



Estudo Hidrológico



outubro de 2022

ÍNDICE

1. CARATERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	2
1.1. COEFICIENTES DE ESCOAMENTO.....	10
1.2. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO - T_C.....	11
1.3. CAUDAIS DE PONTA DE CHEIA - Q_P.....	12
2. CONSIDERAÇÕES FINAIS	14

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1: Limites das bacias hidrográficas.	3
Figura n.º 2: Bacias hidrográficas sobre imagem de satélite.	4
Figura n.º 3: Representatividade de cada tipo de solo.	6
Figura n.º 4: Representatividade de cada tipo de uso e ocupação do solo.	6
Figura n.º 5: Carta de solos (Fonte: Cartografia de solos Sul 1:25 000 – DGADR - SNIS).	7
Figura n.º 6: Carta de uso e ocupação do solo (Fonte: COS 2018 - DGT).	8
Figura n.º 7: Pontos de interseção das linhas de água principais.	15

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela n.º 1: Características das bacias hidrográficas.	5
Tabela n.º 2: Número de escoamento.	10
Tabela n.º 3: Coeficiente de escoamento - C.	11
Tabela n.º 4: Tempo de Concentração – T_c [h].	12
Tabela n.º 5: Parâmetros das curvas IDF – Posto udométrico de Lisboa Portela.	13
Tabela n.º 6: Caudais de ponta de cheia, obtidos pela fórmula racional, com base nas curvas IDF.	13

1. CARATERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Como complemento à caraterização hidrológica efetuada, procedeu-se a um estudo de pormenor das bacias hidrográficas associadas às duas linhas de água principais com influência na área a licenciar pelo projeto de ampliação e fusão da “Pedreira Pegões Velhos”. Para atingir este objetivo foram delimitadas as duas bacias hidrográficas, tendo por base as cartas militares à escala 1:25 000 (Figura n.º1).

Para a linha de água 1 (LA_01) localizada a Oeste, delimitaram-se duas bacias, a primeira (LA_01-1) que engloba toda a área até à seção localizada junto da extremidade Sul da área a licenciar. Para a mesma linha de água delimitou-se uma subbacia (LA_01-2), que engloba a área a montante, desde a cabeceira da linha de água até à seção localizada junto da sua interseção com a área a licenciar.

Para a segunda Linha de água, localizada a Este da área da pedreira, delimitou-se bacia hidrográfica (LA_02), que possui parte significativa da área dentro da zona a licenciar para a pedreira, e em que parte já se encontrava licenciada.

