

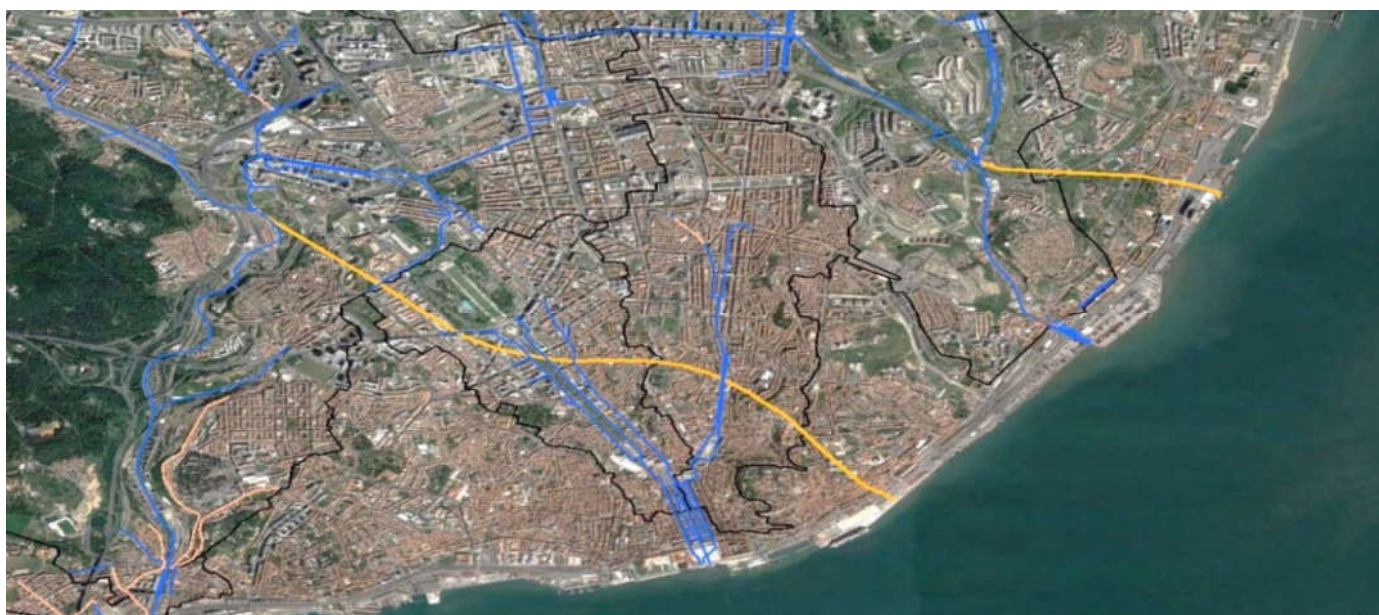


spie batignolles

international

TÚNEIS DE DRENAGEM DE LISBOA

EMPREITADA DE EXECUÇÃO DOS TUNEIS DE DRENAGEM DA CIDADE DE LISBOA E  
INTERVENÇÕES ASSOCIADAS



**PROJETO DE EXECUÇÃO**

**RELATÓRIO DE CONFORMIDADE AMBIENTAL DO PROJETO DE EXECUÇÃO  
(RECAPE)**

**VOLUME 4 – ANEXOS**

**ANEXO 8 – PROGRAMAS DE MONITORIZAÇÃO**

NOVEMBRO 2021

GER-GER-GER-PE-REL-RCE-04.08-R0



Responsável pelo RECAPE



PÁGINA EM BRANCO

## EMPREITADA DE EXECUÇÃO DOS TÚNEIS DE DRENAGEM DA CIDADE DE LISBOA E INTERVENÇÕES ASSOCIADAS

### RELATÓRIO DE CONFORMIDADE AMBIENTAL DO PROJETO DE EXECUÇÃO (RECAPE)

#### ÍNDICE GERAL

VOLUME 1 – RESUMO NÃO TÉCNICO

VOLUME 2 – RELATÓRIO BASE

VOLUME 3 – PEÇAS DESENHADAS

VOLUME 4 – ANEXOS

Data	Revisão	Descrição	Redação	Verificado	Aprovado
2021/11	0	Primeira emissão do documento	VÁRIOS	ER	RC



## EMPREITADA DE EXECUÇÃO DOS TÚNEIS DE DRENAGEM DA CIDADE DE LISBOA E INTERVENÇÕES ASSOCIADAS

### RELATÓRIO DE CONFORMIDADE AMBIENTAL DO PROJETO DE EXECUÇÃO (RECAPE)

#### VOLUME 4 – ANEXOS

#### ANEXO 8 – PROGRAMAS DE MONITORIZAÇÃO

##### ÍNDICE

- Anexo 8.1 – Programa de Monitorização da Afetação e Estabilidade do Património Arquitetónico, devido à eventual Propagação de Vibrações e/ou Assentamentos Provocados pelos Trabalhos Afetos ao Projeto
- Anexo 8.2 – Programa de Monitorização de Ruído, caso se preveja que a obra decorra no período de entardecer e /ou noturno (Fase de Construção)
- Anexo 8.3 – Programa de Monitorização dos Trabalhos Arqueológicos
- Anexo 8.4 – Monitorização Qualitativa e Quantitativa das Águas Subterrâneas nas Zonas Vulneráveis Identificadas (destaque para a zona da Estufa Fria e Alcaçarias de Alfama)



#### ANEXO 8.4

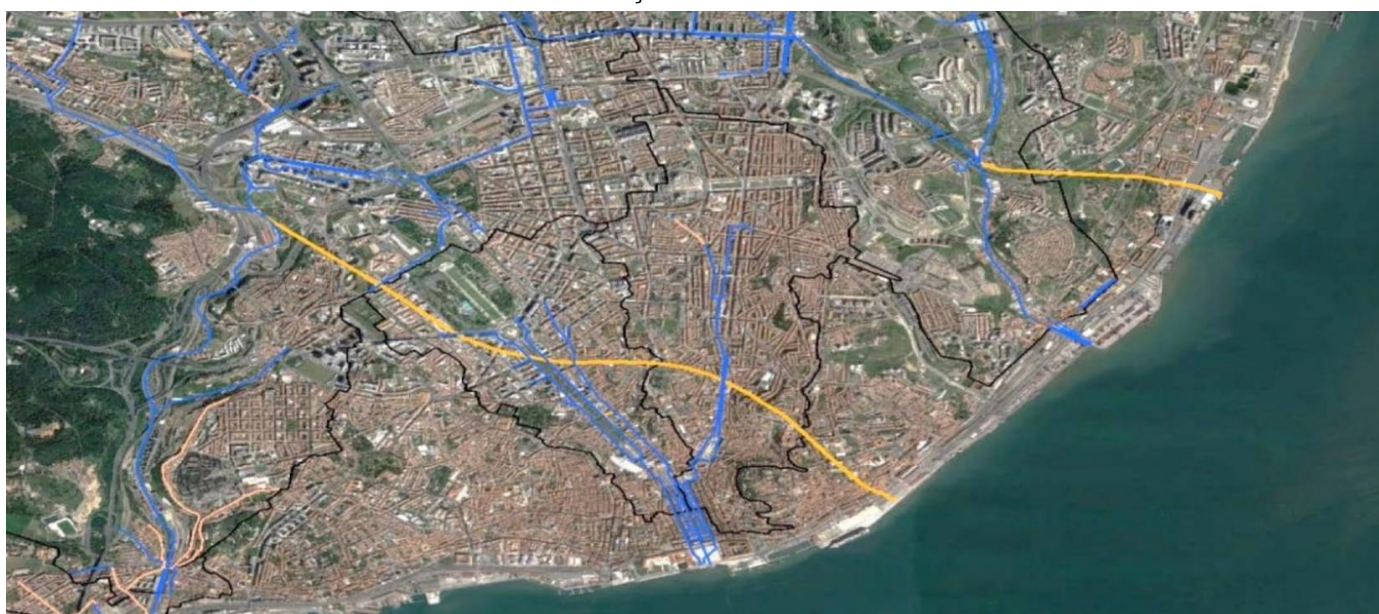
---

## **Monitorização Qualitativa e Quantitativa das Águas Subterrâneas nas Zonas Vulneráveis Identificadas (destaque para a zona da Estufa Fria e Alcaçarias de Alfama)**



