa) ou distancia vertical entre ventosas no caso de ventosas seguidas - cota terreno da V - cota soleira DF

Lc - distancia horizontal entre a ventosa e DF mais desfavorável (mais baixa) ou distancia horizontal entre ventosas no caso de ventosas seguidas

t - 1/3 para condutas rígidas e 1/2 para condutas flexíveis

Quadro A4 - Descargas de fundo

	Descarga de fundo	PK	DN conduta	DN descarga de fundo	Cota terreno (m)	Cota soleira DF (m)	H caixa (cota tampa - cota soleira)
Adutor Ervidel-Sado Troço 1	Descarga de fundo 1.1	89	1600	200	142.06	139.19	4.17
	Descarga de fundo 1.2	824	1600	200	130.89	127.02	5.17
	Descarga de fundo 1.3	1864	1600	200	132.27	129.01	4.56
	Descarga de fundo 1.4	2485	1600	200	147.50	143.92	4.88
	Descarga de fundo 1.5	3196	1600	200	126.41	123.12	4.59
	Descarga de fundo 1.6	3653	1600	200	124.90	121.68	4.52
	Descarga de fundo 1.7	4391	1600	200	117.36	111.61	7.05
	Descarga de fundo 1.8	4723	1600	200	121.21	118.07	4.44
	Descarga de fundo 1.9	5694	1600	200	139.00	134.94	5.36
Adutor Ervidel-Sado Troço 2	Descarga de fundo 2.1	22.6	1400	200	147.38	144.53	4.15
	Descarga de fundo 2.2	1338.3	1400	200	111.43	107.78	4.95
	Descarga de fundo 2.3	2208.8	1400	200	104.90	101.61	4.59
	Descarga de fundo 2.4	3155.8	1400	200	101.60	96.70	6.20

Quadro A5 - Maciços de amarração. Câmaras de válvulas

Coef Atrito	0.55
Peso esp. betão	25 KN/m³
σ terreno	150 KPa
Peso esp. terreno	19 KN/m³
Estática	172.46 m

Conduta	Nó	DN (mm)	Cota soleira (m)	Cota eixo (m)	Cota terreno (m)	$\phi 1$	2			ϕ	Válvula	Ângulo c/ $\phi 1$ (°)	Cálculo	4			Estática (m.c.a)	Pressão estática (m.c.a.)	Pressão ensaio (m.c.a.)	F estática (KN)	F ensaio (KN)	Dimensões (m)			Área base (m²)	Volume efectivo (m³)
							ϕ	Válvula	Ângulo c/ $\phi 1$ (°)					ϕ	Válvula	Ângulo c/ $\phi 1$ (°)						A	B	H		
Troço 1	1.1	1600	139.17	139.97	142.65	1600	1600	A	115.00	1600		180	1600				172.5	32.5	48.7	640.6	960.9	3.84	8.67	5.05	33.6	84.5
Troço 1	1.12	1600	146.45	147.25	149.43	1600				1600	F	180	0				172.5	25.2	37.8	497.1	745.6	6.15	4.60	4.75	28.3	66.8

						Verificação para a pressão estática				Verificação para a pressão de ensaio				Tensão no terreno	
Conduta	Nó	Impulsão				Deslizamento		Derrubamento		Deslizamento		Derrubamento			
		Cota NF (m)	Cota soleira maciço (m)	Cota topo maciço (m)	Impulsão (kN)	Fr/F	Verif. Fr/F>1.5	Me/Md	Verif. Me/Md > 1.5	Fr/F	Verif. Fr/F>1.2	Me/Md	Verif. Me/Md > 1.2	Tensão no terreno (kPa)	P < σ terreno
		Troço 1	1.1	137.79	137.79	142.84	0.0	1.8	Ok	2.9	Ok	1.2	Ok	1.9	Ok
Troço 1	1.12	145.11	145.11	149.86	0.0	1.8	Ok	4.8	Ok	1.2	Ok	3.2	Ok	59.0	Ok

Quadro A6 - Maciços de amarração . Curvas em planta

Coef Atrito	0.55
Peso esp. Betão	25 KN/m³
σ terreno	150 KPa
Peso esp. terreno	19 KN/m³
Estática	155 m

Conduta	Nó	DN (mm)	Cota soleira (m)	Cota eixo (m)	Cota terreno (m)	Ângulo ext. (°)	ø	Estática (m.c.a)	Pressão estática (m.c.a.)	Pressão ensaio (m.c.a.)	F estática (KN)	F ensaio (KN)	Dimensões (m)				Volume do maciço (m³)	Volume efectivo (m³)	Impulsão			
													A	B	H1	H2			Cota NF (m)	Cota soleira maciço (m)	Cota topo maciço (m)	Impulsão (KN)
Troço 2	2.1	1400	145.00	145.70	148.03	56.25	1400	155.0	9.3	14.0	132.4	198.6	2.7	2.7	1.2	1.2	17.5	17.5	144.50	144.50	146.90	0.0

		Verificação para a pressão estática				Verificação para a pressão de ensaio				Tensão no terreno		Altura disponível ao terreno (m)
Conduta	Nó	Deslizamento		Derrubamento		Deslizamento		Derrubamento				
		Fr/F	Verif. Fr/F>1.5	Me/Md	Verif. Me/Md > 1.5	Fr/F	Verif. Fr/F>1.2	Me/Md	Verif. Me/Md > 1.2	Tensão no terreno (KPa)	P < σ terreno	
Troço 2	2.1	1.8	Ok	3.7	Ok	1.2	Ok	2.5	Ok	81.5	Ok	1.13

Quadro A7 - Maciços de amarração. Curvas côncavas em perfil

Coef Atrito 0.55
 Peso esp. Betão 25 KN/m³
 σ terreno 150 KPa
 Peso esp. terreno 19 KN/m³
 Estática 155.00 m.c.a

																	Verificação para a pressão estática		Verificação para a pressão de ensaio	
Conduta	Nó	DN (mm)	Cota soleira (m)	Cota eixo (m)	Cota terreno (m)	Ângulo ext. (°)	ø	Pressão estática (m.c.a.)	Pressão ensaio (m.c.a.)	F estática (KN)	F ensaio (KN)	Dimensões (m)			Volume do maciço (m³)	Área de encosto (cm²)	Deslizamento		Deslizamento	
												A	B	H			Fr/F	Verif. Fr/F>1.5	Fr/F	Verif. Fr/F>1.5
Troço 2	2.10	1400	96.72	97.42	101.27	22.5	1400	57.6	86.4	339.3	508.9	2.0	2.6	0.40	2.1	52000	1.5	Ok	1.5	Ok
Troço 2	2.11	1400	96.80	97.50	103.10	22.5	1400	57.5	86.3	338.8	508.2	2.0	2.6	0.40	2.1	52000	1.5	Ok	1.5	Ok

Quadro A8 - Maciços de amarração . Outras peças

Coef Atrito	0.55
Peso esp. betão	25 KN/m³
σ terreno	150 KPa
Peso esp. terreno	19 KN/m³
Estática	155 m

Conduta	Nó	DN (mm)	Cota soleira (m)	Cota eixo (m)	Cota terreno (m)	ø1	2				3			4			Estática (m.c.a.)	Pressão estática (m.c.a.)	Pressão ensaio (m.c.a.)	F estática (KN)	F ensaio (KN)	Dimensões (m)				Volume do maciço (m³)	Volume efectivo (m³)
							ø	Válvula	Ângulo c/ ø1 (°)	Cálculo	ø	Válvula	Ângulo c/ ø1 (°)	ø	Válvula	Ângulo c/ ø1 (°)						A	B	H1	H2		
Troço 1	2.9	1400	98.74	99.44	101.74	1400	200	F	90	0	1400		202				155.0	55.6	83.3	317.3	476.0	3.7	3.7	1.8	1.8	49.3	43.6
Troço 2	2.12	1400	99.29	99.99	102.35	1400				0	1400		203				155.0	55.0	82.5	324.0	486.0	3.7	3.7	1.8	1.8	49.3	43.6

						Verificação para a pressão estática				Verificação para a pressão de ensaio				Tensão no terreno		Altura disponível ao terreno (m)
Conduta	Nó	Impulsão				Deslizamento		Derrubamento		Deslizamento		Derrubamento				
		Cota NF (m)	Cota soleira maciço (m)	Cota topo maciço (m)	Impulsão (kN)	Fr/F	Verif. Fr/F>1.5	Me/Md	Verif. Me/Md > 1.5	Fr/F	Verif. Fr/F>1.2	Me/Md	Verif. Me/Md > 1.2	Tensão no terreno (kPa)	P < σ terreno	
Troço 1	2.9	97.64	97.64	101.24	0.0	1.9	Ok	3.5	Ok	1.3	Ok	2.4	Ok	89.1	Ok	0.50
Troço 2	2.12	98.19	98.19	101.79	0.0	1.8	Ok	3.5	Ok	1.2	Ok	2.3	Ok	90.2	Ok	0.56

