



spie batignolles

international

TÚNEIS DE DRENAGEM DE LISBOA

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



PROJETO DE EXECUÇÃO

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

VOLUME 4 – ANEXOS

ANEXO 3 – ELEMENTOS DO PROJETO DE EXECUÇÃO E DA EMPREITADA

NOVEMBRO 2021

GER-GER-GER-PE-REL-RCE-04.03-R0



Responsável pelo RECAPE



PÁGINA EM BRANCO

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

RELATÓRIO DE CONFORMIDADE AMBIENTAL DO PROJETO DE EXECUÇÃO (RECAPE)

ÍNDICE GERAL

VOLUME 1 – RESUMO NÃO TÉCNICO

VOLUME 2 – RELATÓRIO BASE

VOLUME 3 – PEÇAS DESENHADAS

VOLUME 4 – ANEXOS

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

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

RELATÓRIO DE CONFORMIDADE AMBIENTAL DO PROJETO DE EXECUÇÃO (RECAPE)

VOLUME 4 – ANEXOS

ANEXO 3 – ELEMENTOS DO PROJETO DE EXECUÇÃO E DA EMPREITADA

ÍNDICE

- ANEXO 3.1 – Peças Desenhadas do Projeto de Execução
- ANEXO 3.2 – Estudo Geológico e Geotécnico
- ANEXO 3.3 – Plano de Desvios de Trânsito e de Mobilidade
- ANEXO 3.4 – Plano de Estaleiros
- ANEXO 3.5 – Infraestruturas e os Equipamentos Existentes, Identificando-se os Serviços Afetados a Restabelecer pelo Projeto
- ANEXO 3.6 – Planeamento das Obras
- ANEXO 3.7 – Planos de Integração Paisagística

ANEXO 3.2

Estudo Geológico e Geotécnico



TÚNEIS DE DRENAGEM DE LISBOA

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



RELATÓRIO DE CONFORMIDADE AMBIENTAL DO PROJETO DE EXECUÇÃO (RECAPE)

VOLUME 4 - ANEXOS

ANEXO 3 ELEMENTOS DO PROJETO DE EXECUÇÃO E DA EMPREITADA

ANEXO 3.2 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

OUTUBRO 2021

GER-GER-GER-PE-REL-RCE-04.32-R0



Responsável pelo RECAPE:





Empreitada de Execução dos Túneis de Drenagem da
Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas



RELATÓRIO DE CONFORMIDADE AMBIENTAL DO PROJETO DE EXECUÇÃO
(RECAPE)
VOLUME 4 - ANEXOS
ANEXO 3 ELEMENTOS DO PROJETO DE EXECUÇÃO E DA EMPREITADA

ANEXO 3.2 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO
GER-GER-GER-PE-REL-RCE-04.32-R0



RELATÓRIO DE CONFORMIDADE AMBIENTAL DO PROJETO DE EXECUÇÃO (RECAPE) VOLUME 4 - ANEXOS

ANEXO 3 ELEMENTOS DO PROJETO DE EXECUÇÃO E DA EMPREITADA

ANEXO 3.2 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO

VOLUME 4 – ANEXOS

ÍNDICE DE PORMENOR

ANEXO 1 – DIA E CONDICIONANTES

Anexo 1.1 – DIA

Anexo 1.2 – Anexo 1 e 2 e 3 da alteração das Condicionantes na APL

ANEXO 2 – CONTATOS COM AS ENTIDADES

Anexo 2.1 – Quadro Síntese

Anexo 2.2 – Cartas Enviadas

Anexo 2.3 – Cartas Recebidas

ANEXO 3 – ELEMENTOS DO PROJETO DE EXECUÇÃO E DA EMPREITADA

Anexo 3.1 – Peças Desenhadas do Projeto de Execução

Anexo 3.2 – Estudo Geológico e Geotécnico

Anexo 3.3 – Plano de Desvios de Trânsito e de Mobilidade

Anexo 3.4 – Plano de Estaleiros

Anexo 3.5 – Serviços Afetados

Anexo 3.6 – Planeamento das Obras

Anexo 3.7 – Planos de Integração Paisagística

ANEXO 4 – ELENCO DEFINITIVO DAS ESPÉCIES DE PORTE ARBÓREO A ABATER E A TRANSPLANTAR

ANEXO 5 – PATRIMÓNIO E ARQUEOLOGIA

Anexo 5.1 – Levantamento do Património Arqueológico e Arquitetónico e Prospeção Arqueológica a efetuar nas zonas de estaleiro, manchas de empréstimo e depósito de terras, caminhos de acesso à obra, zonas imersas, caso as mesmas se encontrem fora das áreas anteriormente prospetadas ou que tivessem apresentado ausência de visibilidade do solo;

Anexo 5.2 – Carta de Condicionantes do Património

Anexo 5.3 – Levantamento do Estado de Conservação Interior e Exterior do Património Arquitetónico localizado numa faixa de 50 metros centrada a eixo dos traçados e onde a profundidade dos túneis seja inferior a 20 m

Anexo 5.4 – Programa de Salvaguarda Patrimonial que envolva a Salvaguarda, Monitorização, Conservação e Restauro, quer na Fase de Execução quer na Fase de Exploração, de Bens Imóveis Classificados ou em Vias de Classificação

Anexo 5.5 – Programa de Acompanhamento Arqueológico da Empreitada

Anexo 5.6 – P.A.T.A.

ANEXO 6 – CARTA DE CONDICIONANTES À LOCALIZAÇÃO DOS ESTALEIROS, COM A IMPLANTAÇÃO DE TODOS OS ELEMENTOS PATRIMONIAIS

ANEXO 7 – SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL (SGA) E PLANO DE GESTÃO AMBIENTAL (PGA)

ANEXO 8 – PROGRAMAS DE MONITORIZAÇÃO

Anexo 8.1 – Programa de Monitorização da Afetação e Estabilidade do Património Arquitetónico, devido à eventual Propagação de Vibrações e/ou Assentamentos Provocados pelos Trabalhos Afetos ao Projeto

Anexo 8.2 – Programa de Monitorização de Ruído, caso se preveja que a obra decorra no período de entardecer e /ou noturno (Fase de Construção)

Anexo 8.3 – Programa de Monitorização dos Trabalhos Arqueológicos

Anexo 8.4 – Monitorização Qualitativa e Quantitativa das Águas Subterrâneas nas Zonas Vulneráveis Identificadas (destaque para a zona da Estufa Fria e Alcaçarias de Alfama)

ANEXO 9 – PLANO DE GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

ANEXO 10 – PLANO DE GESTÃO DE RISCOS

ANEXO 11 – ICOMOS

ANEXO 12 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SOLOS A ESCAVAR

ANEXO 13 – RUÍDO E VIBRAÇÕES

Anexo 13.1 – Caracterização da Situação de Referência

Anexo 13.2 – Avaliação de Impactes em Fase de Obra

ANEXO 14 – REAVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA E IMPACTES

ANEXO 15 – DESPACHO nº 13/DMU/CML/2021

ANEXO 16 – CARTAS DE RISCO DE IMUNDAÇÃO

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

RELATÓRIO DE CONFORMIDADE AMBIENTAL DO PROJETO DE EXECUÇÃO (RECAPE)

VOLUME 4 - ANEXOS

ANEXO 3 ELEMENTOS DO PROJETO DE EXECUÇÃO E DA EMPREITADA

ANEXO 3.2 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO**1 INTRODUÇÃO**

O presente documento introduz no estudo de RECAPE o Estudo Geológico e Geotécnico do Projeto de Execução dos Túneis Monsanto – Santa Apolónia e Chelas – Beato e intervenções associadas, no âmbito da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas.

O estudo geológico e geotécnico é composto pelo seguinte volume do Projeto de Execução:

- P00-GER-GER-PE-MEM-GEO-00.01 – ESTUDO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

e que aqui se constituem como um dos anexos do RECAPE – Anexo 3.2.

Lisboa, Outubro, 2021



TÚNEIS DE DRENAGEM DE LISBOA

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



PROJETO DE EXECUÇÃO

PROJETO 00

ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

MEMÓRIA DESCRITIVA

OUTUBRO 2021

P00-GER-GER-PE-MEM-EGG-00.01-R2





Empreitada de Execução dos Tuneis de Drenagem da
Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas



Projeto 00 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

PROJETO DE EXECUÇÃO
MEMÓRIA DESCRITIVA
P00-GER-GER-PE-MEM-EGG-00.01-R2



PROJETO 00
ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

PROJETO DE EXECUÇÃO

ÍNDICE GERAL

– MEMÓRIA DESCRITIVA

Data	Revisão	Descrição	Redação	Verificado	Aprovado
2021/10	02	Inclusão de boletins de campanha de reconhecimento geológico-geotécnico complementar do projeto de execução	RC	RC/SC	SC
2021/10	01	Inclusão de campanha de prospeção geológico-geotécnica complementar. Revisão referências bibliográficas	RC	RC/SC	SC
2021/04	00	Edição inicial	RC	RC/SC	SC

Projeto 00 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

PROJETO 00
ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

PROJETO DE EXECUÇÃO

MEMÓRIA DESCRITIVA

INDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	METODOLOGIA E TERMINOLOGIA USADA NO ESTUDO.....	3
	2.1 METODOLOGIA.....	3
	2.2 TERMINOLOGIA.....	3
	2.2.1 Maciços Terrosos	3
	2.2.2 Maciços Rochosos.....	5
3	GEOLOGIA GERAL.....	9
	3.1 QUADRO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO E TECTÓNICO.....	9
	3.2 QUADRO HIDROGEOLÓGICO	20
4	SISMICIDADE	26
5	TRABALHOS DE RECONHECIMENTO	31
	5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	31
	5.2 DISTRIBUIÇÃO DOS TRABALHOS POR OBRAS	31
	5.2.1 Projeto E1	31
	5.2.2 Projeto E2	32
	5.2.3 Projeto E3.....	33
	5.2.4 Projeto E4.....	34
	5.2.5 Projeto E5.....	34
	5.2.6 Projeto E6.....	34
	5.2.7 Projeto E7	35
	5.2.8 Projeto E8.....	35

5.2.9	Projetos E9 a E11	36
5.2.10	Projeto E12.....	37
5.2.11	Projeto E13.....	37
5.2.12	Projeto E14.....	38
5.2.13	Projeto E15.....	39
5.2.14	Projeto E16.....	39
5.2.15	Projeto E17	39
5.2.16	Projeto E18.....	40
5.3	SONDAGENS MECÂNICAS.....	40
5.4	ENSAIOS SPT	43
5.4.1	Aterros	43
5.4.2	Aluviões	44
5.4.3	Formações Miocénicas.....	45
5.4.4	Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL).....	51
5.5	ENSAIOS DE PERMEABILIDADE “IN SITU”	51
5.5.1	Considerações Prévias.....	51
5.5.2	Formações Miocénicas.....	52
5.5.3	Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL).....	54
5.5.4	Formações Cretácicas de Natureza Calcária.....	55
5.5.5	Níveis de água/piezométricos.....	56
5.5.6	Formações Miocénicas.....	56
5.5.7	Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL).....	62
5.5.8	Formações Cretácicas de Natureza Calcária.....	63
5.6	ENSAIOS DE BOMBAGEM.....	64
5.6.1	Considerações Prévias.....	64
5.6.2	Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL).....	64
5.6.3	Formação de Caneças	65
5.6.4	Formações Miocénicas.....	65
5.7	ENSAIOS COM PRESSIÓMETRO AUTO PERFURADOR	66
5.7.1	Formações Miocénicas.....	66
5.8	ENSAIOS “CROSS-HOLE”	67
5.8.1	Aterros	67
5.8.2	Complexo M2 (Areolas da Estefânia).....	67

5.8.3	Complexo M3 (Calcários de Entre-Campos).....	67
5.8.4	Complexo M7 (Argilas de Xabregas).....	67
5.8.5	Complexo M8 (Calcários de Marvila)	67
5.9	ENSAIOS DE LABORATÓRIO	68
5.9.1	Ensaio Sobre Solos	68
5.9.2	Ensaio Sobre Rochas	77
6	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	82
6.1	ZONAMENTO GEOTÉCNICO GERAL	82
6.2	PARÂMETROS GEOTÉCNICOS GERAIS	84
6.3	CARACTERÍSTICAS LOCAIS	88
6.3.1	Projeto E1	88
6.3.2	Projeto E2	104
6.3.3	Projeto E3	109
6.3.4	Projeto E4	110
6.3.5	Projeto E5	113
6.3.6	Projeto E6	116
6.3.7	Projeto E7	119
6.3.8	Projeto E8	120
6.3.9	Projeto E9	124
6.3.10	Projeto E10.....	126
6.3.11	Projeto E11.....	128
6.3.12	Projeto E12.....	130
6.3.13	Projeto E13.....	132
6.3.14	Projeto E14.....	143
6.3.15	Projeto E15.....	145
6.3.16	Projeto E16.....	148
6.3.17	Projeto E17.....	152
6.3.18	Projeto E18.....	154
7	CONDICIONAMENTOS GEOTÉCNICOS NATURAIS E DECORRENTES DAS ESCAVAÇÕES	156
7.1	CONDICIONAMENTOS GEOTÉCNICOS NATURAIS.....	156
7.1.1	Vulnerabilidade Sísmica dos terrenos	156
7.1.2	Influência das Marés e Suscetibilidade a Inundações	156
7.1.3	Potencial de Liquefação das Aluviões Arenosas	158

7.1.4	Contaminantes Naturais	159
7.2	CONDICIONAMENTOS GEOTÉCNICOS DECORRENTES DAS ESCAVAÇÕES	161
7.2.1	Afluências de Águas Subterrâneas Naturais	161
7.2.2	Influência da Carsificação e Heterogeneidade litológica	162
7.2.3	Presença de Solos Contaminados	164
8	CAMPANHA DE RECONHECIMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO COMPLEMENTAR	166
8.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	166
8.2	TRABALHOS PROGRAMADOS	166
8.2.1	Corredor TMSA.....	167
8.2.2	Corredor TCB.....	176

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Enquadramento geológico das obras. Extrato da Carta Geológica de Lisboa, Folhas 3 e 4, à escala 1:10.000	9
Figura 3.2 – Corte geológico esquemático (sobrelevado 10x) das obras entre Monsanto e Santa-Apolónia	17
Figura 3.3 – Corte geológico esquemático (sobrelevado 10x) das obras entre Chelas e o Beato	17
Figura 3.4 – Limites da MA subterrânea Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo (O01RH5) (ARH Tejo, 2010)	20
Figura 3.5 – Localização das alcaçarias de Alfama	23
Figura 3.6 – Limite de proteção às Alcaçarias de Alfama	24
Figura 4.1 – Zonamento sísmico em Portugal Continental (Figura NA.I da NP EN 1998-1)	27
Figura 4.2 – Valores dos parâmetros de definição dos espectros de resposta elástica	29
Figura 5.1 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT nos aterros das obras dos corredores do TMSA (esquerda) e TCB (direita). (Fonte LNEC, 2017 [1,2])	44
Figura 5.2 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT nas aluviões das obras dos corredores do TMSA (esquerda) e TCB (direita) (Fonte LNEC, 2017 [1,2])	45
Figura 5.3 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M1 das obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2])	45
Figura 5.4 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M2 das obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2])	46

Figura 5.5 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M3 das obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2]).....	47
Figura 5.6 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M4 das obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2]).....	48
Figura 5.7 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M5 das obras do corredor TCB (Fonte LNEC, 2017 [1,2]).....	48
Figura 5.8 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M6 das obras do corredor TCB (Fonte LNEC, 2017 [1,2]).....	49
Figura 5.9 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M7 das obras do corredor TCB (Fonte LNEC, 2017 [1,2]).....	50
Figura 5.10 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M8 das obras do corredor TCB (Fonte LNEC, 2017 [1,2]).....	50
Figura 5.11 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no CVL nas obras do corredor TMSA	51
Figura 5.12 – Evolução do nível piezométrico nas aluviões interessadas às obras do corredor TMSA ...	56
Figura 5.13 – Evolução do nível piezométrico no complexo M1 das obras do corredor TMSA	57
Figura 5.14 – Evolução do nível piezométrico no complexo M2 das obras do corredor TMSA	57
Figura 5.15 – Evolução do nível piezométrico no complexo M3 das obras do corredor TMSA	58
Figura 5.16 – Evolução do nível piezométrico no complexo M4 das obras do corredor TMSA	59
Figura 5.17 – Evolução do nível piezométrico no complexo M5 das obras do corredor TCB	60
Figura 5.18 – Evolução do nível piezométrico no complexo M6 das obras do corredor TCB	60
Figura 5.19 – Evolução do nível piezométrico no complexo M7 das obras do corredor TCB	61
Figura 5.20 – Evolução do nível piezométrico no complexo M8 das obras do corredor TCB	62
Figura 5.21 – Evolução do nível piezométrico nos tufo vulcânicos afetos às obras do corredor TMSA .	62
Figura 5.22 – Evolução do nível piezométrico nos basaltos afetos às obras do corredor TMSA.....	63
Figura 5.23 – Evolução do nível piezométrico na Formação de Caneças afeta às obras do corredor TMSA	64
Figura 6.1 – Relação RCU/E das rochas calcárias das formações da Bica e Caneças obtida nos ensaios de compressão uniaxial.....	92
Figura 6.2 – Relação RCU/E das rochas do CVL	93
Figura 6.3 – Carta de plasticidade dos solos da série miocénica atravessada pelo túnel	94
Figura 6.4 – Relação IP/VBS solos da série miocénica atravessada pelo túnel	94
Figura 6.5 – Relação RCU/E das camadas rochosas da série miocénica atravessada pelo túnel	95
Figura 6.6 – Proporções das zonas geotécnicas a escavar	97
Figura 6.7 – Zonamento geotécnico longitudinal do TMSA – setor rochoso noroeste	99

Figura 6.8 – Zonamento geotécnico longitudinal do TMSA – setor terroso sudeste	100
Figura 6.9 – Proporções dos terrenos a escavar	101
Figura 6.10 – Proporções dos terrenos a escavar, por natureza	102
Figura 6.11 – Repartição das frentes a escavar, por unidade geológica	103
Figura 6.12 – Natureza das frentes mistas em % (15% de frentes mistas)	104
Figura 6.13 – Da esquerda para a direita: Carta de 1911 de Silva Pinto (CML) após obras para túnel do Rossio, carta de 1950 (CML) após obras da Estação CP-Campolide, caneiro na Carta de 1970-1983 (CML)	105
Figura 6.14 – Fotos da antiga Ponte do Tarujo sobre a Ribeira de Alcântara (em 1912) e da construção do Caneiro de Alcântara (em 1945)	105
Figura 6.15 – Delimitação da Bacia hidrográfica da Ribeira de Alcântara, na Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala 1:10 000 (extraído de Oliveira, 2010)	106
Figura 6.16 – Zonamento adotado no Projeto E2	107
Figura 6.17 – Classificação da escavabilidade de maciços rochosos, segundo Franklin et al. (1971) ...	109
Figura 6.18 – Zonamento adotado no Projeto E3	110
Figura 6.19 – Zonamento adotado no Projeto E4: câmara de vórtice, túnel NATM, caixas CDC01 e CDC02	112
Figura 6.20 – Zonamento adotado no Projeto E5: câmara de vórtice, túnel NATM e caixa CDC03	115
Figura 6.21 – Foto das obras de construção do metropolitano de Lisboa, na Avenida Almirante Reis. Notar o caneiro existente na espalda esquerda da trincheira	116
Figura 6.22 – Zonamento adotado no Projeto E6: câmara de vórtice, túnel NATM, caixa CDC04 e poço 01	118
Figura 6.23 – Zonamento adotado no Projeto E7	120
Figura 6.24 – Mapeamento dos aterros na Baixa e frente ribeirinha de Lisboa. Extrato da Carta Topográfica de 1911, CML (extraído de Durão, 2012)	122
Figura 6.25 – Frente Ribeirinha de Alfama – 500 anos de aterros (extraído de Durão, 2012)	122
Figura 6.26 – Zonamento adotado no Projeto E8	124
Figura 6.27 – Zonamento adotado no Projeto E9	126
Figura 6.28 – Zonamento adotado no Projeto E10: perfil longitudinal da Zona B – Troço 1	127
Figura 6.29 – Zonamento adotado no Projeto E11: perfil longitudinal da Zona B – Troço 2	130
Figura 6.30 – Zonamento adotado no Projeto E12	132
Figura 6.31 – Distribuição percentual das classes de solos (USCS) intersectada pelo túnel Chelas-Beato	139
Figura 6.32 – Distribuição percentual das classes de solos (USCS) por assentada miocénica	139

Figura 6.33 – Estimativas percentuais das zonas geotécnicas intersectadas ao longo do traçado do túnel	142
Figura 6.34 – Zonamento adotado no Projeto E14	145
Figura 6.35 – Zonamento adotado no Projeto E15	148
Figura 6.36 – Zonamento adotado no Projeto E16	151
Figura 6.37 – Zonamento adotado no Projeto E17. Da esquerda para a direita: câmara do Quartel, Broma e Picheleira	153
Figura 6.38 – Zonamento adotado no Projeto E18	155
Figura 7.1 – Carta de vulnerabilidade à inundação urbana no Concelho de Lisboa. Fonte: CML (2010)	158

INDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Critérios expeditos de avaliação da compacidade dos solos granulares	4
Quadro 2.2 – Critérios expeditos de avaliação da consistência dos solos finos	4
Quadro 2.3 – Compacidade dos solos granulares estimada com base no ensaio SPT	4
Quadro 2.4 – Consistência dos solos finos estimada com base no ensaio SPT	5
Quadro 2.5 – Estados de alteração do maciço rochoso	5
Quadro 2.6 – Critérios para a classificação do espaçamento da fracturação do maciço rochoso	6
Quadro 2.7 – Continuidade das descontinuidades	6
Quadro 2.8 – Rugosidade das descontinuidades	7
Quadro 2.9 – Abertura das descontinuidades	7
Quadro 2.10 – Critérios para a avaliação expedita da resistência à compressão uniaxial	8
Quadro 4.1 – Tipos de terreno e ação sísmica (conforme a NP EN1998-1:2010)	28
Quadro 6.1 – Zonamento geotécnico geral e parâmetros geotécnicos considerado	87
Quadro 6.2 – Zonamento geotécnico túnel TMSA	98
Quadro 6.3 – Níveis de água reconhecidos ao longo do traçado do túnel e sua posição/interferência com o túnel	137
Quadro 7.1 – Critérios Percentagens totais da mineral serpentina e da associação	160
Quadro 8.1 – Caraterísticas das sondagens mecânicas, ensaios no interior dos furos, piezómetros e amostragem no decurso da furação	168
Quadro 8.2 – Caraterísticas dos ensaios pressiométricos do tipo Ménard	172
Quadro 8.3 – Caraterísticas dos ensaios CPTu	173
Quadro 8.4 – Resumo dos ensaios de laboratório a realizar sobre amostras de solos e de rochas	174

Quadro 8.5 – Características das sondagens mecânicas, ensaios no interior dos furos, piezómetros e amostragem no decurso da furação.....	177
Quadro 8.6 – Características dos ensaios pressiométricos do tipo Ménard.....	179
Quadro 8.7 – Características dos ensaios CPTu.....	179
Quadro 8.8 – Resumo dos ensaios de laboratório a realizar sobre amostras de solos e de rochas	180

INDICE DE FOTOS

INDICE DE DESENHOS

Nº ordem	Nº de desenho	Projeto	Designação
01	P00-TMSA-TCB-PE-DES-GER-00.01-00.01	Enquadramento Geral	Planta de Enquadramento Geral
02	P00-TMSA-TCB-PE-DES-GER-00.02-00.02	Enquadramento Geral	Planta de Enquadramento Geral Geologia e Geotecnia
03	P01-TMSA-TUN-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 01 - TMSA - Túnel de Monsanto - Santa Apolónia	Geologia e Geotecnia Planta e Perfil Longitudinal - 1/5
04	P01-TMSA-TUN-PE-DES-EGG-01.01-01.02	Projeto 01 - TMSA - Túnel de Monsanto - Santa Apolónia	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Planta e Perfil Longitudinal - 2/5
05	P01-TMSA-TUN-PE-DES-EGG-01.01-01.03	Projeto 01 - TMSA - Túnel de Monsanto - Santa Apolónia	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Planta e Perfil Longitudinal - 3/5
06	P01-TMSA-TUN-PE-DES-EGG-01.01-01.04	Projeto 01 - TMSA - Túnel de Monsanto - Santa Apolónia	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Planta e Perfil Longitudinal - 4/5
07	P01-TMSA-TUN-PE-DES-EGG-01.01-01.05	Projeto 01 - TMSA - Túnel de Monsanto - Santa Apolónia	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Planta e Perfil Longitudinal - 5/5
08	P02-TMSA-TM1-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 02- TMSA-TM1 - Obra de Desvio do Caneiro (Poço de Grossos e Tamisagem)	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Planta e Perfis
09	P03-TMSA-TM1-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 03 - TMSA-TM1 - Obra de Desvio do Caneiro (Bacia Anti-Poluição)	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Planta e Perfis - 1/2
10	P03-TMSA-TM1-PE-DES-EGG-01.01-01.02	Projeto 03 - TMSA-TM1 - Obra de Desvio do Caneiro (Bacia Anti-Poluição)	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Planta e Perfis - 2/2
11	P04-TMSA-TM2-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 04 - TMSA-TM2 - Obras de Drenagem d Interseção da Av. da Liberdade	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia CX. TM2.01; CDC01; CDC02 Planta e Perfis

Projeto 00 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

Nº ordem	Nº de desenho	Projeto	Designação
12	P04-TMSA-TM2-PE-DES-EGG-01.01-01.02	Projeto 04 - TMSA-TM2 - Obras de Drenagem d Interseção da Av. da Liberdade	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Camara de Vórtice (CV01) e Túnel NATM Planta e Perfis
13	P05-TMSA-TM3-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 05 - TMSA-TM3 - Obras de Interseção de Santa Marta	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Câmara de desvio de Caudal (CDC03), Câmara de Vórtice (CV02) e Túnel NATM. Planta e Perfis
14	P06-TMSA-TM4-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 06 - TMSA-TM4 - Obras de Interseção da Avenida Almirante Reis	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Câmara de Desvio De Caudal (CDC04) Planta e Perfis
15	P06-TMSA-TM4-PE-DES-EGG-01.01-01.02	Projeto 06 - TMSA-TM4 - Obras de Interseção da Avenida Almirante Reis	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Câmara de Vórtice (CV03) e Secção em NATM Planta e Perfis
16	P07-TMSA-TM5-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 07 - TMSA-TM5 - Obra de Descarga do Túnel dm Santa Apolónia Poço de Ventilação d Acesso do Túnel da Rua Dos Remédios	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Poço de Ventilação e Acesso ao Túnel na Rua dos Remédios. Planta e Perfis
17	P08-TMSA-TM5-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 08 - TMSA-TM5 - Obra de Descarga do Túnel dm Santa Apolónia Zona A - Troço 1 (Zona 1)	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Zona A - Troço 1 (Zona 1) Planta e Perfis
18	P09-TMSA-TM5-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 09 - TMSA-TM5 - Obra de Descarga do Túnel dm Santa Apolónia Zona A - Troço 2 (Zona 2)	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Zona A - Troço 2 Planta e Perfis
19	P10-TMSA-TM5-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 10 - TMSA-TM5 - Obra de Descarga do Túnel em Santa Apolónia Zona B - Troço 1 (Zona 3)	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Zona B - Troço 1 Planta e Perfis
20	P11-TMSA-TM5-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 11 - TMSA-TM5 - Obra de Descarga do Túnel em Santa Apolónia Zona B - Troço 2 (Zona 4)	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Zona B - Troço 2 Planta e Perfis
21	P12-TMSA-TM6-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 12 - TMSA-TM6 - Sistema de Drenagem de Ar Domésticas e Pluviais da Zona Baixa da Bacia de Santa Apolónia - Sector Ocidental	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Sistema de Drenagem Planta e Perfis
22	P13-TCB-TC2-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 13 - TCB Túnel Chelas Beato e Intervenções Associadas	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Túnel Chelas Beato - Perfil Longitudinal. Zonamento Geotécnico - 1/2
23	P13-TCB-TC2-PE-DES-EGG-01.01-01.02	Projeto 13 - TCB Túnel Chelas Beato e Intervenções Associadas	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Túnel Chelas Beato - Perfil Longitudinal. Zonamento Geotécnico - 2/2
24	P13-TCB-TC2-PE-DES-EGG-01.01-01.03	Projeto 13 - TCB Túnel Chelas Beato e Intervenções Associadas	Projeto de Execução - Túnel Chelas Beato - Perfil Longitudinal. Espectro do Zonamento ao Longo a Escavação - 1/2

Projeto 00 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

Nº ordem	Nº de desenho	Projeto	Designação
25	P13-TCB-TC2-PE-DES-EGG-01.01-01.04	Projeto 13 - TCB Túnel Chelas Beato e Intervenções Associadas	Projeto de Execução - Túnel Chelas Beato - Perfil Longitudinal. Espectro do Zonamento Ao Longo da Escavação - 2/2
26	P14-TCB-TC1-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 14 - TCB - Obras de Desvio do Caneiro de Chelas	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Planta e Perfis
27	P15-TCB-TC2-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 15 - TCB - Obra de Descarga do Túnel no Beato - Troço 1: Canal desde a Saída do Túnel Até à Zona da APL	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Obra de Saída Planta e Perfis
28	P15-TCB-TC2-PE-DES-EGG-01.01-01.02	Projeto 15 - TCB - Obra de Descarga do Túnel no Beato - Troço 1: Canal Desde a Saída do Túnel Até à Zona da APL	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Troço 1 Planta e Perfis
29	P16-TCB-TC2-PE-DES-EGG-01.01-00.01	Projeto 16 - TCB - Obra de Descarga do Túnel no Beato - Troço 2: Atravessamento da APL e Descarga no Terminal de Carga	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Planta e Perfis - 1/2
30	P16-TCB-TC2-PE-DES-EGG-01.01-00.02	Projeto 16 - TCB - Obra de Descarga do Túnel no Beato - Troço 2: Atravessamento da APL e Descarga no Terminal de Carga	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Planta e Perfis - 2/2
31	P17-TCB-TC2-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 17 - TCB - Obras de Intersecção em Chelas	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Câmaras de Desvio de Caudais da Broma e do Quartel Planta e Perfis
32	P17-TCB-TC2-PE-DES-EGG-01.01-01.02	Projeto 17 - TCB - Obras de Intersecção em Chelas	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Câmara de Desvio de Caudais da Picheleira. Planta e Perfis
33	P18-TCB-TC2-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 18 - TCB - Obras de Intersecção no Beato	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Planta e Perfil
34	P19-TMSA-ESA-PE-DES-EGG-01.01-01.01	Projeto 19 - TMSA - LA - Requalificação de Espaços Exteriores em Santa Apolónia: Instalação Artística "Land Art"	Projeto de Execução - Geologia e Geotecnia Instalação Artística "Land Art" Planta e Perfil
35	P00 -TMSA-GER-PE-DES-RGG-01.01-01.01	Projeto Geral – TMSA e Intervenções Associadas	Campanha de Reconhecimento Geológico-Geotécnico Complementar Para o Projeto de Execução. Localização dos Trabalhos de Prospecção 1/5
36	P00 -TMSA-GER-PE-DES-RGG-01.01-01.02	Projeto Geral – TMSA e Intervenções Associadas	Campanha de Reconhecimento Geológico-Geotécnico Complementar Para o Projeto de Execução. Localização dos Trabalhos de Prospecção 2/5
37	P00 -TMSA-GER-PE-DES-RGG-01.01-01.03	Projeto Geral – TMSA e Intervenções Associadas	Campanha de Reconhecimento Geológico-Geotécnico Complementar Para o Projeto de Execução. Localização dos Trabalhos de Prospecção 3/5
38	P00 -TMSA-GER-PE-DES-RGG-01.01-01.04	Projeto Geral – TMSA e Intervenções Associadas	Campanha de Reconhecimento Geológico-Geotécnico Complementar Para o Projeto de

Projeto 00 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

Nº ordem	Nº de desenho	Projeto	Designação
			Execução. Localização dos Trabalhos de Prospeção 4/5
39	P00 -TMSA-GER-PE-DES-RGG-01.01-01.05	Projeto Geral – TMSA e Intervenções Associadas	Campanha de Reconhecimento Geológico-Geotécnico Complementar Para o Projeto de Execução. Localização dos Trabalhos de Prospeção 5/5
40	P00-TCB-GER-PE-DES-RGG-01.01-01.01	Projeto Geral – TCB e Intervenções Associadas	Campanha de Reconhecimento Geológico-Geotécnico Complementar Para o Projeto de Execução. Localização dos Trabalhos de Prospeção 1/2
41	P00-TCB-GER-PE-DES-RGG-01.01-01.02	Projeto Geral – TCB e Intervenções Associadas	Campanha de Reconhecimento Geológico-Geotécnico Complementar Para o Projeto de Execução. Localização dos Trabalhos de Prospeção 2/2

ANEXOS

Anexo 1 - Boletins da Campanha de Reconhecimento Geológico-Geotécnico Complementar para o Projeto de Execução

Projeto 00 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

PROJETO 00
ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

PROJETO DE EXECUÇÃO

MEMÓRIA DESCRITIVA

1 INTRODUÇÃO

O presente documento apresenta o Estudo Geológico e Geotécnico do Projeto de Execução dos Túneis Monsanto – Santa Apolónia e Chelas – Beato e intervenções associadas, no âmbito da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas.

A versão 00 agora apresentada é a versão base deste documento, que agrega a informação existente à data da proposta elaborada em sede de fase de concurso, a informação recolhida dos reconhecimentos locais pela equipa de técnicos da LCW Consult SA e Aqualogus- Engenharia e Ambiente, Lda e os dados da campanha de reconhecimento geológico-geotécnico complementar que incluiu os trabalhos que se consideraram necessários para o estabelecimento do projeto de execução de ambos os túneis e respetivas obras acessórias.

O estudo aqui apresentado, atualmente uma peça única, será posteriormente seccionado em volumes autónomos dedicados a cada uma das obras em particular.

O presente documento está estruturado em 7 capítulos, no qual este se inclui.

O capítulo 2 descreve a metodologia seguida no estudo geológico e geotécnico, bem como a terminologia utilizada no mesmo ao longo dos seus capítulos.

No capítulo 3 faz-se o quadro geológico geral dos corredores da obra, nas suas variantes da geologia e geomorfologia, tectónica e hidrogeologia.

Projeto 00 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

O capítulo 4 aborda as questões da sismologia e sismicidade e o enquadramento geral na regulamentação nacional e nas normas europeias aplicáveis.

O capítulo 5 descreve e analisa, para cada uma das obras da empreitada, os trabalhos de reconhecimento, com base nos quais se elaborou este estudo.

O capítulo 6 apresenta a caracterização geológica e geotécnica de cada uma das obras incluídas na empreitada, realizada com base nos resultados das sondagens, ensaios “in situ” e ensaios de laboratório existentes, bem como o zonamento geotécnico geral adotado e os parâmetros de cálculo para o dimensionamento de cada uma das obras.

No capítulo 7 apresentam-se as condicionantes para o desenvolvimento da obra, quer sejam naturais ou decorrentes das escavações, tais como a vulnerabilidade sísmica dos terrenos de fundação, a suscetibilidade da ocorrência de liquefação dos depósitos aluvionares, a influências das marés e suscetibilidade a inundações, as condicionantes decorrentes da presença de contaminantes naturais e das afluições de águas subterrâneas às escavações e por último as decorrentes da própria litologia e das suas formas de alteração e da presença de solos contaminados.

Finalmente no capítulo 8 apresenta-se a campanha de reconhecimento geológico-geotécnico complementar programada para o projeto de execução e para a fase de obra, sendo que nesta última os trabalhos serão desenvolvidos com os meios já disponíveis em obra e para o esclarecimento de situações pontuais que possam ocorrer.

As peças desenhadas gerais e particulares para cada uma das obras tratadas neste volume encontram-se no final da memória, em anexo. A numeração e correspondência das peças desenhadas a cada uma das obras aqui tratada está explanada no índice de desenhos no início deste volume.

Em anexo (Anexo 1) a esta memória apresentam-se os boletins da campanha de reconhecimento geológico-geotécnico complementar realizada para o projeto de execução.

2 METODOLOGIA E TERMINOLOGIA USADA NO ESTUDO

2.1 METODOLOGIA

O estudo geológico e geotécnico aqui apresentado seguiu as seguintes fases de trabalho:

1. Análise da cartografia geológica existente (Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50 000, folha 34-D e Carta Geológica do Concelho de Lisboa, na escala de 1:10 000, folhas 3 e 4) e sobreposição das mesmas ao traçado;
2. Recolha e compilação de cartografia histórica e sobreposição da mesma aos traçados para avaliação das eventuais interferências enterradas;
3. Reconhecimentos de campo orientados pela cartografia geológica e histórica existente;
4. Análise e integração dos elementos da geologia e geotecnia disponíveis, decorrentes da campanha de prospeção Geocontrolo/LNEC (2016-2017), bem como de outros elementos de carácter geológico e geotécnico provenientes dos arquivos da CML, e ainda, efetuados no âmbito de outras obras executadas nas imediações dos corredores em estudo;
5. Análise e integração dos estudos realizados pelo LNEC em 2017, referentes às obras, à data designadas por Túnel Monsanto/Santa Marta/Santa Apolónia [1] e Túnel Chelas/Beato [2];
6. Análise e Interpretação dos dados dos reconhecimentos geotécnicos disponíveis;
7. Elaboração dos perfis geológicos dos túneis e das obras acessórias;
8. Interpretação das condições geotécnicas do maciço a escavar e dos potenciais riscos geotécnicos ao longo dos alinhamentos das obras;
9. Definição das classes geotécnicas (zonamentos) e desenvolvimento do modelo geotécnico de dimensionamento global;
10. Parametriação geotécnica para efeitos de dimensionamento.

2.2 TERMINOLOGIA

2.2.1 MACIÇOS TERROSOS

A classificação básica de campo dos solos reconhecidos atendeu aos seguintes critérios:

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

A classificação de laboratório para fins geotécnicos foi efetuada de acordo com as disposições da norma ASTM D2487 (Classificação Unificada de Solos – USCS) [3] e da norma ASTM D3282 (Classificação da American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO) [4].

A avaliação expedita da compacidade e consistência dos solos granulares e finos foi feita segundo os critérios da norma BS 5930 [5], tendo-se considerado as seguintes classes conforme descrito nesta norma (Quadro 2.1 e Quadro 2.2):

Quadro 2.1 – Critérios expeditos de avaliação da compacidade dos solos granulares

Compacidade	Identificação de campo, em escavação
Solto	Pode ser escavado com uma pá
Medianamente compacto	Solo é escavado por picareta em torrões que se conseguem cimentar mediante raspagem
Compacto	Solo apenas é escavável com picareta

Quadro 2.2 – Critérios expeditos de avaliação da consistência dos solos finos

Consistência	Identificação de campo
Muito mole	Facilmente penetrado com o punho vários centímetros
Mole	Facilmente penetrado com o polegar vários centímetros
Média	Pode ser penetrado vários centímetros com o polegar com esforço moderado
Rija	Facilmente amolgado com o polegar, mas penetrado com bastante esforço
Muito rija	Facilmente amolgado com o polegar
Dura	Amolgado com dificuldade com o polegar

Nos furos de sondagem, os estados de consistência e compacidade dos solos foram avaliados através da classificação de Peck, Hanson & Thornburn (1974) [6], de acordo com os seguintes critérios abaixo:

Quadro 2.3 – Compacidade dos solos granulares estimada com base no ensaio SPT

Compacidade	N _{SPT}
Muito solto	0-4
Solto	4-10
Medianamente compacto	10-30
Compacto	30-50
Muito compacto	>50

Quadro 2.4 – Consistência dos solos finos estimada com base no ensaio SPT

Consistência	N _{SPT}
Muito mole	<2
Mole	2-4
Média	4-8
Rija	8-15
Muito rija	15-30
Dura	>30

2.2.2 MACIÇOS ROCHOSOS

2.2.2.1 Descrição básica

Nos maciços rochosos a descrição básica incluiu a descrição seguintes características:

- Grupo de rocha (ígnea vulcânica, sedimentar);
- Nome da rocha;
- Associação de minerais;
- Cor;
- Textura/dimensão do grão.

2.2.2.2 Estado de alteração

A caracterização dos estados de alteração e fracturação do maciço rochoso recuperado nas sondagens baseou-se na classificação da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM, 1980) [5] apresentada no Quadro seguinte.

Quadro 2.5 – Estados de alteração do maciço rochoso

Símbolo	Designação	Características
W1	São	A rocha não é partida facilmente pelo martelo de geólogo: produz um som quando percutida pelo martelo de geólogo; não são visíveis sinais de alteração
W2	Pouco alterado	A rocha não é partida facilmente pelo martelo de geólogo: produz um som quando percutida pelo martelo de geólogo; embora a cor da rocha se seja conservada, na proximidade da superfície das descontinuidades apresenta-se manchada/descolorada
W3	Medianament e alterado	Apesar de a rocha não ser partida facilmente pela mão, parte-se facilmente com o martelo de geólogo; o som produzido quando percutida pelo martelo de geólogo diminui de intensidade; apresenta-se totalmente descolorada
W4	Muito alterado	A rocha pode ser partida pela mão em pequenos blocos; o som produzido, quando percutida pelo martelo de geólogo diminui de intensidade; não é facilmente amolgada com a ponta do martelo de geólogo; não se desfaz quando emersa na água; apresenta-se totalmente descolorada
W5	Decomposto	A textura original da rocha é preservada; pode ser desfeita pela mão e pela pressão dos dedos sobre os grãos; é facilmente amolgada com a ponta do martelo de geólogo; desfaz-se quando emersa na água; apresenta-se totalmente descolorada

2.2.2.3 Estado das fraturas

As descontinuidades inventariadas nos testemunhos da furação foram classificadas segundo os seguintes critérios:

- Espaçamento;
- Continuidade;
- Abertura;
- Enchimento (tipo de material de enchimento, cor, granulometria, sinais de deslocamento);
- Rugosidade.

No que respeita ao espaçamento, foram aplicados para a sua caracterização as recomendações da ISRM (1980), de que o Quadro seguinte dá conta.

Quadro 2.6 – Critérios para a classificação do espaçamento da fracturação do maciço rochoso

Símbolo	Designação	Espaçamento (cm)
F1	Muito afastadas	>200
F2	Afastadas	60-200
F3	Medianamente afastadas	20-60
F4	Próximas	6-20
F5	Muito próximas	<6

A classificação da continuidade, rugosidade e abertura teve em conta as recomendações da ISRM (1978) [8] abaixo sintetizadas:

Quadro 2.7 – Continuidade das descontinuidades

Descrição	Continuidade (m)
Muito contínua	>20
Contínua	10-20
Medianamente contínua	3-10
Pouco contínua	1-3
Muito pouco contínua	<1

Quadro 2.8 – Rugosidade das descontinuidades

Tipo	Descrição
I	Áspera, denteada
II	Lisa, denteada
III	Estriada, denteada
IV	Áspera, ondulada
V	Lisa, ondulada
VI	Estriada, ondulada
VII	Áspera, plana
VIII	Lisa, plana
IX	Estriada, plana

Quadro 2.9 – Abertura das descontinuidades

Designação	Abertura média (mm)
Cavernosas	>1000
Extremamente largas	100-1000
Largas	10-100
Moderadamente largas	2.5-10
Abertas	0.5-2.5
Parcialmente abertas	0.25-0.5
Fechadas	0.1-0.25
Muito fechadas	<0.1

2.2.2.4 Resistência estimada

A resistência à compressão uniaxial estimada do maciço rochoso, seguiu o critério empírico/expedito indicado pela ISRM (1980), abaixo descrito.

Quadro 2.10 – Critérios para a avaliação expedita da resistência à compressão uniaxial

Classe	RCU (MPa)	Características
Rochas de elevada resistência		
R6	>250	Rocha muitíssimo resistentes; apenas lascável quando percutida firmemente com martelo de geólogo
R5	100-250	Rocha muito resistente; necessitando de várias pancadas do martelo de geólogo para fraturar
R4	50-100	Rocha resistente; requerendo mais que uma pancada do martelo de geólogo para fraturar
Rochas de média resistência		
R3	25-50	Rocha suscetível de ser fraturada com uma pancada firme do martelo de geólogo, mas resistindo a ser raspada ou arranhada por navalha de bolso
Rochas brandas		
R2	5-25	Rocha pouco resistente, suscetível de ser raspada, com dificuldade, por navalha de bolso e, quando percutida pelo bico do martelo de geólogo, registando marca pouco profunda
R1	1-5	Rocha desagregável quando percutida firmemente com o martelo de geólogo e suscetível de ser descascada com navalha de bolso
R0	0.25-1	Rocha muitíssimo pouco resistente, suscetível de ser amolgada pela pressão do polegar

3 GEOLOGIA GERAL

3.1 QUADRO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO E TECTÓNICO

A cidade de Lisboa, enquadrada na margem direita da área do estuário do rio Tejo, enquadra-se relativamente às grandes unidades morfo-estruturais do território continental, na Orla Mesocenozóica Ocidental, que em comparação com as unidades com que confina, é relativamente recente e constituída por rochas predominantemente sedimentares, salvo episódios de vulcanismo que afetaram pontualmente as rochas subjacentes cobrindo-as de forma irregular (Figura 3.1).

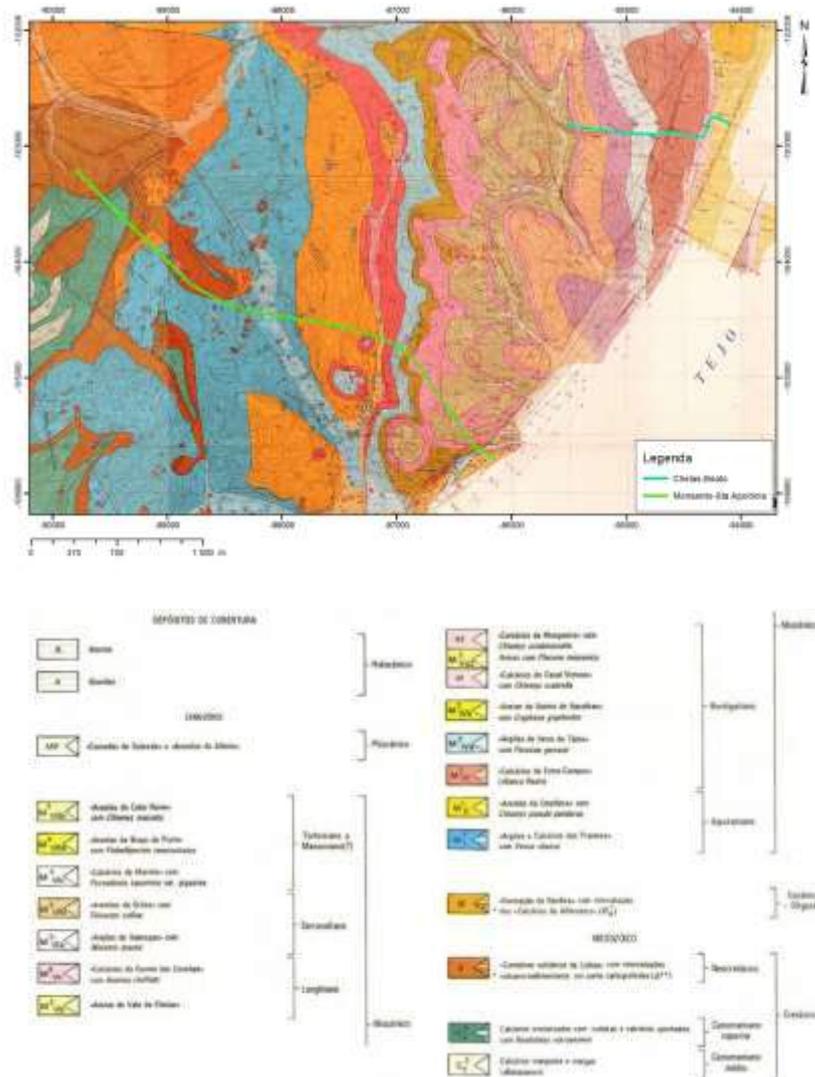


Figura 3.1 – Enquadramento geológico das obras. Extrato da Carta Geológica de Lisboa, Folhas 3 e 4, à escala 1:10.000

Projeto 00 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

Segundo diversos autores (Choffat, P., 1950 [9]; Cotter, 1956 [10]; Zbyszewski, G., 1963 [11]; Carvalho & Romariz, 1972 [12]; Teixeira e Gonçalves, 1980 [13]; Almeida, F.M., 1986 [14]; Almeida, I.M., 1991 [15]; Almeida, F.M. e Almeida, I.M., 1997 [16]; Reis, R.B.P.; Pais, J.; Antunes et al., 2000 [17]; Pais et al., 2006 [18]; Marrero-Diaz et al., 2014 [19] e Marrero-Diaz & Ramalho, 2015 [20]), os terrenos mais antigos podem encontrar-se nos afloramentos extensos das zonas de Monsanto, Ajuda e Vale de Alcântara, conhecendo-se ainda retalhos de rochas aflorantes nas zonas de Pedrouços, a Norte do Parque Florestal de Monsanto (no Calhariz de Benfica), no largo do Rato e no Parque Eduardo VII. São predominantemente de fácies carbonatada a carbonatada-argilosa, testemunhando uma grande transgressão marinha (evidenciada pelos níveis frequentes de fósseis marinhos) no Cretácico Superior (97-91 Ma).

