



**ESTUDO DO DESCRITOR HIDROGEOLOGIA PARA A
CONSTRUÇÃO DOS TUNEIS MONSANTO/SANTA APOLÓNIA
E CHELAS/BEATO, NO ÂMBITO DO PLANO GERAL DE
DRENAGEM DE LISBOA**

PROCESSO 0022/AQS/AD/DGES/ND/2016

FEVEREIRO 2017





Equipa técnica

Luís Filipe Tavares Ribeiro (Coordenador)

Engenheiro de Minas, PhD, Professor Associado com Agregação, CERIS, Instituto Superior Técnico, Lisboa

Maria Teresa Condesso de Melo

Hidrogeóloga, PhD, Investigadora Auxiliar Convidada, CERIS, Instituto Superior Técnico, Lisboa

Filipe Miguéns, Geólogo, MSc

Geólogo, MSc, Bolseiro de Investigação, CERIS, Instituto Superior Técnico, Lisboa



Conteúdo

1	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL.....	44
1.1	Geologia e Geomorfologia.....	44
	Geologia	44
	Geomorfologia.....	46
	Tectónica	48
	Sismicidade.....	49
	Estratigrafia	52
	Geologia dos traçados	53
	Recursos hidrominerais	63
1.2	Recursos hídricos subterrâneos	66
	Enquadramento hidrogeológico regional	66
	Identificação e caracterização das unidades hidrogeológicas e da massa de água subterrânea	66
	Enquadramento hidrogeológico local	67
	Áreas de infiltração máxima	72
	Inventário das captações de água subterrânea	43
	Modelos conceptuais do fluxo subterrâneo	46
	Qualidade da água subterrânea	48
	Zonas Vulneráveis Identificadas.....	53
1.3	Referências Bibliográficas	55

1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

1.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

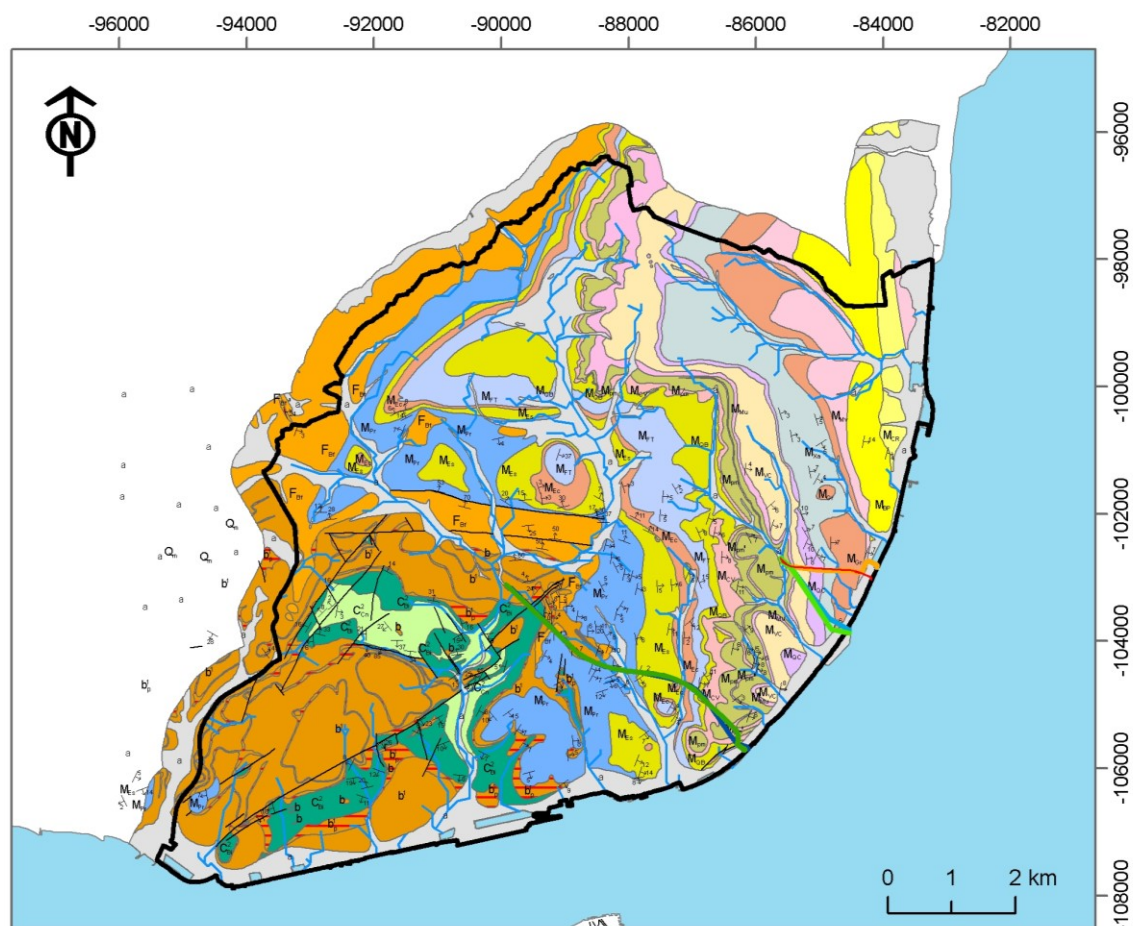
Geologia

A cidade de Lisboa faz parte da Orla Mesocenozóica Ocidental e é caracterizada pela alternância de rochas de diferentes litologias e idades geológicas, afetada por falhas e alguns dobramentos importantes, numa região de estuário onde as margens rio Tejo apresentam características geológicas muito diferenciadas (Figura 1). Os terrenos mais antigos, cujos principais afloramentos se encontram nas zonas de Monsanto, Ajuda e Vale de Alcântara, são predominantemente constituídos por calcários, calcários margosos e margas com níveis fossilíferos, e são o resultado da grande transgressão marinha do Cretácico Superior (97-91 Ma). Estas formações geológicas são seguidas por formações mais recentes do Cretácico final e de natureza vulcânica (escoadas basálticas e piroclastos do 'Complexo Vulcânico de Lisboa') e por uma alternância de depósitos essencialmente detríticos (conglomerados, areias e argilas) de origem continental reunidos no designado 'Complexo de Benfica' (Paleogénico) e por níveis de areias, areolas, argilas e calcários, em proporções variáveis, ricas em fósseis animais e vegetais (Neogénico).

Toda a região é afetada por uma tectónica que lhe confere um relevo vigoroso e uma litoestratigrafia diversificada, testemunho de uma história geológica e ambiental muito diversificada, caracterizada por ambientes marinhos de pequena profundidade e recifais durante o início do Cretácico Superior (~95 Ma), vulcanismo basáltico subaéreo ainda também no Cretácico superior (~72 Ma), ambientes continentais fluviais e lacustres no Paleogénico (entre 30 a 40 Ma) e ambientes marinhos costeiros de baixa profundidade, lagunares, fluviais e continentais durante o Neogénico (entre 7 a 20 Ma).

Os terrenos mais recentes são do Pliocénico e Quaternário (5 Ma e 2.58 Ma, respetivamente) e correspondem a sedimentos ainda pouco consolidados, essencialmente de natureza arenosa ou conglomerática, fluviais e continentais acumulados no rio Tejo e nas diversas linhas de água (ribeiras) que atravessam a cidade. Parte da zona ribeirinha da cidade de Lisboa foi conquistada ao rio e assenta sobre materiais de aterro que contribuíram para mudar a fisiografia natural do terreno.

No âmbito deste estudo e para a caracterização geológica detalhada da área envolvente do projeto na cidade de Lisboa recorreu-se à cartografia e notícia explicativas das Cartas Geológicas de Portugal à escala 1:50 000 (Folhas 34-A Sintra, 34-B Loures, 34-C Cascais e 34-D Lisboa) e à escala 1:10 000 (Folhas 1, 2, 3 e 4 da Carta Geológica do concelho de Lisboa, tendo-se consultado também diversas publicações CHOFFAT (1950), ZBYSZEWSKI (1963), RAMALHO *et al.* (1990), KULLBERG *et al.* (1991), RAMALHO *et al.* (1993 e 2001), MOITINHO DE ALMEIDA (1986), ALMEIDA e ALMEIDA (1997), PAIS *et al.* (2006), MARRERO-DIAZ *et al.* (2014), MARRERO-DIAZ & RAMALHO (2015) e LNEG (2016).



Legenda:

Limite Concelho Lisboa

Traçado túnel Campolide - Sta Apolónia

Alternativa de base (TMSA1)

Alternativa 2 (TMSA2)

Rede hidrográfica

Traçado túnel Chelas

Alternativa de base (TCB1)

Alternativa 2 (TCB2)

Alternativa 3 (TCB3)

Alternativa 4 (TCB4)

SISTEMA DE REFERÊNCIA

Datum 73 Hayford Gauss IPCC

Geologia

Qf - Depósitos de terraços fluviais

a - Aluviões e/ou aterros

MCR - Formação das Areolas de Cabo Ruivo (MVIb)

MBP - Formação das Areolas de Braço de Prata (MVIa)

MMv - Formação dos Calcários de Marvila (MVIc)

MGr - Formação dos Grés de Grilos (MVIb)

MXa - Formação das Argilas de Xabregas (MVIa)

MQC - Formação dos Calcários de Quinta das Conchas (MVC)

MVC - Formação das Areias de Vale de Chelas (MVB)

MMu - Formação dos Calcários de Musgueira (MVA3)

Mpm - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVA2)

Mpm_i - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVA2): intercalações calcárias

MCV - Formação dos Calcários de Casal Vistoso (MVA1)

MQB - Formação das Areias de Quinta do Bacalhau (MIVb)

MFT - Formação das Argilas de Forno do Tijolo (MIVa)

MEc - Formação dos Calcários de Entrecampos ("Banco Real")(MIII)

MEs - Formação das Areolas de Estefânia (MII)

MPr - Formação das Argilas dos Prazeres (MI): argilitos e calcários

(phi)Bf_a - Formação de Benfica: intercalações calcárias (Calcários de Alfornelos)

(phi)Bf - Formação de Benfica: conglomerados, arenitos e argilitos

(beta)1 - Complexo Vulcânico de Lisboa

(beta)1_p - Complexo Vulcânico de Lisboa: rochas piroclásticas

basalto - Filões e chaminés de basalto

C2Bi - Formação da Bica: calcários com rudistas

C2Cn - Formação de Caneças: calcários, margas, arenitos e dolomitos

Figura 1 - Carta Geológica do Concelho de Lisboa à escala 1: 10 000 (folhas 1, 2, 3 e 4) com indicação dos traçados dos dois túneis. Fonte: MOITINHO DE ALMEIDA (1986).

Geomorfologia

A erosão diferencial das diferentes litologias definiram, o que é hoje a cidade de Lisboa, ou seja um conjunto de relevos com forte controlo litológico e estrutural, tradicionalmente designados como as sete colinas (Castelo, Graça, Monte, Penha de França, São Pedro de Alcântara, Santa Catarina e Estrela).

A área metropolitana de Lisboa apresenta diferentes elevações, desde a zona ribeirinha (de cota +3 m a +4 m) até aos cumes de Poiais (+108 m), Castelo de São Jorge (+110.7 m), Penha de França onde manifesta uma cota de +127.9 m, Monte Claros (+170.3 m) e Monsanto com uma cota de +227.8 metros (LOPES, 2001 em CRUCES *et al.*, 2002) (Figura 2).

A cidade de Lisboa pode-se dividir em três regiões (segundo ALMEIDA, 1991 em CRUCES *et al.*, 2002):

1. Região oriental e setentrional, onde predominam as litologias miocénicas. As formas de relevo são condicionadas pelos contrastes litológicos e pela estrutura geológica, marcada pela presença de dobramentos suaves. A rede de drenagem instalou-se nas formações menos resistentes, que evoluíram para vales assimétricos, uma vez que as mais resistentes geraram planaltos e alinhamentos de cornijas;
2. Região central, salienta-se o relevo da colina do Castelo de São Jorge, formado por rochas com elevada componente carbonatada, mais resistente. Vale este circundado pelo vale da ribeira que segue ao longo da Avenida Almirante Reis/ Rua da Palma e pelo esteiro da Baixa. E onde se estabeleceram em formações mais brandas, com uma maior componente detrítica;
3. Região sudoeste, onde afloram materiais do Cenomaniano e do Complexo Vulcânico de Lisboa, predominam os relevos da serra de Monsanto e da colina da Ajuda, neste caso, o relevo é controlado por uma estrutura geológica complexa, afetada por falhas e dobras e definido por uma rede de drenagem frequentemente condicionada pela fracturação.

A carta de declives (Figura 3), gerada a partir do modelo digital de terreno, dá conta no interior do perímetro do concelho de Lisboa de uma superfície onde os valores das vertentes raramente excedem os 18°, encontrando-se estes associados às ribeiras da cidade, evidenciando um encaixe de idade pós Tortoniano, provavelmente plio-quaternário. Esta carta dá ainda conta da aplanagem das zonas situadas a cotas mais altas com declives suaves entre os 0 e os 2°.

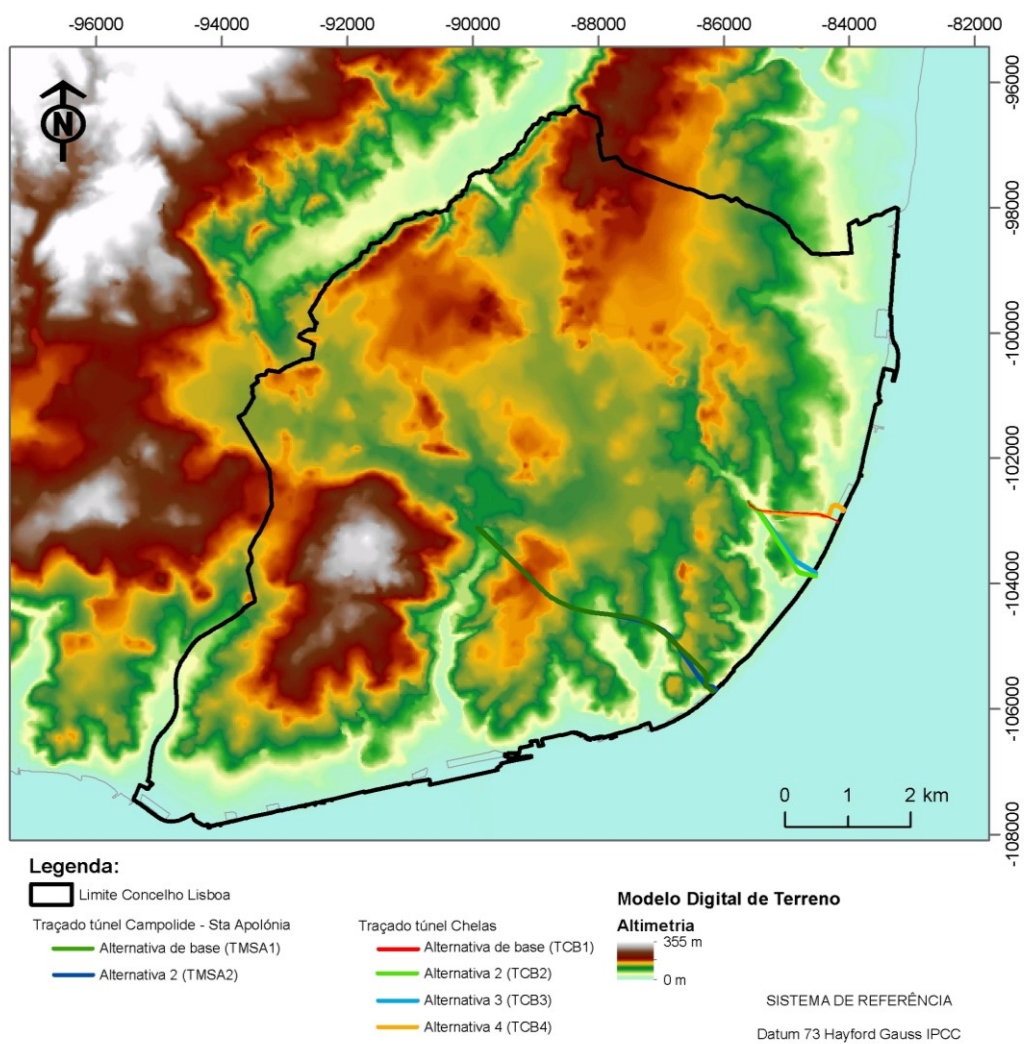


Figura 2 - Altimetria da região envolvente da cidade de Lisboa, com indicação dos traçados dos dois túneis.

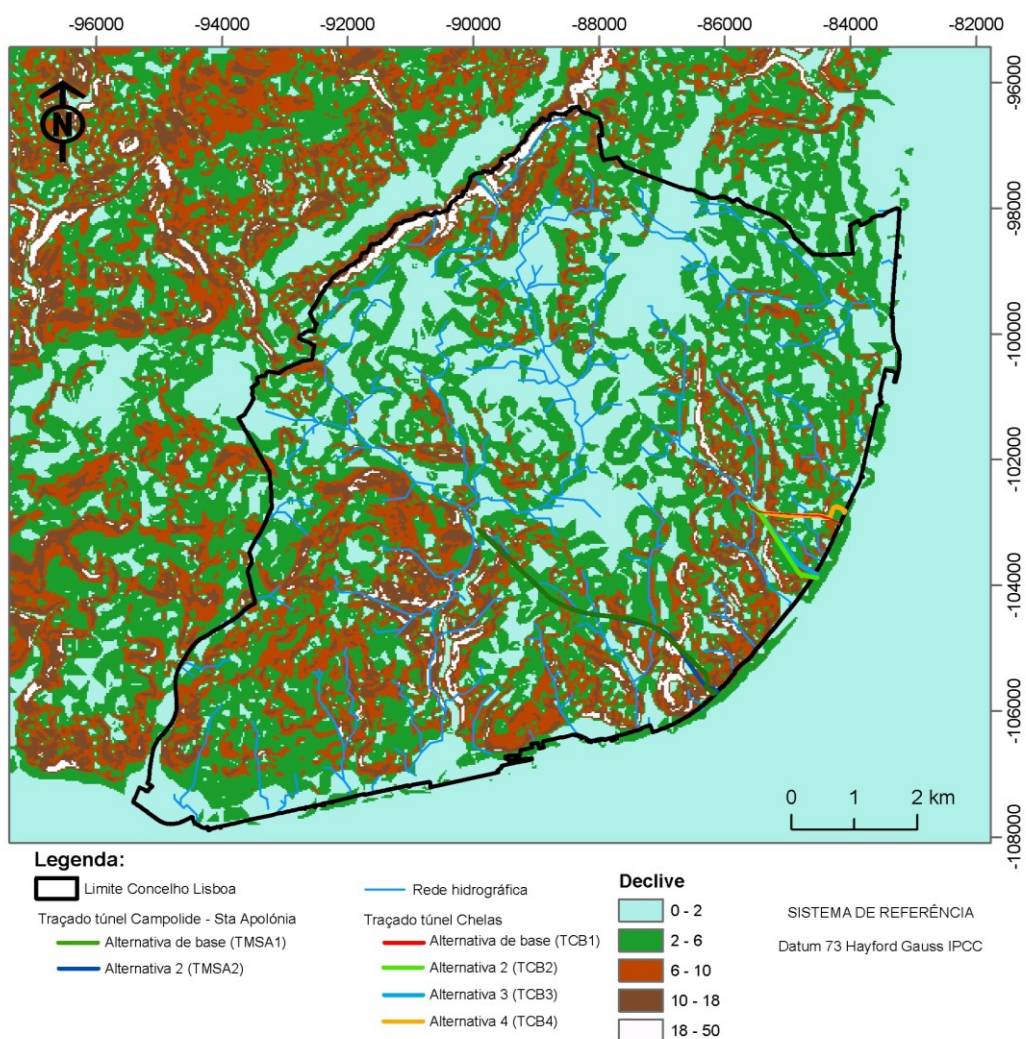


Figura 3 – Carta de declives gerada a partir do modelo digital do terreno (MDT). Os valores da escala inserida são em graus, com indicação dos traçados dos dois túneis.

Tectónica

Lisboa situa-se aproximadamente a meio da costa ocidental da península Ibérica, que adquiriu o seu carácter litoral atlântico no final do Cretácico inferior (120 Ma), quando se formou o primeiro segmento de oceano nestas latitudes por regime tectónico do tipo *rifting* ou distensão tectónica intra-continental na continuação dum ambiente tectónico que se iniciou na península Ibérica no Triásico (245 Ma). A província geológica do litoral ocidental ibérico mais importante que se formou nessa altura designa-se por Bacia Lusitânica (ou Lusitaniana, segundo os diferentes autores), no interior da qual a cidade de Lisboa se situa. Desta fase tectónica de grande longevidade, mais de 220 Ma, a cidade de Lisboa quase não apresenta vestígios de carácter tectónico, visto a cidade assentar sobre rochas de idade mais recente, formadas quase exclusivamente entre os 7 a 100 Ma. Neste intervalo de tempo ocorreram, do ponto de vista tectónico, três eventos de grande importância para a região: o primeiro, um evento tectono-magmático, durante o qual se instalaram, principalmente, as lavas do Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL), há cerca de 72 Ma (no Campaniano, Cretácico Superior); o segundo, de idade mais incerta terá ocorrido há cerca de 30 Ma (entre o Eocénico e o Oligocénico), durante o qual se depositaram os sedimentos continentais detríticos de Complexo de Benfica e; o terceiro, um evento tectónico neogénico, provavelmente entre os 2 e os 7 Ma atrás, durante o qual a região da oriental da cidade se terá soerguido de cotas altimétricas próximas do nível do mar até às que atualmente atinge.

Do primeiro evento tectónico mencionado, do Cretácico superior, Lisboa regista quase exclusivamente, lavas e piroclastos do CVL, cujos aparelhos alimentadores se situariam, crê-se, na região da presente serra de Sintra e, eventualmente, na região de Loures.

O segundo evento tectónico, ocorrido durante a deposição do Complexo de Benfica, regista a deformação tectónica mais importante nas formações que constituem o substrato onde se edifica a cidade. De facto, as dobras e as falhas de origem tectónica, ou seja, associadas à deformação do substrato geológico imposta por um campo de tensões associado à colisão entre as placas litosféricas Eurásia e África, afetam o CVL e as formações geológicas anteriores, encontrando-se seladas pelas formações mais recentes. As variações importantes de espessura do Complexo de Benfica, assim como as discordâncias angulares intra-formacionais, atestam a deformação tectónica sin-sedimentar. Deste modo, a este evento tectónico atribui-se uma idade Oligocénica, podendo eventualmente ter-se iniciado durante o Eocénico. Durante esta fase tectónica formaram-se as estruturas tectónicas mais conspícuas evidentes na cidade e concelhos limítrofes, a norte e a oeste, que, posteriormente, durante o Miocénico superior (pós-Tortoniano), foram reativadas, durante o terceiro evento tectónico.