ANEXO I – ESTUDO DO REGIME DE TRANSITÓRIOS

PROJETO DE EXECUÇÃO DA LIGAÇÃO DE RESILIÊNCIA ERVIDEL-SADO

ANEXO I – ESTUDO DO REGIME DE TRANSITÓRIOS

ÍNDICE

TEXTO	PÁG.
1 REGIME DE TRANSITÓRIOS	1
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2 HIPÓTESES DE MODELAÇÃO	1
1.3 PERFIL DA CONDUTA.....	4
1.4 CONDIÇÕES DE FRONTEIRA.....	5
1.4.1 Reservatórios de montante e jusante.....	5
1.4.2 Comporta de controlo do caudal afluente à Câmara de Carga.....	5
1.4.3 Grupo Turbina-Gerador	7
1.4.4 Válvula de <i>bypass</i> à central	7
1.5 SIMULAÇÃO DO REGIME PERMANENTE	9
1.5.1 Generalidades	9
1.6 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO	10
1.7 RESULTADOS OBTIDOS.....	10
1.7.1 Considerações Gerais	10
1.7.2 Troço 1	11
1.7.2.1 <i>Manobra de fecho da comporta</i>	14
1.7.3 Troço 2	14
1.8 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS	18

FIGURAS	PÁG.
Figura 1.1 – Malha de cálculo do método das características.	2
Figura 1.2 – Perfil longitudinal do Circuito Hidráulico: (a) Troço 1; (b) Troço 2.....	4
Figura 1.3 – Relação entre o fecho relativo com a área útil à passagem de caudal: comportas.....	6
Figura 1.4 – Lei de abertura da comporta de entrada.	6
Figura 1.5 – Lei de fecho do distribuidor da turbina.	7
Figura 1.6 – Relação entre o fecho relativo com a área útil à passagem de caudal: válvulas de agulha, de borboleta e comporta.	8
Figura 1.7 – Lei de abertura da válvula de <i>bypass</i>	8
Figura 1.8 – Perfil hidráulico do sistema: (a) Troço 1; (b) Troço 2.	9
Figura 1.9 – Envolventes de pressão dos Cenários 1.1, 1.2 e 1.3.....	12
Figura 1.10 – Pressões ao longo da conduta: (a) Cenário 1.1; (b) Cenário 1.2; (c) Cenário 1.3.	14
Figura 1.11 – Envolventes de pressão dos Cenários 2.1, 2.2 e 2.3.....	16

Figura 1.12 – Pressões ao longo da conduta: (a) Cenário 2.1; (b) Cenário 2.2; (c) Cenário 2.3.	18
---	----

QUADROS	PÁG.
Quadro 1.1 – Cenários de simulação e dispositivos de proteção associados.	10
Quadro 1.2 – Valores máximos e mínimos das envolventes de pressão dos Cenários 2.1, 2.2 e 2.3	12
Quadro 1.3 – Tempo de fecho da comporta de regulação de caudal.	14
Quadro 1.4 – Valores máximos e mínimos das envolventes de pressão dos Cenários 2.1, 2.2 e 2.3	16

1 REGIME DE TRANSITÓRIOS

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estudo do regime de transitórios é composto pela análise às envolventes hidráulicas máximas e mínimas resultantes do golpe de aríete provocado pela rejeição súbita de carga do Grupo Turbina-Gerador (GTG) da central mini-hídrica, e da manobra da comporta de regulação do caudal, a montante da câmara de carga.

A simulação deste regime no Circuito Hidráulico em análise foi efetuada com o objetivo de definir a necessidade de órgãos de segurança para cada solução em análise.

O estudo, que se apresenta seguidamente, encontra-se dividido em dois troços:

- Troço 1: conduta compreendida entre o R1 de Ervidel e a Câmara de Carga;
- Troço 2: conduta compreendida entre a Câmara de Carga e o R1 do Roxo-Sado (restituição da Central Hidroelétrica).

1.2 HIPÓTESES DE MODELAÇÃO

A modelação matemática do Circuito Hidráulico foi realizada no programa *Hammer* 2024, um *software* desenvolvido pela *Bentley Systems*, baseado no método das características. Este método permite transformar as equações que descrevem o regime variável em pressão, aplicável a um troço de conduta de características uniformes, em dois sistemas de equações diferenciais totais e, posteriormente, num esquema de diferenças finitas.

As equações acima referidas são as seguintes:

- Equação da continuidade (conservação da massa): $\frac{dH}{dt} + \frac{c^2}{g} \frac{dV}{dx} = 0$
- Equação da conservação da quantidade de movimento: $\frac{dV}{dt} + g \frac{dH}{dx} + \frac{f}{2D} V|V| = 0$

onde:

- H : cota piezométrica numa secção (m);
- V : velocidade média de escoamento numa secção (m/s);
- c : celeridade das ondas elásticas de pressão (m/s);
- g : aceleração da gravidade (m²/s);
- f : fator de *Darcy-Weisbach*;
- D : diâmetro da conduta (m).

A integração das equações anteriores é efetuada pelo método das características, que permite transformar as referidas equações em dois sistemas de equações diferenciais totais e, posteriormente, num esquema de diferenças finitas.

Os sistemas de equações diferenciais totais são os seguintes:

$$\begin{aligned} C^+ \left\{ \begin{aligned} \frac{g}{c} \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} + \frac{f}{2D} V|V| &= 0 \\ \frac{dx}{dt} &= c \end{aligned} \right. \\ C^- \left\{ \begin{aligned} -\frac{g}{c} \frac{dH}{dt} + \frac{dV}{dt} + \frac{f}{2D} V|V| &= 0 \\ \frac{dx}{dt} &= -c \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

Considerando a malha de cálculo representada na **Figura 1.1**, as equações anteriores são integradas ao longo das retas características C^+ e C^- .

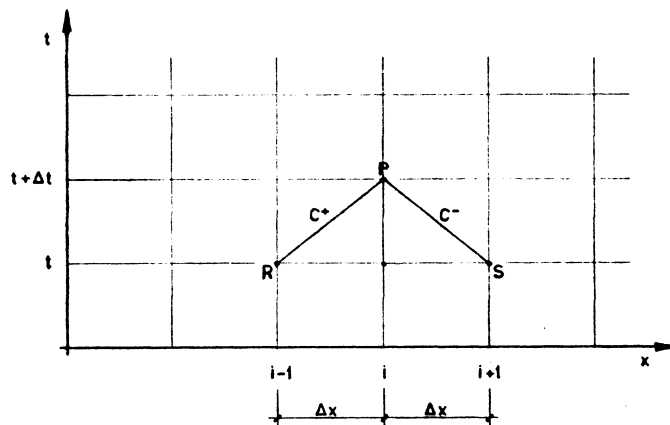


Figura 1.1 – Malha de cálculo do método das características.

Mediante a integração de primeira ordem das perdas de carga e substituição da velocidade, V , pelo caudal, Q , obtêm-se as seguintes equações, que permitem calcular a cota piezométrica e o caudal num dado instante de cálculo em qualquer secção interior das condutas (secções não situadas nas extremidades das condutas):

$$H_P = H_R - B(Q_P - Q_R) - CQ_R|Q_R|$$

$$H_P = H_S - B(Q_P - Q_S) - CQ_S|Q_S|$$

em que P , R e S se referem a pontos da malha de cálculo (ver **Figura 1.1**), $B = c / (g A)$ e $C = f \Delta x / (2g D A^2)$, sendo A a área da secção transversal da conduta e Δx o passo de cálculo espacial.

A resolução das secções de fronteira, comumente denominadas por nós, é efetuada considerando as equações que descrevem as condições de fronteira e as equações anteriores, consoante a secção se situe, respetivamente, a jusante ou a montante.

O modelo matemático utilizado para simular o regime transitório nas condutas admite, assim, as seguintes hipóteses:

- A água e o material da conduta comportam-se de forma elástica e linear durante o regime variável;
- A velocidade da água é sempre muito inferior à celeridade das ondas elásticas de pressão;
- A distribuição da velocidade em cada secção e em cada instante é considerada uniforme;
- As perdas de carga contínuas em regime variável dependem da velocidade de escoamento de forma idêntica à do regime uniforme tangente;
- Os termos convectivos das equações da continuidade e da dinâmica são desprezáveis face ao valor dos restantes termos;
- As forças de inércia associadas à deformação das paredes dos tubos não são consideradas.

O regime de transitórios foi simulado com base os seguintes pressupostos:

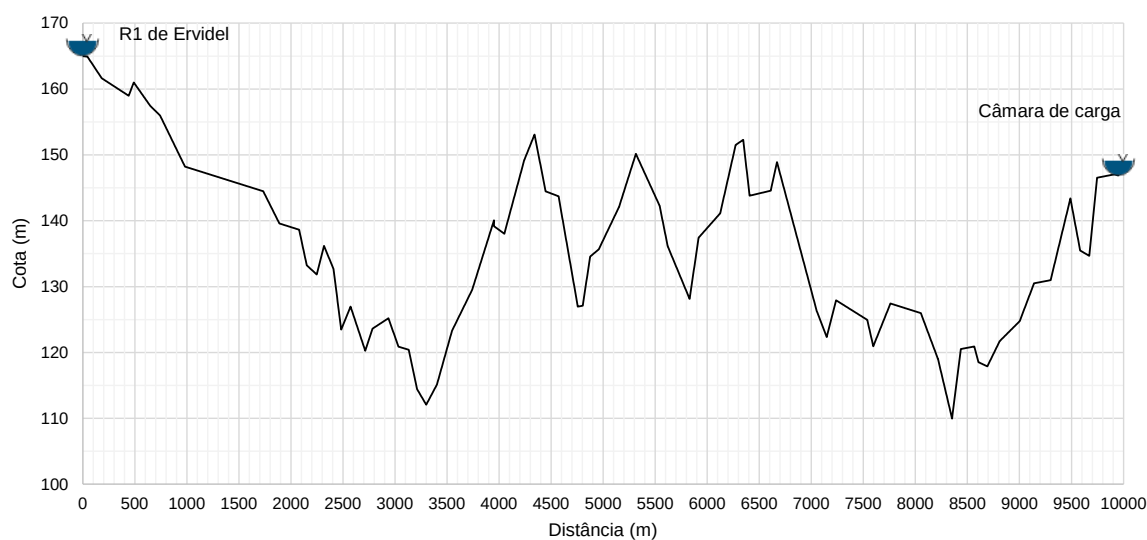
- Tempo total de simulação de 2000 segundos;
- Passo de cálculo de 0,005 segundos;
- As perdas de carga contínuas são calculadas utilizando a fórmula de *Darcy-Weisbach*, considerando uma rugosidade absoluta das condutas de betão de 0,12 mm e das condutas de aço de 0,055 mm;
- A velocidade de propagação da onda considerada para as condutas foi calculada pelo próprio software, igual a 1 040 m/s no caso das condutas de betão com alma de aço e 1 250 m/s no caso das condutas de aço;
- A rejeição súbita de carga (não programada) dos GTG é realizada através da opção *Instant Load Rejection*;
- Os reservatórios foram simulados como *Reservoirs*;
- O Sistema de Filtração foi modelado como uma *General Purpose Valve* (GPV), de modo a introduzir no modelo as perdas de carga localizadas na passagem do escoamento pelos equipamentos de filtração;
- A válvula de *bypass* foi modelada como uma *Throttle Control Valve* (TCV) do tipo agulha;