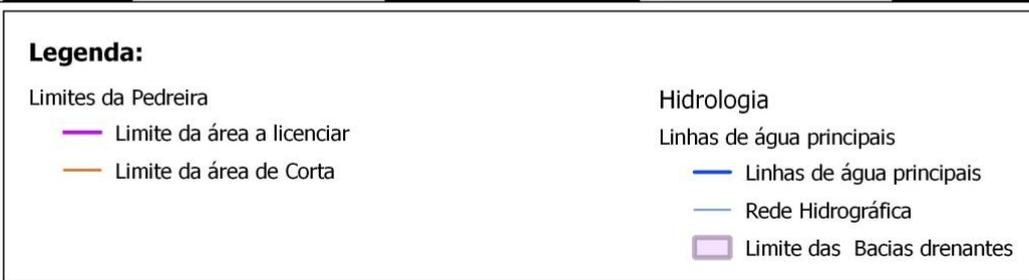
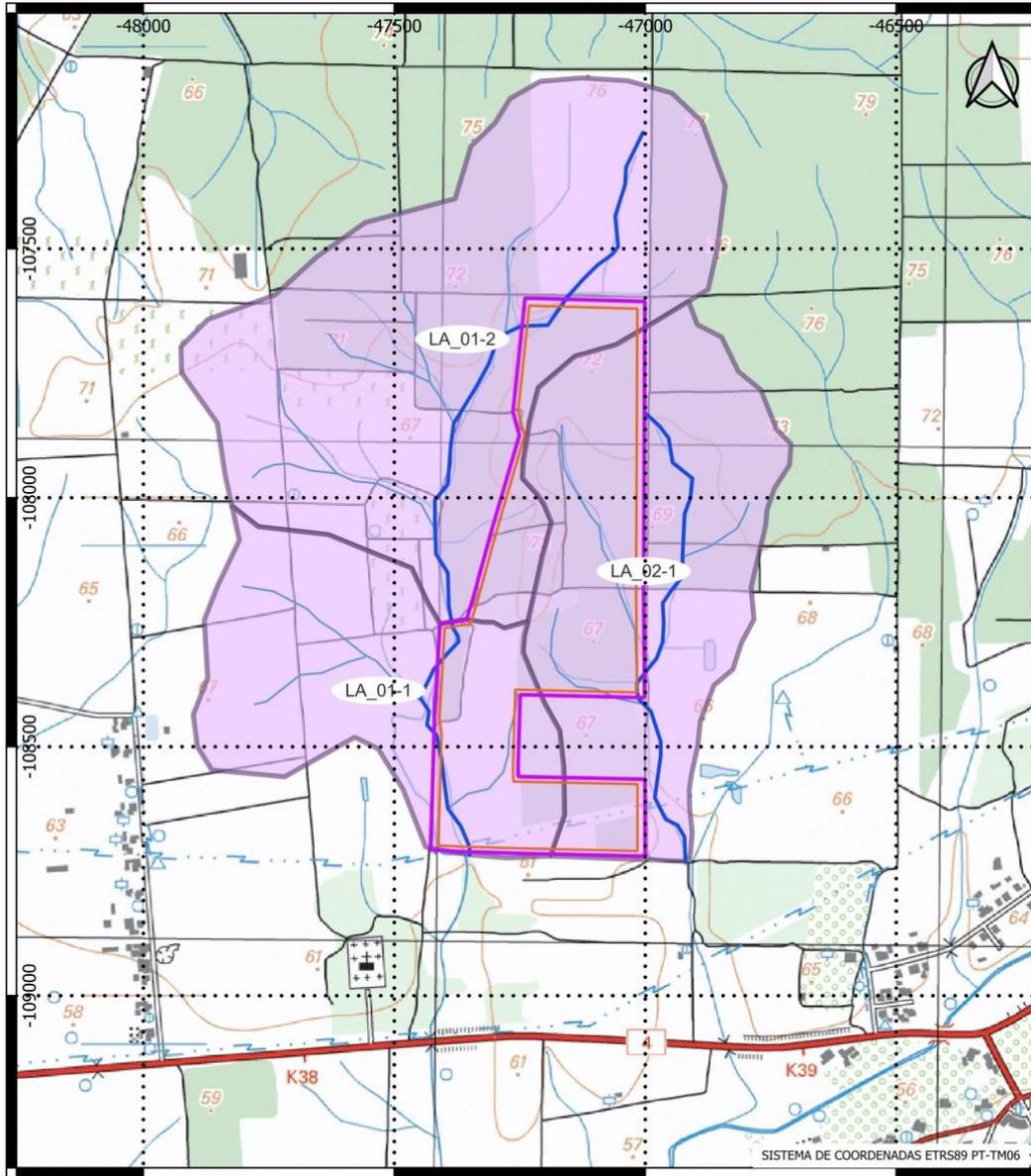
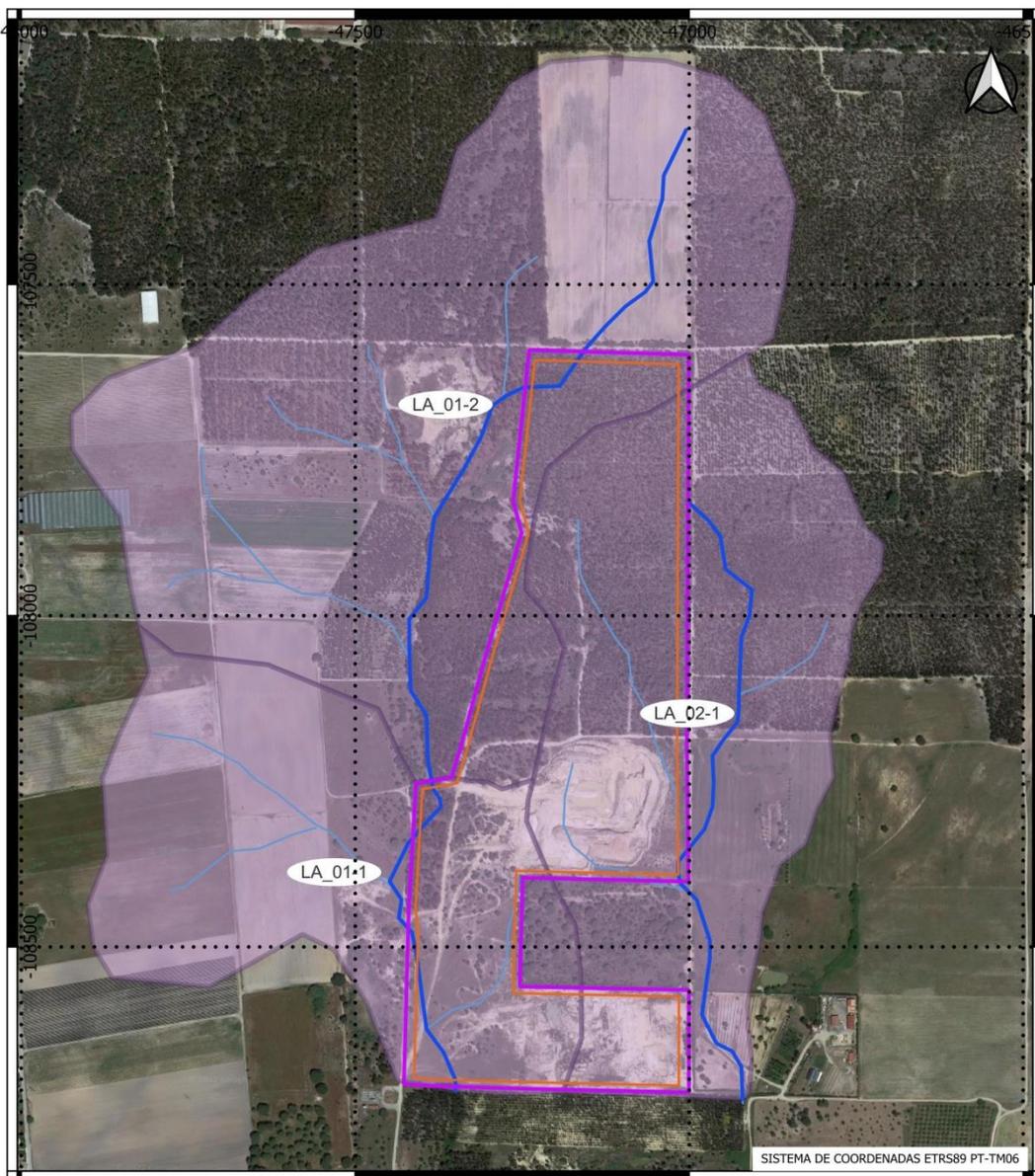