Em termos de unidades litoestratigráficas, o Cretácico Superior da Cidade de Lisboa é descrito por aqueles autores como integrando:

- *Formação de Caneças* (Albiano superior a Cenomaniano médio) - “É constituída, na área de Lisboa, por dois níveis, sendo, o superior, composto por calcário margoso amarelado e apinhado, pouco fossilífero, com níveis areno-quartzosos e mais dolomíticos para o topo, e, o inferior, formado por calcário margoso amarelado e marga (Pais et al., 2006). A espessura aflorante registada para esta unidade em Monsanto é de 60 m, apresentando, com base na interpretação da sondagem profunda realizada em Monsanto, o conjunto das Formações de Caneças e de Bica uma possança da ordem dos 340 m (Pais et al., 2006)”;
- *Formação da Bica* (Cenomaniano Superior) – “Esta unidade é constituída por calcário compacto de cor esbranquiçada, rosada a avermelhada, com carácter mais margoso para o topo, onde alterna com marga amarela, rosada e esbranquiçada. A litologia predominante é o calcário compacto, por vezes, com aspeto cristalino e com nódulos de sílex, que alterna com calcário apinhado e com calcário margoso. A espessura desta unidade é de cerca de 50 m na área da região de Lisboa (Pais et al., 2006). A Formação de Bica contacta inferiormente com a Formação de Caneças, enquanto o seu limite superior se materializa através de uma superfície de paleocarsificação com os tufos do suprajacente Complexo Vulcânico de Lisboa”.

A topo destes terrenos de fácies predominantemente carbonatada podem encontrar-se terrenos da fase final do Cretácico (≈ 72 Ma), provenientes de episódios vulcânicos mistos (efusivos e explosivos), onde se distinguem escoadas basáltica e piroclastos (Complexo Vulcânico de Lisboa – CVL) e ainda uma alternância de depósitos continentais paleogénicos (Complexo de Benfica - $\approx 30-40$ Ma), de fácies fluvio-lacustre e essencialmente detríticos onde pontuam conglomerados, areias e argilas.

Em termos da litoestratigrafia, distinguem-se, segundo os mesmos autores atrás mencionados, as seguintes camadas:

- *Complexo Vulcânico de Lisboa – CVL (Cretácico Superior)* – “É constituído por escoadas lávicas alternando com níveis de piroclastos, aparelhos vulcânicos e filões. O complexo assenta em discordância nos calcários Cenomanianos. Sobre ele depositaram-se quer o "Complexo de Benfica" quer as "Argilas e Calcários dos Prazeres", que formam a base do Miocénico. Os modelos vulcanológicos conhecidos sugerem a existência de um único edifício vulcânico principal como responsável pela emissão dos materiais ígneos do CVL, localizado na região de Mafra (Pais et al., 2006). O CVL desenvolveu-se em diversas fases, como é visível pela intercalação de unidades sedimentares nos intervalos das unidades vulcânicas, o que sugere diferentes episódios de atividade extrusiva, separados por intervalos de repouso, onde a sedimentação retomou o seu processo normal. Os materiais sedimentares intercalados entre os diferentes episódios vulcânicos e os respetivos conteúdos fossilíferos indicam que a sedimentação se processou em meio lacustre e fluvial. A sequência típica do CVL na área do Concelho de Lisboa, segundo Zbyszewski (1963), inclui 7 episódios piroclásticos intercalados com 6 derrames lávicos. Deste modo, a espessura total dos basaltos é condicionada pela localização geográfica, pela morfologia pré-existente e possivelmente pela tectónica ativa aquando da instalação do Complexo Vulcânico que teria dado origem a depressões, em graben, onde se depositaram maiores espessuras de basaltos. As diversas fases de erosão e a ação da tectónica posterior contribuíram para a distribuição espacial atual, muito irregular (Almeida, 1991). Na área do Concelho de Lisboa, o CVL tem geralmente espessuras inferiores a 100 metros, o que contrasta com as regiões circundantes em que as espessuras atingidas são consideravelmente maiores”;
- *Complexo de Benfica (Paleogénico)* – “Esta unidade é composta essencialmente por rochas detríticas, de granularidade variável, que vão desde formações conglomeráticas a pelíticas. As rochas não detríticas são raras, no entanto são encontrados calcários, com diferentes compacidades e percentagens de areia e argila e níveis argilosos no seio das rochas detríticas (Carvalho & Romariz, 1972). Segundo Almeida (1991), a espessura máxima desta unidade varia entre os 400 e os 450 m, mas em Lisboa o desenvolvimento da sequência é significativamente inferior”.

As camadas do Neogénico (entre 7 a 20 Ma) que se seguem aos depósitos detríticos do Paleogénico são as que maior expressividade têm na cidade de Lisboa, tendo os seus afloramentos sido alvo de inúmeros estudos, principalmente durante as fases de franca expansão da cidade nas décadas de 50 e 60. O Neogénico/Miocénico de Lisboa corresponde a bancadas mais ou menos espessas e alternantes de

areias, areolas, argilas e calcários muito fossilíferos, testemunhando um ambiente sedimentar continental de fácies fluvial e lagunar.

Os autores referidos anteriormente distinguem as seguintes assentadas, da mais antiga para a mais recente (em termos das suas características e idade), na série Neogénica/Miocénico:

- *Argilas e Calcários dos Prazeres* (Aquitaniense) – “Segundo Pais et al. (2006) afloram apenas na área de Lisboa. Estendem-se desde Carnide até Santos, passando por Benfica, Palma de Baixo, Campo Pequeno, Praça Marquês de Pombal, Largo do Rato, Prazeres, Estrela e Lapa. Mais para Oeste ocorrem junto do forte do Alto do Duque e de Algés. Predominam argilas e margas de lagunas litorais. Na região de Lisboa depositaram-se bioermas de corais e briozoários seguidos de argilitos. Nos níveis mais argilosos existem frequentemente vegetais incarbonizados, cristais de marcassite e gesso. Os conglomerados da base distinguem-se dos conglomerados do "Complexo de Benfica" pela diferença de cor na matriz argilosa. Apresenta geralmente uma espessura total da ordem dos 30 a 35 metros”;
- *Areolas da Estefânia* (Aquitaniense) – “Este conjunto é representado por areia fina, areia argilosa, argilito e por níveis de biocalcarenito que correspondem ao topo desta unidade (Pais et al., 2006). Segundo Moitinho de Almeida (1991), as areias apresentam uma distribuição espacial em lenticulas intercaladas nas argilas e não sob a forma de um estrato regular, tendo o conjunto uma espessura entre os 24 e os 36 m (Cotter, 1956). Esta unidade assenta em desconformidade, datada de 21 Ma, sobre a unidade Camadas de Prazeres (Antunes, et al., 2000)”. (...) A parte alta da unidade é essencialmente constituída por biocalcarenitos. Afloram na região de Lisboa, desde Carnide até à Baixa, passando por Telheiras, Campo Pequeno, Campo de Santana, Bairro Alto e base da colina do Castelo de S. Jorge. Existem ainda retalhos isolados em Benfica e Algés.” (Pais et al., 2006)”;
- *Calcários de Entre-Campos (Banco Real)* (Burdigaliano Inferior) – “Esta unidade é constituída por biocalcarenito com fração detrítica abundante, por vezes, argiloso com conteúdo fossilífero rico, passando superiormente a areia muito fina e a siltito argiloso de cor cinzenta, que formam a unidade seguinte (Pais et al., 2006). Esta unidade apresenta uma espessura total variável entre 12 e 17 m (Cotter, 1956) e assenta em desconformidade, datada de 19 Ma, sobre a unidade Areolas de Avenida da Estefânia (Antunes et al., 2000)”. (...) Afloram ao longo de uma estreita faixa entre Alfama, Avenida Almirante Reis, Campo Grande e Carnide”;
- *Argilas de Forno do Tijolo (Burdigaliano Inferior)* – “A unidade Argilas de Forno do Tijolo é constituída por areia fina argilosa, piritosa, de tons acinzentados e azulados, com conteúdo fossilífero abundante (Pais et al., 2006). Corresponde à maior transgressão do Burdigaliano. A

espessura desta unidade é muito variável com cerca de 30 m na zona da Alameda D. Afonso Henriques (Moitinho de Almeida, 1991) e de 20 m no sopé da vertente norte da colina do Castelo de S. Jorge (Cotter, 1956). (...) Afloram entre o Terreiro do Trigo, a colina do Castelo de S. Jorge, a Este da Avenida Almirante Reis, Areeiro, Alvalade, Campo Grande, Telheiras e Carnide. O nome que lhes foi atribuído deve-se ao facto de terem sido fortemente explorados para o fabrico de tijolos (Almeida, 1991)”;

- *Areias de Quinta do Bacalhau* (Burdigaliano Médio) – “Constituem depósitos progradantes de areia arcósica fluvial, por vezes, ferruginosa com camadas de argilito correspondentes a canais e a depósitos pelíticos de planície de inundação. As bancadas de argilito contêm abundante matéria orgânica, enquanto os sedimentos arcósicos possuem conteúdo fossilífero rico. Cotter (1956) registou, para esta, unidade uma espessura de cerca de 35 m. (...) Os afloramentos estendem-se entre o Castelo de S. Jorge, Graça, Penha de França, Areeiro, Rotunda do Aeroporto, Campo Grande e Lumiar”;
- *Calcários de Casal Vistoso* (Burdigaliano Médio) – “São compostos por uma alternância de calcários compactos ou areníticos, areias, arenitos e argilas, muito fossilíferos, e tanto na base como no topo são formados por calcários areníticos (Teixeira, 1979). Os calcários foram explorados para alvenaria, em particular os da base, mais resistentes que os do topo, que se alteram rapidamente (Almeida, 1991). A camada tem cerca de 3 a 12 m de espessura. Aflora entre Alfama, Castelo de S. Jorge, Graça, Penha de França, Areeiro e Rotunda do Aeroporto. A base da unidade assenta em superfície de descontinuidade correspondente à superfície transgressiva que marca o início da sequência deposicional (Pais et al., 2006)”;
- *Areias com Placuna Miocénica* (Burdigaliano Superior) – “Este conjunto é constituído por areia amarela fluvial, com seixo rolado e por argila arenosa, com vegetais e ostras. Estes depósitos contêm, por vezes, impregnações de pirolusite, que lhes conferem cor negra. Sobrejacente, ocorre areia, em parte eólica, associada a finos leitos de argila (Pais et al., 2006). Regista-se, ainda, a ocorrência de níveis pouco espessos de conchas agregadas por cimento carbonatado, designadas, habitualmente, como cascão calcário fossilífero. De acordo com Cotter (1956), esta unidade apresenta uma espessura de cerca de 15 m. (...) Segundo Pais et al. (2006), os afloramentos estendem-se entre o Castelo de S. Jorge, Graça, Alto de S. João, Chelas e Rotunda do Aeroporto”;
- *Calcários de Musgueira* (Burdigaliano Superior) – “Esta unidade é constituída por biocalcarenito branco, às vezes amarelado, arenoso, frequentemente grosseiro, com conteúdo fossilífero abundante e, em geral, com cerca de 5 a 6 m de espessura (Pais et al., 2006). Assenta em descontinuidade, datada de 16,4 Ma, correspondente a superfície transgressiva, sobre os

depósitos da unidade Areias com Placuna Miocénica (Antunes et al., 2000). (...) De acordo com Pais et al. (2006) afloram entre o Bairro dos Barbadinhos, Alto de S. João, Chelas, Quinta da Conceição e Quinta das Teresinhas, continuando em direção ao Aeroporto de Lisboa”;

- *Areias do Vale de Chelas* (Langhiano) – “A unidade Areias de Vale de Chelas apresenta uma espessura total de cerca de 35 m, sendo constituída, inferiormente (areias inferiores da Quinta da Silvéria), por areia feldspática, fluvial, incoerente ou fracamente cimentada, por vezes grosseira, com estratificação cruzada e com intercalações argilosas, e, em posição superior, por areia dunar (Pais et al., 2006). (...) Aflora entre a Avenida D. Afonso III, Xabregas, Chelas e Quinta da Graça, prolongando-se para Norte em direção ao Aeroporto de Lisboa (Pais et al., 2006)”;
- *Calcários da Quinta das Conchas* (Langhiano) – “Este conjunto é constituído por biocalcarenito grosseiro, com abundante conteúdo fossilífero, e por argila siltosa (Pais et al., 2006). Cotter (1956) registou para esta unidade uma espessura da ordem dos 10 m, formada por estratos tabulares e muito fossilíferos de calcário margoso, alternando com bancadas, por vezes, espessas, de argila e arenito argiloso. A fácies predominante desta unidade é argilosa, apesar da sua designação se basear na presença de níveis calcários. Assenta em descontinuidade, datada de 15,3 Ma, correspondente a superfície transgressiva, sobre os depósitos da unidade Areias de Vale de Chelas (Antunes et al., 2000). (...) Afloram entre a avenida D. Afonso III, Xabregas e Chelas, prolongando-se em direção ao Aeroporto”;
- *Argilas de Xabregas* (Serravaliano) – “Esta unidade é constituída por depósitos silto-argilosos, por vezes, com níveis de areia fina e carbonatados, de cores cinzento azulado e amarelada e, em geral, com abundante conteúdo fossilífero (Pais et al., 2006). De acordo com Teixeira e Gonçalves (1980), a espessura desta unidade é de cerca de 18 m. (...) Afloram entre Xabregas, Quinta da Lebre e Poço dos Cortes prolongando-se para Loures”;
- *Arenitos de Grilos* (Serravaliano) – “Este conjunto é constituído por biocalcarenito amarelado, a que se sobrepõe arenito grosseiro de cor amarelo-torrado, muito fossilífero e com uma espessura total de cerca de 14 m (Pais et al., 2006). Apresenta uma descontinuidade basal, datada de 12,7 Ma, que separa as sequências deposicionais S1 e S2, incluindo-se na primeira, aproximadamente, os 5 m inferiores desta unidade. (...) Afloram entre Grilos, Beato, Poço do Bispo, prolongando-se para Norte em direção aos Olivais e Bairro da Encarnação (Loures)”;
- *Calcários de Marvila* (Tortoniano) – “A unidade Calcários de Marvila é constituída por biocalcarenito grosseiro, que passa a arenito fino de cor amarelada clara e a argila cinzenta, em regra, bastante fossilíferos e com cerca de 12 m de espessura. Assenta em descontinuidade, datada de 11,6 Ma, correspondente a superfície transgressiva, sobre os depósitos da unidade

Grés dos Grilos (Antunes et al., 2000). (...) Afloram entre Marvila, Poço do Bispo e Quinta do Jardim, prolongando-se para Loures pelo Bairro da Encarnação”;

- *Areolas de Braço de Prata* (Tortoniano) - “são constituídas por alternâncias de arenitos finos, areias finas e bancadas pouco espessas de calcários margosos muito fossilíferos. Atingem cerca de 20 m de espessura e os principais afloramentos situam-se entre o Poço do Bispo e Braço de Prata. São nativas do Tortoniano”;
- *Areolas de Cabo Ruivo* (Tortoniano) – “Apresentam uma coloração geralmente amarelada de tom escuro na parte inferior, composta essencialmente, por areias finas e médias, argilosas e arenitos. Podem também ocorrer argilitos muito micáceos de tom azulado escuro ou anegrado. Na parte superior surgem calcarenitos fossilíferos e grosseiros. No Concelho de Lisboa, a unidade está incompleta e apresenta uma espessura de cerca de 7 a 8 metros de um total de cerca de 20 metros. Afloram em Cabo Ruivo (Pais et al., 2006)”.

Os terrenos mais recentes ocorrentes na área de Lisboa são de idade quaternária (≈ 2.6 Ma) e correspondem a depósitos sedimentares de granulometria diversa presentes no rio Tejo e nas diversas linhas de água principais (ribeiras de Algés, Alcântara, Benfica, São Sebastião da Pedreira, Valverde, Arroios, Campo Grande e de Chelas, que nascem nas zonas de cota mais elevada e encontram o seu final neste mesmo rio. A crescente explosão demográfica da cidade de Lisboa, levou a que áreas ribeirinhas anteriormente ocupadas por depósitos aluvionares e depósitos de praia fossem aterradas para a constituição de plataformas, algumas delas extensas, pelo que da fisiografia original, com características estuarinas, pouco ou nada resta na atualidade.

A morfologia atual da cidade de Lisboa resulta dos fenómenos combinados da erosão diferencial subaérea sobre as diferentes litologias (vento, chuva, escorrência superficial e escorrência fluvial) e numa fase anterior, do controlo tectónico imposto às camadas por uma deformação sobretudo dúctil mas também frágil, que se estendeu desde o Cretácico Superior até ao Neogénico.

Lisboa situa-se na zona meridional da costa ocidental Ibérica, que adquiriu o seu carácter litoral atlântico no final do Cretácico inferior (120 Ma), através de fenómenos de “rifting” no seguimento de movimentos tectónicos que tiveram início na península Ibérica no período Triásico (245 Ma). A província geológica que se formou em consequência da abertura do Atlântico Norte em regime extensivo é designada por Bacia Lusitaniana.

Da Bacia Lusitaniana não restam praticamente vestígios, dado que a cidade assenta sobre rochas muito mais recentes. Significativos para a definição da morfologia primordial da cidade foram sim três eventos tectónicos, os quais se descrevem de seguida:

- O primeiro evento (à cerca de 72 Ma – Cretácico Superior) foi de natureza tectono-magmática e na sequência do mesmo instalaram-se as lavas e piroclastos do Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL);
- O segundo evento terá ocorrido há cerca de 30 Ma (entre o Eocénico e o Oligocénico), e contemporâneo deste são os depósitos detríticos do Complexo de Benfica;
- O terceiro evento, como referido atrás, de maior importância para a morfologia atual, teve lugar durante o período neogénico (entre os 2 e os 7 Ma) e durante o mesmo ter-se-á dado a reativação das estruturas tectónicas herdadas do evento anterior e o soerguimento da região oriental da cidade, a partir de cotas próximas do nível médio das águas do mar até a um nível pouco superior às cotas atuais, em consequência da inversão tectónica em regime compressivo associado à convergência Ibéria-África.

Do primeiro evento tectónico registam-se os vários edifícios vulcânicos, dos quais se julga foi o de Mafra o principal responsável pela emissão dos materiais ígneos do CVL.

O segundo evento tectónico foi caracterizado por uma atividade tectónica importante nas formações que constituem o soco geológico sobre o qual se constituiu a cidade. À escala macroscópica este consistiu na individualização da bacia Cenozóica do Tejo-Sado, onde se integra a Bacia do Baixo Tejo, que terá resultado da ação de uma compressão N-S gerada pela convergência entre as placas litosféricas Eurásia e África. À escala mesoscópica dele resultaram dobras e falhas evidentes na cidade e concelhos limítrofes. Estas dobras e falhas foram reativadas posteriormente, durante o Miocénico superior (pós-Tortoniano), no terceiro evento tectónico.

O último evento tectónico foi certamente pós-Tortoniano, como se deduz da sequência estratigráfica presente na cidade, fundamentalmente na sua parte central e oriental, onde se encontram cartografadas as séries miocénicas, desde a sua base do Aquitaniano até ao Tortoniano a topo (XXXX). Dele resultou a estrutura monoclinal de direção aproximadamente N-S, com inclinação suave para Sul e Este, que mergulha as camadas miocénicas, em regra, com pendores inferiores a 10°, sob as aluviões do rio Tejo na zona oriental e central de Lisboa (Pais et al., 2006).

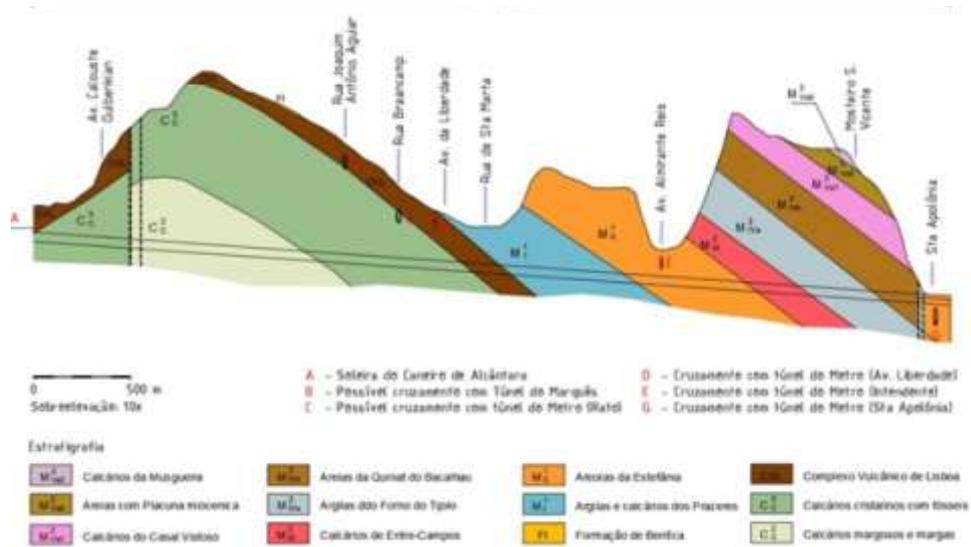


Figura 3.2 – Corte geológico esquemático (sobrelevado 10x) das obras entre Monsanto e Santa-Apolónia

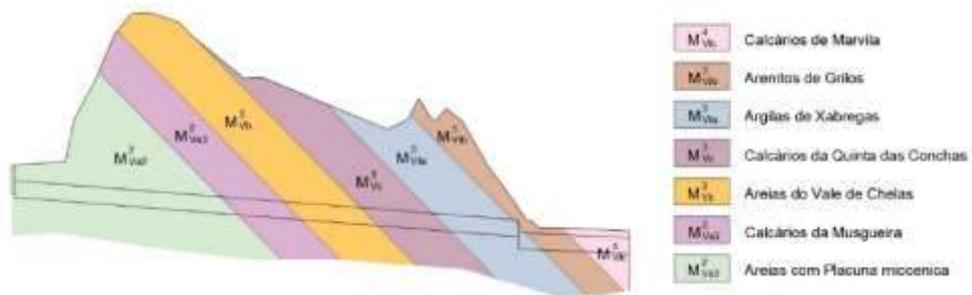


Figura 3.3 – Corte geológico esquemático (sobrelevado 10x) das obras entre Chelas e o Beato

Da conjugação destes eventos resultaram, de Norte para Sul, uma série de estruturas dúcteis e frágeis, que se enumeram e descrevem resumidamente, conforme foram referidas por Pais et al. (2006) e posteriormente por Mendonça, J. J. L. (2016):

Estruturas dúcteis

- “Fecho SSW da estrutura sinclinal de Benfica – Carnide- Musgueira; apresenta um eixo de direção SSW-NNE, mergulhante para NNE, que, a norte, roda para WSW-ENE; o sinclinal apresenta-se perturbado a sul por uma pequena ondulação em antifoma, com aquela direção, responsável pelo afloramento de sedimentos paleogénicos na zona de Telheiras”;

- “Dois sinformas de eixo E-W, respetivamente, em sedimentos miocénicos e paleogénicos, separados por uma falha com a mesma orientação (falha de Cruz da Pedra) na zona de S. Domingos de Benfica”;
- “Doma de Monsanto, alongado na direção E-W; afeta as formações do Cretácico ao Miocénico; na terminação E observa-se uma inconformidade cartográfica entre os sedimentos miocénicos e paleogénicos da Formação de Benfica, que desaparecem para S do eixo do doma”;
- “A sul do doma de Monsanto, ocorrem alguns dobramentos menores de eixo paralelo ao daquela estrutura, afetando sedimentos cretácicos da Formação da Bica e rochas do CVL”;
- “A Este do meridiano de Campo Grande, as dobras referidas passam a uma estrutura em monoclinial de direção aproximadamente N-S, com inclinação suave para E (inclinações geralmente inferiores a 10°), afetando os sedimentos miocénicos que mergulham sob as aluviões recentes do rio Tejo na zona oriental de Lisboa”.

Estruturas frágeis

- “(...) Falha do “Gargalo do Tejo” que corresponde a um acidente tectónico provável disposto ao longo do troço vestibular do rio Tejo, de direção E-W”;
- “A zona associada à falha de Pinhal Novo–Alcochete”;
- “A zona de falha de Vila Franca de Xira consiste num sistema de falhas com direção NNE-SSW que afetam formações jurássicas desde Alverca até ao Carregado. Apresentou movimentação normal durante o Mesozóico e sofreu posteriormente uma inversão durante o Terciário passando a comportar-se como uma zona de falha inversa”;
- “Na área de Lisboa ocorrem diversas falhas afetando maioritariamente as formações mesozoicas. Na sua generalidade, terminam aproximadamente à longitude do Campo Grande, não afetando a estrutura em monoclinial, já referida, situada a leste. Correspondem a estruturas com diferentes orientações, salientando-se as de direção NE-SW e E-W, ocorrendo também falhas orientadas NW-SE e aproximadamente N-S. Apresentam comprimentos entre algumas centenas de metros e cerca de 6 km e inclinações acentuadas (geralmente superiores a 70°). Destas destacam-se:
 - A falha da Ajuda e as falhas situadas na parte ocidental do doma de Monsanto (Alto da Boavista);
 - Falha da Cruz de Pedra;
 - Falha do Calhariz de Benfica;
 - Falha meridional de Monsanto.

A erosão subaérea diferencial das diferentes litologias foi a responsável pela modelação, desde o último evento tectónico do Neogénico e até à atualidade, da orografia da cidade de Lisboa. A designação comum

“a cidade das sete colinas”, referindo-se às elevações do Castelo, Graça, Monte, Penha de França, São Pedro de Alcântara, Santa Catarina e Estrela, não é mais que a expressão popular para referir o modelado talhado pela erosão diferencial em camadas com resistências mecânicas e controlo estrutural também eles diferenciados.

As zonas de maior elevação reportam-se aos cumes/vértices geodésicos de Poiais (108 m), Castelo de São Jorge (110.7 m), Penha de França (127.9 m), Monte Claros (170.3 m) e Monsanto (227.8 m) (Magalhães, 2005) e correspondem progressivamente a zonas de dureza crescente das rochas, iniciando-se em litologias greso-calcárias do Miocénico e terminando nos calcários e basaltos do Cretácico.

As zonas mais baixas pelo contrário, são atribuídas aos fundos dos vales e à zona ribeirinha do rio Tejo, onde predominam os depósitos aluvionares e as cotas se situam em torno dos (3-4 m).

Ainda sobre este assunto, segundo Almeida (1991), a cidade de Lisboa pode ser zonada, em função das altitudes, dos desníveis e dos declives, em três unidades de relevo distintas: a região oriental e setentrional, a região central e a região Sudoeste.

Na região oriental e setentrional predominam as litologias miocénicas e as formas de relevo são condicionadas pelos contrastes de resistência entre as camadas e pela estrutura geológica das mesmas. Esta região é assim marcada pela presença de dobramentos suaves e a rede de drenagem, do tipo consequente (William Morris Davis em Christofolletti, 1980) e com padrão dendrítico, instalou-se nas formações mais brandas, que por erosão deram origem a vales assimétricos, ao passo que as camadas mais resistentes geraram planaltos e zonas de cornijas em alinhamentos bem definidos.

Na região central, destaca-se a colina do Castelo de São Jorge, formada por rochas miocénicas com elevada componente carbonatada e resistente. Esta elevação é circundada pelo vale da ribeira de Arroios, que segue ao longo da Avenida Almirante Reis/Rua da Palma e se junta no esteiro da Baixa à ribeira de Valverde, tendo-se ambas as ribeiras encaixado em formações mais brandas, com uma maior componente detritica. A rede de drenagem nesta região é consequente e com padrão dendrítico, o que atesta que foi o contraste de durezas entre as camadas miocénicas o principal motor do estabelecimento da rede de drenagem.

Na região sudoeste, onde afloram camadas calcárias do Cretácico (Cenomaniano) e o Complexo Vulcânico de Lisboa, predominam os relevos mais vigorosos, como sejam a serra de Monsanto e a colina da Ajuda. Nesta região o relevo é controlado fundamentalmente por uma estrutura geológica complexa,

afetada por falhas e dobras. A rede de drenagem é do tipo subsequente, evidenciando controlo estrutural, como também evidenciam controlo estrutural os padrões de drenagem, que são do tipo dendrítico e em treliça.

3.2 QUADRO HIDROGEOLÓGICO

Do ponto de vista hidrogeológico a área urbanizada de Lisboa localiza-se na MA subterrânea Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo (O01RH5) – Figura 3.4, em formações essencialmente detríticas, carbonatadas e em rochas ígneas. Esta heterogeneidade litológica é responsável por diferenças significativas da permeabilidade do meio, com reflexos diretos na capacidade de armazenamento das formações. Adicionalmente, as condições hidrogeológicas, além de serem condicionadas pela heterogeneidade litológica, têm uma componente estrutural imposta pela tectónica que se desenrolou desde o Cretácico Superior até ao Neogénico, que as influencia significativamente.



Figura 3.4 – Limites da MA subterrânea Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo (O01RH5) (ARH Tejo, 2010)

Segundo Mendonça, J. J. L. (2016), “os dobramentos fazem aflorar e afundar as diferentes unidades e estimulam a fracturação nas zonas de charneira, influenciam o modo de jazida das unidades aquíferas,

alteram a condutividade hidráulica e modificam os escoamentos. As macroestruras frágeis, por sua vez, são geradoras de fracturação secundária que pode dar origem a compartimentação das unidades aquíferas formando corredores de circulação subterrânea de permeabilidade mais elevada. Por vezes, como resultado do esmagamento, formam-se caixas de falha que podem ser de material argiloso ou de granulometria muito fina que se comporta como impermeável e delimita blocos independentes do ponto de vista do armazenamento e da circulação da água”.

De uma forma global, as formações hidrogeológicas que afloram no concelho de Lisboa têm pouca aptidão hidrogeológica. Dentro desta restrita gama, pode-se ainda distinguir entre as formações de Benfica e o Complexo Vulcânico de Lisboa, que são de permeabilidade baixa e com baixa capacidade de armazenamento e as formações sedimentares do Cretácico e do Miocénico que têm maior permeabilidade, sendo conseqüentemente mais produtivas. As formações quaternárias têm, em teoria produtividade maior e maior capacidade de armazenamento junto das camadas mais arenosas, contudo, à exceção das aluviões do rio Tejo, os depósitos quaternários na cidade de Lisboa, associados às ribeiras tributárias do Tejo, são de fraca espessura e como tal têm baixa capacidade de armazenamento.

Os sistemas hidrogeológicos presentes no concelho de Lisboa podem agrupar-se, em função da sua idade, estrutura e litologia, em cinco grupos, a saber:

- O sistema aluvionar;
- O sistema multicamada miocénico;
- O sistema oligocénico;
- O Sistema vulcânico de Lisboa;
- O Sistema carbonatado cretácico.

O sistema aluvionar inclui não só as aluviões das principais linhas de água, como os depósitos de aterro que foram sendo progressivamente depositados sobre estas aluviões ou em substituição das mesmas, para o avanço progressivo sobre a zona ribeirinha através da constituição de plataformas, algumas delas extensas.

Globalmente as aluviões e os aterros constituem aquíferos livres, alimentados pela infiltração superficial e pela escorrência a partir dos maciços confinantes. A sua natureza heterogénea determina que tenham condutividade hidráulica e armazenamento contrastantes. Os níveis de cascalhos, areias limpas e areias mais ou menos argilosas têm condutividade hidráulica e porosidade efetiva relativamente elevadas, podendo constituir níveis aquíferos; os materiais mais finos, como sejam os lodos e argilas têm condutividade hidráulica baixa a muito baixa e comportam-se como aquíferos e/ou aquíclodos.

Nas linhas de água tributárias do Tejo que não foram alvo de encanamento, os níveis freáticos encontram-se em geral a pequena profundidade. Segundo Mendonça (2016), na zona ribeirinha “o sistema hidrogeológico tem por nível de base o nível da água no estuário do Tejo, que é variável com a evolução das marés no estuário do Tejo. Como a subida ou descida do nível da água no estuário é mais rápida que nas formações aquíferas marginais, o sentido do fluxo subterrâneo ou de transmissão de pressões sofre inversões conformes com o nível da água no rio Tejo. Em preia-mar há armazenamento marginal (“bank storage”) e/ou subida da pressão da água nos níveis confinados e semiconfinados marginais; na baixamar, o sentido do escoamento inverte-se e há a descarga do armazenamento marginal e a diminuição da pressão da água nos níveis confinados”.

O sistema multicamada miocénico é constituído por uma alternância de camadas relativamente permeáveis (areias, arenitos e níveis carbonatados, especialmente aqueles afetados de carsificação), com outras de permeabilidade mais baixa, como sejam as bancadas de argilas/argilitos e siltes/siltitos. Esta heterogeneidade litológica determina comportamentos hidrogeológicos distintos em profundidade e lateralmente, criando alternâncias nestas duas direções, de níveis aquíferos, aquitardos e aquíclodos.

A estrutura das camadas miocénicas em monoclinal com inclinações em geral inferiores a 10°, a quase ausência de falhas e apenas a existência de pequenas dobras, determina que a circulação geral se faça para Sul e Este, na direção do rio Tejo e mais ou menos ao longo da estratificação.

Assim, no sistema miocénico o comportamento hidrogeológico depende essencialmente da natureza litológica das camadas, já que o aspeto estrutural é pouco relevante. Em síntese, podem definir-se seis sub-sistemas hidrogeológicos com diferentes comportamentos na assentada miocénica:

- Subsistema do Miocénico Superior - É constituído por arenitos, areias, areolas, calcários margosos e argilas e apresenta, em consequência, uma permeabilidade média a alta, funcionando como um aquífero muito produtivo, do tipo confinado. Este subsistema apresenta espessuras que variam desde os 59 m aos 72 m;
- Subsistema das *Argilas de Xabregas* – É constituído por uma alternância de argilas, margas, arenitos e calcários e consequentemente apresenta permeabilidades baixas. A sua espessura é de cerca de 18 m;
- Subsistema calco-arenítico – É constituído por alternâncias de calcários mais ou menos compactos e areias grosseiras com intercalações argilosas. A permeabilidade é média a alta, tendo as águas quentes, supostamente mineromedicinais provenientes deste subsistema, sido canalizadas e utilizadas durante o século XIX nos balneários públicos existentes ao longo da Rua do Terreiro do Trigo, nomeadamente no Largo do Chafariz de El-Rei e no largo do Chafariz de

Dentro (alcaçarias de Alfama – Ramalho, E. C.; Lourenço, M C., 2006), motivo pelo qual as mesmas foram inseridas num perímetro de proteção constante do PDM de Lisboa – Figura 3.5 e Figura 3.6, com vista a salvaguardar as mesmas. Este subsistema apresenta espessuras que variam entre os 95 m até aos 107 m;

- Subsistema das *Argilas do Forno do Tijolo* – É constituídas por argilas, margas e grés finos, argilosos. As permeabilidades são reduzidas e as massas de água identificadas são do tipo aquífero. A espessura aproximada deste subsistema é de 19 m;
- Subsistema do Miocénico Inferior – Este subsistema integra níveis carbonatados a topo e níveis detríticos na base. As permeabilidades são geralmente altas e a produtividade do complexo é média a alta. A espessura aproximada deste subsistema varia entre 36 e 53 m;
- Subsistema das *Argilas dos Prazeres* – É constituído por argilitos siltosos e margosos, margas e calcários. As permeabilidades são baixas. A espessura aproximada deste subsistema varia entre 30 e 35 m.

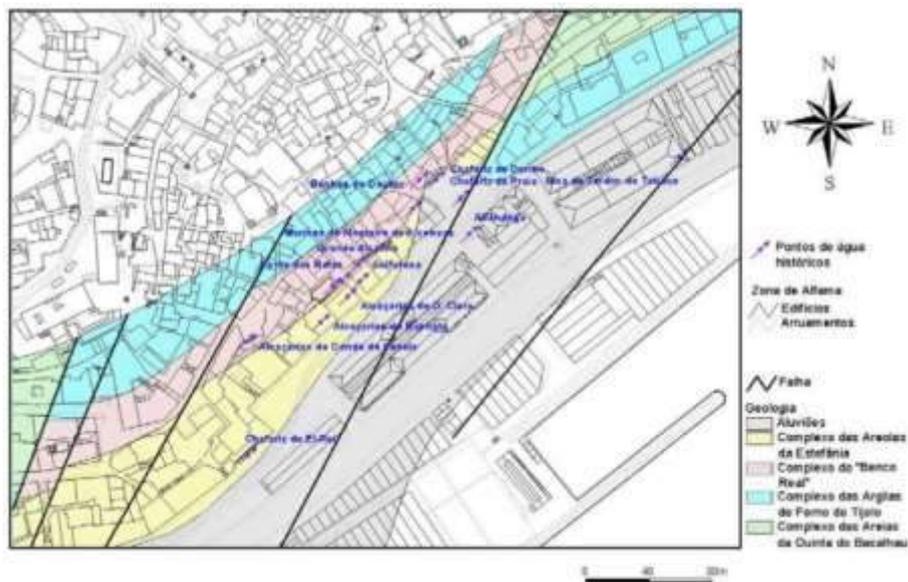


Figura 3.5 – Localização das alcaçarias de Alfama (Extraído de Ramalho & Lourenço, 2006)



Figura 3.6 – Limite de proteção às Alcaçarias de Alfama

(Extraído de Revisão PDM Lisboa, Agosto 2010 – Componente geológica – Caracterização)

O sistema oligocénico é essencialmente detrítico, sendo o mesmo formado por conglomerados, arenitos, siltitos e argilitos, calcários e margas. A heterogeneidade litológica determina localmente um comportamento hidrogeológico variado, mas globalmente o mesmo apresenta baixa permeabilidade devido à sua forte cimentação argilosa, bem como produtividades muito baixas.

O sistema vulcânico de Lisboa inclui as escoadas lávicas testemunhando as fases efusivas do edifício vulcânico e piroclastos característicos das fases explosivas. Estas duas fases ocorrem lado e a lado e em profundidade, pelo que traduzem comportamentos hidrogeológicos locais distintos que dependem não só da litologia, mas também do grau de alteração e fracturação das rochas. Globalmente, este sistema apresenta permeabilidades baixas a médias.

Os tufo vulcânicos quando alterados são essencialmente constituídos por material argiloso, e como tal impermeáveis. Fora as intercalações arenosas que ocorrem no seio destes e onde a água pode circular, estes comportam-se como aquícludos.

Os níveis de brechas apresentam por vezes porosidade elevada, mas a sua transmissividade é no geral fraca, dado que muitas vezes não existem uma interconexão franca entre os espaços vazios. Assim, salvo raras exceções, os mesmos devem constituir massas de água do tipo aquícardo.

Os basaltos, especialmente na franja de média alteração e fracturação próxima, podem constituir aquíferos fissurais. Contudo, as fraturas encontram-se muitas vezes preenchidas quer por argilas quer por minerais como a paligorsquite (a denominação mais comum é “cartão da montanha”), o que faz reduzir os caudais significativamente. Ainda assim, conhecem-se na área em estudo exemplos de boa capacidade de armazenamento e transmissividade associados a estas rochas, como é o caso da nascente e poço da Estufa-fria, que são usados para a rega das espécies em exposição neste jardim.

O sistema carbonatado cretácico inclui sobretudo rochas cristalinas fraturadas (calcários, calcários margosos e calcários dolomíticos), conhecendo-se no entanto intercalações de níveis argilosos e margosos. Os maciços cristalinos fraturados podem constituir aquíferos fissurais, que vêm a sua permeabilidade ampliada se os mesmos estiverem carsificados, conforme é observável no topo do Cenomaniano.

Globalmente estes maciços possuem baixa a média permeabilidade, sobretudo no que se refere à sua permeabilidade vertical. Existem no entanto evidências de que os mesmos podem formar aquíferos complexos de camadas múltiplas, com níveis suspensos ou semi-confinados de espessura negligenciável a moderada e com permeabilidade horizontal mais desenvolvida, separados entre si por camadas de menor permeabilidade e maior possança. Este comportamento é de resto corroborado pelos frequentes furos de sondagens e piezómetros, onde se detetam níveis de água a diferentes profundidades.

4 SISMICIDADE

A sismicidade que afeta o território de Portugal continental tem duas fontes de geração distintas:

- Uma com origem na fronteira das placas Africana e Eurasiática, onde ocorrem sismos interplaca, aos quais corresponde o zonamento da ação sísmica tipo 1;
- Outra com origem no interior da Península Ibérica, onde ocorrem os sismos intraplaca, aos quais corresponde o zonamento da ação sísmica tipo 2.

A sismicidade interplaca, com expressão maior ao nível das zonas de Goringe e de subducção Oeste-Ibérica, foram responsáveis pelo sismo histórico e instrumental, de 1755, 1858 e 1969, com magnitudes estimadas e medidas de 8,5-9,0, 7,2 e 7,5, respetivamente.

A sismicidade intraplaca, maioritariamente associada à região do Vale Inferior do Tejo (VFI), é marcada pela ocorrência de alguns eventos históricos importantes, como sejam os sismos de 1344, 1531 e 1909, com magnitudes estimadas de 6,5-7,0 e 6,3 para estes dois últimos eventos, respetivamente, mas a sismicidade instrumental registada posteriormente é fraca. Estes eventos históricos indiciam a presença de falhas sismogénicas ativas na região em estudo, embora estas estejam ainda deficientemente

caracterizadas por apresentarem taxas de movimentação baixas (“falhas lentas”: com taxas de movimentação estimadas entre cerca de 0,1 e 0,05 mm/ano; Cabral, 1995 [21], Cabral et al., 2003, 2004 [22]) e se encontrarem ocultas debaixo da cobertura sedimentar espessa, inviabilizando o conhecimento do seu andamento em profundidade.

Embora se considere que os acidentes da região do VFI são um elemento importante para a caracterização da sismicidade regional, o facto de se desconhecer o seu andamento em profundidade, e o fraco conhecimento da sua atividade e recorrência, dispensa a sua consideração específica na definição das ações sísmicas a considerar no projeto das obras em questão.

Assim, na definição das ações sísmicas a adotar, deverá ser apenas seguido o zonamento proposto na NP EN1998-1:2010 (IPQ, 2010a) [23] para a região de Lisboa, designadamente as zonas 1.3 e 2.3 – Figura 4.1

Neste contexto, os valores da aceleração máxima de projeto de referência a_{gR} para o sismo de tipo 1 (sismo interplacas) e 2 (sismo intraplaca) são $1,5m/s^2$ e $1,7m/s^2$, respetivamente (Figura 4.1).

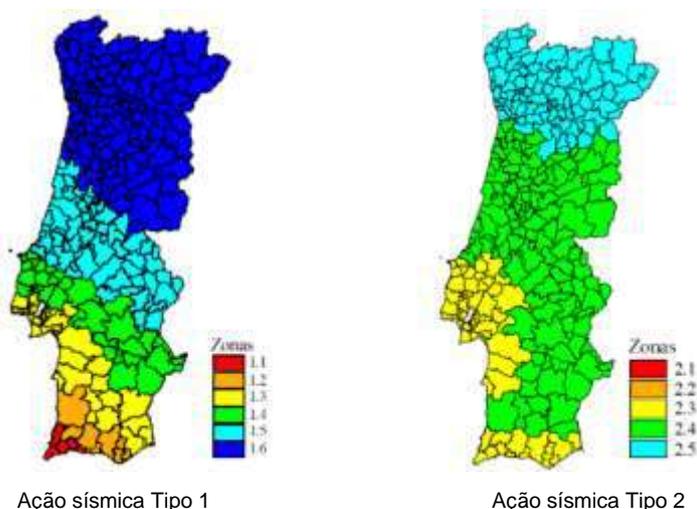


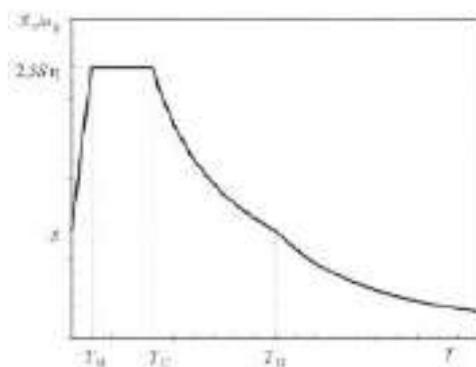
Figura 4.1 – Zonamento sísmico em Portugal Continental (Figura NA.I da NP EN 1998-1)

Conforme se pode constatar pelo Quadro abaixo, os terrenos ocorrentes na área interessada ao projeto correspondem a terrenos enquadrados nas classes A, B e E.

Quadro 4.1 – Tipos de terreno e ação sísmica (conforme a NP EN1998-1:2010)

Tipo Terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros			
		Vs,30 (m/s)	N _{SPT} (pancadas/30 cm)	Cu (kPa)	S _{máx}
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície	>800	-	-	1,0
B	Depósito de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rijas, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade	360-800	>50	>250	1,35
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rijas com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180-360	15-50	70-250	1,6
D	Depósitos de solos não coesivos de compactidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura	<180	<15	<70	2,0
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de vs do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com vs>800 m/s	-	-	-	1,8
S1	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10 m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade (PI>40) e um elevado teor em água	<100 (indicativo)	-	10-20	-
S2	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A-E ou S1	-	-	-	-

Em concordância, os parâmetros de definição dos espectros de resposta elástica são dados pela Figura abaixo.



Tipo de terreno	S _{máx}	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
A	1,0	0,1	0,6	2,0
B	1,35	0,1	0,6	2,0
C	1,6	0,1	0,6	2,0
D	2,0	0,1	0,8	2,0
E	1,8	0,1	0,6	2,0

Tipo de terreno	S _{máx}	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
A	1,0	0,1	0,25	2,0
B	1,35	0,1	0,25	2,0
C	1,6	0,1	0,25	2,0
D	2,0	0,1	0,3	2,0
E	1,8	0,1	0,25	2,0

Sismo tipo 1

Sismo tipo 2

Figura 4.2 – Valores dos parâmetros de definição dos espectros de resposta elástica

A classe de importância atribuída ao conjunto de obras dos túneis de drenagem é a Classe II, a que corresponde um fator de importância de 1,00.

5 TRABALHOS DE RECONHECIMENTO

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os trabalhos de reconhecimento disponíveis para a realização deste estudo são provenientes de uma campanha de prospeção geotécnica específica para a Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, realizada pela Geocontrole em 2016-2017 e pelo LNEC em 2017, de sondagens soltas realizadas por diversas empresas ao longo de vários anos e para obras diversas na proximidade ou intersetando os corredores em estudo, constantes do acervo da litoteca da CML e ainda de uma campanha complementar realizada no âmbito do projeto de execução em locais onde se considerou necessário o esclarecimento do dispositivo geológico-geotécnico ou da presença de estruturas tectónicas com impacto relevante para o projeto.

Nos subcapítulos seguintes descreve-se, para cada uma das obras incluídas na empreitada, os trabalhos de reconhecimento disponíveis para a elaboração do estudo. Para os trabalhos realizados na campanha Geocontrole (2016-2017) e LNEC (2017), mais extensa e envolvendo uma maior especificidade de trabalhos e ensaios, analisa-se e interpreta-se os resultados obtidos.

