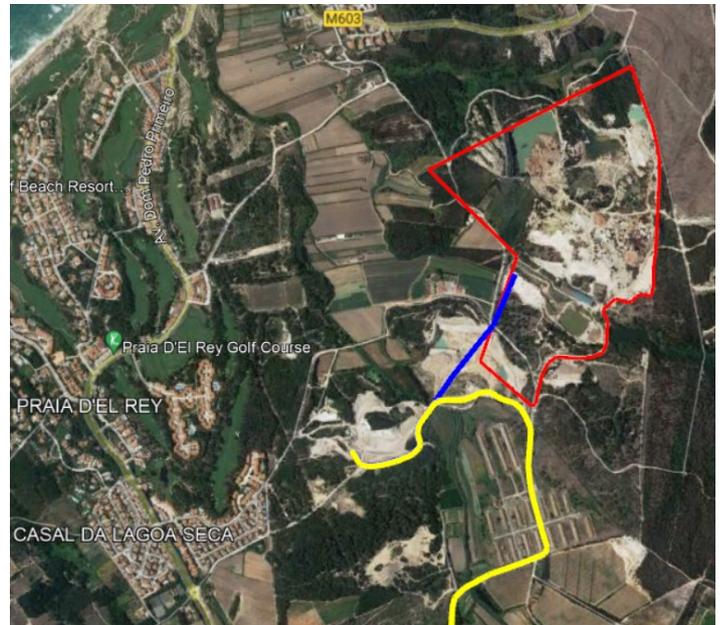


## VISA CONSULTORES, S.A.

### MINA DE CASAL DOS BRAÇAIS - ESTUDO HIDROLÓGICO E PROJETO HIDRÁULICO



#### Memória Descritiva e Justificativa

Janeiro, 2023

**MINA DE CASAL DOS BRAÇAIS - ESTUDO HIDROLÓGICO E PROJETO  
HIDRÁULICO**

**VERSÕES**

| <b>Código:</b>        | <b>02.2363. VISA.Oeste</b> |                            |              |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| <b>Versão<br/>n.º</b> | <b>Data</b>                | <b>Técnico Responsável</b> | <b>Sigla</b> |
| 0                     | 28-12-2022                 | Pedro Chichorro Rodrigues  | PCR          |
| 1                     | 03-01-2023                 | Pedro Chichorro Rodrigues  | PCR          |
|                       |                            |                            |              |
|                       |                            |                            |              |
|                       |                            |                            |              |
|                       |                            |                            |              |

## Conteúdo

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | INTRODUÇÃO.....   | 5  |
| 2   | CARATERIZAÇÃO GERAL DA IMPLANTAÇÃO DA CONSTRUÇÃO .....      | 6  |
| 3   | DADOS E ELEMENTOS DE BASE .....                             | 7  |
| 3.1 | ELEMENTOS DE BASE .....                                     | 7  |
| 3.2 | DADOS DE REFERÊNCIA.....                                    | 7  |
| 3.3 | DENSIDADE DE DRENAGEM .....                                 | 9  |
| 4   | CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....               | 10 |
| 4.1 | ENQUADRAMENTO GERAL .....                                   | 10 |
| 4.2 | ENQUADRAMENTO DA CONFIGURAÇÃO FINAL DAS BACIAS.....         | 12 |
| 5   | HIDROLOGIA.....   | 12 |
| 5.1 | MÉTODO DE CÁLCULO .....                                     | 12 |
| 5.2 | MÉTODO RACIONAL.....  | 13 |
| 5.3 | COEFICIENTE DE ESCOAMENTO - C.....                          | 13 |
| 5.4 | PERÍODO DE RETORNO - T .....                                | 15 |
| 5.5 | TEMPO DE CONCENTRAÇÃO - t.....                              | 15 |
| 5.6 | INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO - I .....                       | 16 |
| 5.7 | CÁLCULO DOS CAUDAIS DE PONTA PELO MÉTODO RACIONAL .....     | 18 |
| 6   | REDE DE DRENAGEM .....                                      | 19 |
| 6.1 | REDE DE DRENAGEM EXISTENTE.....                             | 19 |
| 6.2 | CAUDAIS DE DIMENSIONAMENTO.....                             | 21 |
| 7   | VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DAS PASSAGENS HIDRÁULICAS .. | 21 |
| 7.1 | Determinação da altura uniforme em secções circulares ..... | 21 |
| 7.2 | Processo de cálculo.....                                    | 22 |
| 8   | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                  | 23 |
| 9   | BIBLIOGRAFIA.....   | 25 |

## Índice de figuras

|          |  |   |
|----------|--|---|
| Figura 1 | – Implantação geral da mina.....                         | 6 |
| Figura 2 | – Implantação geral mina (cartas militares 1:25000)..... | 6 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 3 – Zona das bacias a estudar (cartas militares 1:25000) .....   | 8  |
| Figura 4 – Zona das bacias a estudar (cartas militares 1:25000) .....   | 9  |
| Figura 5 – Carta com as linhas de água e curvas de nível das bacias .....   | 10 |
| Figura 6 – Gráfico de distribuição dos valores das precipitações máximas obtidas através das curvas I-D-F de Brandão e Rodrigues, 1998 e Brandão et al., 2001 ..... | 17 |
| Figura 7 – Localização das passagens hidráulicas nos caminhos agrícolas e municipais e restituição da bacia 4F .....  | 19 |
| Figura 8 – Sequência de evolução do nível da água na lagoa entre 2012 a 2022 (Fonte: Google Earth) .....  | 20 |

## Índice de tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Valores do coeficiente de escoamento para áreas urbanas (Chow (1964))  | 14 |
| Tabela 2 - Valores do coeficiente de escoamento para áreas agrícolas (Chow (1964)) .....  | 14 |
| Tabela 3 - Valores dos coeficientes a e b da intensidade de precipitação propostos por Brandão e Rodrigues, 1998 e Brandão et al., 2001 ..... | 17 |

## Índice de quadros

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Precipitações anuais das estações meteorológicas (fonte: SNIRH) .....  | 11 |
| Quadro 2 - Características geomorfológicas das bacias .....   | 11 |
| Quadro 3 - Características geomorfológicas das bacias com a configuração final .....  | 12 |
| Quadro 4 - Coeficientes de escoamento das bacias originais .....  | 15 |
| Quadro 5 - Coeficientes de escoamento das bacias com a configuração final .....   | 15 |
| Quadro 6 - Coeficiente de escoamento da bacia A .....   | 15 |
| *Quadro 7 – Tempos de concentração para diversas fórmulas de cálculo .....  | 16 |
| Quadro 8 - Valores das precipitações máximas obtidas através das curvas I-D-F de Brandão e Rodrigues, 1998 e Brandão et al., 2001 ..... | 17 |
| Quadro 9 - Caudais de ponta obtidos com através da metodologia de Brandão (1995) .....  | 18 |
| Quadro 10 - Caudais de ponta para a configura final obtidos com através da metodologia de Brandão (1995) .....                          | 18 |
| Quadro 11 - Caudais de ponta para dimensionamento das estruturas .....  | 21 |
| Quadro 12 - Resultados do dimensionamento do escoamento no canal de drenagem  | 23 |

**ANEXO I – FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS**  
**ANEXO II – PEÇAS DESENHADAS**

## 1 INTRODUÇÃO

Este relatório tem como objetivo apresentar o estudo hidrológico realizado à bacia hidrográfica atravessa a implantação da Mina de Casal dos Braçais, referente à Concessão Mineira C 19 de Caulino - Casal dos Braçais, na freguesia da Amoreira, concelho de Óbidos, no distrito de Leiria, em Portugal. Este estudo foi realizado por solicitação da Visa consultores, S.A. e está associado ao processo de aprovação do Plano de Lavra, para o cliente **Motamineral, S.A.**

Neste estudo pretende-se dar resposta às questões colocadas pela Agência Portuguesa do Ambiente, no que se refere a:

1.1.3. Apresentar a localização de eventuais passagens hidráulicas e o respetivo dimensionamento devidamente justificado.