Figura n.º 1: Limites das bacias hidrográficas.



Legenda:

Limites da Pedreira

- Limite da área a licenciar
- Limite da área de Corta

Hidrologia

Linhas de água principais

- Linhas de água principais
- Rede Hidrográfica
- Limite das Bacias drenantes

Figura n.º 2: Bacias hidrográficas sobre imagem de satélite.

Na tabela seguinte apresentam-se as principais características das bacias hidrográficas delimitadas, e das respetivas linhas de água principais.

Tabela n.º 1: Características das bacias hidrográficas.

Bacia Hidrográfica:	LA_01-1	LA_01-2	LA_02
Área - A [km ²]	0,94	0,63	0,41
Perímetro - P [km]	4,73	3,57	2,87
Comprimento axial da bacia - L _x [km]	0,55	0,55	0,425
Cotas da bacia hidrográfica:			
Z _{BHMáx}	77,00	77,00	74,00
Z _{BHmin}	60,00	66,00	59,00
Z _{BHm}	68,50	71,50	66,50
Declive médio da bacia - d _{BH} [%]	1,00	1,10	1,10
Coeficiente de Compacidade - K _c	1,36	1,26	1,26
Altura média da bacia - H _m	8,50	5,50	7,50
Fator de Forma - K _f	3,12	2,08	2,25
Coeficiente de massividade - C _m	9,02	8,74	18,49
Coeficiente orográfico - C _o	76,66	48,05	138,71
Curso de água principal:			
Comprimento da linha principal - L [km]	1,69	1,17	1,01
Cotas na Linha de água:			
Z _{0%}	76,00	76,00	70,50
Z _{10%}	74,50	75,00	69,50
Z _{85%}	64,00	67,00	63,00
Z _{100%}	60,50	66,00	59,00
Declive médio - d _m [m/m]	0,009	0,0086	0,0114
Declive entre 10 e 85% do comprimento do curso de água principal - d _{10-85%} [m/km]	8,29	9,15	8,61
Desnível máximo - ΔZ [m]	15,50	10,00	11,50

As bacias hidrográficas em estudo estão inseridas na bacia hidrográfica do tio Tejo. Estas bacias, com área inferior a 1 km², caracterizam-se por possuírem declives ligeiros, com altimetria a variar entre a cota (77,0) e cota (59,0).

Na área das bacias drenantes das duas linhas de água principais com influência na área de expansão da pedreira, predominam solos podzolizados (Ap e Ppt), os quais possuem uma permeabilidade elevada, e que normalmente são caracterizados por originarem valores baixos de escoamento superficial, e infiltração elevada. Observa-se ainda que em cerca de 27 % da área dominada pelas bacias hidrográficas existem solos Litólicos, não húmicos, pouco insaturados normais, de arenitos grosseiros.

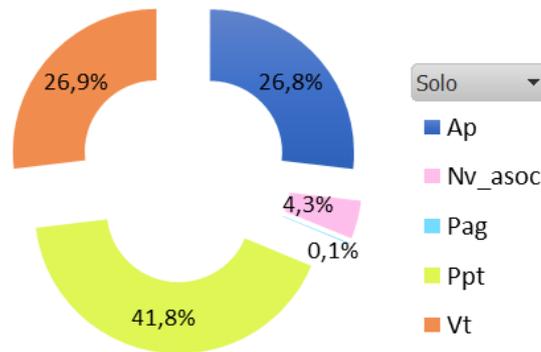


Figura n.º 3: Representatividade de cada tipo de solo.

Relativamente ao uso e ocupação do solo recorreu-se à carta de uso e ocupação do solo de 2018 (COS2018) disponível na DGT. De acordo com esta carta, as áreas florestais são predominantes, ocupando na sua totalidade cerca de 55 % da área das bacias, com predominância da plantação de eucaliptos. A área classificada como sendo de agricultura tem uma representação de cerca de 31 %, constituída essencialmente por culturas temporárias de sequeiro e regadio.