5.2 DISTRIBUIÇÃO DOS TRABALHOS POR OBRAS

5.2.1 PROJETO 01

Na Parte 1 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, correspondente ao Túnel Monsanto-Santa Apolónia, estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- 20 (vinte) sondagens mecânicas (SMP1, SMP2, SMT1, SMT2, SMT3, SMT4, SMT5, SMT6, SMT7, SMP3, SMT8, SMT9, SMT10, SMP4, SMT11, SMT12, SMT13, SMT14, SMT15 e SMP5) realizadas pela Geocontrole em 2016-2017, acompanhadas da realização de ensaios SPT e ensaios de permeabilidade do tipo Lugeon e Lefranc;
- Instalação de 18 piezómetros nos furos das sondagens SMP1, SMP2, SMT1, SMT2, SMT3, SMT4, SMT5, SMT6, SMP3, SMT8, SMT9, SMT10, SMP4, SMT11, SMT12, SMT13, SMT14, SMP5, instalados pela Geocontrole (2016-2017);
- Ensaios com o pressiómetro autoperfurador no interior dos furos das sondagens SMT8, SMT9, SMT10, SMP4, SMT11, SMT14 e SMP5 (7 ensaios, um por cada sondagem);
- Ensaio cross-hole no interior de um (1) dos furos de sondagem (SMP4), realizado pelo LNEC (2017);

- Seis (6) ensaios de bombagem junto dos locais das sondagens SMP1, SMT1, SMT3, SMP3, SMP4 e SMT13, com controlo dos rebaixamentos em piezómetros na proximidade dos furos, realizados pela Geontrolé (2016-2017);
- Ensaio laboratoriais sobre amostras remexidas e intactas de solos da furação da Campanha Geocontrolé (análise granulométrica, limites de plasticidade, determinação do valor de azul de metileno, densidade das partículas sólidas, ensaio edométrico, ensaio triaxial do tipo CU), realizados pelo LNEC (2017);
- Ensaio laboratoriais sobre rochas da furação da Campanha Geocontrolé (análise petrográfica, análise por difratometria de raios X, determinação de massas volúmicas e porosidade, ensaio de caracterização por ultrassons, ensaio de expansibilidade linear por absorção de água, ensaio de compressão diametral e ensaio de compressão uniaxial), realizados pelo LNEC (2017);
- 11 (onze) sondagens mecânicas (SG3-196, SG9-196, S3-507, S4-507, S7-460, STR3-981, S4-86, S2-256, S1-541, S3-541 e S1-347) pertencentes ao acervo da CML e realizadas por diversas empresas, em diversas datas e para obras distintas, acompanhadas da realização de ensaios SPT;
- Cinco (5) sondagens mecânicas (SEP1-1, SEP1-2, SEP1-3, SEP1-6 e SEP1-11) realizadas para o projeto de execução, acompanhadas da instalação de tubos piezométricos, da realização de ensaios SPT e ensaios de permeabilidade do tipo Lugeon e Lefranc e ainda de ensaios com pressiómetro de Ménard (sondagens SEP1-1 e SEP1-11) no interior dos furos de sondagem;
- Ensaio de laboratório sobre amostras de rocha colhidas no âmbito da campanha complementar do projeto de execução.

5.2.2 PROJETO 02

Na Parte 2 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, nomeadamente a Obra de Desvio do Caneiro – Ligações ao Caneiro de Alcântara, Poço de Grossos e Tamisagem, estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Quatro (4) sondagens mecânicas (SMP1, SMP2, SMR1 e SMR2) realizadas pela Geontrolé (2016-2017), acompanhadas da realização de ensaios SPT e de ensaios de permeabilidade do tipo Lugeon e Lefranc;
- Instalação de piezómetros nas sondagens SMP1 e SMP2;
- Ensaio de bombagem junto do furo de sondagem SMP1, com controlo dos rebaixamentos em piezómetros na proximidade do furo, realizado pela Geontrolé (2016-2017);

- Ensaios laboratoriais sobre amostras remexidas de solos e rochas da furação da campanha Geocontrole, realizados pelo LNEC em 2017;
- Uma (1) sondagem mecânica (S-B) realizada pela SimTejo/Geoplano (2009), acompanhada da realização de ensaios SPT;
- 8 (oito) sondagens mecânicas (SEP2-1, SEP2-2, SEP2-3, SEP3-1, SEP3-2, SEP3-3, SEP3-4 e SEP3-5) realizadas para o projeto de execução, acompanhadas da instalação de tubos piezométricos, da realização de ensaios SPT e ensaios de permeabilidade do tipo Lugeon e Lefranc e ainda de ensaios com pressiómetro de Ménard (sondagens SEP2-2, SEP3-1 e SEP3-4) no interior dos furos de sondagem;
- Ensaios de laboratório sobre amostras indeformadas de solos e de amostras de rocha colhidas no âmbito da campanha complementar do projeto de execução.

5.2.3 PROJETO 03

Na Parte 3 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, nomeadamente a Obra de Desvio do Caneiro – Bacia Antipoluição e Ligação ao TMSA, estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Quatro (4) sondagens mecânicas (SMP1, SMP2, SMR1 e SMR2) realizadas pela Geontrol (2016-2017), acompanhadas da realização de ensaios SPT e de ensaios de permeabilidade do tipo Lugeon e Lefranc;
- Instalação de piezómetros nas sondagens SMP1 e SMP2;
- Ensaios laboratoriais sobre amostras remexidas de solos e rochas da furação da campanha Geocontrole, realizados pelo LNEC em 2017;
- Uma (1) sondagem mecânica (S-B) realizada pela SimTejo/Geoplano (2009), acompanhada da realização de ensaios SPT;
- 8 (oito) sondagens mecânicas (SEP2-1, SEP2-2, SEP2-3, SEP3-1, SEP3-2, SEP3-3, SEP3-4 e SEP3-5) realizadas para o projeto de execução, acompanhadas da instalação de tubos piezométricos, da realização de ensaios SPT e ensaios de permeabilidade do tipo Lugeon e Lefranc e ainda de ensaios com pressiómetro de Ménard (sondagens SEP2-2, SEP3-1 e SEP3-4) no interior dos furos de sondagem;
- Ensaios de laboratório sobre amostras indeformadas de solos e de amostras de rocha colhidas no âmbito da campanha complementar do projeto de execução.

5.2.4 PROJETO 04

Na Parte 4 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, correspondente às Obras de Drenagem e Interceção na Av. da Liberdade, Incluindo Câmaras de Desvio de Caudal dos Coletores Existentes, Câmaras de Queda em Vórtice, Poços e Ligações ao TMSA, estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Duas (2) sondagens mecânicas (SMH1 e SM7) realizadas pela Geontrol em 2016, acompanhadas da realização de ensaios SPT e de ensaios de permeabilidade dos tipos Lugeon e Lefranc;
- Instalação de piezómetro na sondagem SMH1;
- Ensaio laboratoriais sobre amostras remexidas de solos e rochas da furação da campanha Geocontrol, realizados pelo LNEC em 2017;
- Quatro (4) sondagens mecânicas (S1-86 a S4-86) realizadas pela Sopecate em 1978, acompanhadas da realização de ensaios SPT.

5.2.5 PROJETO 05

Na Parte 5 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, correspondente às Obras de Drenagem e Interceção em Santa Marta, Incluindo Câmaras de Desvio de Caudal dos Coletores Existentes, Câmaras de Queda em Vórtice, Poços e Ligações ao TMSA, estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Duas (2) sondagens mecânicas (SMP3 e SMH3) realizadas pela Geocontrol em 2016, acompanhadas da realização de ensaios SPT e de ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc e Lugeon;
- Instalação de piezómetro na sondagem SMH3;
- Ensaio de bombagem junto do furo de sondagem SMP3, com controlo dos rebaixamentos em piezómetros na proximidade do furo, realizado pela Geontrol (2016-2017);
- Ensaio laboratoriais sobre amostras remexidas de solos e rochas da furação da campanha Geocontrol, realizados pelo LNEC em 2017;
- Duas sondagens mecânicas (S1-R256 e S2-R256) realizadas pela Geocontrol em 1998, acompanhadas da realização de ensaios SPT.

5.2.6 PROJETO 06

Na Parte 6 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, correspondente às Obras de Drenagem e Interceção na Av. Almirante Reis, Incluindo Câmaras de Desvio de Caudal dos Coletores Existentes, Câmaras de Queda em Vórtice, Poços

e Ligações ao TMSA e Poço de Ventilação no Largo do Intendente, estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Três sondagens mecânicas (SMH3, SMH4 e SMP4), realizadas pela Geocontrole em 2016-2017, acompanhadas da realização de ensaios SPT e da realização de ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc;
- Instalação de piezómetro na sondagem SMH3;
- Ensaios com o pressiómetro autoperfurador no interior do furo de sondagem SMP4, realizados pelo LNEC (2017);
- Ensaio “cross-hole” no interior do furo de sondagem SMP4, realizado pelo LNEC (2017);
- Ensaio de bombagem junto do local da sondagem SMP4, com controlo dos rebaixamentos em piezómetros na proximidade do furo, realizado pela Geontrol (2016-2017);
- Ensaios laboratoriais sobre amostras remexidas e intactas de solos e rochas da furação da Campanha Geocontrole, realizados pelo LNEC (2017);
- Duas (2) sondagens mecânicas (S1-R541 e S2-R541) realizadas pela Geotest em 2014, acompanhadas da realização de ensaios SPT.

5.2.7 PROJETO 07

Na Parte 7 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, correspondente à Obra de Descarga em Santa Apolónia, Poço de Ventilação e Acesso ao TMSA da Rua dos Remédios, estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Uma (1) sondagem mecânica (SMT5) realizada pela Geontrol em 2016, acompanhada da realização de ensaios SPT e de ensaios de permeabilidade Lefranc;
- Instalação de piezómetro no interior do furo da sondagem SMT5;
- Três (3) sondagens mecânicas (S2-1260, S3-1260 e S5-1260) realizadas pela Geocontrole em 2013, acompanhadas da realização de ensaios SPT.

5.2.8 PROJETO 08

Na Parte 8 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, correspondente à Obra de Descarga em Santa Apolónia – Zona A – Troço 1: Canal Incluindo o Recalce da Muralha Fernandina e das Fundações dos Edifícios do Beco do Belo 6 e Beco do Surra 7, estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Três (3) sondagens mecânicas (SMP5A, SMP5 e SMV1) realizadas pela Geocontrole em 2016-2017, acompanhadas da realização de ensaios SPT e de ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc;
- Instalação de piezómetros nas sondagens SMP5A e SMV1;
- Ensaio com o pressiómetro autoperfurador no interior dos furos de sondagem SMP5 e SMP5A, realizados pelo LNEC (2017);
- Ensaio laboratoriais sobre amostras remexidas de solos e rochas da furação da campanha Geocontrole, realizados pelo LNEC em 2017;
- Uma (1) sondagem mecânica (S5/R768) realizada pela Sopecate em 1974, acompanhada da realização de ensaios SPT;
- Uma (1) sondagem mecânica (SD5/R654) realizada pela Construções Técnicas/Cintel em 1986, acompanhada da realização de ensaios SPT;
- Uma (1) sondagem mecânica (SEP8-1) realizada para o projeto de execução, acompanhada da instalação de tubo piezométrico e da realização de ensaios SPT.

5.2.9 PROJETOS 09 A 11

Nas Partes 9 a 11 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, correspondentes, respetivamente às:

- Obra de Descarga em Santa Apolónia – Zona A – Troço 2: Canal de Ligação;
- Obra de Descarga em Santa Apolónia – Zona B – Troço 1: Cruzamento com Metro de Lisboa;
- Obra de Descarga em Santa Apolónia – Zona B – Troço 2: Atravessamento da APL e Descarga no Terminal de Cruzeiros;

estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Três (3) sondagens mecânicas (SMV1, SMV2 e SMV3) realizadas pela Geocontrole em 2016-2017, acompanhadas da realização de ensaios SPT;
- Instalação de piezómetros nos furos das sondagens SMV1 e SMV2;
- Ensaio “cross-hole” no interior do furo de sondagem SMV3, realizado pelo LNEC (2017);
- Ensaio laboratoriais sobre amostras remexidas e intactas de solos e rochas da furação da Campanha Geocontrole, realizados pelo LNEC (2017);
- Uma (1) sondagem mecânica (Z11-R657) realizada pela Tecnasol em 1995, acompanhada da realização de ensaios SPT;
- Seis (6) sondagens mecânicas (SEP9-1, SEP10-1, SEP10-2, SEP11-1 e SEP11-2) realizadas para o projeto de execução, acompanhadas da instalação de tubos piezométricos, da realização

de ensaios SPT e ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc e ainda de ensaios com pressiómetro de Ménard (sondagens SEP9-1) no interior do furo de sondagem;

- Ensaios de laboratório sobre amostras de rocha colhidas no âmbito da campanha complementar do projeto de execução.

5.2.10 PROJETO 12

Na Parte 12 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, correspondente ao Sistema de Drenagem de Águas Residuais da Zona Baixa da Bacia de Santa Apolónia – Zona Ocidental (Incluindo Sistema Elevatório), estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Uma (1) sondagem mecânica (SMV2) realizada pela Geocontrole em 2016-2017, acompanhada da realização de ensaios SPT;
- Instalação de piezómetros na sondagem SMV2;
- Ensaios laboratoriais sobre amostras remexidas e intactas de solos e rochas da furação da Campanha Geocontrole, realizados pelo LNEC (2017);
- Cinco (5) sondagens mecânicas (Z07 a Z11-R657) realizadas pela Tecnasol em 1995, acompanhadas da realização de ensaios SPT.

5.2.11 PROJETO 13

Na Parte 13 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, correspondente ao Túnel Chelas-Beato (TCB), estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Dez (10) sondagens mecânicas à rotação, destrutivas e carotadas (SCBP1, SCBP2, SCBT1, SCBT2, SCBT3, SCBT4, SCBV1, SCBV2, SCBV3 e SCBV4), realizadas pela Geocontrole (2016-2017), acompanhadas da realização de ensaios de penetração dinâmica SPT de forma mais ou menos sistemática e de ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc nas sondagens SCBP1, SCBT1, SCBT2, SCBT3 e SCBT4;
- Piezómetros em nove dos dez furos de sondagem realizados (SCBP1, SCBP2, SCBT1, SCBT2, SCBT3, SCBT4, SCBV1, SCBV2 e SCBV3) instalados pela Geocontrole (2016-2017);
- Ensaios com o pressiómetro autoperfurador no interior de quatro (4) furos de sondagens – SCBP1, SCBT2, SCBT3 e SCBT4 (1 ensaio por sondagem), realizados pelo LNEC (2017);
- Ensaios cross-hole no interior de dois (2) dos furos (2) de sondagem (SCBT3, SCBV4), realizados pelo LNEC (2017);

- Ensaios laboratoriais sobre amostras remexidas e intactas de solos da furação da Campanha Geocontrolo (análise granulométrica, limites de plasticidade, determinação do valor de azul de metileno, densidade das partículas sólidas, ensaio edométrico, ensaio triaxial do tipo CU), realizados pelo LNEC (2017);
- Dois (2) ensaios de bombagem junto dos locais das sondagens SCBP1 e SCBT2, com controlo dos rebaixamentos em piezómetros na proximidade dos furos, realizados pela Geontrol (2016-2017);
- Cinco (5) sondagens mecânicas realizadas pela Tecnasol para o Edifício F. Bonnet em 2004 (S1 a S5). Algumas delas equipadas com piezómetros;
- Uma (1) sondagem mecânica realizada pela Tecnasol para a Ligação Alta Velocidade – Lote D – Lisboa/Alenquer (Ota) em 2007 (S19), acompanhada de ensaios SPT;
- Duas (2) sondagens mecânicas efetuadas pela Geocontrolo em 2009 para as obras da LAV e LC-troço Areeiro-Sacavém (S01-ST1 e S02-ST2), acompanhadas da realização de ensaios SPT.

5.2.12 PROJETO 14

Na Parte 14 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, nomeadamente a Obra de Desvio dos Caneiros – Ligações ao Caneiro da Avenida dos Estados Unidos da América, ao Caneiro do Vale de Chelas e ao Caneiro da Calçada da Picheleira, Poço de Grossos e Tamisagem e Ligação ao TCB, estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Duas (2) sondagens mecânicas (SCBV1 e SCBP1), realizadas pela Geocontrolo em 2016, acompanhadas da realização de ensaios SPT e numa delas (SCBP1) de ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc;
- Piezómetros em ambas as sondagens SCBV1 e SCBP1;
- Ensaio com o pressiómetro autoperfurador no interior da sondagem SCBP1;
- Ensaio de bombagem junto do local da sondagem SCBP1, com controlo dos rebaixamentos em piezómetros na proximidade do furo, realizado pela Geontrol (2016-2017);
- Ensaio laboratorial sobre amostras remexidas de solos da furação da campanha Geocontrolo, realizados pelo LNEC (2017);
- Uma sondagem (S19), realizada pela Tecnasol em 2007, acompanhada da execução de ensaios SPT.

5.2.13 PROJETO 15

Na Parte 15 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, nomeadamente a Obra de Descarga do Túnel no Beato – Troço 1: Canal desde a Saída do Túnel TCB até à APL, estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Três (3) sondagens mecânicas (SCBP2, SCBV2 e SCVB3), realizadas pela Geocontrole em 2016/2017, acompanhadas da realização de ensaios SPT;
- Instalação de piezómetros nas sondagens SCBP2, SCBV2 e SCVB3;
- Ensaios laboratoriais sobre amostras remexidas e intactas de solos da furação da campanha Geocontrole, realizados pelo LNEC em 2017;
- Cinco (5) sondagens mecânicas (S1 a S5) realizadas pela Tecnasol em 2004, acompanhadas da realização de ensaios SPT.

5.2.14 PROJETO 16

Na Parte 16 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, nomeadamente a Obra de Descarga do Túnel no Beato – Troço 2: Atravessamento da APL e Descarga no Terminal de Carga estão disponíveis os seguintes trabalhos de reconhecimento:

- Duas (2) sondagens mecânicas (SCVB3 e SCVB4) realizadas pela Geocontrole e 2017, nas quais se realizaram ensaios SPT;
- Instalação de piezómetros nas sondagens SCVB3 e SCVB4;
- Um (1) ensaio cross-hole no interior do furo da sondagem SCVB4, realizado pelo LNEC (2017);
- Ensaios laboratoriais sobre amostras remexidas e intactas de solos da furação da campanha Geocontrole, realizados pelo LNEC em 2017.

5.2.15 PROJETO 17

Na Parte 17 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, nomeadamente no Sistema de Drenagem de Águas Residuais da Zona de Chelas, não foram realizados quaisquer trabalhos de reconhecimento. As características geotécnicas da fundação foram deduzidas dos resultados da sondagem SCBV1, que é a única sondagem realizada na faixa correspondente ao antigo leito menor da ribeira de Chelas.

5.2.16 PROJETO 18

Na Parte 18 da Empreitada Geral de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas, nomeadamente no Sistema de Drenagem de Águas Residuais da Zona do Beato (Incluindo a câmara de Desvio de Caudal da Rua dos Amigos de Lisboa), não foram realizados quaisquer trabalhos de reconhecimento. As características geotécnicas da fundação foram deduzidas dos resultados das sondagens SCBP2 (Geocontrole, 2016) e S3 (Tecnasol, 2004), realizadas na proximidade.

5.3 SONDAGENS MECÂNICAS

As sondagens mecânicas realizadas permitiram identificar o seguinte dispositivo geológico interessado às obras, do mais recente para o mais antigo:

- Depósitos superficiais de idade holocénica, constituídos por aterros e aluviões;
- Formações miocénicas de natureza predominantemente detrítica, com níveis carbonatados subordinados;
- Rochas do Complexo Vulcânico de Lisboa;
- Formações cretácicas de natureza calcária.

Os aterros correspondem a materiais heterogéneos de dimensões e natureza variadas (areias, seixos, cerâmica, restos de madeira...).

No TMSA e obras acessórias, os aterros ocorrem com maior expressão na extensão inicial, na área da obra de desvio do Caneiro e entre os km 4+430 e 4+619. No TCB e obras acessórias, os aterros ocorrem com maior expressão, entre os km 1+160 e 1+570.

As aluviões correspondem a solos da granulometria das areias, argilas arenosas, seixos e lodos (siltes e argilas com componente orgânica).

No TMSA e obras acessórias, as aluviões foram interpretadas como ocorrendo km 4+490 e 4+619.

No TCB e obras acessórias, as aluviões foram interpretadas como ocorrendo entre os km 1+160 e 1+400.

As formações miocénicas interessadas às obras englobam as seguintes assentadas:

- *Argilas e Calcários dos Prazeres;*
- *Areolas da Estefânia;*

- *Calcários de Entre-Campos;*
- *Argilas de Forno do Tijolo;*
- *Areias de Quinta do Bacalhau;*
- *Calcários de Casal Vistoso;*
- *Areias com Placuna Miocénica;*
- *Calcários de Musgueira;*
- *Areias do Vale de Chelas;*
- *Calcários da Quinta das Conchas;*
- *Argilas de Xabregas;*
- *Arenitos de Grilos;*
- *Calcários de Marvila;*

As formações do Miocénico interessam o TMSA e obras acessórias entre o Km 2+150 e 4+450 e o TCB e obras acessórias entre o início e o Km 1+160.

Tratam-se, em geral de areias micáceas finas, silto-argilosas amareladas e acinzentadas (areolas), com intercalações silte-arenosas e silte-argilosas cinzento azuladas e amareladas, por vezes argilosas e de níveis em geral pouco espessos e de continuidade duvidável, de calcários gresosos muito fossilíferos.

A semelhança litológica entre as diversas camadas, por vezes com pouco mais que as distinga a não ser a coloração predominante e a amostragem realizada até à data, não permite separar com exatidão estas assentadas. Assim, para efeitos de caracterização, agruparam-se as assentadas miocénicas da seguinte forma, em grandes complexos:

- Complexo M1: *Argilas e Calcários dos Prazeres;*
- Complexo M2: *Areolas da Estefânia;*
- Complexo M3: *Calcários de Entre-Campos e Argilas de Forno do Tijolo;*
- Complexo M4: *Areias de Quinta do Bacalhau;*
- Complexo M5: *Areias com Placuna Miocénica e Calcários de Musgueira;*
- Complexo M6: *Calcários da Quinta das Conchas e Areias de Vale de Chelas;*
- Complexo M7: *Argilas de Xabregas;*
- Complexo M8: *Arenitos de Grilos e Calcários de Marvila.*

As rochas do Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL) ocorrem entre o km 0+000 e Km 0+370 e entre os km 1+950 e km 2+150 e compreendem a tufos e brecha (materiais piroclásticos) e escoadas lávicas, onde se incluem basaltos com estados de alteração variáveis entre o são e pouco alterado (W1 a W2 – ISRM) e basaltos medianamente a muito alterados (W3 a W4 - ISRM). Não pouco frequente, as rochas do CVL ocorrem decompostas a muito alteradas (W5 a W4-5 – ISRM), com comportamento de solos ou rochas brandas.

Do ponto de vista litológico, trata-se sobretudo de basaltos de cor negra a acastanhada com abundantes preenchimentos calcíticos e texturas por vezes amigdaloides, reconhecidos em bancadas com 10-15m de espessura, pontualmente entrecortadas por níveis piroclásticos cimentados, pouco espessos ($\approx 3\text{m}$), que refletem fases de carácter mais explosivo na atividade vulcânica.

Os índices de qualidade da furação RQD (Deere, 1989) [24], que relacionando o afastamento das descontinuidades com a dimensão dos tarolos rochosos recuperados nas manobras de furação dão uma ideia qualitativa do maciço rochoso, para as diversas rochas do CVL são apresentados de seguida:

- Basaltos são a pouco alterados (W1 a W2 – ISRM): RQD = 19-91%, com valor médio de 63% e valor característico (Schneider, 1999) [25] de 50%;
- Basaltos medianamente a muito alterados (W3 a W4 - ISRM): RQD = 8-78%, com valor médio de 28% e valor característico de 17%;
- Tufos: RQD = 11-73%, com valor médio de 39% e valor característico de 29%.

Observa-se, pois, que os basaltos menos alterados correspondem a rochas de qualidade razoável, que os basaltos com maior alteração correspondem a rochas de qualidade muito fraca a fraca e que os tufos correspondem a rocha de qualidade fraca.

As formações cretácicas de natureza calcária, onde se distinguem as camadas rochosas da *Formação de Caneças* e *Formação da Bica*, ocupam os flancos e núcleo do anticlinal de Monsanto entre os Km 0+150 e Km 1+900.

A *Formação de Bica*, nos flancos do anticlinal, é intercetada pelas obras entre os Km 0+150 e o Km 0+350 e novamente entre o Km 1+700 e Km 1+900. A *Formação de Caneças*, no núcleo do anticlinal ocorre entre os Km's 0+350 e Km 1+700.

A *Formação da Bica* corresponde litologicamente a calcários cristalinos brancos com rudistas, que frequentemente exibem veios e massas de sílex de cor cinzenta. O topo desta camada, na transição com as rochas do CVL, exibe a ocorrência de brecha calcária, níveis margosos e calcários brechóides muito carsificados com *terra rossa* que podem exibir espessuras consideráveis.

A *Formação de Caneças* trata-se de uma sequência constituída por uma alternância de calcários margosos, compactos a finamente estratificados, com margas calcárias.

Os índices de qualidade da furação RQD para as rochas cretácicas são apresentados de seguida:

- Calcários cristalinos da *Formação de Bica*: RQD = 10-97%, com valor médio de 56% e valor característico de 41%;
- Calcários margosos da *Formação de Caneças*: RQD = 5-88%, com valor médio de 37% e valor característico de 26%.

Observa-se, pois, segundo os dados do índice RQD que as rochas da *Formação de Bica* correspondem a rochas de qualidade fraca a razoável e as rochas da *Formação de Caneças* a rochas de qualidade fraca.

As baixas taxas do índice RQD nestas camadas rochosas devem-se em muito aos intensos fenómenos de tectonização que as mesmas foram alvo, sobretudo aqueles que formaram a estrutura em anticlinal.

5.4 ENSAIOS SPT

Na totalidade das sondagens mecânicas realizaram-se ensaios SPT para caracterização dos estados naturais de compacidade e consistência dos solos e rochas brandas. Os subcapítulos seguintes sintetizam os resultados desses ensaios, separando-os por unidade geológica, conforme foi definido no subcapítulo anterior.

5.4.1 ATERROS

Da Figura 5.1 abaixo, observa-se que os aterros ocorrentes nas obras da empreitada do TMSA se apresentam num estado de compacidade muito variável, a que não é certamente alheio o seu caráter heterogéneo. Os valores mais elevados refletem a presença de elementos grosseiros nas misturas, ao passo que os valores mais baixos refletem aterros realizados com materiais mais finos. De uma forma geral, pode considerar-se que os mesmos se situam, em termos de compacidade, na gama dos solos medianamente compactos, isto é com $N_{SPT} = 10-30$.

As mesmas considerações podem ser feitas para os aterros existentes ao longo do corredor das obras do TCB.

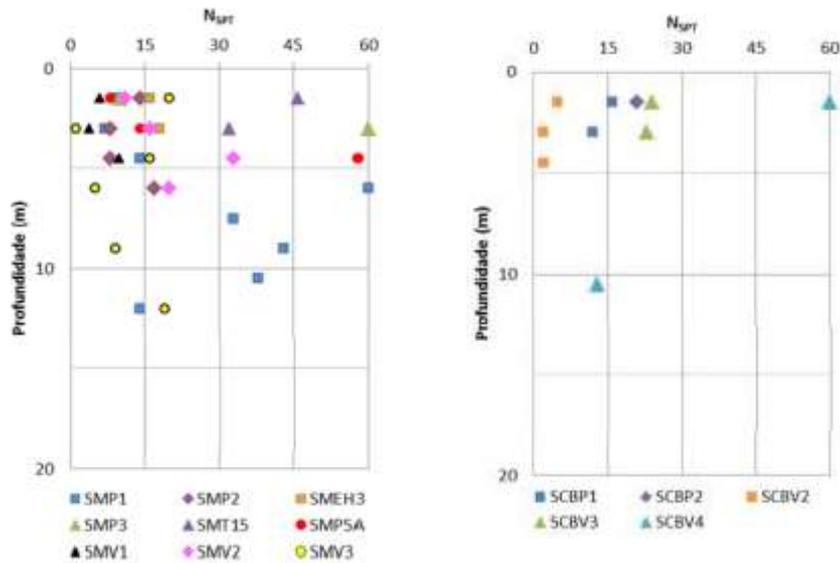


Figura 5.1 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT nos aterros das obras dos corredores do TMSA (esquerda) e TCB (direita). (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.4.2 ALUVIÕES

A fraca amostragem da campanha Geocontrolo de 2016-2017 sobre os solos aluvionares, não permite caracterizá-los com grande exatidão. Verifica-se, contudo, da observação da Figura abaixo, que as granulometrias mais finas, do tipo lodos se apresentam com valores de N_{SPT} inferiores a 4 pancadas, portanto de consistência muito mole a mole, que as areias se apresentam na gama dos solos medianamente compactos ($N_{SPT} = 10-30$) e que os cascalhos de base se apresentam muito compactos ($N_{SPT} \geq 50$).

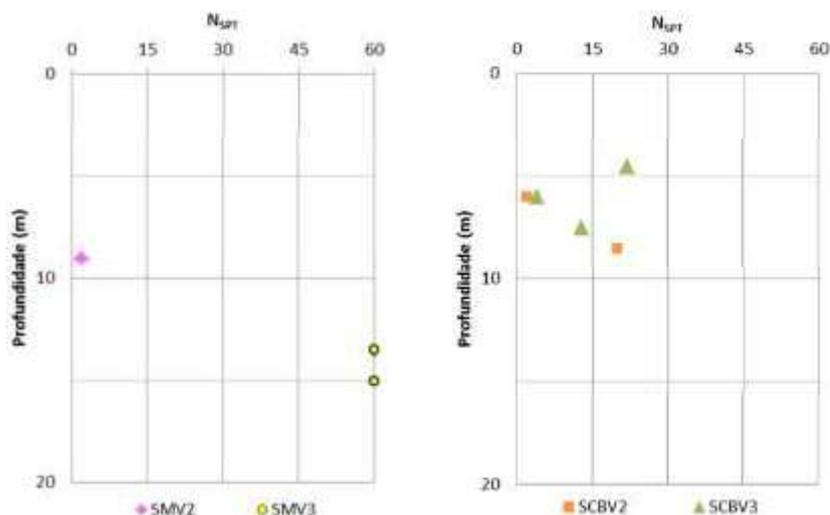


Figura 5.2 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT nas aluviões das obras dos corredores do TMSA (esquerda) e TCB (direita) (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.4.3 FORMAÇÕES MIOCÉNICAS

5.4.3.1 Complexo M1 (Argilas e Calcários dos Prazeres)

De acordo com a Figura abaixo, o complexo miocénico M1, que engloba a assentada das *Argilas e Calcários dos Prazeres* e é interetado pelas obras do corredor TMSA entre os Km 2+150 e 3+050, apresenta-se, de uma forma geral, muito compacto/muito rijo. Os níveis superficiais mais descomprimidos ocorrem medianamente compactos/muito duros.

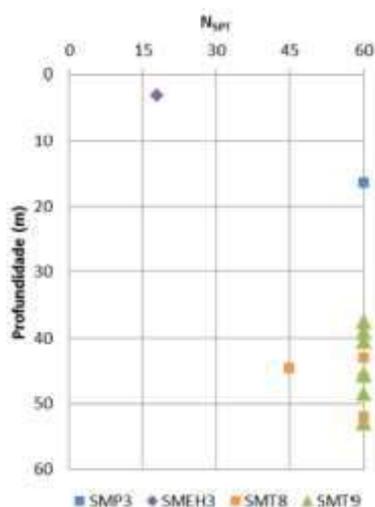


Figura 5.3 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M1 das obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.4.3.2 Complexo M2 (Areolas da Estefânia)

De acordo com a Figura abaixo, o complexo miocénico M2, que engloba a assentada das *Areolas da Estefânia* e é intersetado pelas obras do corredor TMSA entre os km 2+860 e 3+260, apresenta-se, de uma forma geral, muito compacto/muito rijo, sendo que os níveis mais superficiais, que ocorrem mais descomprimidos se apresentam medianamente compactos/muito duros.

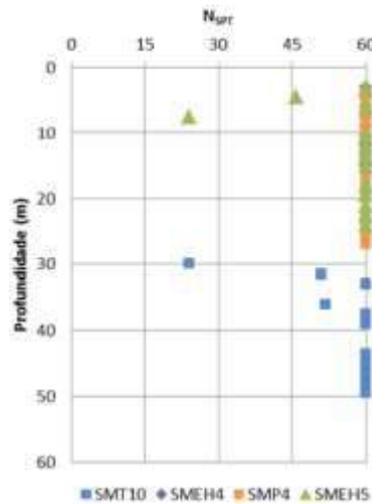


Figura 5.4 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M2 das obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.4.3.3 Complexo M3 (Calcários de Entre-Campos e Argilas de Forno do Tijolo)

De acordo com a Figura abaixo, o complexo miocénico M3, que engloba as assentadas dos *Calcários de Entrecampos e Argilas de Forno do Tijolo* e é intersetado pelas obras do corredor TMSA entre os km 3+260 e 3+840 e Km 4+440 e 4+619, apresenta-se, de uma forma geral, compacto a muito compacto/rijo.

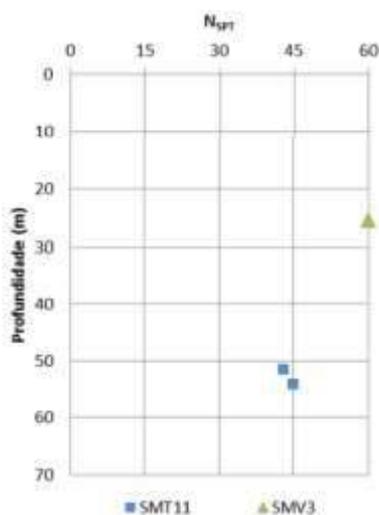


Figura 5.5 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M3 das obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.4.3.4 Complexo M4 (Areias de Quinta do Bacalhau)

De acordo com a Figura abaixo, o complexo miocénico M4, que engloba a assentada das *Areias de Quinta do Bacalhau* e é intersetado pelas obras do corredor TMSA entre os Km 3+840 e 4+440, apresenta-se, de uma forma geral, compacto a muito compacto/rijo a muito rijo, sendo que os níveis mais descomprimidos, ocorrentes mais à superfície, se apresentam medianamente compactos/muito duros.

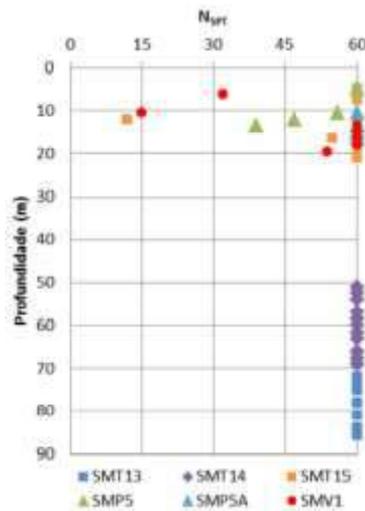


Figura 5.6 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M4 das obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.4.3.5 Complexo M5 (Areias com Placuna Miocénica e Calcários de Musgueira)

De acordo com a Figura abaixo, o complexo miocénico M5, que engloba as assentadas das *Areias com Placuna Miocénica e Calcários de Musgueira* e é intersetado pelas obras do corredor TCB entre os km 0+000 e 0+322, engloba solos descomprimidos superiormente, medianamente compactos, que passam em profundidade a solos compactos a muito compactos/rijos a muito rijos.

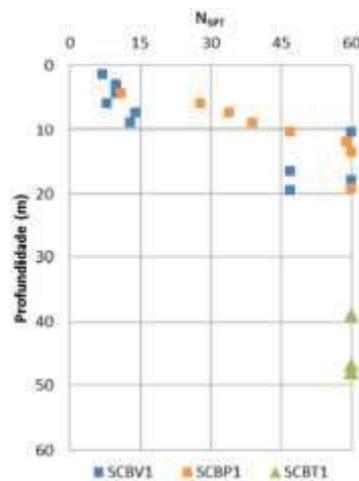


Figura 5.7 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M5 das obras do corredor TCB (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.4.3.6 Complexo M6 (Calcários da Quinta das Conchas e Areias de Vale de Chelas)

De acordo com a Figura abaixo, o complexo miocénico M6, que engloba as assentadas das *Calcários da Quinta das Conchas e Areias de Vale de Chelas* e é intersetado pelas obras do corredor TCB entre os km 0+322 e 0+735, apresenta-se muito compacto/muito rijo.

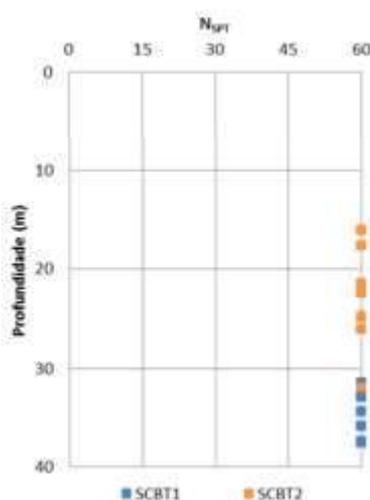


Figura 5.8 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M6 das obras do corredor TCB (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.4.3.7 Complexo M7 (Argilas de Xabregas)

De acordo com a Figura abaixo, o complexo miocénico M7, que engloba a assentada das *Argilas de Xabregas* e é intersetado pelas obras do corredor TCB entre os km 0+735 e 0+947, apresenta-se compacto a muito compacto/rijo a muito rijo.

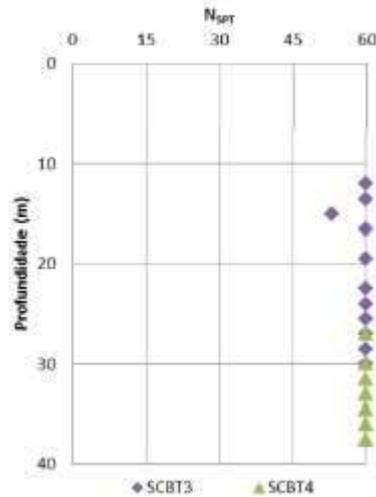


Figura 5.9 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M7 das obras do corredor TCB (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.4.3.8 Complexo M8 (Arenitos de Grilos e Calcários de Marvila)

De acordo com a Figura abaixo, o complexo miocénico M7, que engloba as assentadas dos *Arenitos de Grilos e Calcários de Marvila* e é intersetado pelas obras do corredor TCB entre os km 0+947 e 1+160 e final da obra, apresenta-se, de forma geral muito compacto/muito rijo, sendo que os níveis mais superficiais e mais descomprimidos se apresentam medianamente compactos/muito duros.

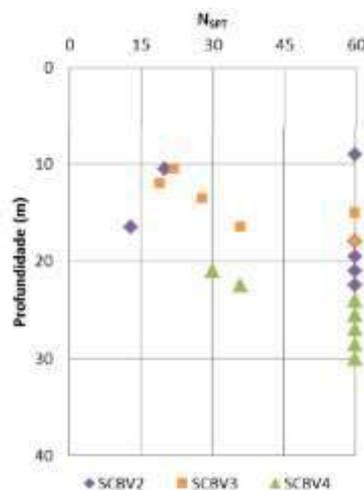


Figura 5.10 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no Complexo miocénico M8 das obras do corredor TCB (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.4.4 COMPLEXO VULCÂNICO DE LISBOA (CVL)

Os ensaios SPT realizados sobre o CVL recaíram apenas sobre os solos residuais de alteração dos basaltos ou piroclastos, que intersejam as obras do corredor TMSA entre os Km 0+000 e 0+370 e entre os km 1+950 e 2+150. A Figura abaixo dá conta da evolução em profundidade da penetração obtida nesses ensaios.

Observa-se, que os poucos ensaios mostram tratar-se de solos compactos/muito rijos a muito compactos/muito rijos.

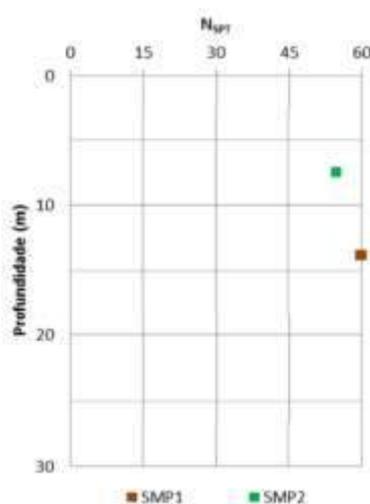


Figura 5.11 – Distribuição dos resultados dos ensaios SPT no CVL nas obras do corredor TMSA

(Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE “IN SITU”

5.5.1 CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

Os ensaios de permeabilidade realizados no interior dos furos de sondagem durante a furação correspondem a ensaios Lefranc sobre maciços terrosos e ensaios de absorção de água do tipo Lugeon, sobre maciços rochosos.

Os ensaios Lefranc permitem uma medição direta da permeabilidade dos terrenos, ainda que com caráter pontual e circunscrito à zona de admissão de água. Os ensaios Lugeon, por outro lado, fornecem uma estimativa da quantidade de água absorvida por um maciço rochoso em escoamento linear, a uma pressão, tempo e extensão de referência e não fornecem uma medida direta da permeabilidade.

Para efeitos de caracterização, as absorções Lugeon foram convertidas em permeabilidades, aplicando os fatores de conversão usuais, que assumem uma situação simplificada de maciço homogéneo e isotrópico:

- $K_f \text{ (m/s)} = 1 \times 10^{-7} uL$ (Fell et al., 2005) [26];
- $K_f \text{ (m/s)} = 5 \times 10^{-8} uL$ (Nazareth, 1987) [27].

Nos capítulos abaixo apresentam-se para cada uma das unidade geológica definidas no subcapítulo 5.3, as permeabilidades que as caracterizam, de acordo com os resultados dos ensaios de permeabilidade “in situ”.

5.5.2 FORMAÇÕES MIOCÉNICAS

5.5.2.1 Complexo M1 (Argilas e Calcários dos Prazeres)

Foram obtidas permeabilidades da ordem de:

- 10^{-6} m/s numa camada de marga com areia argilosa;
- 10^{-7} m/s, numa camada de biocalcarenito;
- Entre 10^{-5} e 10^{-6} m/s, numa zona de calcários margosos, margas e areias siltosas;
- 10^{-9} m/s, numa camada de argila siltosa;
- 10^{-7} m/s, numa camada de argila pouco arenosa fossilífera;
- 10^{-8} m/s, numa camada de areia fina e média siltosa.

Estes dados coligidos permitem afirmar que o complexo miocénico M1 apresenta, em geral, e de acordo com a classificação desenvolvida por Therzaghi & Peck (1967) [28], permeabilidades baixas a muito baixas e segundo a classificação desenvolvida por Casagrande & Falum (1940) [29], más a muito más condições de drenagem em escavação. Maiores permeabilidades são esperadas nas camadas de biocalcarenitos quando estes estão afetados de carsificação. Contudo estas camadas têm fraca possança e distribuição irregular, não contribuindo significativamente para o aumento da permeabilidade global do complexo.

5.5.2.2 Complexo M2 (Areolas da Estefânia)

Obtiveram-se neste complexo permeabilidades de:

- Entre 10^{-7} e 10^{-9} m/s nas camadas de silte e de argila com silte ou areia;
- 10^{-7} m/s numa camada de areia siltosa com níveis de calcarenito;
- 10^{-10} m/s num nível de calcarenito.

De acordo com as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente, pode afirmar-se que o complexo M2 tem permeabilidade global muito baixa e más a muito más condições de drenagem em escavação.

5.5.2.3 Complexo M3 (Calcários de Entre-Campos e Argilas de Forno do Tijolo)

Obtiveram-se neste complexo miocénico permeabilidades de:

- 10^{-6} m/s e da ordem de 10^{-8} m/s, respetivamente para camadas de areia siltosa e de argila pouco arenosa;
- 10^{-9} e 10^{-10} m/s em camadas de constituição essencialmente argilosa.

De acordo com as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente, pode afirmar-se que o complexo M3 tem permeabilidade baixa a muito baixa e más condições de drenagem em escavação nas zonas de constituição areno-siltosa e permeabilidades muito baixas a praticamente impermeáveis e muito más condições de drenagem em escavação junto das camadas de constituição argilosa.

5.5.2.4 Complexo M4 (Areias de Quinta do Bacalhau)

Obtiveram-se neste complexo miocénico permeabilidades de:

- 10^{-5} m/s, 10^{-7} m/s e 10^{-8} m/s, para os níveis de areia fina siltosa;
- Da ordem ou superior a 10^{-5} m/s e 10^{-9} m/s para os níveis de biocalcarenito;
- Entre 10^{-8} e 10^{-7} m/s em camadas margosas.

De acordo com as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente, pode afirmar-se que o complexo M4 tem permeabilidade baixa a muito baixa e más condições de drenagem em escavação nas zonas de constituição areno-siltosa e permeabilidades muito baixas e más a muito más condições de drenagem em escavação junto das camadas de constituição margosa.

Os níveis de biocalcarenitos têm permeabilidades desde moderadas a muito baixas, que estão relacionados com a sua maior ou menor carsificação. Contudo como estas camadas têm fraca possança e distribuição irregular, não contribuem significativamente para a permeabilidade global do complexo.

5.5.2.5 Complexo M5 (Areias com Placuna Miocénica e Calcários de Musgueira)

Os ensaios “in situ” realizados sobre areias finas siltosas, mostraram valores do coeficiente de permeabilidade da ordem de 10^{-4} m/s e de 10^{-7} m/s.

De acordo com as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente, pode afirmar-se que o complexo M5 tem permeabilidade moderada a baixa e boas a más condições de drenagem quando em escavação.

5.5.2.6 Complexo M6 (Calcários da Quinta das Conchas e Areias de Vale de Chelas)

Os ensaios “in situ” realizados sobre areias finas siltosas, mostraram valores do coeficiente de permeabilidade 10^{-7} e 10^{-8} m/s.

De acordo com as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente, pode afirmar-se que o complexo M6 tem permeabilidade muito baixa e más condições de drenagem quando em escavação.

5.5.2.7 Complexo M7 (Argilas de Xabregas)

Os ensaios “in situ” realizados sobre argilas siltosas, mostraram valores do coeficiente de permeabilidade da ordem dos 10^{-7} , 10^{-9} e 10^{-10} m/s.

De acordo com as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente, pode afirmar-se que o complexo M7 tem permeabilidade muito baixa a praticamente impermeável, e más a muito más condições de drenagem quando em escavação.

5.5.2.8 Complexo M8 (Arenitos de Grilos e Calcários de Marvila)

O único ensaio realizado mostrou numa camada de calcarenito um coeficiente de permeabilidade da ordem dos 10^{-9} m/s, não permitindo assim a caracterização em termos de permeabilidade deste complexo.

5.5.3 COMPLEXO VULCÂNICO DE LISBOA (CVL)

5.5.3.1 Tufos

Os ensaios “in situ” realizados sobre tufos, mostraram valores do coeficiente de permeabilidade entre 10^{-7} e 10^{-8} m/s.

De acordo com a classificação de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), conclui-se pois, que este tipo de litologias tem muito baixa permeabilidade e más condições de drenagem quando em escavação.

5.5.3.2 Basaltos

Os ensaios “in situ” realizados sobre basaltos com diversos estados de alteração, mostraram valores do coeficiente de permeabilidade entre 10^{-6} e 10^{-9} m/s.

De acordo com a classificação de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), conclui-se pois, que este tipo de litologias tem baixa a muito baixa permeabilidade e más condições de drenagem quando em escavação.

5.5.4 FORMAÇÕES CRETÁICAS DE NATUREZA CALCÁRIA

5.5.4.1 Formação de Bica

Os ensaios “in situ” realizados sobre camadas de calcário compacto com nódulos de sílex, muito alterado e fraturado (W4/F4-5 - ISRM) e de calcário compacto, medianamente alterado e fraturado (W3/F3-4 - ISRM), mostraram, respetivamente, valores do coeficiente de permeabilidade da ordem ou superior a 10^{-6} m/s e de 10^{-9} m/s.

Este intervalo de variação de grande amplitude mostra que a densidade de fracturação destas rochas é a propriedade que sobretudo controla a permeabilidade das mesmas, que no caso em concreto, e de acordo com a classificação de Therzaghi & Peck (1967), é variável entre rochas de baixa permeabilidade até permeabilidade muito baixa.

5.5.4.2 Formação de Caneças

Obtiveram-se nesta formação permeabilidades de:

- 10^{-7} m/s, em níveis de calcário compacto;
- Da ordem de 10^{-7} m/s, em camadas de natureza margosa;
- Entre 10^{-6} e 10^{-9} m/s em camadas de calcário margoso.

Resulta pois destes resultados, que esta formação tenha permeabilidades variáveis entre o baixo e o muito baixo, de acordo com a classificação de Therzaghi & Peck (1967).

5.5.5 NÍVEIS DE ÁGUA/PIEZOMÉTRICOS

5.5.5.1 Aluviões

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado nas aluviões afetadas às obras do corredor TMSA, entre outubro de 2016 e abril de 2017

Observa-se que a cota máxima do nível piezométrico foi de 1,36 m. Salienta-se que, nesta unidade geológica, os níveis de água podem ser influenciados pelas marés.

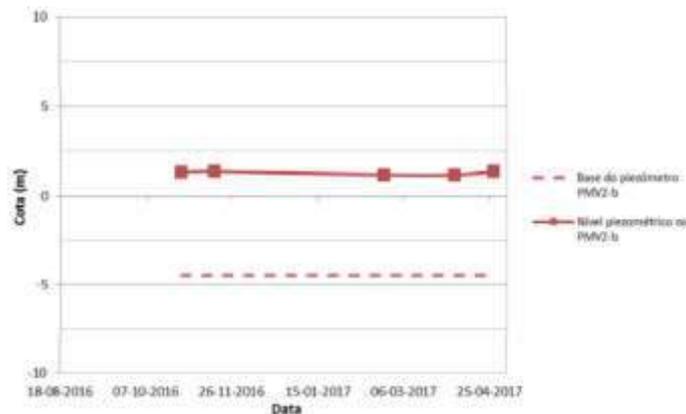


Figura 5.12 – Evolução do nível piezométrico nas aluviões interessadas às obras do corredor TMSA

(Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5.6 FORMAÇÕES MIOCÉNICAS

5.5.6.1 Complexo M1 (Argilas e Calcários dos Prazeres)

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado no complexo M1 das obras do corredor TMSA, entre outubro de 2016 e abril de 2017.