1.1.4. Indicar como é feito o encaminhamento das águas acumuladas no fundo da corta e avaliar os potenciais impactes do mesmo.

1.1.5. Apresentar projeto de drenagem de águas pluviais e indicar o(s) ponto(s) de descarga na rede hidrográfica natural.

1.1.6. Avaliar os impactes nas condições de escoamento, com eventual aumento do caudal, como consequência das intervenções na área do projeto, nomeadamente da descarga das águas pluviais, resultantes da drenagem perimetral da área da mina.

1.1.7. Avaliar os impactes e eventual criação de zonas suscetíveis de inundação, motivada pelo assoreamento do leito, como resultado do incremento dos sólidos suspensos, resultantes da eventual descarga das águas pluviais drenadas do perímetro da mina e da deposição atmosférica das poeiras geradas pela exploração.

Este estudo teve três fases de elaboração distintas:

- Fase de recolha de dados – Com a recolha e análise de elementos de seleção da cartografia de referência, recolha de dados hidrológicos de referência e modelação hidrológica do regime de cheias.
- Fase de tratamento de dados – Modelação hidrológica para o cenário de ocorrência para um período de retorno de T=100 anos.
- Fase de elaboração do relatório final e cartografia, análise dos resultados e elaboração das memórias e peças desenhadas.

Nesse relatório é apresentada a metodologia proposta para a simulação hidrológica do fenómeno das cheias que ocorrem nas bacias.

É de referir que foram analisadas, para o cenário de precipitação para o período de retorno de 100 anos.

## 2 CARATERIZAÇÃO GERAL DA IMPLANTAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

A Mina de Casal dos Braçais tem a sua implantação geral indicada na figura abaixo.



Figura 1 – Implantação geral da mina

A implantação em planta da carta militar à escala 1:25000 é apresentada na figura seguinte:

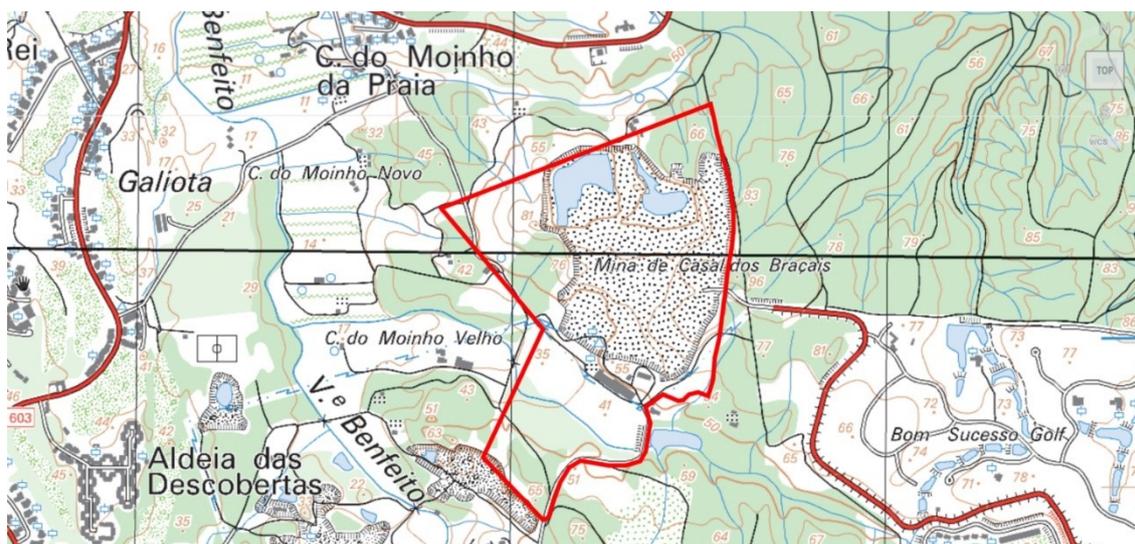


Figura 2 – Implantação geral mina (cartas militares 1:25000)

## 3 DADOS E ELEMENTOS DE BASE

### 3.1 ELEMENTOS DE BASE

Para efeitos de realização deste trabalho são necessários vários elementos de base, tendo sido disponibilizada uma peça desenhada referente ao levantamento topográfico local e plantas de implantação da mina, incluindo a situação atual e o plano final de remodelação.

A partir destes e de outros documentos de referência, foi possível criar dados físicos que serviram de base aos estudos a desenvolver. Os documentos consultados, para além dos cedidos, foram:

- Cartas Militares n.ºs 325B, 337 e 338, Instituto Geográfico do Exército, Escala 1:25000; Sistema de projeção de Gauss - Elipsóide Internacional - Datum de Lisboa e coordenadas militares usadas pelo IGeoE;
- Levantamentos topográficos
- Legislação diversa;
- Documentação de referência de estudos de hidrologia.

### 3.2 DADOS DE REFERÊNCIA

Os dados de referência são essenciais na determinação de caudais de cheia. Assim, torna-se importante que a sua criação seja feita com rigor a fim de produzir resultados mais corretos.

Da implantação das bacias hidrográficas a estudar e do levantamento topográfico foi possível identificar alterações realizadas ao longo dos anos à ocupação do solo.

Consideraram-se neste estudo as bacias hidrográficas naturais, implantadas na cartografia militar 1:25000 e as contribuições das bacias hidrográficas formadas tendo em consideração as alterações da configuração final.

Verifica-se que a área concessionada intercepta quatro bacias distintas. Estas bacias foram numeradas de 1 a 4, tal como representado na figura seguinte. A bacia designada Bacia A, está fora do perímetro da concessão, no entanto esta ribeira recebe as águas pluviais provenientes das bacias 3 e 4, razão pela qual foi incluída na representação e no estudo.

A bacia A correspondente a uma área de ocupação mista, com uma parte em campo de golfe, uma zona urbanizada com vivendas de baixa densidade, correspondendo às Quintas de Óbidos e uma zona de terreno natural com ocupação do solo tipo floresta.