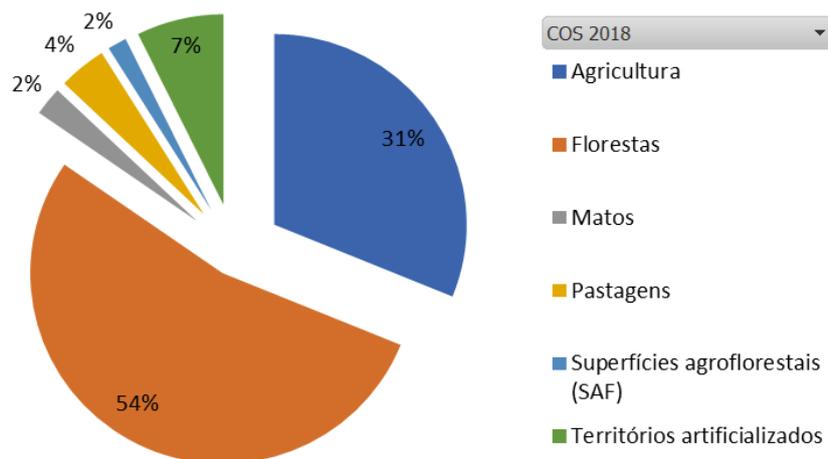
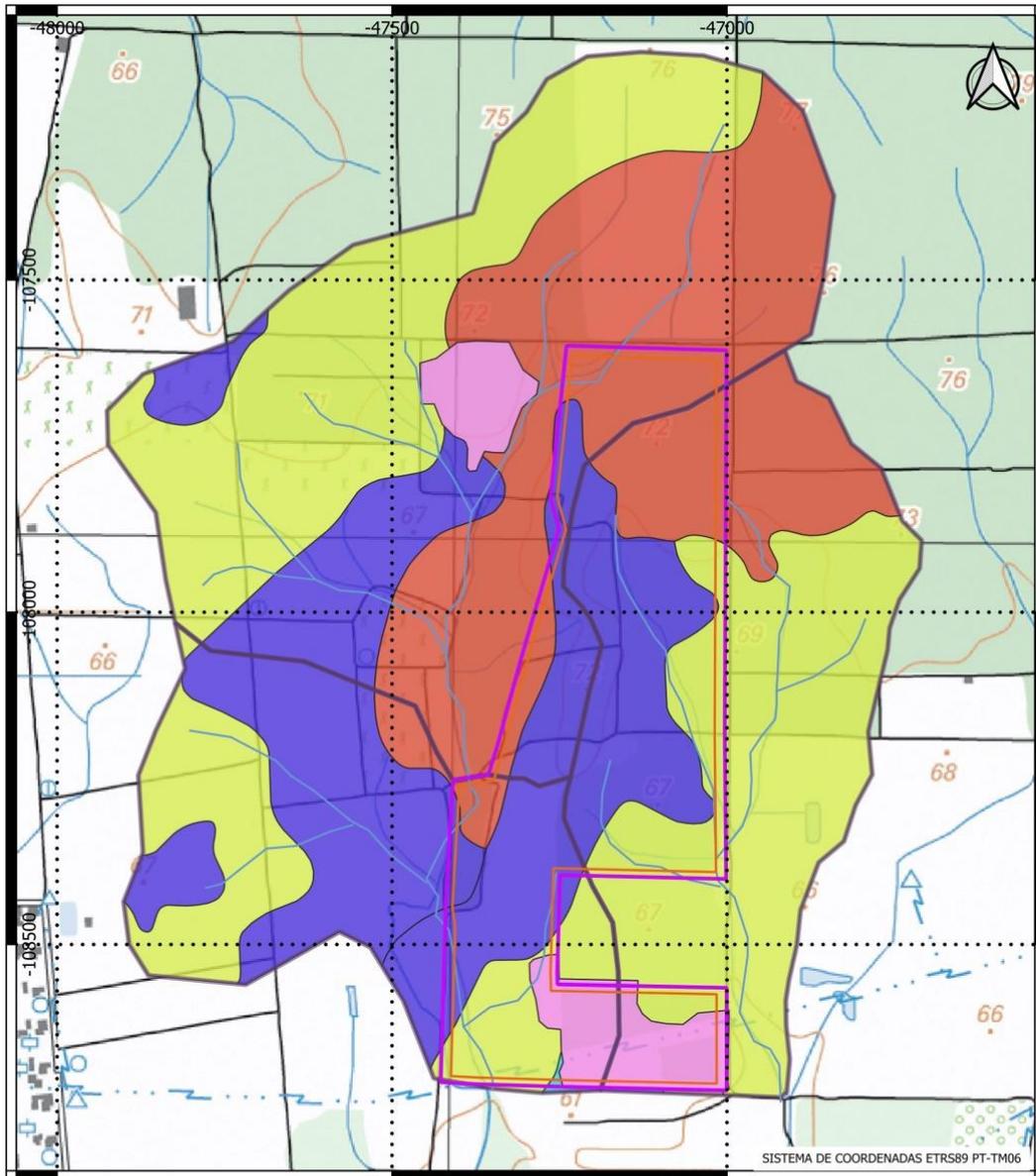


Figura n.º 4: Representatividade de cada tipo de uso e ocupação do solo.