- O fecho dos distribuidores das turbinas ocorre logo após a rejeição súbita de carga dos GTG, e dá-se em 180 segundos, fechando 60% nos primeiros 30 segundos e os restantes 40% nos 150 segundos finais.

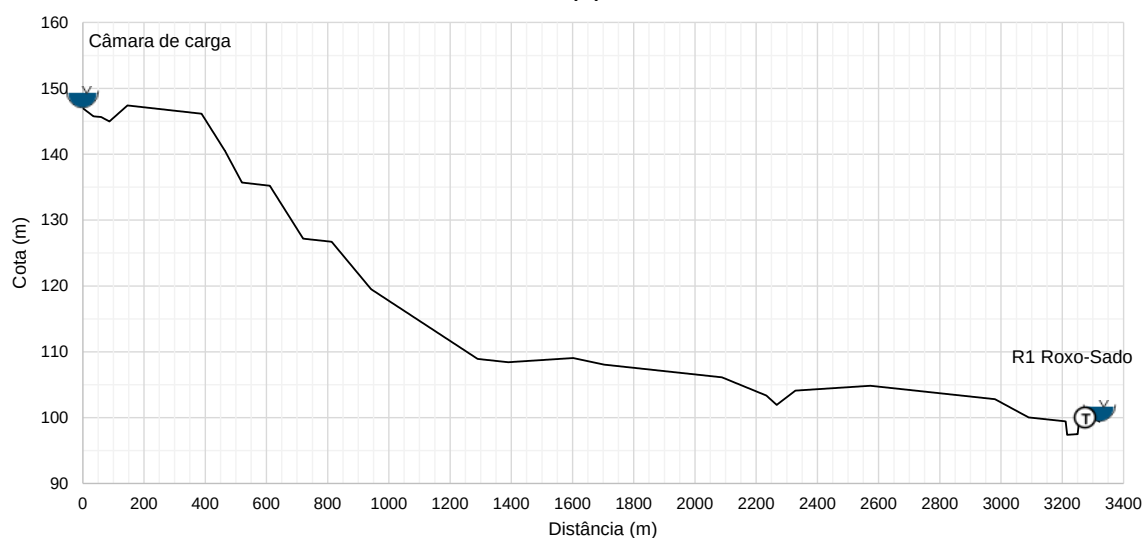
1.3 PERFIL DA CONDUTA

O Circuito Hidráulico em estudo foi modelado através da importação dos pontos notáveis dos perfis longitudinais do adutor, isto é, todos os pontos de cotas extremas (pontos altos e baixos) e em curva das condutas. As ventosas não foram modeladas.

A **Figura 1.2** apresenta os perfis longitudinais esquemáticos em análise, com a identificação dos reservatórios de montante e jusante, assim como da localização da central mini-hídrica.



(a)



(b)

Figura 1.2 – Perfil longitudinal do Circuito Hidráulico: (a) Troço 1; (b) Troço 2.

1.4 CONDIÇÕES DE FRONTEIRA

1.4.1 Reservatórios de montante e jusante

O R1 de Ervidel, a Câmara de Carga e o R1 do Roxo-Sado foram modelados como reservatórios de nível constante, variando de acordo com o NPA e NmE, apresentados seguidamente:

- R1 de Ervidel:
 - NPA 172,46 m
 - NmE 167,00 m
- Câmara de carga:
 - NPA 154,00 m
 - NmE 150,00 m
- Restituição (R1 do Roxo-Sado):
 - NPA 102,20 m
 - NmE 100,25 m

1.4.2 Comporta de controlo do caudal afluente à Câmara de Carga

A comporta de controlo do caudal afluente à Câmara de Carga foi modelada através de um elemento do tipo *Circular Gate*, a começar a manobra de fecho 5,0 segundos após o início da simulação.

Na **Figura 1.3** apresenta-se a curva que relaciona a % de fecho (*relative closure*) com a % de área útil à passagem de caudal (*relative area*), utilizadas no software de modelação para as comportas (e válvulas de cunha).

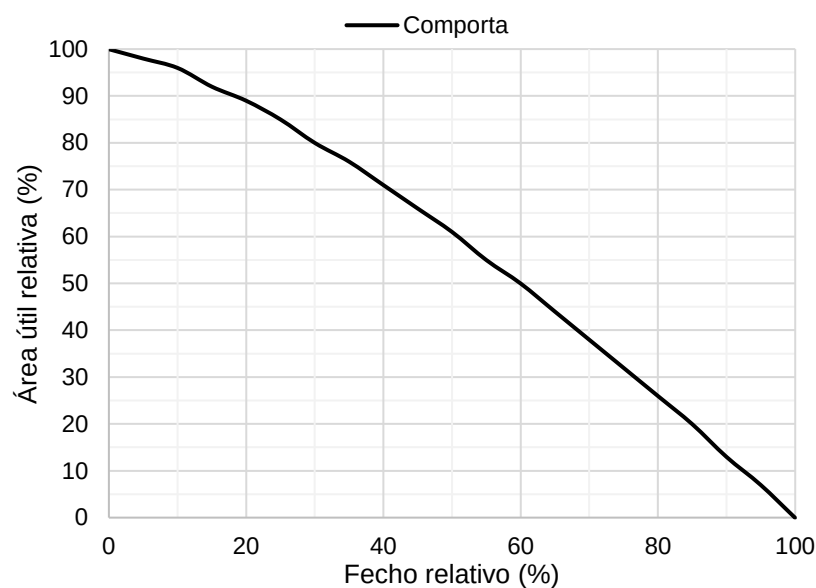


Figura 1.3 – Relação entre o fecho relativo com a área útil à passagem de caudal: comportas.

Na **Figura 1.4** apresenta-se a lei de abertura assumida para a comporta de controlo do caudal afluente à Câmara de Carga. Foi considerada uma abertura bilinear em 900 segundos, 10 segundos após o início da simulação, para limitar as pressões na conduta existente

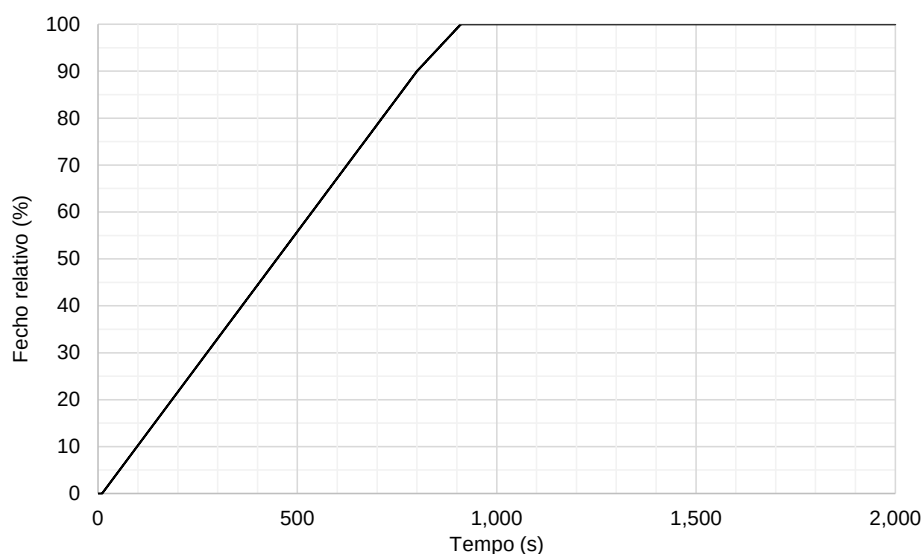


Figura 1.4 – Lei de abertura da comporta de entrada.

O coeficiente inicial considerado para esta válvula foi do tipo *Headloss Coefficient*, com um valor de 70. Este coeficiente foi o que resultou num caudal aduzido de 3,5 m³/s, em regime permanente.

1.4.3 Grupo Turbina-Gerador

A central mini-hídrica foi modelada com as seguintes características:

- Número de GTG 2 unidades
- Velocidade de rotação 1000 rpm
- Inércia total do conjunto GTG (GD2) 1 500 kg m²
- Caudal de dimensionamento total 3,5 m³/s

Os valores da velocidade de rotação e da inércia total do conjunto terão de ser confirmados pelo fabricante das turbinas a instalar.