TÚNEIS DE DRENAGEM DE LISBOA

EMPREITADA DE EXECUÇÃO DOS TUNEIS DE DRENAGEM DA CIDADE DE LISBOA E  
INTERVENÇÕES ASSOCIADAS



**RELATÓRIO DE CONFORMIDADE AMBIENTAL DO PROJETO DE EXECUÇÃO (RECAPE)**

VOLUME 4 - ANEXOS

ANEXO 8 – PLANOS DE MONITORIZAÇÃO

ANEXO 8.4 – MONITORIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NAS ZONAS VULNERÁVEIS  
IDENTIFICADAS (ESTUFA FRIA E ALÇAÇARIAS DE ALFAMA)

OUTUBRO 2021

GER-GER-GER-PE-REL-REC-04.84-R0





Data	Revisão	Descrição	Redação	Verificado	Aprovado
2021/10	00	Edição inicial	RC/SC	FG	SC



RELATÓRIO DE CONFORMIDADE AMBIENTAL (RECAPE)  
VOLUME 4 - ANEXOS  
ANEXO 8 – PLANOS DE MONITORIZAÇÃO

**ANEXO 8.4 – MONITORIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NAS ZONAS  
VULNERÁVEIS IDENTIFICADAS (ESTUFA FRIA E ALÇAÇARIAS DE ALFAMA)**

## 1 INTRODUÇÃO

O presente documento introduz no estudo de RECAPE o plano de monitorização hidrogeológica e hidrogeoquímica desenvolvido no Projeto de Execução do Túnel de Monsanto – Santa Apolónia da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas e que aqui se constitui como um dos anexos do RECAPE – **Anexo 8.4 - Monitorização das Águas Subterrâneas nas Zonas Vulneráveis Identificadas (Estufa Fria e Alcaçarias de Alfama)**.

O referido estudo, integrante do Projeto de Execução, intitula-se “Plano de Monitorização Hidrogeológica e Hidrogeoquímica” e pode ser consultado nos documentos de Projeto com a referência P00-GER-GER-PE-MEM-EGG-03.01.

Lisboa, Outubro, 2021



/international

TÚNEIS DE DRENAGEM DE LISBOA

## EMPREITADA DE EXECUÇÃO DOS TUNEIS DE DRENAGEM DA CIDADE DE LISBOA E INTERVENÇÕES ASSOCIADAS



### PROJETO DE EXECUÇÃO

PROJETO 00

DOCUMENTOS GERAIS

## PLANO DE MONITORIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROGEOQUÍMICA DAS ZONAS VULNERÁVEIS (ESTUFA FRIA E ALÇAÇARIAS DE ALFAMA)

AGOSTO 2021

P00-GER-GER-PE-MEM-EGG-03.01-R0



---

*Projeto 00 – Documentos gerais*

PROJETO DE EXECUÇÃO  
PLANO DE MONITORIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROGEOQUÍMICA DAS ZONAS  
VULNERÁVEIS (ESTUFA FRIA E ALÇAÇARIAS DE ALFAMA)  
P00-GER-GER-PE-MEM-EGG-03.01-R0

PROJETO 00  
DOCUMENTOS GERAIS

## PROJETO DE EXECUÇÃO

PLANO DE MONITORIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROGEOQUÍMICA DAS  
ZONAS VULNERÁVEIS (ESTUFA FRIA E ALÇAÇARIAS DE ALFAMA)

Data	Revisão	Descrição	Redação	Verificado	Aprovado
2021/08	0	Primeira emissão do documento	RC	SC	SC

---

Projeto 00 – Documentos gerais





PROJETO 00  
DOCUMENTOS GERAIS**PROJETO DE EXECUÇÃO****PLANO DE MONITORIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROGEOQUÍMICA DAS ZONAS  
VULNERÁVEIS (ESTUFA FRIA E ALÇAÇARIAS DE ALFAMA)****INDICE**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DAS ZONAS VULNERÁVEIS .....</b>	<b>6</b>
	2.1.1 Estufa-Fria .....	6
	2.1.2 Alcaçarias de Alfama .....	8
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS E CONDICIONANTES DO PLANO DE MONITORIZAÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>REDE DE MONITORIZAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
	4.1 SONDAGENS MECÂNICAS .....	14
	4.1.1 Procedimentos .....	14
	4.1.2 Classificação dos testemunhos e apresentação dos boletins.....	15
	4.2 PIEZÓMETROS .....	17
	4.3 ANÁLISES DE ÁGUAS .....	18
	4.4 PARÂMETROS A MONITORIZAR.....	19
	4.5 PERÍODO E FREQUÊNCIA DAS MEDIÇÕES .....	20
<b>5</b>	<b>LISTA DE QUANTIDADES DE TRABALHOS .....</b>	<b>21</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Planta de localização da ressurgência e poço utilizados para irrigação .....	6
Figura 2.2 – Foto histórica da antiga corta de pedra, na qual se instalou a Estufa-Fria.....	6
Figura 2.3 – Relação entre a precipitação e a profundidade do nível freático na zona da Estufa-Fria .....	7
Figura 2.4 – Extrato da Carta Geológica 34-D mostrando o par de falhas cujo prolongamento para NE intersecta o traçado do túnel TMSA e o flanco da corta onde existe a ressurgência .....	7
Figura 2.5 – Perfil geológico interpretativo da zona de Alfama (Moitinho de Almeida, 1972) – Retirado de Elsa Cristina Ramalho e Maria Carla Lourenço (2006).....	9
Figura 2.6 – Modelo hidrogeológico conceptual da área de estudo a partir do corte geológico de Moitinho de Almeida (1986) – Retirado de R. Marrero-Diaz e E. C. Ramalho (2015).....	9
Figura 2.7 – Limite de Proteção às Ocorrências Hidrominerais de Alfama (PDM Lisboa, 2010) .....	11

## INDICE DE QUADROS

Quadro 4.1 – Características das sondagens a realizar para instalação dos piezómetros da rede de monitorização .....	14
Quadro 4.2 – Classes de qualidade global do maciço rochoso, estimadas através do RQD.....	16
Quadro 4.3 – Classes de espaçamento das discontinuidades .....	16
Quadro 4.4 – Classes de alteração do maciço rochoso.....	17
Quadro 4.5 – Extensão e profundidades de princípio das câmaras de admissão de água.....	17
Quadro 4.6 – Parâmetros a analisar sobre as amostras de águas subterrâneas.....	18

## INDICE DE FOTOS

## INDICE DE DESENHOS

- Localização dos Piezómetros da Rede de Monitorização (1/2): P00 - GER - GER - PE - DES - EGG – 03.01 – R0 – 01 ago/21

- Localização dos Piezómetros da Rede de Monitorização (2/2): P00 - GER - GER - PE - DES - EGG –  
03.02 – R0 – 02 ago/21

## ANEXOS

### ANEXO 1: Peças Desenhadas



PROJETO 00  
DOCUMENTOS GERAIS

**PROJETO DE EXECUÇÃO**

**PLANO DE MONITORIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROGEOQUÍMICA DAS ZONAS  
VULNERÁVEIS (ESTUFA FRIA E ALÇAÇARIAS DE ALFAMA)**

**1 INTRODUÇÃO**

Apresenta-se neste documento o plano de monitorização hidrogeológica e hidrogeoquímica das zonas vulneráveis na envolvente do túnel de Monsanto-Santa Apolónia, nomeadamente a zona da Estufa-Fria e das Alcaçarias de Alfama e o mesmo pretende dar resposta às solicitações realizadas no Estudo Hidrogeológico - Anexo ao EIA - Anexo All-1 – Hidrogeologia da Waterways (2017) e que transitaram para a DIA emitida pela APA e que consta do Processo de Concurso (CE\_2\_6\_1).

O plano decorre dos estudos realizados para a fase de Estudo Prévio e das visitas de reconhecimento efetuadas ao traçado do túnel TMSA e às zonas consideradas vulneráveis, durante as quais se avaliaram as condições geológicas e geotécnicas locais “in situ”.

Constituíram-se como base para os reconhecimentos e para o estabelecimento do modelo hidrogeológico conceptual, o levantamento topográfico constante da patente do concurso, a Carta Geológica de Lisboa, Folhas 3 e 4, à escala 1:10.000 e a carta Geológica de Portugal, na escala 1:50.000, folha 34-D.