Legenda:

Limites da Pedreira

- Limite da área a licenciar
- Limite da área de Corta

Hidrologia

- Rede Hidrográfica
- Limite das Bacias drenantes

Tipo de Solos

- Ap - Solos Podzolizados - Podzóis normais
- Ppt - Solos Podzolizados - Podzóis, com A2 incipiente
- Vt - Litólicos, Não Húmicos
- Pag - Solos Argiluvitados Pouco Insaturados
- Nv_asoc

Figura n.º 5: Carta de solos (Fonte: Cartografia de solos Sul 1:25 000 – DGADR - SNIS).

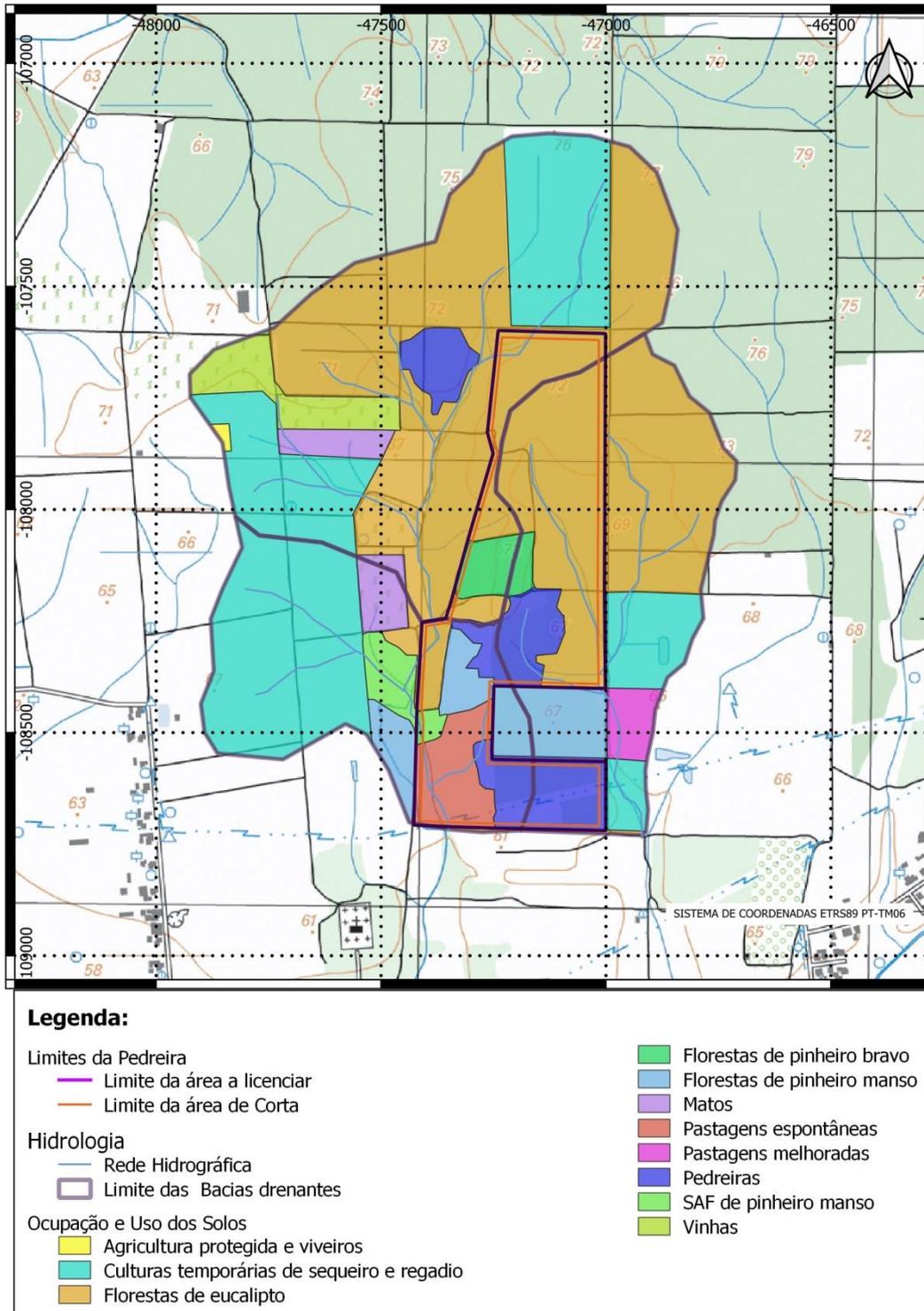


Figura n.º 6: Carta de uso e ocupação do solo (Fonte: COS 2018 - DGT).

As linhas de água foram identificadas com base na cartografia disponível à escala 1:25 000 (cartas militares). Com base nesta cartografia, observa-se que a região dispõe de uma rede hidrográfica densa, caracterizada por linhas de escoamento de regime temporário, que se formam apenas quando ocorre precipitação com alguma intensidade, e em que a maioria não possui uma secção de escoamento definida. Tendo em atenção em imagens de satélite, e confirmado no campo, parte significativa das linhas de água identificadas na carta militar, no interior das bacias hidrográficas em estudo, não são visíveis no terreno, resultando apenas da topografia do terreno, como linhas de talvegue, por onde o escoamento superficial é preferencialmente conduzido, em situações de precipitações de maior intensidade.