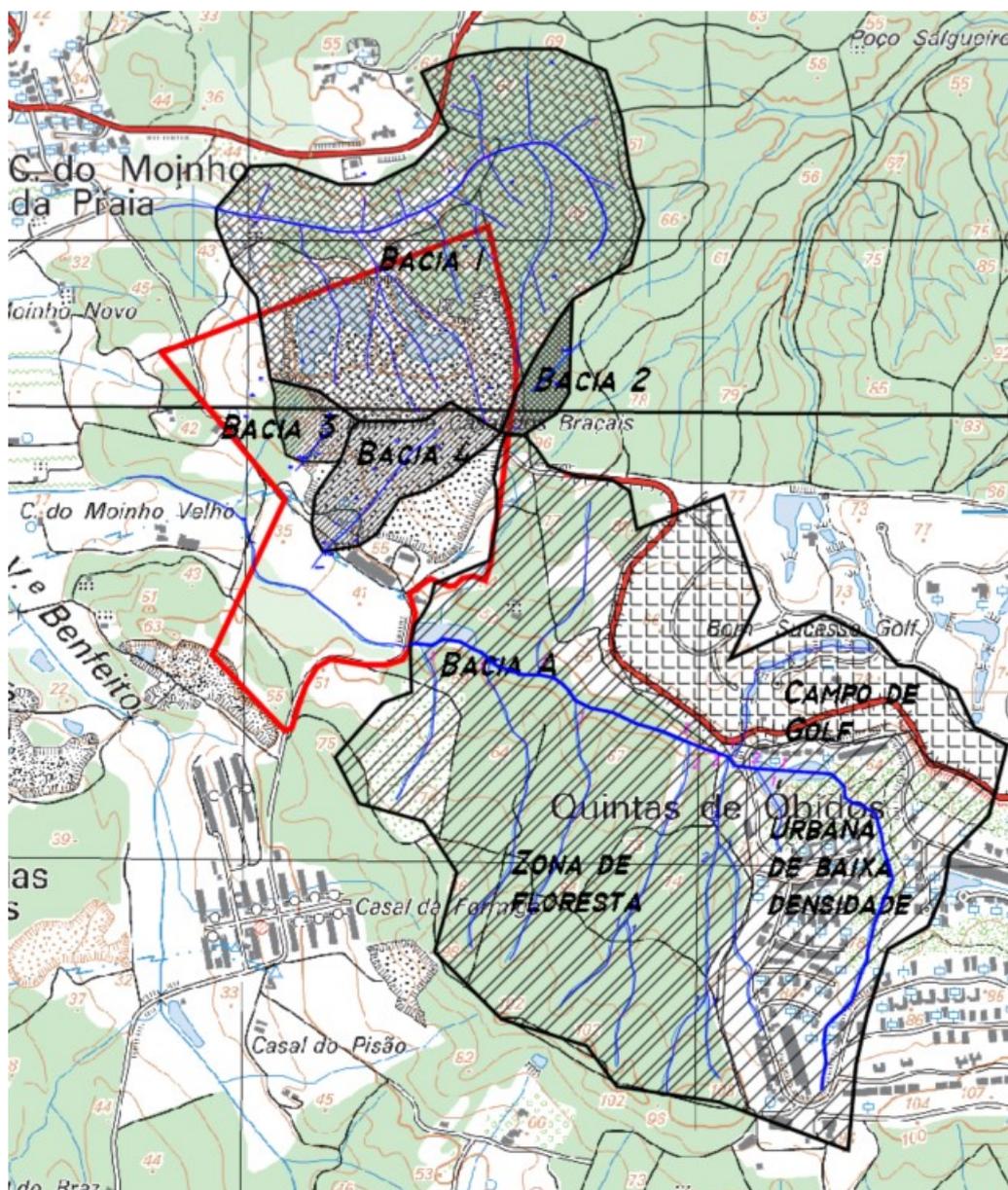


Figura 3 – Zona das bacias a estudar (cartas militares 1:25000)

A delimitação final da bacia 4, devido à configuração existente e final proposta será alterada, aumentando a área de contribuição para o escoamento. A delimitação final desta bacia 4 será a seguinte:

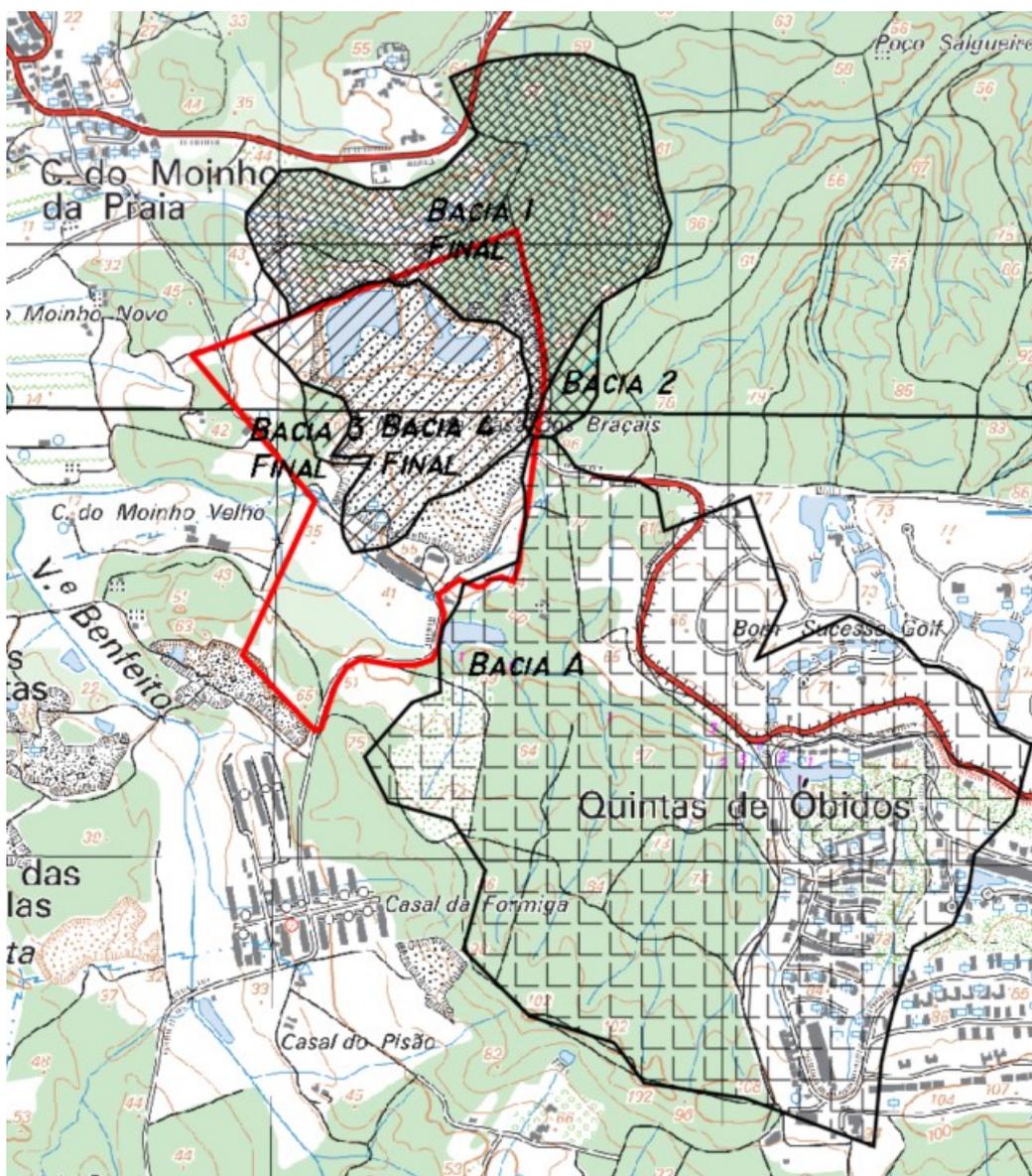


Figura 4 – Zona das bacias a estudar (cartas militares 1:25000)

### 3.3 DENSIDADE DE DRENAGEM

A Carta com a Densidade de Drenagem foi construída com base nos elementos referidos anteriormente, com a delimitação das linhas de água e curvas de nível desenhados sobre as cartas militares de referência.



| Data             | BARRAGEM DE ÓBIDOS (DGADR) (17C/08C) | ÓBIDOS (17C/07C) |
|------------------|--------------------------------------|------------------|
| 01/10/1981 09:00 | -                                    | 701.9            |
| 01/10/1982 09:00 | -                                    | 553.4            |
| 01/10/1983 09:00 | -                                    | 732.3            |
| 01/10/1984 09:00 | -                                    | 841.8            |
| 01/10/1985 09:00 | -                                    | 761.3            |
| 01/10/1986 09:00 | -                                    | 739.7            |
| 01/10/1987 09:00 | -                                    | 1133.8           |
| 01/10/1988 09:00 | -                                    | 614.4            |
| 01/10/1989 09:00 | -                                    | 1116.1           |
| 01/10/1990 09:00 | -                                    | 837.4            |
| 01/10/1991 09:00 | -                                    | 501.9            |
| 01/10/1992 09:00 | -                                    | 613.0            |
| 01/10/1993 09:00 | -                                    | 875.5            |
| 01/10/1994 09:00 | -                                    | 489.4            |
| 01/10/1995 09:00 | -                                    | 1108.3           |
| 01/10/1996 09:00 | -                                    | 704.3            |
| 01/10/2002 09:00 | -                                    | 661.1            |
| 01/10/2003 09:00 | -                                    | 478.5            |
| 01/10/2005 09:00 | -                                    | 584.4            |
| 01/10/2006 09:00 | -                                    | 777.0            |
| 01/10/2007 09:00 | 306.1                                | -                |
| 01/10/2015 09:00 | -                                    | 613.0            |
| 01/10/2018 09:00 | -                                    | 298.0            |

Quadro 1 - Precipitações anuais das estações meteorológicas (fonte: SNIRH)