O plano de monitorização proposto assenta na realização de sondagens nas quais se instalarão tubos piezométricos munidos de sondas multiparamétricas, para controle permanente dos níveis de água e dos parâmetros qualitativos temperatura e condutividade elétrica, de oxigénio dissolvido, potencial redox e nitratos.

A localização em planta, bem como as suas coordenadas de implantação da rede piezométrica definida encontra-se nos Desenhos 01 e 02 no final deste volume.

---

*Projeto 00 – Documentos gerais*

## 2 CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DAS ZONAS VULNERÁVEIS

### 2.1.1 ESTUFA-FRIA

A Estufa-Fria ocupa atualmente o local de uma antiga pedreira de basaltos e de calcários na sua base (Figura 2.2), escavada em corta, cuja laboração foi cessada pela existência de uma ressurgência num dos flancos da corta que aparentemente tornou a exploração inviável. Essa ressurgência é hoje utilizada pelo pessoal técnico da Estufa-Fria para suprir parte das necessidades de irrigação (o restante é assegurado pela rede de abastecimento público), sendo que no local existe também um poço utilizado com o mesmo propósito (Figura 2.1).



Figura 2.2 – Foto histórica da antiga corta de pedreira, na qual se instalou a Estufa-Fria

O modelo hidrogeológico conceptual da zona da Estufa-Fria parece indicar que a ressurgência e poço têm origem no contato entre as rochas vulcânicas do CVL e calcárias da Formação da Bica, fazendo-se a recarga deste sistema por infiltração pluvial que aparentemente é de resposta rápida, como mostram os dados da Waterways (2017) sintetizados na Figura 2.3.

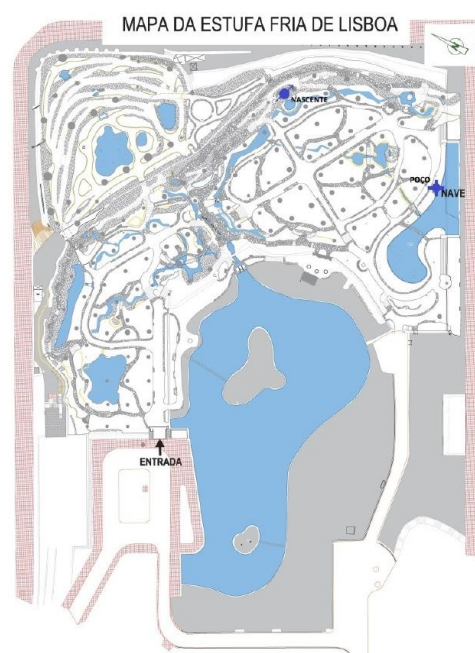


Figura 2.1 – Planta de localização da ressurgência e poço utilizados para irrigação



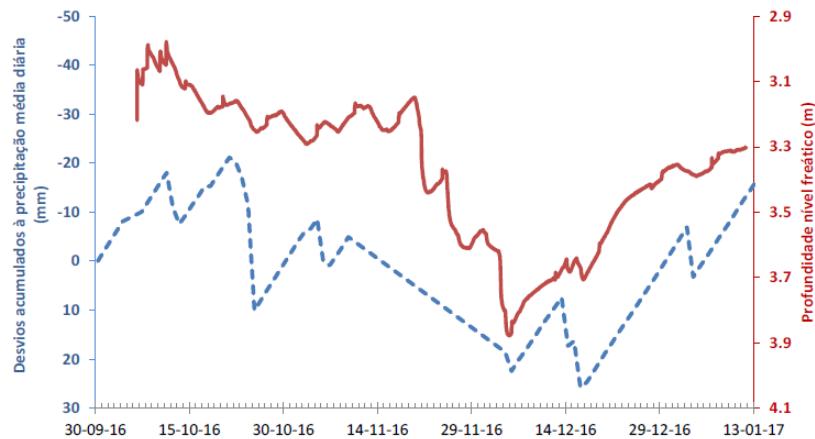


Figura 2.3 – Relação entre a precipitação e a profundidade do nível freático na zona da Estufa-Fria

Não é de descartar igualmente que possa existir uma contribuição forte para a recarga do sistema Estufa-Fria através de um par de falhas de direção geral NNE-SSW que afetam quer as formações do CVL quer da Formação da Bica e cujo prolongamento para o quadrante NE passa no flanco da corta onde se constitui a ressurgência. O prolongamento deste par de falhas intersecta igualmente o túnel TMSA entre os PK 1+100 e 1+150 (Figura 2.4).

Para além da recarga direta por infiltração local e a recarga através do par de falhas, não é expectável outras formas de recarga na envolvente, dado que o maciço em questão, testado por um ensaio de bombagem junto a um dos portões laterais da Penitenciária de Lisboa, se revelou de transmissividade muito baixa ( $0,09 \text{ m}^2/\text{dia}$ ) e o furo de observação apresentou-se sempre seco durante a realização do ensaio.



Figura 2.4 – Extrato da Carta Geológica 34-D mostrando o par de falhas cujo prolongamento para NE intersecta o traçado do túnel TMSA e o flanco da corta onde existe a ressurgência

As amostras recolhidas na Estufa-Fria (poço e ressurgência) revelam quimismo semelhante e característico das formações carbonatadas do Cretácico, sendo em ambos os casos águas de fácies hidroquímica bicarbonatada – cálcica, com o ião magnésio claramente deficitário. A temperatura da água (entre 17 e 18°) revelam águas de infiltração recente, confirmando, mais uma vez a resposta rápida da recarga subterrânea.

### 2.1.2 ALÇAÇARIAS DE ALFAMA

As Alçaçarias de Alfama, pelo menos aquelas que foram utilizadas com fins mais nobres (mineromedicinais ou concessionadas para alimentação de balneários públicos), e que no final do século XIX foram qualificadas de “águas minero-medicinais” pela então Inspeção de Águas, correspondem a um conjunto de nascentes ditas “quente”, isto é com temperaturas em geral superiores a 20° entre o Largo do Chafariz de Dentro a oriente e o Largo do Chafariz d’El-Rei a ocidente. As Alçaçarias de D. Clara (24°-28°C), Alçaçarias do Baptista (32° a 34°C), Banhos do Doutor (27°C) e as Alçaçarias do Duque (30°C a 34°C), foram, sem dúvida, emergências de água quente, enquanto que entre as águas frias contava-se para além dos chafarizes de Dentro e d’El Rei, a Bica do Jardim do Tabaco, Largo da Fundação e a Bica do Sapato.

As “águas quentes” (designadas por Grupo das Alçaçarias) parecem estar alinhadas no contacto oculto pelas aluviões entre o Complexo das Areolas da Estefânia (MII) e o Complexo dos Calcários de Entrecampos (MIII), entre duas falhas (falha de Alcântara e falha acessória/secundária) de direção aproximada NE-SW (Moitinho de Almeida, 1972). Estas águas “quentes” são o resultado provável da ascensão de águas profundas. As águas ditas “frias” associadas aos chafarizes e bicas estarão associadas a processos de infiltração superficial e percolação aproximada segundo o declive natural das unidades geológicas, sendo que quando no seu percurso a água encontra um substrato impermeável acaba por aflorar à superfície e dar origem a uma nascente.

O Grupo das Alçaçarias encontra-se enquadrado estruturalmente por cinco falhas principais de direção aproximada NE-SW (Moitinho de Almeida, 1972) e ainda, segundo Marrero-Diaz *et al.* (2021), por outras falhas acessórias que facilitam a ascensão de águas profundas. Os perfis geológicos interpretativos na zona (Figura 2.5 e Figura 2.6), elaborados por Moitinho de Almeida (1972) e R. Marrero-Diaz e E. C. Ramalho (2015) mostram três troços distintos, observando-se no central o Complexo dos Calcários de Entrecampos (MIII) como aflorante e nos outros dois o mesmo complexo já localizado a profundidades apreciáveis. Destaca-se também, em termos geológicos, a presença no Largo do Chafariz de Dentro, de

um aquífero instalado no Complexo das Areolas da Estefânia (MII), detetado por uma sondagem (ML78) realizada em 1970 pela Teixeira Duarte, que aos 12 m revelou forte artesianismo repuxante (6,2 L/s) e temperatura de 25,5 °C (Moitinho de Almeida, 1972).