Nas duas linhas de água principais, em estudo, a situação é similar. No caso da LA_01, observa-se a existência de uma secção de escoamento definida, apenas na aproximação à estrada N4, a cerca de 100 m da respetiva passagem hidráulica, fora da área de estudo. No caso da LA_02, antes da intersecção com a estrada N4, não se observa a existência de qualquer secção de escoamento definida no terreno.

As características de relevo, tipos de solos, uso e ocupação do solo, ausência de registos de cheias permitem verificar que a zona em estudo é de baixo risco de inundação. Esta verificação pode ser validada com a informação disponibilizada no SNIAMB (APA), em que não se encontram cartografadas quaisquer áreas de inundação (com distintos períodos de retorno), e /ou zonas com risco potencial significativo de inundação, quer na área das bacias hidrográficas em estudo, quer nas proximidades dessas áreas.

A consulta da cartografia de áreas inundáveis e de riscos de inundações (2.º ciclo), elaborada no âmbito da Diretiva para a Avaliação e Gestão de Risco de Inundações, permite igualmente verificar a inexistência de áreas de risco potencial de inundação na área em estudo.

Procede-se em seguida à apresentação da metodologia de cálculo dos caudais de cheia para as bacias hidrográficas em estudo, com a determinação dos vários parâmetros necessários ao seu cálculo.

1.1. COEFICIENTES DE ESCOAMENTO

Para proceder ao cálculo dos caudais de ponta de cheia para diferentes períodos de retorno, é necessário determinar o Número de escoamento (CN) e coeficientes de escoamento (C).

O Número de escoamento utilizado, quer no cálculo do tempo de concentração (T_c) pela fórmula do Soil Conservation Service (SCS), quer no cálculo do Caudal de Ponta de Cheia (Q_p) pela metodologia do SCS, para as condições antecedentes de humidade média (AMC II), foi determinado com base Carta Digital de Números de Escoamentos estabelecida para Portugal (SNIAMB), e validado com base na informação de solos e de uso e ocupação do solo.

As condições antecedentes de humidade que se verificam antes da ocorrência de uma cheia com período de retorno elevado, durante o período húmido, são frequentemente condições antecedentes húmidas (AMC III). Neste sentido, os números de escoamento a considerar para o cálculo das perdas de precipitação, correspondem aos números de escoamento em condições antecedentes húmidas (AMC III) que se relacionam com os CN em condições antecedentes de humidade médias (AMC II) pela equação seguinte (Chow et al, 1988 1):

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)}$$

em que CN (II) e CN (III) representam os números de escoamento para condições AMC II e AMC III, respetivamente.

O número de escoamento obtido é apresentado na tabela seguinte.

Tabela n.º 2: Número de escoamento.

Condições Antecedentes de Humidade	Bacia hidrográfica		
	LA_01-1	LA_01-2	LA_02
AMCII	70,69	64,79	69,67
AMCIII	85,00	81,00	84,00

Em relação ao Coeficiente de Escoamento (C), este parâmetro é utilizado no cálculo de Q_p pela aplicação da fórmula racional. Para a sua determinação teve-se por base a tabela disponibilizada por HIPÓLITO E VAZ (2011), referente a valores de C para zonas rurais.

¹ Chow, V.T., Maidment D.R. e Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill International Editions. Civil Engineering Series.

Esta tabela permite determinar o coeficiente C para diferentes períodos de retorno em função do uso/ ocupação do solo (características superficiais do terreno) e do declive do terreno.

Tabela n.º 3: Coeficiente de escoamento - C.

Período de Retorno - T [anos]	Bacia hidrográfica		
	LA_01-1	LA_01-2	LA_02
10	0,30	0,29	0,30
20	0,34	0,32	0,33
50	0,38	0,36	0,37
100	0,42	0,40	0,41

1.2. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO - T_c

Segundo o "Bureau of Reclamation of U.S.A", tempo de concentração (T_c) é o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na secção de saída.

Em pequenas bacias, o que é o caso, o tempo de concentração é o tempo após o qual todos os pontos dela estão a contribuir para o escoamento e após o qual este escoamento permanece constante enquanto a chuva for constante.

A determinação do tempo de concentração é necessária para a determinação dos caudais de ponta de cheia.

Para o cálculo do tempo de concentração, utilizaram-se as fórmulas abaixo indicadas, aplicáveis à bacia em estudo:

Fórmula de Temez

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

em que t_c é o tempo de concentração (h), L o desenvolvimento do curso de água principal (km) e ΔH a diferença máxima de cotas no curso de água principal (m).

National Environment Research Council (NERC)

$$t_c = 2,8 \times \left(\frac{L}{\sqrt{d_{10:85}}} \right)^{0,47}$$

em que t_c, L têm os mesmos significados que na fórmula de Temez e d_{10:85} é o declive entre 10 e 85% do comprimento do curso de água principal (m/km).