Com o traçado dos perímetros da bacias hidrográficas e identificação das linhas de água, foi possível determinar as suas características morfológicas, sendo que no quadro seguinte apresentam-se as características gerais das bacias:

| Característica morfológica                          | Bacia 1  | Bacia 2  | Bacia 3 | Bacia 4 | Bacia A  |
|---|----------|----------|---------|---------|----------|
| Área total da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> ) | 0,50     | 0,07     | 0,02    | 0,02    | 1,31     |
| Perímetro da bacia hidrográfica (m)                 | 3 120,96 | 1 193,39 | 735,84  | 613,77  | 5 277,92 |
| Comprimento da linha de água principal (m)          | 1 111,01 | 374,33   | 124,82  | 91,10   | 1 806,36 |
| Cota máxima da bacia                                | 80,00    | 90,00    | 90,00   | 70,00   | 100,00   |
| Cota mínima da bacia                                | 25,20    | 27,68    | 72,95   | 44,64   | 42,00    |
| Altura média da bacia (m)                           | 26,04    | 25,87    | 0,24    | 6,55    | 19,21    |
| Cota máxima do curso de água                        | 70,00    | 70,00    | 70,00   | 70,00   | 70,00    |
| Cota mínima do curso de água                        | 25,20    | 27,68    | 72,95   | 44,64   | 42,00    |
| Declive médio do curso de água principal (%)        | 0,049    | 0,166    | 0,137   | 0,278   | 0,032    |
| Número de ordem - Método de Horton-Strahler         | 3,00     | 1,00     | 1,00    | 1,00    | 3,00     |
| Índice de compacidade de Gravelius                  | 3,95     | 4,11     | 4,47    | 3,59    | 4,11     |
| Fator de forma                                      | 0,40     | 0,48     | 1,39    | 2,80    | 0,40     |
| Retângulo Equivalente                               | 3,05     | 1,17     | 0,73    | 0,59    | 5,18     |
| Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )         | 2,24     | 5,58     | 5,78    | 3,93    | 5,72     |

Quadro 2 - Características geomorfológicas das bacias

Os dados completos encontram-se no ANEXO I – FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.

Com base nas características acima descritas, determinou-se o tempo de concentração de cada bacia, definido como o tempo de percurso da partícula de água precipitada, desde o ponto hidráulicamente mais afastado da bacia hidrográfica até à secção de controlo considerada. Este tempo depende do comprimento do percurso que a partícula de água necessita percorrer e da velocidade do escoamento.

## 4.2 ENQUADRAMENTO DA CONFIGURAÇÃO FINAL DAS BACIAS

Como se referiu, a configuração final das bacias 1, 3 e 4 devido à alteração da zona concessionada é a seguinte:

| <b>Característica morfológica</b>                   | <b>Bacia 1<br/>Final</b> | <b>Bacia 3<br/>Final</b> | <b>Bacia 4<br/>Final</b> |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Área total da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> ) | 0,373                    | 0,013                    | 0,206                    |
| Perímetro da bacia hidrográfica (m)                 | 3 224,19                 | 646,90                   | 2 155,26                 |

*Quadro 3 - Características geomorfológicas das bacias com a configuração final*

## 5 HIDROLOGIA

O objetivo do estudo hidrológico é obter os caudais de ponta de cheia, correspondentes a cada bacia hidrográfica traçada a partir do ponto onde se encontra implantada a secção de referência, tendo por base a carta militar à escala 1:25000.

A metodologia usada no estudo hidrológico, determinação do caudal de ponta de cheia e área inundável e a sequência de cálculo foi a seguinte:

1. Delimitação da bacia hidrográfica na carta militar à escala 1:25.000;
2. Implantação da secção de referência na planta à escala 1:25.000;
3. Determinação das características físicas e morfológicas da bacia hidrográfica.
4. Determinação dos caudais de cálculo associados aos períodos de retorno de 100 anos;
5. Determinação do caudal de ponta de cheia utilizando a metodologia proposta por Brandão (1995).

### 5.1 MÉTODO DE CÁLCULO

Os caudais de ponta de cheia foram determinados pelo método do diagrama unitário, sendo utilizadas as metodologias auxiliares o coeficiente de escoamento, C; para estabelecimento das condições do solo, as fórmulas de Giandotti, Kirpich e Temez para determinação do tempo de concentração, o método apresentado por Brandão e Rodrigues, 1998 e Brandão et al., 2001, para determinação da intensidade de precipitação e o método racional para determinar os caudais de ponta de cheia para diversos períodos de retorno.

## 5.2 MÉTODO RACIONAL

Os caudais de ponta de cheia foram determinados pelo Método Racional, que representa não só a percentagem de escoamento da bacia, mas também o efeito de armazenamento e atraso do escoamento dentro da própria bacia, foram calculados de acordo com a fórmula seguinte:

$$Q = CIA / 3,6$$

em que:

Q - caudal de cheia [m<sup>3</sup>/s]

C - coeficiente de escoamento

I - intensidade de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração da bacia considerada [mm/hr]

A - área da bacia hidrográfica considerada [km<sup>2</sup>]

## 5.3 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO - C

Por definição coeficiente de escoamento é a razão entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado (Tucci, RBRH,2000).

A determinação do coeficiente de escoamento “C” necessita do conhecimento prévio de da ocupação do solo, inclinações e características do solo e do local.

O coeficiente de escoamento depende também do solo, pois a infiltração decresce enquanto que a chuva contínua, dependendo das condições do solo. Influenciam também o grau de compactação do solo, porosidade do subsolo, vegetação, declividade e depressões onde a água pode armazenar.

Resumidamente influenciam no coeficiente de escoamento, C, as seguintes variáveis:

- Percentagem da área impermeável
- Uso e características do solo
- Duração da precipitação
- Intensidade da precipitação
- Forma da área de drenagem
- Capacidade de campo da camada de solo
- Declividade da bacia
- Armazenamento de água na superfície do solo
- Interceptação

Como referência para a escolha do coeficiente de escoamento, C, tiveram-se em consideração os seguintes parâmetros de ocupação do solo adaptados de Chow (1964) e que se apresentam nas tabelas seguintes:

| Ocupação do solo           | C      |        |
|----------------------------|--------|--------|
|                            | Mínimo | Máximo |
| Zonas verdes               |        |        |
| relvados em solos arenosos | 0,05   | 0,20   |

| Ocupação do solo             | C           |             |
|------------------------------|-------------|-------------|
|                              | Mínimo      | Máximo      |
| relvados em solos pesados    | 0,15        | 0,35        |
| parques e cemitérios         | 0,10        | 0,25        |
| <b>campos desportivos</b>    | <b>0,20</b> | <b>0,35</b> |
| Zonas comerciais             |             |             |
| centro da cidade             | 0,70        | 0,95        |
| periferia                    | 0,50        | 0,70        |
| Zonas residenciais           |             |             |
| vivendas no centro da cidade | 0,30        | 0,50        |
| <b>vivendas na periferia</b> | <b>0,25</b> | <b>0,40</b> |
| prédios de apartamentos      | 0,50        | 0,70        |
| Zonas industriais            |             |             |
| industria dispersa           | 0,50        | 0,80        |
| industria concentrada        | 0,60        | 0,90        |
| Zonas férreas                | 0,50        | 0,40        |
| Ruas e estradas              |             |             |
| asfaltadas                   | 0,70        | 0,90        |
| de betão                     | 0,80        | 0,95        |
| de pedra/tijolo              | 0,70        | 0,85        |
| Passeios                     | 0,75        | 0,85        |
| Telhados                     | 0,75        | 0,95        |
| Baldios                      | 0,10        | 0,30        |

Tabela 1 - Valores do coeficiente de escoamento para áreas urbanas (Chow (1964))

| Tipos de solo  | C                  |           |                     |
|--|--------------------|-----------|---------------------|
|  | Cobertura da bacia |           |                     |
|  | Culturas           | Pastagens | Bosques e florestas |
| com capacidade de infiltração superior à média, usualmente arenosos  | <b>0,20</b>        | 0,15      | <b>0,10</b>         |
| com capacidade de infiltração média, sem camadas de argila, solos francos.   | 0,40               | 0,35      | 0,30                |
| com capacidade de infiltração inferior à média, solos argilosos pesados ou com uma camada argilosa junto à superfície, solos delgados sobre rocha impermeável. | 0,50               | 0,45      | 0,40                |

Tabela 2 - Valores do coeficiente de escoamento para áreas agrícolas (Chow (1964))

Para o cálculo do caudal de ponta pelo método racional considerou-se um coeficiente de escoamento, C, diferenciado para cada bacia em estudo. Deste modo, considerou-se um coeficiente de escoamento para a bacia A como a média ponderada dos três tipos diferentes de ocupação de solo, enquanto para a bacia 4, a que irá contribuir para o

escoamento da ribeira em causa, solos “com capacidade de infiltração superior à média, usualmente arenosos”.