Como anteriormente referido, a rejeição de carga do GTG foi simulada através da opção *Instant Load Rejection*, 5,0 segundos após o início da simulação. Apresenta-se, na **Figura 1.5**, a lei de fecho considerada do distribuidor da turbina.

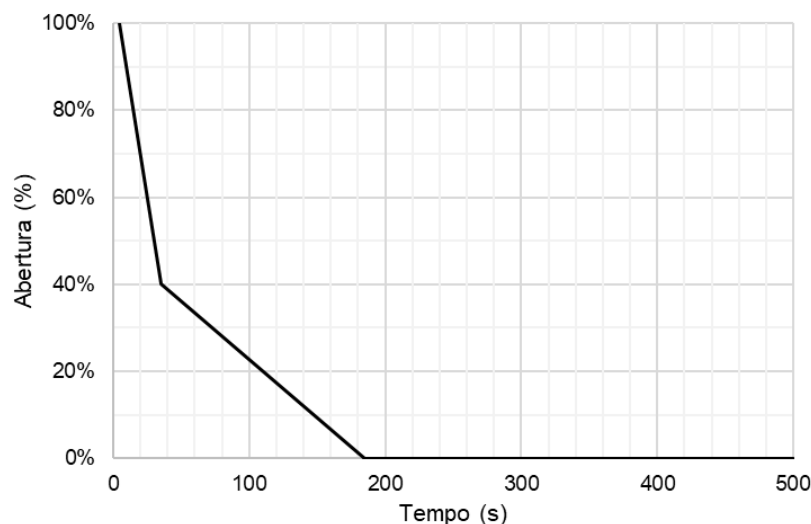


Figura 1.5 – Lei de fecho do distribuidor da turbina.

1.4.4 Válvula de *bypass* à central

A válvula de *bypass* da central (BSV), do tipo agulha, foi modelada através de um elemento do tipo TCV, a abrir 5,0 segundos após início do fecho do distribuidor da turbina, isto é, considerando um *delay* de 5,0 segundos entre o início do fecho do distribuidor da turbina e a abertura do *bypass*.

Na **Figura 1.6** apresenta-se a curva que relaciona a % de fecho (*relative closure*) com a % de área útil à passagem de caudal (*relative area*), utilizadas no software de modelação para as válvulas de borboleta e para as de agulha, que deverá ser o caso das válvulas que seccionam a central mini-hídrica do restante Circuito Hidráulico.

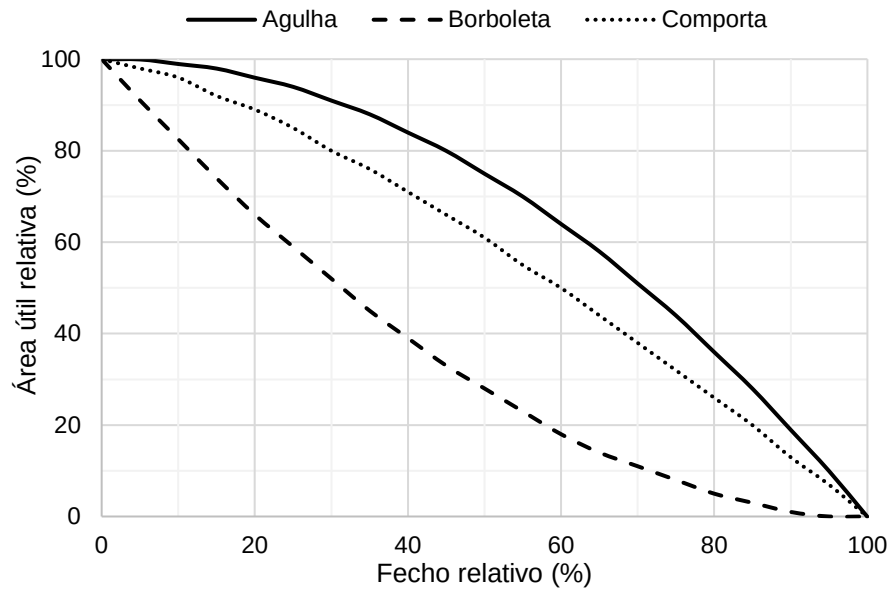


Figura 1.6 – Relação entre o fecho relativo com a área útil à passagem de caudal: válvulas de agulha, de borboleta e comporta.

Na **Figura 1.7** apresenta-se a lei de abertura da BSV. Foi considerada uma abertura linear em 180 segundos, 10 segundos após o início da simulação. O coeficiente inicial considerado para esta válvula foi do tipo *Headloss Coefficient*, com um valor de 90. Este coeficiente foi o que resultou num caudal aduzido de 3,5 m³/s, em regime permanente.

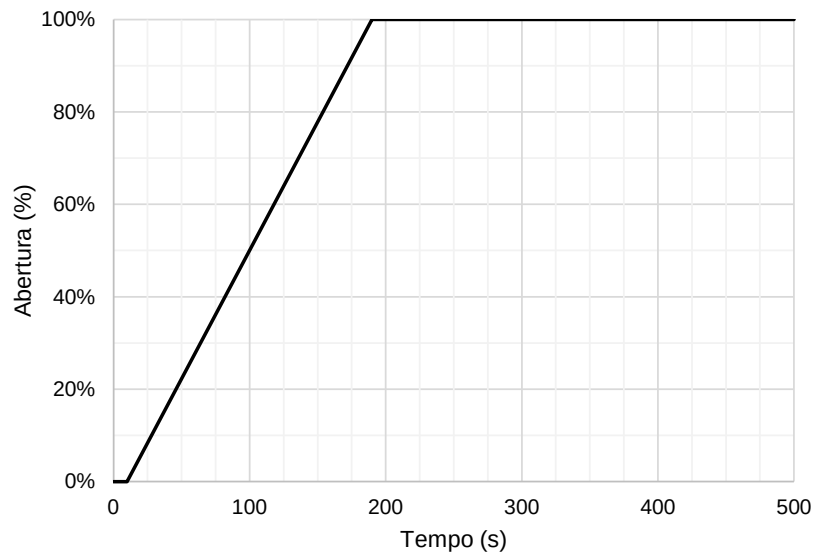


Figura 1.7 – Lei de abertura da válvula de *bypass*.

1.5 SIMULAÇÃO DO REGIME PERMANENTE

1.5.1 Generalidades

O regime permanente foi inicialmente simulado, para o caudal de dimensionamento total de $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$, de modo a validar os coeficientes de perda de carga locais e as restantes condições iniciais consideradas no modelo, como os coeficientes característicos da comporta de controlo de caudal e da válvula de *bypass* da central (BSV).

A **Figura 1.8** apresenta o perfil hidráulico dos troços em análise, para o caudal de dimensionamento de $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$, considerando, na **Figura 1.8 (a)**, o R1 de Ervidel à cota do NPA e a Câmara de Carga à cota do NmE e, na **Figura 1.8 (b)**, a Câmara de Carga à cota do NPA e o R1 à cota do NmE.

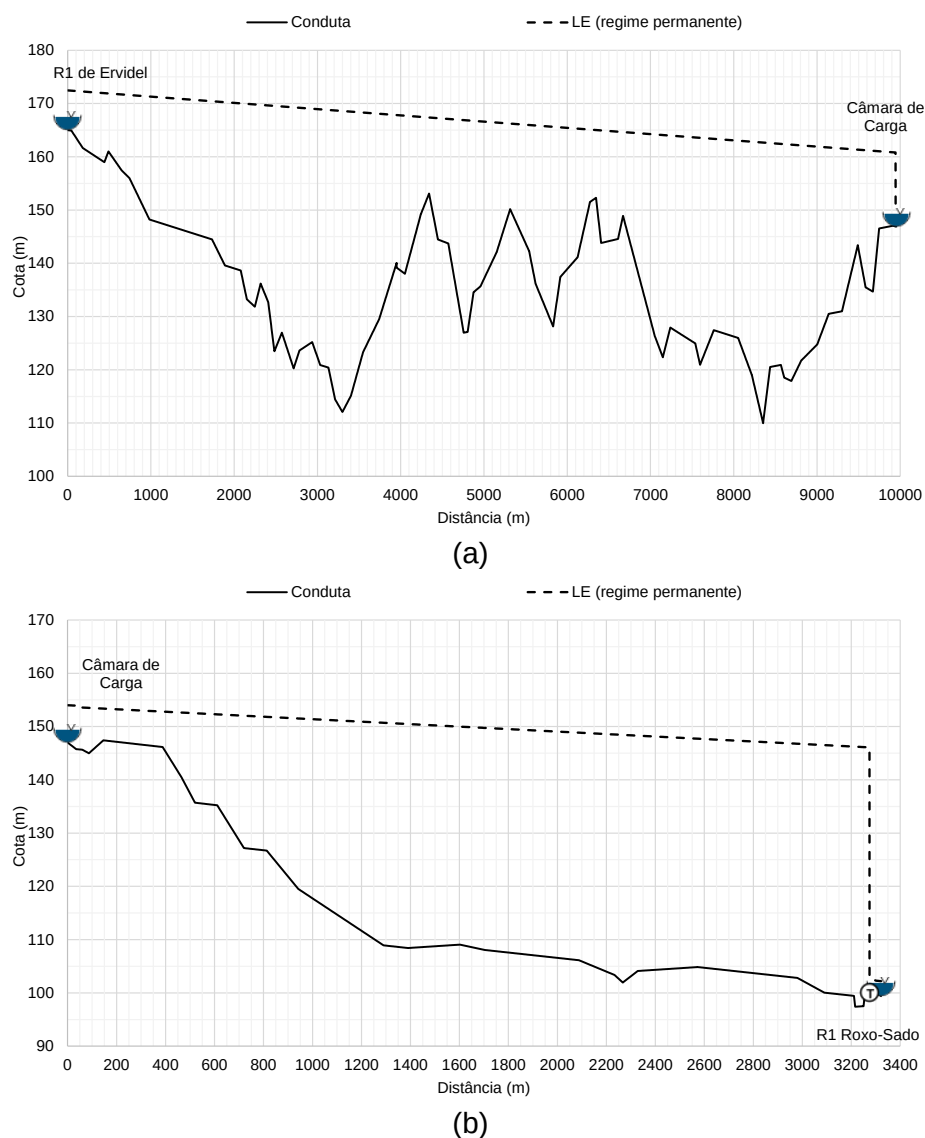


Figura 1.8 – Perfil hidráulico do sistema: (a) Troço 1; (b) Troço 2.