De acordo com os resultados da monitorização hidrogeológica, as cotas máximas observadas nos vários piezómetros instalados neste complexo são como se segue:

- Piezómetro PZ-SMEH1: 42,19 m;
- Piezómetro PZ- SMEH2: 30,38 m;
- Piezómetro PZ-SMP3: 27,20 m (superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SMT8: 50,52 m;
- Piezómetro PZ-SMT9: 47,24 m.

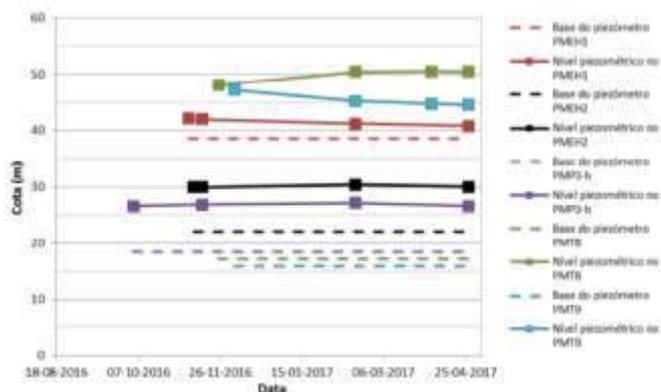


Figura 5.13 – Evolução do nível piezométrico no complexo M1 das obras do corredor TMSA
(Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5.6.2 Complexo M2 (Areolas da Estefânia)

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado no complexo M2 das obras do corredor TMSA, entre outubro de 2016 e abril de 2017.

De acordo com os resultados da monitorização hidrogeológica, as cotas máximas observadas nos vários piezómetros instalados neste complexo são como se segue:

- Piezómetro PZ-SMEH4: 24,8 m;
- Piezómetro PZ-SMP4B: 24,85 m (superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SMEH5: 25,55 m;
- Piezómetro PZ-SMT10: durante o período de monitorização o piezómetro apresentou-se seco.

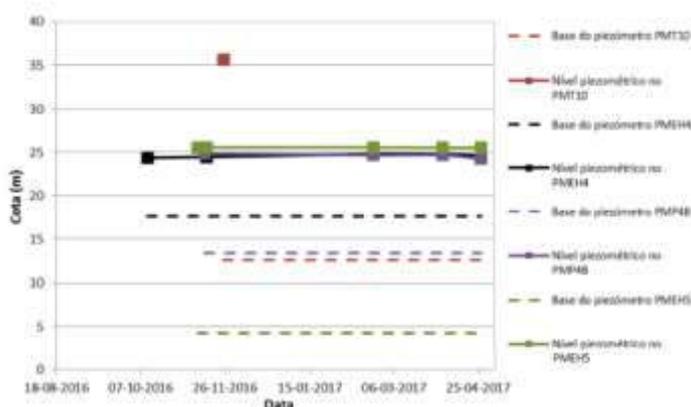


Figura 5.14 – Evolução do nível piezométrico no complexo M2 das obras do corredor TMSA
(Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5.6.3 Complexo M3 (Calcários de Entre-Campos e Argilas de Forno do Tijolo)

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado no complexo M3 das obras do corredor TMSA, entre outubro de 2016 e abril de 2017.

De acordo com os resultados da monitorização hidrogeológica, as cotas máximas observadas nos vários piezómetros instalados neste complexo são como se segue:

- Piezómetro PZ-SMT11: 23,37 m (muito superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SMT12: 32,45 m (muito superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SMV2: 1,68 m (muito semelhantes aos registados nas aluviões);
- Piezómetro PZ-SMV3: 1,08 m (muito semelhantes aos registados nas aluviões).

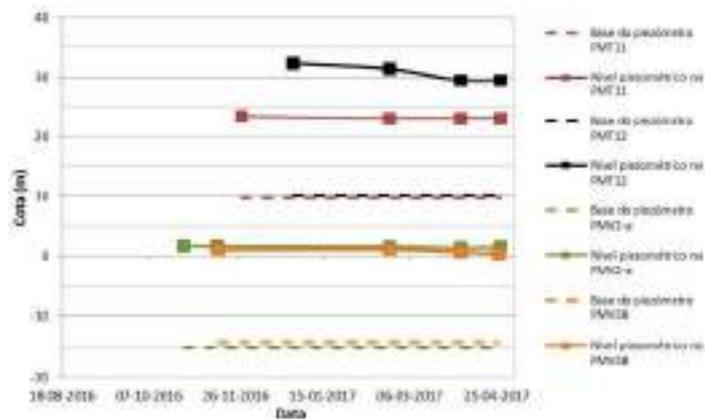


Figura 5.15 – Evolução do nível piezométrico no complexo M3 das obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5.6.4 Complexo M4 (Areias de Quinta do Bacalhau)

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado no complexo M4 das obras do corredor TMSA, entre outubro de 2016 e abril de 2017.

De acordo com os resultados da monitorização hidrogeológica, as cotas máximas observadas nos vários piezómetros instalados neste complexo são como se segue:

- Piezómetro PZ-SMT13: 24,16 m (superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SMT14: 6,26 m;
- Piezómetro PZ-SMT15: durante o período de monitorização o piezómetro apresentou-se seco;
- Piezómetro PZ-SMP5: 2,34 m;

- Piezómetro PZ-SMV1: 2,22m (muito semelhantes aos registados nas aluviões).

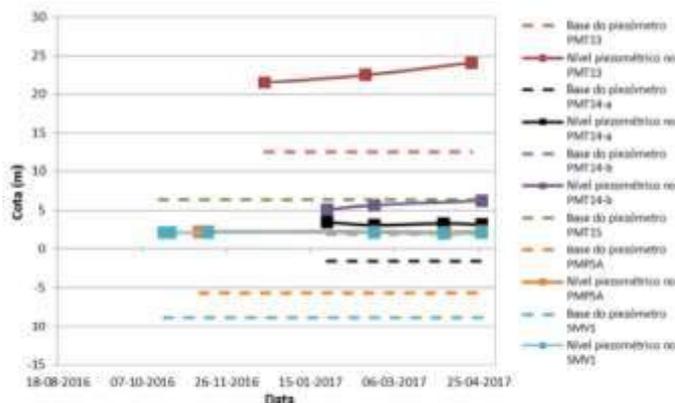


Figura 5.16 – Evolução do nível piezométrico no complexo M4 das obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5.6.5 Complexo M5 (Areias com Placuna Miocénica e Calcários de Musgueira)

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado no complexo M5 das obras do corredor TCB, entre setembro de 2016 e maio de 2017.

De acordo com os resultados da monitorização hidrogeológica, as cotas máximas observadas nos vários piezómetros instalados neste complexo são como se segue:

- Piezómetro PZ-SCBV1-a: 11,27 m;
- Piezómetro PZ-SCBV1-b: 9,38 m;
- Piezómetro PZ-SCBP1: 8,13 m;
- Piezómetro PZ-SCBT1: 7,08 m.

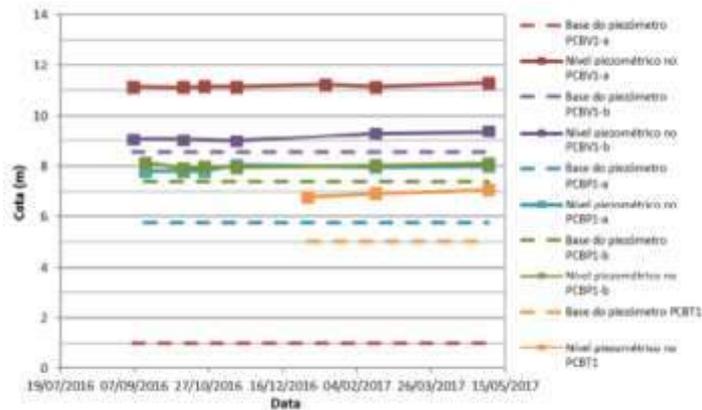


Figura 5.17 – Evolução do nível piezométrico no complexo M5 das obras do corredor TCB (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5.6.6 Complexo M6 (Calcários da Quinta das Conchas e Areias de Vale de Chelas)

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado no complexo M6 das obras do corredor TCB, entre setembro de 2016 e maio de 2017.

De acordo com os resultados da monitorização hidrogeológica, as cotas máximas observadas no único piezómetro instalado neste complexo são como se segue:

- Piezómetro PZ-SCBT2: 9,41 m (superior à cota de coroamento do túnel).

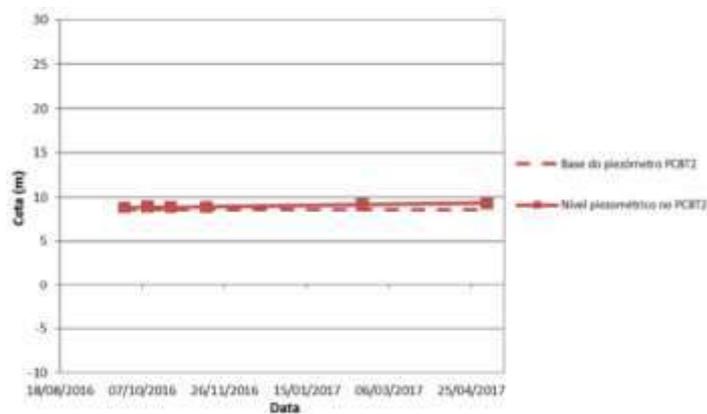


Figura 5.18 – Evolução do nível piezométrico no complexo M6 das obras do corredor TCB (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5.6.7 Complexo M7 (Argilas de Xabregas)

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado no complexo M7 das obras do corredor TCB, entre setembro de 2016 e maio de 2017.

De acordo com os resultados da monitorização hidrogeológica, as cotas máximas observadas no único piezómetro instalado neste complexo são como se segue:

- Piezómetro PZ-SCBT3: 22,25 m (superior à cota de coroamento do túnel).

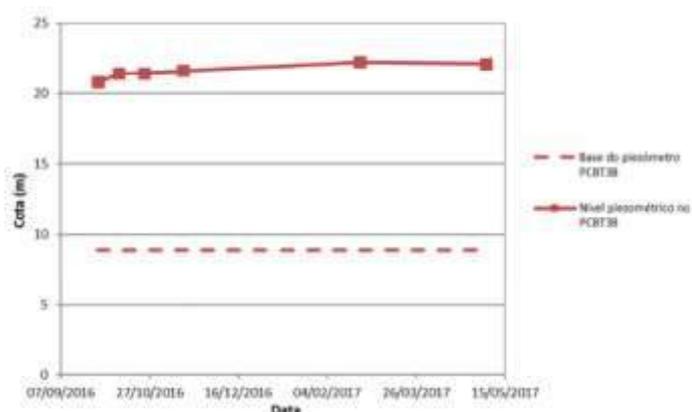


Figura 5.19 – Evolução do nível piezométrico no complexo M7 das obras do corredor TCB

(Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5.6.8 Complexo M8 (Arenitos de Grilos e Calcários de Marvila)

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado no complexo M8 das obras do corredor TCB, entre setembro de 2016 e maio de 2017.

De acordo com os resultados da monitorização hidrogeológica, as cotas máximas observadas nos vários piezómetros instalados neste complexo são como se segue:

- Piezómetro PZ-SCBT4: 9,41 m (superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SCBP2: 2,22 m (superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SCV2: 1,87 m os níveis piezométricos sugerem refletir o nível de água no rio, sujeito às marés);
- Piezómetro PZ-SCV3: 1,95 m os níveis piezométricos sugerem refletir o nível de água no rio, sujeito às marés).

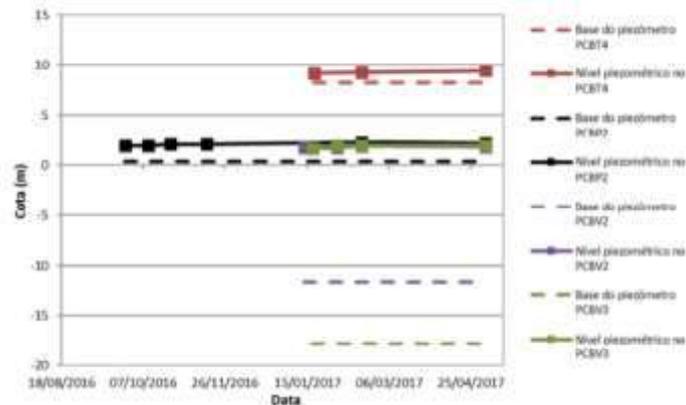


Figura 5.20 – Evolução do nível piezométrico no complexo M8 das obras do corredor TCB (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5.7 COMPLEXO VULCÂNICO DE LISBOA (CVL)

5.5.7.1 Tufos

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado nos tufos vulcânicos afetos às obras do corredor TMSA, entre agosto de 2016 e abril de 2017.

De acordo com os resultados da monitorização hidrogeológica, as cotas máximas observadas no único piezômetro instalado nesta unidade geológica são como se segue:

- Piezômetro PZ-SMP1: 44,40 m.

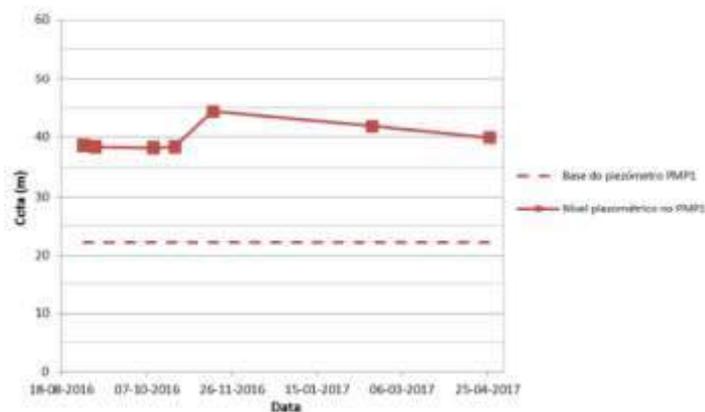


Figura 5.21 – Evolução do nível piezométrico nos tufos vulcânicos afetos às obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5.7.2 Basaltos

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado nos basaltos afetos às obras do corredor TMSA, entre agosto de 2016 e abril de 2017.

De acordo com os resultados da monitorização hidrogeológica, as cotas máximas observadas nos vários piezómetros instalados nesta unidade geológica são como se segue:

- Piezómetro PZ-SMP2: 37,02 m;
- Piezómetro PZ-SMT1: 47,58 m (superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SMT7: 33,94 m (superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SMP3: 22,32 m (superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SMEH3: 21,75 m.

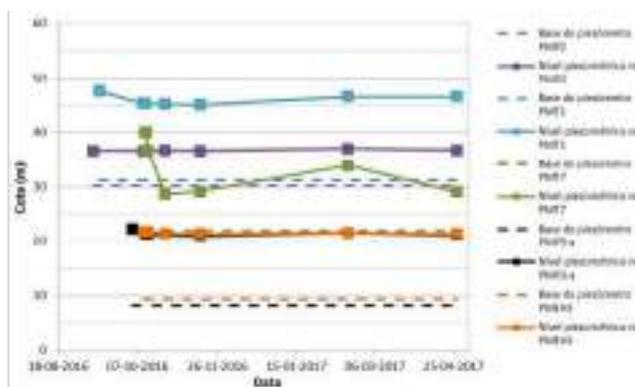


Figura 5.22 – Evolução do nível piezométrico nos basaltos afetos às obras do corredor TMSA
(Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.5.8 FORMAÇÕES CRETÁICAS DE NATUREZA CALCÁRIA

5.5.8.1 Formação de Bica

Durante o período de monitorização dos níveis de água, verificou-se que o piezómetro PZ-SMT6 instalado nesta unidade geológica se apresentou seco.

5.5.8.2 Formação de Caneças

A Figura abaixo mostra a evolução do nível piezométrico registado nas rochas da Formação de Caneças, afeta às obras do corredor TMSA, entre agosto de 2016 e abril de 2017.

De acordo com os resultados da monitorização hidrogeológica, as cotas máximas observadas nos vários piezómetros instalados nesta unidade geológica são como se segue:

- Piezómetro PZ-SMT2: 34,88 m (superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SMT3: 48,36 m (superior à cota de coroamento do túnel);
- Piezómetro PZ-SMT4: 14,71 m;
- Piezómetro PZ-SMT5: 38,18 m (superior à cota de coroamento do túnel).

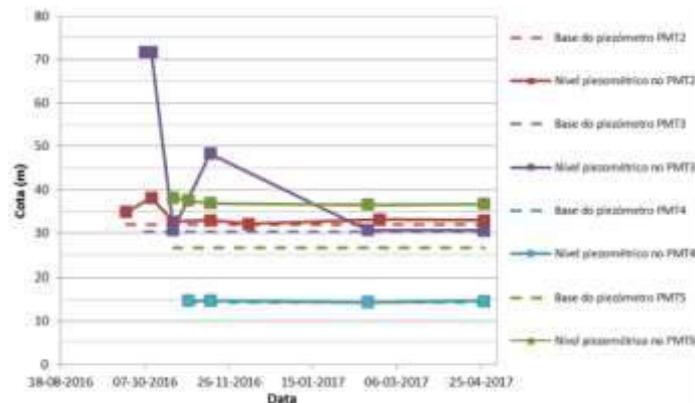


Figura 5.23 – Evolução do nível piezométrico na Formação de Caneças afeta às obras do corredor TMSA (Fonte LNEC, 2017 [1,2])

5.6 ENSAIOS DE BOMBAGEM

5.6.1 CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

Com o objetivo de determinar as propriedades hidráulicas das unidades aquíferas atrás descritas, tais como a transmissividade, o coeficiente de armazenamento e a condutividade hidráulica, realizaram-se em alguns locais, ensaios de bombagem no interior de furos de sondagem, tendo-se efetuado as leituras dos rebaixamentos produzidos com a extração de água a caudal constante em piezómetros instalados nas imediações do furo.

Os subcapítulos abaixo, descrevem, para as unidades geológicas consideradas, os parâmetros hidráulicos obtidos.

5.6.2 COMPLEXO VULCÂNICO DE LISBOA (CVL)

As litologias pertencentes ao CVL, conforme ensaiados pelos ensaios de caudal F-SMP1 e F-SMT1, são caracterizados por transmissividade variável entre 10^{-6} e 10^{-7} m²/s, coeficiente de armazenamento entre $1,6 \times 10^{-2}$ e $5,9 \times 10^{-4}$ e condutividade hidráulica muito baixa (Therzagli & Peck, 1967), entre 10^{-7} e 10^{-8} m/s.

5.6.3 FORMAÇÃO DE CANEÇAS

As rochas da *Formação de Caneças*, conforme ensaiadas pelo ensaio de caudal F-SMT3, apresentam transmissividade de 10^{-7} m²/s e condutividade hidráulica muito baixa (Therzaghi & Peck, 1967), da ordem de 10^{-8} m/s.

5.6.4 FORMAÇÕES MIOCÉNICAS

5.6.4.1 Complexo M1 (Argilas e Calcários dos Prazeres)

Os terrenos pertencentes ao complexo M1, das *Argilas e Calcários dos Prazeres*, conforme ensaiados pelo ensaio de caudal F-SMP3, apresentam transmissividade de 6×10^{-5} m²/s e condutividade hidráulica moderada a baixa (Therzaghi & Peck, 1967), de 10^{-5} m/s.

5.6.4.2 Complexo M2 (Areolas da Estefânia)

Os terrenos pertencentes ao complexo M2, das *Areolas da Estefânia*, conforme ensaiados pelo ensaio de caudal F-SMP4, apresentam transmissividade de 5×10^{-6} m²/s e condutividade hidráulica baixa (Therzaghi & Peck, 1967), de 6×10^{-7} m/s.

5.6.4.3 Complexo M4 (Areias de Quinta do Bacalhau)

Os terrenos pertencentes ao complexo M4, das *Areias de Quinta do Bacalhau*, conforme ensaiados pelo ensaio de caudal F-SMT13, apresentam transmissividade de 4×10^{-7} m²/s e condutividade hidráulica baixa (Therzaghi & Peck, 1967), de 1×10^{-7} m/s.

5.6.4.4 Complexo M5 (Areias com Placuna Miocénica)

Os terrenos da *Formação das Areias com Placuna Miocénica*, conforme ensaiadas pelo ensaio de caudal F-SCBP1, apresentam transmissividade da ordem de 10^{-3} m²/s, coeficiente de armazenamento entre $3,2 \times 10^{-3}$ e $9,7 \times 10^{-3}$ e condutividade hidráulica moderada (Therzaghi & Peck, 1967), da ordem de 10^{-4} m/s.

5.6.4.5 Complexo M6 (Areias de Vale de Chelas)

Os terrenos da *Formação das Areias de Vale de Chelas*, conforme ensaiadas pelo ensaio de caudal F-SCBT2, apresentam transmissividade da ordem de 10^{-7} m²/s e condutividade hidráulica baixa a muito baixa, da ordem de 10^{-7} m/s.

5.7 ENSAIOS COM PRESSIÓMETRO AUTO PERFURADOR

5.7.1 FORMAÇÕES MIOCÉNICAS

5.7.1.1 Complexo M1 (Argilas e Calcários dos Prazeres)

Nos locais das sondagens SMT8 e SMT9, MT8 e MT9 foram determinados valores de coeficiente de impulso em repouso (K_0) de 0,28 e 0,26, respetivamente.

No local da sondagem MT9 foi obtido um valor de resistência ao corte não drenada (C_u) (ciclo de carga) de 2949 kPa.

Nos locais das sondagens SMT8 e SMT9 foram determinados valores de pressão limite entre 0,24 e 14,6 MPa e de módulo de distorção inicial entre 37,2 e 167,7 MPa, respetivamente.

5.7.1.2 Complexo M2 (Areolas da Estefânia)

Nos locais das sondagens SMT10 e SMP4 foram determinados, respetivamente, valores de K_0 de 0,44 e 2,68, de C_u (ciclo de carga) de 788 e 1163 kPa, de pressão limite de 4,3 e 8,2 MPa e de módulo de distorção inicial de 44,3 e 223 MPa.

5.7.1.3 Complexo M3 (Calcários de Entre-Campos)

No local da sondagem SMT11, foram determinados valores de K_0 de 0,76, de pressão limite de 2 MPa e de módulo de distorção inicial de 149,9 MPa.

5.7.1.4 Complexo M4 (Areias de Quinta do Bacalhau)

Nos locais das sondagens SMT14 e SMP5 foram obtidos, respetivamente, valores de K_0 entre 0,71 e 1,41, valores de C_u (ciclo de carga) entre 1280,1 e 1408,8 kPa, de pressão limite entre 5,6 e 7,0 MPa e de módulo de distorção inicial entre 34,8 e 86,3 MPa.

5.7.1.5 Complexo M5 (Areias com Placuna Miocénica)

No local da sondagem SCBP1 foram determinados valores de K_0 de 0,88, de C_u (ciclo de carga) de 676 kPa, de pressão limite de 3,2 MPa e de módulo de distorção inicial de 35 MPa.

5.7.1.6 Complexo M6 (Areias de Vale de Chelas)

No local da sondagem SCBT2 foram determinados valores de coeficiente de K_0 de 0,96, de C_u (ciclo de carga), de 793 kPa, de pressão limite de 23,9 MPa e de módulo de distorção inicial de 77 MPa.

5.7.1.7 Complexo M7 (Argilas de Xabregas)

Foram determinados nos locais das sondagens SCBT3 e SCBT4, respetivamente, valores de K_0 de 0,58 e de 0,28, de C_u (ciclo de carga) de 1480 e de 4293 kPa, de pressão limite de 7,9 e de 13,1 MPa e de módulo de distorção inicial de 150 e de 111 MPa.

5.8 ENSAIOS “CROSS-HOLE”

5.8.1 ATERROS

Junto do local da sondagem SMP4, nos aterros da Avenida Almirante Reis afetos ao corredor TMSA, foram obtidos valores de V_s entre 250 e 300 m/s e de V_p entre 900 e 1300 m/s.

Junto do local da sondagem SMV3 foram determinados, para os aterros da zona ribeirinha afetos ao corredor TMSA, valores de V_s entre 220 e 300 m/s e de V_p entre 600 e 1800 m/s.

Junto do local da sondagem SCBV4, foram obtidos para os aterros de materiais grosseiros do tipo TOT da zona portuária do terminal de carga afetos ao corredor TCB, valores de V_s entre 300 e 500 m/s e de V_p entre 1000 m/s e 2800 m/s.

5.8.2 COMPLEXO M2 (AREOLAS DA ESTEFÂNIA)

No local da sondagem SMP4 foram obtidos para os terrenos miocénicos do Complexo M2 das *Areolas da Estefânia* afetos ao corredor TMSA, valores de V_s entre 300 e 400 m/s e de V_p da ordem dos 1600 m/s.

5.8.3 COMPLEXO M3 (CALCÁRIOS DE ENTRE-CAMPOS)

No local da sondagem SMV3 foram determinados para os terrenos do Complexo M3 identificados com os *Calcários de Entre-Campos*, valores de V_s entre 300 e 600 m/s e de V_p , em geral, entre 2000 e 3000 m/s e, pontualmente, superiores a 3000 m/s, que se admitem estarem associados a níveis carbonatados.

5.8.4 COMPLEXO M7 (ARGILAS DE XABREGAS)

No local da sondagem SCBT3 foram determinados, para os terrenos do Complexo M7 das *Argilas de Xabregas*, valores de V_s entre 350 e 700 m/s e de V_p , em geral, entre 2000 e 2700 m/s.

5.8.5 COMPLEXO M8 (CALCÁRIOS DE MARVILA)

No local da sondagem SCBV4 foram determinados, para os terrenos do Complexo M8 dos *Calcários de Marvila*, valores de V_s entre 532 e cerca de 700 m/s e de V_p superiores a 2300 m/s, admitindo-se que as

velocidades mais elevadas, entre cerca de 2700 e 3000 m/s, são devidas à presença dos níveis de biocalcarenitos (cascões) interestratificados.

5.9 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

5.9.1 ENSAIOS SOBRE SOLOS

5.9.1.1 Características de Identificação e Físicas

5.9.1.1.1 Aterros

Na área da obra de desvio do Caneiro (sondagem SMP2), os aterros são do tipo SM (USCS) e CH (USCS), refletindo, pois a sua composição heterogénea.

Os solos arenosos do tipo SM são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 23-35%;
- IP = NP a 20%.

Os solos argilosos do tipo CL são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 51%;
- IP = 36%;
- VBS = 10,2 g/100g.

O elevado valor de VBS indica a provável presença de minerais argilosos expansivos.

Na zona de Santa Apolónia (sondagem SMV3), estes depósitos são do tipo como CL (USCS), com percentagens de finos da ordem dos 90% e valores de índice de plasticidade e de VBS, de 21% e de 2,2 (g/100g), respetivamente.

5.9.1.1.2 Aluviões

Na zona de S.ta Apolónia (sondagem SMV2), os níveis mais grosseiros são do tipo SM e os solos finos são do tipo CL.

Os níveis arenosos são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 42-45%;
- IP = 8 a 11%;
- VBS = 1,5 g/100g.

Os níveis argilosos são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 53-77%;
- IP = 11 a 14%;
- VBS = 2-4 g/100g.

5.9.1.1.3 Complexo M1 (Argilas e Calcários dos Prazeres)

Os solos pertencentes a este complexo interessado ao corredor TMSA classificam-se como do tipo SM, ML, CL e CH.

Os níveis arenosos grosseiros apresentam percentagens de finos de 19% e são não plásticos, com valor de VBS de 0,2 g/100g.

Os níveis finos siltosos e argilosos são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 65-100%;
- IP = 8 a 40%;
- VBS = 1,7-8 g/100g.

Os valores de VBS mais elevados evidenciam a provável presença de minerais da argila expansivos.

5.9.1.1.4 Complexo M2 (Areolas da Estefânia)

Os solos pertencentes a este complexo interessado ao corredor TMSA classificam-se como do tipo SM, MH, ML e CL.

Os níveis arenosos grosseiros apresentam percentagens de finos entre 19% e 46%, são não plásticos ou com valores de índice de plasticidade até 7%, e têm valores VBS entre 0,4 e 1,5 g/100g.

Os níveis finos siltosos e argilosos são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 64-98%;
- IP = 10 a 23%;
- VBS = 2,2-3,7 g/100g.

5.9.1.1.5 Complexo M3 (Calcários de Entre-Campos e Argilas de Forno do Tijolo)

Os solos pertencentes a este complexo interessado ao corredor TMSA classificam-se como do tipo SM e CL.

Os níveis arenosos grosseiros apresentam percentagem de finos de 27%, são não plásticos, com valor de VBS de 0,5 g/100g.

Os níveis finos argilosos são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 72-100%;
- IP = 17 %;
- VBS = 1,4-3,2 g/100g.

5.9.1.1.6 Complexo M4 (Areias de Quinta do Bacalhau)

Os solos pertencentes a este complexo interessado ao corredor TMSA classificam-se como do tipo SM e CL.

Os níveis finos argilosos são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 60-90%;
- IP = 9-18 %;
- VBS = 0,6-3 g/100g.

5.9.1.1.7 Complexo M5 (Areias com Placuna Miocénica e Calcários de Musgueira)

Os solos pertencentes a este complexo interessado ao corredor TCB classificam-se como do tipo SM e CL.

Os níveis arenosos apresentam percentagens de finos entre 9% e 47%, são não plásticos ou com valores de índice de plasticidade até 16% e com valores de VBS entre 0,3 e 2,7 g/100g.

Os níveis finos argilosos são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 72-81%;
- IP = 14-19 %;
- VBS = 3,7 g/100g.

5.9.1.1.8 Complexo M6 (Calcários da Quinta das Conchas e Areias de Vale de Chelas)

Os solos pertencentes a este complexo interessado ao corredor TCB classificam-se como do tipo SM, ML e CL.

Os níveis arenosos apresentam percentagens de finos entre 12% e 30%, são não plásticos, com valores de VBS entre 0,5 e 1,0 g/1200g.

Os níveis finos siltosos e argilosos são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 63-83%;
- IP = NP-21 % %;
- VBS = 2,6 g/100g.

5.9.1.1.9 Complexo M7 (Argilas de Xabregas)

Os solos pertencentes a este complexo interessado ao corredor TCB classificam-se como do tipo CL e apresentam percentagens de finos entre 69% e 98%, valores de índice de plasticidade entre 12% e 23% e de VBS entre 2,5 e 3,9 g/100g.

5.9.1.1.10 Complexo M8 (Arenitos de Grilos e Calcários de Marvila)

Os solos pertencentes a este complexo interessado ao corredor TCB são de granulometria grosseira, dos tipos GM e SM e de granulometria fina, dos tipos ML e CL.

Os níveis grosseiros cascalhentos e arenosos são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 17-45%;
- IP = NP a 17 %;
- VBS = 0,2-3,3 g/100g.

Os níveis finos siltosos e argilosos são caracterizados por:

- #200 (ASTM) = 55-97%;
- IP = NP, 10-21 %;
- VBS = 1-5,7 g/100g.

5.9.1.2 Características Mecânicas

5.9.1.2.1 Aterros

Numa amostra de aterros colhida na sondagem SMV3, interessada ao corredor TMSA, foram obtidos valores de ângulo de atrito interno de pico e no estado crítico de $36,1^\circ$ e $35,7^\circ$, respetivamente.

Na mesma amostra, num ensaio edométrico, obtiveram-se os seguintes parâmetros de deformabilidade:

- $e_0 = 0,734$;
- $C_c = 0,19$;
- $C_v = 1,1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$;
- $C_c/1+e_0 = 0,11$.

5.9.1.2.2 Aluviões

Numa amostra de aluviões areno-cascalhentas colhida na sondagem SMV2, interessada ao corredor TMSA, foram obtidos valores de ângulo de atrito interno de pico e no estado crítico de $21,4^\circ$ e de $19,1^\circ$, respetivamente.

Na mesma amostra, em ensaios edométricos, obtiveram-se os seguintes parâmetros de deformabilidade:

- $e_0 = 0,681-1,156$;
- $C_c = 0,16-0,31$;
- $C_v = 5,8 \times 10^{-8}$ a $8,1 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$;
- $C_c/1+e_0 = 0,10$ a $0,14$.

5.9.1.2.3 Complexo M2 (Areolas da Estefânia)

Numa amostra de argila colhida na sondagem SMP4, interessada ao corredor TMSA, foram obtidos em dois provetes valores de ângulo de atrito interno de pico de $40,5^\circ$ e no estado crítico de $26,2^\circ$, respetivamente.

Na mesma amostra, num ensaio edométrico, obtiveram-se os seguintes parâmetros de deformabilidade:

- $e_0 = 0,749$;
- $C_c = 0,21$;
- $C_v = 6,1 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$;
- $C_c/1+e_0 = 0,12$.

5.9.1.2.4 Complexo M4 (Areias de Quinta do Bacalhau)

Numa amostra de argila colhida na sondagem SMT14, interessada ao corredor TMSA, foram obtidos valores de ângulo de atrito interno de pico e no estado crítico de 40,3° e de 23,3°, respetivamente.

Na mesma amostra da sondagem SMT14, num ensaio edométrico, obtiveram-se os seguintes parâmetros de deformabilidade:

- $e_0 = 0,584$;
- $C_c = 0,11$;
- $C_v = 2,1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$;
- $C_c/1+e_0 = 0,07$.

Numa amostra de argila arenosa colhida na sondagem SMP5, interessada ao corredor TMSA, foram obtidos valores de ângulo de atrito interno de pico e no estado crítico de 35,5° e de 32,3°, respetivamente.

5.9.1.2.5 Complexo M7 (Argilas de Xabregas)

Numa amostra de argila arenosa colhida na sondagem SCBT4, interessada ao corredor TCB, foram obtidos valores de ângulo de atrito interno de pico e no estado crítico de 51,1° e 33,3°, respetivamente.

Na mesma amostra, num ensaio edométrico, obtiveram-se os seguintes parâmetros de deformabilidade:

- $e_0 = 0,580$;
- $C_c = 0,01$;
- $C_v = 8,42 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$;
- $C_c/1+e_0 = 0,0063$.

5.9.1.2.6 Complexo M8 (Arenitos de Grilos e Calcários de Marvila)

Numa amostra de silte colhida na sondagem SCBV4, interessada ao corredor TCB, foram obtidos valores de ângulo de atrito interno de pico e no estado crítico de 38,8° e 35,1°, respetivamente.

Na mesma amostra, num ensaio edométrico, obtiveram-se os seguintes parâmetros de deformabilidade:

- $e_0 = 0,568$;
- $C_c = 0,01$;
- $C_v = 1,47 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$;
- $C_c/1+e_0 = 0,0064$.

5.9.1.3 Características Hidráulicas

5.9.1.3.1 Aterros

Numa amostra de natureza argilosa colhida na sondagem SMV3, interessada ao corredor TMSA, foi determinado um valor coeficiente de permeabilidade, em câmara triaxial, de 10^{-8} m/s, evidenciando, pois, solos de muito baixa permeabilidade e muito más condições de drenagem em escavação, segundo as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente.

A mesma amostra ensaiada em edómetro, revelou um coeficiente de permeabilidade de $2,4 \times 10^{-10}$ m/s, portanto muito mais impermeável quando comparada com os resultados da câmara triaxial.

5.9.1.3.2 Aluviões

Numa amostra de natureza arenosa colhida na sondagem SMV2, interessada ao corredor TMSA, foi determinado um valor coeficiente de permeabilidade, em câmara triaxial, entre 10^{-6} e 10^{-7} m/s, evidenciando, pois solos de baixa permeabilidade e más condições de drenagem em escavação, segundo as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente.

A mesma amostra ensaiada em edómetro, revelou um coeficiente de permeabilidade de variável entre 2×10^{-10} e 2×10^{-11} m/s, portanto muito mais impermeável quando comparada com os resultados da câmara triaxial.

5.9.1.3.3 Complexo M2 (Areolas da Estefânia)

Numa amostra de argila colhida na sondagem SMP4, interessada ao corredor TMSA, foram determinados valores do coeficiente de permeabilidade, em câmara triaxial, entre 10^{-7} e 10^{-8} m/s, evidenciando, pois, solos de baixa a muito baixa permeabilidade e más condições de drenagem em escavação, segundo as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente.

5.9.1.3.4 Complexo M4 (Areias de Quinta do Bacalhau)

Numa amostra de natureza argilosa colhida na sondagem SMT14, interessada ao corredor TMSA, foi determinado um valor coeficiente de permeabilidade, em câmara triaxial, de 10^{-8} m/s, evidenciando, pois, solos de muito baixa permeabilidade e muito más condições de drenagem em escavação, segundo as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente.

A mesma amostra SMT14 ensaiada em edómetro revelou um coeficiente de permeabilidade de 7×10^{-11} m/s, portanto muito mais impermeável quando comparada com os resultados da câmara triaxial.

Numa outra amostra deste complexo, de natureza argilo-arenosa, colhida na sondagem SMP5, interessada ao corredor TMSA, foi determinado um valor coeficiente de permeabilidade, em câmara triaxial, de 10^{-5} m/s, evidenciando, pois, solos de média a baixa permeabilidade e más condições de drenagem em escavação, segundo as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente.

5.9.1.3.5 Complexo M7 (Argilas de Xabregas)

Numa amostra de natureza argilo-arenosa colhida na sondagem SCBT4, interessada ao corredor TCB, foi determinado um valor coeficiente de permeabilidade, em câmara triaxial, de 10^{-8} m/s, evidenciando, pois, solos de muito baixa permeabilidade e muito más condições de drenagem em escavação, segundo as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente.

A mesma amostra SCBT4 ensaiada em edómetro revelou um coeficiente de permeabilidade de 5×10^{-11} m/s, portanto muito mais impermeável quando comparada com os resultados da câmara triaxial.

5.9.1.3.6 Complexo M8 (Arenitos de Grilos e Calcários de Marvila)

Numa amostra de silte arenoso colhida na sondagem SCBV4, interessada ao corredor TCB, foi determinado um valor coeficiente de permeabilidade, em câmara triaxial, de 10^{-6} m/s, evidenciando, pois, solos de baixa permeabilidade e más condições de drenagem em escavação, segundo as classificações de Therzaghi & Peck (1967) e Casagrande & Falum (1940), respetivamente.

A mesma amostra SCBV4 ensaiada em edómetro revelou um coeficiente de permeabilidade de 2×10^{-10} m/s, portanto muito mais impermeável quando comparada com os resultados da câmara triaxial.

5.9.1.4 Características Químicas/Geoambientais

5.9.1.4.1 Aluviões

As aluviões amostradas no local da sondagem SMV2, afetas ao corredor TMSA, são caracterizadas por concentrações máximas de:

- Antimónio de 1,1 mg/kg;
- Arsénio de 14 mg/kg;

- Bário de 36 mg/kg;
- Cádmio de 0,43 mg/kg;
- Crómio de 26 mg/kg;
- Cobalto de 8,9 mg/kg;
- Cobre 58 mg/kg;
- Chumbo de 94 mg/kg;
- Molibdénio de 0,94 mg/kg;
- Níquel de 18 mg/kg;
- Selénio <0,50 (LQ) mg/kg;
- Zinco de 59 mg/kg;
- Mercúrio <0,50 (LQ) mg/kg;
- Cloretos de 1,1x10² mg/kg;
- Sulfatos de 2,4x10² mg/kg.

As concentrações em compostos orgânicos voláteis (benzeno, tolueno, etilbenzeno, p+m-xileno e o-xileno) são inferiores aos limites de quantificação (LQ) dos métodos analíticos utilizados.

Da comparação dos resultados obtidos com normas canadianas CCME (2017) e Ontario (2011), verifica-se que as concentrações em metais são inferiores aos valores aí estipulados, para qualquer tipo de utilização dos solos (residencial/lazer, comercial ou industrial), com exceção do arsénio, cuja concentração máxima excede ligeiramente o valor indicado (12 mg/kg) em CCME (2017).

As aluviões amostradas no local da sondagem SCBV3, afetas ao corredor TCB, são caracterizadas por concentrações máximas de:

- Antimónio de 0,71 mg/kg;
- Arsénio de 11 mg/kg;
- Bário de 30 mg/kg;
- Cádmio de 0,47 mg/kg;
- Crómio de 22 mg/kg;
- Cobalto de 8,3 mg/kg;
- Cobre <17 (LQ) mg/kg;
- Chumbo de 48 mg/kg;
- Molibdénio de 0,35 mg/kg;

- Níquel de 14 mg/kg;
- Selénio <0,50 (LQ) mg/kg;
- Zinco de 57 mg/kg;
- Mercúrio <0,50 (LQ) mg/kg.

As concentrações em compostos orgânicos voláteis (benzeno, tolueno, etilbenzeno, p+m-xileno e o-xileno) são inferiores aos limites de quantificação (LQ) dos métodos analíticos utilizados.

Da comparação dos resultados obtidos com as normas canadianas CCME (2017) e Ontario (2011), verifica-se que as concentrações em metais são inferiores aos valores aí estipulados, para qualquer tipo de utilização dos solos (residencial/lazer, comercial ou industrial).

5.9.2 ENSAIOS SOBRE ROCHAS

5.9.2.1 Características Petrográficas

5.9.2.1.1 Complexo M3 (Calcários de Entre-Campos e Argilas de Forno do Tijolo)

Os níveis carbonatados do complexo M3, interessados ao corredor TMSA, correspondem a calcário bioclástico e detrítico (biocalcarenito), constituído predominantemente por grãos finos e em menor percentagem médios, angulosos a subangulosos, de quartzo e de feldspato. Exibem conteúdo fossilífero abundante e diversificado, e porosidade moderada a elevada.

5.9.2.1.2 Complexo M4 (Areias de Quinta do Bacalhau)

Os níveis carbonatados do complexo M4, interessados ao corredor TMSA, correspondem a calcários bioclásticos e detríticos (biocalcarenito), constituídos por grãos médios a grosseiros, mal calibrados, angulosos a subangulosos, de quartzo e em menor percentagem de feldspato. Exibem conteúdo fossilífero abundante e diversificado, e porosidade moderada.

5.9.2.1.3 Tufos do CVL

Os tufos vulcânicos do CVL são constituídos por rochas que apresentam, frequentemente, estrutura laminada, textura detrítica fina (argilosa), com uma fração mais grosseira formada por grãos de quartzo, contendo óxidos de ferro e carbonatos. Este último constituinte ocorre no preenchimento de discontinuidades e em nódulos.

A associação mineralógica principal é: quartzo, montmorilonite, óxidos de ferro, calcite e dolomite.

5.9.2.1.4 Basaltos do CVL

Os basaltos do CVL têm textura afanítica microcristalina de grão muito fino, de cor melanocrata, sendo constituídos por fenocristais de olivina e minerais opacos, disseminados numa matriz microcristalina formada por clinopiroxena, minerais opacos e plagioclase, com ocorrência de calcite no preenchimento de descontinuidades, em nódulos e massas irregulares.

A associação mineralógica principal é: plagioclase, montmorilonite, piroxenas, óxidos de ferro.

5.9.2.1.5 Formação de Bica

As rochas da *Formação da Bica* correspondem a calcário bioclástico, por vezes recristalizado, brechificado e dolomitizado e calcário silicificado. Exibem conteúdo fossilífero abundante e diversificado.

A associação mineralógica principal é: calcite e dolomite.

5.9.2.1.6 Formação de Caneças

As rochas da *Formação de Caneças* correspondem a calcário dolomítico micrítico/microsparítico (dolomicrite/dolomicrosparite), com quartzo, exibindo, por vezes, estrutura laminada e porosidade elevada. Como componentes acessórios podem ocorrer matéria orgânica e pirite.

A associação mineralógica principal é: calcite, dolomite e quartzo.

5.9.2.2 Propriedades Índice

5.9.2.2.1 Complexo M2 (Areolas da Estefânia)

Os níveis de biocalcarenito que ocorrem intercalados nos terrenos deste complexo apresentam os seguintes valores das propriedades índice analisadas:

- Porosidade de 22,3% (MT10-1);
- Expansibilidade de $37,2 \times 10^{-4}$;
- Vp entre 2449 e 3000 m/s.

5.9.2.2.2 Complexo M4 (Areias de Quinta do Bacalhau)

Os níveis de biocalcarenito que ocorrem intercalados nos terrenos deste complexo apresentam os seguintes valores das propriedades índice analisadas:

- Porosidade entre 15,4% e 18,4%;

- Expansibilidade entre $0,08 \times 10^{-4}$ e $0,4 \times 10^{-4}$;
- Vp entre 3455 e 4094 m/s.

5.9.2.2.3 Tufos do CVL

Estas rochas apresentam valores de expansibilidade entre 174×10^{-4} e 452×10^{-4} e de Vp entre 722 e 1424 m/s.

5.9.2.2.4 Basaltos do CVL

As rochas são a pouco alteradas (W1 a W2) apresentam os seguintes valores das propriedades índice analisadas:

- Porosidade entre 1,6% e 2,1%;
- Expansibilidade entre $0,43 \times 10^{-4}$ e $1,25 \times 10^{-4}$;
- Vp superiores a 6000 m/s.

As rochas medianamente alteradas a muito alteradas (W3 a W4) apresentam os seguintes valores das propriedades índice analisadas:

- Porosidade crescente entre 6% e 24%;
- Expansibilidade entre $12,3 \times 10^{-4}$ e 333×10^{-4} ;
- Vp da ordem dos 2000 m/s.

5.9.2.2.5 Formação de Bica

Os calcários compactos com textura fina uniforme apresentam os seguintes valores das propriedades índice analisadas:

- Porosidade muito baixa (<1%) a baixa (<2%);
- Expansibilidade entre $0,42 \times 10^{-4}$ e $2,09 \times 10^{-4}$;
- Vp entre 4945 e 6577 m/s

As amostras com carácter brechificado mais acentuado apresentam os seguintes valores das propriedades índice:

- Porosidade entre 2,9 e 8,1 %;
- Expansibilidade entre $4,5 \times 10^{-4}$ e $20,82 \times 10^{-4}$;
- Vp entre 3680 e 4000 m/s.

5.9.2.2.6 Formação de Caneças

As rochas desta formação apresentam os seguintes valores das propriedades índice analisadas:

- Porosidade entre 18,4% e 30,7%;
- Expansibilidade entre $0,55 \times 10^{-4}$ e 101×10^{-4} , com valores mais frequentes entre 3×10^{-4} e 6×10^{-4} ;
- Vp entre 2421 e 4356 m/s, com valores mais frequentes entre 3000 e 4000 m/s.

5.9.2.3 Características de Resistência

5.9.2.3.1 Complexo M2 (Areolas da Estefânia)

Os níveis de biocalcarenito ocorrentes intercalados nos terrenos deste complexo apresentam os seguintes valores de resistência:

- Resistência à compressão uniaxial (RCU) = 11,3 MPa;
- Módulo de elasticidade (E) = 8,7 GPa;
- Resistência à tração entre 2,0 MPa.

5.9.2.3.2 Complexo M4 (Areias de Quinta do Bacalhau)

Os níveis de biocalcarenito ocorrentes intercalados nos terrenos deste complexo apresentam os seguintes valores de resistência:

- Resistência à compressão uniaxial (RCU) = 7,3 e 20,8 MPa;
- Módulo de elasticidade (E) = 12,5 e 18,0 GPa;
- Resistência à tração entre 2,2 e 3,6 MPa.

5.9.2.3.3 Tufos do CVL

Estas rochas apresentam os seguintes valores de resistência:

- RCU entre 2,3 e 20,5 MPa;
- E = 0,07 e 7,4 GPa
- Resistência à tração de 1,26 MPa.

5.9.2.3.4 Basaltos do CVL

As rochas são a pouco alteradas (W1 a W2) apresentam os seguintes valores de resistência:

- RCU = 94,9-135 MPa;
- E = 63,7-77,2 GPa;
- Resistência à tração de 10 MPa.

As rochas alteradas a muito alteradas (W3 a W4) exibem os seguintes valores de resistência:

- RCU = 15,1 MPa a 56,1 MPa;
- E = 4 GPa;
- Resistência à tração de 2,5 MPa (MP1-1).

5.9.2.3.5 Formação de Bica

Os calcários compactos com textura fina uniforme apresentam os seguintes valores de resistência:

- RCU = 81,9 a 95,4 MPa;
- E = 63,8 GPa;
- Resistência à tração entre 7,0 e 9,4 MPa.

As rochas com carácter brechificado mais acentuado apresentam os seguintes valores de resistência:

- RCU < 10 MPa;
- E = 21,5 MPa;
- Resistência à tração entre 3,0 e 4,8 MPa,

5.9.2.3.6 Formação de Caneças

As rochas desta formação apresentam os seguintes valores de resistência:

- RCU = 11,9 a 71,9 MPa, com valores mais frequentes entre 25 e 40 MPa;
- E = 6,3 a 28,7 GPa;
- Resistência à tração entre 1,4 e 4,4 MPa.