O quadro completo dos coeficientes de escoamento considerados para cada bacia encontra-se de seguida.

| <b>Característica morfológica</b>                   | <b>Bacia 1</b> | <b>Bacia 2</b> | <b>Bacia 3</b> | <b>Bacia 4</b> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Área total da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> ) | 0,496          | 0,067          | 0,022          | 0,023          |
| C   | 0,10           | 0,10           | 0,10           | 0,20           |

Quadro 4 - Coeficientes de escoamento das bacias originais

| <b>Característica morfológica</b>                   | <b>Bacia 1 Final</b> | <b>Bacia 3 Final</b> | <b>Bacia 4 Final</b> |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| Área total da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> ) | 0,373                | 0,013                | 0,206                |
| C   | 0,10                 | 0,10                 | 0,20                 |

Quadro 5 - Coeficientes de escoamento das bacias com a configuração final

Por outro lado, a bacia A terá o seguinte coeficiente de escoamento ponderado:

| <b>Característica morfológica</b>                   | <b>Bacia A Final</b> | <b>Zona de floresta</b> | <b>Campo de Golf</b> | <b>Urbana baixa densidade</b> |
|---|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Área total da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> ) | 1,309                | 0,749                   | 0,235                | 0,325                         |
| C   | 0,22                 | 0,10                    | 0,35                 | 0,40                          |

Quadro 6 - Coeficiente de escoamento da bacia A

## 5.4 PERÍODO DE RETORNO - T

O período de retorno adotado e associado à intensidade de precipitação foi de 100 anos.

Para o período de retorno foi determinado o respetivo caudal de ponta de cheia através da utilização do método racional referido anteriormente.

## 5.5 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO - t

Para a determinação do tempo de concentração, t, da bacia hidrográfica foram consideradas as fórmulas de Giandotti, Kirpich e Temez, descritas abaixo:

Giandotti

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,80\sqrt{H}}$$

Temez

$$t_c = 1,115 \frac{L^{0,95}}{i^{0,19}}$$

Kirpich

$$t_c = 0,0663L^{0,77}D_m^{-0,385}$$

Com

t<sub>c</sub> tempo de concentração (h);

- A área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>);
- L comprimento do curso de água principal da bacia (km)
- h altura média da bacia (m)
- i declive médio do curso de água principal da bacia (m/m);
- D<sub>m</sub> diferença de cotas entre as extremidades da linha de água principal (km).

Os valores obtidos para o tempo de concentração foram os seguintes:

| Bacia   | T <sub>Giandotti</sub><br>(min) | T <sub>Kirpich</sub><br>(min) | T <sub>Temez</sub><br>(min) | T <sub>CDim</sub><br>(min) |
|---------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Bacia 1 | 45                              | 14                            | 34                          | 31,10                      |
| Bacia 2 | 15                              | 4                             | 12                          | 10,34                      |
| Bacia 3 | 14                              | 2                             | 5                           | 7,14                       |
| Bacia 4 | 11                              | 1                             | 4                           | 5,33                       |
| Bacia A | 123                             | 81                            | 146                         | 116,80                     |

*\*Quadro 7 – Tempos de concentração para diversas fórmulas de cálculo*

## 5.6 INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO - I

Para realizar o cálculo dos caudais, começou-se por utilizar as curvas I-D-F (Intensidade – Duração – Frequência) para determinar a intensidade de precipitação para os diversos períodos de retorno.

A intensidade de precipitação para um determinado período de retorno, com duração igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica foi determinada com base nas curvas de Intensidade – Duração – Frequência (IDF).

O cálculo da intensidade de precipitação [I], para uma dada duração [t] e período de retorno [T] obtém-se a partir da seguinte expressão:

$$I = at^b$$

em que:

I - intensidade de precipitação [mm/h]

t - duração [min]

a e b - parâmetros regionais das curvas IDF

Para a definição das chuvadas de projeto foi utilizado o método apresentado por Brandão e Rodrigues, 1998 e Brandão et al., 2001 tendo em consideração os parâmetros a e b, da estação udrográfica, para chuvadas com duração entre 30 min e 6 h, estando estes valores dentro dos tempos de concentração calculados anteriormente, sendo os valores propostos por estes autores os seguintes:

| Regiões  | 20C/01 S. Julião do Tojal |        |
|----------|---------------------------|--------|
| T (Anos) | a                         | b      |
| 2        | 164,68                    | -0,545 |

| Regiões | 20C/01 S. Julho do Tojal |        |
|---------|--------------------------|--------|
| 5       | 236,96                   | -0,557 |
| 10      | 284,64                   | -0,561 |
| 20      | 330,31                   | -0,565 |
| 50      | 389,37                   | -0,567 |
| 100     | 433,58                   | -0,569 |
| 500     | 535,7                    | -0,572 |
| 1000    | 579,58                   | -0,573 |

Tabela 3 - Valores dos coeficientes a e b da intensidade de precipitação propostos por Brandão e Rodrigues, 1998 e Brandão et al., 2001

Os valores de precipitação máxima utilizando-se as curvas I-D-F acima indicadas são as seguintes:

**IDF - i (mm/h) - BRANDÃO (1995)**

| Bacia   | Tr (anos) |       |        |        |        |        |        |        |
|---------|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|         | 2         | 5     | 10     | 20     | 50     | 100    | 500    | 1000   |
| Bacia 1 | 25,30     | 34,93 | 41,39  | 47,37  | 55,46  | 61,34  | 75,01  | 80,87  |
| Bacia 2 | 46,11     | 64,52 | 76,78  | 88,27  | 103,57 | 114,79 | 140,84 | 152,02 |
| Bacia 3 | 56,42     | 79,29 | 94,49  | 108,80 | 127,74 | 141,69 | 174,03 | 187,92 |
| Bacia 4 | 66,16     | 93,31 | 111,34 | 128,34 | 150,78 | 167,34 | 205,72 | 222,20 |
| Bacia A | 12,30     | 16,72 | 19,70  | 22,43  | 26,19  | 28,89  | 35,18  | 37,89  |

Quadro 8 - Valores das precipitações máximas obtidas através das curvas I-D-F de Brandão e Rodrigues, 1998 e Brandão et al., 2001

Verifica-se deste modo, uma aproximação muito significativa entre os valores acima e a aproximação dos valores de precipitação máxima à Lei de Gumbel, pelo que a utilização destas curvas I-D-F é aceitável.