Este último evento, o mais recente, foi certamente pós-Tortoniano, como se deduz da sequência estratigráfica presente na cidade, fundamentalmente no seu centro e oriente, onde se encontram cartografadas as séries miocénicas, desde a sua base, o Aquitaniano até ao Tortoniano. A parte mais superior do Miocénico, o Messiniano, não se encontra representado, assim como também não se encontra o Pliocénico e, do Quaternário apenas existem as aluviões das ribeiras de Lisboa. A importante discordância angular entre o Miocénico e o Cretácico não deixa dúvidas da existência dum relevo anterior ao Miocénico, de origem tectónica compressiva, posterior ao CVL. As baixas e generalizadas inclinações dos estratos miocénicos e os escassos exemplos de deformação tectónica mesoscópica corroboram este facto.

Concluindo, existem claras evidências de tectónica compressiva de idade Eo-Oligocénica e pós-Tortoniana na região da cidade de Lisboa. Esta última, certamente associada a importantes levantamentos tectónicos, eventualmente de idade Miocénica terminal, Pliocénica e mesmo Quaternária, como os materializados na estruturas ativas do vale do baixo Tejo (e.g. falha inversa de Vila Franca de Xira - Lisboa). Outros levantamentos de idade Quaternária, importantes a nível regional, foram recentemente propostos, em trabalhos realizados na região litoral entre a Nazaré e Peniche e nas regiões da plataforma continental na região algarvia (TERRINHA *et al.*, 2009).

Sismicidade

A distribuição de ocorrências sísmicas permite a realização de um zonamento sob a forma de isossistas. Assim sendo, e de acordo com a Carta de Isossistas de Intensidade Máxima, do Instituto de Meteorologia, o local dos traçados situa-se numa zona de intensidade IX (Figura 4).

A Figura 5 apresenta a Carta de Intensidades de Lisboa, correspondente a um cenário sísmico possível: sismo de magnitude 7.5 na escala de *Richter*, originado a 220 km de distância, no Banco de *Gorringe*. A análise da distribuição das intensidades nesta carta mostra a existência de contrastes no interior da cidade, resultantes do comportamento sísmico dos diferentes tipos de formação geológicas superficiais. Assim, a zona ocidental da cidade regista, em média menores intensidades do que a zona oriental. Baixa e colinas circundantes apresentam, em geral, intensidades um pouco superiores. A zona ribeirinha ocidental e os vales correspondentes às antigas linhas de água registam intensidades ainda mais elevadas.

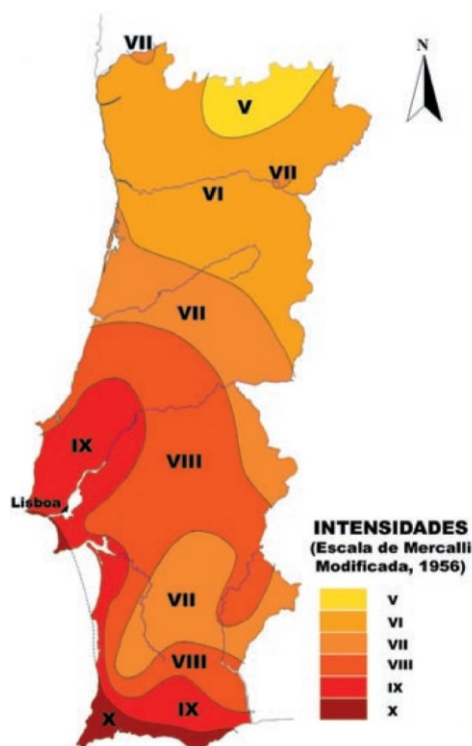


Figura 4 – Carta de Isossistas de Intensidade Máxima (sismicidade histórica e atual)(Fonte: antigo Instituto de Meteorologia).

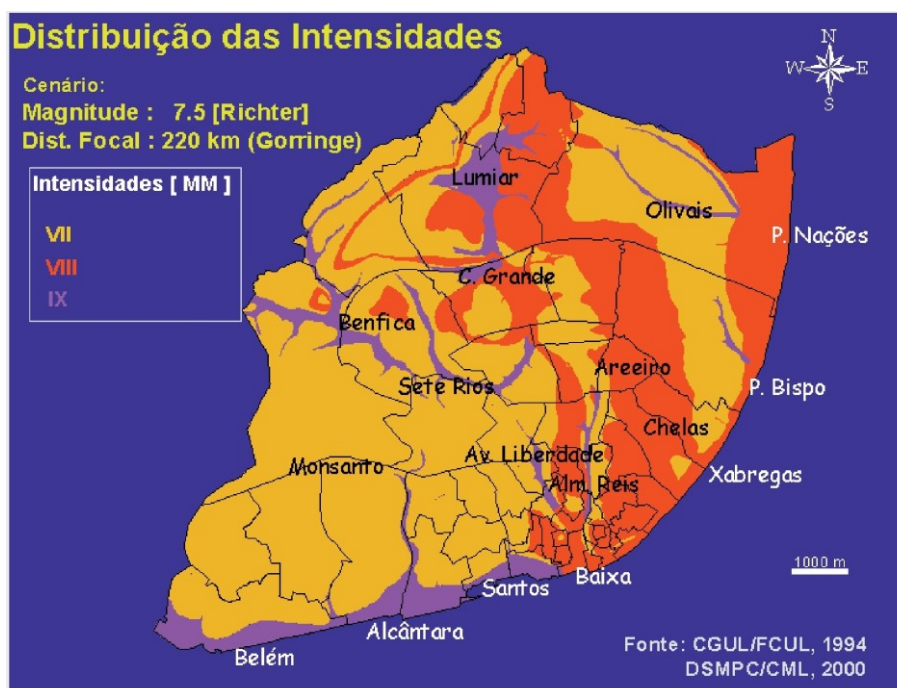


Figura 5 – Carta de isossistas de intensidades máximas para a cidade de Lisboa (Fonte: CGUL/FCUL, 1994 e DSMPC/CML, 2000).

Do ponto de vista da sismicidade, a região do concelho de Lisboa é afetada sobretudo pela atividade sísmica de duas zonas sismo-tectónicas, a saber:

- Zona 1: Bacia do baixo Tejo e Sado;
- Zona 2: Atlântico.

A Zona 1 (interplacas) inclui a região do vale do Tejo e Sado e a zona atlântica adjacente, onde se inclui a falha do vale Inferior do Tejo, e onde se registam vários sismos de magnitude superior a 5, com epicentros distribuídos ao longo da falha e da zona costeira.

A Zona 2 (intraplacas) corresponde à zona ao longo da fronteira Açores-Gibraltar, responsável pela atividade sísmica no mar, nomeadamente na zona do banco de Gorringe, que tem dado origem aos maiores sismos históricos que atingiram o continente (1356, 1755, 1969).

Em termos regulamentares e de acordo com o Regulamento de Segurança e ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA) e com o Eurocódigo 8 (EC8-DNA, 1998), a área em estudo situa-se na zona sísmica A (Figura 6), identificada com um risco sísmico alto, a que corresponde um coeficiente de sismicidade, α , igual a 1 (Quadro 1.1).

Quadro 1.1 - Valores do coeficiente de sismicidade α (RSA, 2005).

Zona Sísmica	α
A	1,0
B	0,7
C	0,5
D	0,3

Para efeito da definição do coeficiente sísmico de referência β_0 , apresenta-se no Quadro 1.2 o enquadramento da natureza dos terrenos de fundação das obras a projetar, na tipologia estabelecida por aqueles documentos regulamentares.

Neste contexto e de acordo com o EC8-DNA, as acelerações máximas nominais a_g a considerar para as ações sísmicas do tipo 1 (sismos intraplacas, de magnitude moderada a pequena distância focal) e do tipo 2 (sismos interplacas, de maior magnitude a uma maior distância focal) são de 1.5 e 1.7m/s², respetivamente.

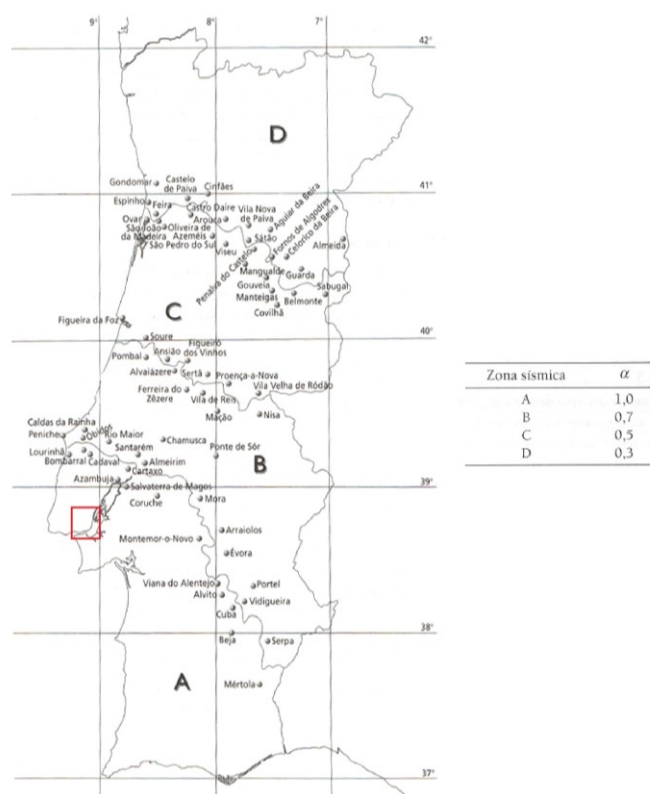


Figura 6 - Zonas sísmicas de Portugal Continental e respetivos coeficientes de sismicidade (Adaptado de CABRAL *et al.* 1988).

Em termos de casualidade sísmica da zona, estes valores das acelerações máximas correspondem a um período de retorno de 3 000 anos (período adotado no EC8-DNA), equivalentes aos valores adotados no RSA para um período de retorno da ordem de 1 000 anos, afetados por um fator de majoração de 1.5.

Quadro 1.2 - Tipologia de terrenos a considerar no estabelecimento do coeficiente sísmico.

Unidade	Tipo de terreno		
	I	II	III
	Rocha e solos coerentes rijos	Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média; solos incoerentes compactos	Solos coerentes moles e muito moles; Solos incoerentes soltos
Aluviões actuais		*	**
Depósitos de terraço recentes		**	*
Pliocénico	**	*	
Miocénico	*	**	
Cretácico	**	*	

Legenda: * - menos provável ** - mais provável

Segundo OLIVEIRA (1977), as acelerações máximas para um período de retorno de 1000 na zona em estudo variam entre 125 e 150 cm/s². Ainda segundo o mesmo autor as velocidades e os deslocamentos esperados no terreno são respetivamente 18 cm/s e 8 cm.

Para outros períodos de retorno que intervenham no dimensionamento de projeto, vários são os métodos que permitam calcular os mesmo valores. De uma forma expedita e segundo OLIVEIRA (1977), define-se no Quadro 1.3 e com base no período de retorno de 1000 anos, os fatores médios de correção para os valores da aceleração, velocidade e deslocamentos correspondentes a diferentes períodos de retorno.

Quadro 1.3 - Valores corretivos para obtenção dos valores de aceleração, velocidade e deslocamento correspondentes a diferentes períodos de retorno, com base no período de 1000 anos.

Período de Retorno (anos)	1000	500	200	100	50	20	10
Fator de Correção	1	0.75 ± (5%)	0.54 ± (8%)	0.4 ± (12%)	0.27 ± (16%)	0.15 ± (20%)	0.10 ± (25%)

Estratigrafia

O Mesozóico da cidade de Lisboa é exclusivamente representado pelo Cretácico, de natureza sedimentar ou vulcânica.

O Cretácico sedimentar aflora na encosta do bairro de Ajuda e na serra de Monsanto. As formações aflorantes encontram-se cartografadas como Formação de Caneças (C2Cn) e Formação de Bica (C2Bi), respetivamente do Albiano superior a Cenomaniano médio e Cenomaniano superior. A Formação de Caneças é essencialmente constituída por calcários margosos e a Formação de Bica por calcários compactos com tendência a mais margosos para o topo da unidade (PAIS *et al.*, 2012).

O Cretácico vulcânico, designado por Complexo Vulcânico de Lisboa (beta1 e beta1_p), foi datado radiometricamente, através do método K/Ar, indicando a idade de 72.6 ± 3.1 Ma, ou seja, do Cretácico superior (Campaniano). As lavas do Complexo

estão provavelmente associadas à intrusão das rochas plutónicas alcalinas da serra de Sintra, provavelmente correlativas (TERRINHA *et al.*, 2009). O Complexo cobre uma área importante da cidade nas zonas de Monsanto, Ajuda e Alcântara, tendo sido identificado nas sondagens da Ponte 25 de Abril.

O Cenozoico da cidade de Lisboa encontra-se essencialmente representado pelos sedimentos da Formação de Benfica (phi Bf) de idade paleogénica e pelas formações miocénicas.

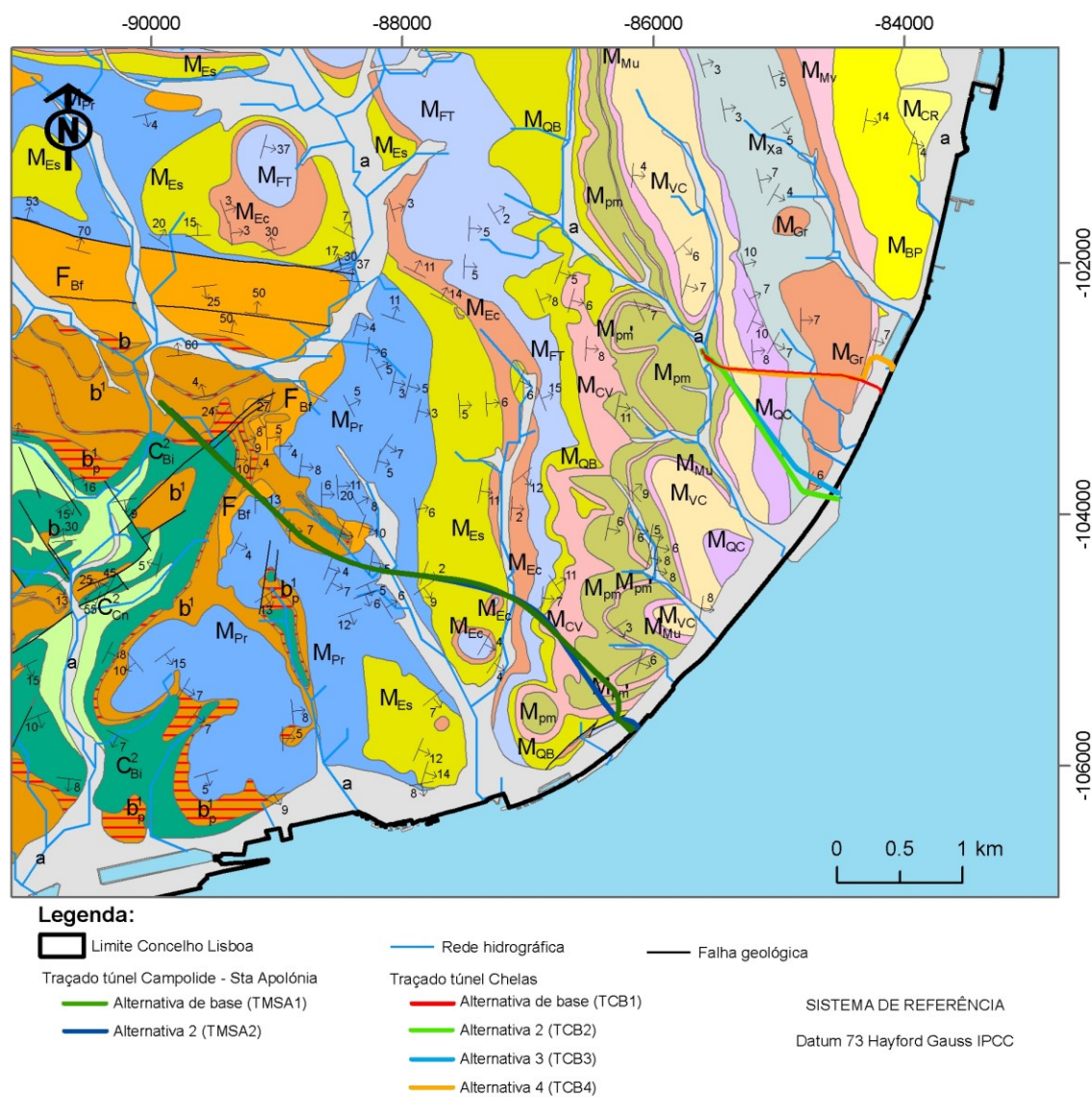
O Paleogénico é constituído pela Formação de Benfica. De acordo com ZBYSZEWSKI (1963) esta formação tem aproximadamente 400 m de espessura, assenta sobre o Cretácico superior e é recoberta discordantemente pelos sedimentos marinhos do Miocénico inferior. Segundo REIS *et al.* (2001) a base desta formação é de idade eocénica superior e o topo de idade oligocénica. Trata-se duma formação constituída exclusivamente por sedimentos continentais (arenitos, margas, conglomerados siliciclásticos e calcários, e calcários lacustres). O Paleogénico aflora em continuidade entre as zonas de Palhavã, Benfica, Alfores e Loures (Figura 1).

O Miocénico de Lisboa cobre a parte a parte ocidental da cidade e a parte central (Figura 1). De acordo com PAIS *et al.* (2012) na cidade de Lisboa o Miocénico apresenta-se subdividido em dez sequências deposicionais, desde a base do Miocénico (Aquitano) até ao Tortoniano.

O Pliocénico e o Quaternário encontram-se escassamente representados na zona da cidade de Lisboa, essencialmente através de depósitos siliciclásticos do Plio-Plistocénico - prolongamentos de unidades bem desenvolvidas a montante no rio Tejo e na margem sul – e pelas aluviões das ribeiras de Lisboa. Os depósitos arenosos e lodosos associados à transgressão marinha e condições de alto nível do mar do Plio-Holocénico encontram-se sobretudo no estuário e delta submarino do rio Tejo que preservam evidências de erosão importante causada pela passagem de tsunamis (TERRINHA *et al.*, 2009).

Geologia dos traçados

De acordo com a carta geológica de Lisboa à escala 1:10 000, o traçado proposto para o túnel de Chelas-Beato e respetivas alternativas intersectam em planta, de montante para jusante, a seguinte sequência de formações geológicas: a - Aluviões e/ou aterros; Mpm - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVa2); MMu - Formação dos Calcários de Musgueira (MVa3); MVC - Formação das Areias de Vale de Chelas (MVb); MQC - Formação dos Calcários de Quinta das Conchas (MVc); MXa - Formação das Argilas de Xabregas (MVla); MGr - Formação dos Grés de Grilos (MVlb); MMv - Formação dos Calcários de Marvila (MVlc) e novamente a - Aluviões e/ou aterros (Figura 7). Prevê-se que esta será também a mesma sequência litoestratigráfica a ser intercetada em perfil (Figura 8).



Geologia

Qf - Depósitos de terraços fluviais	MQB - Formação das Areias de Quinta do Bacalhau (MIVb)
a - Aluviões e/ou aterros	MFT - Formação das Argilas de Forno do Tijolo (MIVa)
MCR - Formação das Areolas de Cabo Ruivo (MVIb)	MEc - Formação dos Calcários de Entrecampos ("Banco Real")(MIII)
MBP - Formação das Areolas de Braço de Prata (MVIa)	MEs - Formação das Areolas de Estefânia (MII)
MMv - Formação dos Calcários de Marvila (MVIc)	MPr - Formação das Argilas dos Prazeres (MI): argilitos e calcários
MGr - Formação dos Grés de Grilos (MVIb)	(phi)Bf_a - Formação de Benfica: intercalações calcárias (Calcários de Alformelos)
MXa - Formação das Argilas de Xabregas (MVIa)	(phi)Bf - Formação de Benfica: conglomerados, arenitos e argilitos
MQC - Formação dos Calcários de Quinta das Conchas (MVC)	(beta)1 - Complexo Vulcânico de Lisboa
MVC - Formação das Areias de Vale de Chelas (MVb)	(beta)1_p - Complexo Vulcânico de Lisboa: rochas piroclásticas
MMu - Formação dos Calcários de Musgueira (MVA3)	basalto - Filões e chaminés de basalto
Mpm - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVA2)	C2Bi - Formação da Bica: calcários com rudistas
Mpm_i - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVA2): intercalações calcárias	C2Cn - Formação de Caneças: calcários, margas, arenitos e dolomitos
MCV - Formação dos Calcários de Casal Vistoso (MVA1)	

Figura 7 - Extrato da Carta Geológica do concelho de Lisboa à escala 1: 10 000 (MOITINHO DE ALMEIDA, 1986) com indicação dos diversos traçados analisados para os dois túneis.

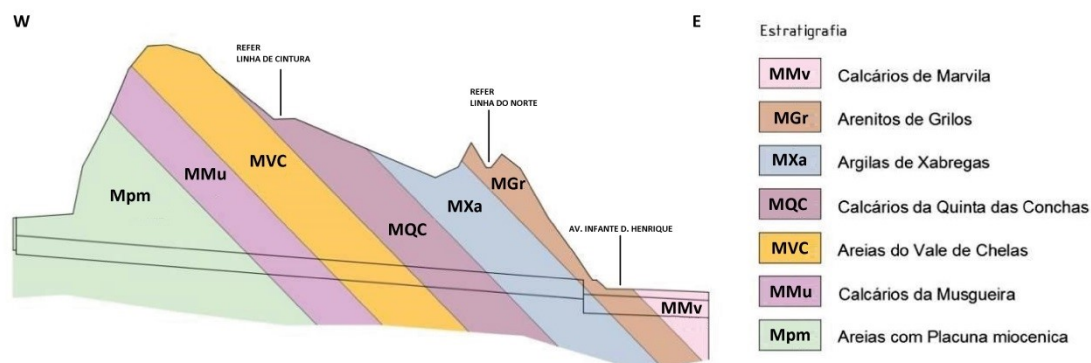


Figura 8 - Perfil geológico esquemático relativo ao traçado proposto para o túnel de Chelas – Beato (CONSÓRCIO, 2016-2030).

De acordo com a carta geológica de Lisboa à escala 1:10 000, o traçado proposto e alternativas para o túnel de Campolide – Santa Apolónia intercetam em planta, de montante para jusante, a seguinte sequência de formações geológicas: a - Aluviões e/ou aterros; (beta)1 - Complexo Vulcânico de Lisboa; (beta)1_p - Complexo Vulcânico de Lisboa: rochas piroclásticas; C2Bi - Formação da Bica: calcários com rudistas ; C2Cn - Formação de Caneças: calcários, margas, arenitos e dolomiticos; (phi)Bf - Formação de Benfca: conglomerados, arenitos e argilitos; MPr - Formação das Argilas dos Prazeres (MI): argilitos e calcários; MEs - Formação das Areolas de Estefânia (MII); MEc - Formação dos Calcários de Entrecampos ("Banco Real")(MIII); MFT - Formação das Argilas de Forno do Tijolo (MIVa); MQB - Formação das Areias de Quinta do Bacalhau (MIVb); MCV - Formação dos Calcários de Casal Vistoso (MVa1); Mpm - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVa2); Mpm_i - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVa2): intercalações calcárias e por fim novamente a - Aluviões e/ou aterros.