6 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

6.1 ZONAMENTO GEOTÉCNICO GERAL

O zonamento geotécnico proposto é de carácter global e serve às obras dos corredores TMSA e TCB. Esta opção valorizou o facto do ambiente geológico ser comum às várias obras, e por isso, ser importante manter uma visão de conjunto congruente que melhor explicasse o padrão das unidades geológicas encontrados. Nele foram incorporadas as especificidades de cada local e sobretudo incluídas gamas de variação das características geotécnicas em função dos terrenos atravessados.

O zonamento foi efetuado tendo por base os resultados do programa de prospeção e ensaios executados pela Geocontrol e LNEC (2016-2017), os resultados dos elementos provenientes dos arquivos da CML e de sondagens e ensaios “in situ” efetuados no âmbito de outras obras executadas nas imediações dos locais em estudo e ainda com base nos resultados da campanha de prospeção geológico-geotécnica complementar do projeto de execução.

Com este intuito, definiram-se 3 zonas principais, tendo-se depois subdividido as mesmas, primeiro em função da sua natureza e posição estratigráfica, a saber:

- ZG3, reunindo os solos de cobertura ou descomprimidos;
- ZG2, reunindo os solos do substrato e eventualmente rochas brandas;
- ZG1, integrando o maciço rochoso do substrato.

Estas zonas foram depois subdivididas em subzonas de acordo com:

- As características de resistência dos materiais (ZG*A/ZG*B);
- As litologias e complexos geológicos/estratigráficos incluídos nessas subzonas.

Na zona geotécnica ZG3 houve necessidade de estabelecer as subzonas ZG3B e ZG3A, de modo a diferenciar os solos fracos, muito soltos a soltos e moles a muito moles, com penetração do amostrador SPT inferior a 10 pancadas – incluídos na subzona ZG3B, daqueles solos da ZG3A presentes num estado de compacidade mediana, com valores de N_{SPT} entre 10 e 30 pancadas.

A subzona ZG3B assim definida, inclui as aluviões quaternárias, os aterros atuais de pior qualidade geotécnica e/ou as misturas indiferenciadas de aluviões e aterros com $N_{SPT} < 10$.

No caso da subzona ZG3A, esta inclui os aterros atuais e solos do miocénico descomprimido que, de acordo com a litologia, integram as unidades ZG3A(2) - aterros e ZG3A(3) - Mlocénico superficial descomprimido, respetivamente.

Para a zona ZG2, numa primeira abordagem seguiu-se o mesmo critério de diferenciação com base na resistência - subzonas A e B, desta feita adotando-se o número de pancadas do ensaio SPT e os valores de pressão limite do ensaio pressiométrico, como diferenciadores entre solos compactos a muito compactos – ZG2B - e solos muito compactos a eventualmente rochas brandas (argilas/argilitos, areias/arenitos, siltitos, margas, tufos) – ZG2A. Dentro de cada uma destas zonas, individualizaram-se complexos litológicos (areias e argilas) e/ou estratigráficos (série sedimentar/vulcânica) cujo comportamento mecânico e características geotécnicas são diferenciadas:

- Areias miocénicas ZG2*(1);
- Argilas miocénicas ZG2*(2);
- Piroclastos do CVL - ZG2A(3).

Na zona ZG1 a diferenciação geomecânica do maciço rochoso foi efetuada a partir da observação dos diagramas das sondagens, dos estados de alteração (W - ISRM) e fracturação (F – ISRM), das percentagens de recuperação e “RQD” (Rock Quality Designation – Deere, 1963) e da resistência à compressão uniaxial e deformabilidade dos espécimes.

Para os maciços rochosos da ZG1, definiram-se duas subzonas de resistência: a ZG1B que inclui rochas brandas a medianamente resistentes e a ZG1A, reportando-se às rochas de média a elevada resistência, que no conjunto, integram cinco unidades geotécnicas com base na natureza geológica e litológica que importa distinguir:

- Níveis greso-carbonatados do miocénico - ZG1B(1);
- Rochas piroclásticas e basaltos alterados do CVL - ZG1B(2);
- Calcários margosos do cretácico - ZG1B(3);
- Calcários compactos do cretácico - ZG1A(4);
- Basaltos do CVL - ZG1A(5).

6.2 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS GERAIS

No que respeita às zonas geomecânicas com comportamento de solo ou rocha branda, a sua parametrização foi efetuada com base na ponderação conjunta dos resultados dos ensaios de laboratório e dos resultados dos ensaios *in situ* através da utilização de correlações correntes disponíveis na bibliografia da especialidade [28 a 46].

No que diz respeito ao peso volúmico dos solos este parâmetro resultou da análise e integração dos dados coligidos dos ensaios de laboratório realizados e com base nas faixas de variação do valor padrão disponíveis na bibliografia geotécnica.

O coeficiente de Poisson foi estabelecido com base nas faixas de variação do valor padrão disponíveis na bibliografia geotécnica, que se apoiam na tipologia de solos definida pela Classificação Unificada de Solos (USCS) [3].

Os parâmetros de resistência dos solos foram atribuídos, para além da ponderação dos resultados dos ensaios de laboratório, através do uso de correlações comuns baseadas quer no ensaio SPT, quer nos resultados dos ensaios pressiométricos, a saber:

- No que respeita à coesão dos solos, através do Manual Dinamarquês de Engenharia de Fundações (DS 415, 1998) em Sorensen et Okkels (2013) [28], através das expressões de Terzaghi, Peck & Mesri (1996) [29], de Sivrikaya et Togrol (2002) [30], de Baguelin et al. (1978) [31] e de Amar e Jézequel (1971) [32], respetivamente e ainda com base nos intervalos de variação do valor padrão disponíveis na bibliografia geotécnica, que se apoiam na tipologia de solos definida pela Classificação Unificada de Solos (USCS), considerando para o efeito solos dos tipos SM, SC, ML, MH, CL e CH:
 - (1) c' (kPa) estimacão prudente = $0,1 \times c_u$
 - (2) c_u (kPa) = $4,65$ a $6,25 \times N_{SPT}$
 - (3) c_u (kPa) = $P_L / 5,5$
 - (4) c_u (kPa) = $(P_L / 10) + 5$
- No que respeita ao ângulo de atrito interno efetivo através das expressões empíricas de Peck, Hanson & Thornburn (1974) [33] e Hatanaka e Uchida (1996) [34], respetivamente, para solos granulares e Sorensen e Okkels (2013) [28], Mitchell e Soga (2005) [35], FHWA-IF-02034 (2002) [36], Therzaghi et al. (1996) [37] e Durgunoglu e Mitchell (1975) [38], respetivamente, para solos

finos e igualmente através dos ábacos constantes de Kulhawy e Mayne (1990) [39], NAVFAC DM-7.1 (1982) [40] e Ménard (1975) [41]:

$$(5) \phi' (\text{º}) = 27.1 + 0.3 \times (N1)_{60} - 0.00054 \times [(N1)_{60}]^2$$

$$(6) \phi' (\text{º}) = (20 \times N_{\text{SPT}})^{1/2} + 20$$

$$(7) \phi'_{\text{nc}} (\text{º}) = 39 - 11 \times \log (\text{IP})$$

$$(8) \text{Sin } \phi'_{\text{nc}} (\text{º}) = -0,1 \times \text{Ln} (\text{IP}) + 0,8$$

$$(9) \phi'_{\text{nc}} (\text{º}) = \arcsin \frac{0,8 - 0,094 \times \text{Ln} (\text{IP})}{1,10}$$

$$(10) \phi'_{\text{nc}} (\text{º}) = 35,7^{\circ} - 2,8 \times (\text{IP}) + 0,00145 \times (\text{IP})^2 \pm 8^{\circ}$$

$$(11) \text{Sin } \phi'_{\text{nc}} (\text{º}) = 0,8 - 0,094 \times \text{Ln} (\text{IP})$$

$$(12) P_{\text{Lim}} = b \times 2^{\frac{\phi' - 24}{4}}, \text{ onde } b \text{ varia entre } 1,8 \text{ (solos saturados) e } 3,5 \text{ (solos secos)}$$

- Relativamente ao módulo de deformabilidade, através das expressões de Ménard (1975) [41] posteriormente adaptadas por Baguelin et al. (1978) [31], Baud et Gambin (2013) [42], Bowles (1996) em AASHTO (1996) [43] e Kulhawy e Mayne (1990) [39]:

$$(12) E_{\text{oed}} (\text{MPa}) = E_m / 0,5 - 0,67 \text{ (solos dos tipos ML, MH, CH e CL)}$$

$$(13) E_{\text{oed}} (\text{MPa}) = E_m / 0,25 - 0,33 \text{ (solos dos tipos SM e SC)}$$

$$(14) E_{\text{oed}} / P_L^* = 16 \times (P_L^* / P_0)^{1/2} (\text{MPa})$$

$$(15) E_s (\text{MPa}) = 0,5 - 1,0 \times N_{\text{SPT}} \text{ em solos finos e } 1,0 \text{ a } 1,2 \times N_{\text{SPT}} \text{ em solos granulares}$$

$$(16) E_s (\text{MPa}) = 0,3 \times N_{\text{SPT}} + 1.8 \text{ para solos granulares finos}$$

- No que respeita ao coeficiente de impulso em repouso (K_0), o seu valor foi atribuído, nos solos normalmente consolidados granulares, através da expressão de Jaky (1944) [44], nos solos coesivos normalmente consolidados, através da expressão de Alpan (1967) [45] e nos solos sobreconsolidados miocénicos, com base nos estudos realizados por Laranjo (2013) [46]:

$$(17) K_0 = 1 - \text{seno } \phi'$$

$$(18) K_0 = 0,19 + 0,233 \times \text{Log}(\text{IP})$$

A parametrização do maciço rochoso foi efetuada com base na ponderação conjunta dos resultados dos ensaios de laboratório e dos resultados dos ensaios in situ, através da utilização de correlações correntes disponíveis na bibliografia da especialidade [47 a 51] e ainda através do uso de software de cálculo específico da mecânica das rochas.

As massas volúmicas e o coeficiente de Poisson atribuídas resultaram da análise e integração dos dados coligidos dos ensaios de laboratório realizados e nas faixas de variação do valor padrão disponíveis na bibliografia geotécnica.

Os parâmetros mecânicos foram atribuídos através da ponderação dos valores dos resultados dos ensaios dos ensaios laboratoriais disponíveis sobre as rochas da furação, do Critério de Hoek-Brown (2002) generalizado [47] - mb, a e s - por ponderação dos valores de GSI do maciço, atribuição de um valor mi em função do tipo de rocha e de um fator de perturbação D nulo (escavação com tuneladora), através do programa de cálculo automático Roclab (versão 1.0), através das formulações de Laginha Serafim e Paulino, J. Pereira (1983) [48], estimadas empiricamente com base na classificação de Bieniawski (1989) [49] e ainda com base na experiência do projetista em projetos do mesmo tipo e interessando o mesmo tipo de formações.

Para calibração dos resultados obtidos com o Roclab e na ausência de ensaios que permitam estimar a resistência ao corte ao longo das descontinuidades do maciço, as condições das descontinuidades influenciando as características resistentes globais do maciço, foram deduzidas com recurso às expressões propostas por Barton (1973, 1974, 1976, 1977 e 1990, em Hoek, 2006 [50]), tendo os parâmetros JRC e JCS sido determinados de forma empírica através da comparação com perfis de rugosidade-tipo (Barton & Choubey, 1977) [51] e com métodos propostos pela ISRM (ISRM Suggested Methods, 1981), respetivamente.

Finalmente, no que respeita ao coeficiente de impulso em repouso (K_0) das várias subzonas geotécnicas rochosas da ZG1, a sua gama de variação foi estimada com base no coeficiente de Poisson usando a lei de Hooke, admitindo de forma simplificada que os maciços em questão são elasto-lineares, isótropos e homogéneos:

$$(19) K_0 = \nu / (1-\nu)$$

No Quadro abaixo apresenta-se a síntese dos parâmetros geotécnicos considerados para as diferentes unidades geotécnicas. O zonamento exposto aplica-se a cada uma das obras dos corredores TMSA e TCB nas partes que lhes são aplicáveis.

Quadro 6.1 – Zonamento geotécnico geral e parâmetros geotécnicos considerado

Zona Geotécnica	Sub-zona	Zonamento										Parâmetros Geotécnicos										
		Complexos geológicos/Estratigrafia	Litologias	Descrição	Designação	N _{opt}	RCU (MPa)	PI* (MPa)	W (ISMIR)	F (ISMIR)	RQD (%)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)	cu (kPa)	Critério de Hoek-Brown			k0	E (*) (MPa)	ν	k (m/s)
																m	a	s				
ZG3	B	Aluviões quaternárias e aterros actuais, misturas indiferenciadas de aluviões e aterros	1. Aterros/aluviões	Areias, argilas arenosas, seixos, lodos muito soltos a soltos e/ou muito moles a medianamente consistentes	ZG3B(1)	<10	-	-	-	-	17-19	0	21-30 (25)	20+0.2s ^{v0} (25)	-	-	-	0,58	3-8	0.35-0.4	1.0E-05 a 1.0E-08	
	A	Aterros actuais	2. Aterros	Materiais heterogêneos de dimensões e natureza variadas (areias, seixos, cerâmica) em geral medianamente compactos	ZG3A(2)	10-30	-	-	-	-	19-20	0	30-36	-	-	-	-	0,47	8-25	0.35	1.0E-06 a 1.0E-07	
		Miocénico descomprimido	3. Miocénico superficial descomprimido	Solos de natureza argilosa e areno-siltosa medianamente compactos	ZG3A(3)	-	-	≤2	-	-	-	20-21	0	30-33(ar) 25-30(ag)	0 (ar) 100-350(ag)	-	-	-	0,5	10-30	0.30	1E-05 a 1E-07
ZG2	B	Formações do Miocénico	1. Areias miocénicas	Areias siltosas e argilosas, areias finas, por vezes com seixos rolados ou com intercalações argilo-arenosa, compactas	ZG2B(1)	30-60	-	-	-	-	21	0-20	31-35	-	-	-	-	0.3-1.4 (0.6)	30-50	0.30	1.0E-04 a 1.0E-07	
			2. Argilas miocénicas	Argilas siltosas e arenosas, margas e siltes arenosos com intercalações arenosa, muito rijas	ZG2B(2)	-	-	-	-	-	-	21	10-20	30-34	350-500	-	-	-	0.3-2.7 (0.5)	50-80	0.30	1.0E-7 a 1.0E-9
	A	Formações do Miocénico e do Complexo Neocretácico Vulcânico de Lisboa (CVL)	1. Areias miocénicas	Areias siltosas e argilosas, areias finas, por vezes com seixos rolados ou com intercalações argilo-arenosa, muito compactas	ZG2A(1)	≥60	-	-	-	-	-	21	0-20	35-40	-	-	-	0.3-1.4 (0.6)	50-60	0.30	1.0E-04 a 1.0E-07	
			2. Argilas miocénicas	Argilas siltosas e arenosas, margas e siltes arenosos com intercalações arenosa, muito rijas	ZG2A(2)							21	20-30	35-38	500-1000	-	-	-	0.3-2.7 (0.5)	80-125	0.30	1.0E-7 a 1.0E-9
			3. Piroclastos do CVL	Tufos argilosos muito compactos, eventualmente rochas brandas	ZG2A(3)							22-27 (22)	20-30	30-33	-	-	-	0,47	50-80	0.30	1.0E-7 a 1.0E-8	
			4. Calcários compactos do cretácico	Calcários margosos (C) do cretácico com níveis de margas (M), por vezes arenitos ou dolomitos em geral de resistência branda a média	ZG1B(3)							10-50 (20)	-	-	-	-	-	1,403	0,508	0,0022	0,25	1000->4000 C(3000)/ M(1000)
ZG1	B	Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL), níveis carbonatados do Miocénico e Formações Cretácicas de Bica (C ₂ ⁺) e de Caneças (C ₂ ⁺)	1. Calcarenitos/Arenitos miocénicos	Calcarenitos, em alguns casos bioconstruídos, calcários margosos, arenitos finos e grosseiros, de resistência branda	ZG1B(1)	-	-	-	-	-	-	21-23	300-400	28-32	-	2,384	0,508	0,0022	0,3	2000-2500	0.15-0.20 (0.20)	1.0E-7 a 1.0E-10
			2. Rochas piroclásticas/ Basaltos Alterados do CVL	Rochas vulcânicas do tipo tufo e brecha, basaltos alterados de resistência branda	ZG1B(2)							24-27	250(P)-500(B)	30-33	-	1.525 (P); 2.453 (B)	0.511(P); 0.506(B)	0.0013(P); 0.0007(B)	0,3	100-200(P); 450-650 (B)	0.10-0.20 (0.20)	1.0E-6 a 1.0E-8
			3. Calcários margosos do cretácico	Calcários margosos (C) do cretácico com níveis de margas (M), por vezes arenitos ou dolomitos em geral de resistência branda a média	ZG1B(3)							23-25	-	-	-	-	-	1,403	0,508	0,0022	0,25	1000->4000 C(3000)/ M(1000)
A	Escodas basálticas do Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL) e Calcários Cretácicos da Bica (C ₂ ⁺)	4. Calcários compactos do cretácico	Calcários cristalinos e calcários apinhoados em geral de resistência média a elevada	ZG1A(4)	-	-	-	-	-	-	25-28	-	-	-	2,012	0,506	0,0039	0,2	6000->9000	0.13-0.27 (0.20)	1.0E-6 a 1.0E-9	
		5. Basaltos do CVL	Escodas basálticas de resistência média a elevada	ZG1A(5)							25-29 (26)	-	-	-	-	-	4,192	0,506	0,0039	0,2	1800->20000	0.17-0.20 (0.20)

Notas:
 [] - valor recomendado pelo CE do Processo Concurso; () - valor característico ou mais frequente;
 (*) No maciço rochoso (ZG1) o módulo de deformabilidade indicado corresponde ao módulo do maciço obtido através ponderação conjunta do RCU e de EI do espécime intacto dos ensaios realizados no LNEC com as características e espaçamento da fracturação e litologia. No maciço terroso o módulo apresentado corresponde ao módulo para condições drenadas.

6.3 CARACTERÍSTICAS LOCAIS

6.3.1 PROJETO 01

6.3.1.1 Geologia e Hidrogeologia

O ambiente geológico atravessado pelo túnel no primeiro trecho desenvolve-se no flanco meridional do anticlinal de Monsanto afetando formações cretácicas, assentadas vulcânicas e formações de base da série Miocénica. Nos dois últimos trechos, a partir da Av. da Liberdade/Santa Marta, o túnel atravessa apenas a sequência miocénica, evoluindo da assentada do Aquitaniano ao Burdigaliano.

Entre a obra de entrada em Campolide e o Km 0+150, e novamente, entre Km 1+950 e Km 2+150, em uma extensão total de cerca de 350m, o túnel atravessa escoadas basálticas e tufos vulcânicos que afloram nos flancos do anticlinal de Monsanto. Segundo as sondagens SMT1 e SMT7 (Geocontrole, 2016-2017) realizadas à profundidade do túnel e as restantes cinco sondagens que a diferentes profundidades intersectam estas unidades, tratam-se sobretudo de basaltos de cor negra a acastanhada com abundantes preenchimentos calcíticos e texturas por vezes amigdaloides, reconhecidos em bancadas com 10-15m de espessura, pontualmente entrecortadas por níveis piroclásticos cimentados, pouco espessos (≈ 3 m), que refletem fases de carácter mais explosivo na atividade vulcânica.

Entre o Km 0+150 e o Km 0+350 e novamente entre o Km 1+700 e Km 1+900, em cerca de 400m de extensão, o túnel será aberto em calcários brancos com rudistas, que frequentemente exibem veios e massas de sílex de cor cinzenta (da *Formação de Bica* - C^{3c}). Segundo a sondagem SMT6 (Geocontrole, 2016-2017) realizadas à profundidade do túnel e as restantes sete sondagens que intersectam esta unidade a outras profundidades, é identificado a topo da unidade, na transição com o Complexo Vulcânico de Lisboa, a ocorrência de brecha calcária, níveis margosos e calcários brechóides muito carsificados – SMT7 – com pelo menos 6m de espessura, que evoluem para calcários compactos mas ainda assim com vestígios de carsificação e passagens argilosas de “terra rossa” e em profundidade para calcários cristalinos apinhoados de espessura superior a 12m e de elevada resistência mecânica.

No centro do anticlinal, entre os Km 0+350 e Km 1+700, o túnel atravessa em uma extensão de 1350m, os calcários margosos e margas calcárias da *Formação de Caneças* (C^{2AC}). As sondagens realizadas (SMT2, SMT3, SMT4 e SMT5 – Geocontrole, 2016-2017) mostram que se trata de uma sequência alternância de calcários margosos, compactos a finamente estratificados, com margas calcárias.

O flanco meridional do anticlinal, constituído pelas formações de Caneças e da Bica e coberto pelas lavas do CVL, encontra-se localmente tectonizado. Essa tectónica é visível sobretudo na intensa fracturação de

alguns trechos reconhecidos devido aos esforços gerados no dobramento e conseqüente formação da estrutura em anticlinal. O par de falhas prováveis intersecando o túnel entre os Km 0+350-0+400 que consta da cartografia geológica disponível, não foi contudo reconhecido pelas duas sondagens inclinadas SEP1-4 e SEP1-5 realizadas na campanha complementar do projeto de execução.

Entre os Km 2+150 e Km 3+050, o túnel atravessa (em ≈ 900 m) as *Argilas dos Prazeres* (MI), formação de base do Miocénico. As quatro sondagens SMP3, SMT8, SMT9 e SMT10 (Geocontrole, 2016-2017) reconheceram sobretudo uma alternância de margas calcárias muito compactas e finamente estratificadas e de bancadas de calcário margoso, que evoluem para argilas siltosas cinzento-escuras e cinza-azuladas ou esverdeadas, pontualmente intercaladas com areias médias e finas siltosas muito compactas.

A partir do Km 3+050 e até ao final do túnel ao Km 4+450, o túnel interessa sucessivas assentadas miocénicas – MII, MIII, MIVa, MIVb - que em comum exibem uma forte componente siltosa e arenosa. Em geral tratam-se de areias micáceas finas silto-argilosas amareladas e acinzentadas (areolas), com intercalações silte-arenosas e silte-argilosas cinzento azuladas e amareladas, por vezes argilosas e de níveis em geral pouco espessos de calcários gresosos muito fósseos.

Todas estas assentadas se encontram ligeiramente basculadas no sentido do quadrante SE (em média cerca de 5° - 10°), isto é para o rio Tejo.

O contexto hidrogeológico do setor rochoso, entre os Km 0+000 e 2+150 é determinado pelo estado de fissuração e alteração das rochas que a compõem.

A presença de níveis piroclásticos no CVL, de paleo-karsts a teto da unidade calcária da *Formação de Bica* e no seio da unidade da *Formação de Caneças* e ainda a presença de leitões margosos em todos estes horizontes aumenta a complexidade do funcionamento hidráulico do maciço.

Os fluxos subterrâneos são do tipo fissural (fraturas, paleo-karsts) e o seu débito depende da interconexão das fraturas, da sua abertura e o tipo de material de preenchimento. Eles são geralmente fracos como mostra a experiência sobre obras nestas formações. A zona de falha ao Km 0+350-0+400 poderá, contudo, ser sede de débitos mais importantes.

Os depósitos aluvionares do talvegue de Santa Marta, na zona de influência da ribeira de Valverde, próximo do que se pensa ter sido o leito principal dessa linha de água tributária do Tejo podem alimentar circulações no seio do CVL.

Os ensaios de permeabilidade e de bombagem realizados neste setor rochoso do túnel mostram valores de coeficiente de permeabilidade reduzidos, da ordem de 10^{-6} a 10^{-9} m/s. Nenhuma cavidade cárstica ou zona de forte permeabilidade foi evidenciada pelos trabalhos realizados, contudo estes resultados devem ser tomados com reservas, dada a baixa densidade de ensaios realizados.

Quanto aos níveis piezométricos, estes indicam níveis de água muito variáveis, compatíveis com níveis aquíferos escalonados a diversas alturas, típicos de ambientes fraturados. Uma análise destes níveis parece indicar que:

- Na origem do projeto, o nível de água no CVL parece estar relacionado com o nível do aquífero que desagua no talvegue da antiga ribeira de Alcântara;
- No núcleo da estrutura em anticlinal, os níveis piezométricos registados nas formações cretáceas são muito variáveis, típicos do seu funcionamento fissural escalonado, mostrando-se na generalidade acima da cota do coroamento do túnel.

O contexto hidrogeológico do setor terroso, entre os Km 2+150 e o final do túnel, é caracterizado pela presença de um sistema multicamada, que potencia a ocorrência de comportamentos hidrogeológicos diversos, criando alternâncias mais ou menos cíclicas de aquíferos, aquíferos e aquíclados. Este sistema aquífero multicamadas favorece os fluxos de drenagem entre camadas, dado que as variações de fácies laterais e verticais, responsáveis por alterações significativas nas condições hidrogeológicas, são frequentes.

As permeabilidades medidas nos ensaios de permeabilidade realizados são variáveis, mas em geral reduzidas ($10^{-6} < k < 10^{-9}$ m / s), como atrás foi referido.

Os piezómetros instalados ao longo do traçado do túnel põem em evidência níveis de água muito variáveis na série sedimentar do Miocénico:

- Os piezómetros nos furos das sondagens SMT8 e SMT9 indicam circulações em carga dentro da assentada MI (argilitos com níveis arenosos);

- Os piezómetros nos furos das sondagens SMP4 e SMT11 parecem indicar que o nível piezométrico da assentada MII (areias muito finas ± argilosas) está relacionado com o aquífero superficial que flui no vale da antiga ribeira de Arroios na Avenida Amirante Reis;
- O piezómetro instalado no furo da sondagem SMT12 indica um aquífero em carga na assentada MIII (siltes arenosos), consistente com fluxos de drenagem inter-camadas;
- Os piezómetros nos furos das sondagens SMT14 e SMT15 são igualmente consistentes com um padrão de fluxos de drenagem intercamadas no teto de níveis menos permeáveis da assentada MIVa.

6.3.1.2 Geotecnia

De forma sintética, o túnel atravessa na sua metade noroeste, uma estrutura rochosa anticlinal com calcários e calcários margosos do Cretáceo, das formações da Bica (C^{3C}) e de Caneças (C^{2AC}), cobertas pelo complexo vulcânico de Lisboa (CVL) constituído por basaltos e tufos vulcânicos;

Na sua metade sudeste o túnel irá intercetar parte da série sedimentar miocénica de Lisboa (MI a MIVb) constituída por terrenos compactos de natureza areno-argilosa e areno-siltosa dominante com presença de horizontes rochosos pouco possantes e descontínuas de resistência branda (calcarenitos) e argilitos (MI = *Formação das Argilas dos Prazeres*).

No que respeita ao setor rochoso noroeste, a Figura abaixo mostra os valores de resistência obtidos nos ensaios de compressão uniaxial realizados sobre as rochas calcárias das formações de Bica e Caneças.

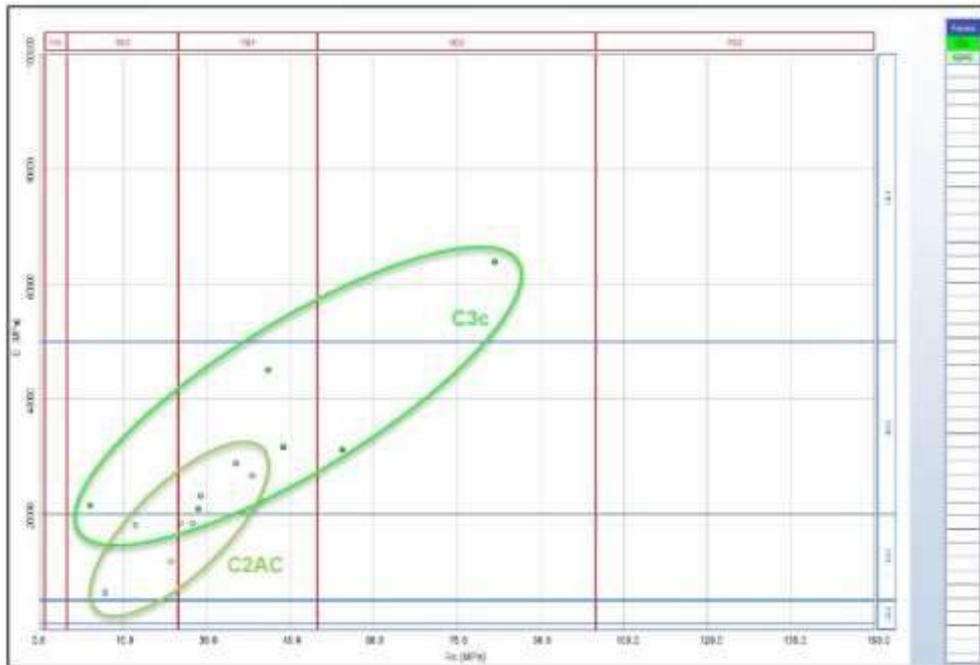


Figura 6.1 – Relação RCU/E das rochas calcárias das formações da Bica e Caneças obtida nos ensaios de compressão uniaxial

Observa-se que as rochas da *Formação da Bica* apresentam alguma dispersividade de resistências, sendo caracterizadas por:

- RCU = 6,8 – 95 MPa, com valor médio de 45 MPa, portanto rochas de média resistência (ISRM);
- E = 20,9 – 63,8 GPa, com E médio de 35 GPa, portanto com matriz muito rígida.

As rochas da *Formação de Caneças* apresentam menos dispersividade de resistências, sendo caracterizadas por:

- RCU = 12 – 72 MPa, com valor médio de 427 MPa, portanto rochas de média a fraca resistência (ISRM);
- E < 28,7 GPa, com valor médio de 18 GPa, portanto com matriz rígida.

A Figura abaixo mostra os valores de resistência obtidos nos ensaios de compressão uniaxial realizados sobre as rochas vulcânicas do CVL.

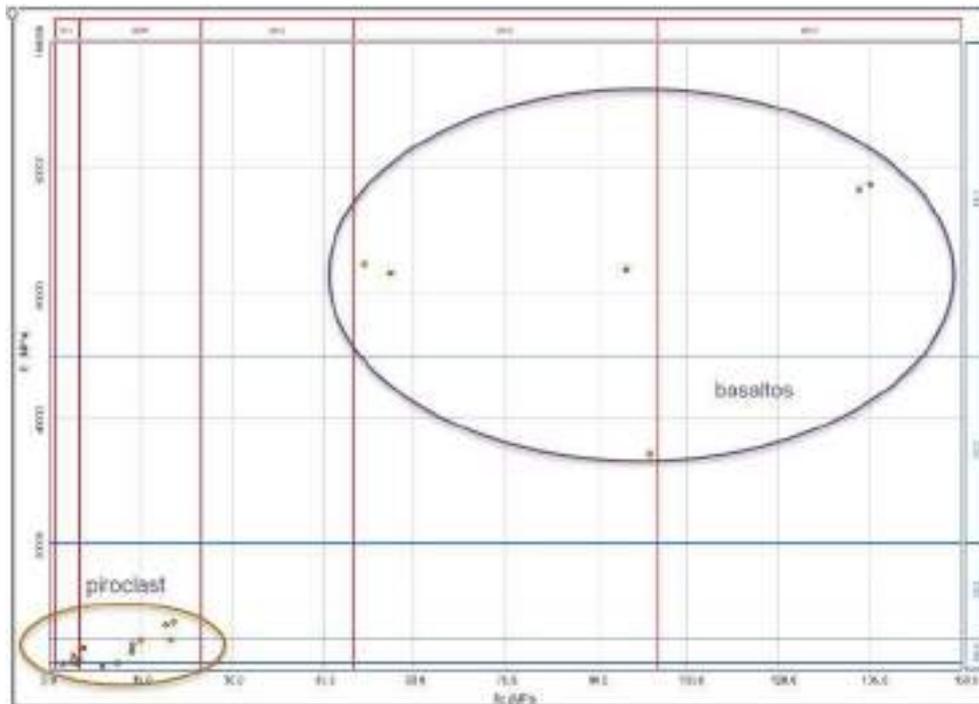


Figura 6.2 – Relação RCU/E das rochas do CVL

Observa-se grande dispersividade nos valores de resistência obtidos nas rochas do CVL:

- RCU = 3,6 a 135 MPa, evidenciando pois no mesmo complexo rochas de muito baixa resistência até rochas muito resistentes (ISRM);
- Valore de módulo de elasticidade que caracterizam matrizes rochosas pouco rígidas ($E = 0,5 \text{ GPa}$) a extremamente rígidas ($E = 77 \text{ GPa}$).

Conclui-se assim que os basaltos são correspondem a rochas resistentes a muito resistentes e muito rígidas e que as rochas ochas piroclásticas (tufo vulcânicos) se tratam de rochas muito pouco a pouco resistentes e pouco rígidas.

No que respeita ao setor terroso sudeste, as Figuras abaixo mostram a carta de plasticidade e a relação IP/VBS obtidas nos ensaios de laboratório realizados sobre os solos ocorrentes.

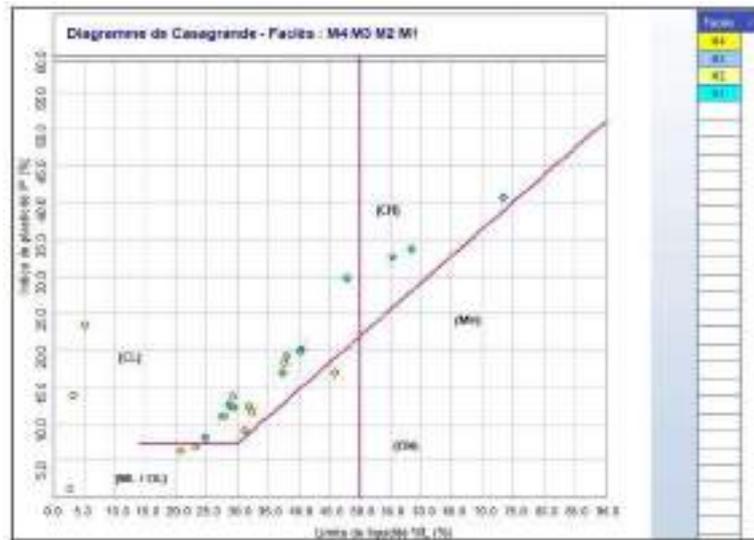


Figura 6.3 – Carta de plasticidade dos solos da série miocénica atravessada pelo túnel

Observa-se que os solos atravessados vão desde areias siltsosas não plásticas (SM) até argilas inorgânicas muito plásticas (CH) incluindo os solos intermediários CL e ML. (argilas inorgânicas, siltes ou areias siltsosas a muito siltsosas de plasticidade baixa a média).

Observa-se, igualmente, que os solos são maioritariamente pouco plásticos ($IP < 25$) e, portanto, pouco aderentes à cabeça de corte.

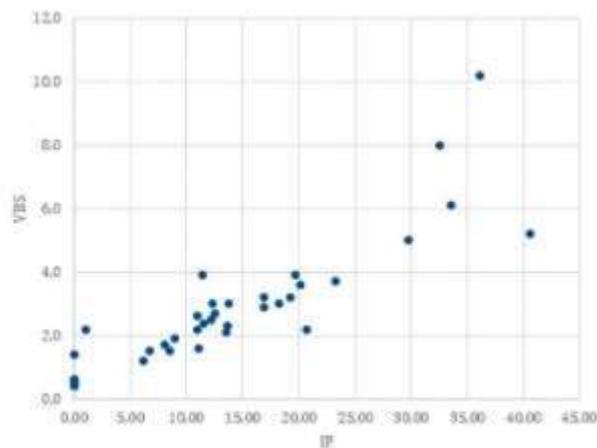


Figura 6.4 – Relação IP/VBS solos da série miocénica atravessada pelo túnel

A Figura abaixo mostra os valores de resistência obtidos nos ensaios de compressão uniaxial realizados sobre os horizontes rochosos pouco possantes e descontínuos que ocorrem intercalados nos solos da série miocénica.

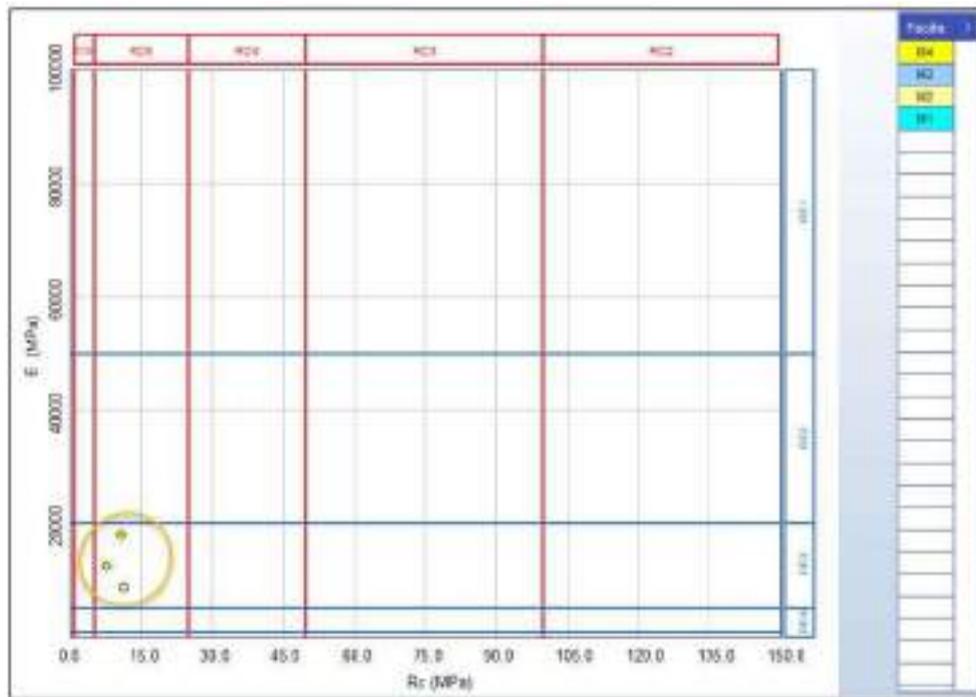


Figura 6.5 – Relação RCU/E das camadas rochosas da série miocénica atravessada pelo túnel

Apesar dos poucos ensaios disponíveis, observa-se que se tratam de rochas brandas de baixa resistência ($RCU = 7,3$ a $20,4$ MPa com valor médio de 10 MPa) e com matriz rochosa rígida ($8,7 < E < 18$ GPa - $E_{médio} = 13$ GPa).

O zonamento geotécnico ao longo do túnel adota, no essencial, o zonamento geral considerado e atrás desenvolvido, mas a sensibilidade da obra, dita urbana, ditada pelos tipos de terrenos atravessados (grande heterogeneidade de fácies e contrastes importantes de rigidez entre solos e rochas), recobrimento (responsável por grande heterogeneidade no estado de tensão em profundidade), sensibilidade da edificação à superfície (presença de edifícios centenários) e em profundidade (com estruturas enterradas), hidrogeologia por vezes complexa (presença de níveis freáticos escalonados a diferentes alturas e da eventualidade da existência aquíferos confinados em pressão limitados por camadas impermeáveis) e presença de tectonização (causando alterações ao estado de tensão), levou a um refinamento do mesmo.

Consideraram-se como matriz de pontos particulares que determinaram o refinamento do zonamento os pontos seguintes:

- Km 0+350/400: presença de uma zona de falha que afeta um dos flancos do anticlinal de Monsanto;
- Km 2+100 a 2+200: travessia do talvegue da linha de água onde é atualmente a Rua de Santa Marta:
 - Área densamente urbanizada e com edificado centenário;
 - Baixa cobertura (2 a 3 \emptyset);
 - Contexto geológico: complexo vulcânico de Lisboa (CVL) sob aluviões;
 - Riscos geológicos:
 - Natureza das formações vulcânicas (tufos ou basaltos);
 - Espessura de sua franja de alteração (materiais de alteração argilosos e expansivos ?);
 - Sobrescavação possível da franja de alteração pelas aluviões;
- Km 3+080 a 3+180: travessia do talvegue da linha de água na atual Av. Almirante Reis:
 - Área densamente urbanizada;
 - Baixa cobertura (2 a 3 \emptyset);
 - Passagem sob o metro e sob um coletor (Caneiro da Almirante Reis) a uma distância de 1 \emptyset ;
 - Contexto geológico: areias muito finas (MII) com baixa permeabilidade;
 - Riscos geológicos:
 - Espessura e características geomecânicas das aluviões e aterros;
 - Permeabilidade e características geomecânicas das areias muito finas;
- Km 4+380 a 4+450: saída em Santa Apolónia:
 - Área densamente urbanizada;
 - Baixa cobertura (1 \emptyset);
 - Contexto geológico: areias finas \pm argilosas (MIVb);
 - Riscos geológicos:
 - Espessura e características geomecânicas das aluviões;
 - Permeabilidade e características geomecânicas das areias finas \pm argilosas.

No que diz respeito à natureza geológica dos terrenos atravessados, distinguiram-se pois, duas zonas: a parte noroeste com componente rochosa dominante (ZG1) e a parte sudeste, de características terrosas,

onde o túnel será escavado em terrenos geralmente compactos/rijos, com dominância da componente areno-argilosa (ZG2).

Foram depois definidas subzonas para estas duas grandes unidades para acomodar a profundidade do túnel e suas interações com o edificado:

- Subzona A (ZG1A e ZG2A): cobertura superior a 2 ϕ ;
- Subzona B (ZG1B e ZG2B): o túnel passa a menos de 2 ϕ sob uma construção sensível (metro, edifícios sensíveis à superfície);
- Subzona ZG2C: o túnel é escavado a baixa profundidade (< 2 ϕ) em aluviões (boca saída sudeste);
- Subzona ZG1F: onde o túnel atravessa acidentes tectónicos que podem afetar consideravelmente as características mecânicas do maciço rochoso.

A Figura abaixo mostra as proporções das zonas geotécnicas definidas a escavar ao longo do traçado do túnel.

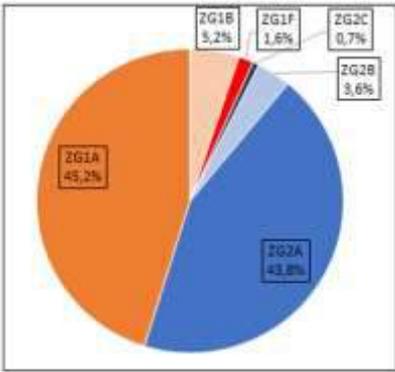


Figura 6.6 – Proporções das zonas geotécnicas a escavar

O Quadro abaixo mostra o zonamento geotécnico refinado para o túnel TMSA, a partir do zonamento geral atrás apresentado.

Quadro 6.2 – Zonamento geotécnico túnel TMSA

Zonas Geotécnicas	Litologias interessadas			Características geotécnicas dos terrenos atravessados pelo túnel								
	Ao nível do túnel	Terrenos de cobertura	Observações	Alteração (W)	Fracturação (F)	N _{irr}	RQD (%)	E (GPa)	RCU (MPa)	Ângulo de atrito ϕ' (°)	Coesão (kPa)	Peso específico (kN/m ³)
ZG1	ZG1A	Calcários margosos (Caneças -C2AC)	-	W4-W2	F4-S a F3	-	?	1 - >4 Calcários: 3GPa Margas: 1GPa	10-40	27-32 Calcários: 30° Margas: 27°	450-1000 Calcários: 600 Margas: 450	24-27
		Calcários cristalinos (Bica-C3C)	Presença sílex	W4-W2	F4-S a F3	-	?	6 - >9	Calcários:10-60; Sílex: >60 a 100	30-32	1600-2400	
	ZG1B	Basaltos e tufo compactos (CVL)	Basaltos	W4-W2	F4-S a F3	-	?	1.2 - >20 (valor refer. 18)	25-100 (pontualm. 15-25 e 100-135)	30-32	800~1000 (valor ref. 1000)	26-29
			Basaltos alterados e tufo	W4-W2(T)	F4-S a F3	>60	?	100-200	4-<20(T)	30-33	250-300	24-27
	ZG1F	Rocha fraturada	Falha	W5	F5	?	?	0.5-1	5	26-28	200-300	22-23
ZG1B	Calcários cristalinos, calcários margosos e/ou basaltos	Aluviões, aterro, grés, argilito	Zona sensível	-	-	>60	?	1 - >8	10-90	27-32	450 - 2400	24-27

Zonas Geotécnicas	Litologias interessadas			Características geotécnicas dos terrenos atravessados pelo túnel									
	Ao nível do túnel	Terrenos de cobertura	Observações	Alteração (W)	Fracturação (F)	N _{irr}	RQD (%)	E (GPa)	RCU (MPa)	Ângulo de atrito ϕ' (°)	Coesão (kPa)	Peso específico (kN/m ³)	
ZG2	ZG2A	Areias argilosas, argilas, margas e níveis de rocha (calcarenito) - M1, MII, MIII, MIVa, MIVb	-	-	-	30->60	-	calcarenitos: 1.2-1.8; Areias e argilas E=0.03-0.125	7-20	31-40	5-20	21	
	ZG2B	Areias argilosas, argilas, margas e níveis de rocha (calcarenito) - M1, MII, MIII, MIVa, MIVb	Aluviões, aterro, grés, argilito	Zona sensível	-	-	<30	-	Areias e argilas; E=0.01-0.03	-	25-33	0	21
	ZG2C	Aluviões, aterros, grés e argilitos	-	-	-	-	<15 a <30	-	-	-	21-36	0	18-21

As Figuras abaixo mostra a repartição das zonas geotécnicas definidas, ao longo do traçado do túnel.



Figura 6.7 – Zonamento geotécnico longitudinal do TMSA – setor rochoso noroeste

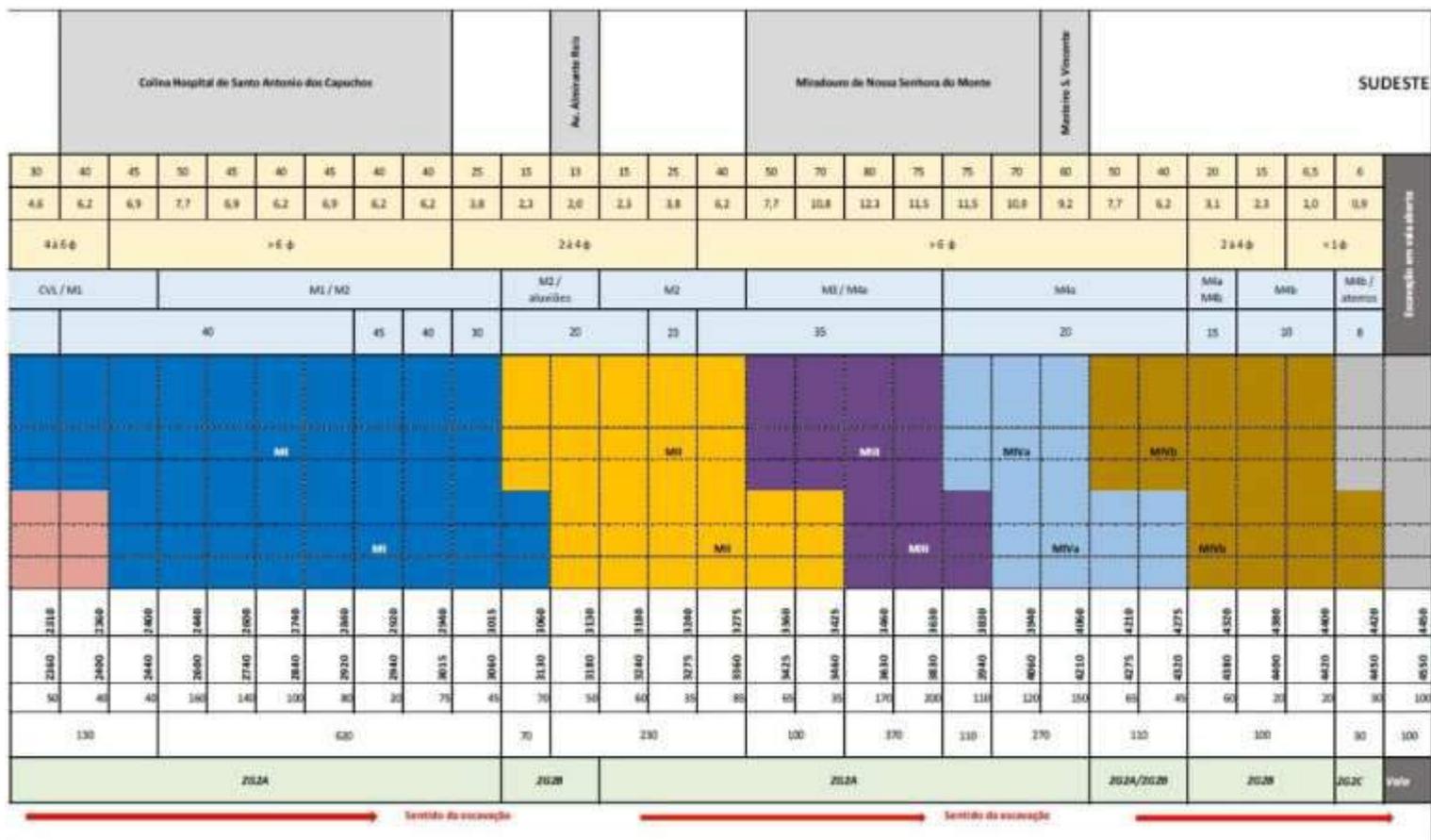


Figura 6.8 – Zonamento geotécnico longitudinal do TMSA – setor terroso sudeste

Projeto 00 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

PROJETO DE EXECUÇÃO
MEMÓRIA DESCRITIVA
P00-GER-GER-PE-MEM-EGG-00.01-R2

6.3.1.3 Condições de Escavação

A Figura abaixo resume as proporções dos terrenos a escavar. Observa-se que;

- O setor rochoso noroeste representa pouco mais de 50% (53%) dos terrenos a escavar, dos quais 13% correspondem às formações vulcânicas do CVL e 40% às formações sedimentares calcárias do Cretácico;
- Os terrenos do Miocénico, com comportamento de solo ocorrentes no setor sudeste, representam um pouco menos de 50% dos terrenos escavados, distribuídos de forma bastante equilibrada entre as assentadas MI (16%), MII (7%), MIII (11%) e MIV (12%).