1.6 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Com o objetivo de determinar as envolventes de pressão ao longo de todo o circuito, foram efetuadas, no Troço 1, simulações de várias manobras de fecho da comporta de controlo de caudal afluyente à Câmara de Carga e, no Troço 2, múltiplas simulações de rejeição súbita de carga, em ambos os troços variando os níveis dos reservatórios de montante e jusante.

Cada solução referida foi simulada considerando o diâmetro do adutor definido, nomeadamente DN1600 no Troço 1 e, DN1400 no Troço 2 (diâmetro definido como o diâmetro económico da conduta forçada).

Os vários cenários de simulação encontram-se esquematizados no **Quadro 1.1**.

Quadro 1.1 – Cenários de simulação e dispositivos de proteção associados.

ID	Cenário de transitórios e dispositivos de proteção associados
Troço 1	
1.1	R1 de Ervidel à cota do NPA (172,46) e Câmara de Carga à cota do NPA (154,00)
1.2	R1 de Ervidel à cota do NPA (172,46) e Câmara de Carga à cota do NmE (150,00)
1.3	R1 de Ervidel à cota do NmE (167,00) e Câmara de Carga à cota do NPA (154,00)
Troço 2	
2.1	Câmara de Carga à cota do NPA (154,00) e Restituição à cota do NPA (102,20)
2.2	Câmara de Carga à cota do NPA (154,00) e Restituição à cota do NmE (100,25)
2.3	Câmara de Carga à cota do NmE (150,00) e Restituição à cota do NPA (102,20)

1.7 RESULTADOS OBTIDOS

1.7.1 Considerações Gerais

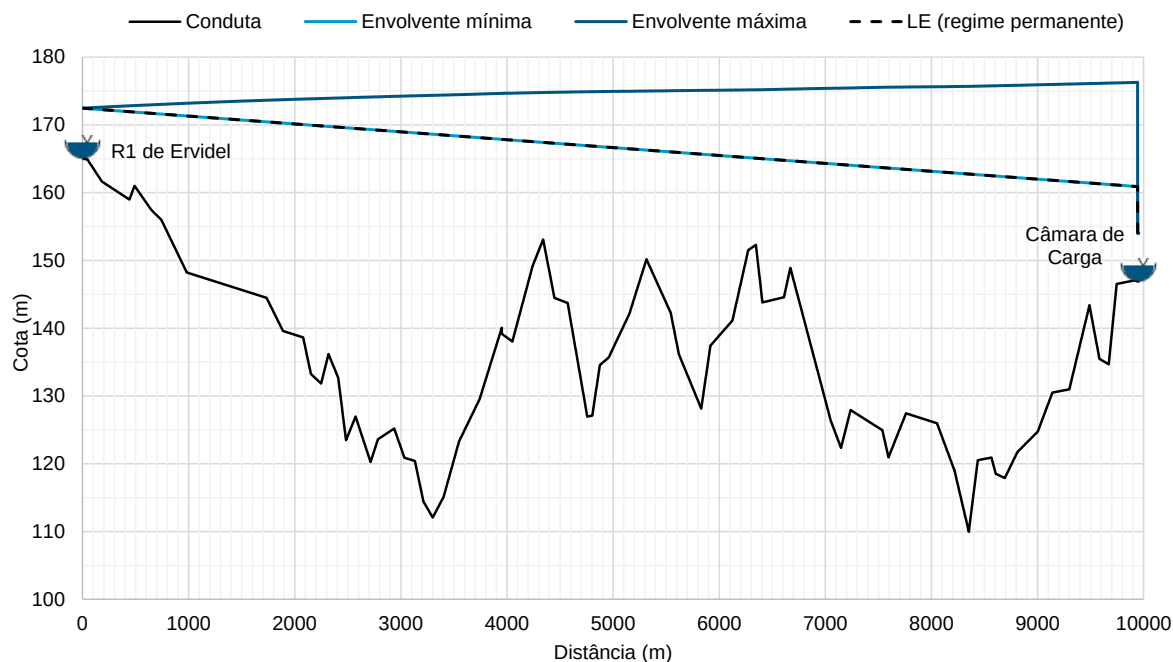
Nas secções seguintes, apresentam-se os resultados obtidos para os cenários de simulação acima descritos.

Os **critérios** adotados para a análise da necessidade de dispositivos de proteção contra picos de pressão foram os seguintes:

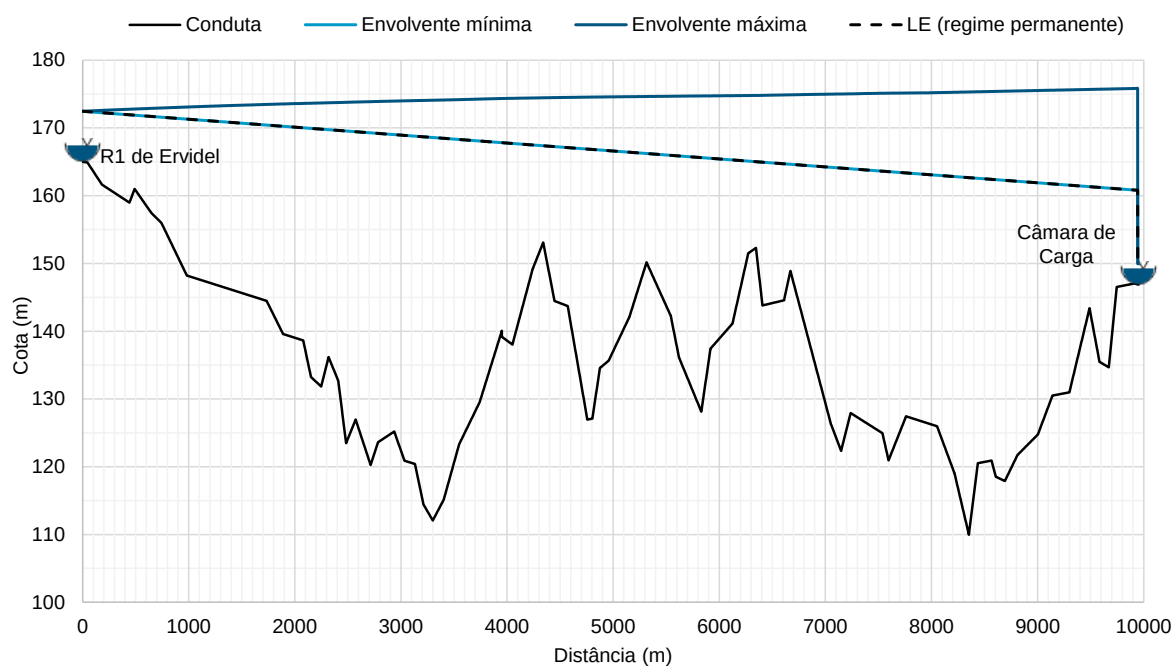
1. Pressão máxima nas condutas inferior à pressão nominal de cada troço, incluindo a conduta existente (PN6);
2. Pressão mínima nas condutas igual ou superior a 0,0 bar, isto é, $p_{\min} = 0,0$ bar;
3. O circuito de *bypass* terá de ser capaz de derivar todo o caudal afluyente à central.