Segundo o perfil exposto na Figura 9, poderão ainda ser reconhecidas em profundidade outras formações, como é o caso da Formação de Caneças (C2Cn). Por outro lado, de acordo com o mesmo perfil, as formações dos Calcários do Casal Vistoso (MVC), das Areias com Placuna miocénica (Mpm), e os Calcários da Musgueira (MMu) são passíveis de não serem reconhecidas ao longo do traçado proposto.

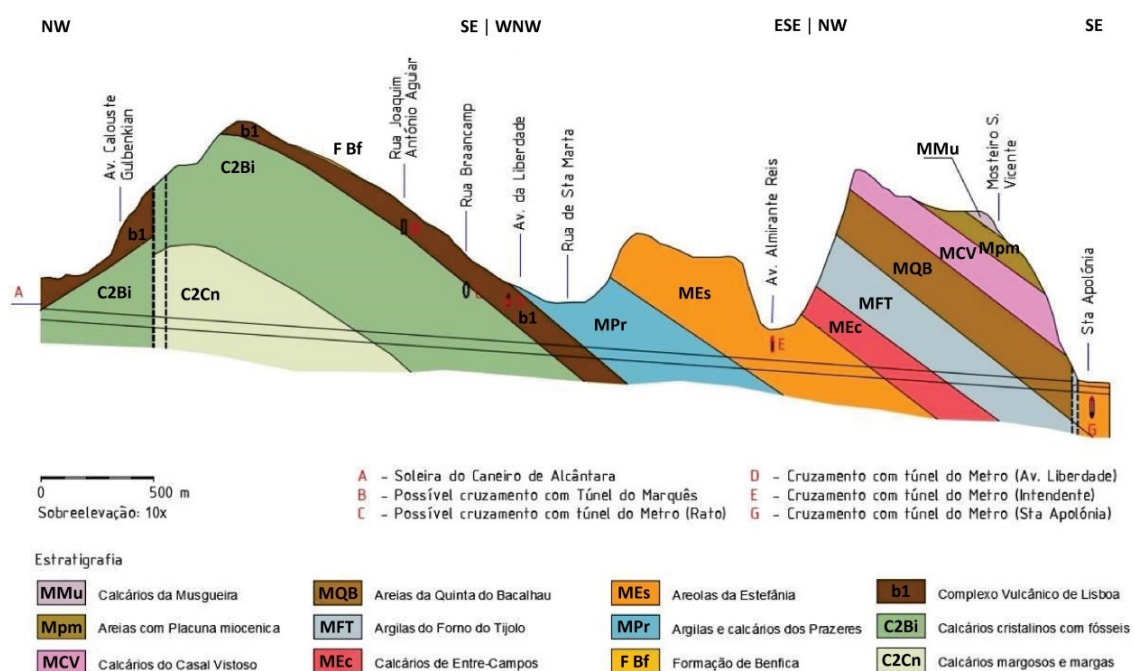


Figura 9 - Perfil geológico esquemático relativo ao traçado proposto para o túnel de Campolide – Santa Apolónia (PGDL, 2016-2030).

Em seguida far-se-á uma breve descrição, por ordem geocronológica (mais recente para o mais antigo) das diversas formações geológicas interessadas aos dois traçados propostos.

QUATERNÁRIO

a - Aluviões e/ou aterros

Os depósitos aluvionares holocénicos ocorrem ao longo das principais linhas de água e vales da cidade de Lisboa (ex. Vale de Chelas) em grande parte cobertos por aterros. Nas linhas de água interiores a espessura destes materiais raramente passa os 10 m, ao contrário das zonas de confluência com o rio Tejo, onde há registos de sondagens com 50 m de espessura de material aluvionar.

Estes depósitos são reconhecidos cartograficamente em ambos os traçados dos túneis nos seus troços finais junto às zonas ribeirinhas e ainda no início do traçado do túnel de Chelas no seu sector mais a montante, e nos vales da Av. Almirante Reis e da Av. da Liberdade no traçado do túnel de Campolide – Santa Apolónia.

NEOGÉNICO

MMv - Formação dos Calcários de Marvila (MVlc)

Esta formação representa o início da nona sequência deposicional miocénica (T1, Serravaliano terminal e Tortonian inferior 11.6 Ma, PAIS *et al.*, 2012) cuja base é materializada por uma superfície de descontinuidade resultante de um episódio de transgressão marinha. Tratam-se de biocalcarenitos grosseiros com a presença de fosseis de moluscos, passando a arenitos finos amarelado claros e a argilas cinzentas com restos de ossos fossilizados de cetáceos. As camadas desta formação afloram entre a Quinta do Jardim, Poço do Bispo e Marvila, com possanças até aos 12 m.

De acordo com a carta geológica 1: 10 000 de Lisboa, no local onde está previsto passar o ultimo troço (jusante) do túnel de Chelas, antes de se chegar às aluviões ribeirinhas, uma estreita faixa orientada norte-sul aflora sub-horizontalmente ao longo da Av. Infante Dom Henrique, perto da fronteira das freguesias de Marvila e Beato.

MGr - Formação dos Grés de Grilos (MVlb)

Os sedimentos desta formação são divididos entre a oitava sequência de deposição, juntamente com parte da formação MMv (S2, Serravaliano superior 13.5 Ma, PAIS *et al.*, 2012), e a sétima sequência de deposição (S1, Langhiano superior e Serravaliano 15.1 Ma, PAIS *et al.*, 2012), em conjunto com as Argilas de Xabregas (MXa) e os Calcários de Quinta das Conchas (MQC). Tratam-se de biocalcarenitos amarelados com fragmentos rolados de moluscos, a que se sucedem arenitos grosseiros, amarelo torrado com a presença de fosseis de moluscos e equinodermes, cuja espessura total atinge os 14 m. A formação dos Grés de Grilos aflora na margem direita do Tejo na região de Lisboa entre Grilos, Beato, Poço do Bispo, prolongando-se para norte em direção aos Olivais.

No que toca ao traçado proposto para o túnel de Chelas corresponde aos terrenos que afloram sub-horizontalmente no sector oriental do dito traçado, entre os Calcários de Marvila (MMv) a jusante e as Argilas de Xabregas (MXa) a montante.

MXa - Formação das Argilas de Xabregas (MVla)

As Argilas de Xabregas (MXa), juntamente com os Calcários de Quinta das Conchas (MVc) e parte dos Grés de Grilos (MGr) formam a sétima sequência deposicional (S1, Langhiano superior e Serravaliano 15.1 Ma, PAIS *et al.*, 2012). Trata-se um conjunto de sedimentos silto-argilosos, por vezes com areia fina, de cor cinza-azulado e com bastantes fosseis de moluscos,

foraminíferos e ostracodos, provenientes de ambientes mais profundos do Neogénico da Bacia do Baixo Tejo e resultantes da maior transgressão marinha de todo o Miocénico. Esta formação, com cerca de 18 m de espessura, aflora na margem norte do Tejo entre Xabregas, Quinta da Lebre e Poço dos Cortes, segundo uma faixa orientada NW-N-S disposta sensivelmente de forma horizontal (3-7° Este).

Na freguesia de Marvila, junto ao campo de futebol do Ferroviário de Marvila, o traçado do túnel de Chelas, no seu sector intermédio, intersecta em planta esta formação.

MQC - Formação dos Calcários de Quinta das Conchas (MVC)

Representam em Lisboa o início de um novo ciclo eustático fazendo parte da sétima sequência deposicional (S1). Assentam em descontinuidade, devido a uma transgressão, sobre as Areias de Vale de Chelas (MVC), sendo materializados por biocalcarenitos grosseiros com presença de ostreídeos, seguidos de biocalcarenitos alternando com argilas siltosas. Esta formação aflora entre a Av. Afonso III, Xabregas e Chelas prolongando-se em direção ao aeroporto de Lisboa apresentando um pendor de 8° a 10° para Este.

Em Marvila, onde o traçado do túnel de Chelas cruza a linha de Caminhos de Ferro a sudoeste da estação de Marvila, esta formação encontra-se cartografada na carta geológica 1: 10 000 de Lisboa.

MVC - Formação das Areias de Vale de Chelas (MVb)

Juntamente com os Calcários de Musgueira (MMu) constituem a sexta sequência miocénica deposicional (L1, Langhiano inferior 16.4 Ma, PAIS *et al.*, 2012). São constituídas por areias feldspáticas de origem fluvial, incoerentes ou fracamente cimentadas, às vezes grosseiras e compactas, com estratificação cruzada. – areias inferiores da Quinta da Silvéria, que correspondem a um episódio regressivo máximo sobrepostas por areias dunares. Aflora paralelamente e a oeste dos Calcários de Quinta das Conchas (MQC), entre a Av. Afonso III, Xabregas, Chelas e Quinta da Graça prolongando-se para norte em direção ao aeroporto de Lisboa. Apresenta um pendor semelhante à da formação MQC.

No que respeita ao traçado proposto para o túnel de Chelas esta formação surge cartografada na área onde o viaduto da Azinhaga Salgada passa por cima da linha de Caminhos de Ferro, o que corresponde ao sector ocidental do referido traçado.

MMu - Formação dos Calcários de Musgueira (MVa3)

Parte da sequência deposicional L1, esta formação assenta em descontinuidade sobre as Areias com Placuna miocénica (Mpm), devido a uma transgressão marinha. É representada por biocalcarenitos de cor branca a amarelada, arenosos e frequentemente grosseiros, com a presença de fósseis de moluscos e algas rodófitas. Aflora entre o Bairro dos Barbadinhos, Alto de S. João, Quinta da Conceição e Quinta das Teresinhas continuando em direção ao aeroporto. Apresenta geralmente possanças da ordem dos cinco a seis metros e pendores suaves (4°) a mergulhar em direção ao rio Tejo.

Tal como as Areias de Vale de Chelas (MVC) surge na cartografia geológica 1: 10 000 de Lisboa na área do sector ocidental do traçado do túnel de Chelas.

Mpm - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVa2) e Mpm_i - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVa2): intercalações calcárias

Corresponde à etapa regressiva da quinta sequência deposicional miocénica (B2, Burdigaliano superior 17.3 Ma, PAIS *et al.*, 2012). Tratam-se de areias fluviais com seixo rolados e argilas arenosas com vegetais e ostreídeos, seguidas de areias eólicas, associadas a finos leitos de argila, podendo corresponder a dunas litorais e a ambiente deltaicos. Na região da cidade de Lisboa podem ser encontrados afloramentos dispostos de forma sub horizontal em diversos locais tais como entre o Castelo de São Jorge, Graça, Alto de S. João, Chelas e Rotunda do Aeroporto.

Esta formação é intercetada em planta pelo traçado do túnel de Campolide – Santa Apolónia no sector jusante entre a Escola Básica e Secundária Gil Vicente e a Igreja de São Vicente de Fora ambas perto da Rua da Voz do Operário (freguesias de São Vicente de Fora e Graça).

MCV - Formação dos Calcários de Casal Vistoso (MVA1)

Esta unidade carbonatada, cuja base assenta em descontinuidade devido a uma transgressão, marca o início da quinta sequência deposicional (B2). Esta formação é materializada essencialmente por uma bancada carbonatada gresosa, por vezes grosseira e com a presença de fósseis de moluscos e algas rodófitas, variando a sua espessura entre os três e os 12 m. Aflora entre Alfama, o Castelo de São Jorge, Graça, Penha de França, Areeiro e Rotunda do Aeroporto.

De acordo com a carta geológica 1: 10 000 de Lisboa, esta formação ocorre ao longo de todo o sector da Graça onde está previsto passar o último troço (jusante) do túnel de Campolide – Santa Apolónia.

MQB - Formação das Areias de Quinta do Bacalhau (MIVb)

Trata-se de depósitos regressivos e de nível eustático baixo da quarta sequência deposicional (B1, Burdigaliano 17 Ma, PAIS *et al.*, 2012). As Areias de Quinta do Bacalhau (MQB) são constituídas por areias arcóicas de origem fluvial e/ou deltaica, predominantemente amareladas, com bancadas de argilitos cinzentos que correspondem a paleocanais e depósitos pelíticos que materializam antigas planícies de inundação e de deltas. Nos sedimentos arcóicos, é possível encontrar-se fósseis de restos de mamíferos, já nos argilitos são encontradas impressões de vegetais. A presença de ostreídeos nestes depósitos é também comum. Os afloramentos desta formação estendem-se entre o Castelo de São Jorge, Graça, Penha de França, Areeiro, Rotunda do Aeroporto, Campo Grande, e Lumiar. Regra geral estas camadas apresentam espessuras entre os 35 m e 40 m.

Relativamente ao traçado do túnel Campolide – Santa Apolónia importa referir que esta formação surge em planta em dois locais distintos, ambos no troço inferior/jusante. O primeiro junto à zona ribeirinha, onde contacta diretamente com as aluviões, e com as Argilas de Forno do Tijolo (MFT) por intermédio de um acidente tectónico do tipo falha, e o segundo local perto do Miradouro da Senhora do Monte na Graça, onde o traçado faz a primeira inflexão.

MFT - Formação das Argilas de Forno do Tijolo (MIVa)

Juntamente com as formações das Areias de Quinta do Bacalhau (MQB) e os Calcários de Entrecampos também denominado de "Banco Real" (MEc), constitui parte da sequência deposicional B1, representando ainda a maior transgressão ocorrida durante o Burdigaliano. É formada por areias finas argilosas, piritosas, de cor cinzento azulado (características de ambientes de águas paradas, com pouco oxigénio e ambientes redutores), com a presença de fósseis de moluscos, peixes e microfósseis de vários tipos. A espessura das camadas na região de Lisboa não excede os 11 m. Afloram entre o Terreiro do Trigo, a colina do Castelo de São Jorge, a parte oriental da Av. Almirante Reis, Areeiro, Alvalade, Campo Grande, Telheiras e Carnide.

Esta formação é reconhecida na base da colina do Castelo de São Jorge subjacente às Areias da Quinta do Bacalhau (MQB). É intercetada em planta pelo túnel proposto de Campolide a meia encosta (esquerda) do vale da Av. Almirante Reis.

MEc - Formação dos Calcários de Entrecampos ("Banco Real")(MIII)

Esta formação assenta em disconformidade, sobre os depósitos da terceira sequência deposicional (B0). O "Banco Real" é representado por biocalcarenitos com fração detrítica abundante, por vezes argilosos, e com moldes fosseis (negativos e positivos) de moluscos. No topo da formação as camadas passam a areias finas e a siltitos argilosos de cor cinzenta. Na área de Lisboa a possança da formação ronda os cinco metros. Aflora em faixa estreita entre Alfama, Av. Almirante Reis, Campo Grande e Carnide.

Os calcários de Entrecampos são reconhecidos cartograficamente no fundo do vale da Av. Almirante Reis, sobrepostos pelos depósitos aluvionares, no sector da primeira inflexão do traçado de Campolide.

MEs - Formação das Areolas de Estefânia (MII)

A terceira sequência deposicional (B0, Burdigaliano 20 Ma, PAIS *et al.*, 2012) é exclusivamente formada por esta formação. Tratam-se de um conjunto com cerca de 35 m de espessura formado por areias finas, areias argilosas, argilitos e alguns bancos de biocalcarenitos. Os biocalcarenitos são o principal constituinte do topo da unidade. Afloram na região de Lisboa entre Carnide e Telheiras passando pelo Campo Pequeno, Campo Santana, Bairro Alto, Baixa e base da colina do Castelo de São Jorge. Podem ainda encontrar-se pequenos afloramentos nas áreas de Benfica e Algés. O referido conjunto inclina para sudeste e assenta em disconformidade sobre os depósitos da segunda sequência miocénica (A2).

Esta sequência deposicional (B0), ocorre de acordo com a cartografia geológica 1: 10 000 de Lisboa na maior parte do sector intermédio do túnel de Campolide, desde a Av. Almirante Reis até quase à Av. da Liberdade onde contacta com a Formação das Argilas dos Prazeres (MPr).

MPr - Formação das Argilas dos Prazeres (MI): argilitos e calcários

As Argilas dos Prazeres (MPr) representam as duas primeiras sequências de depósitos do miocénico de Lisboa (A1 e A2, Aquitaniano a Burdigaliano inferior 19 a 24 Ma, PAIS *et al.*, 2012). Ocorrem sobrepostas ao Complexo Vulcânico de Lisboa (beta1 e beta1_p) e à Formação de Benfica (phi Bf) e/ou nalgumas áreas às formações cretácicas, como é o exemplo dos Calcários com rudistas da Bica (C2Bi). A transição Oligocénico - Miocénico é feita de forma gradual em alguns locais de Lisboa, no entanto, noutras é feita por disconformidade ou inconformidade angular. Afloram desde Carnide a Santos passando por Benfica, Palma de Baixo, Campo Pequeno, Praça do Marquês do Pombal, Largo do Rato, Prazeres, Estrela e Lapa. A Oeste ocorrem ainda junto ao forte do Alto do Duque e de Algés. A sequência A1 caracteriza-se por conglomerados que passam superiormente a depósitos margosos e calcários coralíferos. A sequência A2 é caracterizada pela predominância de argilas e margas, formadas em ambiente lagunar litoral, mas também pela presença de bioermas (massa de calcário lenticular) de corais e briozoários seguidos de argilitos. Lateralmente ocorrem níveis carbonosos com vegetais. Ao conjunto deposicional sobrepõem-se níveis arenosos finos a médios, micáceos com a presença de fosseis de mamíferos e argilitos arenosos de cor avermelhada com paleocanais preenchidos por ostreídeos. A espessura máxima do conjunto ronda os 45 m.

Surge em planta no final do sector intermédio e na zona de inflexão para o sector montante do traçado de Campolide.

PALEOGÉNICO

(phi)Bf - Formação de Benfica: conglomerados, arenitos e argilitos

A Formação de Benfica (phi Bf) é constituída por depósitos continentais provenientes da erosão do Maciço Antigo, e transportados pelo proto rio Tejo até à atual região costeira de Lisboa e Península de Setúbal, onde posteriormente se depositaram dando início ao preenchimento basal da Bacia do Baixo Tejo (BBT).

Tratam-se de depósitos bastante heterogéneos, grosseiros de conglomerados intercalados com arenitos, areias feldspáticas e lutitos (argilitos ou siltitos de origem continental), crostas calcárias, e pontualmente calcários lacustrinos, cuja espessura ultrapassa os 400 m.

Os estudos litoestratigráficos mais recentes REIS *et al.* (2001) atribuem a esta unidade uma idade entre o Eocénico (médio a superior) e o Oligocénico o que comprova a heterogeneidade da formação em causa.

Por analogia e enquadramento estratigráfico os sedimentos podem ser correlacionados com os da etapa paleogénica representada nos bordos N e NW da depressão do Baixo Tejo, incluindo os da Formação de Vale do Guizo (sector sul da BBT), assim como os das regiões de Arganil, Coimbra e Nazaré, onde há referências cronológicas precisas do Eocénico (Formação do Bom Sucesso e Arcoses da Coja).

A Formação de Benfica assenta em descontinuidade sobre o CVL, do qual retoma materiais. Em alguns locais, contacta diretamente com o Cenomaniano. Superiormente é limitada por descontinuidade, ou passa gradualmente, aos sedimentos marinhos do miocénico inferior (Aquitano).

Existem associações distintas de fácies com diferenciações a nível do acarreo detrítico. A arquitetura vertical e lateral e a respetiva evolução sequencial indiciam influência de atividade diastrófica relevante, compatível com afundimentos com direção NE-SW e que parece ter sido mais intensa no topo. A diferenciação de dois episódios deposicionais separados por uma descontinuidade maior atribuível à fase pirenaica, repete estrutura idêntica definida para depósitos correspondentes a esta etapa noutras regiões.

As frações argilosas são ricas em paligorskite e de esmectite, está associada aos níveis mais detríticos, enquanto a paligorskite abunda nos carbonatados e argilitos.

CHOFFAT (1950) reconheceu cinco conjuntos que designou por assentadas (de baixo para cima):

1. Margas e argilas avermelhadas ou alaranjadas;
2. Conglomerados com blocos calcários;
3. Margas avermelhadas;
4. Calcários de Alfovelos cobertos por conglomerados;
5. Margas avermelhadas com pequenos calhaus rolados e alguns calcários.

ANTUNES (1979), interpretou os conjuntos líticos e reconheceu três conjuntos informais separados por descontinuidade (de baixo para cima):

1. Unidade A, correlacionada com o Eocénico (cerca de 106 m);
2. Unidade B, correlacionada com o Oligocénico (cerca de 206 m);
3. Unidade C, correlacionada com o Oligocénico (> 120 m).

Segundo REIS *et al.* (2000) foram identificadas quatro associações de fácies:

A associação 1, corresponde à unidade A de ANTUNES (1979) e à 1ª assentada de CHOFFAT (1950), é composta por conglomerados e arenitos siliclásticos, com estratificações obliquas encurvadas, matriz areno-lutítica e elementos de quartzo, quartzito, lítido, xistos e clastos feldspáticos, de cor esverdeada. Estes clastos têm origem no Maciço Antigo e foram retomados de depósitos detríticos mesozóicos. Localmente, ocorrem margas avermelhadas ou esbranquiçadas. Ocasionalmente, existem nos conglomerados clastos rolados de calcários mesozóicos.

A associação 2 é constituída por conglomerados e arenitos siliclásticos, com cimento carbonatado, cor vermelho-tijolo, rosada e esverdeada clara, associados, local e lateralmente, a horizontes de calcários micríticos brancos, nodulosos e às vezes pulverulentos, conhecidos como “Calcários de Alforneiros”. Têm fácies lacustres e palustres e forma alvo de ações pedogenéticas e diagenéticas importantes; em parte, correspondem a calcretos. Têm cerca de 10m de espessura.

A associação 3 é representada por arenitos e lutitos avermelhados com níveis de concreções carbonatada róseas. Ocorrem intercalações decimétricas de corpos lenticulares e canalizados de micro conglomerados e arenitos grosseiros, com elementos essencialmente siliclásticos, pouco rolados, e mais raramente de calcário (proveniente do cretácico e do desmantelamento de crostas carbonatadas pouco evoluídas). Os corpos lenticulares e canalizados apresentam dimensões que não ultrapassam os 10 m de largura e os 2 m de espessura máxima. Não são detetáveis elementos basálticos. Correspondem à instalação de episódios de sedimentação com decantação de materiais finos avermelhados e ao desenvolvimentos de horizontes intercalados de crostas calcárias. É equivalente à unidade B de ANTUNES (1979) e às 2ª e 3ª assentadas de CHOFFAT (1950). Assenta em descontinuidade sobre a anterior, marcada pela ocorrência de conglomerados com clastos de sílex, de quartzito e quartzo e de calcários cenomanianos, cimentados por argilas brancas na base passando a vermelhas no topo (6 m); os clastos calcários são cada vez mais abundantes para o cimo. A 3ª assentada de CHOFFAT (1950) corresponde a um conjunto margoso, avermelhado a rosado, com alguns clastos dispersos, e com concreções carbonatadas bem expostas nas imediações da Quinta Nova. O conjunto atinge cerca de 200 m de espessura e inclina 10° próximo de Azenha Velha e 20° a 25° próximo de Alforneiros.