Soil Conservation Service (SCS)

$$t_c = \frac{100}{0,3048^{0,8}} \cdot \frac{L^{0,8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{1900 Sm^{0,5}}$$

em que t_c é o tempo de concentração (min), L o comprimento do curso principal (m), Sm o declive médio da bacia hidrográfica (%) e CN o número de escoamento na bacia hidrográfica.

Na tabela seguinte apresentam-se os diferentes valores obtidos para o tempo de concentração. Os valores mais elevados foram obtidos pela fórmula do SCS e os mais baixos obtidos pela fórmula de Temez.

Tabela n.º 4: Tempo de Concentração – Tc [h].

Expressão de cálculo	Bacia hidrográfica		
	LA_01-1	LA_01-2	LA_02
Temez	1,07	0,82	0,70
NERC	2,18	1,79	1,69
SCS	2,73	2,26	1,27
Valor médio	1,99	1,62	1,22
Valor Adotado	2,00	1,70	1,30

1.3. CAUDAIS DE PONTA DE CHEIA - QP

Curvas IDF

Para a determinação das precipitações intensas com as durações e períodos de retorno pretendidos, consideraram-se as curvas IDF propostas por BRANDÃO e RODRIGUES (2001) para o posto udométrico de Lisboa Portela (21C/02), o mais próximo da bacia em estudo.

A forma geral das curvas IDF é:

$$i = a t^b$$

em que,

i: intensidade da precipitação (mm/h);

t: duração da precipitação (min);

a, b: parâmetros da curva IDF.

Os parâmetros a e b, apresentados na tabela seguinte, são função do período de retorno e da duração da precipitação.

Tabela n.º 5: Parâmetros das curvas IDF – Posto udométrico de Lisboa Portela.

T (anos)	5 min - 30 min		30 min - 6 h		6 h - 48 h	
	a	b	a	b	a	b
10	365,580	-0,571	461,54	-0,647	955,11	-0,767
20	434,480	-0,581	506,26	-0,634	1139,40	-0,769
50	524,030	-0,592	565,82	-0,623	1378,10	-0,771
100	591,310	-0,598	611,24	-0,616	1557,10	-0,772

Apresenta-se em seguida o cálculo do caudal de cheia para os diferentes períodos de retorno, através da aplicação da fórmula racional.

Aplicação da Fórmula racional

A fórmula racional para o cálculo de caudais de ponta de cheia é dada por:

$$Q_p = \frac{C i A}{3,6}$$

em que,

Q_p: caudal de ponta de cheia (m³/s);

C: coeficiente da fórmula racional (-);

I: intensidade da precipitação com duração igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica (mm/h);

A: área da bacia hidrográfica (km²).

Os resultados do cálculo dos caudais de ponta de cheia são apresentados na tabela seguinte.

Tabela n.º 6: Caudais de ponta de cheia, obtidos pela fórmula racional, com base nas curvas IDF.

Período de Retorno - T [anos]	Bacia hidrográfica / Caudais de ponta de cheia [m ³ /s]		
	LA_01-1	LA_01-2	LA_02
10	1,65	1,17	0,92
20	2,17	1,52	1,20
50	2,81	1,99	1,55
100	3,48	2,47	1,92

2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estes caudais devem ser considerados no dimensionamento de infraestruturas de drenagem, nomeadamente a vala perimetral de proteção, de forma a proteger a zona da pedreira, e ao mesmo tempo, encaminhar os caudais afluentes para jusante, de forma a tomarem o percurso normal atual, a sul da zona de exploração.

Para as valas de drenagem perimetrais a área de lavra, considera-se a adoção dos caudais de ponta de cheia obtidos para o período de retorno de 20 anos, como sendo os adequados, tendo em atenção as condições locais.

Como já foi referido as linhas de água LA_01 e LA_02 interseitam a área de licenciamento da pedreira, com a LA_01, a ter um trecho de interceção muito superior.

No caso da LA_2, esta aproxima-se da área da Pedreira (Ponto P5 da figura abaixo) e volta a afastar-se, pelo que a interferência é muito reduzida, e com pouca influência nas condições naturais de escoamento.

No caso da linha de água LA_01, a primeira interseção com a área da pedreira ocorre a Norte, entre os pontos P1 e P2 (Ver Figura n.º6). Um pouco mais a jusante, seguindo a linha de água indicada na cartografia 1:25 000, a linha de água volta a interseçar o limite da área de licenciamento (entre os pontos P3 e P4), num trecho de cerca de 500 m.

Tal como já referido antes, estas linhas de água indicadas na cartografia 1:25 000, são zonas preferências de escoamento (linhas de talvegue), que não possuem seção de escoamento definida no terreno, pelo menos na zona de influência da área de lavra, e que também não correspondem exatamente ao traçado indicado na cartografia militar, pelo que, as condições naturais de escoamento poderão ser facilmente asseguradas, através de uma solução de modelação do terreno com um ligeiro alteamento da zona perimetral exterior à área de lavra.