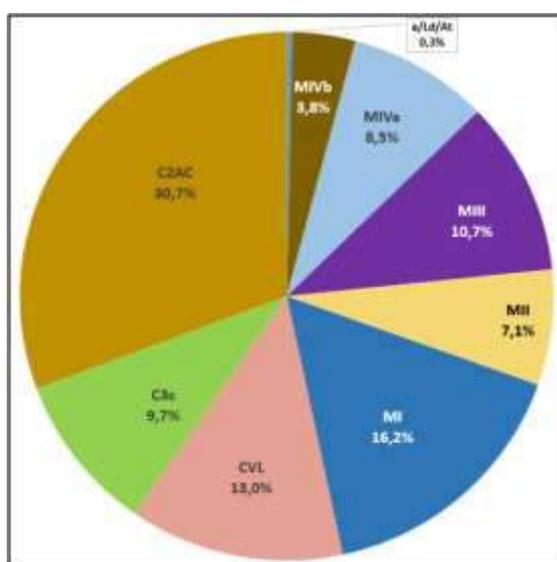


Figura 6.9 – Proporções dos terrenos a escavar

O histograma da Figura abaixo mostra a distribuição dos terrenos escavados por natureza:

- As fácies argilosas + aderentes representam 16% dos terrenos a escavar e correspondem à assentada miocénica MI;
- As fácies arenosas a areno-argilosas com intercalações de bancadas rochosas de possança variável representam 26% do total de terrenos a escavar. Nesta estimativa, agrupou-se as assentadas MII e MIVa (15%) e MIII (11%);
- Os 53% de fácies rochosa podem ser subdivididos em 22% de rocha resistente (CVL + C³C) e 31% de rocha moderadamente resistente (C²AC).

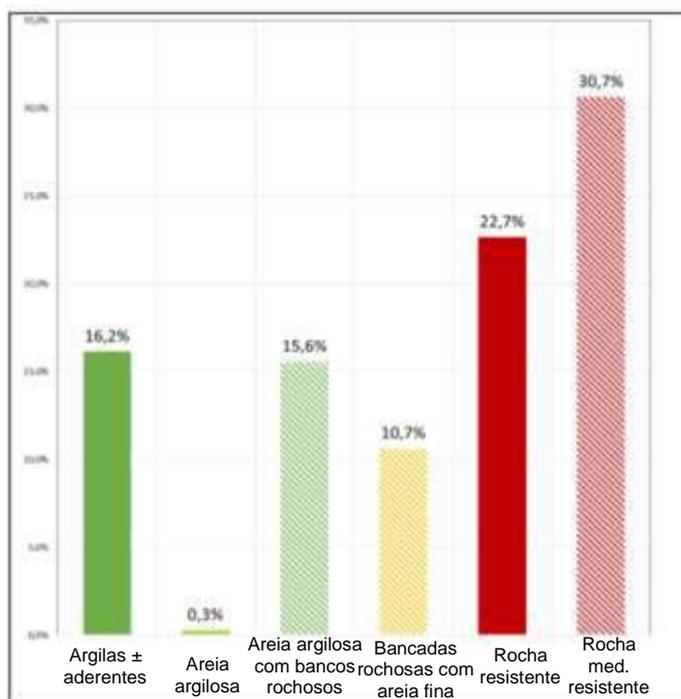


Figura 6.10 – Proporções dos terrenos a escavar, por natureza

As proporções das frentes em função das unidades geológicas encontradas e da natureza das frentes encontra-se sintetizada na Figura abaixo. Observa-se que:

- 85% das frentes serão escavadas em "face plena";
- Para os restantes 15% de escavação em frentes mistas:
 - Menos de 3% envolve as unidades rochosas no setor noroeste;
 - A transição do setor noroeste para setor sudeste será gradual, com uma frente mista "rochosa / argilosa" (CVL / MI) representando 3% do traçado;
 - Os restantes 10% de frentes mistas envolvem as formações sedimentares do Miocénico, constituídas por terrenos areno-silto-argilosos com bancos rochosos brandos;
 - As frentes ditas "mistas" envolvem diferentes unidades geológicas cujo comportamento mecânico em escavação é próximo.

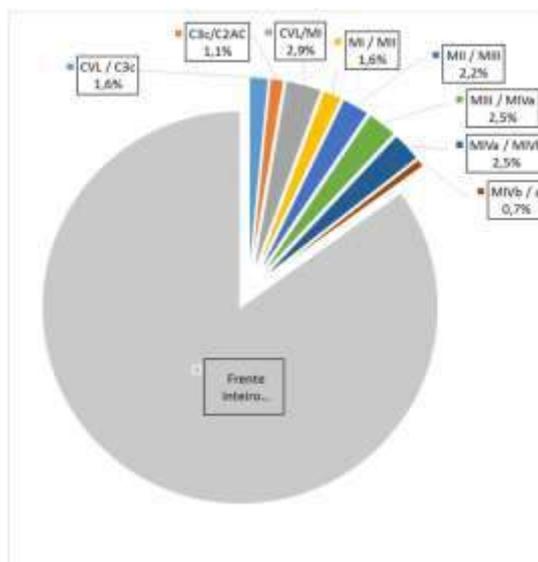


Figura 6.11 – Repartição das frentes a escavar, por unidade geológica

À escala do projeto, dois comportamentos de frente são esperados:

- No setor noroeste, um comportamento de frentes rochosas com a presença maciços rochosos com fraca anisotropia ou maciços rochosos anisotrópicos, com resistência e rigidez diferentes (basaltos, piroclastos, calcários cristalinos e calcários margosos);
- No setor sudeste, um comportamento de frentes terrosas, com solos geralmente compactos/rijos e com a presença de bancadas rochosas brandas, de possança e continuidade variável, que podem ajudar a “armar” o terreno ou, devido às suas fracas continuidade e possança não ter grande influência no seu comportamento mecânico.

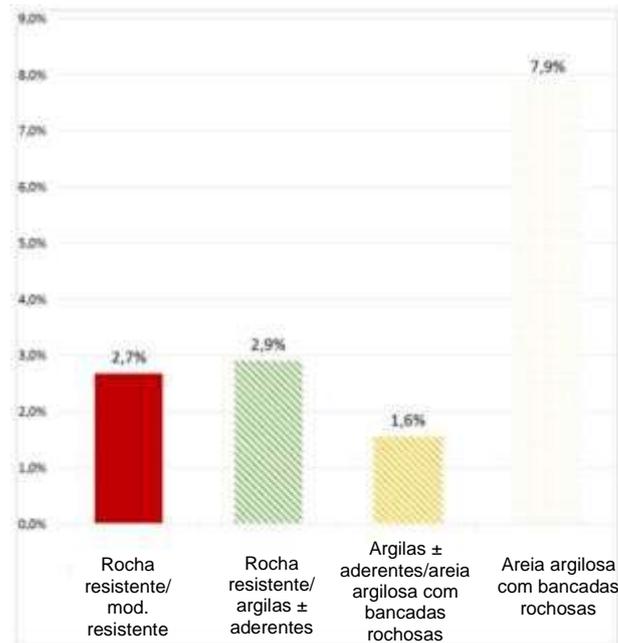


Figura 6.12 – Natureza das frentes mistas em % (15% de frentes mistas)

6.3.2 PROJETO 02

6.3.2.1 Geologia e Hidrogeologia

As obras de desvio do Caneiro de Alcântara localizam-se na bacia da ribeira de Alcântara, na margem esquerda do antigo leito dessa ribeira. O vale neste sector era até ao século XX ocupado por quintas e hortas e a ribeira corria em muitos trechos a céu aberto. A partir dos anos 40, com o aumento da pressão industrial e crescente urbanização de Lisboa a jusante, o vale foi sendo modificado e encanado. Atualmente, o caneiro de Alcântara estende-se desde o concelho da Amadora até ao rio Tejo.

Em Campolide, e em particular no local em estudo, a fisiografia da ribeira e das suas margens começou a sofrer alterações logo a partir do século XIX com a construção do túnel do Rossio-Campolide, em 1887. A maior transformação no local ocorreu com a construção e posterior ampliação da Estação de Comboio de Campolide, em 1940-1950, e instalação do Caneiro de Alcântara (1945), obras que foram responsáveis pela canalização e desvio da ribeira do seu leito original, deposição de terras sobranes na margem esquerda (encontrados na zona em estudo) e substituição das aluviões da ribeira por materiais de aterros (Figura 6.13 e Figura 6.14).



Figura 6.13 – Da esquerda para a direita: Carta de 1911 de Silva Pinto (CML) após obras para túnel do Rossio, carta de 1950 (CML) após obras da Estação CP-Campolide, caneiro na Carta de 1970-1983 (CML)



Ponte Tarujo vista de jusante-montante

Ponte Tarujo vista de montante para jusante

Caneiro de Alcântara (1945)

Figura 6.14 – Fotos da antiga Ponte do Tarujo sobre a Ribeira de Alcântara (em 1912) e da construção do Caneiro de Alcântara (em 1945)

Esta ribeira, no sector de Campolide instalou-se no Complexo Vulcânico de Lisboa, num vale relativamente aberto e aplanado, apenas marginado à direita pelo Anticlinal de Monsanto. Para jusante da Av. Calouste Gulbenkian, a ribeira escavou margens abruptas e talvegues muito encaixados nos calcários cenomanianos (Figura 6.15).

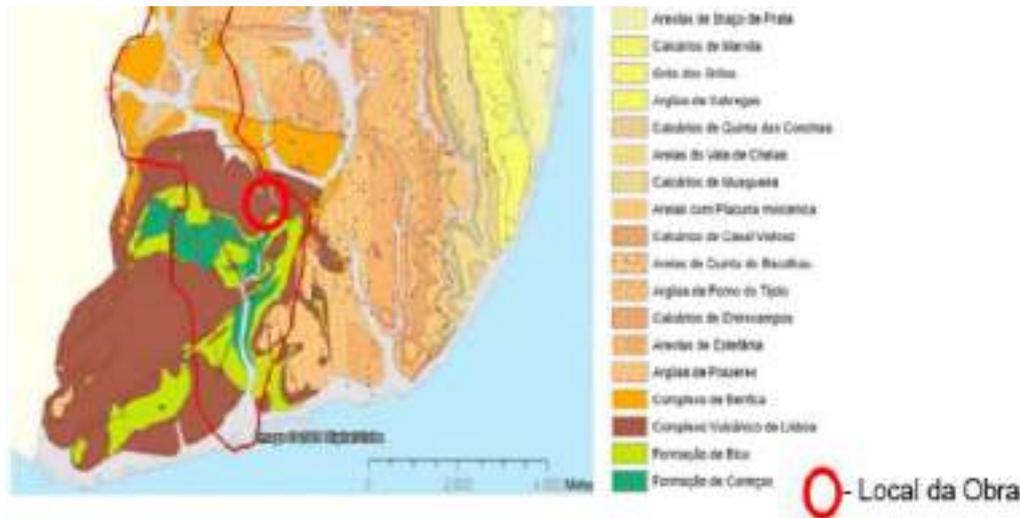


Figura 6.15 – Delimitação da Bacia hidrográfica da Ribeira de Alcântara, na Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala 1:10 000 (extraído de Oliveira, 2010)

Do ponto de vista da geologia, o Complexo Vulcânico de Lisboa na área interessada pelo projeto foi reconhecido subjacente aos aterros, integrando dois tipos litológicos: tufos vulcânicos e basaltos com diferentes graus de alteração e fracturação. Pontualmente é possível encontrar brechas vulcânicas com expressão e espessuras reduzidas, que não foram tidas em conta para os zonamentos efetuados.

No que respeita à hidrogeologia, os elementos disponíveis dizem respeito a medições:

- Dos níveis de água no interior das sondagens próximas, a saber: a 12,7m de profundidade na sondagem SMP1 (cota 38.34) e a 14,5m de profundidade na sondagem SMP2 (cota 37.46);
- Dos níveis hidrostáticos do ensaio de bombagem realizado junto da sondagem SMP1, com indicação das cotas (40.15), e (40.11) no furo de bombagem SMP1 e piezómetros PMP1, localizados próximos entre si e próximos do Caneiro de Alcântara no que poderá ser a zona de influência do antigo leito e a cota (36.94) no PMP2, localizado no centro da futura bacia anti poluição.

6.3.2.2 Geotecnia

Os aterros reconhecidos na zona do Poço de Grossos e Tamisagem são solos de granulometria muito heterogénea, constituídos a topo por areias silto-argilosas com seixo e calhau de calcário e fragmentos cerâmicos com 4-6m de espessura e na base por blocos e calhaus de basalto, argilas e tufos que se

desenvolvem até aos 6m e 12m de profundidade, respetivamente, nas sondagens SMR1 e SMP1. Toda a espessura de aterros foi integrada na zona geotécnica ZG3A(2) atrás definida no capítulo 6.1.

No que respeita ao substrato do Complexo Vulcânico de Lisboa, os tufos são predominantes no local, caracterizando-se por tufos vulcânicos silto-argilosos finamente estratificados e consolidados, de cor vermelha “borra-de-vinho” com passagens mais gresosas de cor cinzento esbranquiçado, que integram a zona ZG2A(3).

Os basaltos apresentam-se em geral sob a forma de intercalações pouco espessas de 1m-1,5m reconhecidos em todas as sondagens no seio dos tufos e apenas pontualmente, com 6-7m de espessura nas sondagens SMP2 e S-B. Os basaltos são de cor cinzento-escuro a negra exibem frequentes concreções e filonetes de calcite esbranquiçada e encontram-se com alteração forte a moderada (W3-4 – ISRM) muito pontualmente, moderada a pouco alterada (W2-3 – ISRM), com fracturação próxima a muito próxima (F4-5 – ISRM), traduzida em valores do índice RQD (Deere, 1963) variáveis entre 0 e 25% (pontualmente 78%). Dado o seu estado de alteração e sobretudo fracturação estes níveis foram integrados na zona ZG1B(2).

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

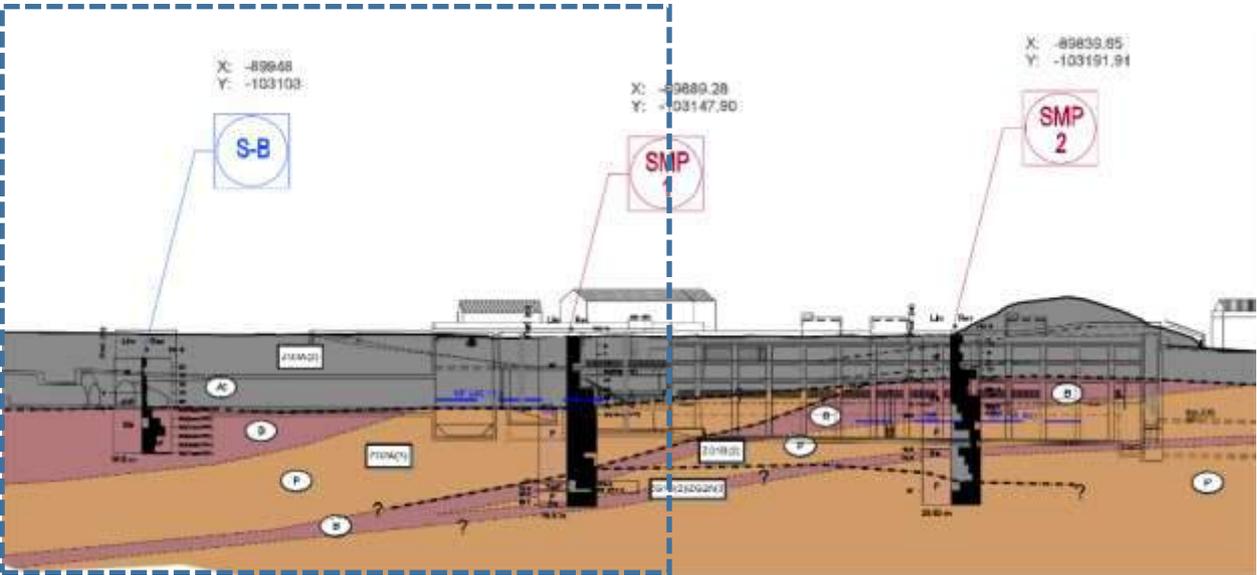


Figura 6.16 – Zonamento adotado no Projeto E2

6.3.2.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação da unidade dos aterros - ZG3A(2) - se poderá realizar com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde.

Os tufos vulcânico identificados com a subzona geotécnica ZG2A(3) carecem, à partida, para o seu desmonte, de meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde, sendo igualmente de prever o “ripper” para o desmonte de camadas de rocha branda.

Por outro lado, a projeção dos resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial realizados sobre os basaltos no ábaco de Franklin et al. (1971) [52] que se apresenta na Figura abaixo, situa estas rochas nos campos do desmonte com escavação com “ripper” até à desagregação mecânica com explosivos.

Todavia, uma vez que o traçado se desenvolve em meio urbano e não é permitido a utilização de explosivos, terá de se prever a desagregação dos maciços mais resistentes com meios pesados alternativos aos explosivos, que podem passar pelos meios mecânicos de baixa vibração, como sejam a darda ou cunha hidráulica, martelo demolidor com vibração reduzida, sistema tipo “drill and split”, os bits expansivos ou fracturação hidráulica (“hydraulic splitting”) ou os meios químicos, como sejam as argamassas expansivas ou os sistemas Cardox (dióxido de carbono líquido) ou Nonex (nitrogénio e dióxido de carbono).

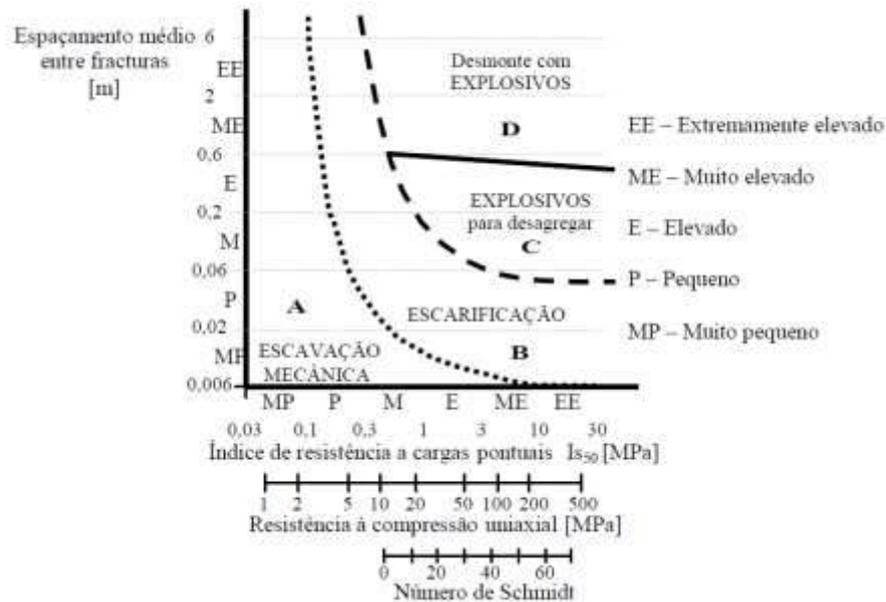


Figura 6.17 – Classificação da escavabilidade de maciços rochosos, segundo Franklin et al. (1971)

6.3.3 PROJETO 03

6.3.3.1 Geologia e Hidrogeologia

As condições geológicas do Projeto 03 encontram-se descritas no subcapítulo 6.3.2.1, referente ao projeto 02.

6.3.3.2 Geotecnia

As condições geotécnicas do Projeto E3 encontram-se descritas no subcapítulo 6.3.2.2, referente ao projeto 02.

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

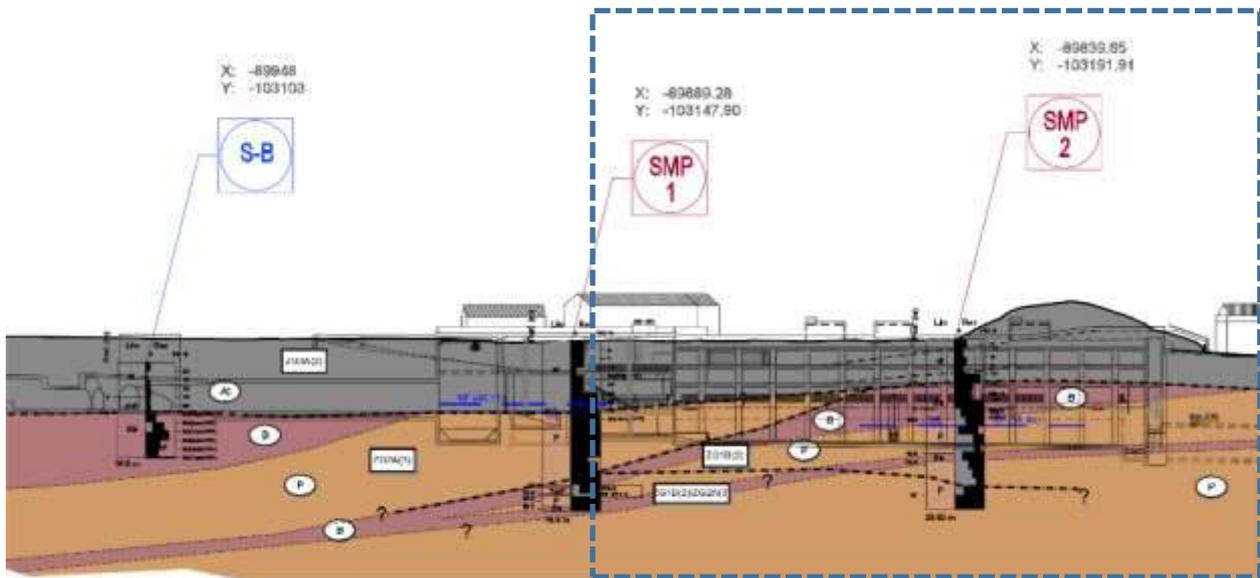


Figura 6.18 – Zonamento adotado no Projeto E3

6.3.3.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições de escavação e desmonte do Projeto E3 encontram-se descritas no subcapítulo 6.3.2.3, referente ao projeto E2.

6.3.4 PROJETO 04

6.3.4.1 Geologia e Hidrogeologia

As obras de drenagem e interceção na Av. da Liberdade localizam-se na bacia da ribeira de São Sebastião da Pedreira, que a jusante da Praça Marques de Pombal, passa a designar-se de ribeira de Valverde, como referência à fertilidade dos campos de cultivo aí existentes e à topografia suave do vale (“vale”-“verde”) até finais do séc. XIX.

No limite de montante da ribeira de São Sebastião da Pedreira, na zona do Parque Eduardo VII, a erosão trabalhou as partes altas do flanco meridional do anticlinal de Monsanto, pondo a descoberto as formações do Complexo Vulcânico de Lisboa e ainda os calcários do cretácico. Para jusante da praça Marques de Pombal, o canal escavado pela ribeira de Valverde, interessou somente as formações miocénicas.

Os cursos de água principais e seus afluentes foram sendo progressivamente alterados, com as aluviões substituídas por aterros e a superfície modelada para construção da urbanização da Av. da Liberdade.

Do ponto de vista da geologia, o substrato da zona em estudo é constituído por formações de base do Miocénico de Lisboa, designadamente, pelas *Argilas dos Prazeres* (MI), com espessuras reconhecidas no local, da ordem os 9m. Subjacente a estas, as escoadas basálticas do Complexo Vulcânico de Lisboa estendem-se até cerca de 30m de profundidade, dando lugar, em profundidade aos calcários do cretácico da *Formação da Bica* – C_{3c}.

No que respeita à hidrogeologia, e não existindo elementos relativos a ensaios de bombagem efetuados no local, os elementos disponíveis dizem respeito a medições dos níveis de água no interior das sondagens próximas, a saber: 7,8m de profundidade (cota 36,8) na sondagem SMT7 e 11m de profundidade na sondagem S3-86 (cota 35). É também sabido que não há registo de aflúncias de água ao interior do túnel do Metro da linha Azul na Avenida da Liberdade, pelo que é expectável que no local desse atravessamento, a cota do nível hidrostático se posicione abaixo da soleira, isto é, abaixo da cota (34,33). Para o cálculo das obras, não sendo conhecido o cone de rebaixamento a partir do metro, assumiu-se de forma conservativa a cota 36,8 dada pela sondagem SMT7.

6.3.4.2 Geotecnia

Os aterros quaternários que ocorrem no local da obra, com espessuras locais variáveis entre os 1,5 e 3,5m (sondagens S3-86, S4-86 e SMEH-1), podem rapidamente evoluir para espessuras da ordem dos 5m conforme dá conta um estudo de 1973 desenvolvido pela Hidrotécnica Portuguesa em 1973 e disponível no arquivo da CML (“Condições Geo-Hidrológicas do Sub-solo da Avenida da Liberdade”). Em geral, estes depósitos são de natureza diversa, predominantemente areno-siltosos com calhaus e pedras de calcário e basalto que integram a zona ZG3A(2).

A formação miocénica das *Argilas dos Prazeres* está representada no local em estudo por margas e argilas muito rijas de cor cinzenta escura ou clara e azulada, muitas vezes designadas de argilitos na bibliografia para realçar a transição destes solos argilosos rijos para rochas brandas. Por estarmos ao nível da base da unidade, frequentemente a unidade exhibe passagens mais grosseiras de argila com cascões intercalados e curtas passagens de calcário margoso ou gresoso (< 30cm) sem continuidade lateral (sondagens S3-86 e S4-86). No contacto com os aterros, numa espessura de cerca de 1,0m, as margas e argilas podem estar mais alteradas, embora ainda assim num estado de consistência rija ($N_{SPT} = 30-60$).

As câmaras de desvio de caudais e caixas associadas a este sistema de drenagem interessam os aterros medianamente compactos ($N_{SPT} = 10-30$, pontualmente com 40 pancadas), integrados na zona ZG3A(2)

e esta unidade miocénica MI subdividida em ZG2B(2) no primeiro metro de profundidade e ZG2A(2) até cerca dos 9m de profundidade.

Abaixo desta profundidade, o Complexo Vulcânico de Lisboa, aparece representado por basaltos, encontrando-se a topo muito alterados a alterados (W5/W4 – ISRM, 1981), às cotas que interessam a obra do túnel NATM e Câmara de Vórtice, alterados a medianamente alterados (W4 a W3-4 – ISRM) e em profundidade em geral pouco alterados (W2 – ISRM, 1981). Globalmente exibem fraturas muito próximas a próximas e em profundidade, próximas a medianamente afastadas (F5-4 a F4-3 – ISRM). Em função do estado de alteração, dos valores de RQD e da resistência do maciço, subdividiu-se a escoada basáltica nas seguintes zonas: em ZG1B(2) até aos 28m e abaixo desta profundidade, em ZG1A(5).

Os calcários C^{3c} do Cenomaniano Superior, reconhecidos abaixo dos 31m na sondagem SMT7, como margas calcárias, brechas calcárias e calcário brechóide, são atribuídos à zona ZG1B(3), embora não seja expectável a sua intersecção no decurso das execução da câmara de Vórtice ou Túnel NATM.

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

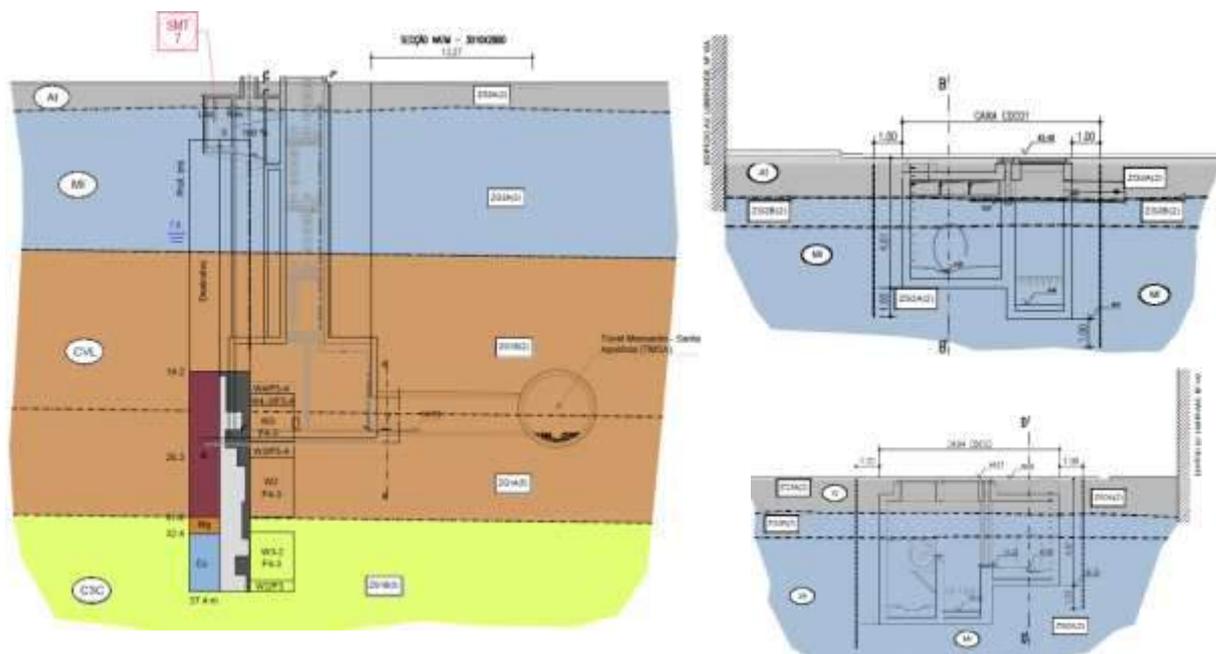


Figura 6.19 – Zonamento adotado no Projeto E4: câmara de vórtice, túnel NATM, caixas CDC01 e CDC02

6.3.4.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação das unidades dos aterros - ZG3A(2) - e da unidade miocénica MI subdividida em ZG2B(2) e ZG2A(2) se poderá realizar com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde, sendo igualmente de prever o ripper” acoplado ao equipamento de escavação para o desmonte de camadas de rocha branda que possam ocorrer pontualmente.

Por outro lado, a projeção dos resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial realizados sobre as unidades do CVL ZG1B(2) e ZG1A(5), no ábaco de Franklin et al. (1971) atrás apresentado, situa estas rochas nos campos do desmonte com escavação com “ripper” até à desagregação mecânica com explosivos.

Todavia, uma vez que o traçado se desenvolve em meio urbano e não é permitido a utilização de explosivos, terá de se prever a desagregação dos maciços mais resistentes com meios pesados alternativos aos explosivos, que podem passar pelos meios mecânicos de baixa vibração, como sejam a darda ou cunha hidráulica, martelo demolidor com vibração reduzida, sistema tipo “drill and split”, os bits expansivos ou fracturação hidráulica (“hydraulic splitting”) ou os meios químicos, como sejam as argamassas expansivas ou os sistemas Cardox (dióxido de carbono líquido) ou Nonex (nitrogénio e dióxido de carbono).

6.3.5 PROJETO 05

6.3.5.1 Geologia e Hidrogeologia

As obras de drenagem e interseção em Santa Marta localizam-se na zona de influência da ribeira de Valverde, próximo do que se pensa ter sido o leito principal dessa linha de água tributária do Tejo.

Na sequência dos trabalhos de urbanização da Av. da Liberdade a partir de 1879 as aluviões foram sendo progressivamente substituídas por aterros, a superfície do terreno modelada e as linhas de água canalizadas por redes de águas pluviais.

Do ponto de vista da geologia, o substrato é constituído pelas formações de base do Miocénico de Lisboa, designadamente, pelas *Argilas dos Prazeres* (MI), com espessuras reconhecidas no local, da ordem os 20m. Subjacente a estas, reconheceram-se escoadas basálticas com níveis de tufos do Complexo Vulcânico de Lisboa.

No que respeita à hidrogeologia, o ensaio de bombagem realizado próximo da sondagem SMP3, num perfil de calcários margosos, margas e areias siltsosas, mostrou no local a existência de aquíferos distintos, com níveis de água superiores para Norte no sentido da Tv Sta Marta. Essa observação é corroborada no “Estudo Hidrogeológico” realizado no âmbito do projeto de Santa Marta Building (Geocontrolo, 2015). Para sul os níveis tendem a instalar-se a cotas inferiores. Os aquíferos em princípio não comunicam entre si, conforme indicações do ensaio de bombagem, ou a transmissividade do meio é muito baixa.

No que respeita à cota do nível hidrostático a adotar para efeitos do projeto, considerou-se a cota (20,35) identificada no furo de bombagem localizado mais próximo das obras em estudo.

6.3.5.2 Geotecnia

As aluviões e os aterros quaternários ocorrem no local com espessuras variáveis entre os 3m, junto às obras em estudo (sondagens SMEH, SMP3) crescendo até aos 9m e 11m (nas sondagens S1-R256 e S2-R256), no sentido do leito maior e para Este do local, no alinhamento definido pela Rua Rodrigues Sampaio.

Os aterros que ocupam os primeiros 3m do dispositivo geológico são compostos por depósitos de areia silto-argilosa com seixos de calcário e basalto e fragmentos cerâmicos. As aluviões possuem uma coloração acastanhada típica e composição relativamente uniforme, constituída por solos finos argilo-siltosos, por vezes arenosos, incorporando seixo silicioso disperso. No local das obras, as aluviões e os aterros encontram-se num estado consistência dura e medianamente compactos ($N_{SPT} = 10$ pancadas) enquadrados na zona ZG3A(2).

O substrato miocénico das *Argilas do Prazeres* no local em estudo é sobretudo composto por bancadas de calcário fossilífero fortemente gresoso e margoso, dispostas em sucessivas bancadas de 2-3m de espessura, pontualmente com passagens de níveis margosos e/ou argilosos, por vezes gresosos, pouco possantes (0,5-2m).

Os níveis greso-carbonatados e calco-margosos associados à zona geotécnica ZG1B(1), apresentam-se em geral com alteração forte a moderada (W4-3 – ISRM) e fracturação F4-3 (ISRM), que se traduz em valores do índice RQD variáveis entre 30 e 95%.

Particularmente na secção da construção do túnel NATM, o maciço exhibe um incremento da componente greso-margosa, individualizando-se duas zonas: ZG2A(2) de margas e ZG2A(1) de grés.

Abaixo dos 20m de profundidade, as sondagens SMEH3 e SMP3 identificaram formações vulcânicas, atribuídas à ZG1B(2).

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

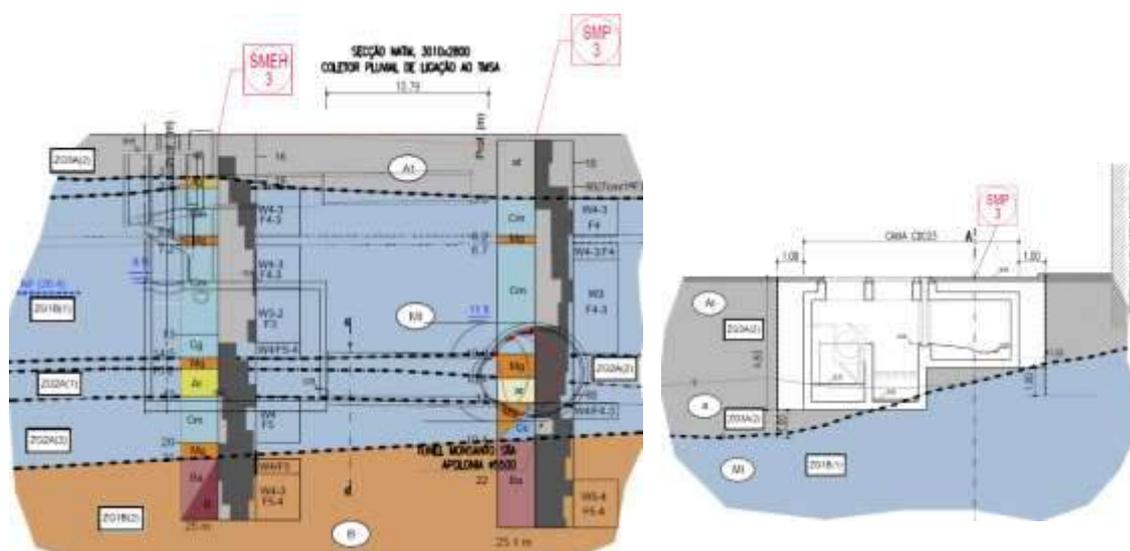


Figura 6.20 – Zonamento adotado no Projeto E5: câmara de vórtice, túnel NATM e caixa CDC03

6.3.5.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação das unidades dos aterros - ZG3A(2) - e da unidade miocénica MI subdividida nas subzonas geotécnicas ZG1B(1), ZG2A(1) e ZG2A(2) se poderá realizar com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde, sendo igualmente de prever o “ripper” para o desmonte de camadas de rocha branda que possam ocorrer pontualmente.

Uma eventual interseção, pouco provável, por parte da obra da unidade do CVL ZG1B(2), determina o uso de meios de desmonte pesados alternativos ao uso de explosivos

6.3.6 PROJETO 06

6.3.6.1 Geologia e Hidrogeologia

As obras de drenagem e interseção na Av. Almirante Reis localizam-se na zona de influência da ribeira de Arroios, na proximidade do que pensa ser o antigo leito dessa linha de água tributária do rio Tejo.

O termo “Arroios” – cujo significado diz respeito a pequena corrente de água - deverá refletir o facto de no local, imediatamente a montante dos Anjos, confluírem simples linhas de águas que, a partir daí, dão expressão à ribeira (Amaro, 2012). Esta linha de água mantinha até à segunda metade do século XIX um vasto troço a céu aberto conhecido por Regueirão dos Anjos, que irrigava campos férteis que se estendiam até à atual zona do Martim Moniz. No seu percurso recebia as águas do Chafariz de Arroios, seguia junto à antiga Igreja dos Anjos, entretanto demolida, até Praça da Figueira - Rossio. Com a abertura da Av. D. Amélia e posteriormente da atual Av. Almirante Reis, a ribeira foi totalmente canalizada sofrendo sucessivas reabilitações no âmbito dos projetos urbanos, dos quais se destaca a construção da linha Verde do Metro de Lisboa – Figura 6.21.



Figura 6.21 – Foto das obras de construção do metropolitano de Lisboa, na Avenida Almirante Reis. Notar o caneiro existente na espalda esquerda da trincheira

Nessas intervenções, as aluviões foram sendo progressivamente substituídas por aterros e a superfície modelada para receber as novas edificações.

Duma maneira geral, no alinhamento da Avenida toda a zona se encontra coberta por um aterro com espessura variável entre 1,8 e 4,5m. No sentido transversal, Avenida-Largo do Intendente, os aterros propriamente ditos dão lugar a uma mistura indiferenciada de aterros e aluviões, com espessuras

crecentes até 9m, composta por solos argilo-arenosos e areno-argilosos, de tons castanho-escuro e castanho-amarelado, com restos de tijolo, fragmentos de calcário e basalto.

Subjacente aos depósitos quaternários, o substrato é constituído pelas formações de base do Miocénico de Lisboa, designadamente, pelas *Areolas da Estefânica* (MII), no topo e as *Argilas dos Prazeres* (MI) na base.

Localmente o substrato miocénico das *Areolas da Estefânia* corresponde a uma alternância de camadas de areia fina siltosa (areolas) e de camadas silto-argilosas finamente arenosas, com finas intercalações greso-carbonatadas, em geral sob a forma de cascão calco-gresoso fossilífero, muito friável e desagregável, que pontualmente podem atingir 3m de possança.

A base do miocénico evolui para uma sequência argilo-siltosa carbonatada nas *Argilas dos Prazeres*, a partir dos 19-21m de profundidade.

No que respeita à hidrogeologia, o ensaio de bombagem realizado no local da obra (junto da sondagem SMP4), posiciona o nível hidrostático à cota (22,97). Os níveis de água registados nos outros 3 locais onde se instalaram os piezómetros duplos do tipo Casagrande - PME4, PMP4B e PME5 -, são variáveis entre as cotas (24,7), (23,9) e (25,5), respetivamente. Com exceção da cota do nível hidrostático à superfície registada no PME5, e que se deve à sua localização junto da confluência com linha tributária, em geral, o nível tende a instalar-se na base das aluviões/aterros.

6.3.6.2 Geotecnia

Os aterros de cerca de 3m de espessura na câmara de vórtice, evoluem rapidamente para espessuras da ordem dos 9m, misturados com aluviões, na zona do poço 01. Em geral, estes depósitos integram a zona ZG3A(2).

O substrato miocénico local é na sua globalidade resistente e muito compacto/muito rijo, dividindo-se em zona ZG2A(1) de areias, siltes, arenitos e níveis greso-carbonatados desagregáveis ($N_{SPT} \geq 60$), zona ZG2B(2), de siltes argilosos e arenosos ($N_{SPT} \approx 60$) e zona ZG2A(2) de argilas e siltes carbonatados ($N_{SPT} \geq 60$).

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

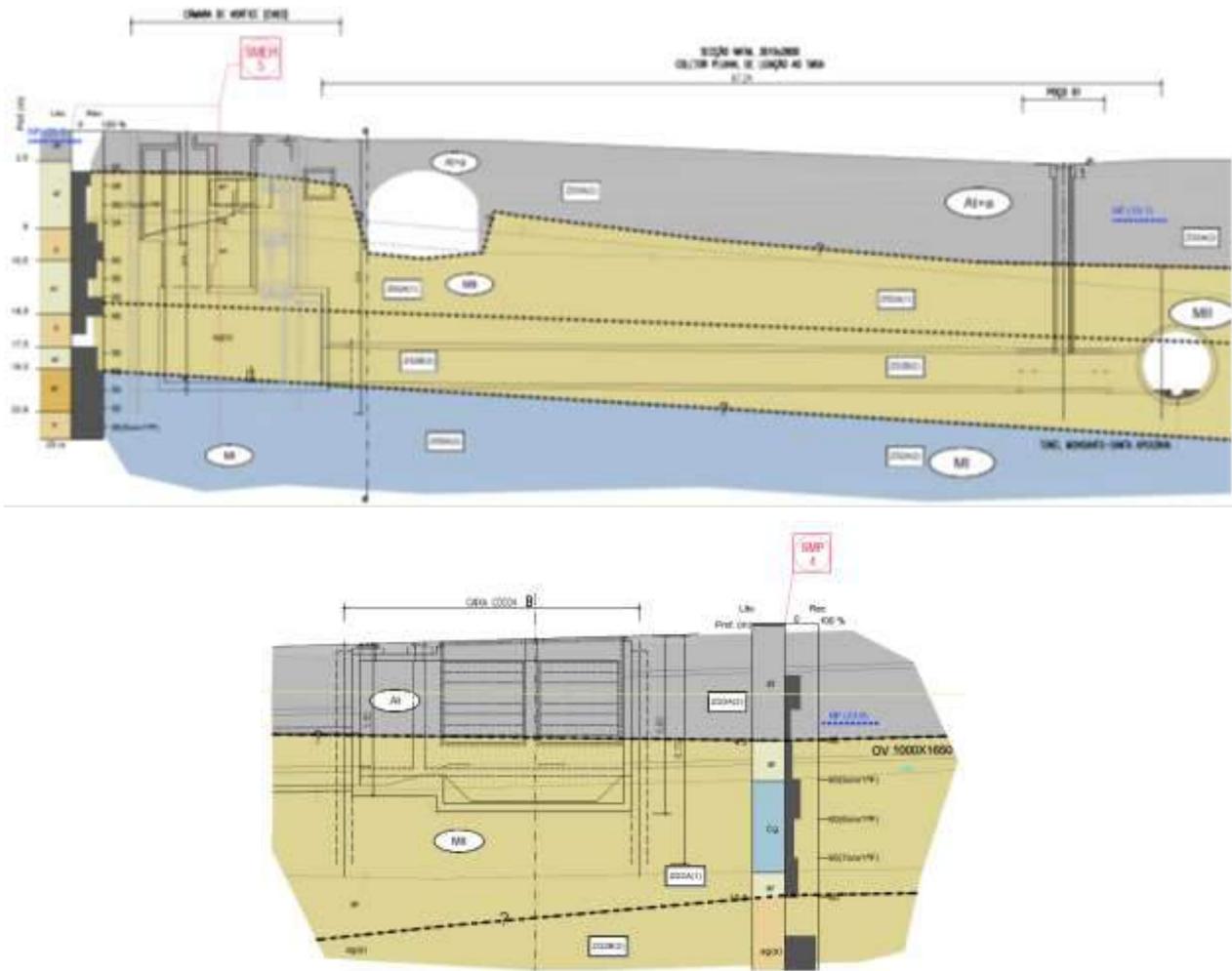


Figura 6.22 – Zonamento adotado no Projeto E6: câmara de vórtice, túnel NATM, caixa CDC04 e poço 01

6.3.6.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação das unidades dos aterros - ZG3A(2) - e da unidade miocénica MII subdividida nas subzonas geotécnicas ZG2A(1) e ZG2B(2) se poderá realizar com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde

6.3.7 PROJETO 07

6.3.7.1 Geologia e Hidrogeologia

O poço de ventilação e acesso ao túnel TMSA na Rua dos Remédios atravessa, em termos geológicos, terrenos de cobertura de espessura variável estimados em 2-3m e uma sequência miocénica areno-argilosa do Burdigaliano, constituídos por sucessivas alternâncias de areias muito finas, fortemente siltosas, micáceas e de argilas silto-margosas, das formações de *Calcários de Casal Vistoso* (MVa1) e de *Areias da Quinta do Bacalhau* (MIVb). A distinção entre estas duas assentadas miocénicas nem sempre é clara.

Os aterros que recobrem toda a área são de natureza arenosa, granulometria heterogénea, incluindo com frequência fragmentos cerâmicos e restos de construção.

No que respeita à hidrogeologia, não se conhece o nível piezométrico no local da obra. Nas sondagens mais próximas (S3-1260, S4-1260 e SMT15) não foi identificado qualquer nível de água. Para a definição da cota no local do projeto ponderou-se a informação obtida na sondagem SMT-13 (Geocontrolo, 2016) que dá conta da presença do nível de água à cota (10.9) e a informação do projeto de construção da linha do Metro de Lisboa no troço Terreiro do Paço – Sta Apolónia, que indica próximo desse atravessamento a cota (1,2).

6.3.7.2 Geotecnia

Os aterros quaternários que recobrem o local da obra, com exceção do primeiro metro do pavimento, encontram-se num estado de compactação muito solto a solto, integrando a zona ZG3B(1).

O substrato miocénico atravessado pelo poço é na sua globalidade resistente, variando entre fácies arenosa compactas a muito compactas (N_{SPT} 30-60) e fácies argilosas muito duras a rijas (N_{SPT} 20-60) que integram as zonas ZG2B(1) e ZG2B(2), respetivamente.

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

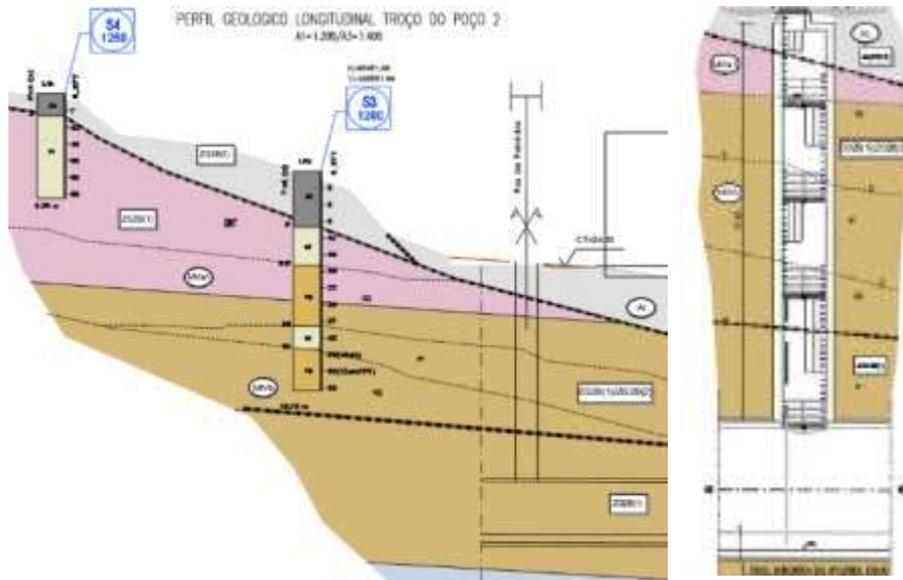


Figura 6.23 – Zonamento adotado no Projeto E7

6.3.7.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação das unidades dos aterros - ZG3A(2) - e das unidades miocénicas MIVa e MIVb, subdivididas nas subzonas geotécnicas ZG2B(1) e ZG2B(2) se poderá realizar com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde.