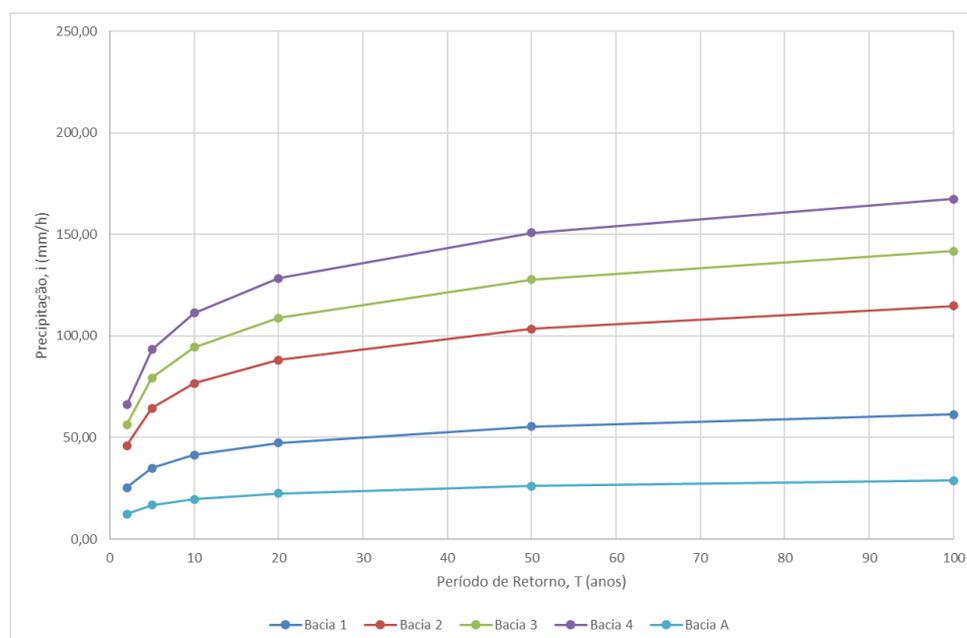


Figura 6 – Gráfico de distribuição dos valores das precipitações máximas obtidas através das curvas I-D-F de Brandão e Rodrigues, 1998 e Brandão et al., 2001

## 5.7 CÁLCULO DOS CAUDAIS DE PONTA PELO MÉTODO RACIONAL

Os caudais de ponta máximos para diversos períodos de retorno associados a cada bacia são indicados no quadro seguinte:

| Caudal - BRANDÃO (1995) |       |       |       |       |       |              |       |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| m <sup>3</sup> /s       |       |       |       |       |       |              |       |       |
| Bacia                   | 2     | 5     | 10    | 20    | 50    | <b>100</b>   | 500   | 1000  |
| Bacia 1                 | 0,349 | 0,481 | 0,570 | 0,653 | 0,764 | <b>0,845</b> | 1,033 | 1,114 |
| Bacia 2                 | 0,086 | 0,120 | 0,143 | 0,164 | 0,193 | <b>0,214</b> | 0,262 | 0,283 |
| Bacia 3                 | 0,034 | 0,048 | 0,058 | 0,066 | 0,078 | <b>0,087</b> | 0,106 | 0,115 |
| Bacia 4                 | 0,085 | 0,119 | 0,142 | 0,164 | 0,193 | <b>0,214</b> | 0,263 | 0,284 |
| Bacia A                 | 1,652 | 2,245 | 2,646 | 3,013 | 3,518 | <b>3,880</b> | 4,726 | 5,088 |

Quadro 9 - Caudais de ponta obtidos com através da metodologia de Brandão (1995)

Para o cálculo dos caudais de ponta de cheia das bacias 1 Final, 3 Final e 4 Final, considerou-se uma proporção das áreas aumentadas ou reduzidas com a nova configuração.

Deste modo, foi possível obter a nova contribuição de cada bacia para o seu sistema de drenagem natural. A Bacia 1/Bacia 1 Final não drena para a bacia hidrográfica em análise. No entanto, a Bacia 4/Bacia 4 Final drena para a ribeira que recebe as águas da zona da mina e da configuração final. A Bacia 3/Bacia 3 Final, drena igualmente para esta mesma ribeira, no entanto está a jusante das passagens hidráulicas existentes e não contribuirá ou influenciará o seu dimensionamento/verificação dimensional.

Este método foi utilizado, uma vez que as bacias naturais 1, 3 e 4 serão descaracterizadas na configuração final, mas os conceitos hidrológicos podem manter-se como critério mais gravoso e de segurança.

Como exemplo, verifica-se que irá ser formado uma zona de lago devido à escavação da mina, o que permitirá uma capacidade de encaixe da precipitação e favorecerá a infiltração nas camadas arenosas da mina. Esta situação reduz o escoamento superficial natural da Bacia 4 Final, o que justifica a maximização do caudal desta bacia, considerando-se a inexistência deste fenómeno.

Assim, os valores obtidos para os caudais de ponta obtidos com através da metodologia de Brandão (1995), para as bacias 1 Final, 3 final e 4 Final foram os seguintes:

| Caudal - BRANDÃO (1995) |                         |       |       |       |       |       |              |       |       |
|-------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| m <sup>3</sup> /s       |                         |       |       |       |       |       |              |       |       |
| Bacia                   | Area (km <sup>2</sup> ) | 2     | 5     | 10    | 20    | 50    | <b>100</b>   | 500   | 1000  |
| Bacia 1 Final           | 0,373                   | 0,262 | 0,362 | 0,429 | 0,491 | 0,575 | <b>0,636</b> | 0,777 | 0,838 |
| Bacia 3 Final           | 0,013                   | 0,051 | 0,071 | 0,084 | 0,097 | 0,114 | <b>0,126</b> | 0,155 | 0,167 |
| Bacia 4 Final           | 0,206                   | 0,309 | 0,434 | 0,517 | 0,595 | 0,699 | <b>0,776</b> | 0,953 | 1,029 |

Quadro 10 - Caudais de ponta para a configura final obtidos com através da metodologia de Brandão (1995)

Verifica-se que a Bacia 4 natural teria um caudal de ponta de cheia para o período de retorno de 100 anos de 0,214 m<sup>3</sup>/s. A configuração final desta bacia aumenta esta

contribuição para 0,776 m<sup>3</sup>/s, para o mesmo período de retorno, devendo este caudal ser adicionado ao caudal da bacia A para a verificação do dimensionamento da passagem hidráulica sob o caminho municipal.

## 6 REDE DE DRENAGEM

### 6.1 REDE DE DRENAGEM EXISTENTE

A rede de drenagem existente no atravessamento da linha de água principal é realizada por manilhas de betão com 1,00 m de diâmetro, localizadas nos seguintes pontos identificados na figura seguinte.

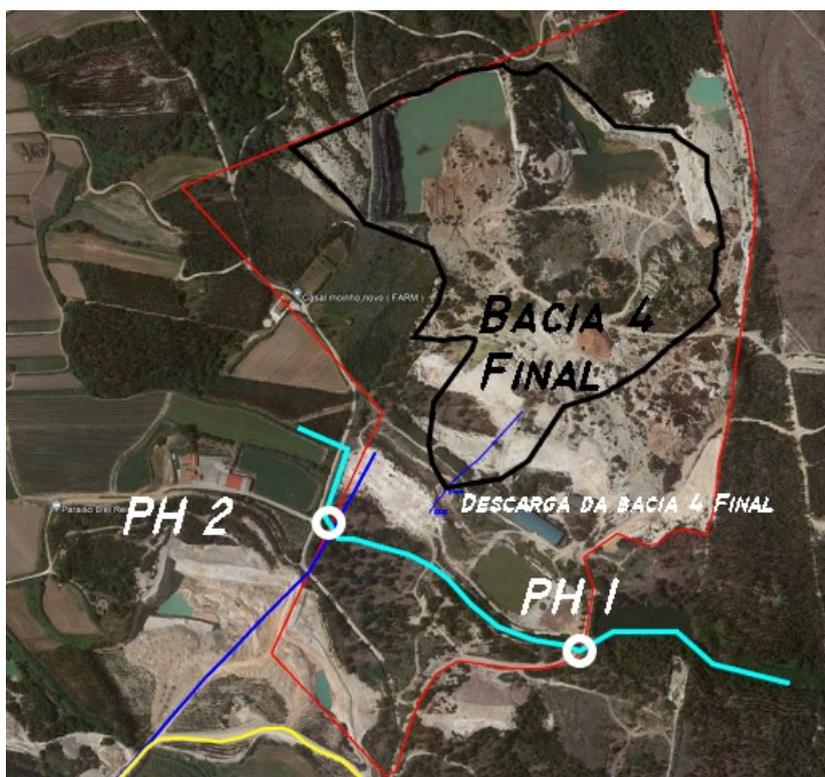


Figura 7 – Localização das passagens hidráulicas nos caminhos agrícolas e municipais e restituição da bacia 4F

A rede de drenagem no interior da mina é inexistente, uma vez que toda a pluviosidade drena para a zona da lagoa existente. Uma vez que o maciço é arenoso a cota do espelho de água mantem-se aproximadamente constante, tal como se consegue identificar na sequência de imagens retiradas do Google Earth com as datas de 2012, 2020 e 2022.