Um dos ramos da falha de Alcântara e uma outra falha acessória inserem a obra de descarga do túnel TMSA, estando as mesmas encobertas pelos depósitos e aluvionares e de aterro que aí existem.

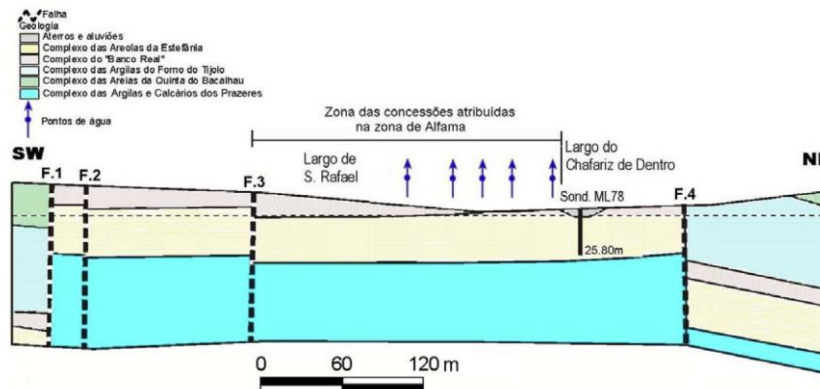


Figura 2.5 – Perfil geológico interpretativo da zona de Alfama (Moitinho de Almeida, 1972) – Retirado de Elsa Cristina Ramalho e Maria Carla Lourenço (2006)

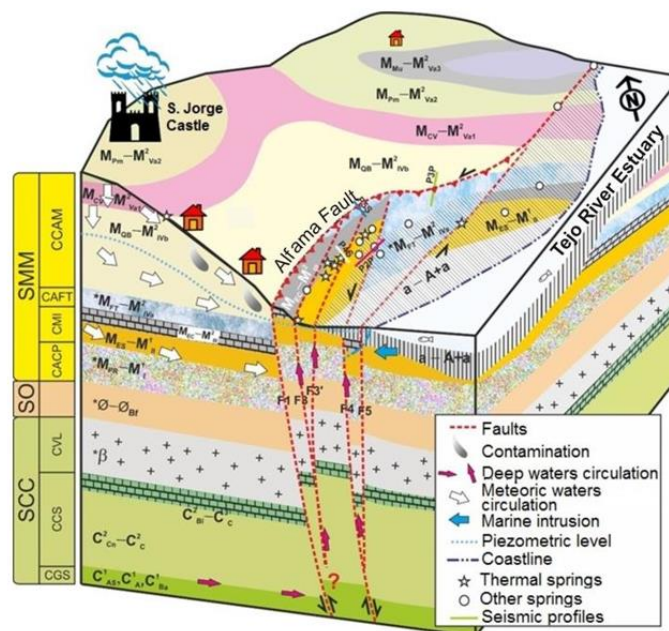


Figura 2.6 – Modelo hidrogeológico conceptual da área de estudo a partir do corte geológico de Moitinho de Almeida (1986) – Retirado de R. Marrero-Diaz e E. C. Ramalho (2015)

Projeto 00 – Documentos gerais

PROJETO DE EXECUÇÃO  
PLANO DE MONITORIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROGEOQUÍMICA DAS ZONAS  
VULNERÁVEIS (ESTUFA FRIA E ALÇAÇARIAS DE ALFAMA)  
P00-GER-GER-PE-MEM-EGG-03.01-R0

Atualmente, na zona de Alcântara não resta qualquer evidência destas ocorrências de águas “frias” e “quentes”, nem de outras águas com características similares (Ribeiro et al., 2005), estando as mesmas encerradas no interior de edifícios ou sob arruamentos e canalizadas para o Tejo. Já anteriormente muitas destas ocorrências tinham sido dadas como inquinadas devido à forte contaminação na área e portanto abandonadas.

Relativamente ao seu carácter mineromedicinal anteriormente atribuído, estudos recentes realizados por Marrero-Diaz *et al.* (2021) não confirmam a presença de nascentes reais com estas características mineromedicinais. De facto, amostras de águas subterrâneas de circulação profunda das nascentes históricas parecem estar misturadas, seja com água contaminada (água não meteórica, possivelmente de saneamento urbano) ou com água estuarina salobra (Na-Cl), ou mesmo ambas. Este contexto perspetiva-lhes um enquadramento muito pouco favorável como recursos hidrominerais.

Relativamente ao potencial geotérmico destas ocorrências, os cálculos realizados por R. Marrero-Diaz e E. C. Ramalho (2015) e Marrero-Diaz *et al.* (2021) indicam temperaturas de equilíbrio entre 35º 3 85 °C no aquífero profundo, a profundidades de circulação superiores a 500 m, que sugerem um bom potencial como recursos geotérmicos de baixa entalpia. Contudo, sendo esta uma área fortemente urbanizada e consolidada, parece difícil a concessão de uma exploração deste género numa perspetiva de custo-benefício aceitável.

Deve referir-se ainda, que na expectativa de a zona poder constituir um dia um recurso hidromineral e geotérmico, associada à mesma foi definido no PDM de Lisboa de 2010, um limite de proteção às ocorrências hidrominerais, que a Figura seguinte dá conta.





### 3 OBJETIVOS E CONDICIONANTES DO PLANO DE MONITORIZAÇÃO

São objetivos deste plano de monitorização hidrogeológica e hidrogeoquímica:

- A definição de uma rede de piezómetros na envolvente do túnel TMSA/Estufa-Fria e das Alcaçarias de Alfama, piezómetros esses equipados com sondas multiparamétricas de registo contínuo, que permitam a determinação dos seguintes parâmetros: níveis de água, temperatura e condutividade elétrica, oxigénio dissolvido, potencial redox e nitratos;
- A definição da frequência de medição dos parâmetros obtidos nas sondas de registo contínuo e do período de medição a realizar;
- A definição dos parâmetros hidráulicos a registar, frequência e período de medição no poço e nascente existente na Estufa-Fria.

A rede de monitorização proposta para a Estufa-Fria é composta por três (3) piezómetros orientados segundo o traçado do par de falhas que eventualmente intersejam o TMSA entre os PK 1+100 e 1+150 e se presumem ser zona de recarga das ocorrências de águas na Estufa-Fria. Um dos piezómetros será instalado na envolvente do túnel (a cerca de 1Ø para o exterior do seu extradorso) e outro será colocado junto ao flanco da antiga pedreira onde se constituiu a Estufa-Fria e onde se observa a ressurgência. O restante piezómetro ficará a meia distância entre estes dois.

A rede de monitorização proposta para as Alcaçarias de Alfama é composta por três (3) piezómetros orientados quer pela direção das falhas que facilitam a ascensão profunda de águas e que intersejam a obra de descarga do túnel quer pelo limite de proteção das Alcaçarias proposto no PDM de Lisboa, de 2010.

Em cada uma das redes de monitorização foi seguida a metodologia de avaliar as águas antes do eventual foco de contaminação/barreira física, avaliar após o foco de contaminação/barreira e física e finalmente avaliar junto à área que eventualmente será afetada pelo foco de contaminação/barreira física.

Os Desenhos 01 e 02 em anexo a este documento mostram as localizações propostas para cada um destes piezómetros integrantes da rede de monitorização

Considera-se como condicionantes para a instalação da rede de monitorização da Estufa-Fria, a incerteza quanto à zona e meio de recarga do poço e nascente existentes, fruto da escassa informação disponível acerca destas ocorrências locais e dos sistemas aquíferos em que as mesmas se inserem.

No que respeita às Alcaçarias de Alfama, as maiores condicionantes prendem-se com a incerteza quanto ao traçado das falhas que facilitam a ascensão de águas do aquífero profundo, principalmente o seu prolongamento para Este e para o local onde se desenvolve a obra de descarga do TMSA.



## 4 REDE DE MONITORIZAÇÃO

### 4.1 SONDAGENS MECÂNICAS

#### 4.1.1 PROCEDIMENTOS

Como referido, a rede de monitorização da Estufa-Fria e das Alcaçarias de Alfama será constituída por três piezómetros em cada uma delas.

As sondagens para a instalação destes piezómetros serão verticais e realizadas até às profundidades indicadas no Quadro seguinte.