6.3.8 PROJETO 08

6.3.8.1 Geologia e Hidrogeologia

A obra de descarga do túnel na zona de Santa Apolónia em termos geológicos desenvolve-se sobre terrenos de cobertura de espessura variável assentes em formações miocénicas do Burdigaliano e do Aquitaniano. De acordo com a cartografia geológica disponível, algumas destas assentadas mais recentes dispõem-se lateralmente em discordância estratigráfica com assentadas mais antigas devido à presença de uma série de falhas com direções NE-SW do conjunto de Alfama, que motivou o levantamento da base da série miocénica e a ocorrência de nascentes termais conhecidas como Alcaçarias de Alfama (ver subcapítulo 3.2).

As falhas que afetam a série miocénica no local não são falhas ativas, mas de carácter estratigráfico e resultam de diferentes fases tectónicas que afetaram as unidades no período pós-deposicional.

A obra de descarga inicia-se na proximidade da muralha fernandina, mas já fora desse perímetro que delimitava a cidade antiga urbanizada à data da construção do “Cerco Fernandino” (séculos XIV-XV). Após o sismo de 1755 e sobretudo em finais do séc. XIX, a reconstrução da cidade passou por grandes desenvolvimentos urbanísticos, com a abertura das avenidas ribeirinhas, instalação de infraestruturas industriais e ferrovias como caso da construção da linha do caminho-de-ferro na marginal.

A frente ribeirinha foi assim crescendo em etapas conquistando terreno ao rio, sobretudo na faixa atualmente abaixo da cota 10m. Primeiro, compreenderam os aterros das praias e terrenos das margens do rio no século XIV, criando a frente ribeirinha entre o atual Museu Militar e o Largo de Santos, incluindo a frente do esteiro da Baixa, onde se formou o Terreiro do Paço. Posteriormente os importantes aterros no século XV-XVI para a construção do Paço Real e no pós-terramoto com a reordenação Pombalina com construção da Alfândega e Terreiro do Trigo. Por último os aterros de maiores dimensões, entre os séculos XIX e XX, que criaram o Porto de Lisboa e a frente ribeirinha atual (Durão, 2012) – Figura 5.6.

As primeiras construções realizaram-se sobre o solo natural, e conforme foram edificando, nivelando os terrenos e reconstruindo os edifícios, os níveis foram subindo pela sucessão de pequenos aterros que foram fazendo, pela ruína de edifícios e pela subida dos pavimentos exteriores (Durão, 2012). Assim, num processo gradual criaram-se na designada zona A - troço 1, em estudo, cerca de 4,5 a 6m de altura de aterros heterogéneos.

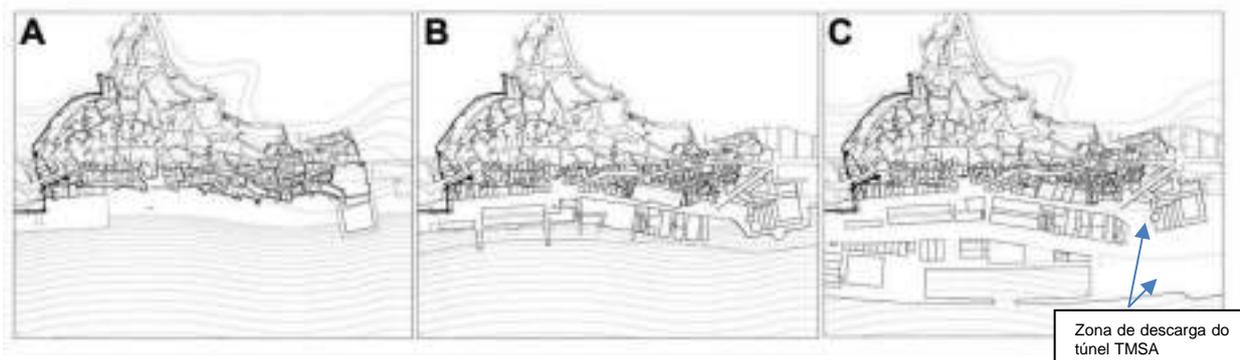
A jusante deste trecho, já na zona A – troço 2, a partir do local de implantação do Museu Militar, os aterros surgem misturados com as aluviões e a sua composição passa a ser o resultado da mistura de depósito de areias, entulhos e aluviões assentes sobre depósitos relativamente homogéneos de lodosos argilosos possantes.

Na zona B, sobretudo no troço terminal, os aterros e as aluviões voltam a surgir intercalados numa sequência indiferenciada, resultado dos trabalhos de aterro realizados para ampliação do Porto de Lisboa e construção do cais de cruzeiros de Sta. Apolónia.



Legenda: **1**- Limite oriental, Terceiras da Porta da Cruz (atual Museu Militar); **D**-Aterros sobre a praia, séc. XIV-XVIII realizados gradualmente; **E**- Aterros sobre o rio séc. XIX-XX; **F** – Aterros sobre o rio, séc. XX de Sta. Apolónia para Chelas. **○** – Obra de descarga do túnel TMSA

Figura 6.24 – Mapeamento dos aterros na Baixa e frente ribeirinha de Lisboa. Extrato da Carta Topográfica de 1911, CML (extraído de Durão, 2012)



Legenda: **A** - Início do século XVI. Aterro até ao postigo de Alfama e aterro a oriente onde se edificou as Terceiras da Porta da Cruz (atual Museu Militar). A cerca fernandina ainda estava livre de edifícios em quase toda a frente rio. **B** – Em 1856-58. A nova frente de comércio portuário com o edifício do Terreiro do Trigo iniciado no pós-terramoto de 1755. **C**- Início do século XX e na atualidade. Os aterros de maiores dimensões

Figura 6.25 – Frente Ribeirinha de Alfama – 500 anos de aterros (extraído de Durão, 2012)

O troço em estudo – troço 1 da Zona A da obra de descarga do túnel na zona de Santa Apolónia - atravessa os terrenos de cobertura compostos por aterros até sensivelmente meia altura do canal e uma sequência miocénica areno-siltosa com bancadas gresos-carbonatadas das formações de *Areias da Quinta do Bacalhau* (MIVb) e *Argilas do Forno do Tijolo* (MIVa).

Os aterros presentes neste troço correspondem a aterros areno-siltosos muito heterométricos, com blocos de calcário e basalto e com restos de cerâmica e da construção, em geral com 4-6m de espessura.

Subjacente aos depósitos de cobertura, o miocénico encontra-se a topo descomprimido representado por um nível de areias micáceas (areolas) assentes num nível carbonatado compacto, relativamente espesso – 3,5m –, com calcários gresosos fossilíferos e biocalcarenitos, em geral muito vacuolares e porosos, por vezes friáveis. Em profundidade a fácies arenosa torna-se preponderante, com horizontes espessos de areias muito finas siltosas (areolas) muito pontualmente intercaladas por argilas e siltes ou por camadas delgadas de biocalcarenito gresoso.

No que respeita à hidrogeologia, não se conhece o nível piezométrico no local das obras. A sondagem mais próxima (Z11/R657 - Tecnasol, 1995) realizada para a construção da linha do metro entre as estações do Terreiro do Paço e Santa Apolónia, identifica a cota hidrostática à (1,23), cerca de 2,4m abaixo do TN e instalada nos aterros quaternários depositados sobre as aluviões.

6.3.8.2 Geotecnia

Os aterros neste sector correspondem a solos soltos ($N_{SPT} = 4-10$) a medianamente compactos ($N_{SPT} = 10-30$), podendo-se-lhes associar as características definidas para a zona geotécnica ZG3B(1) nos primeiros 3m e para a zona ZG3A(2), entre os 3 e os 6m de profundidade.

Abaixo destes depósitos, o miocénico mostra-se descomprimido, exibindo uma franja de areias micáceas (areolas) medianamente compactas ($N_{SPT} = 10-30$) – ZG3A(3), que não deverão ultrapassar os 1,5 m de espessura. Este nível ocorre ao nível da laje do canal em praticamente toda a extensão da obra, com exceção do início (junto da sondagem SMP5A, onde o nível greso-calcário da ZG1B(1) ou as areias muito compactas ($N_{SPT} \geq 60$) – ZG2B(1) estão a topo.

Os calcários gresosos fossilíferos e biocalcarenitos da ZG1B(1) identificados em todas as sondagens realizadas na zona em estudo, em geral encontram-se muito a medianamente alterados (W4-3 – ISRM) e com fracturação muito próxima a próxima (F5-4 a F4 – ISRM), pontualmente próxima a medianamente afastada (F4-3). Esta fracturação traduz-se em índices RQD variáveis entre 10 e 80%, com valor característico de 30%, que materializam, segundo esta classificação um maciço rochoso muito fraco a bom, mais frequentemente fraco. Os valores de RCU obtidos nos ensaios (sondagens SMP5 e SMP5-A) variáveis entre 7 e 20MPa, confirmam essas conclusões.

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

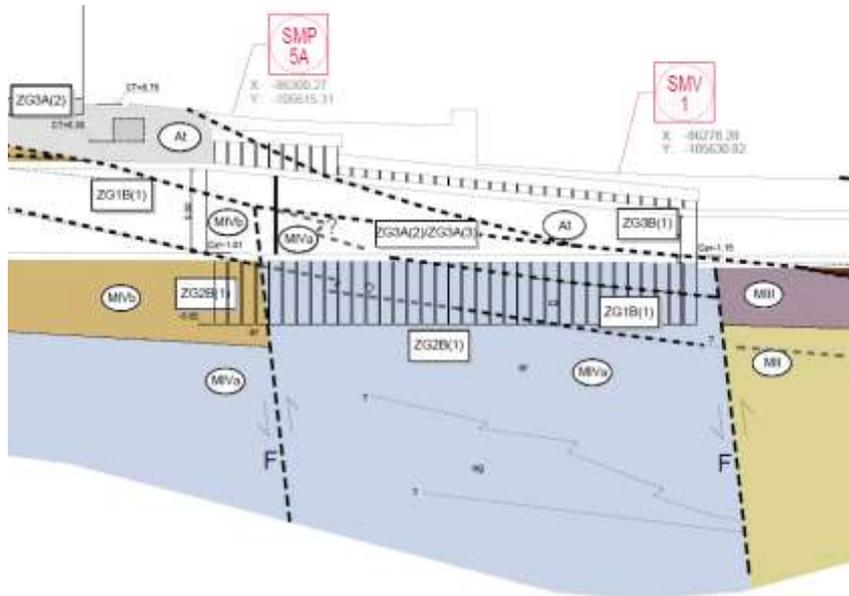


Figura 6.26 – Zonamento adotado no Projeto E8

6.3.8.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação das unidades dos aterros [ZG3B(1) e ZG3A(2)] e das unidades miocénicas MIVb e MIVa subdivididas nas subzonas geotécnicas ZG3A(3), ZG1B(1) e ZG2B(1) se poderá realizar com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde, sendo igualmente de prever o "ripper" acoplado ao equipamento de escavação para o desmonte de camadas de rocha branda que possam ocorrer pontualmente.

6.3.9 PROJETO 09

6.3.9.1 Geologia e Hidrogeologia

As condições geológicas gerais do Projeto 09 encontram-se descritas no subcapítulo 6.3.8.1, referente ao projeto 08.

O troço em estudo – troço 2 da Zona A da obra de descarga do túnel na zona de Santa Apolónia - interessa terrenos de cobertura com espessura de cerca de 10m e uma sequência miocénica areno-siltosa e argilo-margosa com intercalações de bancadas greso-carbonatadas da formação dos *Calcários de Entrecampos* (MIII).

No que respeita à hidrogeologia, não se conhece o nível piezométrico no local das obras. A sondagem mais próxima (Z11/R657 - Tecnasol, 1995) realizada para a construção da linha do metro entre as estações do Terreiro do Paço e Santa Apolónia, identifica a cota hidrostática à (1,23), cerca de 2,4m abaixo do TN e instalada nos aterros quaternários depositados sobre as aluviões.

6.3.9.2 Geotecnia

Os aterros reconhecidos são solos de granulometria muito heterogénea com colorações que vão desde o cinzento acastanhado ao cinzento-escuro. A topo, nos primeiros 1-2m de profundidade, admite-se que estes ocorram num estado de maior compacidade [ZG3A(2)] de modo a conferir características de traficabilidade e fundação adequadas às vias de circulação aí existentes. Abaixo desse nível e em geral, são depósitos areno-silto-argilosos com elementos calcários, restos de cerâmica e argamassa, intercalados com lodos argilo-siltosos, num estado de compacidade solto e consistência média a dura ($N_{SPT} < 10$) pertencente à zona ZG3B(1).

Na base, um horizonte espesso de consistência mole ($N_{SPT} = 2$) com pelo menos 4m de espessura de aluviões argilo-lodosas de cor cinza-escura é individualizado e integrado na zona de piores características geotécnicas – a ZG3B(1).

O substrato miocénico local subjacente é resistente, a topo representado por uma bancada de calcários fossilíferos gresosos espessa (de cerca de 4m) pertencente à ZG1B(1) e abaixo, por terrenos muito compactos/muito rijos, das zonas ZG2B(1) de areias, siltes, arenitos ($N_{SPT} \approx 60$) e ZG2A(2) de margas calcárias e margas silto-gresosas ($N_{SPT} \geq 60$).

Os calcários gresosos fossilíferos e biocalcarenitos da ZG1B(1) identificados em todas as sondagens realizadas na zona em estudo, em geral encontram-se muito a medianamente alterados (W4-3 – ISRM, 1980) e com fracturação muito próxima a próxima (F5-4 a F4 – ISRM), pontualmente próxima a medianamente afastada (F4-3). Esta fracturação traduz-se em índices RQD variáveis entre 10 e 80%, com valor característico de 30%, que materializam, segundo esta classificação um maciço rochoso muito fraco a bom, mais frequentemente fraco. Os valores de RCU obtidos nos ensaios efetuados nas sondagens do troço 1 da zona A (sondagens SMP5 e SMP5-A) mostram-se variáveis entre 7 e 20MPa.

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

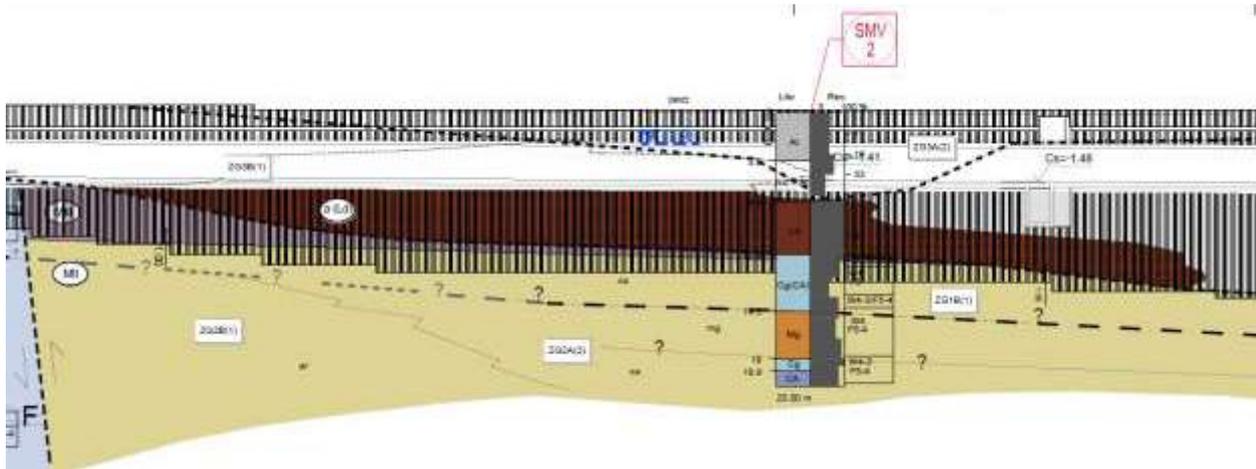


Figura 6.27 – Zonamento adotado no Projeto E9

6.3.9.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação das unidades dos aterros [ZG3B(1) e ZG3A(2)] e do miocénico subdividido nas subzonas geotécnicas ZG1B(1), ZG2B(1), ZG2A(2) e ZG1B(1) se poderá realizar com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde, sendo igualmente de prever o ripper” acoplado ao equipamento de escavação para o desmonte de camadas de rocha branca que possam ocorrer pontualmente.

6.3.10 PROJETO 10

6.3.10.1 Geologia e Hidrogeologia

As condições geológicas gerais do Projeto 10 encontram-se descritas no subcapítulo 6.3.8.1, referente ao projeto 08.

O troço em estudo – troço 1 da Zona B da obra de descarga do túnel na zona de Santa Apolónia interessa terrenos de cobertura com espessura de cerca de 15m e uma sequência miocénica margosa com intercalações de bancadas greso-carbonatadas da formação dos *Calcários de Entrecampos* (MIII).

No que respeita à hidrogeologia, não se conhece o nível piezométrico no local das obras. A sondagem mais próxima (Z11/R657 - Tecnasol, 1995) realizada para a construção da linha do metro entre as estações do Terreiro do Paço e Santa Apolónia, identifica a cota hidrostática à (1,23), cerca de 2,4m abaixo do TN e instalada nos aterros quaternários depositados sobre as aluviões. O nível freático é certamente elevado nesta zona e provavelmente controlado pelos níveis de água no rio Tejo, dada a proximidade. As cotas hidrográficas de referência no Cais de Santa Apolónia, mais a jusante, são as seguintes:

Projeto 00 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

- PM_{Max} – Altura de água máxima que se prevê que ocorra sob condições meteorológicas médias, é de +4,27m (ZH);
- PMAV – Valores médios, tomados ao longo do ano, das alturas da água de duas preia-mar sucessivas, que ocorrem quinzenalmente, quando a amplitude da maré é maior são de 3,81m (ZH);
- BMAV – Valores médios, tomados ao longo do ano, das alturas da água de baixa-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude da maré é maior, são de +0.60m (ZH).

6.3.10.2 Geotecnia

As condições geotécnicas do Projeto E10 encontram-se descritas no subcapítulo 6.3.9.2, referente ao projeto E9.

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

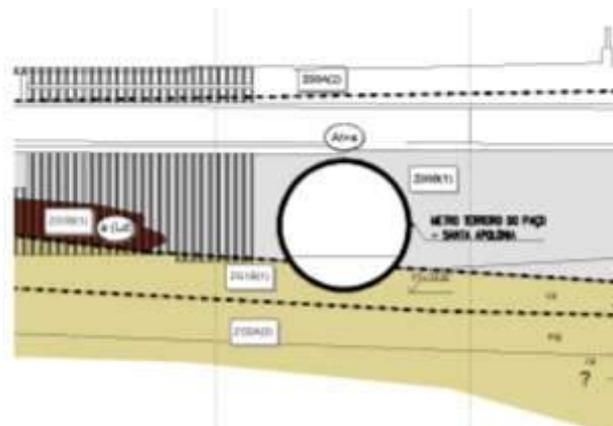


Figura 6.28 – Zonamento adotado no Projeto E10: perfil longitudinal da Zona B – Troço 1

6.3.10.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições de escavação e desmonte do Projeto E10 encontram-se descritas no subcapítulo 6.3.9.3, referente ao projeto E9.

6.3.11 PROJETO E11

6.3.11.1 Geologia e Hidrogeologia

As condições geológicas gerais do Projeto 11 encontram-se descritas no subcapítulo 6.3.8.1, referente ao projeto 08.

O troço em estudo – troço 2 da Zona B da obra de descarga do túnel na zona de Santa Apolónia – desenvolve-se inicialmente sobre os aterros misturados com as aluviões do Tejo, a tardoz do muro-cais da doca do Porto de Lisboa e Terminal de Cruzeiros, e, no seu trecho final, sobre os aterros grosseiros depositados sobre os terrenos miocénicos, após dragagem das aluviões para edificação dos molhes.

Os aterros sobre os quais se construíram os molhes correspondem a TOT e enrocamento, e os mesmos assentam sobre os terrenos miocénicos de natureza margosa com intercalações de bancadas greso-carbonatadas pertencente à formação dos Calcários de Entrecampos (MIII).

As aluviões não são facilmente individualizadas no seio dos aterros, e observa-se no conjunto, um perfil constituído por areias finas siltosas com seixo e fragmentos greso-carbonatados com intercalações argilosas com seixo disperso de cor cinzento-escuro.

No que respeita à hidrogeologia, a sondagem mais próxima (Z11/R657 - Tecnasol, 1995) realizada para a construção da linha do metro entre as estações do Terreiro do Paço e Santa Apolónia, identifica a cota hidrostática à (1,23), cerca de 2,4m abaixo do TN e instalada nos aterros quaternários depositados sobre as aluviões. O nível freático é certamente elevado nesta zona e sujeito às variações das marés no rio Tejo.

As cotas hidrográficas de referência nesta zona são as seguintes:

- PM_{Max} – Altura de água máxima que se prevê que ocorra sob condições meteorológicas médias, é de +4.27m (ZH);
- PMAV – Valores médios, tomados ao longo do ano, das alturas da água de duas preia-mar sucessivas, que ocorrem quinzenalmente, quando a amplitude da maré é maior são de 3.81m (ZH);
- BMAV – Valores médios, tomados ao longo do ano, das alturas da água de baixa-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude da maré é maior, são de +0.60m (ZH).

6.3.11.2 Geotecnia

Os aterros-aluviões reconhecidos são solos de granulometria muito heterogénea com colorações que vão desde o castanho amarelado ao cinzento-escuro. A topo, nos primeiros 1-2m de profundidade, admite-se que os aterros ocorram num estado de maior compactidade [ZG3A(2)] de modo a conferir características de traficabilidade e fundação adequadas à circulação dos veículos no interior da ALP/Terminal Cruzeiros. Abaixo desse nível e em geral, são uma mistura de depósitos de areia siltosa com fragmentos greso-calcários, intercalados com lodos argilo-siltosos, no geral, num estado de compactidade muito solto ($N_{SPT} = 1$ a 5) a medianamente compacto ($N_{SPT} = 10$ a 20) e consistência muito mole a média ($N_{SPT} < 10$) pertencentes à zona ZG3B(1).

Na base, individualiza-se um horizonte areno-argiloso resistente de aterros-aluviões ou mesmo, já pertencente ao Miocénio descomprimido, que foi integrado na zona ZG3A(2)-ZG3A(3).

Os aterros de enrocamento TOT sobre os quais foram constituídos os muros-cais e molhes não foram caracterizados, mas tratam-se, certamente, de misturas solo-enrocamento com boa resistência mecânica e baixa deformabilidade, como se verificou nas obras de reabilitação e reforço das Docas do Terreiro do Trigo e da Marinha.

O substrato miocénico local subjacente aos depósitos de cobertura é resistente, e é a topo representado por uma bancada de calcários fossilíferos gresosos, espessa (de cerca de 3m) pertencente à ZG1B(1) e abaixo, por terrenos muito rijos, de margas calcárias e margas silto-gresosas ($N_{SPT} \geq 60$) com intercalações greso-calcárias.

Os calcários gresosos fossilíferos e biocalcarenitos da ZG1B(1) identificados em todas as sondagens realizadas na zona em estudo, em geral encontram-se muito a medianamente alterados (W4-3 – ISRM) e com fracturação muito próxima a próxima (F5-4 a F4 – ISRM), pontualmente próxima a medianamente afastada (F4-3). Esta fracturação traduz-se em índices RQD variáveis entre 10 e 80%, com valor característico de 30%, que materializam, segundo esta classificação um maciço rochoso muito fraco a bom, mais frequentemente fraco. Os valores de RCU obtidos nos ensaios efetuados nas sondagens do troço 1 da zona A (sondagens SMP5 e SMP5-A) mostram-se variáveis entre 7 e 20MPa.

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

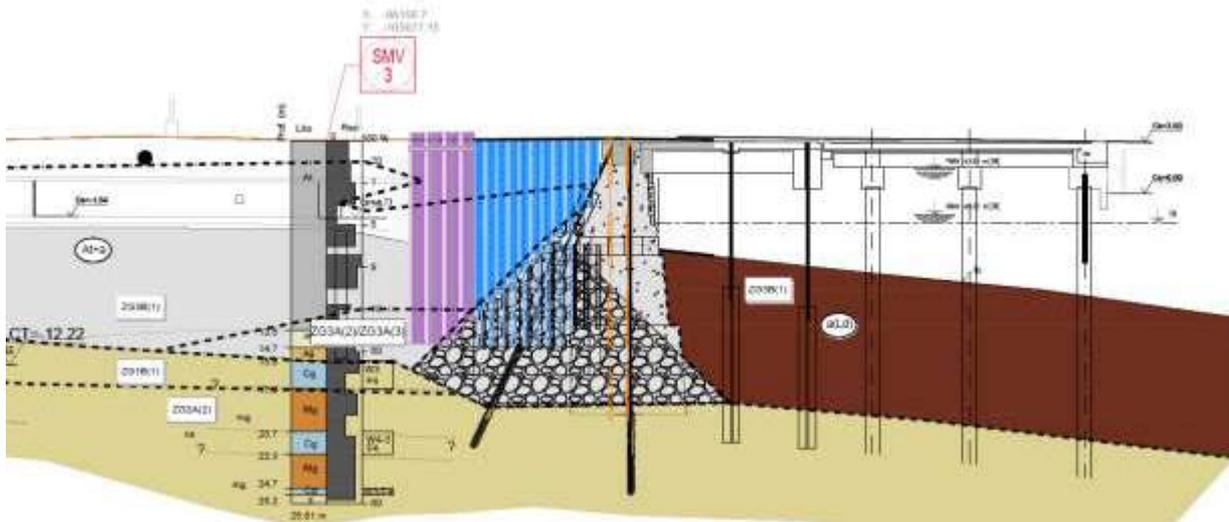


Figura 6.29 – Zonamento adotado no Projeto E11: perfil longitudinal da Zona B – Troço 2

6.3.11.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições de escavação e desmonte do Projeto E10 encontram-se descritas no subcapítulo 6.3.9.3, referente ao projeto E9.

6.3.12 PROJETO 12

6.3.12.1 Geologia e Hidrogeologia

As condições geológicas gerais do Projeto 12 encontram-se descritas no subcapítulo 6.3.8.1, referente ao projeto 08.

O troço em estudo interessa terrenos de cobertura com espessura de 9 a 15m. Subjacente a estes, a sequência miocénica areno-siltosa e argilo-margosa com intercalações de bancadas greso-carbonatadas pertence às formações das *Areias da Estefânia* (MII), *Argilas do Forno do Tijolo* (MIVa) e *Calcários de Entrecampos* (MIII).

No que respeita à hidrogeologia, o nível piezométrico no local é variável ao longo do perfil longitudinal. As sondagens realizadas para a construção da linha do Metro entre as estações do Terreiro do Paço e Santa Apolónia, indicam cotas hidrostáticas entre (-0,5) e (1,2). Estas situam-se abaixo da cota de soleira dos coletores o que deverá permitir que para a sua construção se trabalhe a seco. No caso da Estação Elevatória é de esperar que o nível hidrostático se situe próximo da cota (1,2), isto é, a cerca de 2m de profundidade.

6.3.12.2 Geotecnia

Os aterros reconhecidos são solos de granulometria muito heterogénea com colorações que vão desde o cinzento acastanhado ao cinzento-escuro. A topo, nos primeiros 2m de profundidade, admite-se que estes ocorram num estado de maior compactidade [ZG3A(2)] de modo a conferir características de traficabilidade e fundação adequadas às vias de circulação aí existentes, sobretudo a Av. Infante D. Henrique.

Abaixo desse nível e em geral, quando ocorrem junto ao porto ou de edificações, a profundidades entre 2 e 6m, os aterros são depósitos de areia com elementos calcários, restos de cerâmica e argamassa num estado de compactidade muito solto pertencente à zona ZG3B(1).

Subjacente a estes, as aluviões no local são constituídas por materiais lodosos (com ≈ 8 m espessura) mas também, por aluviões arenosas espessas (≈ 9 m espessura) ou argilosas (≈ 3 m espessura), neste último caso, que passam em profundidade a lodos e na base a aluviões arenosas.

Os lodos, são predominantemente constituídos por argilas, por vezes siltosas e/ou arenosas, com matéria orgânica e fragmentos de conchas, em geral moles (com $N_{SPT} = 2$ a 4) mas também presentes num estado de consistência média a dura ($N_{SPT} = 5$ a 11).

As areias aluvionares são areias predominantemente finas a médias com fragmentos de conchas, com compactidade solta. Por vezes encontram-se intercaladas com argilas moles e/ou por lodos. No conjunto as aluviões são integradas na zona geotécnica de pior qualidade geotécnica – a ZG3B(1).

As obras da estação elevatória irão interessar os aterros-aluviões indiferenciados medianamente compactos da zona ZG3A(2) e os lodos moles da ZG3B(1) e ao longo do traçado dos coletores de ligação e domésticos, os aterros da ZG3A(2), e só pontualmente, as aluviões arenosas da ZG3B(1).

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

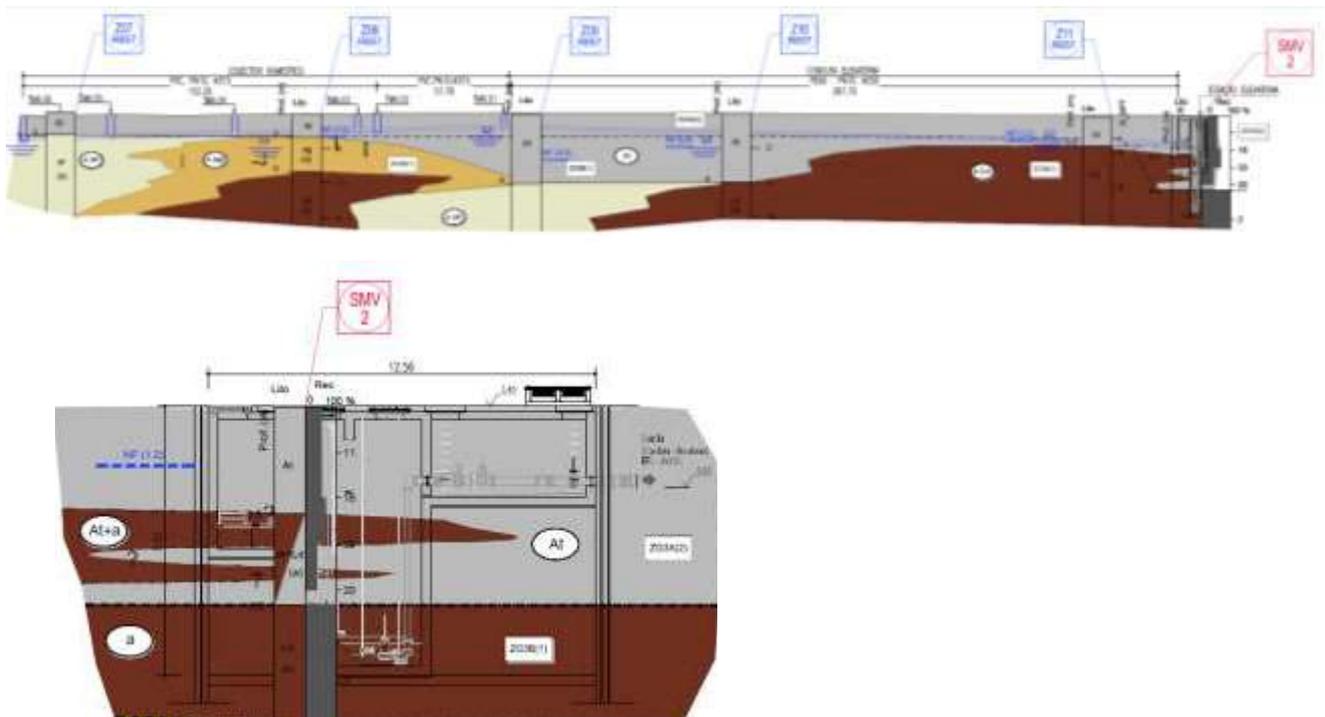


Figura 6.30 – Zonamento adotado no Projeto E12

6.3.12.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação das unidades dos aterros [ZG3A(2)] e das formações aluvionares identificadas com as subzonas geotécnicas ZG3B(1) se poderá realizar com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde.

6.3.13 PROJETO 13

6.3.13.1 Geologia e Hidrogeologia

O traçado do túnel Chelas-Beato desenvolve-se ao longo de cerca de 1068 m, primeiramente na vertente esquerda da antiga Ribeira de Chelas que desce para o quadrante oeste e depois na vertente que desce para o rio Tejo, portanto para o quadrante este.

O ambiente geomorfológico atravessado ao longo da extensão do túnel é heterogéneo. O portal Oeste situa-se na zona aplanada pertencente à planície aluvial da ribeira de Chelas, a cerca da cota (20), cruzando o túnel até cerca do Km 0+253 a vertente esquerda do vale desta ribeira, de perfil côncavo ou

convexo e com inclinação média de 11°, que culmina a cerca da cota (55) na elevação denominada por “Alto das Conchas” ou “Alto de Chelas”, onde outrora existiu a Quinta da Conchas, que deu nome à assentada miocénica que aí aflora. Após a travessia do Alto de Chelas, o traçado do túnel desenvolve-se até cerca do KM 0+832 numa vertente de trechos ora convexos ora côncavos, inclinando suavemente para o Tejo em média cerca de 3° e entrecortada por elevações bem circunscritas. O trecho final do túnel, até ao seu término já na plataforma ribeirinha aplanada da rua dos Amigos de Lisboa, faz-se numa vertente convexa, com inclinação variáveis entre 16° e 9° no sentido do rio Tejo, que corresponde à denominada costeira do Beato, cujo ponto mais alto, à cota (32) se situa no pátio do Marialva, sobranceiro à linha de caminho-de-ferro.

O ambiente geológico atravessado pelo túnel pertence à série miocénica da zona oriental, estendendo-se as idades das assentadas atravessadas pela obra, desde o Burdigaliano Superior até ao Serravaliano. Este ambiente geológico não se pode dissociar da geomorfologia, sendo as formas das vertentes (côncavas ou convexas) e a presença ou não de elevações dissociadas do relevo geral com que confinam, indícios da maior ou menor resistência à erosão das camadas e consequentemente da natureza predominante dos seus constituintes.

Desde o portal Oeste e até cerca do Km 0+322, o túnel desenvolve-se na formação Miocénica das *Areias com Placuna Miocénica* (MVa2), cujas vertentes côncavas talhadas nesta formação são boas indicadoras dos seus constituintes predominantemente de fácies arenosa e da resistência fraca desta camada nos seus níveis superiores, sujeitos à erosão. Segundo as sondagens SCBV1 e SCBP1 (Geocontrolo, 2016) e S19 (Tecnasol, 2007) esta assentada é constituída localmente por uma alternância de camadas de areia fina siltosa (areolas) e de camadas argilosas e/ou margosas, menos possantes. Intercalações greso-carbonatadas, calco-margosas ou calcárias bioconstruídas são raras, contudo as suas possanças são expressivas, atingindo valores entre 2 e 3m. As colorações dominantes são o cinza-amarelado, cinza-acastanhado e cinza-esbranquiçado.

Entre o Km 0+322 e Km 0+478 o túnel atravessa a assentada dos *Calcários de Musgueira* (MVa3). As vertentes onde esta assentada ocorre são em geral convexas, denotando resistência à erosão superficial devido à dureza dos seus constituintes ou ao seu elevado grau de adensamento. As sondagens que intersectaram esta assentada – SCBT1 (Geocontrolo, 2016) e S01ST1/S02ST1 (Geocontrolo, 2009) confirmam a análise geomorfológica. Trata-se globalmente de camadas formadas por areias bastante cimentadas por carbonato de cálcio, com frequentes passagens de calcários e calcários gresosos

bioconstruídos (vulgo cascões) resistentes, com colorações cinza a cinza-amarelado/esbranquiçado ou esverdeado.

A assentada das *Areias do Vale de Chelas* (MVb) é atravessada pelo túnel entre os Km 0+478 e o Km 0+692, associando-se a esta formação formas de relevo convexas como aquelas que são visíveis na zona da Azinhaga das Salgadas, talhadas em areias com elevada cimentação e com passagens de biocalcarenitos. As sondagens realizadas sobre essa assentada (SCBT2 – Geocontrole, 2016; S01ST1/S02ST1 - Geocontrole, 2009) mostram que a mesma é localmente constituída no seu topo por areias bem cimentadas de coloração esbranquiçada a amarelada predominante, com passagens de biocalcarenitos e ainda por intercalações de solos mais finos como sejam siltes e argilas margosas, com colorações esverdeadas ou azuladas. A base é mais fina e mais adensada, mas com menor conteúdo fossilífero e menos passagens de biocalcarenitos.

Entre os Km 0+692 e o Km 0+855 o túnel atravessa a assentada dos *Calcários da Quinta das Conchas*, (MVc) cuja presença é bem notória pelas elevações que se destacam da envolvente, uma das quais cortadas pela linha de cintura da REFER. Estas elevações são ditadas pela grande concentração de camadas de biocalcarenitos resistentes, que se elevam, por erosão, dos solos mais argilosos e siltosos também característicos desta assentada. As sondagens SCBT2 e SCBT3 (Geocontrole, 2016) reconheceram sobretudo a faciés fina deste complexo, caracterizada localmente por argilas silto-margosas e argilas siltosas amareladas e cinza-azuladas; os níveis de biocalcarenitos que conferem o nome à assentada e que são responsáveis pelas elevações atrás referidas são visíveis na zona da envolvente da ruína da Quinta das Conchas e nos taludes da linha de cintura, nos trechos só parcialmente cobertos com betão projetado.

A assentada das *Argilas de Xabregas* (MVla) ocorre entre os Km 0+855 e Km 1+047 e a sua presença é bem notória pela vertente suave e de perfil côncavo em cuja base se constituiu a Estrada de Marvila. Os níveis mais a oeste desta assentada são essencialmente argilosos (argilas siltosas e/ou siltes argilosos de cor cinza-azulado com fracas passagens fossilíferas), como revela a sondagem SCBT3 (Geocontrole, 2016) e pouco resistentes à erosão. Os níveis a este e sobre os quais assenta a camada dos *Arenitos de Grilos*, são mais resistentes graças às intercalações de biocalcarenitos possantes, conforme foi reconhecido pelas sondagens SCBT4, SCBP2 e SCBV2 (Geocontrole, 2016 e 2017) e S1 a S5 (Tecnasol, 2004). Nesse sector, em adição às camadas argilosas e siltosas de tonalidades azuladas tão características desta assentada, ocorrem ainda siltitos areno-margosos, argilas siltosas e arenitos finos com colorações

cinza a cinza-amarelado e camadas de biocalcarenitos possantes, que podem representar já o termo de passagem para a assentada seguinte e mais recente dos *Arenitos de Grilos*.

Os *Arenitos de Grilos* (MVIIb) e *Calcários de Marvila* (MVIc) ocorrem no traçado do túnel desde o Km 1+047 até ao final deste, na obra de descarga. Este termo da série miocénica é o que apresenta características mais resistentes, sem dúvida devido às bancadas possantes de biocalcarenitos, que formam relevos do tipo costeira, onde se distinguem não só as camadas resistentes salientes do conjunto, como a inclinação dessas camadas que suportam o relevo. Um bom exemplo da dureza desta assentada pode ser visto nos taludes da linha da Azambuja, que corta o alinhamento do túnel junto ao Pátio do Marialva, onde se observam possantes camadas de grés calcário fossilífero de cor clara, cortadas praticamente na vertical. As sondagens realizadas ao longo do relevo de costeira do Beato - SCBT4, SCBP2 e SCBV2 (Geocontrole, 2016 e 2017) e S1 a S5 (Tecnasol, 2004), mostram um complexo em tudo semelhante ao observado no corte da linha do caminho-de-ferro, composto por uma sucessão de camadas de calcários gresosos fossilífero, biocalcarenitos, calcários margosos, arenitos mais ou menos carbonatados e camadas de fraca possança mais argilosas/siltosas, margosas e margo-gresosas. Todo este complexo carbonatado encontra-se afetado de carsificação primária, mostrando-se os espaços vacuolares preenchidos por óxidos avermelhados/amarelados (“terra rossa”) e alguma areia.

Todas estas assentadas se encontram ligeiramente basculadas no sentido do quadrante Este (em média cerca de 6°), isto é para o rio Tejo. Não se conhecem episódios de tectónica frágil a afetar as diferentes camadas miocénicas intersectadas pelo túnel.

As condições hidrogeológicas ocorrentes ao longo do traçado do túnel foram deduzidas através dos dados dos piezómetros instalados em nove dos furos de sondagem (SCBV1, SCBP1, SCBT1, SCBT2, SCBT3, SCBT4, SCBP2, SCBV2 e SCBV3) realizadas pela Geocontrole (2016 e 2017), dos dados dos piezómetros instalados em duas das sondagens (S3 e S4) realizadas pela Tecnasol (2004) para o edifício F. Bonnet e de dois ensaios de bombagem efetuados nos furos de sondagem SCBP1 e SCBT2 (LNEC; 2017), nas assentadas das *Areias com Placuna Miocénica* e das *Areias do Vale de Chelas*, respetivamente.

Adicionalmente a estes dados, dispõem-se ainda dos resultados de ensaios de permeabilidade Lefranc realizados pelo LNEC (2017) sobre algumas camadas particulares das assentadas miocénicas, que facultam uma apreciação muito local do coeficiente de permeabilidade da camada, desde que efetuados na zona saturada.

Embora o conjunto de dados seja reduzido, verifica-se que as condições hidrogeológicas ocorrentes ao longo do traçado do túnel são complexas, dado que a obra atravessa assentadas com características litológicas muito distintas. A primeira e mais pertinente apreciação é a evidência da não existência de um nível de água geral, mas sim de níveis de água freáticos ou confinados a diferentes profundidades e drenando segundo a inclinação das camadas para o rio Tejo, cuja ligação entre si não é possível estabelecer com os dados presentes. Analisando assentada por assentada onde existe informação de índole hidrogeológica, pode observar-se de forma simplificada o seguinte:

- Assentada das *Areias com Placuna Miocénica*: os piezómetros instalados nesta assentada posicionam o nível piezométrico de forma contínua entre as cotas (7,08) e (11,11), portanto com gradiente de cerca de 0.5% na direção do rio Tejo, sendo estes níveis limitados inferiormente por uma camada de argilas/argilas margosas que se prevê ter continuidade (é seguida pelo menos entre sondagens numa distância de 40m) com baixa permeabilidade (ensaios Lefranc revela um $K = 6.6 \times 10^{-6}$ m/s). O ensaio de bombagem realizado nesta assentada, com o nível crepinado numa camada de areia fina siltosa, posiciona o nível hidrostático à cota (8,01) e mostra que esta camada tem uma condutividade hidráulica e transmissividade médias (10^{-4} m/s e 864 m²/dia, respetivamente), sendo capaz de armazenar grandes volumes de água como comprova o coeficiente de armazenamento calculado (3.2×10^{-3} a 9.7×10^{-3}). A reduzida amostragem fornecida por estes piezómetros e ensaio de bombagem, não permite concluir com certeza acerca do tipo de massa de água aqui presente; contudo, dado o valor do coeficiente de armazenamento, a natureza das formações maioritariamente arenosas relativamente permeáveis presentes a teto e à presença de um nível de solos finos impermeáveis a muro, assumir-se-á que se trata do nível freático, portanto à pressão atmosférica, sendo a massa de água mantida por recarga direta. O escoamento, já atrás se referiu, faz-se com baixo gradiente no sentido do rio Tejo;
- Assentada dos *Calcários de Musgueira*: não existem dados que permitam concluir acerca do tipo de massa de água subterrânea presente nesta assentada. De acordo com os resultados dos ensaios Lefranc (embora estes tenham sido realizados na zona não saturada), a circulação e armazenamento de água encontra condições muito contrastantes se se fizer através das areias finas siltosas ($K > 10^{-5}$ m/s) ou através das camadas de margas fossilíferas ($K = 1,4 \times 10^{-7}$ m/s);
- Assentada das *Areias do Vale de Chelas*: na assentada da *Areias do Vale de Chelas* realizou-se um ensaio de bombagem numa camada de areias siltosas/siltes arenosos, tendo-se obtido um nível hidrostático situado à cota (9,30), limitado a teto e a muro por camadas de granulometria fina, portanto impermeáveis. A condutividade hidráulica e transmissividade obtidas neste ensaio de bombagem são baixas, da ordem de 10^{-7} m/s e 0,09 m²/dia, respetivamente, indiciando a presença de uma massa de água do tipo aquífero, provavelmente mesmo aquífero. Para esta apreciação

concorre igualmente os resultados dos ensaios Lefranc, onde se obteve valores de K de $1,57 \times 10^{-7}$ m/s e $6,1 \times 10^{-8}$ m/s. Os níveis de água medidos no interior das sondagens durante a sua realização e a posição do nível hidrostático parece indicar que a restrita circulação de água nesta assentada se faça com gradiente de 12% no sentido do rio Tejo;

- Assentada dos Calcários da Quinta das Conchas: não existem dados que permitam concluir acerca do tipo de massa de água subterrânea presente nesta assentada. De acordo com os resultados dos ensaios Lefranc, a circulação e armazenamento nesta assentada, que localmente tem predominância de camadas argilosas, está muito dificultada pela baixa condutividade hidráulica – $K = 2,4 \times 10^{-7}$ m/s e $3,3 \times 10^{-9}$ m/s;
- Assentada das *Argilas de Xabregas*: os níveis piezométricos medidos nesta assentada encontram-se invariavelmente nos níveis de arenitos e calco-arenitos que muitas vezes se confundem com as camadas da assentada mais recente dos Arenitos de Grilos que lhe está a teto, entre as cotas (21,55) e (4,00). Estes níveis piezométricos parecem indicar um escoamento da massa de água no sentido do rio Tejo, com gradiente de 9%. A massa de água aqui contida nesta assentada deverá ser do tipo semiconfinada, limitada a muro pela camada impermeável das argilas azuis, tão características desta assentada (K obtido nos ensaios Lefranc é de $4,8 \times 10^{-10}$ m/s), e a teto pelo conjunto greso-carbonatado dos Arenitos de Grilos;
- Assentada dos *Arenitos de Grilos*: os piezómetros cuja câmara se encontra instalada nesta assentada reportam a posição do nível piezométrico entre as cotas (2,76) e (2,22), naturalmente instalado em camadas de biocalcarenitos mais ou menos afetadas de carsificação. O complexo dos Arenitos de Grilos aparenta ser capaz de armazenar e transmitir águas subterrâneas, ainda que maioritariamente por porosidade por fratura, tratando-se de um aquífero livre/freático, com recarga direta. As variações destes níveis piezométricos, seguidas num dos casos ao longo de um mês e noutra caso durante um período pouco inferior a 7 meses, permite verificar que os mesmos não são afetados pelas marés do rio Tejo.

Quadro 6.3 – Níveis de água reconhecidos ao longo do traçado do túnel e sua posição/interferência com o túnel

Km	Cota do nível piezométrico / hidrostático	Posição relativamente ao túnel	Tipo de afluência expectável
0+000 a 0+322	(7,08) a (11,11) / (8,01)	Nível de água presente a meia altura do túnel	Afluência moderada de água freática em toda a frente. Não se prevê a existência de níveis de água em pressão
0+322 a 0+478	Desconhecido	Desconhecida	Afluência moderada de água freática nos níveis de areias
0+478 a 0+692	/ (9,30)	Nível de água presente na abóbada	Afluência baixa de água freática em toda a frente. Não se prevê a existência de níveis de água em pressão

Km	Cota do nível piezométrico / hidrostático	Posição relativamente ao túnel	Tipo de afluência expectável
0+692 a 0+855	Desconhecido	Desconhecida	Afluência baixa a muito baixa de água freática em toda a frente. Não se prevê a existência de níveis de água em pressão
0+855 a 1+047	(4,00) a (9,41) /	Níveis de água na abóbada e a topo desta	Afluência baixa a moderada nos níveis de biocalcarenitos que ocorram na frente. Possibilidade de ocorrência de níveis aquíferos com pressão superior à hidrostática
1+047 até ao final	(2,22) /	Nível de água presente a meia altura do túnel	Afluência moderada de água freática em toda a frente. Não se prevê a existência de níveis de água em pressão

6.3.13.2 Geotecnia

De forma sintética, a série miocénica atravessada pelo túnel é na maioria dos casos composta por solos, sendo que os níveis rochosos ocorrem intercalados nos solos em camadas geralmente pouco possantes e descontínuas, à exceção do trecho terminal do túnel, onde as camadas são globalmente de constituição rochosa.