A associação 4 está bem representada entre Carnide e Póvoa de Santo Adrião. Corresponde às 4ª, 5ª e 6ª assentadas de CHOFFAT (1950) e à unidade C de ANTUNES (1979). Inclina cerca de 10° e atinge cerca de 120 m de espessura. Ocorrem conglomerados e arenitos grosseiros com elementos rolados calcários jurássicos (Calcários de S. Pedro, Xistos do Ramalhão) e cretácicos, basalto, rochas filonianas, arenitos do Belasiano e de margas esverdeadas, cimentadas por matriz argilosa avermelhada. O conjunto é encimado por conglomerados com grandes clastos calcários e quartzíticos, em corpos de espessura métrica alternando com arenitos e lutitos vermelhos e castanhos, com horizontes carbonatados nodulares ou encrostados e com distintos índices de maturidade. Os corpos conglomeráticos têm acentuada tendência tabular. A abundância de clastos de basalto é variável mas parece estreitamente relacionada com a ocorrência de clastos calcários. Quer os clastos de calcário quer os de basalto são progressivamente mais abundantes e de maiores dimensões para o topo da sucessão. Evidenciam processo de alimentação local, na sequência da rutura NE-SW que terá afetado unidades mesozoicas. Ocorrem episódios espasmódicos de deposição de canais de elevada energia e de geometria espalhada, intercalados com longos períodos de paragem e alteração pedológica, com a formação de horizontes carbonatados encrostados. A drenagem é feita para SE.

A Formação de Benfica (phi Bf) aflora entre Benfica, Carnide e Odivelas. Apresenta uma espessura total de cerca de 425 m. ZBYSZEWSKI (1963) reconheceu, de baixo para cima, a seguinte sucessão:

1. Arenitos e margas avermelhadas siliclásticos (90 m);
2. Calcários de Alforneiros, cobertos com um banco de conglomerados (15 m);
3. Margas avermelhadas (200 m);

4. Conglomerados com clastos calcários (60 m);
5. Margas e argilas avermelhadas ou alaranjadas (60 m).

De acordo com a Carta geológica do Concelho de Lisboa à escala 1: 10 000, a Formação de Benfica (phi Bf), juntamente com os calcários da Formação da Bica (C2Bi), afloram no sector montante do traçado do túnel de Campolide.

CRETÁCICO

(beta)1 - Complexo Vulcânico de Lisboa

O Complexo Vulcânico de Lisboa - CVL (beta 1), antigamente denominado como “Manto Basáltico”, consiste na intercalação de unidades sedimentares com unidades vulcânicas. Esta intercalação separa diferentes episódios magmáticos na região de Lisboa, indicando que houve períodos de repouso na atividade magmática durante os quais a sedimentação retomou o seu processo normal. Os modelos vulcanológicos sugerem a existência de um único edifício vulcânico principal como responsável pela emissão dos materiais ígneos do CVL. Este edifício, com uma altura superior a 2000 m, estaria situado na região de Mafra.

Os diversos materiais resultantes da alternância de episódios correspondem a lavas de escoada basáltica, alcalinas e com diversas fácies texturais (desde afíricas até porfiróides), piroclastos, filões e massas filonianas, cinza vulcânica, chaminés de basalto, rocha basáltica (alterada e sã), brecha vulcânica, tufos vulcânicos, margas vermelhas, grés e calcários fossilíferos (re-sedimentados) e argilas vermelhas. Os materiais sedimentares fossilíferos indicam que a sedimentação se processou em ambientes lacustres e fluviais, já a atividade ígnea regional mostra que a atividade magmática foi essencialmente efusiva e lávica com materiais subsidiários. O CVL apresenta espessuras muito variáveis nos diversos locais onde aflora, variando as mesmas entre os 200 m (em Campolide) e os 15 m (no Parque Eduardo VII).

Estão reconhecidos afloramentos do CVL de Santos a Algés, e para N, do Marquês de Pombal à Amadora. Contudo a intensa urbanização da região de Lisboa apenas permite a sua observação no Parque Florestal de Monsanto.

O CVL é reconhecido exclusivamente, em planta, no início e no final do sector montante do traçado de Campolide, ladeando a Formação da Bica (C2Bi), localizada no centro deste troço.

(beta)1_p - Complexo Vulcânico de Lisboa: rochas piroclásticas

As rochas piroclásticas do CVL são o produto da atividade vulcânica explosiva. Traduz-se essencialmente na região de Lisboa por depósitos não consolidados, de espessura variável, e sempre muito alterados de matérias do tipo *lapilli* (fragmentos de lava consolidada com dimensões entre os 4 e os 32 mm) e cinza vulcânica. Brechas grosseiras na base das escoadas e outros aglomerados vulcânicos podem também ocorrer localmente mas sempre muito alterados.

C2Bi - Formação da Bica: calcários com rudistas

A Formação da Bica (C2Bi) é constituída por calcários compactos de cor branca, rosados a avermelhados, que se apresentam mais margosos no topo da unidade, onde alternam com margas amareladas, rosa esbranquiçadas. Os calcários compactos chegam por vezes a cristalinos apresentando alguns nódulos de sílex, alternando com calcários apinhoados e calcários ligeiramente margosos. A formação é caracterizada na parte superior pela ocorrência de biostromas, de cor branca acinzentada a avermelhada, e pela presença de rudistas silicificados. Fosseis de foraminíferos, ostracodos, tubos de serpulídeos, esponjas, algas, gastrópodes, bivalves, equinídeos e amonóides são também frequentemente encontrados nas

camadas da formação. Na região de Lisboa a espessura desta unidade é cerca de 50 m. O contacto com o CVL (beta1 e beta1_p), sobrejacente à Formação da Bica (C2Bi) é feito através de uma superfície de paleocarsificação.

A Formação da Bica (C2Bi) aflora na zona intermédia do sector do traçado do túnel de Campolide, entre o Bairro de Campolide e o Estabelecimento Prisional de Lisboa.

C2Cn - Formação de Caneças: calcários, margas, arenitos e dolomitos

Na cidade de Lisboa são reconhecidos os dois níveis superiores, de um total de quatro. O primeiro nível, denominado “nível com *Pterocera incerta*” é constituído por calcários margosos amarelados e apinhoados, pouco fossilíferos, com níveis areno-quartzosos e mais dolomíticos para o topo. O segundo nível, conhecido como “nível com *Exogyra pseudo-africana*”, predominam os calcários margosos amarelados e as margas. Ambos os níveis apresentam um conteúdo fossilífero formado por bivalves, na sua maioria ostreídeos, gastrópodes, crustáceos, vegetais, equinodermes, foraminíferos, e alguns rudistas e vertebrados. Estes dois níveis afloram na cidade de Lisboa em Monsanto, com uma espessura de 60 m, e no vale de Alcântara subjacente à Formação da Bica (C2Bi).

No que respeita ao traçado do túnel de Campolide e de acordo com o corte geológico apresentado na Figura 9, esta formação deverá ser intercetada em profundidade entre a Av. Calouste Gulbenkian e a Rua Joaquim António Aguiar, no bairro de Campolide.

Ainda sobre o presente traçado, importa referir, de acordo com a carta geológica 1:10 000 do concelho de Lisboa que se prevê a interseção de pelo menos dois acidentes tectónicos do tipo falha (Figura 7).

Recursos hidrominerais

Enquadramento histórico

Já em período romano parece ter existido algum aproveitamento das águas que brotavam das entranhas de Lisboa, numa área de falhas geológicas correspondente na atualidade à parte baixa da Alfama. Como vestígios dessa utilização, encontramos algumas estruturas hidráulicas que poderão corresponder a um edifício termal romano do século I/ II d.c. na Rua de S. João da Praça, uma estrutura para banhos que poderá corresponder a um tanque de águas frias de um balneário romano em funcionamento até ao séc. IV d.c. no Beco do Marquês de Angeja, um tanque no Largo das Alcaçarias e o facto de poder eventualmente atribuir-se a primitiva construção do Chafariz de Dentro ao período romano.

Remonta, no entanto, ao período muçulmano o conhecimento de fontes de água quente em Lisboa, designadas em árabe por *al-hamma*, de onde deriva a palavra Alfama. Estas águas, as chamadas Alcaçarias são uma parte importante do património histórico do bairro de Alfama que apesar de atualmente serem praticamente ignoradas, tiveram um papel fundamental na história desta parte da cidade.

Estas águas, com temperatura acima de 20 °C e caudal elevado, possibilitaram a existência de condições para, no final do século XIX, terem sido classificadas como “águas mineromedicinais” pela então Inspeção de Águas. As águas tiveram, ao longo dos séculos, uma utilização diversificada, consoante o local e o tipo de emergência, tendo, inclusive, sido a fonte de abastecimento das caravelas. O seu apogeu materializou-se, no entanto, na concessão de exploração de quatro “balneários públicos”, ainda no século XIX, que operaram durante algumas décadas. Para além das emergências tradicionais, uma nascente denominada Fonte das Ratas, posta a descoberto no Largo das Alcaçarias, na década de 60 do século XX, atingiu

uma grande popularidade, apesar de nunca ter sido qualificada como “água mineromedicinal” à luz da legislação então em vigor. Abandonadas há mais de 25 anos, atualmente as nascentes encontram-se seladas e canalizadas para o Rio Tejo por condutas cuja localização exata se perdeu nos tempos.

Breve enquadramento geológico e hidrogeológico

As águas de Alfama fazem parte do grande número de nascentes que se estende pela margem do rio Tejo, desde a Fonte da Bica até ao Chafariz de El-Rei. Detalhadamente estudadas por CHOFFAT (1895-1898), destaca-se um grupo que foi utilizado com fins mais nobres: Alcaçarias de D. Clara, Alcaçarias do Baptista, Banhos do Doutor, Alcaçarias do Duque, Bica do Jardim do Tabaco, Largo da Fundição e a Bica do Sapato. As quatro primeiras foram, sem dúvida, emergências de água quente, com temperaturas entre os 24°C e os 34°C, enquanto que entre as águas frias contava-se a Bica do Jardim do Tabaco, Largo da Fundição e a Bica do Sapato. As Alcaçarias de D. Clara (24 a 28°C), as Alcaçarias do Baptista (32 a 34°C), os Banhos do Doutor (27°C) e as Alcaçarias do Duque (30 a 34°C) encontram-se alinhadas na zona entre o Largo do Chafariz de El-Rei e o largo do Chafariz de Dentro, ao longo da Rua do Terreiro do Trigo. Estas águas quentes, que constituíam o que genericamente se chamou o Grupo das Alcaçarias (CHOFFAT, 1895-1898 e ANDRADE, 1935), e ainda o Chafariz de El-Rei, parecem estar alinhadas no contacto entre o Complexo das Areolas da Estefânia (Burdigaliano) e o Complexo do Banco Real, do Miocénico, entre duas falhas de direção aproximada NE-SW (MOITINHO DE ALMEIDA, 1972).

CHOFFAT (1895-1898) reconhece seis sub-grupos nas águas da zona de Alfama, dispostos sobre uma linha curva com convexidade virada em direção à terra. As duas extremidades desta linha são identificadas por este autor como o Chafariz de El-Rei e a Bica do Sapato, distando entre si 1.010 m, enquanto que a linha de termalidade, relativamente acentuada, do Chafariz de El-Rei ao Largo da Fundição, não tem mais que 550 m de comprimento. O Grupo das Alcaçarias encontra-se enquadrado estruturalmente por cinco falhas de direção aproximada NE-SW (MOITINHO DE ALMEIDA, 1972).

Estudos geológicos e geofísicos de detalhe realizados recentemente por LNEG (2016) confirmam a localização das nascentes de Alfama no contacto entre duas unidades miocénicas, as Areolas da Estefânia (MES) e os Calcários de Entrecampos (MEC). De acordo com este estudo do LNEG (2016), estas nascentes estão muito provavelmente associadas à ascensão rápida de águas subterrâneas com origem em formações hidrogeológicas profundas, por intermédio de uma série de falhas secundárias associadas a um acidente tectónico regional (Figura 10 e Figura 11). Cálculos geotermométricos aplicados às análises históricas das águas de Alfama e realizados por MARRERO-DIAZ E RAMALHO (2015) indicam temperaturas de equilíbrio entre os 30 e os 85 °C as quais corresponderiam a profundidades mínimas de ocorrência de 500 m e, que na zona de Alfama correspondem às formações com aptidão geotérmica do Cretácico Inferior (MARRERO-DIAZ *et al.*, 2013). Saliente-se que estas formações hidrogeológicas embora muito compartimentadas por falhas e diques do Complexo Vulcânico de Lisboa e com taxas de recarga subterrânea praticamente nulas, já são exploradas atualmente para aproveitamento geotérmico pelo menos no Hospital da Força Aérea no Lumiar (furo com uma profundidade de 1500 m) (CARVALHO *et al.*, 1990).

Destaca-se ainda o facto de na zona de Alfama, a sondagem geotécnica ML78 (Figura 10) efetuada no Largo do Chafariz de Dentro em 1970 pela empresa Teixeira Duarte (MOITINHO DE ALMEIDA, 1972), com 25.8 m de profundidade total, ter interceptado aos 12 metros na formação geológica das Areolas da Estefânia, um nível aquífero com um forte artesianismo repuxante (6.2 L/s) e temperaturas da água subterrânea de 25.5 °C (RIBEIRO *et al.*, 2005).

Atualmente, os resultados da investigação hidrogeológica realizada pelo LNEG (2016) confirmam que não existe na zona de Alfama qualquer evidência destas nascentes com características termominerais, nem de outras águas com características similares.

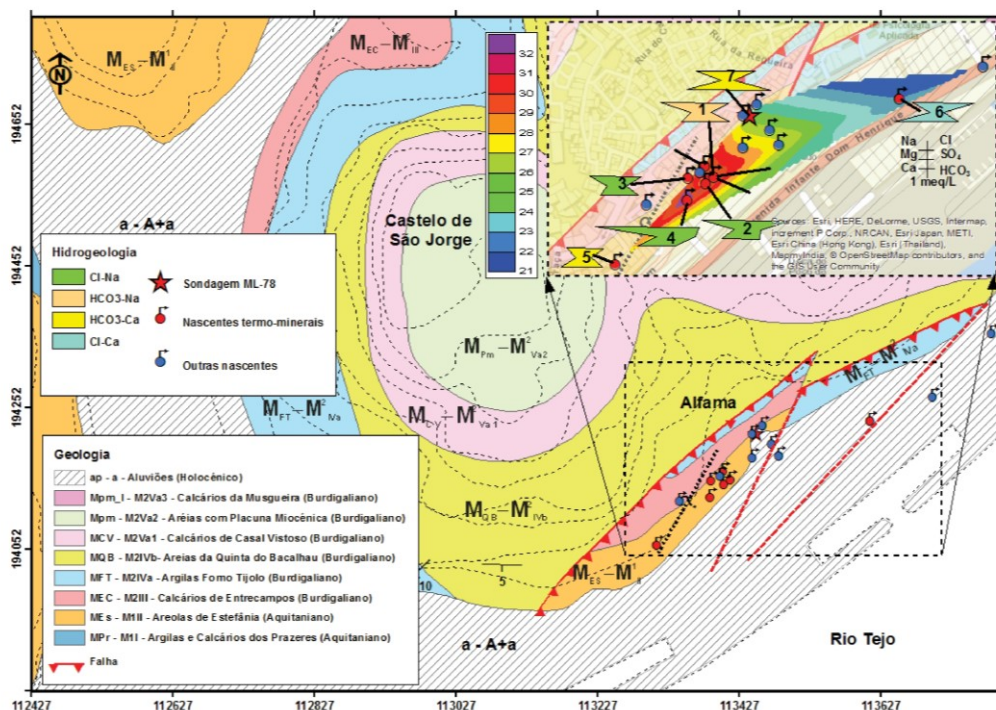


Figura 10 – Mapa geológico da área do Castelo de São Jorge e Alfama modificada por LNEG (2016) a partir de LNEG-INETI (2005) e da carta geológica 1:10 000 folha 4 (MOITINHO DE ALMEIDA, 1986), com a localização histórica das nascentes termominerais de Alfama e da sondagem ML78; (C): área ampliada de (B), com as correspondentes temperaturas das exsurgências e os diagramas de Stiff, agrupados por fácies hidroquímicas. Coordenadas: Lisboa Hayford Gauss IGeoE.

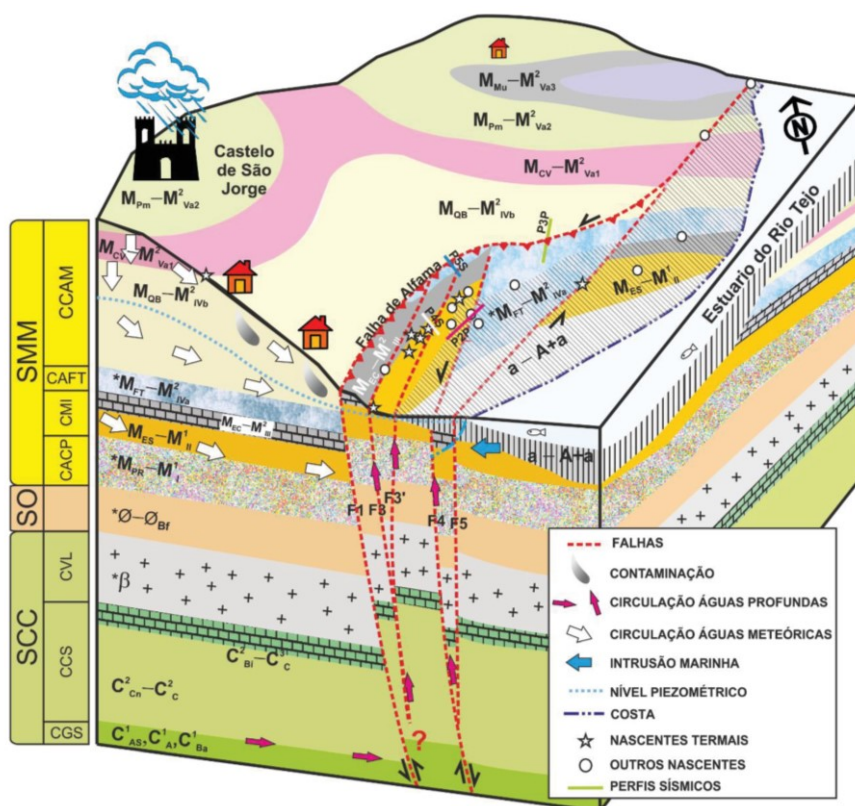


Figura 11 - Modelo hidrogeológico conceptual da área de Alfama realizado por MARRERO-DIAZ & RAMALHO (2015) a partir do corte geológico de MOITINHO DE ALMEIDA (1986) (localização em Figura 10), com nomenclatura de PINTO (2003). Setas brancas: circulação provável das águas metéóricas através do Complexo Calco-Arenítico Miocénico e do Complexo Miocénico Inferior para SW; Setas finas: ascensão, através de falhas, das águas profundas que davam origem às nascentes termominerais de Alfama; Seta escura horizontal: intrusão marinha (não há evidências de mistura com as águas do Tejo). Sem escala.

De acordo com a literatura (ANDRADE, 1935 e ALMEIDA, 1972), as águas do Grupo das Alcaçarias de Alfama podem ser genericamente caracterizadas como águas bicarbonatadas cloretadas-sódicas ou cálcicas, com resíduo seco (a 180°C) de cerca de 600 mg/L. Embora não existam registos precisos dos seus caudais, ACCIAIOLI (1944) classifica o caudal das Alcaçarias de “abundantíssimo”, enquanto que ANDRADE (1935) indicou um caudal para as Alcaçarias do Duque de 6.6 m³/h. Estas tinham duas nascentes distintas, a Grande Alcalina, com caudal abundante de água bicarbonatada calcossódica e uma temperatura de cerca de 30.8°C e a nascente Sulfúrea ou Sulfurosa, um pouco menos mineralizada que a antecedente e com temperatura mais elevada (31°C). A maior parte das águas do Grupo das Alcaçarias parece possuir mineralizações totais muito semelhantes, mas a água dos Banhos do Doutor aparenta ser de todas a de mais baixa temperatura e de mais baixa mineralização, enquanto que água mais mineralizada parece ser a das Alcaçarias de D.ª Clara (MOITINHO DE ALMEIDA, 1972).

1.2 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

Enquadramento hidrogeológico regional

A região de Lisboa enquadra-se na Região Hidrográfica 5 (RH5). A RH5 abrange três unidades hidrogeológicas, que coincidem com as três unidades morfo-estruturais – Maciço Antigo, Orla Ocidental e Bacia do Tejo-Sado, e nas quais se reconhecem 16 massas de água (MA) subterrânea.

Das 16 MA delimitadas, 13 foram identificadas por ALMEIDA *et al.* (2000) como sistemas aquíferos. As restantes, designadamente “Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Tejo”, “Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo”, e “Bacia do Tejo-Sado Indiferenciado da Bacia do Tejo”, agregam todas as formações geológicas que não foram consideradas como sistemas aquíferos.

Na RH5 predominam as MA do tipo fissurado/poroso e poroso, ocupando no total cerca de 89% da área da região. O meio fissurado/poroso predomina nesta região hidrográfica, devido à extensa área ocupada pela MA Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Tejo. Por outro lado, o meio poroso encontra-se associado principalmente às MA incluídas na Bacia do Tejo-Sado (PGRH Tejo, 2011)

Identificação e caracterização das unidades hidrogeológicas e da massa de água subterrânea

O concelho de Lisboa situa-se na Orla Meso-Cenozóica também designada por Orla Ocidental, uma das quatro Unidades Hidrogeológicas de Portugal Continental (Figura 12), a qual é constituída por espessas séries de sedimentos de natureza carbonatada, arenítica e argilosa, que chegam a ultrapassar os 3000 m de espessura.

Esta unidade é caracterizada por dois tipos de formações com comportamentos hidrogeológicos distintos. Por um lado, as formações com porosidade primária, representadas por rochas sedimentares com espaços entre os grãos, por outro, as formações com porosidade secundária que correspondem às rochas ígneas e metamórficas fissuradas.

A área urbanizada de Lisboa localiza-se na MA subterrânea Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo (O01RH5) em terrenos essencialmente compostos por formações detríticas, carbonatadas e por rochas ígneas. Esta heterogeneidade litológica, é responsável por diferenças de permeabilidade do meio, logo, a capacidade de armazenamento de água é diferente consoante o tipo de formação. O regime hidrológico é largamente influenciado pelas condições estruturais, topográficas e litológicas das formações atravessadas, mas também pela ação antrópica. Dado o forte desenvolvimento urbano desta área, praticamente toda a cidade encontra-se impermeabilizada, o que resulta, para além da alteração do

padrão natural de escoamento hídrico, superficial e subterrâneo, também na alteração da quantidade e qualidade da própria água.