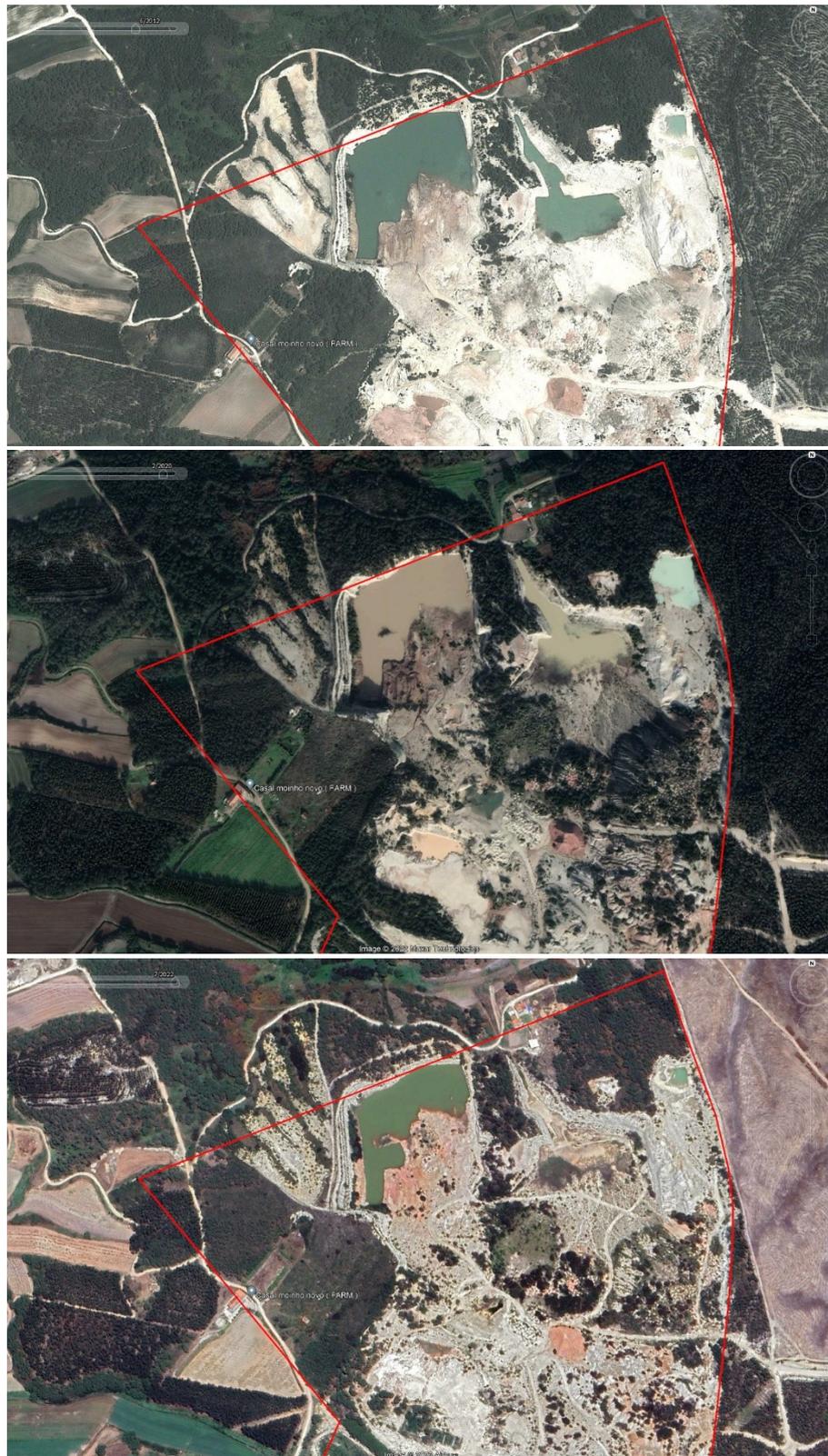


Figura 8 – Sequência de evolução do nível da água na lagoa entre 2012 a 2022 (Fonte: Google Earth).

## 6.2 CAUDAIS DE DIMENSIONAMENTO

Os caudais de dimensionamento das passagens hidráulicas tiveram em consideração os caudais de ponta de cheia para o período de retorno de 100 anos, calculados anteriormente, para as Bacia A e Bacia 4 Final.

A Passagem Hidráulica 1, PH 1, foi verificada para o caudal de ponta de cheia calculado para a Bacia A, sendo este a referência deste parâmetro para a verificação do seu dimensionamento.

A Passagem Hidráulica 2, PH 2, foi verificada para o caudal de ponta de cheia calculado para a Bacia A, somado do caudal de ponta de cheia da Bacia 4 Final, sendo a soma destes dois valores a referência de cálculo deste parâmetro para a verificação do seu dimensionamento.

| Bacia                   | Designação            | Anos | m <sup>3</sup> /s |
|-------------------------|-----------------------|------|-------------------|
|                         |                       |      | Q <sub>Dim</sub>  |
| Bacia A                 | Passagem hidráulica 1 | 100  | 3,880             |
| Bacia 4 Final           |                       | 100  | 0,776             |
| Bacia A - Bacia 4 Final | Passagem hidráulica 2 | 100  | 4,655             |

Quadro 11 - Caudais de ponta para dimensionamento das estruturas

## 7 VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DAS PASSAGENS HIDRÁULICAS

Para o cálculo das condições de escoamento nas passagens hidráulicas 1 e 2 teve-se em consideração as cotas de implantação, a inclinação das passagens hidráulicas nos atravessamentos, o caudal escoado, o material constituinte do canal, a sua secção transversal e a sua inclinação.

A altura do escoamento é calculada tendo em consideração que o escoamento se realiza em regime uniforme e pode ser calculado através do seguinte procedimento.

### 7.1 Determinação da altura uniforme em secções circulares

- 1) Lei de resistência ao escoamento do tipo Gauckler-Manning-Strickler

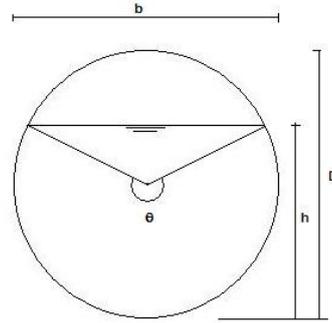
$$Q = K_s AR^{2/3} \sqrt{i}$$

- 2) Determinar a área e o perímetro molhado em função do ângulo  $\theta$ ,

$$A = (\theta - \text{sen}\theta) \frac{D^2}{8}$$

$$P = \frac{D\theta}{2}$$

$$\theta = 2 \arccos\left(1 - \frac{2h}{D}\right)$$



3) Substituir na equação em 1)

$$Q = K_s (\theta - \text{sen}\theta) \frac{D^2}{8} \left( \frac{(\theta - \text{sen}\theta) \frac{D^2}{8}}{\frac{D\theta}{2}} \right)^{2/3} \sqrt{i}$$

$$Q = K_s (\theta - \text{sen}\theta) \frac{D^2}{8} \left( \frac{(\theta - \text{sen}\theta) D}{4\theta} \right)^{2/3} \sqrt{i}$$

$$Q = K_s \frac{(\theta - \text{sen}\theta)^{5/3}}{(4\theta)^{2/3}} \frac{D^{8/3}}{8} \sqrt{i}$$

4) Reescrever a expressão pondo em evidência  $\theta$ ,

$$\theta = \text{sen}\theta + \left( \left( \frac{Q}{K_s \sqrt{i}} \right) \frac{(4\theta)^{2/3} 8}{D^{8/3}} \right)^{3/5}$$

$$\theta = \text{sen}\theta + \left( \frac{Q}{K_s \sqrt{i}} \right)^{3/5} \frac{4^{12/5} \theta^{2/5}}{D^{8/5}}$$

## 7.2 Processo de cálculo

1º) Calcular  $\left( \frac{Q}{K_s \sqrt{i}} \right)^{3/5}$

2º) Calcular  $\frac{4^{12/5}}{D^{8/5}}$

3º) Arbitrar o primeiro valor para  $\theta$ , **em radianos**

4º) Calcular o valor seguinte de  $\theta_{n+1}$ , na fórmula :

$$\theta_{n+1} = \text{sen} \theta_n + \left( \frac{Q}{K_s \sqrt{i}} \right)^{3/5} \frac{4^{12/5} \theta_n^{2/5}}{D^{8/5}}$$

5º) Se  $|\theta_{n+1} - \theta_n| \leq \text{erro}$  então  $\theta_u = \theta_{n+1}$ , caso contrário voltar ao 4º passo, com  $\theta_n = \theta_{n+1}$

6º) Calcular 
$$h_u = \frac{1 - \cos\left(\frac{\theta_u}{2}\right)}{2} D$$

Para o dimensionamento das passagens hidráulicas, constituídas por manilhas de betão de 1,00 m de diâmetro considerou-se um coeficiente de resistência ao escoamento,  $K_s$  de  $75 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  ( $n=0,013$ ), que é usual para superfícies de revestimento em betão.