1.7.2 Troço 1

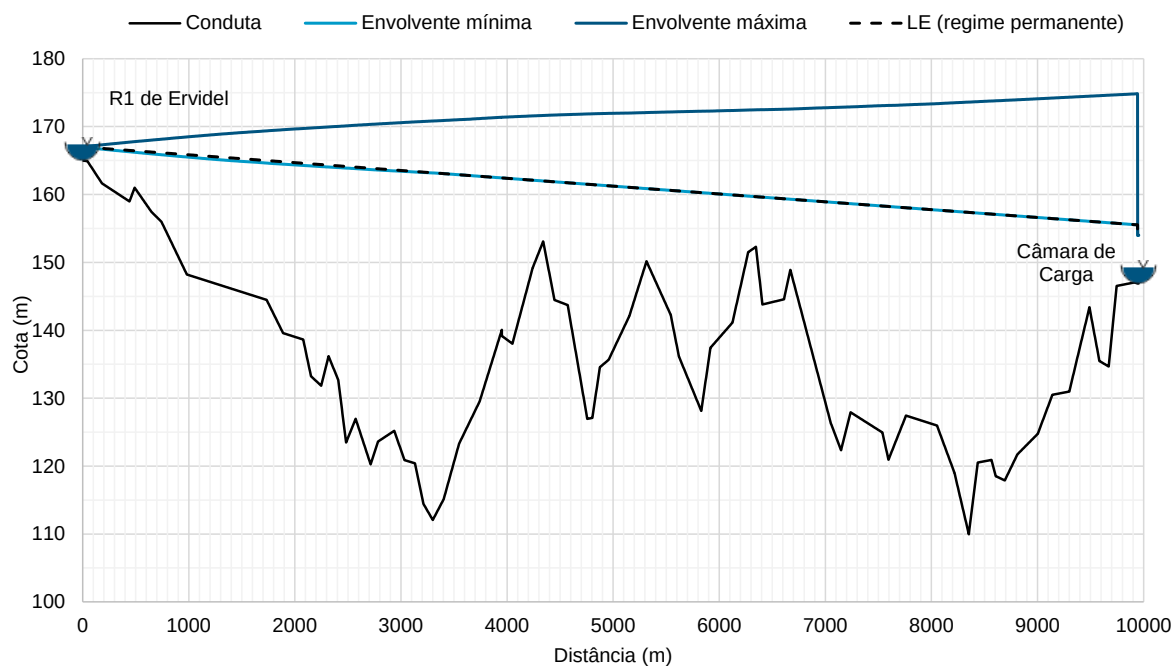
As envolventes de pressão dos **Cenários 1.1 a 1.3** estão ilustradas na **Figura 1.9**.



(a)



(b)



(c)

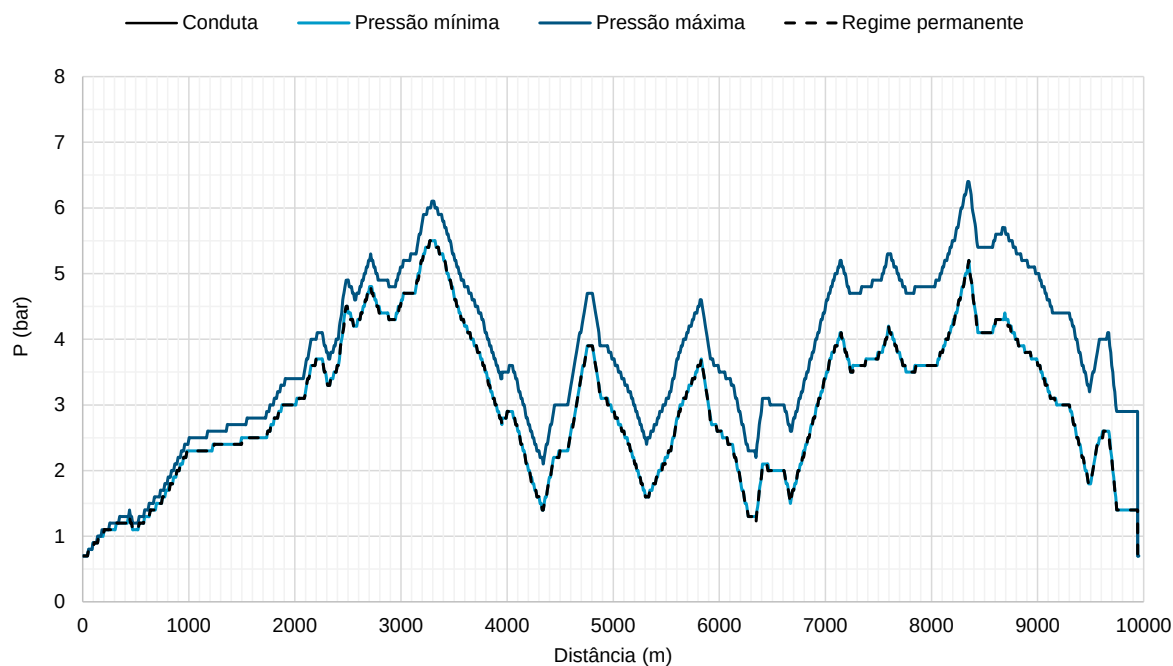
Figura 1.9 – Envolventes de pressão dos Cenários 1.1, 1.2 e 1.3.

O **Quadro 1.4** resume as envolventes de pressão máximas e mínimas dos cenários referidos anteriormente. As pressões ao longo da condução estão apresentadas na **Figura 1.11**.

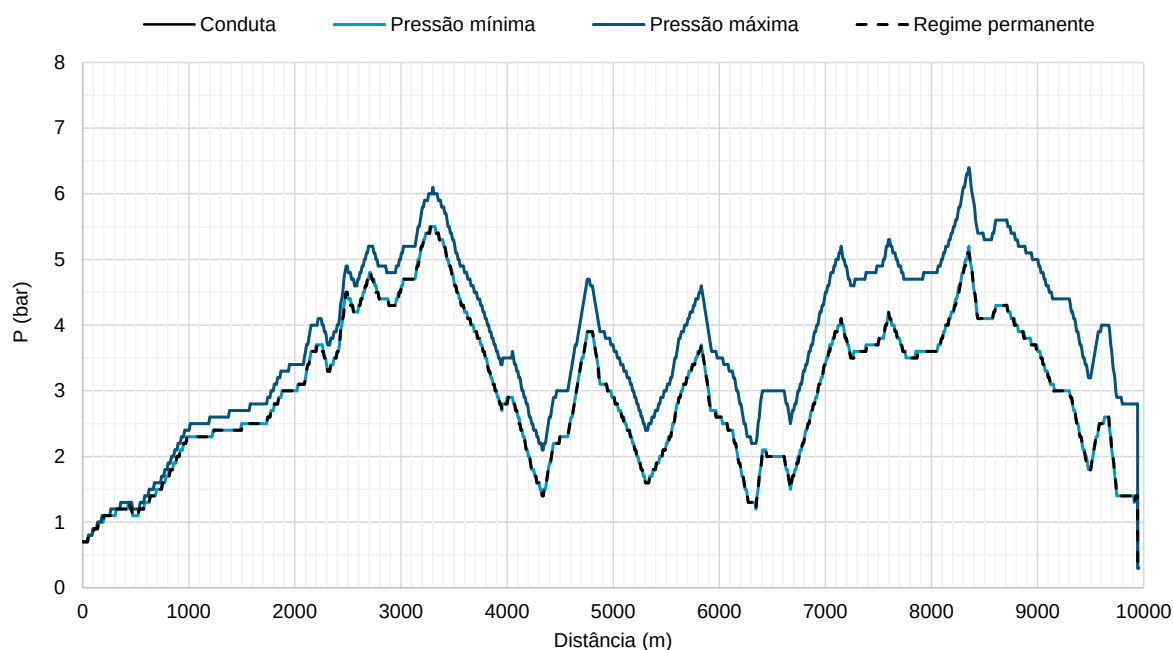
Os cenários cumprem com os critérios anteriormente definidos, pelo que o sistema se encontra protegido contra o regime de transitórios.

Quadro 1.2 – Valores máximos e mínimos das envolventes de pressão dos Cenários 2.1, 2.2 e 2.3

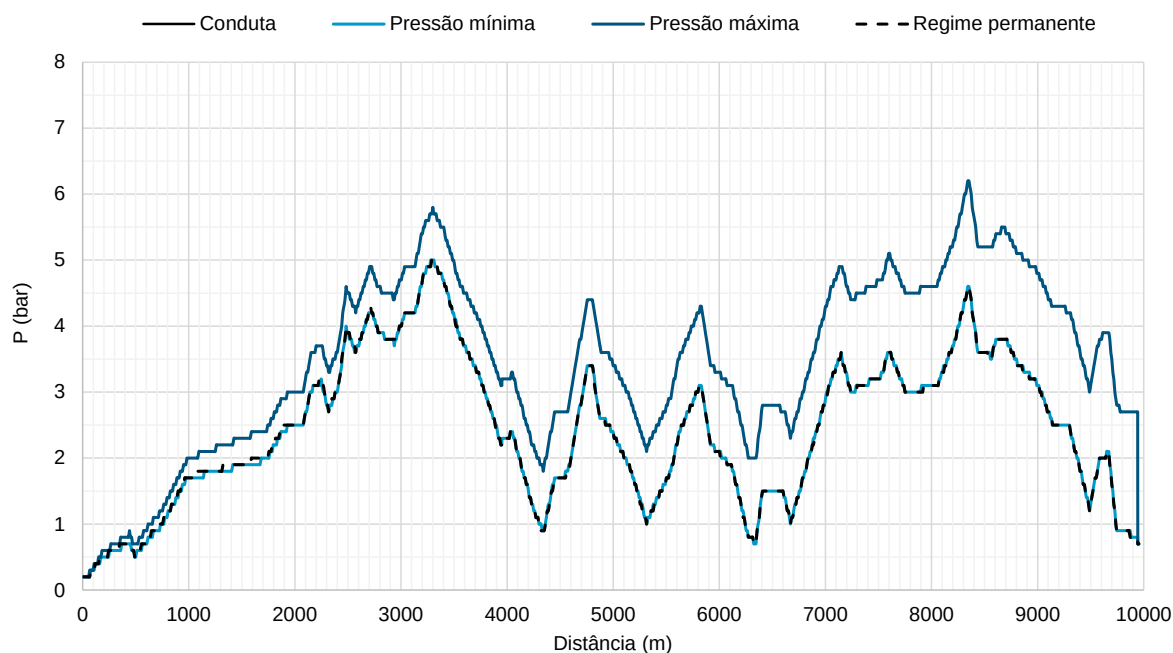
Cenário	1.1	1.2	1.3
$P_{\text{máx}}$ (bar)	6,4	6,4	6,2
$P_{\text{mín}}$ (bar)	0,7	0,3	0,2



(a)



(b)



(c)

Figura 1.10 – Pressões ao longo da conduta: (a) Cenário 1.1; (b) Cenário 1.2; (c) Cenário 1.3.