Quadro 4.1 – Características das sondagens a realizar para instalação dos piezómetros da rede de monitorização

Designação da sondagem	Localização	Comprimento		
		Destrutivo com martelo de diâmetro 125mm, ou trialeta/washboring	Carotado com diâmetro 86-101mm	Total
SEF1	Rede monitorização Estufa-Fria/TMSA	61m	26m	87m
SEF2	Rede monitorização Estufa-Fria	-	25m	25m
SEF3	Rede monitorização Estufa-Fria/Estufa-Fria	-	28m	28m
SAA1	Rede monitorização Alcaçaria Alcântara (obra de descarga)	-	15m	15m
SAA2	Rede monitorização Alcaçaria Alcântara/perímetro proteção	-	15m	15m
SAA3	Rede monitorização Alcaçaria Alcântara/perímetro proteção	-	15m	15m

A furação na sondagem SGAEF1, junto ao túnel TMSA, será realizada à rotação destrutiva com martelo de diâmetro 125mm, ou trialeta/washboring, até cerca de 2 $\emptyset$  acima da abóbada do túnel e na extensão compreendida entre os 2 $\emptyset$  acima da abóbada e 1 $\emptyset$  abaixo da soleira do túnel, será feita à rotação integralmente com o recurso a amostradores de parede dupla, normalizados de diâmetro 86 a 101mm.

A furação das restantes sondagens (SGAEF2, SGAEF3, SGAAA1-3) será feita integralmente à rotação com o recurso a amostradores de parede dupla preferencialmente, normalizados de diâmetro externo 86 a 101mm.

Os testemunhos recuperados serão devidamente acondicionados em caixas apropriadas, devidamente identificadas, contendo no interior a indicação das profundidades de extração e sempre que se justifique, informações sobre manobras anómalas operadas, como sejam perdas totais e ainda obtenção de percentagens de recuperação inferiores a 50%. Estas caixas serão temporariamente armazenadas em lugares próprios, ficando, sob a responsabilidade do Adjudicatário, protegidas das chuvas e dos raios solares intensos.

No final dos trabalhos e por ordem do Dono de Obra, o Adjudicatário depositará em lugar a designar, as caixas completas contendo os tarolos das furações.

Os tarolos recuperados serão ainda fotografados com máquina digital, com boas condições de iluminação, de modo a que seja possível confrontar a imagem da rocha/solo amostrada(o) com a descrição em diagrama.

O nível de água no interior das sondagens deverá ser medido no início e no fim de cada turno de trabalho. Findas as sondagens, deverá a equipa presente apontar o nível de água estabilizado, se este existir.

Adicionalmente a estas prescrições, deverão ser seguidos os procedimentos constantes das normas BS 5930 – Code of Practice for Site Investigations; EN 1997-2, Eurocode 7: Geotechnical Design — Part 2: Ground investigation and testing, ou equivalente europeia.

#### 4.1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS TESTEMUNHOS E APRESENTAÇÃO DOS BOLETINS

Os resultados das sondagens serão sintetizados em boletins individuais (logs), que conterão as seguintes informações

- Identificação do equipamento;
- Informação geral da furação e do revestimento (tipo, comprimento e diâmetro);
- Designação da sondagem;
- Coordenadas e cotas;
- Data do início e fim dos trabalhos;
- Sequência lito-estratigráfica;
- Posição do nível de água no início e fim da furação;
- Profundidade de colheita da amostra de águas;
- Índices de qualidade do maciço;

- Ocorrências anormais.

Os testemunhos recuperados deverão ser classificados macroscopicamente quanto à sua tipologia (solos, rochas) e estratigrafia (posição na coluna estratigráfica local).

A classificação macroscópica dos testemunhos de solos amostrados deverá atender aos seguintes critérios:

- Nomenclatura e proveniência (aterros, aluviões, coluviões, solos da série miocénica)
- Tipo de solo/granulometria principal (argila, silte, areia, cascalho);
- Percentagens da composição macroscópica (constituintes principais e secundários);
- Forma das partículas principais (rolada, sub-rolada, sub-angular e angular);
- Cor;
- Textura e arranjo estrutural (intercalações, laminações, gradações, fissuração, bolsadas, lentes, veios...);
- Consistência e compacidade.

Os testemunhos de rocha deverão ser enquadrados nos índices qualitativos de utilização generalizada, a saber:

- Índice de recuperação (percentagem de recuperação por manobra) – R;
- «Rock Quality Designation» - Índice RQD (Deere, 1963) - Quadro 4.2;
- Espaçamento das fraturas – F (SIMR) - Quadro 4.3;
- Grau de alteração - W (SIMR) - Quadro 4.4.

Quadro 4.2 – Classes de qualidade global do maciço rochoso, estimadas através do RQD

Classes	RQD (%)	Classificação do maciço
RQD 1	90-100	Excelente
RQD 2	75-90	Bom
RQD 3	50-75	Razoável
RQD 4	25-50	Fraco
RQD 5	0-25	Muito fraco

Quadro 4.3 – Classes de espaçamento das discontinuidades

Classes	Espaçamento (cm)	Designação
F1	>200	Muito afastadas
F2	60-200	Afastadas

Classes	Espaçamento (cm)	Designação
F3	20-60	Medianamente afastadas
F4	6-20	Próximas
F5	<6	Muito próximas

Quadro 4.4 – Classes de alteração do maciço rochoso

Classe	Designação	Características das carotes/maciço
W1	Rocha intacta	Sem quaisquer sinais de alteração
W2	Rocha pouco alterada	Sinais de alteração apenas nas imediações das descontinuidades
W3	Rocha medianamente alterada	Alteração visível em todo o maciço, mas a rocha não é friável
W4	Rocha muito alterada	Alteração visível em todo o maciço e a rocha é parcialmente friável
W5	Rocha decomposta	O maciço apresenta-se completamente friável, com aspeto de solos; contudo a estrutura da rocha mãe mantém-se intacta

## 4.2 PIEZÓMETROS

Os furos de sondagem atrás especificados serão equipados com tubos piezométricos, com diâmetro suficiente para que no seu interior se possa instalar uma sonda paramétrica de registo contínuo e eventualmente cabo conector.

A dimensão da câmara de admissão de água e a sua posição serão a definir no final da furação e em função do perfil individual da respetiva sondagem, admitindo-se, desde já os valores constantes do Quadro seguinte.

Quadro 4.5 – Extensão e profundidades de princípio das câmaras de admissão de água

Designação da sondagem	Designação do piezómetro	Localização	Profundidade de princípio da câmara
SEF1	PEF1	Rede monitorização Estufa-Fria/TMSA	72-77m
SEF2	PEF2	Rede monitorização Estufa-Fria	17-22m
SEF3	PEF3	Rede monitorização Estufa-Fria/Estufa-Fria	20-25m
SAA1	PAA1	Rede monitorização Alcaçaria Alcântara (obra de descarga)	9-14m
SAA2	PAA2	Rede monitorização Alcaçaria Alcântara/perímetro proteção	9-14m
SAA3	PAA3	Rede monitorização Alcaçaria Alcântara/perímetro proteção	9-14m

Projeto 00 – Documentos gerais

Os piezómetros a instalar serão do tipo simples, com câmara de admissão do tipo crepinada, devido às exigências de dimensão da sonda multiparamétrica a instalar.

A cabeça do tubo piezométrico deverá ser protegida superiormente por um maciço de betão pobre e este maciço munido de uma tampa metálica, para proteção.