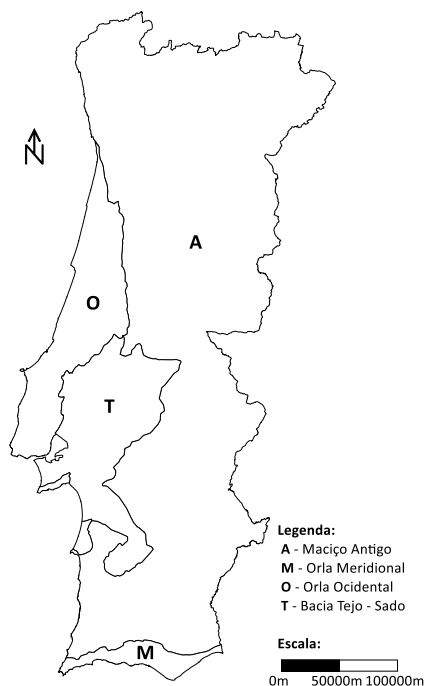
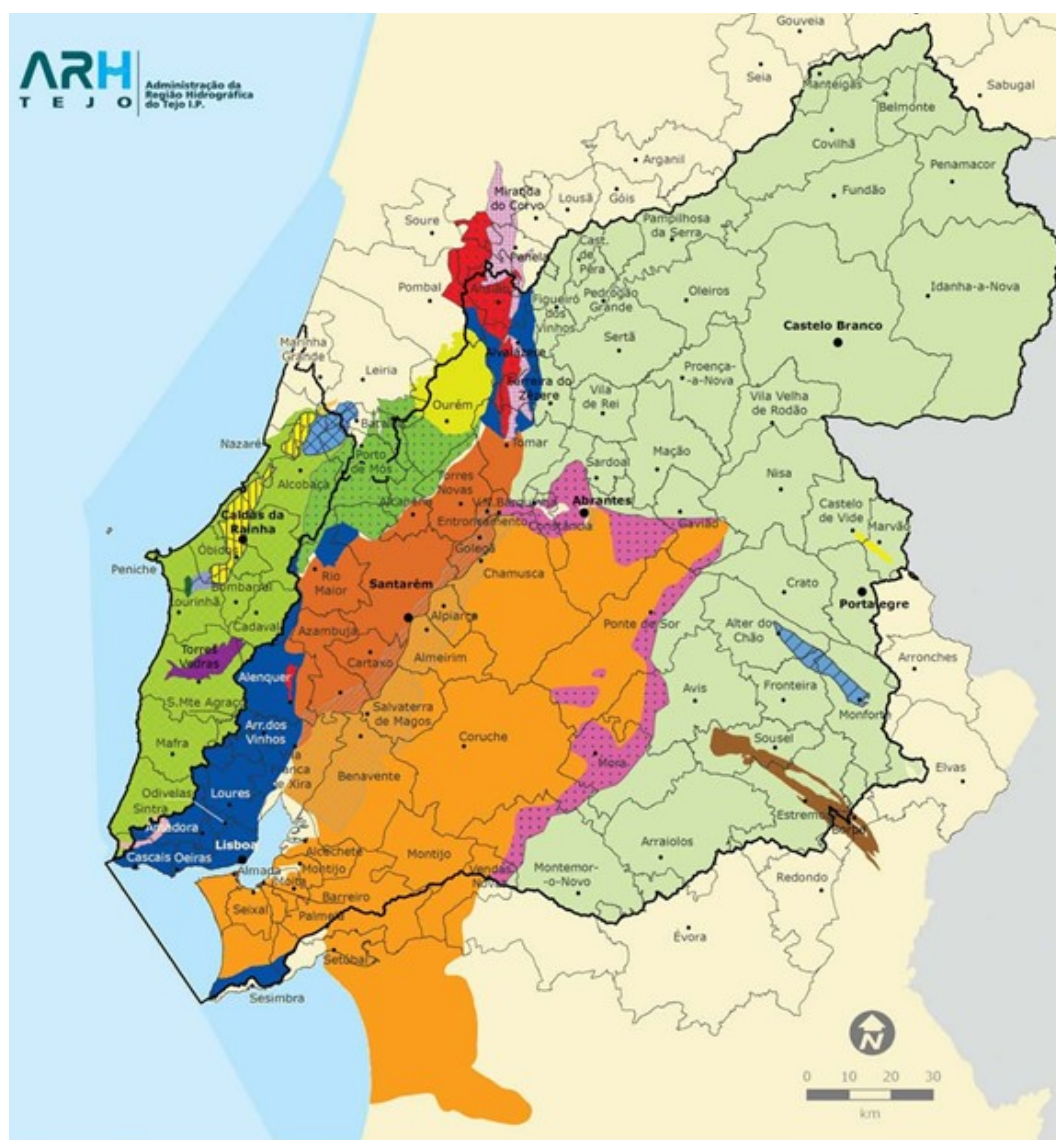


Figura 12 – Unidades hidrogeológicas de Portugal continental (Fonte: SNIRH, 2017).

Enquadramento hidrogeológico local

A MA subterrânea Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo (O01RH5) (Figura 13), de acordo com o atual conhecimento sobre a hidrogeologia do concelho de Lisboa, divide-se nesta área em cinco formações hidrogeológicas pertencentes a quatro períodos geológicos: o Sistema aluvionar; o Sistema multicamada miocénico; o Sistema oligocénico; o Sistema vulcânico de Lisboa; e, o Sistema carbonatado cretácico (Figura 14).



Legenda:

● Sede e Delegações da ARH do Tejo	Orla Ocidental	Bacia do Tejo-Sado
○ Limites da ARH do Tejo	Ourense	Aluviões do Tejo-Sado
● Sede de Concelho	Alpedriz	Bacia do Tejo-Sado / margem direita
○ Limite de Concelho	Pago	Bacia do Tejo-Sado / margem esquerda
	Torres Vedras	Maciço Antigo
	Caldas da Rainha - Nazaré	Escusa
	Penela - Tomar	Monforte-Alter do Chão
	Sicó - Alvalázere	Estremoz-Cano
	Maceira	Indiferenciados
	Maciço Calcário Estremenho	Maciço Antigo indiferenciado da bacia do Tejo
	Cesareda	Orla Ocidental indiferenciado da bacia do Tejo
	Ota - Alenquer	Orla Ocidental indiferenciado da bacia das Ribeiras do Oeste
	Pisões - Atrozela	Bacia do Tejo-Sado / indiferenciado da bacia do Tejo

Figura 13 – Massas de água subterrânea sob jurisdição da ARH Tejo (ARH Tejo, 2010).

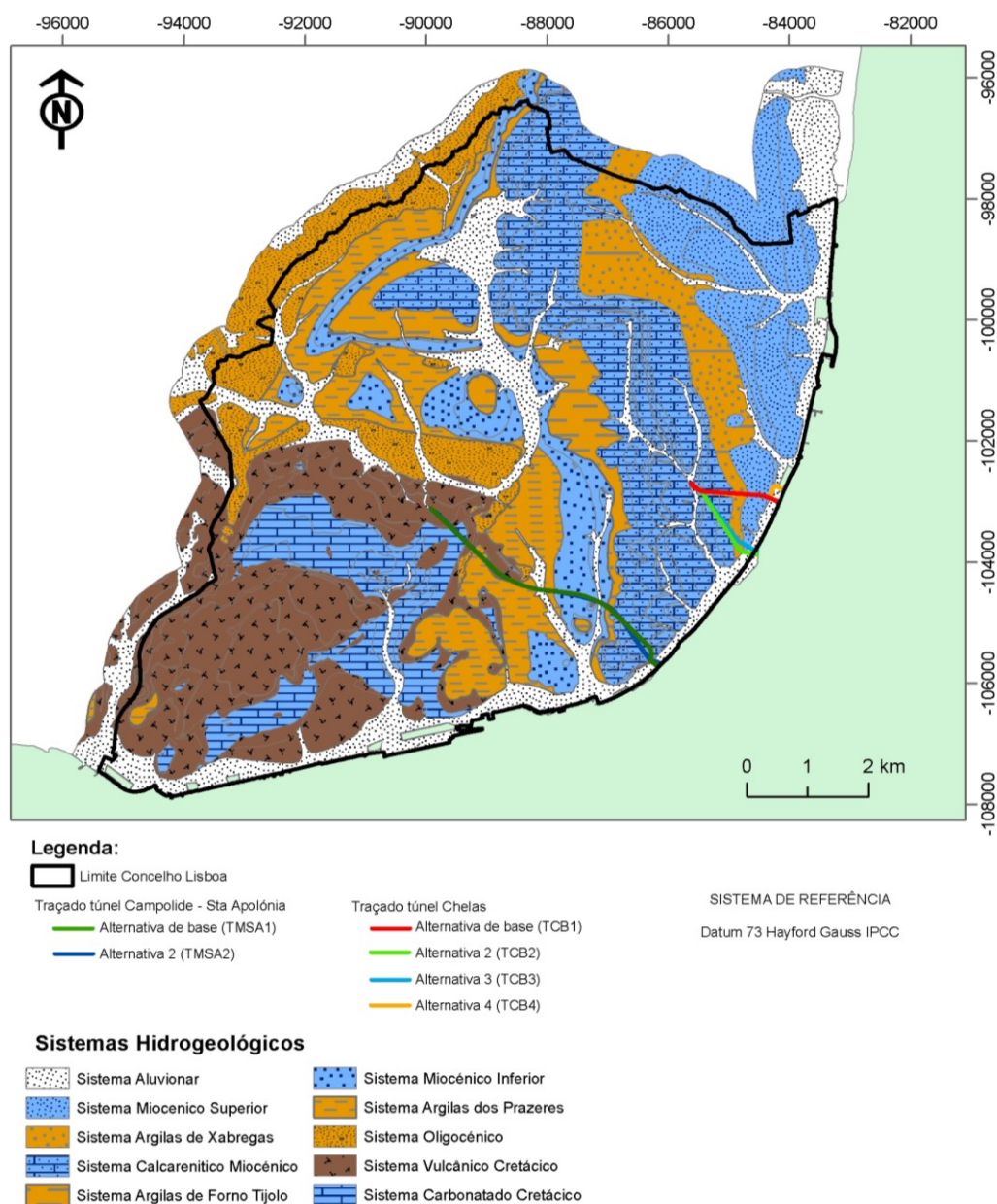


Figura 14 - Sistemas hidrogeológicos presentes na cidade de Lisboa, com indicação dos traçados dos dois túneis.

Este conhecimento possibilita por vezes a caracterização individual de algumas das formações geológicas presentes na área de Lisboa, no entanto, na maioria das vezes as características atribuídas dizem respeito a um sistema hidrogeológico onde se agruparam várias formações.

QUATERNÁRIO

Sistema aluvionar

As aluviões no Concelho de Lisboa incluem os depósitos diretamente associados ao leito principal do Rio Tejo e a todas as ribeiras e linhas de água que neste desaguam, na sua margem direita. As aluviões do rio Tejo são caracterizadas por serem predominantemente lodosas, com bastante matéria orgânica, ou arenosas e mais lavadas, sendo a sua espessura bastante variável de local para local.

As aluviões das ribeiras e linhas de água interiores, afluentes do Tejo são caracterizadas por uma composição litológica muito diversificada, em que as areias e as cascalheiras poderão fornecer bons caudais. Frequentemente observa-se a presença de matéria orgânica.

Nas zonas ribeirinhas, a conexão hidráulica com o curso subaéreo do rio Tejo e a influência das marés implicam intrusões de água muito mineralizada no aquífero aluvionar, o que pode tornar a sua água imprópria para qualquer tipo de consumo.

NEOGÉNICO

Sistema multicamada Miocénico

Este sistema multicamada é constituído por várias camadas permeáveis, em geral confinadas e/ou semi-confinadas. É frequente observar-se variações laterais e verticais nas fácies litológicas responsáveis por mudanças significativas nas condições hidrogeológicas. A passagem das formações continentais a marinhas é feita de forma gradual. Desta complexidade litológica e estrutural, resulta um conjunto alternante de camadas produtivas separadas por outras com características de aquífero ou aquífero, onde a permeabilidade é baixa ou muito baixa, havendo um predomínio local de uma ou outra classe hidrogeológica (ALMEIDA *et al.*, 2000).

De acordo com a natureza litológica e consequente comportamento hidrogeológico das formações, este sistema pode ser subdividido em seis sub-sistemas hidrogeológicos:

1. Sistema Miocénico superior
2. Sistema das Argilas de Xabregas
3. Sistema calco-arenítico Miocénico
4. Sistema das Argilas de Forno do Tijolo
5. Sistema Miocénico Inferior
6. Sistema das Argilas dos Prazeres.

Sistema Miocénico Superior

Este sistema é constituído por pelo “Complexo Miocénico Superior”, formado por arenitos, areias, areolas, calcários margosos e argilas. O sistema hidrogeológico apresenta média a alta permeabilidade, funcionando como um aquífero muito produtivo, do tipo confinado. Apresenta espessuras que variam desde os 59 m aos 72 m.

Na freguesia dos Olivais localizam-se quatro captações de água (poços) com profundidades que variam entre os 30 m e os 49 m, aproximadamente. Estes poços captam o recurso a partir de diferentes formações, tais como: Formação dos Grés de Grilos (MGr); Formação das Areolas de Braço de Prata (MBP); Formação das Areolas do Cabo Ruivo (MCR) e Formação dos Calcários de Marvila (MMv) (RIBEIRO *et al.* 2010).

Sistema das Argilas de Xabregas

Trata-se de uma alternância de argilas, margas, arenitos e calcários pertencentes à “Formação das Argilas de Xabregas (MXa)”. Apresenta permeabilidades baixas. A sua espessura é de cerca de 18 m. De acordo com ZBYSZEWSKI (1963) na zona de Xabregas, Marvila e Cabo Ruivo, em dez captações efetuadas sobre os terrenos miocénicos, reconheceu-se durante os trabalhos de furação camadas pouco espessas de margas, calcários, grés, areias e argilas. A profundidade máxima pesquisada

chegou aos 260 m, sendo que as zonas com aptidão aquífera se situam entre os 70 m e os 230 m de captação apresentando caudais a variar entre os 2 L/s e 10 L/s e caudais específicos entre 1 L/s.m e 2 L/s.m;

Sistema calco-arenítico Miocénico

Este sistema é materializado pelo “Complexo calco-arenítico Miocénico”, constituído por alternâncias de calcários mais ou menos compactos e areias grosseiras com intercalações argilosas. Têm permeabilidade média a alta e produtividade média a alta. Apresenta espessuras que variam entre os 95 m até aos 107 m.

A formação geológica Formação dos Calcários de Musgueira (MMu) segundo PINTO (2003), apresenta comportamento hidrogeológico típico de aquífero livre, com permeabilidade e produtividades médias a altas e recarga por infiltração direta das águas pluviais. Nesta formação (aflorante) foi inventariado um poço com 42 m de profundidade, apresentando o nível hidrostático a -4 m (com referência à cota do terreno) e um caudal de extração de 192 m³/dia (RIBEIRO *et al.* 2010).

Na Formação dos Calcários do Casal Vistoso (MCV) as profundidades variam entre 31 m e 38 m, havendo registos de um nível hidrostático (NHE) na ordem dos 1.70 m (RIBEIRO *et al.* 2010).

A Formação Areias do Vale de Chelas (MVC) é uma das áreas da Cidade de Lisboa com potencial interesse hidrogeológico. Nesta litologia (aflorante) estão localizadas um total de 16 captações de água subterrânea. A captação de água (mina) que apresenta profundidade mais elevada (na ordem dos 30 m), situa-se na freguesia do Beato (RIBEIRO *et al.* 2010).

Sistema das Argilas de Forno do Tijolo

O sistema hidrogeológico corresponde à unidade estratigráfica de MOITINHO DE ALMEIDA (1986) com a denominação de Formação das Argilas de Forno do Tijolo (M2IVa) . Tratam-se de camadas de argilas, margas e grés finos, argilosos e micáceos, de tons escuros. Nesta formação, de baixa permeabilidade ocorrem massas de água com características hidrogeológicas de aquífero, com espessura aproximada de 19 m (SILVA, *et al.*, 2007). A captação com maior profundidade (31.8 m) neste complexo litológico aflorante, situa-se na freguesia de Carnide e apresenta um nível de água de -23 m (referente à cota do terreno). (RIBEIRO *et al.* 2010).

Sistema Miocénico Inferior

Este sistema hidrogeológico é materializado pelo “Complexo Miocénico Inferior”, sendo este constituído na parte superior por uma alternância de calcário margoso, cinzento esverdeado, finamente arenoso, formado quase unicamente por fragmentos de conchas e moldes de moluscos e por areias; na parte inferior apresenta na sua maioria areias finas, siltosas, micáceas (areolas), argilas silto-arenosas e arenitos mais ou menos consolidados. Assim, os níveis detríticos localizam-se na base do complexo, enquanto que a componente carbonatada aumenta para o topo. Este sistema apresenta média a alta permeabilidade e produtividades médias a altas. A sua espessura varia dos 36 m aos 53 m.

Sistema das Argilas dos Prazeres

Tratam-se de argilitos siltosos e margosos, margas e calcários. O sistema apresenta permeabilidades baixas e uma espessura total da ordem dos 30 m a 35 m. Nesta formação existe um elevado numero de captações (poços). A captação com maior

profundidade (50 m) localiza-se na antiga freguesia de Camões e apresenta um nível hidrostático de -12.80 m (com referência à cota do terreno). (RIBEIRO *et al.* 2010).

PALEOGÉNICO

Sistema Oligocénico

Trata-se de um sistema hidrogeológico constituído pelo “Complexo Oligocénico”, de natureza detrítica, muito heterogéneo, formado por conglomerados, arenitos, siltitos e argilitos, calcários e margas. Apresenta um comportamento hidrogeológico variado conforme a litologia e o grau de permeabilidade dos vários constituintes geológicos. Globalmente apresenta baixa permeabilidade devido à sua forte cimentação argilosa, bem como produtividades muito baixas. A formação mais representativa deste sistema é a Formação de Benfica (phi Bf). Esta apresenta baixa permeabilidade, no entanto, pode formar massas de água de camadas múltiplas com níveis suspensos ou semi-confinados, localizados em zonas de espessura reduzida a média e separadas entre si por camadas impermeáveis a semi-permeáveis de maior espessura. A captação de água subterrânea localizada, nesta formação aflorante com maior profundidade (na ordem dos 38.60 m) corresponde a um poço na freguesia de Benfica e apresenta um nível hidrostático de -3.10 m (com referência à cota do terreno) (RIBEIRO *et al.* 2010).

CRETÁCICO

Sistema Vulcânico de Lisboa

Este sistema hidrogeológico tem por base material o “Complexo Vulcânico de Lisboa” (beta 1 e beta 1 p), constituído por escoadas lávicas alternando com níveis de piroclastos, não ultrapassando o conjunto os 100 m de espessura. As formações deste complexo constituem uma massa de água subterrânea com uma acentuada heterogeneidade litológica. O comportamento hidrogeológico das formações do CVL caracteriza-se por níveis freáticos baixos e permeabilidades baixas a médias. A captação de água com maior profundidade (na ordem dos 50 m) corresponde a um furo na freguesia de Santa Isabel e apresenta um volume de água extraível de 8.1 m³/dia (RIBEIRO *et al.* 2010).

Sistema Carbonatado Cretácico

O sistema hidrogeológico é constituído por um espesso conjunto de calcários, calcários margosos, calcários dolomíticos, margas e argilas margosas, com alguns níveis fossilíferos agrupados pelo “Complexo carbonatado Cenomaniano”. Os calcários do topo do Cenomaniano estão muito carsificados e são cobertos, em discordância, pelos basaltos do CVL. Têm permeabilidades médias a altas (PINTO, 2003).

A Formação da Bica (C2Bi), apresenta uma captação de água subterrânea (furo) na freguesia de Belém com uma profundidade de 59 m. Na freguesia de Alcântara está situado um furo com 80 m de profundidade e um volume de água extraído entre 11 e 13 m³/dia, que capta o recurso a partir da unidade estratigráfica Formação de Caneças (C2Cn) (RIBEIRO *et al.* 2010).

Áreas de infiltração máxima

As áreas de infiltração máxima são definidas como áreas onde a infiltração é favorecida pela elevada permeabilidade do meio, contribuindo assim para a alimentação de massas de água subterrânea. De acordo com Figura 15 as zonas mais propícias à infiltração de água, na cidade de Lisboa, localizam-se nas seguintes formações:

- Formações aluvionares;
- Formação dos Calcários de Entrecampos ("Banco Real") (MEc);
- Formação das Areolas de Estefânia (MEs);

- Formação dos Calcários da Quinta das Conchas (MQC);
- Formação dos Grés de Grilos (MGr);
- Formação dos Calcários de Casal Vistoso (MCV);
- Formação da Bica (C2Bi);
- Formação de Caneças (C2Cn).

Com a exceção da Formação do Calcários de Casal Vistoso (MCV), todas estas formações deverão ser reconhecidas, aquando dos trabalhos de escavação dos dois túneis, em profundidade.

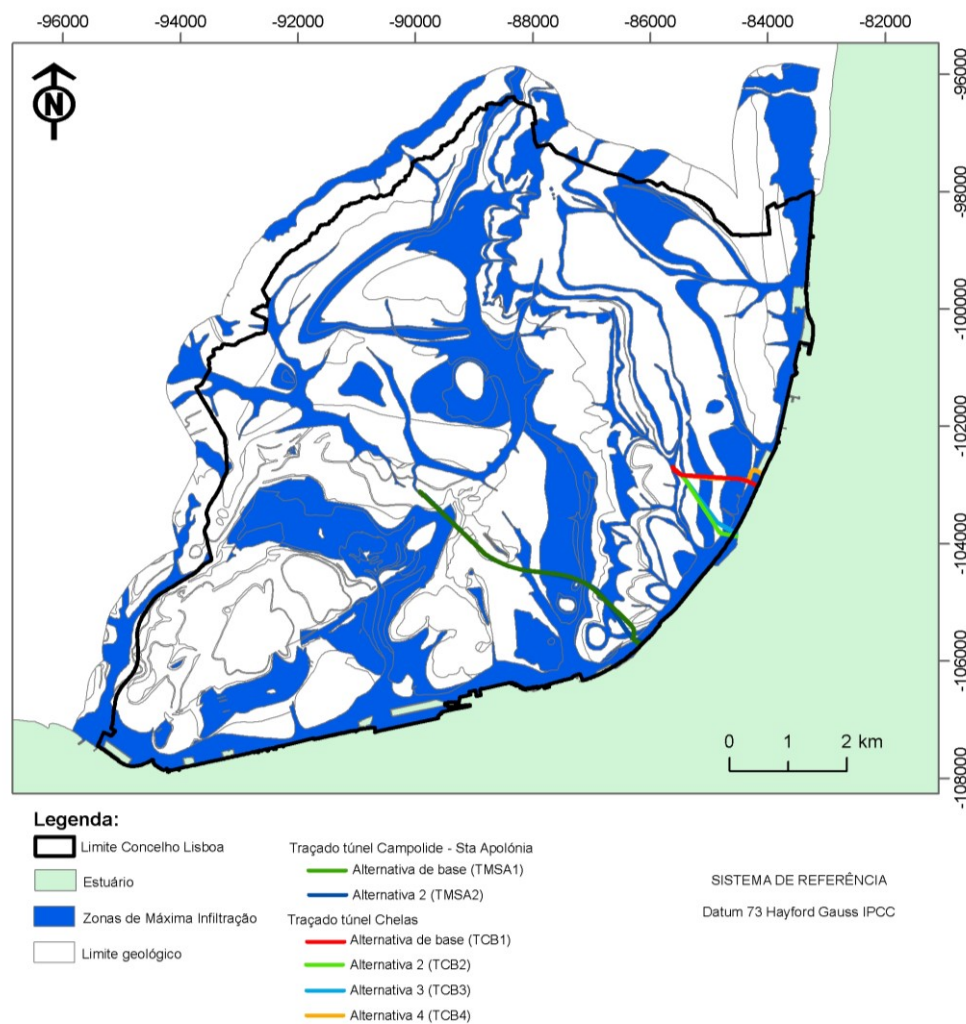


Figura 15 - Zonas de máxima infiltração, a azul, de acordo com as formações geológicas, com indicação dos traçados dos dois túneis (OLIVEIRA, 2010).