Deste modo, para o canal foram obtidos os seguintes dados de escoamento.

| Bacia                   | Designação            | Caudal                |            | Estrutura        |                      |               |       | Condições de escoamento   |   |                   |                    | Escoamento crítico               |                |                    |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|------------------|----------------------|---------------|-------|---------------------------|---|-------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|--------------------|
|                         |                       | $\text{m}^3/\text{s}$ | Inclinação | Tipo             | Dimensão $\phi$ ou B | Tipo de seção | n     | h<br>Altura do escoamento | V<br>Velocidade do escoamento < 5,0 m/s | h/D<br>h/L < 0,65 | Tipo de escoamento | $(Q/K_s)^{1/2}$<br>Área circular | Altura crítica | Velocidade crítica |
| Bacia A                 | Passagem hidráulica 1 | 3,880                 | 0,010      | Manilha de betão | 1,00                 | Circular      | 0,013 | 0,406                     | 3,056                                   | 0,406             | Regime Rápido      | 1,270                            | 2,483          | 4,936              |
| Bacia 4 Final           |                       | 0,776                 | 0,010      | Manilha de betão | 1,00                 | Circular      | 0,013 | 0,397                     | 2,666                                   | 0,397             | Regime Lento       | 0,291                            | 0,099          | 0,987              |
| Bacia A - Bacia 4 Final | Passagem hidráulica 2 | 4,655                 | 0,010      | Manilha de betão | 1,00                 | Circular      | 0,013 | 0,178                     | 3,152                                   | 0,178             | Regime Rápido      | 1,477                            | 3,575          | 5,922              |

Quadro 12 - Resultados do dimensionamento do escoamento no canal de drenagem

Verifica-se que as passagens hidráulicas têm condições de escoamento adequadas aos caudais de ponta de cheia, sendo que estão garantidas as condições de drenagem transversal das vias onde foram implantadas.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do estudo realizado e das verificações feitas é possível responder às questões levantadas para Agência Portuguesa do Ambiente nos seguintes moldes:

1.1.3. Apresentar a localização de eventuais passagens hidráulicas e o respetivo dimensionamento devidamente justificado.

Existem duas passagens hidráulicas existentes, executadas em manilhas de betão com 1,00 m de diâmetro, que fazem o atravessamento de dois caminhos municipais em terra batida, sendo que o seu dimensionamento foi verificado e considerado adequado.

Estas estruturas estão executadas há alguns anos e não aparentam ter condições de degradação.

O projeto de configuração final da mina prevê a criação de um acesso interno a Sul da zona de exploração, que atravessará a linha de água existente (Bacia A). Neste caso, e uma vez que as passagens hidráulicas existentes garantem o

escoamento em condições de segurança dos caudais de ponta de cheia para o período de retorno de 100 anos gerados nas bacias A e 4 Final, este caminho de acesso deverá ter, no atravessamento da linha de água, uma passagem hidráulica de 1,00 m de diâmetro em manilha de betão, executada nas mesmas condições das existentes.

1.1.4. Indicar como é feito o encaminhamento das águas acumuladas no fundo da corta e avaliar os potenciais impactes do mesmo.

No caso da corta existente e da futura configuração final, o encaminhamento das águas é realizado para a designada neste estudo, Bacia 4 Final, tendo sido realizado o dimensionamento do seu caudal de ponta de cheia para o período de retorno de 100 anos e a sua introdução no meio hídrico existente.

Também foi igualmente verificado que a corta existente tem uma capacidade de encaixe hídrico significativo, sendo que a drenagem destas águas faz-se em condições particulares, uma vez que os solos são arenosos, com capacidade de infiltração significativa.

1.1.5. Apresentar projeto de drenagem de águas pluviais e indicar o(s) ponto(s) de descarga na rede hidrográfica natural.

Não existirão novos pontos de descarga na rede hidrográfica natural. As bacias de drenagem natural manter-se-ão, sendo que os seus caudais serão diferentes. Assim, foi verificado que as bacias 1 e 3, com configuração da bacia 1 Final e bacia 3 Final, respectivamente, apenas terão uma redução de caudais, devido à configuração final da mina.

Por outro lado, a designada neste estudo por Bacia 4, terá uma configuração diferente da original, designada Bacia 4 Final, em que haverá um aumento do caudal escoado, sendo interceptado pela linha de água representada na Bacia A, mas a sua descarga faz-se no mesmo local e nas mesmas condições das existentes e que são da bacia natural.

1.1.6. Avaliar os impactes nas condições de escoamento, com eventual aumento do caudal, como consequência das intervenções na área do projeto, nomeadamente da descarga das águas pluviais, resultantes da drenagem perimetral da área da mina.

Tal como se referiu anteriormente apenas a designada neste estudo por Bacia 4, terá uma configuração diferente da original, passando a ter a configuração Bacia 4 Final. Apesar do aumento dos caudais de ponta de cheia para os diversos períodos de retorno, considera-se que as condições de escoamento dar-se-ão de forma semelhante à da bacia natural original, sem alteração de circunstâncias para além das referidas neste estudo.

Não se considera necessário o dimensionamento ou construções de órgãos acessórios, uma vez que o meio natural tem condições adequadas para as alterações das condições de escoamento para a configuração final da mina.

1.1.7. Avaliar os impactes e eventual criação de zonas suscetíveis de inundação, motivada pelo assoreamento do leito, como resultado do incremento dos sólidos

suspensos, resultantes da eventual descarga das águas pluviais drenadas do perímetro da mina e da deposição atmosférica das poeiras geradas pela exploração.

Não se prevê incremento de sólidos suspensos resultantes da eventual descarga das águas pluviais drenadas do perímetro da mina, uma vez que as dimensões das partículas, fundamentalmente areias, não geram aumento significativo de sólidos em suspensão. Estas partículas têm velocidade de sedimentação relativamente elevadas.

Adicionalmente, o aumento de caudal da linha de água da Bacia 4 Final e as condições de restituição, não aumentam a velocidade do escoamento ao nível de zonas de deposição ou de acreção que possam ocorrer com os caudais e secções consideradas.

## 9 BIBLIOGRAFIA

- Foram consultados (INAG/SNIRH) os registos das precipitações diárias e máximas diárias anuais em postos climatológicos da
- INAG, DSRH, 2001 – Análise de Fenómenos Extremos. Precipitações Intensas em Portugal Continental
- INAG, DSRH, 2004 – “As Cheias em Portugal. Situações Hidrológicas Extremas: Precipitações Intensas e Caudais de Cheia”. Cláudia Brandão, Rui Rodrigues, Joaquim Pinto da Costa
- Lencastre, A; Melo Franco, F. – Lições de Hidrologia
- PORTELA, Maria Manuela e HORA, Guilherme Rodrigues da, – Aplicação da fórmula racional à análise de cheias em Portugal continental: valores do coeficiente C. 6º Congresso da Água.

3 de janeiro de 2023

---

Pedro Chichorro Rodrigues

Eng. Civil, Mestre em Construção  
Engenheiro Sénior e Especialista em Direção e Gestão da  
Construção  
Ordem dos Engenheiros, nº 47092