#### 4.3 ANÁLISES DE ÁGUAS

Em todas as sondagens, antes da instalação das sondas multiparamétricas de registo contínuo previstas, será feita uma colheita de amostra de água subterrânea para a determinação da sua composição química. Estas análises serão a fazer imediatamente antes do início da construção das obras, para estabelecimento da situação de referência e os parâmetros a determinar serão:

Quadro 4.6 – Parâmetros a analisar sobre as amostras de águas subterrâneas

Parâmetros	Expressão dos resultados	Métodos analíticos de referência
Alumínio (Al)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular
Arsénio (As)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular
Bário (Ba)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular
Berílio (Be)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular
Boro (B)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular
Cádmio (Cd)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou polarografia
Chumbo (Pb)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou polarografia
Cloretos (Cl)	mg/l	Titulação (método de Mohr) ou espectrometria de absorção molecular
Cobalto (Co)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica
Cobre (Cu)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular ou polarografia
Crómio total (Cr)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica ou espectrometria de absorção molecular
Estanho (Sn)	mg/l	
Ferro (Fe)	mg/l	Espectrometria de absorção atómica depois de filtração sobre membrana filtrante (0,45 mm) ou espectrometria de absorção molecular depois de filtração sobre membrana filtrante (0,45 mm)
Flúor (F)	mg/l	Espectrometria de absorção molecular ou elétrodos específicos

Parâmetros	Expressão dos resultados	Métodos analíticos de referência
Lítio (Li)	mg/l	Espectrometria de absorção atômica
Manganés (Mn)	mg/l	Espectrometria de absorção atômica Espectrometria de absorção
Molibdénio (Mo)	mg/l	Espectrometria de absorção atômica
Níquel (Ni)	mg/l	Espectrometria de absorção atômica
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	mg/l	Espectrometria de absorção ou elétrodos específicos
Salinidade (CE,SDT)	dS/m;mg/l	Eletrometria Secagem a 180°C e pesagem
SAR <sup>(1)</sup>		$SAR = Na/[(Ca + Mg)/2]^{1/2}$ (Concentração dos cátions expressa em meq/l)
Selénio (Se)	mg/l	Espectrometria de absorção atômica
Sólidos suspensos totais (SST)	mg/l	Centrifugação (tempo mínimo de cinco minutos; aceleração média de 2800 g a 3000 g), secagem a 105 °C e pesagem ou filtração através da membrana filtrante de 0,45 mm, secagem a 105°C e pesagem
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/l	Gravimetria ou complexometria ou espectrometria
Vanádio (V)	mg/l	Absorção atômica
Zinco (Zn)	mg/l	Espectrometria de absorção atômica ou espectrometria de absorção molecular
pH	Escala de Sorensen	Eletrometria
Coliformes fecais	/100 ml	Fermentação em tubos múltiplos e subcultura dos tubos positivos em meios de confirmação. Determinação por NMP
Ovos de parasitas intestinais	N/l	Contagem com o auxílio de microscópio

(1) A relação de adsorção de sódio (SAR) é traduzida pela seguinte equação, onde as concentrações devem estar expressas em meq/l:  $SAR = Na/[(Ca+Mg)/2]^{1/2}$

#### 4.4 PARÂMETROS A MONITORIZAR

Em todos os piezómetros serão instaladas sondas multiparamétricas de registo contínuo dos parâmetros quantitativos e qualitativos das águas subterrâneas.

As sondas a instalar, para além do sensor de determinação do nível de água, temperatura e condutividade elétrica, deverão ser equipadas com elétrodos seletivos para determinação do oxigénio dissolvido, potencial redox e nitratos.

Caso se opte por sondas com cabo, deverá dar-se preferência a cabo ventilado.

No poço e ressurgência da Estufa-Fria os parâmetros quantitativos a monitorizar são o nível de água no poço e o caudal da ressurgência.

#### 4.5 PERÍODO E FREQUÊNCIA DAS MEDIÇÕES

O período durante o qual se prevê a realização das medições dos parâmetros das águas subterrâneas nos piezómetros é durante a fase de obra e o 1.º ano da fase exploração. Caso se verifique que existe impacto do túnel nos níveis piezométricos deverá manter-se a monitorização dos parâmetros qualitativos (temperatura e condutividade elétrica) durante a fase de exploração.

A monitorização do nível de água e caudal do poço e ressurgência existentes na Estufa-Fria está previsto realizar-se durante a fase de obra e o 1.º ano da fase exploração. Caso se verifique que existe impacto do túnel nos níveis do poço e caudal da ressurgência, deverá manter-se a monitorização durante a fase de exploração.

A frequência das medições nos piezómetros, poço e ressurgência da Estufa-Fria será a seguinte:

- Durante a fase de obra: 1 medição quinzenal que poderá passar a mensal se não verificarem alterações significativas nos níveis de água e nos parâmetros físico-químicos num período consecutivo de 3 meses;
- Durante o 1º ano da exploração: 1 medição mensal, que pode passar a trimestral se não verificarem alterações significativas nos níveis de água e nos parâmetros físico-químicos num período consecutivo de 3 meses;
- Durante a fase de exploração: 1 medição semestral.



## 5 LISTA DE QUANTIDADES DE TRABALHOS

Item	Designação	Unid.	Quant.
1	<b>Levantamento topográfico das sondagens (coordenadas e cotas)</b>	un	6
2	<b>Sondagens mecânicas à rotação</b>		
2.1	Mobilização do equipamento, incluindo a criação de acessos e eventuais plataformas, licenças de ocupação de via, policiamento e sinalização	vg	1
2.2	Instalação da sonda por ponto de sondagem	un	6
2.3	Furação:		
2.3.1	Furação à rotação com carotagem com $\phi \geq 86\text{mm}$ :		
2.3.1.1	- em qualquer tipo de terreno	m	124
2.3.2	Furação destrutiva com martelo, trialeta ou wash-boring	m	61
2.5	Colheita de amostras de águas subterrâneas	un	6
2.6	Instalação de piezómetros	m	185
3	<b>Sondas multiparamétricas</b>		
3.1	Instalação de sonda multiparamétrica com sensor de determinação do nível de água, temperatura e condutividade elétrica e equipadas com elétrodos seletivos para determinação do oxigénio dissolvido, potencial redox e nitratos, por ponto de sondagem/piezómetro	un	6
4	<b>Ensaio de Laboratório</b>		
4.1	Sobre águas subterrâneas		
4.1.1	Conjunto de ensaios conforme definido no Quadro 4.6	un	6

Lisboa, Agosto 2021

# ANEXO 1

## PEÇAS DESENHADAS

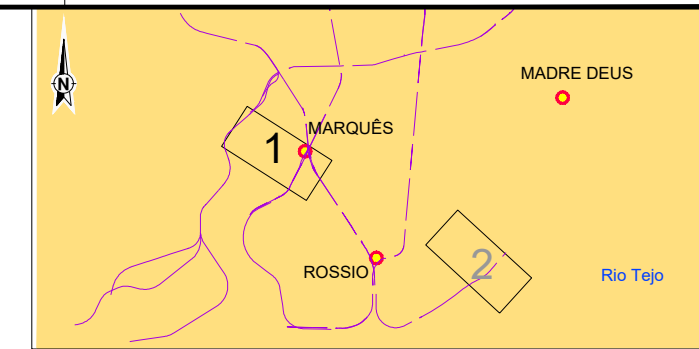
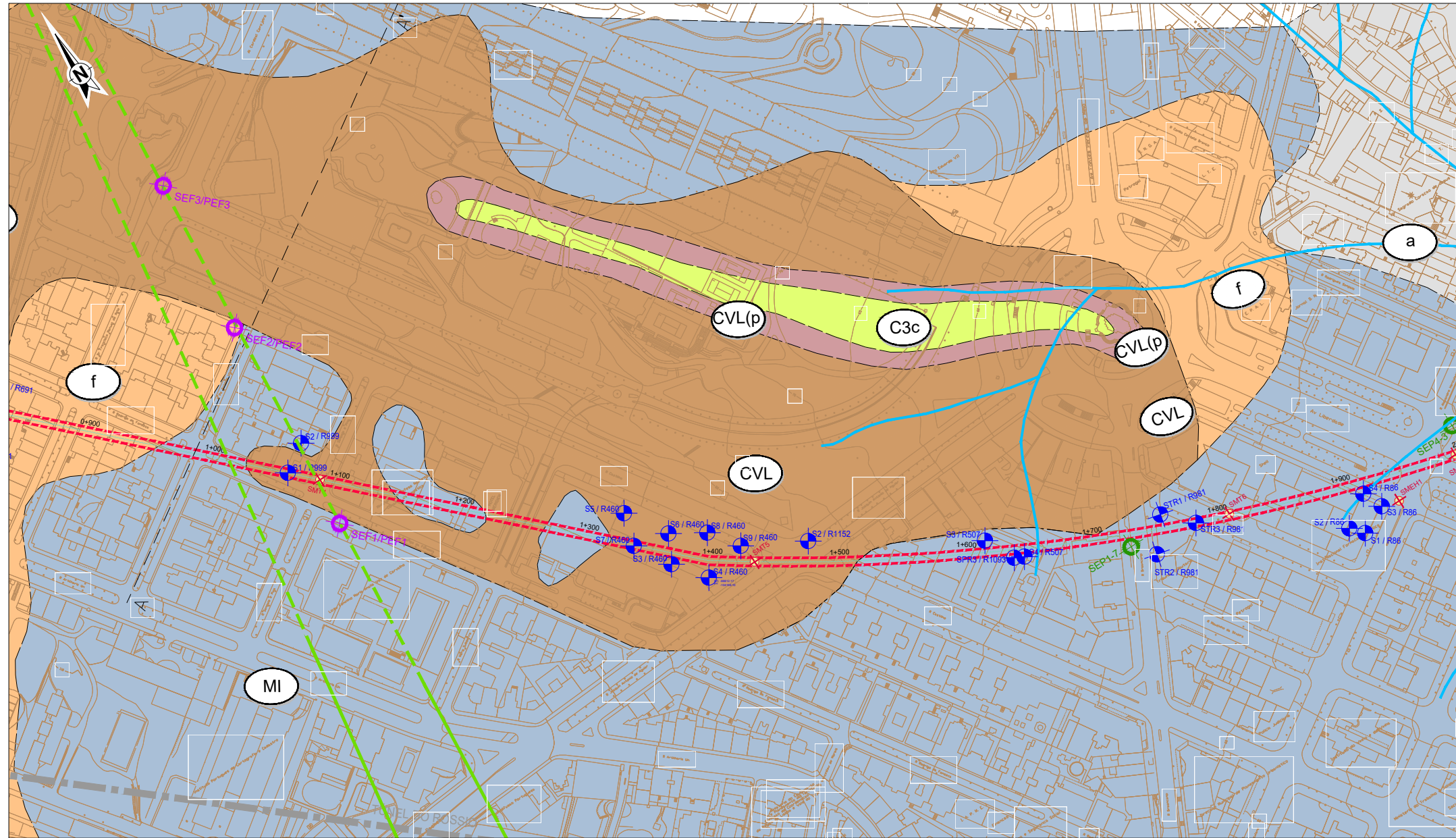
---