A permeabilidade é controlada pela litologia. Nesse sentido importa referir que das diversas litologias afetas aos dois traçados são as formações aluvionares, juntamente com as formações cretácicas sedimentares, as que apresentam maiores permeabilidades (Figura 16).

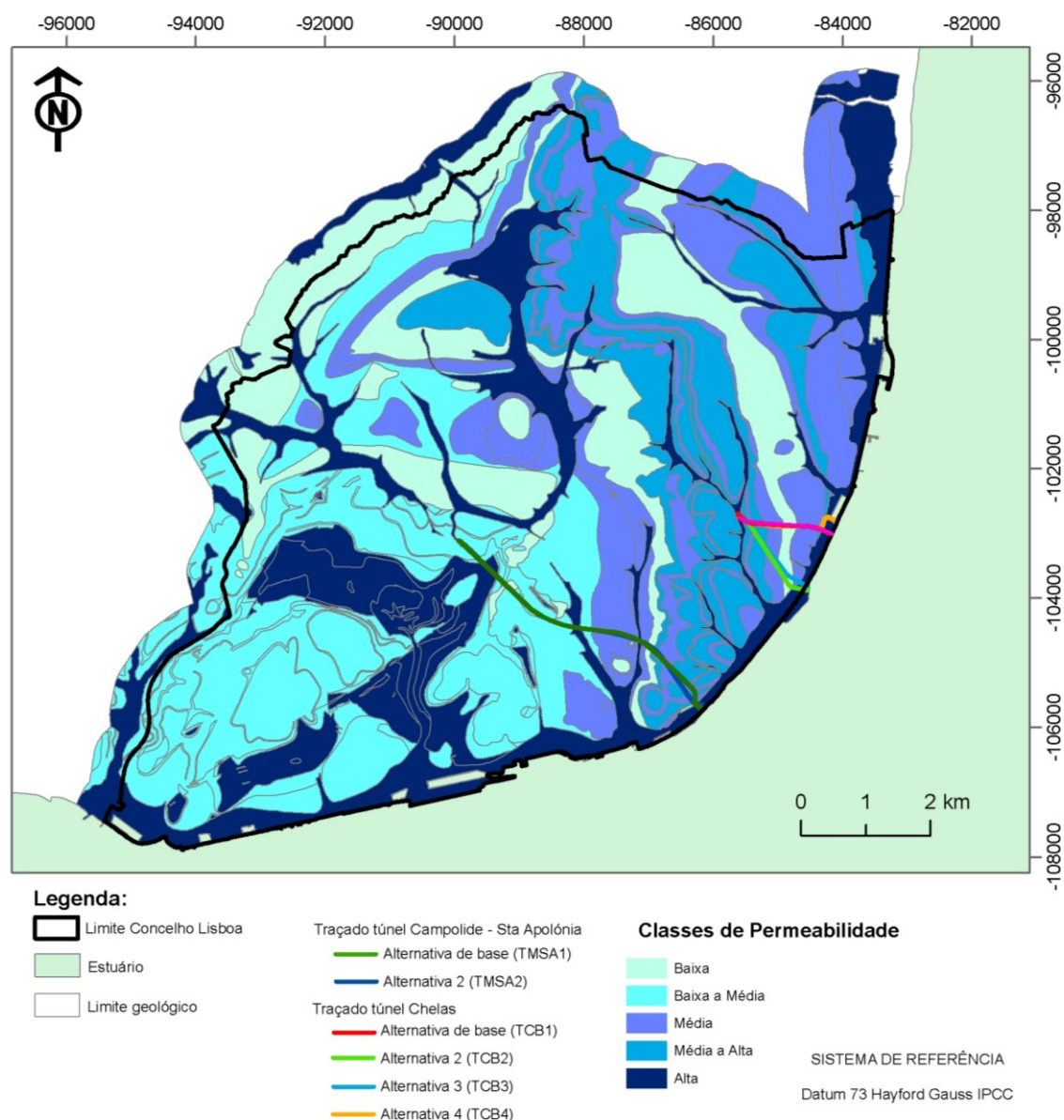


Figura 16 - Classes de permeabilidade de acordo com as formações geológicas, com indicação dos traçados dos dois túneis (OLIVEIRA, 2010).

Quadro 1.4 - Classe de permeabilidade das diferentes formações afetadas aos dois traçados de acordo com a Carta de Permeabilidade da C.M.L. (OLIVEIRA, 2010)

TÚNEL CHELAS - BEATO	
Formação	Classe Permeabilidade
a - Aluviões e/ou aterros	Alta
Mpm - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVa2)	Média a alta
Mmu - Formação dos Calcários de Musgueira (MVa3)	Média
MVC - Formação das Areias de Vale de Chelas (MVb)	Média a alta
MQC - Formação dos Calcários de Quinta das Conchas (MVc)	Média a alta
Mxa - Formação das Argilas de Xabregas (MVla)	Baixa
MGr - Formação dos Grés de Grilos (MVlb)	Média
MMv - Formação dos Calcários de Marvila (MVlc)	Média a alta

TÚNEL CAMPOLIDE - SANTA APOLÓNIA	
Formação	Classe Permeabilidade
a - Aluviões e/ou aterros	Alta
beta 1 - Complexo Vulcânico de Lisboa	Baixa a média
beta 1_p - Complexo Vulcânico de Lisboa: rochas piroclásticas	Baixa a média
C2Bi - Formação da Bica: calcários com rudistas	Alta
C2Cn - Formação de Caneças: calcários, margas, arenitos e dolomitos	Alta
phi Bf - Formação de Benfica: conglomerados, arenitos e argilitos	Baixa
MPr - Formação das Argilas dos Prazeres (MI): argilitos e calcários	Baixa a média
MEs - Formação das Areolas de Estefânia (MII)	Média
Mec - Formação dos Calcários de Entrecampos ("Banco Real")(MIII)	Média
MFT - Formação das Argilas de Forno do Tijolo (MIVa)	Baixa
MQB - Formação das Areias de Quinta do Bacalhau (MIVb)	Média a alta
MCV - Formação dos Calcários de Casal Vistoso (MVA1)	Média
Mpm - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVA2)	Média a alta
Mpm_i - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVA2): intercalações calcárias	Média

A permeabilidade é controlada essencialmente pela litologia. Nesse sentido com permeabilidade alta, destacam-se as formações sedimentares cretácicas e as formações aluvionares. Com permeabilidades na classe média a alta salientam-se as formações carbonatadas e arenosas do miocénico (MQB, Mpm, MMv, MQC e MVC). As restantes litologias apresentam valores de permeabilidade que as permitem classificar de baixa a média, de acordo com a Figura 16.

As litologias das formações de Benfica (phi Bf) , Argilas de Forno do Tijolo (MFT) e Argilas de Xabregas (Mxa) apresentam em geral, uma cimentação argilosa mais ou menos pronunciada, sendo por esta razão pouco permeáveis. As suas condições não são favoráveis à obtenção de caudais dignos de interesse (ZBYSZEWSKI, 1963).

No Quadro 1.5 apresenta-se um resumo das várias litologias relacionando-as com os principais sistemas hidrogeológicos da área de estudo e indicando-se as suas características hidrogeológicas conhecidas (tipo de aquífero, permeabilidade e produtividade).

Quadro 1.5 – Resumo das características das principais formações hidrogeológicas na área de estudo.

Formações	Espessura máxima identificadas (m)	Sistema Hidrogeológico	Subsistema Hidrogeológico	Permeabilidade	Comportamento Hidrogeológico do Sistema	Produtividade
(a) - Aluviões e/ou aterros	10 a 58*	Sistema Aluvionar Holocénico		Alta	Aquífero livre	Média
(MMv) - Formação dos Calcários de Marvila (MVIc)	12	Sistema Multicamada Miocénico	Complexo Miocénico Superior	Alta	Aquífero livre a confinado	Alta
(MGr) - Formação dos Grés de Grilos (MVIb)	14		Complexo de Xabregas	Baixa	Aquitardo	
(Mxa) - Formação das Argilas de Xabregas (MVIa)	18		Complexo Calco-Arenítico Miocénico	Média a alta	Aquífero livre a confinado	Média a alta Q = 2 a 10 L/s q _s =1 a 2 L/s·m
(MQC) - Formação dos Calcários de Quinta das Conchas (MVC)						
(MVC) - Formação das Areias de Vale de Chelas (MVb)	3 a 12					
(Mmu) - Formação dos Calcários de Musgueira (MVA3)	6*					
(Mpm) - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVA2)	30*					
(Mpm_i) - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVA2): intercalações calcárias						
(MCV) - Formação dos Calcários de Casal Vistoso (MVA1)	3 a 12*					
(MQB) - Formação das Areias de Quinta do Bacalhau (MIVb)	35*a 40					
(MFT) - Formação das Argilas de Forno do Tijolo (MIVa)	11 a 60*		Complexo Forno do Tijolo	Baixa	Aquitardo	
(Mec) - Formação dos Calcários de Entrecampos ("Banco Real")(MIII)	10*		Complexo Miocénico Inferior	Média	Aquífero livre a confinado	Média
(MEs) - Formação das Areolas de Estefânia (MII)	35 a 65*		Complexo dos Prazeres	Baixa	Aquitardo	
(MPr) - Formação das Argilas dos Prazeres (MI): argilitos e calcários	45*		Sistema Oligocénico		Aquitardo	
(phi Bf) - Formação de Benfica: conglomerados, arenitos e argilitos	50 a 425*	Sistema Multicamada Cretácico			Aquitardo	Baixa a média, Q=0.1 L/s
(beta 1) - Complexo Vulcânico de Lisboa	20 a 200 *		Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL)		Aquitardo	
(beta 1_p) - Complexo Vulcânico de Lisboa: rochas piroclásticas					Aquífero confinado a semi-	Média a alta
(C2Bi) - Formação da Bica: calcários com rudistas	50*		Complexo Cretácico Superior			
(C2Cn) - Formação de Caneças: calcários, margas, arenitos e dolomitos	60 a 250*					

Legenda:

* Espessuras reconhecidas em Alfama (LNEG, 2015)

Q - Caudal; q_s - Caudal Específico

Inventário das captações de água subterrânea

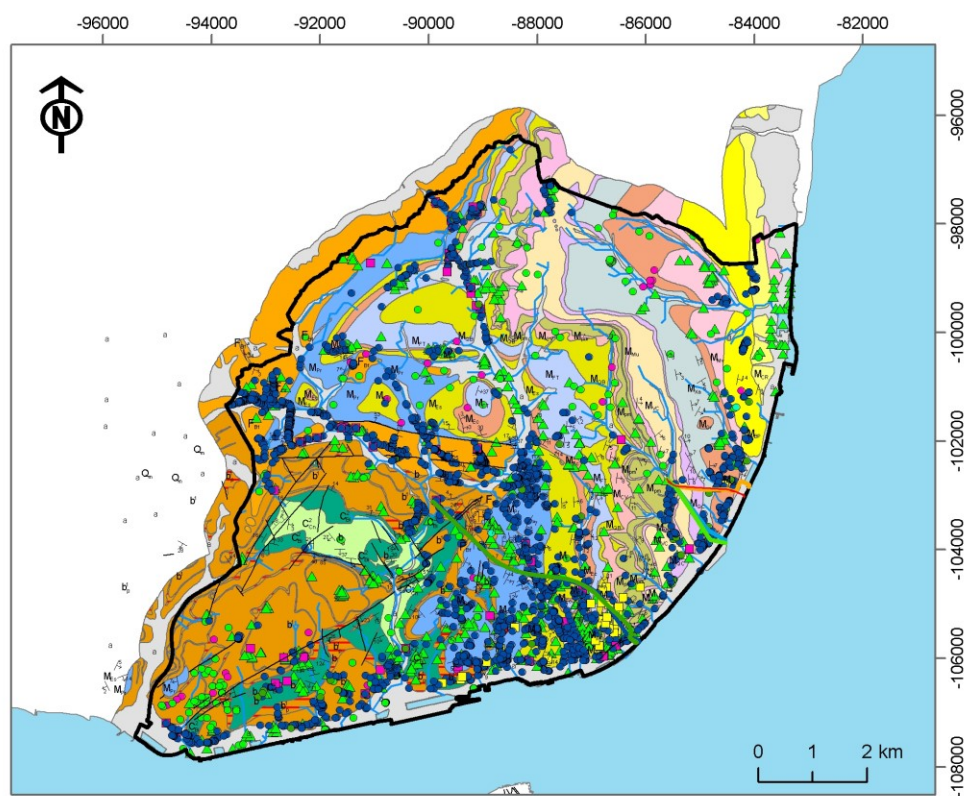
Na cidade de Lisboa existem inúmeros pontos de água dos mais diversos tipos, seja eles poços, furos, minas, galerias, cisternas, etc. A maioria encontram-se inventariados essencialmente por três entidades: Empresa Portuguesa de Águas Livres (EPAL); Camara Municipal de Lisboa (CML) e Agência Portuguesa do Ambiente (APA, ex-ARH-Tejo e Oeste) (Figura 17).

Da observação da Figura 17 verifica-se que a distribuição espacial dos pontos de água (cisternas, furos, minas e poços) não é homogénea, e está concentrada preferencialmente em três litologias aflorantes: Formação das Argilas e Calcários dos Prazeres (MPr), Formação de Benfica (phi Bf) e Complexo Vulcânico de Lisboa (beta 1 e beta 1_p) (Quadro 1.6).

A maior ou menor concentração de pontos de água parece estar mais relacionada com a forma como ocorreu a expansão urbana, no passado, do que com a produtividade das formações captadas. Importa ainda referir de muitas destas captações terem já sido abandonadas.

Quadro 1.6 - Localização das captações inventariadas pela EPAL, na área de Lisboa, tipo/número total de captações consoante as formações geológicas aflorantes (RIBEIRO *et al.* 2010).

Formações Geológicas	Tipo/ Número de Captação			
	Furo	Poço	Mina	Cisterna
MCR - Formação das Areolas de Cabo Ruivo (MVIIb)	-	9	-	-
MBP - Formação das Areolas de Braço de Prata (MVIIa)	1	26	-	-
MMv - Formação dos Calcários de Marvila (MVlc)	-	17	-	-
MGr - Formação dos Grés de Grilos (MVlb)	2	57	-	1
MXa - Formação das Argilas de Xabregas (MVla)	3	12	-	1
MQC - Formação dos Calcários de Quinta das Conchas (MVc)	-	6	-	-
MVC - Formação das Areias de Vale de Chelas (MVb)	1	15	1	-
MMu - Formação dos Calcários de Musgueira (MVa3)	-	8	-	-
Mpm - Formação das Areias com Placuna miocénica (MVa2)	1	40	-	11
MCV - Formação dos Calcários de Casal Vistoso (MVa1)	-	3	-	8
MQB - Formação das Areias de Quinta do Bacalhau (MIVb)	-	10	3	3
MFT - Formação das Argilas de Forno do Tijolo (MIVa)	6	65	3	1
MEc - Formação dos Calcários de Entrecampos ("Banco Real")(MIII)	1	80	2	-
MEs - Formação das Areolas de Estefânia (MII)	1	119	5	1
MPr - Formação das Argilas dos Prazeres (MI): argilitos e calcários	1	384	6	3
(phi)Bf - Formação de Benfica: conglomerados, arenitos e argilitos	2	251	12	-
(beta)1 - Complexo Vulcânico de Lisboa	5	179	6	2
C2Bi - Formação da Bica: calcários com rudistas	3	36	4	1
C2Cn - Formação de Caneças: calcários, margas, arenitos e dolomitos	1	14	1	-



Legenda:

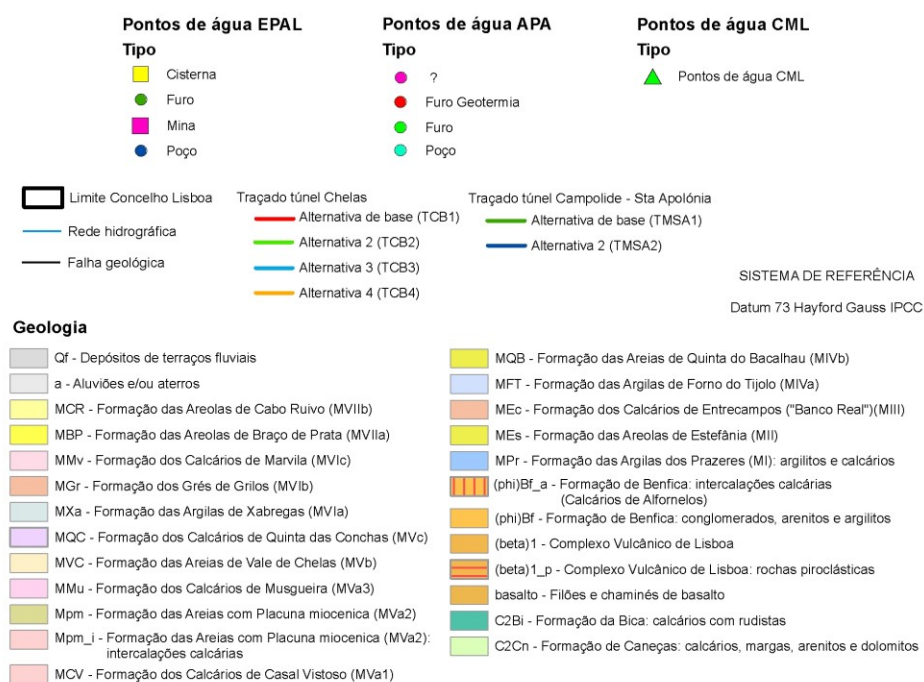


Figura 17 - Localização de pontos de água na área metropolitana de Lisboa e ao longo dos traçados com o respetivo enquadramento geológico (Escala 1:10 000).

De acordo com os inventários da APA e EPAL o tipo de utilização dada à água captada em Lisboa é essencialmente para fins de rega. Das 2326 captações inventariadas por estas duas entidades apenas 7 (inventário EPAL) são usadas para abastecimento público (Quadro 1.7 e Quadro 1.8).

Quadro 1.7 - Tipo de utilização dada à água subterrânea captada em Lisboa de acordo com o inventário da EPAL.

EPAL		
Tipo de Utilização	Nº de Captações	Percentagem %
Abastecimento Doméstico	4	0.2
Abastecimento Doméstico e Lavagem	3	0.1
Abastecimento Doméstico e Rega	57	2.8
Abastecimento Doméstico e Alimentação de gado	1	0.1
Abastecimento Publico	6	0.3
Abastecimento Publico e Lavagem	1	0.1
Alimentação	38	1.8
Alimentação de gado	5	0.2
Alimentação de gado e Lavagem	3	0.1
Alimentação de gado e Rega	12	0.6
Alimentação de gado. Lavagem e Rega	4	0.2
Alimentação e Alimentação de gado	1	0.1
Alimentação e Industrial	4	0.2
Alimentação e Lavagem	22	1.1
Alimentação e Rega	55	2.7
Alimentação. Alimentação de gado e Rega	2	0.1
Industrial	74	3.6
Industrial e Lavagem	11	0.5
Industrial e Rega	4	0.2
Lavagem	395	19.1
Lavagem e Rega	470	22.7
Rega	467	22.5
Outros	434	20.9
TOTAL	2073	100

Quadro 1.8 - Tipo de utilização dada à água subterrânea captada em Lisboa de acordo com o inventário da APA (ARH Tejo).

APA (ARH Tejo)		
Tipo de Utilização	Nº de Captações	Percentagem %
Consumo Humano	1	0.4
Industrial	3	1.2
Industrial e Rega	1	0.4
Rega	26	10.3
Outros	222	87.7
TOTAL	253	100

Chama-se a atenção para o facto de, em 21% das captações registadas pela EPAL e em 87.7% registadas pela APA , não se saber o tipo de utilização dada à água subterrânea captada. Salienta-se ainda o facto do total das 2326 captações não se saber quantas efetivamente ainda se encontram ativas.

Afetas aos traçados dos túneis, a uma distância máxima de 500 m, existem 284 poços, 12 furos, 5 minas, e 24 cisternas entre outras estruturas (Quadro 1.9).

Quadro 1.9 - Inventários dos pontos de água afetos aos traçados dos dois túneis.

Chelas - Beato						Campolide - Santa Apolónia					
	Poço	Furo	Mina	Cisterna	Outros		Poço	Furo	Mina	Cisterna	Outros
CML	1	-	-	-	3	CML	4	-	-	-	89
EPAL	76	3	-	1	-	EPAL	202	1	5	23	-
APA	-	5	-	-	-	APA	1	3	-	-	-

Modelos conceptuais do fluxo subterrâneo

Combinando a informação geológica com os dados hidrogeológicos disponíveis procedeu-se à elaboração dos modelos conceptuais interpretativos do fluxo subterrâneo ao longo dos traçados propostos para os dois túneis.

Túnel Campolide – Santa Apolónia

O fluxo de água subterrânea ao longo do trajeto do túnel Campolide – Santa Apolónia (Figura 18 – Modelo conceptual de fluxo subterrâneo para o traçado do túnel de Campolide – Santa Apolónia).

Ao longo do trajeto é provável a recarga de água subterrânea por infiltração direta da água da chuva, principalmente nas formações geológicas aflorantes e mais permeáveis que constituem o Sistema Carbonatado Cretácico (Formação da Bica), Sistema Miocénico Inferior (Formação das Areolas de Estefânia e Formação dos Calcários de Entrecampos) e Sistema Calcoarenítico Miocénico (Formação dos Calcários de Casal Vistoso e Formação dos Calcários de Musgueira). Pode ainda ocorrer alguma recarga subterrânea diferida através das formações hidrogeológicas menos permeáveis que constituem o Sistema Vulcânico de Lisboa, principalmente nas zonas onde as espessuras são reduzidas (<15 metros) como na área envolvente da Estufa Fria. As formações geológicas constituintes do Sistema das Argilas Forno de Tijolo e do Sistema das Argilas dos Prazeres têm um comportamento de aquífero devido à sua baixa permeabilidade constituindo por isso uma barreira ao fluxo subterrâneo.