1.7.2.1 Manobra de fecho da comporta

Na secção anterior, foram apresentados os resultados do regime de transitórios para o caudal de dimensionamento. No entanto, é esperado que o caudal que afluí à Câmara de Carga seja, grande parte do tempo, inferior ao de dimensionamento.

Para tal, foram realizadas simulações adicionais para a definição do tempo de fecho total da comporta de regulação de caudal para estas situações de caudal parcial.

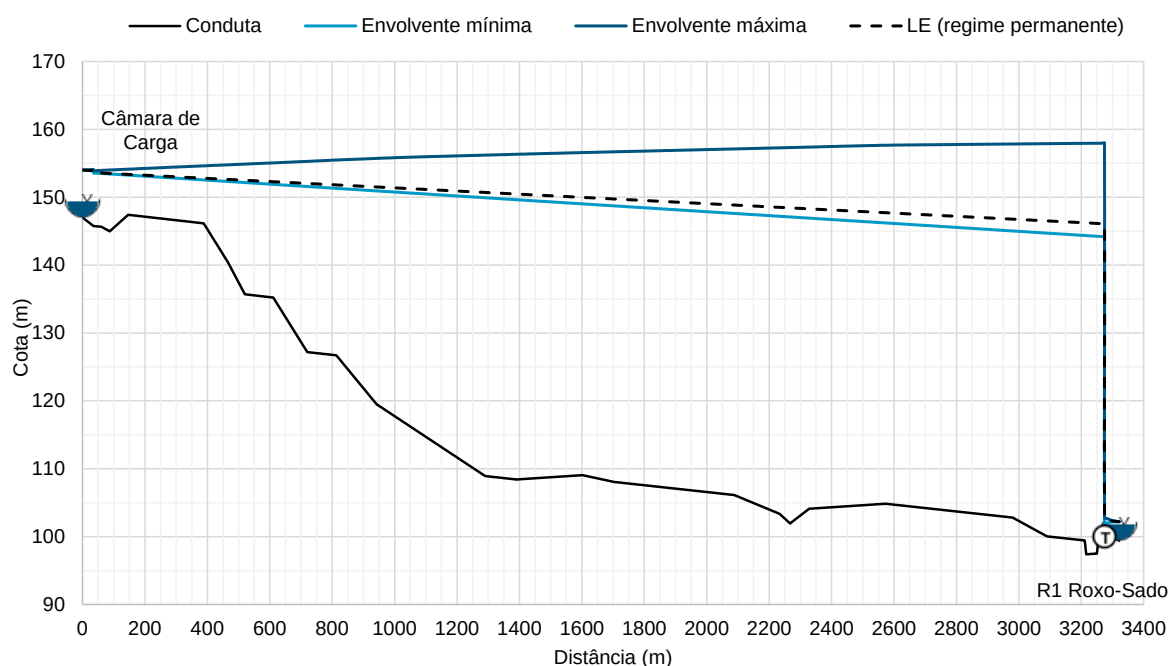
O **Quadro 1.3** resume a definição dos tempos de fecho da comporta de regulação de caudal para vários caudais afluentes.

Quadro 1.3 – Tempo de fecho da comporta de regulação de caudal.

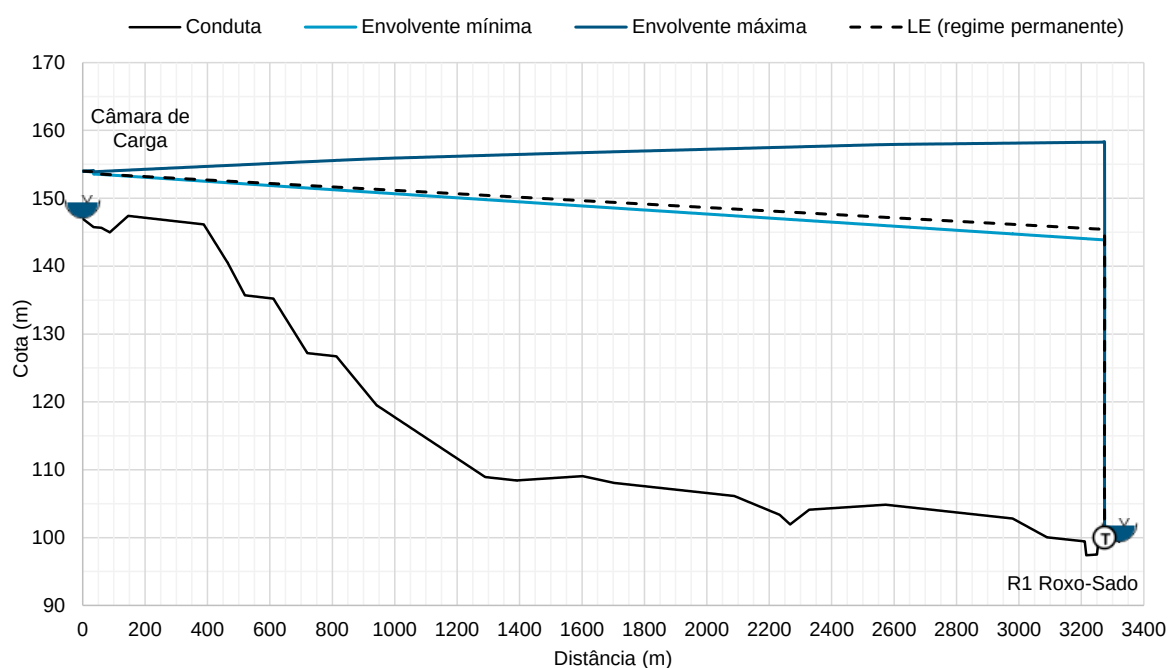
Q_{afluente} (m³/s)	1,0	2,0	3,0
Tempo de fecho da comporta (s)	360	540	720

1.7.3 Troço 2

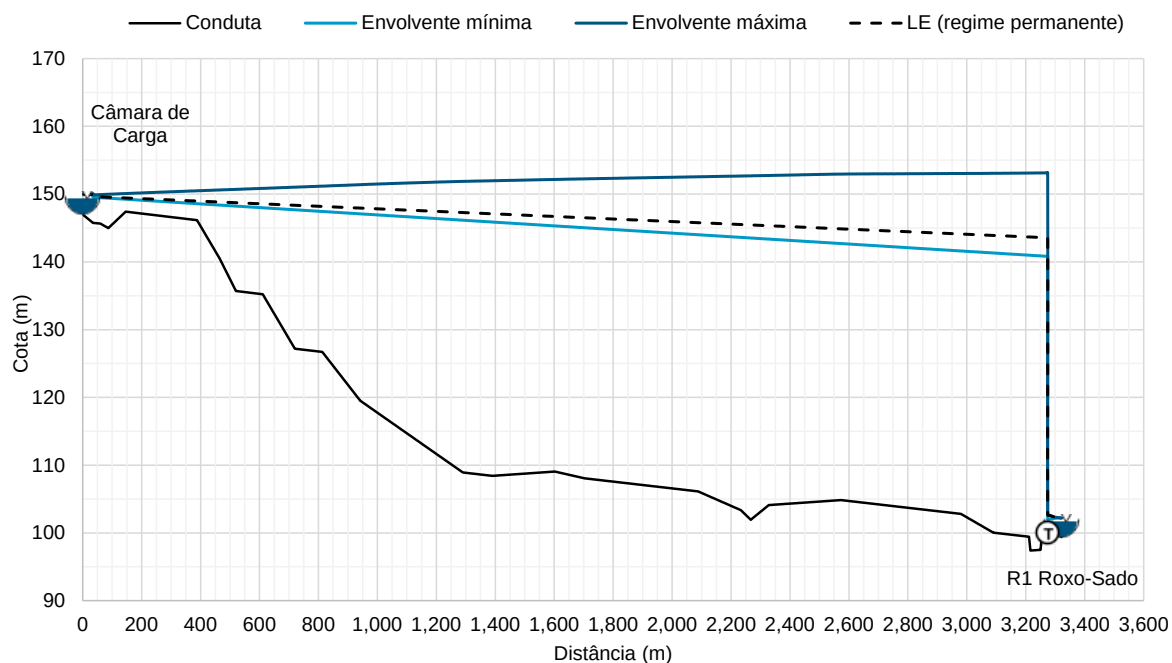
As envolventes de pressão dos **Cenários 2.1 a 2.3** estão ilustradas na **Figura 1.11**.