*Projeto 00 – Documentos gerais*

PROJETO DE EXECUÇÃO  
PLANO DE MONITORIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E HIDROGEOQUÍMICA DAS ZONAS  
VULNERÁVEIS (ESTUFA FRIA E ALÇAÇARIAS DE ALFAMA)

P00-GER-GER-PE-MEM-EGG-03.01-R0

REDE MONITORIZAÇÃO TMSA/ESTUFA-FRIA  
PLANTA  
A1=1:2000/A3=1:4000



**LEGENDA**

- ENVOLVENTE DE 100 M
- EIXO DO TÚNEL
- LIMITE DE BACIA HIDROGRÁFICA
- CANEIRO DE ALCÂNTARA
- ANTIGO TRAÇADO RIBEIRA VALVERDE

**FUNDO GEOLÓGICO**  
Adaptado da Carta Geológica de Lisboa na escala 1:10 000

**Estratigrafia**

- a / Ld / At Aluviões (a), Lodos (ld) e Aterros (At)
- MVa3 Formação dos Calcários de Musgueira (Mv3)
- MVa2 Formação das Areias com Placuna Miocénica (Mv2): intercalações calcárias
- MVa1 Formação dos Calcários de Casal Vistoso (Mv1)
- MIVb Formação das Areias de Quinta do Bacalhau (MIVb)
- MIVa Formação das Argilas de Forno do Tijolo (MIVa)
- MIII Formação dos Calcários de Entrecampos ("Banco Real") (MIII)
- MII Formação das Areolas de Estefânia (MII)
- MI Formação das Argilas dos Prazeres (MI): argilitos e calcários
- f Formação de Benfico
- CVL Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL)
- CVL(p) CVL - Rochas piroclásticas
- C3c Formação da Bica: calcários com rudistas
- C2AC Formação da Caneiros: calcários, margos, arenitos e dolomitos

**TRABALHOS DE PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA COMPLEMENTAR PROGRAMADOS:**

Representação em planta:

- SE+ - Sondagens mecânicas à rotação acompanhadas da execução sistemática de ensaios SPT
- SEP+ - Sondagens mecânicas à rotação acompanhadas da execução sistemática de ensaios SPT e instalação de piezómetros
- PME+ - Ensaios com piezómetro de Ménard
- CPTe+ - Ensaio CPTu
- SGE+ - Sondagem geoambiental

Representação em perfil:

- SE+
- SEP+
- PME
- CPTe
- SGE

**SONDAGENS/PIEZÓMETROS PROGRAMADOS DA REDE DE MONITORIZAÇÃO:**

Representação em planta:

- S+ - Sondagens mecânicas à rotação, com instalação de tubo piezométrico e sonda multiparamétrica

**COORDENADAS SONDA/PIEZ.**

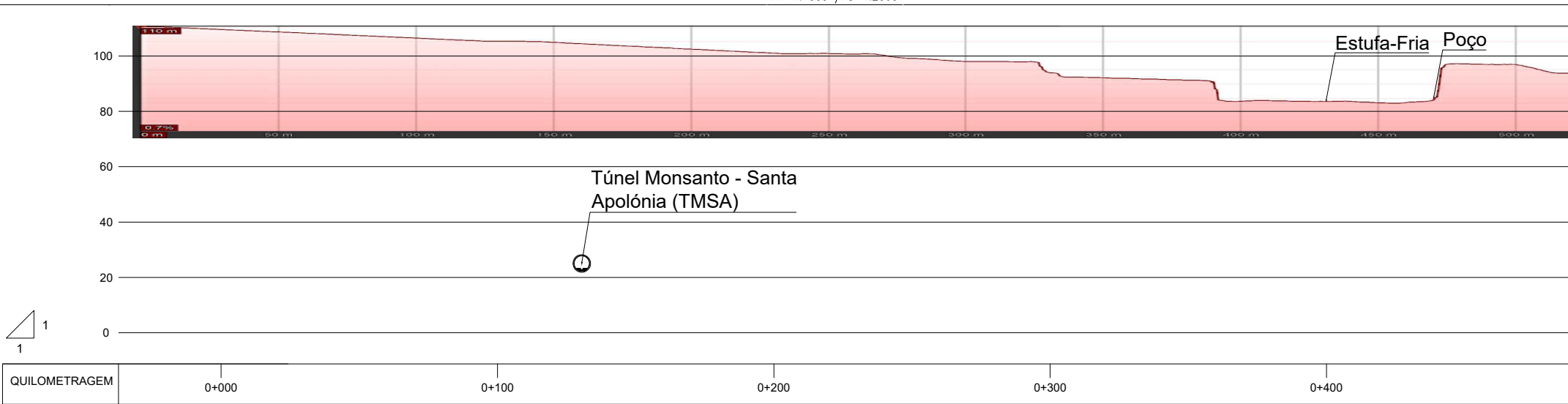
SOND./PIEZ.	M	M
SEF1/PEF1	-89033.16	-104002.27
SEF2/PEF2	-89020.36	-103828.49
SEF3/PEF3	-89007.88	-103704.49
SAA1/PAA1	-86248.68	-105609.49
SAA2/PAA2	-86334.19	-105733.62
SAA3/PAA3	-86480.79	-105711.88

**Falhas**

- Falhas Carta Geológica 34-D (2005)
- Falhas Moitinho de Almeida (1972) e R. Marrero-Díaz e E. C. Romalho (2015)