A zona da Estufa Fria de Lisboa, que está localizada numa antiga pedreira que explorou as formações calcárias e tem por isso cota topográfica inferior à dos terrenos circundantes, o fluxo subterrâneo será preferencialmente efetuado em direção a esta depressão acompanhando também o pendor das camadas (entre 7° a 10° na direção da Estufa Fria). No interior da Estufa Fria foram inventariados uma nascente e um poço, que garante atualmente uma parte das necessidades de água de irrigação da Estufa Fria. Dados de monitorização de profundidade de níveis piezométricos recolhidos neste poço no âmbito deste estudo hidrogeológico confirmam a resposta rápida do recarga subterrânea à infiltração da precipitação da água da chuva (Figura 19).

) apresenta uma divisória de águas nas proximidades da zona da estação de Campolide e que coincide com uma zona de falhas geológicas que afetam as formações geológicas (Formação de Caneças e Formação da Bica) que constituem o Sistema Carbonatado Cretácico. A jusante da estação de Campolide, o fluxo de água subterrânea dá-se com alinhamento praticamente N – S na direção da Ribeira de Alcântara e depois em direção ao rio Tejo. Trata-se de uma zona intensamente fraturada, com um vale muito encaixado e declives dos taludes muito acentuados. A montante da estação de Campolide a topografia é muito mais aplanada e o fluxo de água subterrânea entre Campolide e Santa Apolónia dá-se essencialmente na direção das antigas linhas de água naturais (e, que hoje coincidem com os atuais alinhamentos das Avenidas da Liberdade e Almirante Reis) até ao rio Tejo, respeitando a topografia e o pendor das principais formações geológicas atravessadas.

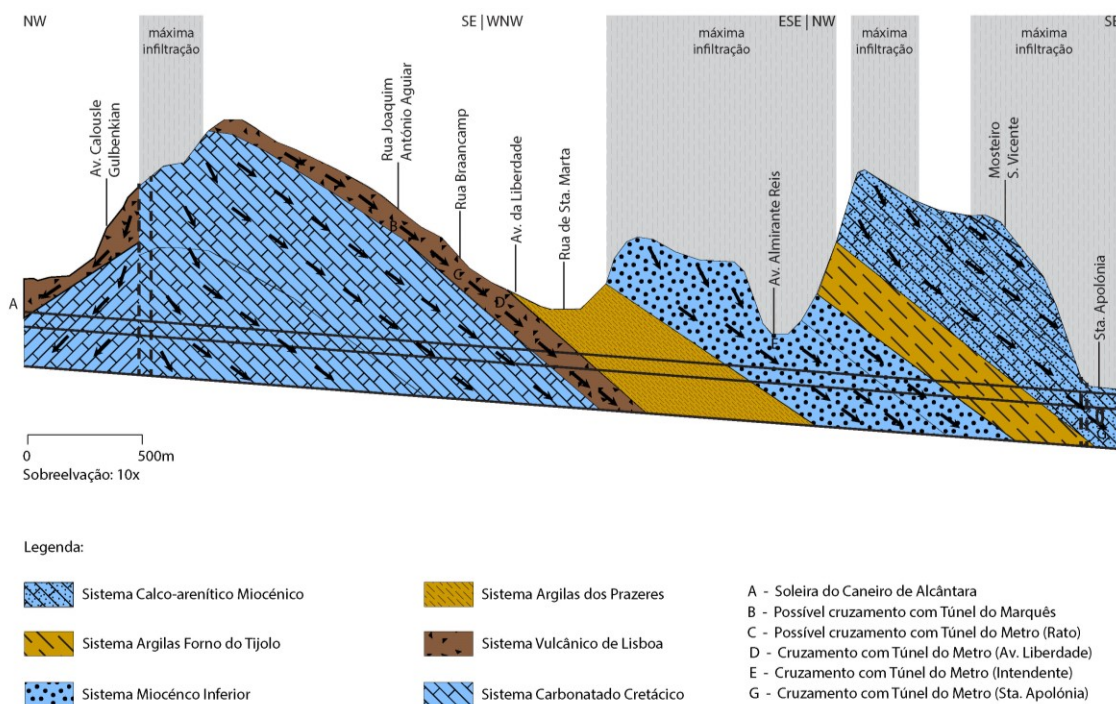


Figura 18 – Modelo conceptual de fluxo subterrâneo para o traçado do túnel de Campolide – Santa Apolónia.

Ao longo do trajeto é provável a recarga de água subterrânea por infiltração direta da água da chuva, principalmente nas formações geológicas aflorantes e mais permeáveis que constituem o Sistema Carbonatado Cretácico (Formação da Bica), Sistema Miocénico Inferior (Formação das Areolas de Estefânia e Formação dos Calcários de Entrecampos) e Sistema Calco-arenítico Miocénico (Formação dos Calcários de Casal Vistoso e Formação dos Calcários de Musgueira). Pode ainda ocorrer alguma recarga subterrânea diferida através das formações hidrogeológicas menos permeáveis que constituem o Sistema Vulcânico de Lisboa, principalmente nas zonas onde as espessuras são reduzidas (<15 metros) como na área envolvente da Estufa Fria. As formações geológicas constituintes do Sistema das Argilas Forno de Tijolo e do Sistema das Argilas dos Prazeres têm um comportamento de aquífero devido à sua baixa permeabilidade constituindo por isso uma barreira ao fluxo subterrâneo.

A zona da Estufa Fria de Lisboa, que está localizada numa antiga pedreira que explorou as formações calcárias e tem por isso cota topográfica inferior à dos terrenos circundantes, o fluxo subterrâneo será preferencialmente efetuado em direção a esta depressão acompanhando também o pendor das camadas (entre 7° a 10° na direção da Estufa Fria). No interior da Estufa Fria foram inventariados uma nascente e um poço, que garante atualmente uma parte das necessidades de água de irrigação da Estufa Fria. Dados de monitorização de profundidade de níveis piezométricos recolhidos neste poço no âmbito deste estudo hidrogeológico confirmam a resposta rápida do recarga subterrânea à infiltração da precipitação da água da chuva (Figura 19).

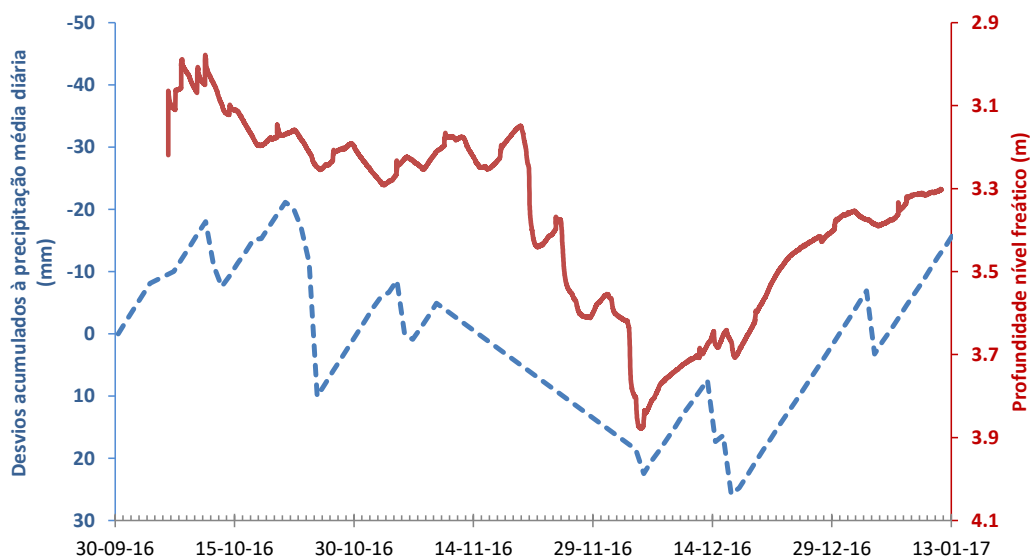


Figura 19 – Relação entre a precipitação e a profundidade do nível freático na zona da Estufa Fria.

Na zona mais ribeirinha, o traçado do trajeto do túnel Campolide – Santa Apolónia volta a interceder um outro conjunto de falhas geológicas e que estão associadas à origem das denominadas Alcaçarias de Alfama. O fluxo natural subterrâneo é nesta zona em direção ao rio Tejo, havendo no entanto a possibilidade de mistura de água proveniente de recarga recente com as águas termais que ascendem ao longo das mencionadas falhas.

Túnel de Chelas - Beato

O fluxo de água subterrânea ao longo do trajeto do túnel Chelas – Beato (Figura 20) efetua-se de acordo com a inclinação das camadas intercedidas, de montante para jusante, na direção do rio Tejo. Em planta, este fluxo subterrâneo segue a direção das camadas (N-S) principalmente quando intercepta formações com conteúdo argiloso considerável como é o caso das Argilas de Xabregas (MXa) que, pela sua baixa permeabilidade, funciona como barreira hidráulica até chegar ao rio Tejo. As zonas de maior infiltração situam-se na área a montante do traçado, nos terrenos aflorantes das Areias de Chelas (MVC).

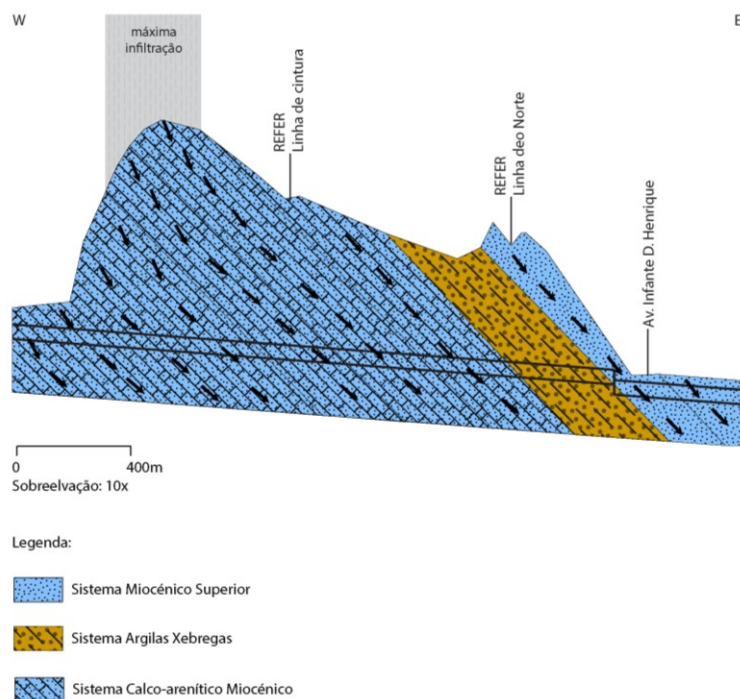


Figura 20 – Modelo conceptual de fluxo subterrâneo para o traçado do túnel de Chelas – Beato.

Qualidade da água subterrânea

Para a caracterização da qualidade da água subterrânea no concelho de Lisboa procedeu-se:

- Amostragem de um poço e uma nascente no interior da Estufa Fria (06/09/2016);
- Amostragem de águas que surgiram no Chafariz de Dentro (12/09/2016) no âmbito de obras de requalificação do local;
- Recorreu-se aos resultados da campanha de monitorização realizada nos anos de 2008/09 no âmbito do trabalho realizado para a EPAL por Ribeiro *et al.* (2010) e que recolheu 39 amostras de água subterrânea e que captam diferentes formações geológicas na área de estudo. Saliente-se a dificuldade de recolha de amostras de água subterrânea numa cidade como a de Lisboa por muitos dos pontos inventariados se encontrarem desativados ou não serem acessíveis, e também porque muitos dos proprietários não autorizam a amostragem.

No âmbito deste estudo a amostragem de água subterrânea foi feita sempre que possível após bombagem prolongada das captações e com monitorização *in situ* da temperatura (°C). Nos pontos de água onde não existia bomba foi utilizado um amostrador manual para a recolha da água subterrânea das captações. As amostras foram preservadas de acordo com as especificações do Laboratório da EPAL para a análise de amostras de água subterrânea.

Em laboratório a EPAL procedeu à análise dos seguintes parâmetros:

- físico-químicos: turvação (UNT), pH (Escala Sørensen), alcalinidade (mg/L CaCO_3), oxigénio dissolvido (OD em % saturação), oxidabilidade (mg/L O_2), condutividade eléctrica (CE em $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C), sólidos dissolvidos totais (TSD em mg/L), azoto amoniacal (mg/L NH_4), nitrito (mg/L NO_2), nitrato (mg/L NO_3), cloretos (mg/L Cl), fósforo (mg/L P_2O_5), sulfatos (mg/L SO_4), sílica (mg/L SiO_2), dureza total (mg/L CaCO_3), flúor (mg/L F), brometos (mg/L Br), boro (mg/L B), cálcio (mg/L Ca), magnésio (mg/L Mg), sódio (mg/L Na), potássio (mg/L K), alumínio (mg/L Al), ferro (mg/L Fe), manganês ($\mu\text{g}/\text{L}$ Mn), zinco ($\mu\text{g}/\text{L}$ Zn), bário (mg/L Ba), cádmio ($\mu\text{g}/\text{L}$ Cd), chumbo ($\mu\text{g}/\text{L}$ Pb), cobre ($\mu\text{g}/\text{L}$ Cu),

cobalto ($\mu\text{g/L Co}$), crómio ($\mu\text{g/L Cr}$), níquel (mg/L Ni), vanádio (mg/L V), arsénio (mg/L As), selénio ($\mu\text{g/L Se}$), berílio ($\mu\text{g/L Be}$), carência química oxigénio (CQO em mg/L) e carbono orgânico total (COT em mg/L);

- microbiológicos: germes aeróbios totais a 37°C e a 22°C (ufc/ml), coliformes totais e fecais (ufc/100 ml), e. coli, estreptococos fecais (ufc/100 ml), clostrídios sulfo-redutores (esporos) (ufc/20 ml), clostridium perfringens (inclui esporos) (ufc/100 ml), pseudomonas aeruginosa (ufc/100 ml), estafilococos (ufc/100 ml).

No entanto, para o presente estudo foram considerados apenas os mais relevantes (parâmetros de campo, elementos maiores e alguns menores) para a interpretação do quimismo das principais formações geológicas, origem e mistura das águas subterrâneas, assim como para determinar a sua vulnerabilidade à contaminação.

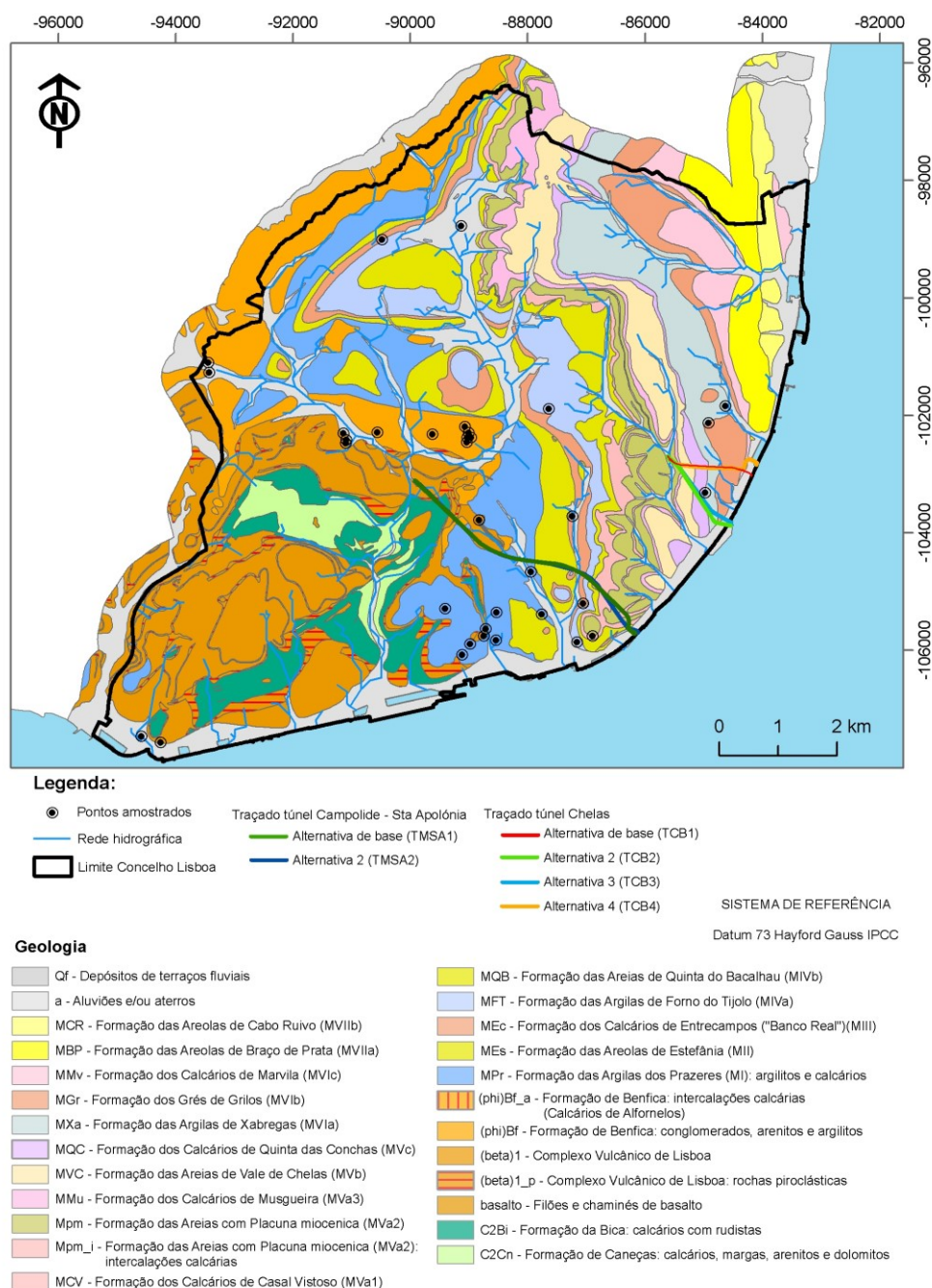


Figura 21 – Pontos de água subterrânea com análise físico-química e microbiológica no concelho de Lisboa (Ribeiro *et al.*, 2010)

O quimismo das águas subterrâneas é determinado, em grande parte, pela: (1) quantidade e quimismo da água de recarga; (2) processos geoquímicos de interação água-rocha quer na zona não saturada, quer na zona saturada; (3) tempo de residência da água subterrânea; (4) processos de contaminação.

As amostras de águas subterrâneas recolhidas na cidade de Lisboa têm a sua origem associada a diferentes formações geológicas como a Formação das Argilas de Xabregas, a Formação dos Calcários de Entrecampos, a Formação das Argilas e Calcários dos Prazeres, a Formação de Benfica e o Complexo Vulcânico de Lisboa que apresentam composições mineralógicas e propriedades hidrogeológicas distintas, e quimismo diferenciado (Figura 22). Pode ainda verificar-se que existe também um zonamento da condutividade elétrica da água subterrânea, sendo que toda a área mais oriental do concelho apresenta condutividades elétricas mais elevadas.

Verifica-se, por exemplo, que as formações mais argilosas apresentam as concentrações mais elevadas de potássio em solução, originado por processos de intercâmbio catiónico. Os valores mais elevados de cálcio, bicarbonato e sulfato estão associados a formações essencialmente carbonatadas. O Complexo Vulcânico de Lisboa apresenta as concentrações mais elevadas de sílica e magnésio em solução devido ao tipo de minerais associados a esta formação geológica. As concentrações mais elevadas de nitratos foram determinadas em pontos de água que captam a Formação de Benfica, enquanto as mais baixas estão associadas ao Complexo Vulcânico de Lisboa.

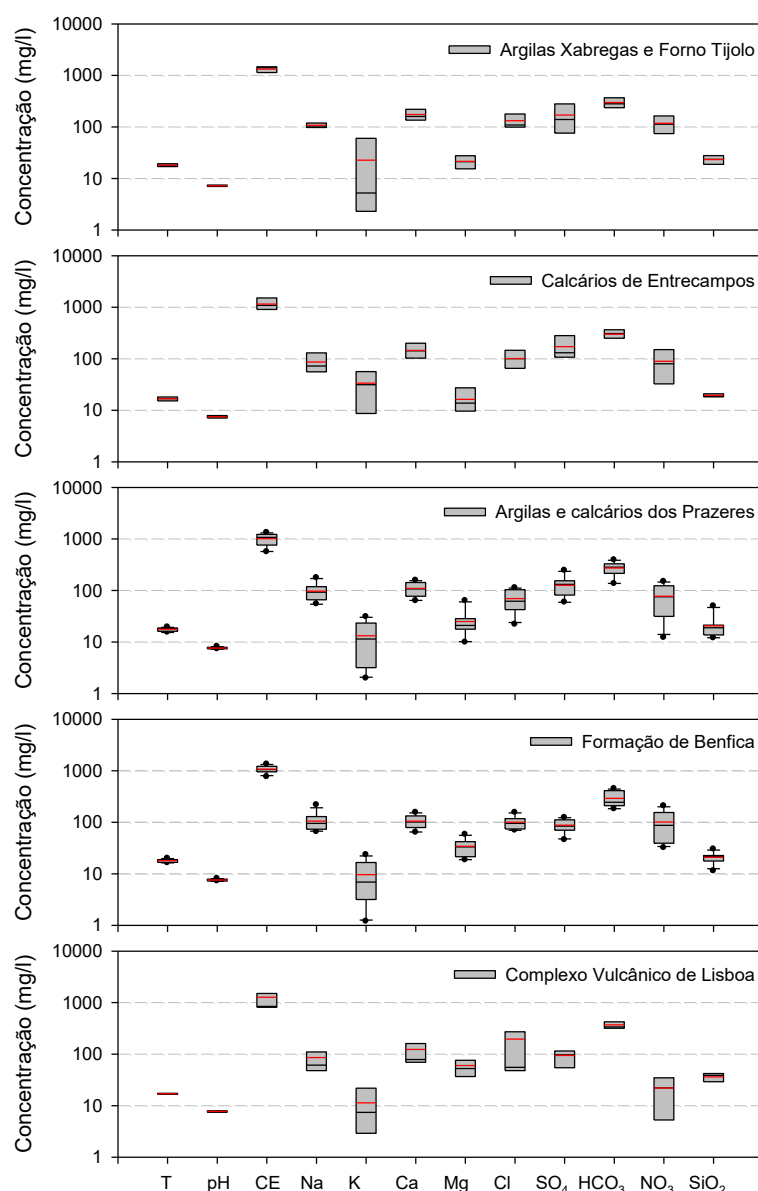


Figura 22 – Comparação do quimismo das águas subterrâneas das principais formações geológicas da cidade de Lisboa.