De qualquer modo de forma a assegurar as condições de continuidade do escoamento das linhas de água para jusante, a solução adotada em projeto, é a de construção de valas de drenagem revestidas com elementos pré-fabricados de betão, a instalar como vala perimetral da área de lavra.

Os valores dos caudais de ponta para os pontos P3 e P4, para $T = 20$ anos são de $1,52 \text{ m}^3/\text{s}$ e $2,17 \text{ m}^3/\text{s}$ respetivamente. Optando-se pela situação mais desfavorável, com $Q_p = 2,17 \text{ m}^3/\text{s}$, será necessário construir uma vala de seção trapezoidal (taludes a $1(V)/1(H)$), revestida a betão, com

dimensões mínimas de 0,50m de rasto e 0,90 m de profundidade, com inclinação longitudinal próxima de 1% (seção obtida pela através da aplicação da formula de *Manning-Strickler*, com $K = 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, e com $V=2,19 \text{ m}^3/\text{s}$). Para verificação da dimensão da vala, recorreu-se ao modelo HEC-RAS (desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineers*), tendo sido efetuadas as simulações para regime permanente. Na transição da vala revestida em betão para o leito em terreno natural, deverá ser garantida uma zona de transição, em que a linha de água deve ser revestida com enrocamento, $D_{50}= 0,10 \text{ m}$, com uma espessura mínima de 0,20m., numa extensão mínima de 6,0 m.

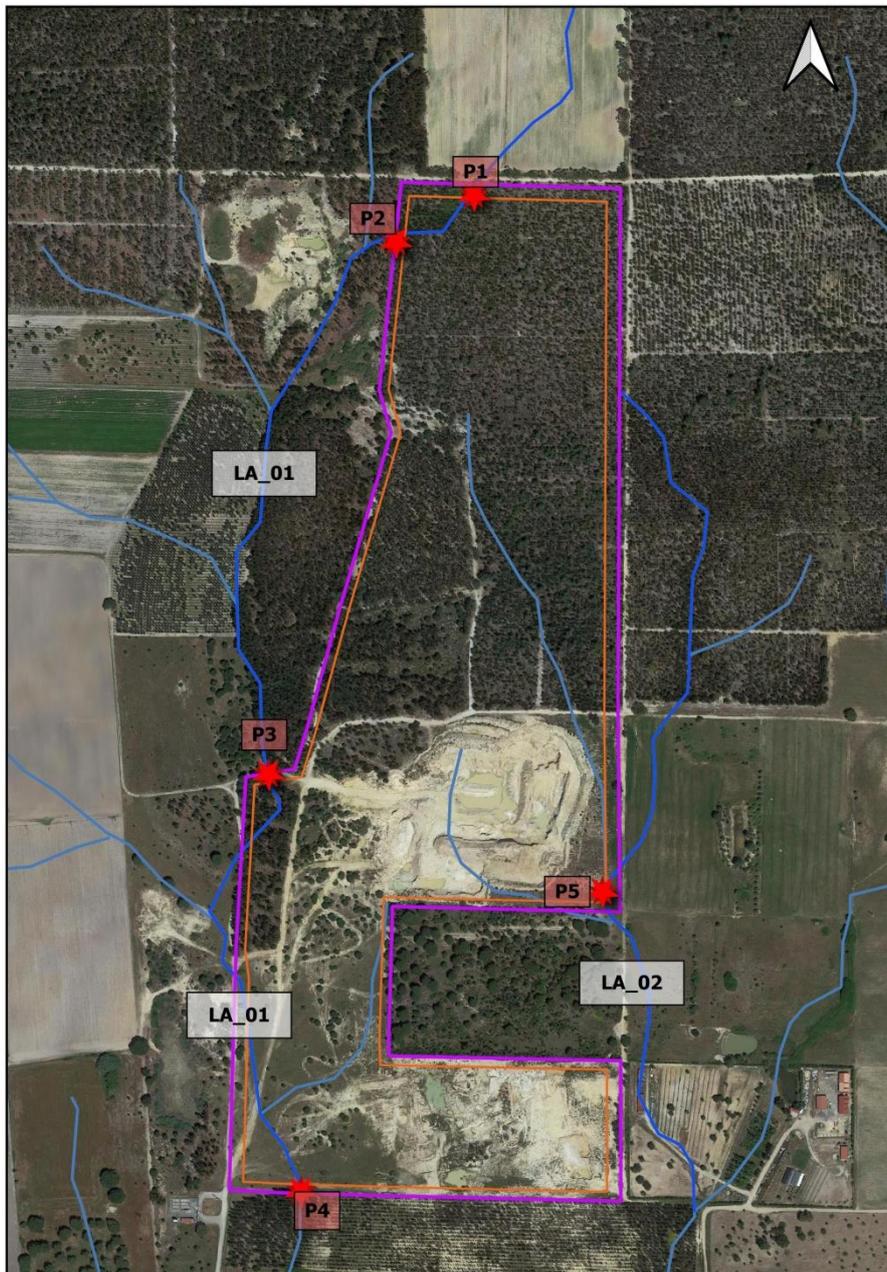


Figura n.º 7: Pontos de interseção das linhas de água principais.