**Perímetro de proteção às Alcaçarias - PDM (2010), com marcação das ocorrências "frias" e "quentes" históricas**

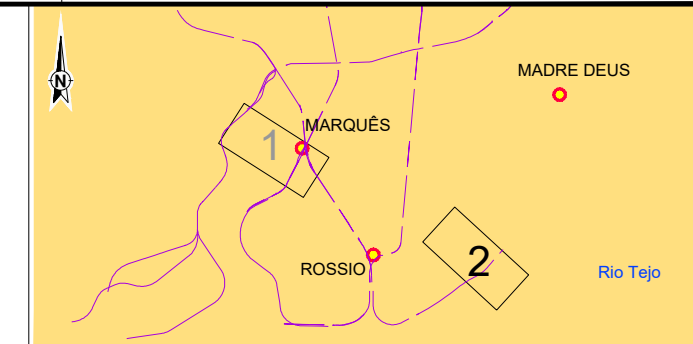
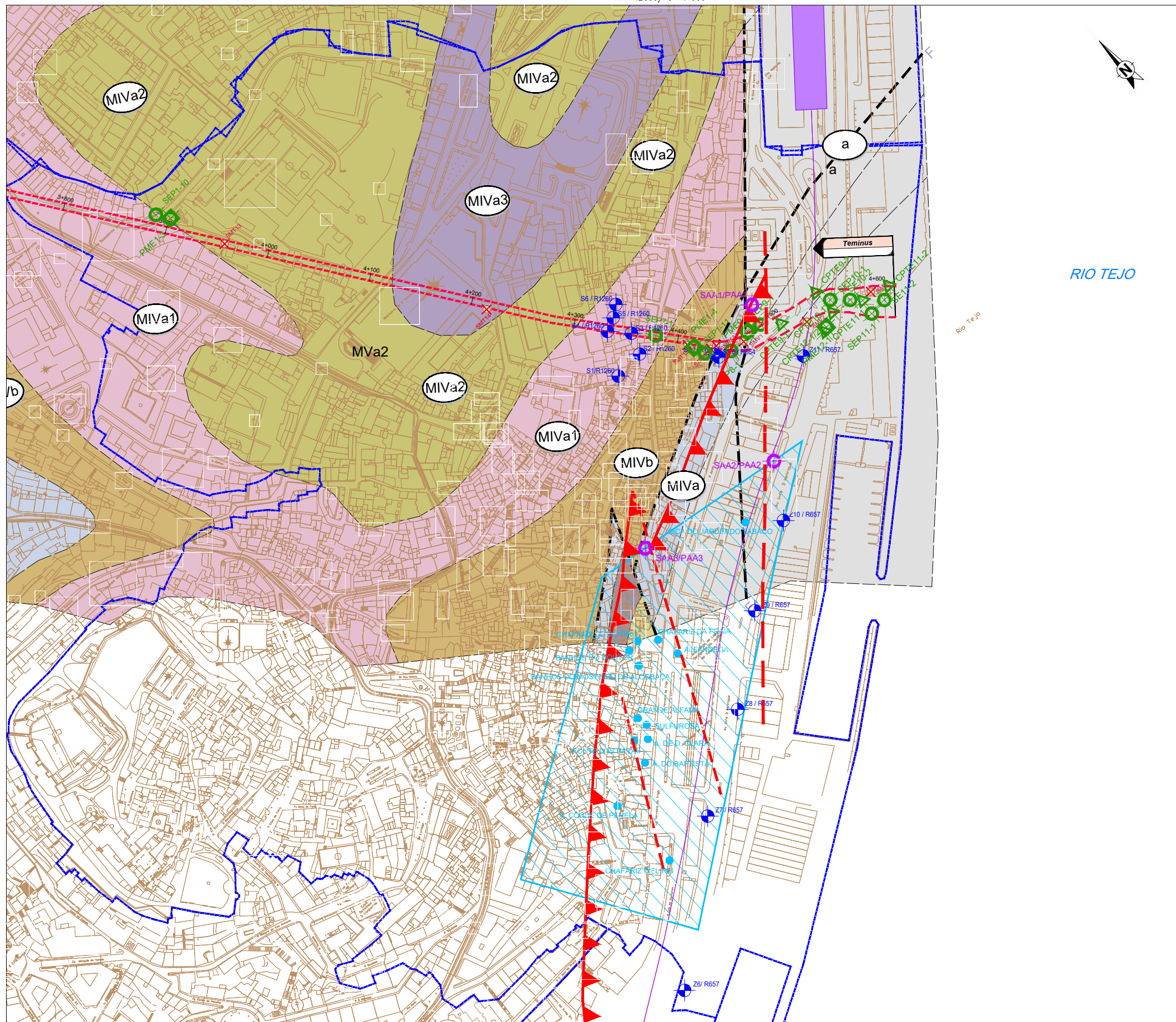
PERFIL TRANSVERSAL AO TMSA-ESTUFA FRIA (A-A')  
A1=1:1000 /A3=1:2000



RESERVADOS TODOS OS DIREITOS DE AUTOR E DE TERCEIROS. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO, A DIFUSÃO OU A UTILIZAÇÃO PÚBLICA DE QUALQUER PARTE DESTA OBRA SEM O CONSENTIMENTO PRÉVIO DO AUTOR OU DO EDITOR.



REDE MONITORIZAÇÃO TMSA/ESTUFA-FRIA  
PLANTA  
A1=1:2000/A3=1:4000



ESQUEMA DE LIGAÇÃO SEM ESCALA

LEGENDA

- ENVOLVENTE DE 100 M
  - EIXO DO TÚNEL
  - LIMITE DE BACIA HIDROGRÁFICA
  - CANEIRO DE ALCÁNTARA
  - ANTIGO TRAÇADO RIBEIRA VALVERDE
- FUNDO GEOLÓGICO  
Adaptado da Carta Geológica de Lisboa na escala 1:10 000  
Estratigrafia
- a / Ld / At Aluviões (a), Lodos (ld) e Aterros (At)
  - MVa3 Formação dos Calcários de Musgueira (MVa3)
  - MVa2 Formação das Areias com Placuna Miocénica (MVa2): intercalações calcárias
  - MVa1 Formação dos Calcários de Casal Vistoso (MVa1)
  - MIVb Formação das Areias de Quinta do Bacalhou (MIVb)
  - MIVa Formação das Argilas de Forno do Tijolo (MIVa)
  - MIII Formação dos Calcários de Entrecampos ("Banca Real") (MIII)
  - MII Formação das Areolas de Estefânia (MII)
  - MI Formação das Argilas dos Prazeres (MI): argilitos e calcários
  - f Formação de Benfica
  - CVL Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL)
  - CVL(p) CVL - Rochas piroclásticas
  - C3c Formação da Bica: calcários com rudistas
  - C2AC Formação da Caneças: calcários, margas, arenitos e dolomitos
- Limite Geológico  
--- Falha  
--- Falhas Carta Geológica 34-D (2005)  
--- Falhas Molinho de Almeida (1972) e R. Marrero-Díaz e E. C. Ramalho (2015)  
--- Perímetro de proteção às Alcaçarias - PDM (2010), com marcação das ocorrências "frias" e "quentes" históricas
- TRABALHOS DE PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA COMPLEMENTAR PROGRAMADOS:
- Representação em planta:
- Sondagens mecânicas à rotação acompanhadas da execução sistemática de ensaios SPT
  - Sondagens mecânicas à rotação acompanhadas da execução sistemática de ensaios SPT e instalação de piezómetros
  - Ensaios com piezómetro de Ménard
  - Ensaio CPTu
  - Sondagem geotérmica
- Representação em perfil:
- Sondagens mecânicas à rotação acompanhadas da execução sistemática de ensaios SPT
  - Sondagens mecânicas à rotação acompanhadas da execução sistemática de ensaios SPT e instalação de piezómetros
  - Ensaios com piezómetro de Ménard
  - Ensaio CPTu
  - Sondagem geotérmica
- SONDAGENS/PIEZÓMETROS PROGRAMADOS DA REDE DE MONITORIZAÇÃO:
- Representação em planta:
- Sondagens mecânicas à rotação, com instalação de tubo piezométrico e sonda multiparamétrica

SOND /PIEZ.	M	M
SEF1/PEF1	-89033,16	-104002,27
SEF2/PEF2	-89020,36	-103828,49
SEF3/PEF3	-89007,88	-103704,49
SAA1/PAA1	-86248,68	-105609,49
SAA2/PAA2	-86334,19	-105733,62
SAA3/PAA3	-86480,79	-105711,88



PROJECTO: EXECUÇÃO DOS TÚNEIS DE DRENAGEM DA CIDADE DE LISBOA E INTERVENÇÕES ASSOCIADAS

P00 - DOCUMENTOS GERAIS

ESCALAS: COMO INDICADO

PROJECION: RC  
VERIFICOU: SC  
DESENHO: RC  
APROVOU: SC

DESIGNAÇÃO: PROJETO DE EXECUÇÃO PLANO DE MONIT. HIDROGEOLOGICA E HIDROGEOQUIMICA DAS ZONAS VULNERAVEIS (ESTUFA-FRIA E ALCAÇARIAS DE ALFAMA) LOCALIZAÇÃO DOS PIEZÓMETROS DA REDE DE MONIT. - 2/2

CÓDIGO DO DOCUMENTO: P00-GER-GER-PE-DES-EGG-03-02  
REVISÃO: DATA 1ª EMISSÃO: 2021/08  
SUBIDA: 02-02