Estas e outras relações entre o quimismo das águas subterrâneas analisadas e o meio geológico em que circulam podem também ser identificadas projetando os resultados analíticos obtidos num diagrama de Piper (Figura 23). Através da projeção dos valores dos principais aniões e catiões analisados, no diagrama de Piper, verifica-se que as águas analisadas apresentam na sua maioria como fácies predominantes, relativamente aos aniões, a bicarbonatada. Relativamente aos catiões, predominam as fácies cálcica e magnésiana, sendo as águas sódicas as menos frequentes, ou seja, as amostras analisadas têm fácies predominantemente bicarbonatada-sulfatada-cálcica ou calco-magnésiana.

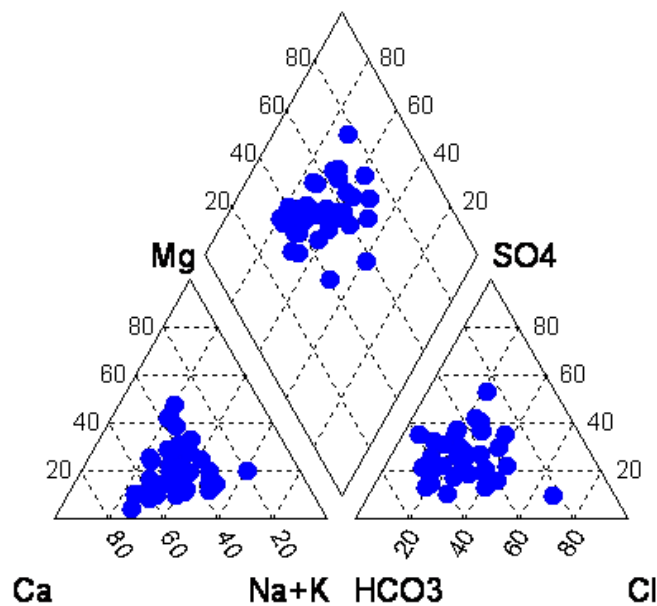


Figura 23 – Projeção das amostras de água analisadas no concelho de Lisboa no diagrama de Piper.

Verifica-se ainda que o valor médio do ião nitrato nas amostras de água subterrânea estudadas é de 82.2 mg/L, sendo o valor paramétrico para consumo humano (50 mg/L) ultrapassado 22 vezes, enquanto o valor médio do nitrito é 0.04 mg/L e o seu valor paramétrico 0.5 mg/L nunca é ultrapassado. Estes valores indicam a vulnerabilidade das águas subterrâneas estudadas à contaminação difusa e confirmam a limitada capacidade de atenuação de contaminantes destes níveis aquíferos. As elevadas concentrações de nitratos e a escassez de nitritos (associadas às elevadas % de saturação de oxigénio), indicam que predominam condições oxidantes no meio, pelo que as condições de confinamento dos diferentes níveis aquíferos devem ser apenas pontuais e na presença de alguns níveis mais argilosos.

Também o estudo dos valores de temperatura das amostras de água subterrânea analisadas na cidade de Lisboa revela a sua vulnerabilidade. A temperatura média é de 17.7°C, valor próximo da temperatura média anual do ar (~17°C). Os valores máximos e mínimos verificam-se nos meses de verão e inverno, respetivamente. Estes valores e a sua sazonalidade indicam que são águas de infiltração recente e circulação pouco profunda em aquíferos que recebem recarga direta da precipitação.

As amostras recolhidas na Estufa Fria (Poço e Nascente) revelam quimismo semelhantes e característicos das formações carbonatadas do Cretácico. O pH das águas amostradas é ligeiramente alcalino (7.62 no poço e 7.34 na nascente) mas dados de monitorização da qualidade da água de rega revelam valores de pH superiores a 8.0. A condutividade elétrica é de 438 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no poço e de 710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na nascente, sendo em ambos casos águas de fácies hidroquímica bicarbonatada – cálcica, com o ião magnésio claramente deficitário. A concentração dos restantes iões maioritários é por ordem decrescente: $[\text{SO}_4] > [\text{Cl}] > [\text{NO}_3] \text{ e } [\text{Na}] > [\text{Mg}] > [\text{K}]$. O nitrato é em ambas as amostras inferior a 7 mg/L. O ferro (<0.010 mg/L), o nitrito (<0.010 mg/L) e o azoto amoniacal (<0.05 mg/L NH_4) são inferiores aos limites de deteção em ambas as amostras. A temperatura da água (16.5 °C no poço e 19 °C na nascente) revelam águas de infiltração recente.

A amostra recolhida no Chafariz de Baixo revela águas de mistura com águas da rede pluvial e de outras redes. São águas de composição química bicarbonatada-calco-sódica mas com valores de condutividade elétrica elevados (1140 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH neutro (7,08) e com valores de nitratos superiores a 102 mg/L.

Zonas Vulneráveis Identificadas

Após os trabalhos de recolha de dados e caracterização geológica e hidrogeológica das zonas de traçado dos dois túneis foram identificadas duas zonas com potencial vulnerabilidade do ponto de vista hidrogeológico. As duas zonas localizam-se na proximidade do traçado do túnel Campolide - Santa Apolónia.

Estufa Fria no Parque Eduardo VII

A primeira zona corresponde à área da Estufa Fria no Parque Eduardo VII (Figura 24). Esta zona foi considerada potencialmente vulnerável devido à sua proximidade ao traçado proposto (± 200 m). E, porque apesar do traçado do túnel se localizar a jusante da referida área e a uma profundidade de cerca de 70 m, a potencial alteração temporária dos padrões de fluxo subterrâneo durante o período de construção do túnel poderá levar a um rebaixamento temporário dos níveis piezométricos no poço existente no interior da Estufa Fria. Refira-se no entanto que esta infraestrutura utiliza também outra origem complementar de água (EPAL).



Figura 24 - Mapa da Estufa Fria de Lisboa (gentilmente cedida pela Câmara Municipal de Lisboa) com localização de nascente e poço.

Para melhor avaliar os eventuais impactos propõe-se a realização dos seguintes estudos complementares durante os trabalhos de prospeção geológica e geotécnica previstos:

- monitorização da profundidade do nível de água subterrânea no poço;
- colheita de amostras de água, nos pontos de água localizados na estufa e nas sondagens mais próximas desse espaço, para uma caracterização hidrogeoquímica adequada;
- ensaio(s) de bombagem de água efetuada nas sondagens a executar mais próximas da estufa, e simultânea monitorização dos níveis de água (poço) e/ou caudal (nascente) na Estufa Fria de Lisboa.

Alcaçarias de Alfama

A segunda zona corresponde à parte terminal traçado do túnel Campolide – Santa Apolónia onde existe um sistema de falhas geológicas que estão provavelmente na origem do grupo das Alcaçarias de Alfama e que o traçado intercederá. Embora atualmente desativadas, as Alcaçarias de Alfama constituem ainda hoje um potencial recurso geotérmico e hidrotermal.

No sentido do reaproveitamento de tal recurso foi assinado um protocolo de cooperação entre a CML e o LNEG e a DGEG que visa promover a reativação destas nascentes como recurso hidrotermal e/ou geotérmico. De facto, já no Plano Director Municipal (PDM) de Lisboa, dada a elevada vulnerabilidade das nascentes face à poluição e dada a sua importância histórica foi delimitada uma área de proteção para as mesmas. Desta forma, a área de proteção das antigas nascentes de Alfama têm uma coincidência espacial com a área concessionada pela DGEG para os trabalhos de exploração e pesquisa que estão atualmente em curso.

Para avaliação de eventuais impactos propõem-se os seguintes estudos durante os trabalhos de prospeção geológica e geotécnica previstos:

- garantir completa impermeabilização do túnel em fase de construção e operação nas áreas envolventes às Alcaçarias de Alfama de forma a evitar uma potencial mistura de águas;
- colheita de amostras de água, nas sondagens sempre que intercedarem níveis de água, com medição da temperatura *in situ* e condutividade elétrica, para caracterização hidrogeoquímica das mesmas.

Em caso de confirmação de interseção de águas de interesse termal ou geotérmico propõem-se a monitorização periódica da qualidade da água a fim de avaliar o real impacto sobre estas.

No que ao traçado do túnel Chelas-Beato diz respeito não foram reconhecidas ou identificadas áreas do ponto de vista hidrogeológico particularmente sensíveis geradoras de impactos.

1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIAIUOLI, L. (1944) – Aguas de Portugal minerais e de mesa: história e bibliografia - Vol. III: História das águas minerais: águas minerais com concessão. Direção Geral de Minas e Serviços Geológicos. 6 vols, Lisboa, 192p.

ALMEIDA, A. (1952) – Lisboa, Capital das Águas. Revista Municipal. Separata dos nºs 49 e 50. 27p.

ALMEIDA, F.M. E ALMEIDA, I.M. (1997) – Contribuição para a atualização da Carta Geológica do Concelho de Lisboa. A Geotecnia nas Infraestruturas de Transportes, Energia e Ambiente. 6º Congresso Nacional de Geotecnia, Volume 1/3, Soc. Portuguesa de Geotecnia e Centro de Geotecnia de Inst. Sup. Técnico. Lisboa. pp 107-115.

ALMEIDA, F.M. E ALMEIDA, I.M. (1997) – Contribuição para a atualização da Carta Geológica do Concelho de Lisboa. A Geotecnia nas Infraestruturas de Transportes, Energia e Ambiente. 6º Congresso Nacional de Geotecnia, Volume 1/3, Soc. Portuguesa de Geotecnia e Centro de Geotecnia de Inst. Sup. Técnico. Lisboa. pp 107-115.

ALMEIDA, C.; MENDONÇA, J. J. L.; JESUS, M. R., GOMES, A. J. (2000) - Atualização do Inventário dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, Centro de Geologia da FCL e Inst. da Água, 1-2.

ALVES, C.A.M.; RODRIGUES, B.; SERRALHEIRO, A., and FRIA, F. (1980) - O Complexo basáltico de Lisboa, Comun. Serv. Geol. Portugal. 66, 111-134.

ALVES, M.C.A. (1964) - Estudo Petrológico do Maciço de Sintra. Rev. Fac. Ciências Lisboa. 2ª série, C, 12(2), 123-289.

ANDRADE, C. F. (1935) – Memória descritiva sobre a modificação a introduzir na atual captação da “Alcalina” das Alcaçarias do Duque. 47p.

ANTUNES, M.T.; ELDERFIELD, H.; LEGOINHA, P.; NASCIMENTO, A.; PAIS, J. (1999) – A Stratigraphic Framework for the Miocene from the Lower Tagus Basin (Lisbon, Setubal Peninsula, Portugal). Depositional sequences, biostratigraphy and isotopic ages. Bol. Soc. Geol. España. Madrid. 12 (1), pp 3-15.

ANTUNES, M.T.; LEGOINHA, P.; CUNHA, P.P.; PAIS, J. (2000) – High resolution stratigraphy and Miocene facies correlation in Lisbon and Setubal Peninsula (Lower Tagus basin, Portugal). Ciencias da Terra (UNL). 14, pp. 183-190.

ARH do Tejo, I.P. (2010) – Os Aquíferos das Bacias Hidrográficas do Rio Tejo e das Ribeiras do Oeste – Saberes e Reflexões. Coleção Tágides Vol. VII. Lisboa.

BAPTISTA, M. A. B., P. M.. SOARES, J. M. MIRANDA, J. F. LUIS (2006) - Tsunami propagation along Tagus estuary (Lisbon, Portugal) preliminary results. Science of Tsunami Hazards. Vol. 24, No. 5, page 329.

CABRAL, J. & RIBEIRO, A. (1988) - Carta Neotectónica de Portugal Continental na escala 1/1 000 000. Direção Geral de Geologia e Minas, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais, Lisboa, s/pp.

CABRAL, J. & RIBEIRO, A. (1989) - Carta Neotectónica de Portugal na escala 1/1 000 000. Notícia explicativa. Direção Geral de Geologia e Minas, Secretaria de Estado da Energia, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 10p.

CABRAL, J. (1995) - Neotectónica em Portugal Continental. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, Memória 31, Lisboa, 265 p.

CABRAL, J. , MONIZ, C. TERRINHA, P. , MATIAS, L, RIBEIRO, P. (2003) - Analysis of seismic reflection profiles as a tool for the seismotectonic characterization of the Lower Tagus valley area (mainland Portugal). Journal of Seismology. 7, pp 431 – 447.

CALADO, C. (1995) – Notícia Explicativa I.20, Carta de Nascentes, Atlas do Ambiente, Ministério do Ambiente e Recursos Naturais, Direção-Geral do Ambiente, Lisboa.

CARVALHO, J.M., Berthou, P.Y., Silva, L.F. (1990) - Introdução aos Recursos Geotérmicos da Região de Lisboa, Book tribute to Carlos Romariz – Applied and Economical Geology Section, Lisbon, 332-356.

CARVALHO, J.; CABRAL, J., GONÇALVES, R.; TORRES, L.; VICTOR, L.M. (2006) - Geophysical methods applied to fault characterization and earthquake potential assessment in the Lower Tagus Valley, Portugal. Tectonophysics. 418, 277–297.

CHOFFAT, P. (1895-1898) – Les eaux d'alimentation Lisbonne – rapport entre leur origine géologique et leur composition chimique. Comunicações da Direção dos Trabalhos Geológicos de Portugal. Tomo III, p.145-198.

CRUCES, A., LOPES, I., FREITAS, M., & ANDRADE, C., (2002) – A Geologia no Litoral – Parte I: Do Tejo à Lagoa de Albufeira, Geologia no Verão 2002 – Guia de Excursão, Agência Ciência Viva, Departamento de Geologia, Centro de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 7-8 pp.

FERREIRA, M.R.P., MACEDO, C.R. (1979) - K-Ar Ages of the Permian-Mesozoic Basaltic Activity in Portugal. Abstracts VI. Europ. Col. Geochron., Cosmochron. And Isotope Geology. Norway. p. 26–27.

FONSECA, P., CAETANO, P., ALMEIDA, A., & GORDINHO, P., (2005) – O Miocénico da Quinta do Lambert (Campo Grande, Portugal): Tafonomia e Paleoambientes, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, pp 2.

KULLBERG, M.C.; MANUPPELLA, G.; REY, J.; BERTHOU, P.Y. (1991) - Carta geológica 1:50 000, nº 34-A, Sintra. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.

LNEG-INETI (2005) - Carta Geológica de Portugal escala 1:50 000, Folha 34D - Lisboa; 2ª Ed. Lisboa.

LNEG (2016_a) – Resposta à solicitação ao LNEG de apoio para a realização do estudo hidrogeológico para a construção dos túneis Monsanto - Santa Apolónia e Chelas - Beato que fazem parte do Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL9 2016-2030).

LNEG (2016_b) – GeoAlfama, Caracterização e aproveitamento geotérmico/hidromineral das águas termominerais da zona de Alfama. Relatório realizado por MARRERO-DIAZ, R., RAMADA, A., DIAS, R., RAMALHO, E., CARVALHO, J. no âmbito do protocolo assinado entre o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) e a Câmara Municipal de Lisboa (CML) em dezembro de 2015. Lisboa, 63 pp.

MARRERO-DIAZ, R. e RAMALHO, E. C. (2015) - Características geoquímicas das antigas nascentes termominerais de Alfama (Lisboa, Portugal): estudo preliminar do seu potencial geotérmico e hidromineral. Comunicações Geológicas (2015) 102, Especial I, XX-XX. ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X.

MARRERO-DIAZ, R. e RAMALHO, E. C. (2015) - Características geoquímicas das antigas nascentes de Alfama (Lisboa, Portugal): estudo preliminar do seu potencial geotérmico e hidromineral in Actas do X Congresso Ibérico de Geoquímica, Lisboa (LNEG Alfragide), Portugal, 19-23 Outubro 2015.

MARRERO-DIAZ, R.; RIBEIRO, L. e COSTA, A. (2014) - Conceptual model of low-enthalpy Lower Cretaceous aquifer in Lisbon urban area (Portugal) [abstract]. In: 2014 IWA World Water Congress & Exhibition, Lisboa, Portugal, 21-26 September 2014. - Lisbon World Water Congress of International Water Association.

MARRERO-DIAZ, R.; COSTA, A.; DUARTE, L.; RAMALHO, E.; ROSA, C. e ROSA, D. (2013) - Principais características e limitações hidrogeológicas do aquífero cretácico inferior da região de lisboa para o seu aproveitamento como recurso geotérmico de

baixa entalpia in Actas do 9º Seminário Sobre Águas Subterrâneas, Campus de Caparica, 7 e 8 de Março de 2013 Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

MARRERO-DIAZ, R.; RAMALHO, E.; COSTA, A.; RIBEIRO, L.; CARVALHO, J.; PINTO, C.; ROSA, D. e CORREIA, A. (2015) - Updated Geothermal Assessment of Lower Cretaceous Aquifer in Lisbon Region, Portugal in Actas de Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.

MIRANDA, R.; VALADARES, V.; TERRINHA, P.; MATA, J.; AZEVEDO, M.R.; GASPAR, M.; KULLBERG, J.C.; RIBEIRO, C. (2009) - Age constraints on the Late Cretaceous alkaline magmatism on the West Iberian Margin. *Cretaceous Research*. 30, 575–586.

MOITINHO DE ALMEIDA, F. (1972) – Parecer hidrogeológico sobre uma sondagem executada no Largo do Chafariz de Dentro para o Metropolitano de Lisboa. *Revista da Faculdade de Ciências, 2ª série. C – Ciências Naturais*, Vol. XVII – Fasc. 1º, pp. 187-196.

MOITINHO DE ALMEIDA, F. (1986) – Carta geológica de Concelho de Lisboa, escala 1:10000. Folhas 1, 2, 3 e 4 Direção Geral de Geologia e Minas. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

NP ENV 1998 - 1-1:2000, Eurocódigo 8: Disposições para projecto de estruturas sísmo-resistentes. Parte 1-1: Regras gerais - Ações sísmicas e requisitos gerais para as estruturas.

OLIVEIRA, C. S., (1977) - Sismologia, sismicidade e risco sísmico. Aplicações em Portugal. Relatório. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

OLIVEIRA, C.S., (1986) - A sismicidade histórica e a revisão do catálogo sísmico, LNEC, Lisboa.

OLIVEIRA, D. O. (2010) - Estudo hidrogeológico da sub-bacia hidrográfica de Alcântara-Lisboa. Tese de mestrado em geologia aplicada. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

PAIS, J.; MONIZ, C.; CABRAL, J.; CARDOSO, J.; LEGOINHA, P.; MACHADO, S.; MORAIS, M. A.; LOURENÇO, C.; RIBEIRO, M. L.; HENRIQUES, P. & FALÉ, P. (2006) - Notícia Explicativa da Carta geológica 1:50 000, nº 34-D, Lisboa. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.

PAIS, J.; CUNHA, P.P.; PEREIRA, D.; LEGOINHA, P.; DIAS, R.; MOURA, D.; SILVEIRA, A.B.; KULLBERG, J.C.; GONZÁLEZ-DELGADO, J.A. (2012) – The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal): A Cenozoic Record in the European Atlantic Domain. Springer Berlin Heidelberg, 158 p.

PINTO, C. (2003) – Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Concelho de Lisboa – Zona Ocidental. Relatório de estágio profissionalizante. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

CONSÓRCIO HIDRA/ ENGIDRO (2015). Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL) 2016-2030. Lisboa.

RAMALHO, E. C. e LOURENÇO, M. C. (2006) – As águas de Alfama como património hidrogeológico de Lisboa = Alfama Springs as an hydrogeological heritage of Lisbon. In: Actas do VII Congresso Nacional de Geologia, Universidade de Évora. Évora, 29 de Junho a 13 de Julho.

RAMALHO, M. ; RIBEIRO, M.L.; A. SERRALHEIRO e MOITINHO DE ALMEIDA, F. (1999) - Carta geológica 1:50 000, nº 34-C, Cascais. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.

RAMALHO, M. M.; REY, J.; ZBYSZEWSKI, G; MATOS ALVES, C. A.; PALÁCIOS, T.; MOITINHO DE ALMEIDA, F.; COSTA, C.; KULLBERG, M. (2001) - Notícia Explicativa da Carta geológica 1:50 000, nº 34-C, Cascais. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.

RAMALHO, M.M.; PAIS, J.; REY, J.; BERTHOU, P. Y.; ALVES, C. A. M.; PALÁCIOS, T.; LEAL, N.; KULLBERG, M. C. (1993) - Notícia Explicativa da Carta geológica 1:50 000, nº 34-A, Sintra. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.

RAMOS A. SILVA C. RIBEIRO L. SILVA C. (2006) - As águas subterrâneas de Alfama: tipos de recarga e qualidade da água in Actas do 8º Congresso da Água – “Água - Sede de Sustentabilidade” ed. CDROM, APRH, Figueira da Foz.

REIS, R.B.P.; PAIS, J.; ANTUNES, M.T. (2000) – Sedimentação aluvial na região de Lisboa. O "Complexo de Benfica". Geogaceta. Madrid.

RIBEIRO, L. F. *et al.* (2010) – Geo-referenciação e caracterização da água subterrânea dos poços, furos e minas da cidade de Lisboa. Relatório final de projecto realizado para a Empresa Portuguesa de Águas Livres (EPAL).

RIBEIRO, D., GUERREIRO, J., DUARTE, J. (2005). Estudo Hidrogeológico do Bairro de Alfama. Trabalho final de curso, FCUL, Lisboa, 75 + anexos.

RSAEPP (1983) - Regulamento de segurança e ações para estruturas de edifícios e pontes. Decreto-Lei nº 235/83, de 31 de maio. Lisboa: Imprensa Nacional-Casa da Moeda, E.P. 114 p.

SNIRH (2017) – Sistema nacional de informação de recursos hídricos. Sítio da Internet: <http://snirh.apambiente.pt/>, acedido a 16/2.

TECNASOL FGE (2004) – Prolongamento da Linha Vermelha. Estação de S. Sebastião e a Futura Estação de Campolide, Lisboa. Relatório de Prospeção Geológica e Geotécnica.

TERRINHA, P., CARRARA, G., VALADARES, V., REBÊLO, L., DUARTE, H., VICENTE, J. 2016. Caracterização Geo-Ambiental no âmbito do projeto de avaliação de riscos naturais e tecnológicos da cidade de Lisboa. Sítio da Internet: http://lxrisk.cm-lisboa.pt/caract_geo_amb.html, acedido em 16/02.

TERRINHA, P., MATIAS, L., VICENTE, J., DUARTE, J., LUÍS, J., PINHEIRO, L., LOURENÇO, N., DIEZ, S., ROSAS, F., MAGALHÃES, V., VALADARES, V., ZITELLINI, N., ROQUE, C., MENDES VÍCTOR, L. AND MATESPRO TEAM (2009) - Strain Partitioning and Morphotectonics at the Iberia-Africa plate boundary from multibeam and seismic reflection data. Mar. Geol.. doi:10.1016/j.margeo.2009.09.012.

VIEIRA DA SILVA, A. (1987) – A “Cerca Moura” de Lisboa (1ª edição de 1899). Estudo histórico descritivo. Município de Lisboa, 3ª edição. 195p.

ZBYSZEWSKI, G. (1963) – Notícia Explicativa da Carta Geológica dos Arredores de Lisboa na escala 1:50000, Folha 4, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.