(a)



(b)



(c)

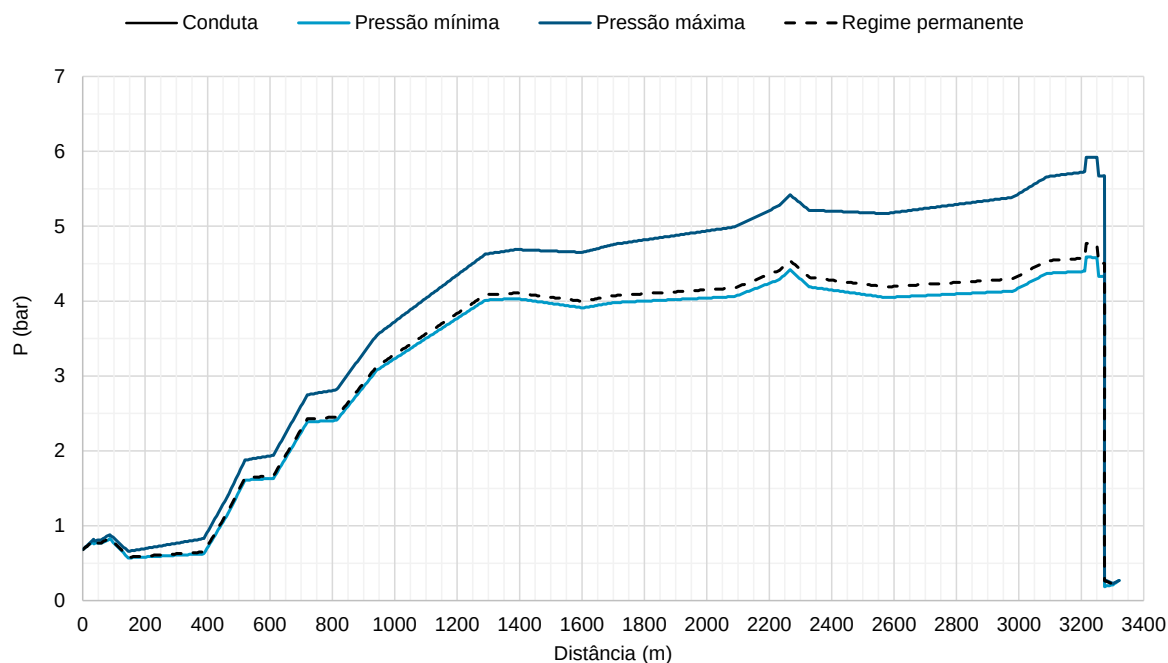
Figura 1.11 – Envolventes de pressão dos Cenários 2.1, 2.2 e 2.3.

O **Quadro 1.4** resume as envolventes de pressão máximas e mínimas dos cenários referidos anteriormente. As pressões ao longo da conduta estão apresentadas na **Figura 1.12**.

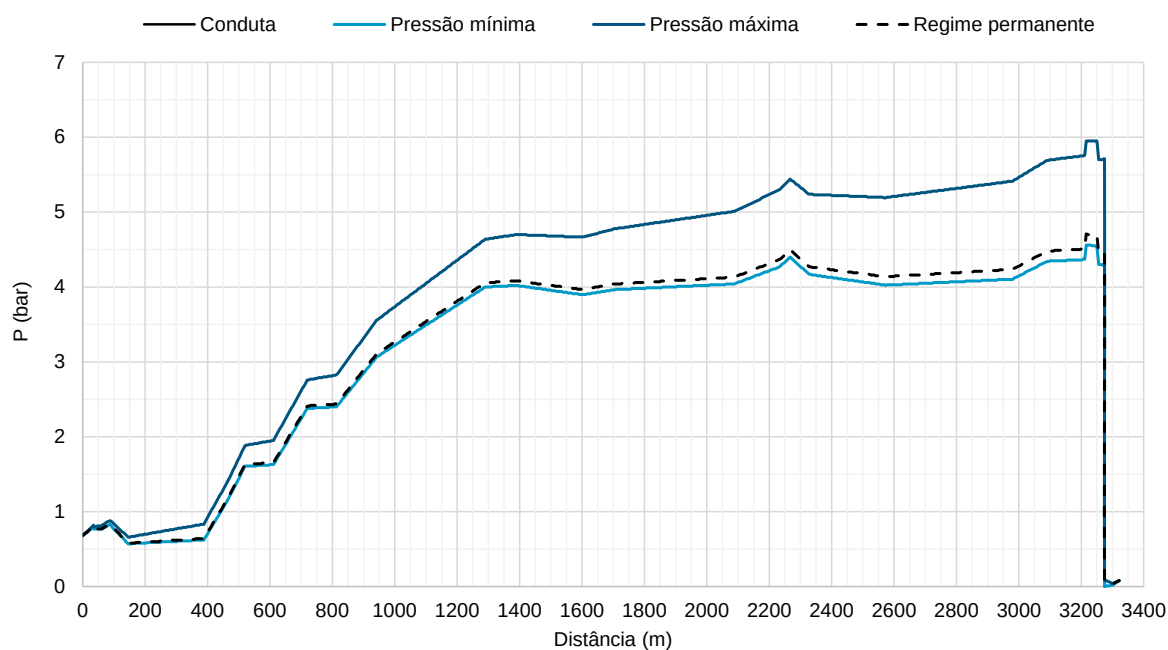
Os cenários cumprem com os critérios anteriormente definidos, pelo que o sistema se encontra protegido contra o regime de transitórios.

Quadro 1.4 – Valores máximos e mínimos das envolventes de pressão dos Cenários 2.1, 2.2 e 2.3

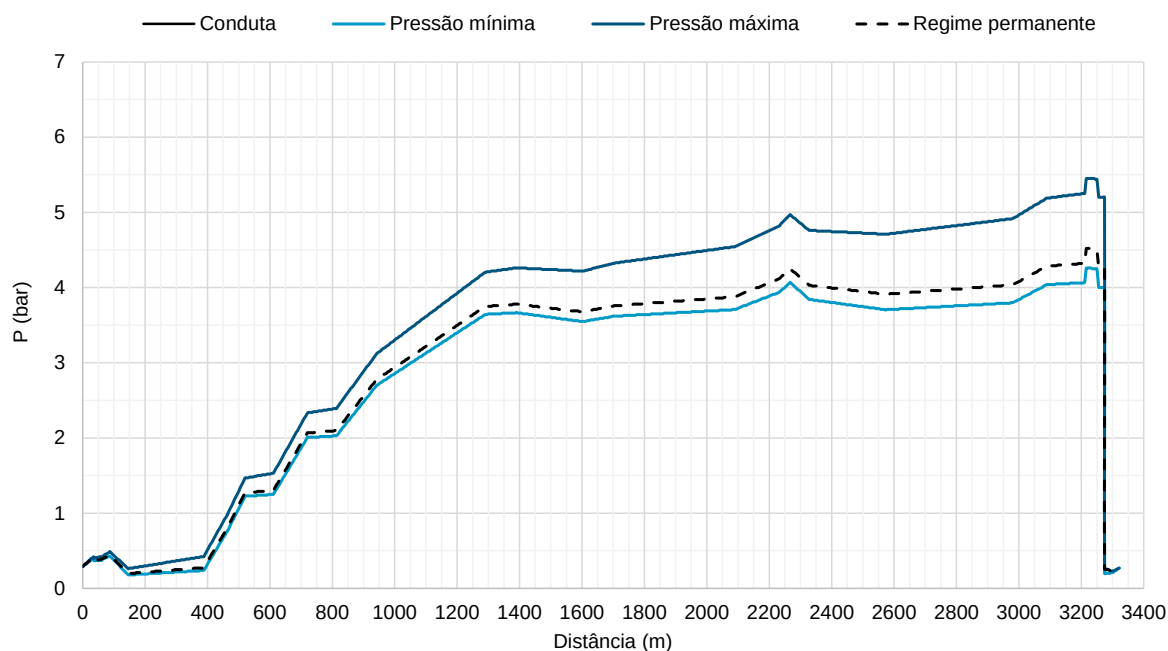
Cenário	2.1	2.2	2.3
$P_{\text{máx}}$ (bar)	5,9	6,0	5,8
$P_{\text{mín}}$ (bar)	0,2	0,0	0,2



(a)



(b)



(c)

Figura 1.12 – Pressões ao longo da conduta: (a) Cenário 2.1; (b) Cenário 2.2; (c) Cenário 2.3.

1.8 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS

Relativamente ao Troço 1, a manobra de fecho da comporta depende do caudal afluente à Câmara de Carga, de acordo com os tempos definidos no **Quadro 1.3**. A manobra da comporta efetivamente a instalar tem de ser alvo de um estudo de transitórios de modo a confirmar o seu correto funcionamento.

Relativamente ao Troço 2, os cenários simulados cumpriram os critérios anteriormente definidos, pelo que a abertura da válvula de *bypass* em 180 s permite limitar as envolventes máximas (sobrepessões) nos 6,0 bar e, simultaneamente, limitar a envolvente mínima nos 0,0 bar.

A válvula de *bypass* (BSV) terá de iniciar a sua manobra de abertura quando os distribuidores das turbinas iniciarem as manobras de fecho, para limitar as sobrepressões. Para além disso, terá de possuir a capacidade de regulação de caudal. Não se prevê a instalação de válvulas de alívio de pressão, uma vez que as envolventes máximas de pressão não atingem o PN das condutas.

Relativamente à velocidade de rotação das turbinas, para turbinas do tipo Francis, a sobrevelocidade máxima não deve exceder 1,85 a 2,25 vezes a velocidade de rotação de dimensionamento (assumida igual a 1 000 rpm, mas este valor terá de ser confirmado pelo turbineiro).

Os resultados obtidos nas simulações apresentadas no presente documento deverão ser aferidos *a posteriori*, dados os seguintes condicionantes:

- Pelo turbineiro, já com as características efetivas das turbinas a instalar;
- Pelo fornecedor da comporta de regulação de caudal, para confirmar o correto dimensionamento da mesma;
- Pelo fornecedor das válvulas, para confirmar o correto funcionamento das mesmas para os tempos de manobra considerados (especialmente da válvula de *bypass*).