Embora a amostragem efetuada não tenha sido extensa a mesma considera-se representativa. Segundo esta amostragem, os solos atravessados pelo túnel são maioritariamente solos finos argilosos do tipo CL (USCS: ASTM D2487, 2017) e solos areno-siltosos do tipo SM e mais raramente solos siltosos do tipo ML e solos grosseiros/cascalhentos do tipo GM (Figura 6.31). Estes solos repartem-se da seguinte forma pelas várias assentadas intersectadas pelo túnel (Figura 6.32):

- *Areias com Placuna Miocénica*: solos grosseiros e finos dos tipos SM e CL em igual percentagem;
- *Calcários da Musgueira*: Solos do tipo Sm unicamente;
- *Areias do Vale de Chelas*: solos grosseiros do tipo SM e solos finos dos tipos CL e ML;
- *Calcários da Quinta das Conchas*: solos finos unicamente do tipo CL;
- *Argilas de Xabregas*: maioritariamente solos finos do tipo CL e menos frequentemente solos grosseiros do tipo SM;
- *Arenitos de Grilos*: solos finos e grosseiros dos tipos CL e GM.

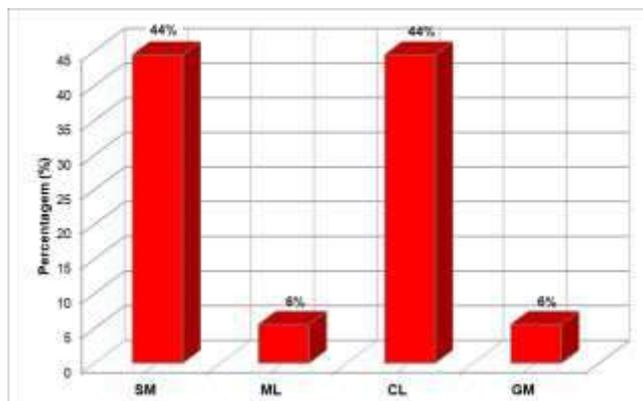


Figura 6.31 – Distribuição percentual das classes de solos (USCS) intersectada pelo túnel Chelas-Beato

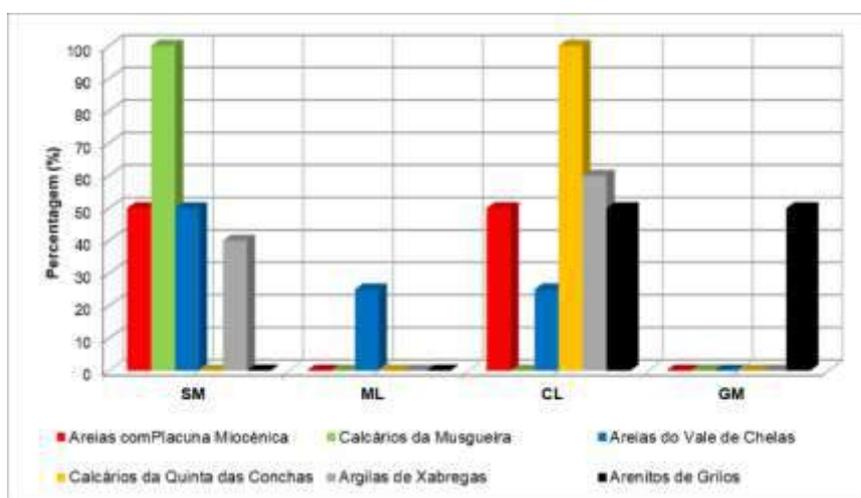


Figura 6.32 – Distribuição percentual das classes de solos (USCS) por assentada miocénica

No recobrimento do túnel, com espessura variável entre 9 m, 46 m e 8 m no portal Oeste, Azinhaga das Salgadas/Alto de Chelas e portal este, respetivamente, os solos apresentam-se descomprimidos no seu horizonte superior [ZG3A(3)] numa espessura que se cifra entre os 3 e os 10 m, mas que em média é cerca de 5 m, mas abaixo dessa profundidade já se mostram bastante adensados, com penetrações no ensaio SPT entre as 30 e 60 pancadas e frequentemente acima das 60 pancadas – zonas geotécnicas ZG2B e ZG2A.

Por outro lado, às profundidades a que o túnel efetivamente se desenvolve, estes solos são compactos a muito compactos ou rijos a muito rijos ($N_{SPT} = 30-60$ e ≥ 60), identificáveis com as zonas geotécnicas ZG2B

e ZG2A, mais frequentemente esta última, com exceção da zona do portal Oeste, em Chelas, onde se observa a presença de solos medianamente compactos ($N_{SPT} = 10-30$), identificáveis com a zona geotécnica ZG3A(3) na zona da abóbada. Os ensaios pressiométricos efetuados à cota do túnel (na zona da abóbada e confirmam estas gamas de compacidade/consistência elevadas reportadas pelos ensaios SPT. Nestes ensaios obtiveram-se pressões limite variáveis entre os 3,3 MPa e os 23 MPa, que refletem desde solos bastante adensados a solos extremamente adensados já com uma cimentação muito significativa.

O ensaio “cross-hole” realizado na zona da Estrada de Marvila dá uma boa ideia da progressão em profundidade da consistência/compacidade dos solos. Neste ensaio obtiveram-se valores das ondas de corte (V_s) entre 300 e 400 m/s até cerca de 7 m de profundidade, provavelmente correspondente ao horizonte descomprimido, tendo-se obtido entre os 8 e 26 m velocidades destas ondas entre 400 e 500 m/s, materializando o horizonte de solos compactos a muito compactos. Abaixo dos 26 m as V_s sofrem um incremento grande, terminando o ensaio aos 29 m com um valor das ondas de corte de 717 m/s, indexável a solos muito rijos/muito compactos já bastante cimentados. No mesmo ensaio as ondas longitudinais (V_p) mostram semelhante desenvolvimento, embora as profundidades dos interfaces de velocidades não sejam totalmente compatíveis, em parte por causa da interferência dos níveis de água. Aos 29 m, no final do ensaio a velocidade das ondas P é de cerca de 2700 m/s, o que atesta o franco adensamento experimentado por estes solos.

Os níveis rochosos não foram alvo de qualquer caracterização laboratorial. Na maioria das assentadas atravessadas estes níveis correspondem a biocalcarenitos (cascões) muito fossilíferos, cuja possança reduzida faz com que não sejam sequer contabilizados na descrição das sondagens. Existem contudo níveis mais possantes que ocorrem com possanças entre 0,2 e 2,5 m, portanto com expressão cartográfica [zona geotécnica ZG1B(1)], mas que aparentemente têm pouca continuidade, como se pode inferir pela informação entre sondagens contíguas e pela observação dos cortes (geralmente para a abertura de vias) existentes ao longo do traçado do túnel. Ocorrem geralmente muito a medianamente alterados (W4-3 – ISRM) e com fracturação muito próxima a próxima (F4-5 – ISRM), que determina índices RQD característicos de 25-30% - ZG1.

As camadas de constituição rochosa possantes [ZG1B(1)] ocorrem apenas no final do traçado, ligadas à zona de transição da assentada das Argilas de Xabregas para os Arenitos de Grilos, mas sobretudo à assentada dos Arenitos de Grilos. Neste sector pode verdadeiramente falar-se num complexo de características rochosas, visto que são raras as intercalações de solos e as possanças e continuidade das

rochas brandas são consideráveis. Este complexo apresenta-se em geral muito a medianamente alterado (W4-3 – ISRM), pontualmente com zonas friáveis (W5 a W4-5) e com fracturação muito próxima a próxima (F5-4 a F4 – ISRM), pontualmente próxima a medianamente afastada (F4-3). Esta fracturação traduz-se em índices RQD variáveis entre 7 e 90%, com valor característico (Schneider, 1999) de 31%, que materializam, segundo esta classificação um maciço rochoso muito fraco a bom, mais frequentemente fraco.

Relativamente à distribuição das zonas geotécnicas ao longo do traçado, de forma sucinta, observa-se que o túnel se desenvolve desde o Km 0+000 até ao Km 1+020 sobretudo na zona geotécnica ZG2A(1/2), com passagens das zonas Z3A(3), ZG2B(1) e ZG1B(1). Desde o Km 1+020 até ao final, o túnel desenvolve-se sobretudo na zona geotécnica ZG1B(1), com passagens da zona ZG2A(2). Abaixo discretiza-se a percentagem expectável de cada uma das zonas geotécnicas interessadas ao túnel, por Km e assentada miocénica, sintetizando-se na Figura seguinte as percentagens globais para o traçado do túnel:

- Km 0+000 a 0+316: ZG3A(3) = 1%; ZG2B(1) = 6%; ZG1B(1) = 10%; ZG2A(2) = 20%; ZG2A(1) = 63%;
- Km 0+316 a 0+481: ZG1B(1) = 25%; ZG2A(1) = 75%;
- Km 0+481 a 0+684: ZG1A(1) = 50%; ZG2A(2) = 50%; embora as sondagens não a tenham intersectado, a estimativa é que entre estes Km's a zona ZG1B(1) com características rochosas brandas, possa ocorrer em 5% dos casos;
- Km 0+684 a 0+854: No traçado do túnel apenas se intersectou a zona geotécnica ZGA(2). Estima-se contudo, que as intercalações de biocalcarenitos sejam abundantes embora descontínuas e que a mesmas poderão representar até cerca de 25% do trecho em questão;
- Km 0+854 a 1+022: ZG1B(1) = 15%; ZG2A(2) = 85%;
- Km 1+022 até ao final: ZG2A(2) = 30%; ZG1B(1) = 70% podendo ascender a 90% do trecho em análise.

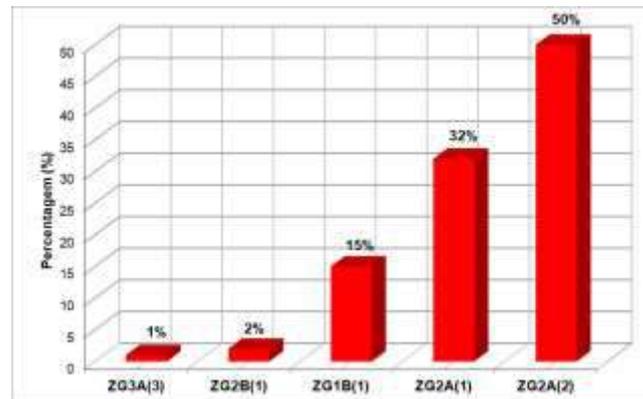


Figura 6.33 – Estimativas percentuais das zonas geotécnicas intersectadas ao longo do traçado do túnel

6.3.13.3 Condições de Escavação

Relativamente às proporções dos terrenos a escavar, os solos miocénicos representam praticamente a totalidade dos terrenos a escavar, já que a fração rochosa tem pouca significância ao longo do traçado do túnel e dificilmente quantificável, dada a sua possança e distribuição erráticas. Deve assumir-se, portanto, para efeitos de escavação na frente, a predominância de solos geralmente compactos a muito compactos/rijos a muito rijos, com a presença de bancos rochosos geralmente brandos de possança variável.

De acordo com a figura atrás mostrada, a fácies areno-siltosa (solos tipo SM e CL – USCS) e a fácies argilosa são dominantes (44% em ambos os casos), sendo que as fácies siltosa (ML) e cascalhenta (GM) representam cada uma delas cerca de 6% dos terrenos a escavar.

Relativamente à orientação estrutural, não são conhecidos acidentes frágeis que determinem comportamentos heterogéneos nas frentes. As camadas miocénicas estão levemente basculadas no sentido do quadrante Este (em média cerca de 6°), isto é na direção do rio Tejo.

As cargas hidráulicas na frente não são expressivas, observando-se que o topo da superfície saturada (freática) se encontra na maioria dos casos a meia altura do túnel ou na zona da abóbada. Não conhece a existência de níveis de água em pressão capazes de instabilizar a frente.

6.3.14 PROJETO 14

6.3.14.1 Geologia e Hidrogeologia

A obra de desvio dos caneiros localiza-se sobre os leitos menor e maior da ribeira de Chelas, numa zona aluvionada muito plana sobre a qual, através da colocação de aterros, se constituiu em definitivo a plataforma da estrada de Chelas ainda na década de 30 do século passado, sobre caminhos pedonais ou viários mal consolidados existentes ao longo do leito da ribeira.

Atualmente, da ribeira de Chelas apenas se conhece o seu nome, dado que a mesma se encontra encanada. Os registos históricos mais antigos desta zona da cidade, nomeadamente aqueles acerca do antigo Convento de Chelas e datados de 1782, dão conta de um poço no interior dos muros do convento e de uma nora fora destes, evidenciando que a esta data a ribeira ainda correria livremente e que os seus caudais eram utilizados para rega e eventualmente consumo. Os registos provenientes das cartas topográficas da cidade de Lisboa, de Filipe Folque (1871) e da mais detalhada de Silva Pinto (1904-1911), já não mostram a ribeira como linha de água de superfície, deduzindo-se, pois, o seu traçado e extensão lateral das suas aluviões pelo alinhamento de hortas e campos arados que se fixaram sobre os seus terrenos férteis e alagadiços.

As aluviões e os aterros quaternários que ocorrem no local da obra, com espessuras locais variáveis entre os 4 e 10 m, assentam sobre o substrato miocénico pertencente à assentada das *Areias com Placuna Miocénica*, do Burdigaliano superior.

Os aterros são de granulometria heterogénea, incluindo frequentemente fragmentos cerâmicos e restos de construção. As aluviões correspondem a siltes de cor castanha e a areias finas, silto-argilosas com passagens de siltes argilosos, de coloração castanho-escuro.

O substrato miocénico das *Areias com Placuna Miocénica* corresponde a uma alternância de camadas de areia fina siltosa (areolas) e de camadas argilosas e/ou margosas, menos possantes. Intercalações greso-carbonatadas, calco-margosas ou calcárias bioconstruídas são raras, contudo as suas possanças são expressivas, atingindo valores entre 2 e 3m.

No que respeita à hidrogeologia, o ensaio de bombagem realizado no local da obra (junto da sondagem SCBP1), com o nível crepinado numa camada de areia fina siltosa, posiciona o nível hidrostático à cota (8,01) na zona do leito maior, a topo de uma camada de argilas/argilas margosas miocénicas que se prevê ter continuidade (é seguida pelo menos entre sondagens numa distância de 40m) na margem esquerda.

Este ensaio mostra ainda que esta camada de areias finas siltosas tem uma condutividade hidráulica e transmissividade médias (1×10^{-4} m/s e 864 m²/dia, respetivamente), sendo capaz de armazenar grandes volumes de água como comprova o coeficiente de armazenamento calculado ($3,2 \times 10^{-3}$ a $9,7 \times 10^{-3}$).

Na sondagem SCBV1 onde se instalou um piezómetro duplo do tipo Casagrande registou-se um nível de água variável entre as cotas (9,38) e (11,11), correspondente à base das aluviões/aterros da ribeira de Chelas atualmente encanada.

A reduzida amostragem fornecida por este piezómetro e ensaio de bombagem, não permite concluir com certeza acerca do tipo de massa de água aqui presente; contudo, dado o valor do coeficiente de armazenamento, a natureza das formações maioritariamente arenosas permeáveis presentes a teto e à presença de um nível de solos finos impermeáveis a muro, assumir-se-á que se trata do nível freático, portanto à pressão atmosférica, sendo a massa de água mantida por recarga direta. O escoamento, segundo os dados coligidos da envolvente, far-se-á com baixo gradiente (0.5%), no sentido do rio Tejo

6.3.14.2 Geotecnia

Observa-se que o conjunto das aluviões e aterros correspondem a solos soltos a medianamente compactos ($N_{SPT} \leq 10$ e 10-30), portanto com fracas características geotécnicas e enquadráveis nas zonas geotécnicas ZG3B(1) e ZGA(2). As aluviões, embora arenosas e soltas não apresentam potencial de liquefação, dado que as mesmas não se encontram submersas, devido ao facto da ribeira correr atualmente encanada.

O substrato miocénico local é na sua globalidade resistente e muito compacto/muito rijo ($N_{SPT} \geq 60$) – ZG2A(1/2), à exceção de uma franja de solos descomprimidos, medianamente compactos ($N_{SPT} = 10-30$), abaixo das aluviões do leito maior, que se podem associar à zona geotécnica ZG3A(3). A espessura desta franja descomprimida é máxima (cerca de 7,5 m) nas zonas do leito maior mais afastadas do canal do rio, diminuindo progressivamente em direção ao leito menor, onde desaparece sob o canal do rio, por efeito da erosão fluvial.

Os níveis greso-carbonatados, calco-margosos ou calcários bioconstruídos associados à zona geotécnica ZG1B(1), apresentam-se com alteração forte a moderada (W4-3), que se traduz em valores do índice RQD variáveis entre 6 e 30%.

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

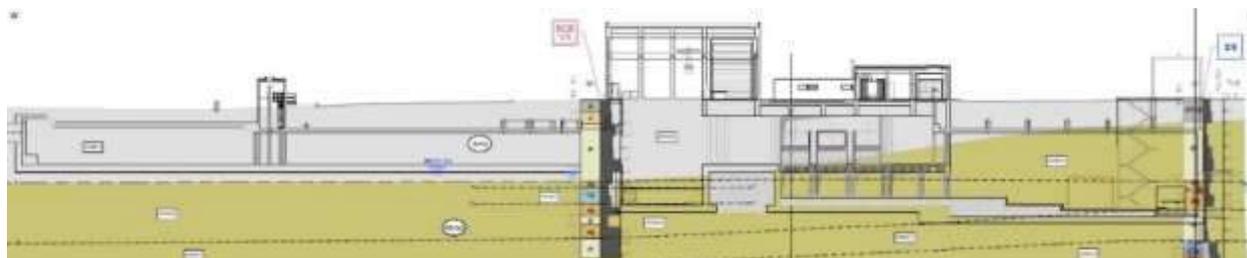


Figura 6.34 – Zonamento adotado no Projeto E14

6.3.14.3 Condições de Escavação e Desmorte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação das unidades dos aterros e aluviões ZG3B(1) e ZGA(2) e da unidade miocénica MI subdividida nas subzonas geotécnicas ZG2A(1/2) e ZG3A(3) se poderá realizar com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde, sendo igualmente de prever o “ripper” para o desmorte de camadas de rocha branda que possam ocorrer pontualmente.

6.3.15 PROJETO 15

6.3.15.1 Geologia e Hidrogeologia

O troço 1 da obra de descarga do túnel na zona do Beato desenvolve-se na sua parte inicial sobre a base do relevo de costeira do Beato, que foi talhado nas formações miocénicas rijas dos *Arenitos de Grilos* e na sua parte final sobre a plataforma de aterro estabelecida sobre as aluviões do rio Tejo e as já desaparecidas praias do Poço do Bispo e da Marabana (Xabregas), ainda antes do final do séc. XVIII, para a criação dos acessos às fábricas que então se fixaram na zona de Marvila.

Os aterros presentes ao longo do troço 1 correspondem, na zona urbanizada e até à Avenida Infante Dom Henrique, a solos arenosos ou areno-siltosos, cuja espessura varia entre os 1,5 e 1,8 m, de coloração amarelada a castanho-amarelada, incluindo por vezes fragmentos do substrato calco-gresoso que está abaixo, sobre o qual estes depósitos assentam. Na zona já afeta à APL – terminal de contentores, após a Avenida Infante Dom Henrique, estes aterros são mais espessos (atingem cerca de 6,0 m) e misturam-se já com as aluviões subjacentes, correspondendo a solos de granulometria muito heterogénea, com colorações que vão desde o castanho-esverdeado e castanho-escuro ao cinza-escuro.

As aluviões abaixo dos aterros na zona do terminal de contentores da APL são de constituição argilo-lodosa de cor cinza-escuro, tendo-se reconhecido localmente as mesmas numa espessura de 3,0 m.

Os depósitos quaternários (aterros e aluviões) assentam sobre o substrato miocénico pertencente às assentadas dos *Arenitos de Grilos*, do Serravaliano e dos *Calcários de Marvila*, do Tortoniano. Os *Arenitos de Grilos*, que correspondem ao substrato presente na zona da obra de saída do túnel e até sensivelmente a Avenida Infante Dom Henrique, correspondem localmente a uma sucessão de camadas de calcários gresososossilífero, biocalcarenitos, calcários margosos, arenitos mais ou menos carbonatados e camadas de fraca possança mais argilosas/siltosas, margosas e margo-gresosas. Todo o conjunto carbonatado encontra-se afetado de carsificação primária, encontrando-se os espaços vacuolares preenchidos por óxidos avermelhados/amarelados (“terra rossa”) e alguma areia. Os *Calcários de Marvila*, presentes a topo daquela camada anterior a partir da Avenida Infante Dom Henrique e com uma espessura média reconhecida da ordem dos 3,0 m, correspondem localmente a uma alternância de camadas argilosas e argilo-silto-margosas de cor acinzentada-acastanhada a amarelada na base, mais possantes e camadas delgadas de biocalcarenitos gresosos, de cor cinza e afetados de carsificação primária.

No que respeita à hidrogeologia, dispõe-se dos resultados das medições dos níveis piezométricos na proximidade da obra, nas sondagens S3 e S4 (Tecnasol, 2004) realizada para o edifício F. Bonnet e SCBP2 (Geontrol, 2016) e SCBV2 (geontrol, 2017). Até à zona da Avenida Infante Dom Henrique os níveis freáticos são variáveis entre as cotas (4,00) e (2,22) situando-se no maciço calco-margoso dos *Arenitos de Grilos*, ao longo da estratificação e em níveis de maior fracturação (porosidade dupla). As variações destes níveis piezométricos, seguidas num dos casos ao longo de um mês e noutra caso durante um período pouco inferior a 7 meses, permite verificar que os mesmos não são afetados pelas marés do rio Tejo.

A partir da mesma avenida e até à zona do terminal de contentores da APL, o nível freático situa-se à cota máxima de (1,87), instalado nos aterros quaternários depositados sobre as aluviões e nalguns casos já misturados, evidenciando neste caso variações com as marés do rio Tejo. Dado que estes depósitos constituem aquíferos livres, a recarga dá-se de forma direta, em toda a extensão da camada de aterros.

6.3.15.2 Geotecnia

Os aterros da zona urbanizada que se estende até à Avenida Infante Dom Henrique correspondem a solos medianamente compactos ($N_{SPT} = 10-30$), podendo-se-lhes associar as características definidas para a zona geotécnica ZG3A(2). Estes mesmos depósitos a partir desta avenida e na zona do terminal de contentores da APL, apresentam-se misturados com as aluviões sobre as quais foram dispostos e apresentam-se num estado de compacidade/consistência ($N_{SPT} = 2-5$) muito solto a solto/mole, evidenciando, portanto, muito baixa resistência [ZG3B(1)].

Quanto às aluviões que ocorrem abaixo dos aterros na zona do terminal de contentores da APL, estas apresentam muito baixa resistência, enquadrando-se na gama dos solos muito moles ($N_{SPT} = 2$), podendo-se-lhes associar as características definidas para a zona geotécnica ZG3B(1).

O substrato miocénico dos *Arenitos de Grilos*, intersectado pela obra até à Avenida Infante Dom Henrique, tem globalmente características rochosas brandas [ZG1B(1)] em toda a extensão e profundidade intersectadas pela obra. Este apresenta-se em geral muito a medianamente alterado (W4-3 – ISRM), pontualmente com zonas friáveis (W5 a W4-5) e com fracturação muito próxima a próxima (F5-4 a F4 – ISRM), pontualmente próxima a medianamente afastada (F4-3). Esta fracturação traduz-se em índices RQD variáveis entre 7 e 90%, com valor característico de 31%, que materializam, segundo esta classificação, um maciço rochoso muito fraco a bom, mais frequentemente fraco.

As camadas miocénicas dos *Calcários de Marvila*, presentes na zona do terminal de contentores da APL e que assentam nessa mesma zona sobre a camada rochosa branda dos *Arenitos de Grilos*, apresentam-se descomprimidas no trecho interessado à obra. Tratam-se localmente de solos finos, muito duros a rijos ($N_{SPT} = 19-36$) – ZG3A(3). As camadas de biocalcareníctos que ocorrem no seio destes solos não têm possança suficiente para que se considere a presença das mesmas, relevante, para o comportamento mecânico global desta camada.

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

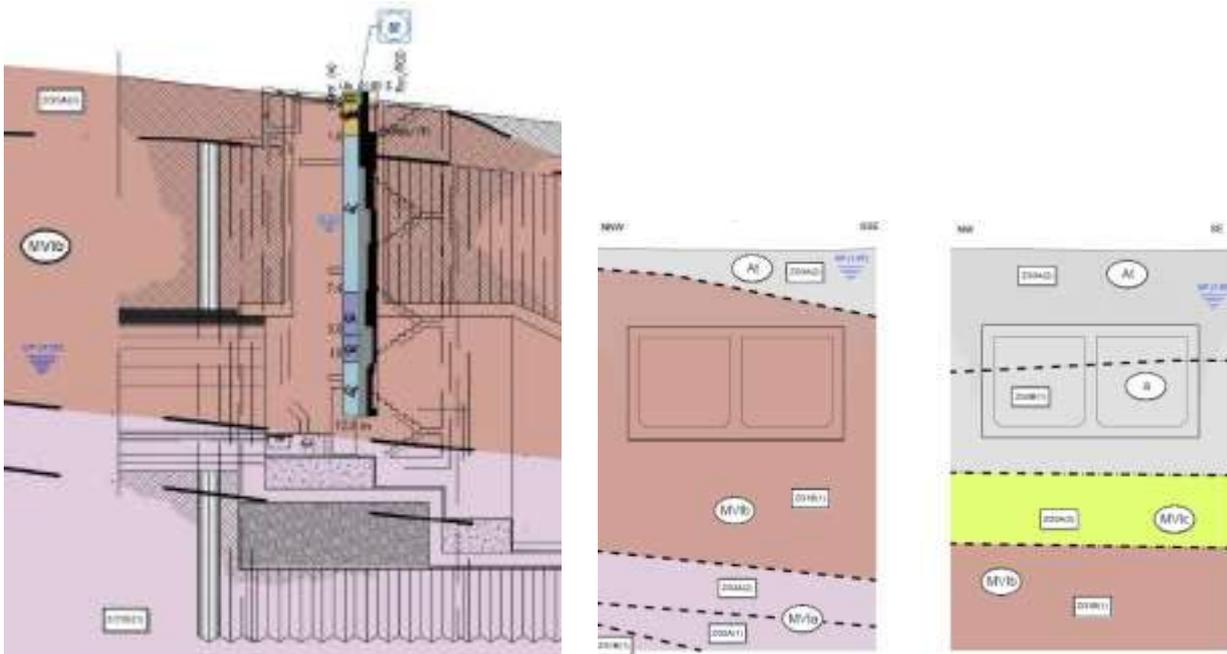


Figura 6.35 – Zonamento adotado no Projeto E15

6.3.15.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação das unidades dos aterros e aluviões ZG3A(2), ZG3B(1) e ZG3B(1) e das unidade miocénicas dos *Arenitos de Grilos* e *Calcários de Marvila* subdivididas nas subzonas geotécnicas ZG1B(1) e ZG3A(3) se poderá realizar, ma maioria dos casos com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde, sendo igualmente de prever o “ripper” para o desmonte de camadas de rocha branda.

6.3.16 PROJETO 16

6.3.16.1 Geologia e Hidrogeologia

O troço 2 da obra de descarga do túnel na zona do Beato desenvolve-se inicialmente sobre os aterros a tardo da zona do muro-cais da doca do Poço do Bispo, que se depositaram sobre as aluviões do Tejo e, no seu trecho final, sobre os aterros grosseiros depositados sobre os terrenos miocénicos, após dragagem dos depósitos das antigas praias do Poço do Bispo e da Marabana (Xabregas) e das aluviões do rio Tejo, para edificação dos molhes.

Os aterros a tardo do muro-cais assentam sobre as aluviões do rio Tejo, têm espessuras locais da ordem dos 4,5 m e são de constituição essencialmente arenosa, de granulometria variável e cores variando entre

o esbranquiçado e amarelado. Os aterros sobre os quais se construíram os molhes correspondem a TOT e enrocamento, e os mesmos assentam sobre os terrenos miocénicos.

As aluviões que ainda subsistem abaixo dos aterros da zona do muro-cais são constituídas a topo por areias médias a finas, siltsosas de cor amarelada a acinzentada, com passagens de lodos argilo-siltosos cinzas e na base por lodos cinza escuros de fração argilo-siltosa, com passagens arenosas.

Estes depósitos quaternários anteriormente descritos assentam sobre a assentada miocénica dos *Calcários de Marvila*, do Tortoniano, que localmente atinge espessuras entre os 3,0 e os 12,0 m e corresponde a uma alternância de camadas argilosas e argilo-silto-margosas de cor acinzentada-acastanhada/esverdeada/azulada pontualmente amarelada mais possantes e camadas delgadas de biocalcarenitos gresosos, de cor cinza e afetados de carsificação primária. Subjacente à assentada dos *Calcários de Marvila*, ocorre ainda a assentada dos *Arenitos de Grilos*, do Serravaliano, que localmente corresponde a uma sucessão de camadas de calcários gresosos fossilífero, biocalcarenitos, calcários margosos, arenitos mais ou menos carbonatados e camadas de fraca possança mais argilosas/siltosas, margosas e margo-gresosas. Todo o conjunto carbonatado encontra-se afetado de carsificação primária, encontrando-se os espaços vacuolares preenchidos por óxidos avermelhados/amarelados (“terra rossa”) e alguma areia.

No que respeita à hidrogeologia, na parte inicial do troço 2, o piezómetro instalado na sondagem SCBV3 (Geocontrolo, 2017), mostra que o nível freático se encontra instalado nos aterros, à cota (1,95) e sujeito às variações das marés no rio Tejo. Dado que estes depósitos constituem aquíferos livres, a recarga dá-se de forma direta, em toda a extensão da camada de aterros.

Na parte final do troço 2 da obra de descarga, os níveis de água são ditados pelas marés do rio Tejo, situando-se entre as cotas hidrográficas (-1,43) e (1,87), sendo que a preia-mar máxima teórica pode alcançar a cota (2,44).

6.3.16.2 Geotecnia

Os aterros do tardo do muro-cais correspondem a solos medianamente compactos ($N_{SPT} = 10-30$), podendo-se-lhes associar as características definidas para a zona geotécnica ZG3A(2). As aluviões sobre as quais estes aterros foram dispostos são de muito menor resistência, enquadrando-se na gama dos solos soltos/medianamente consistentes ($N_{SPT} = 4-13$), podendo-se-lhes associar as características definidas para a zona geotécnica ZG3B(1).

Os aterros de enrocamento TOT sobre os quais foram constituídos os muros-cais e molhes não foram caracterizados pelos ensaios “in situ” realizados (os mesmos não são adequados para esse fim). Tratam-se, contudo, segundos estudos efetuados em obras portuárias análogas e na proximidade (nomeadamente nas obras de reabilitação e reforço das Docas do Terreiro do Trigo e da Marinha), de misturas solo-enrocamento com boa resistência mecânica e baixa deformabilidade ($\gamma = 19\text{kN/m}^3$; $\phi = 40^\circ$; $c = 0\text{kPa}$; $E = 80\text{MPa}$ – Godinho/WW, 2015).

Entre a área a tardoz do muro-cais e até cerca de meia distância entre o muro cais e o molhe, as camadas miocénicas dos *Calcários de Marvila* encontram-se descomprimidas numa espessura média de cerca de 3,0 m [ZG3A(3)] e as mesmas assentam sobre a camada dos *Arenitos de Grilos*, com características rochosas brandas [ZG1B(1)]. A partir dessa meia distância e até ao final da obra, os *Calcários de Marvila* são em geral resistentes, tendo-se obtido a topo e numa franja de pouco mais de 1,5 m, resistências à penetração do amostrador SPT da ordem de 30 pancadas [ZG2B(2)] e abaixo dessa franja e até ao contacto com a assentada dos *Arenitos de Grilos* subjacente, resistências no mesmo ensaio da ordem de 60 pancadas ou superiores [ZG2A(2)].

A assentada dos *Arenitos de Grilos*, que está na base do dispositivo geotécnico local do troço 2 da obra de descarga, tem globalmente características rochosas brandas [ZG1B(1)]. As rochas que a constituem estão em geral muito a medianamente alteradas (W4-3 – ISRM, 1980), pontualmente com zonas friáveis (W5 a W4-5) e com fracturação muito próxima a próxima (F5-4 a F4 – ISRM), pontualmente próxima a medianamente afastada (F4-3). Esta fracturação traduz-se em índices RQD variáveis entre 7 e 90%, com valor característico de 31%, que materializam, segundo esta classificação um maciço rochoso muito fraco a bom, mais frequentemente fraco.

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

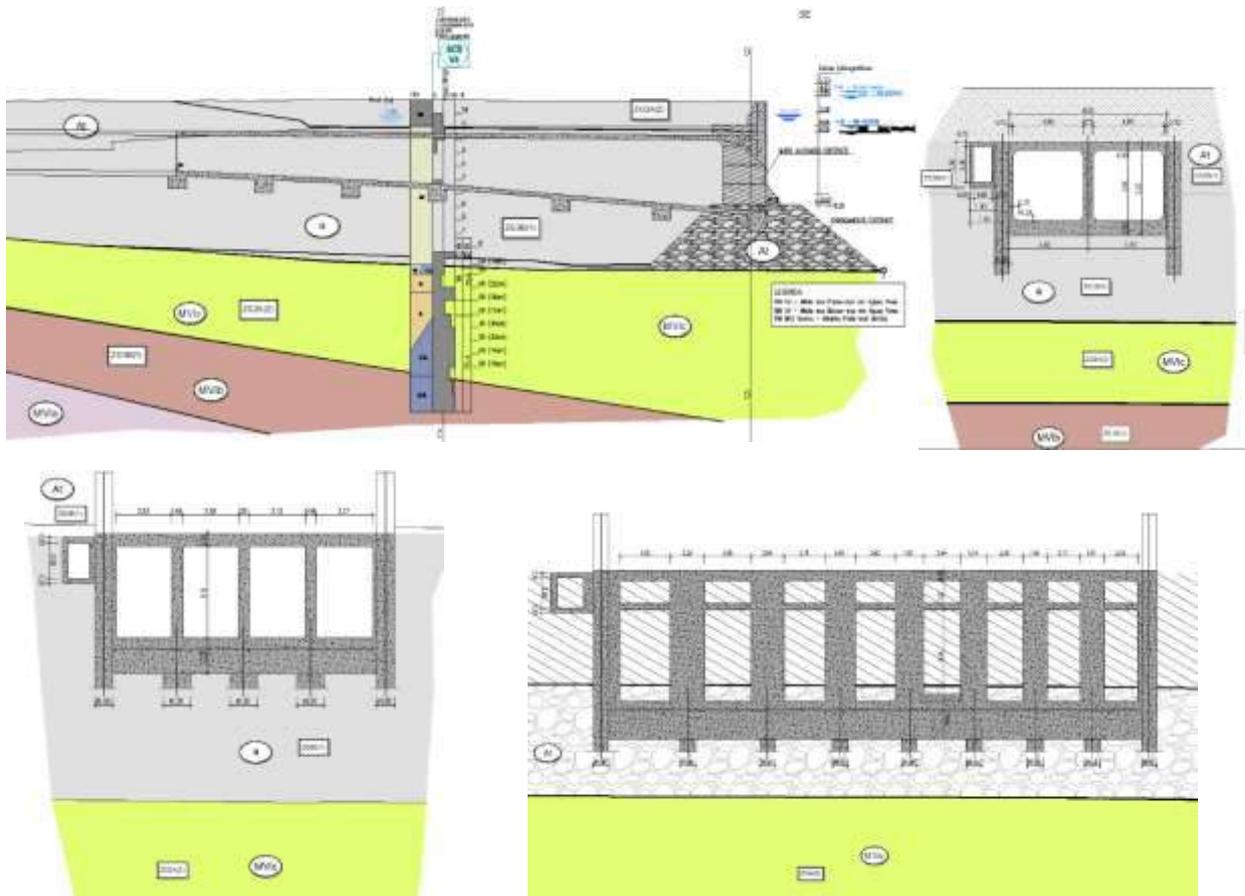


Figura 6.36 – Zonamento adotado no Projeto E16

6.3.16.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação das unidades dos aterros terrosos e pedregosos e aluviões ZG3A(2) e ZG3B(1) e das unidade miocénicas dos *Arenitos de Grilos* e *Calcários de Marvila* subdivididas nas subzonas geotécnicas ZG3A(3), ZG2B(2), ZG2A(2) e ZG1B(1) se poderá realizar, na maioria dos casos com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde, sendo igualmente de prever o “ripper” para o desmonte de camadas de rocha branda.

6.3.17 PROJETO 17

6.3.17.1 Geologia e Hidrogeologia

As câmaras de desvio de caudal da Broma, Quartel e Picheleira, localizam-se sobre o leito menor da ribeira de Chelas, numa zona aluvionada muito plana sobre a qual, através da colocação de aterros, se constituiu em definitivo a plataforma da estrada de Chelas ainda na década de 30 do século passado, sobre caminhos pedonais ou viários mal consolidados existentes ao longo do leito da ribeira.

Atualmente, da ribeira de Chelas apenas se conhece o seu nome, dado que a mesma se encontra encanada. Os registos históricos mais antigos desta zona da cidade, nomeadamente aqueles acerca do antigo Convento de Chelas e datados de 1782, dão conta de um poço no interior dos muros do convento e de uma nora fora destes, evidenciando que a esta data a ribeira ainda correria livremente e que os seus caudais eram utilizados para rega e eventualmente consumo. Os registos provenientes da carta topográfica da cidade de Lisboa, de Filipe Folque (1871), já não mostram a ribeira como linha de água de superfície, deduzindo-se pois o seu traçado e extensão lateral das suas aluviões pelo alinhamento de hortas e campos arados que se fixaram sobre os seus terrenos férteis e alagadiços.

As aluviões e os aterros quaternários que ocorrem no local da obra, com espessura da ordem dos 8-10m, assentam sobre o substrato miocénico pertencente à assentada das Areias com Placuna Miocénica, do Burdigaliano superior.

Os aterros são de granulometria heterogénea, incluindo frequentemente fragmentos cerâmicos e restos de construção. As aluviões correspondem a siltes de cor castanha e a areias finas, silto-argilosas com passagens de siltes argilosos, de coloração castanho-escuro.

O substrato miocénico das *Areias com Placuna Miocénica* corresponde a uma alternância de camadas de areia fina siltosa (areolas) e de camadas argilosas e/ou margosas, menos possantes. Intercalações greso-carbonatadas, calco-margosas ou calcárias bioconstruídas são raras, contudo as suas possanças são expressivas, atingindo valores entre 2 e 3m.

No que respeita à hidrogeologia, não se conhece o nível piezométrico nos locais das obras situados na faixa do leito menor da ribeira de Chelas. O nível piezométrico medido na única sondagem realizada (SCBV1 - Geocontrole, 2016) nessa faixa é variável entres as cotas (8,83) e (10,81) e corresponde à base das aluviões/aterros.

6.3.17.2 Geotecnia

As três obras projetadas, interessam, à partida, apenas os depósitos aluvionares e eventualmente de aterro presentes no leito da antiga ribeira. O conjunto destes depósitos correspondem a solos soltos, ($N_{SPT} \leq 10$), portanto com fracas características geotécnicas – zona geotécnica ZG3B(1). As aluviões, embora arenosas e soltas não apresentam potencial de liquefação, dado que as mesmas não se encontram submersas, devido ao facto da ribeira correr atualmente encanada.

O substrato miocénico prevê-se, não será à partida intersectado pela generalidade das obras, salvo em zonas pontuais. Nessas zonas, o substrato local é essencialmente de fácies argilosa e apresenta uma franja mais descomprimida ($N_{SPT} = 10-30$) – ZG3A(3), que se prevê não ultrapasse os 1,5 m de espessura, a que se segue em profundidade o maciço muito rijo ($N_{SPT} \geq 60$) – ZG2A(2).

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

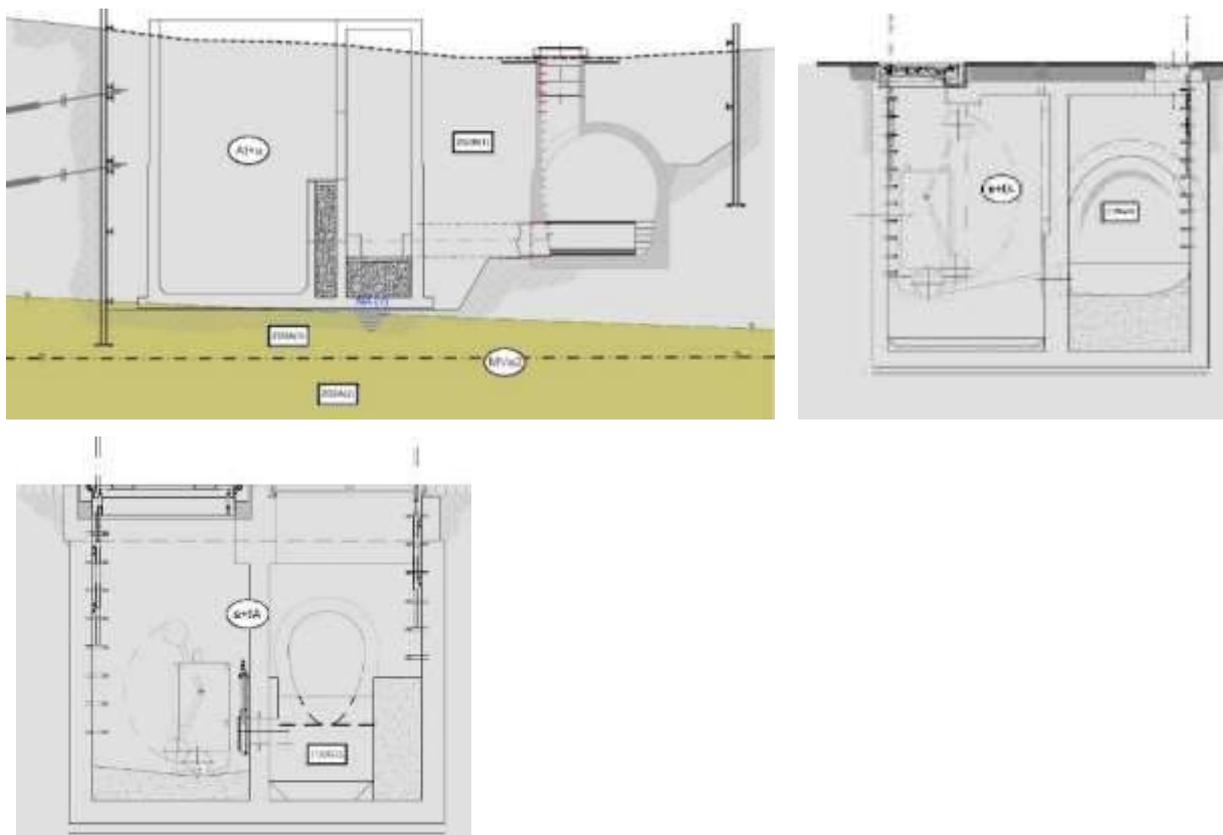


Figura 6.37 – Zonamento adotado no Projeto E17. Da esquerda para a direita: câmara do Quartel, Broma e Picheleira

6.3.17.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação das unidades dos aterros/aluviões identificados com a subzona geotécnica ZG3B(1) e do substrato miocénico identificado com as subzonas geotécnicas ZG3A(3) e ZG2A(2) se poderá realizar com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde.

6.3.18 PROJETO 18

6.3.18.1 Geologia e Hidrogeologia

A câmara de desvio de caudal da Rua dos Amigos de Lisboa localiza-se sobre a plataforma de aterro estabelecida sobre as já desaparecidas praias do Poço do Bispo e da Marabana (Xabregas), ainda antes do final do séc. XVIII, para a criação dos acessos às fábricas que então se fixaram na zona de Marvila.

Estes aterros quaternários recentes, com espessura da ordem dos 1,5-1,8 m, assentam por sua vez sobre o substrato miocénico pertencente à assentada dos Grés/Arenitos de Grilos, do Serravaliano.

Localmente estes aterros são de constituição arenosa ou areno-siltosa, de coloração amarelada a castanho-amarelada, incluindo por vezes fragmentos do substrato calco-gresoso abaixo.

O substrato miocénico dos *Arenitos de Grilos* corresponde a uma sucessão de camadas de calcários gresosos fossilífero, biocalcarenitos, calcários margosos, arenitos mais ou menos carbonatados e camadas de fraca possança mais argilosas/siltosas, margosas e margo-gresosas. Todo o conjunto carbonatado encontra-se afetado de carsificação primária, encontrando-se os espaços vacuolares preenchidos por óxidos avermelhados/amarelados (“terra rossa”) e alguma areia.

No que respeita à hidrogeologia, dispõe-se dos resultados das medições dos níveis piezométricos nas sondagens S3 e S4 (Tecnasol, 2004) realizada para o edifício F. Bonnet, e na proximidade da obra projetada, que permitem situar este nível aproximadamente à cota (2,76), no seio das camadas greso-carbonatadas do substrato miocénico. O registo destes níveis piezométricos quase durante um mês permite verificar que os mesmos não são afetados pelas marés do rio Tejo. A pequena amostragem fornecida por estes piezómetros, não permite concluir acerca do tipo de massa de água aqui presente; contudo, dado a natureza das formações envolvidas e seu tipo de compartimentação, assumir-se-á que se trata do nível freático.

6.3.18.2 Geotecnia

Os aterros presentes no local, presume-se corresponderem, na sua globalidade, a solos medianamente compactos ($N_{SPT} = 10-30$) – zona geotécnica ZG3A(2).

O substrato miocénico tem prováveis características rochosas brandas [ZG1B(1)] em toda a extensão e profundidade intersectadas pela obra. Este apresenta-se em geral muito a medianamente alterado (W4-3 – ISRM), pontualmente com zonas friáveis (W5 a W4-5) e com fracturação muito próxima a próxima (F5-4 a F4 – ISRM, 1980), pontualmente próxima a medianamente afastada (F4-3). Esta fracturação traduz-se em índices RQD variáveis entre 13 e 79%, que materializam, segundo esta classificação um maciço rochoso muito fraco a bom.

Na Figura abaixo apresenta-se o zonamento geotécnico considerado.

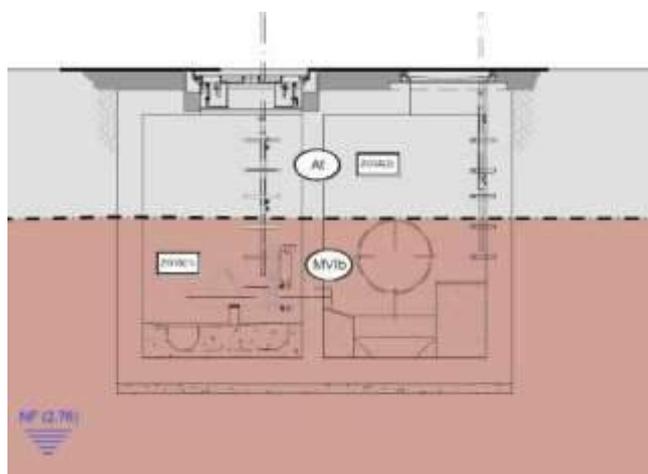


Figura 6.38 – Zonamento adotado no Projeto E18

6.3.18.3 Condições de Escavação e Desmonte

As condições geotécnicas deduzidas concorrem para a apreciação de que a escavação da unidade dos aterros ZG3A(2) e da unidade miocénica dos *Arenitos de Grilos* identificada com a subzona geotécnica ZG1B(1) se poderá realizar com o recurso a meios mecânicos convencionais, do tipo lâmina ou balde, sendo igualmente de prever o “ripper” para o desmonte das camadas de rocha branda do substrato.

7 CONDICIONAMENTOS GEOTÉCNICOS NATURAIS E DECORRENTES DAS ESCAVAÇÕES

7.1 CONDICIONAMENTOS GEOTÉCNICOS NATURAIS

7.1.1 VULNERABILIDADE SÍSMICA DOS TERRENOS

De acordo com a Carta de Vulnerabilidade sísmica, disponibilizada no “site” da Câmara Municipal de Lisboa, que de acordo com a bibliografia resultou da sobreposição de dados referentes a sismicidade histórica local, efeitos dos solos, comportamento do edificado e dinâmica populacional. Os solos de Lisboa podem ser classificados em quatro classes de vulnerabilidade sísmica, que são as seguintes:

- Muito elevada: formações aluvionares lodosas, arenosas e areno argilosas. Aterros;
- Elevada: formações predominantemente arenosas consolidadas/solos incoerentes compactos;
- Moderada: formações argilosas consolidadas, rochas de Baixa resistência /Solos coerentes Rijos, rochas Brandas;
- Baixa: formações rochosas/ rochas de resistência Média a Elevada.

Da sobreposição do traçado em planta das obras dos corredores TMSA e TCB, com a Carta de Vulnerabilidade Sísmica, verifica-se que o traçado em estudo se localiza em áreas cuja vulnerabilidade sísmica varia entre baixa a muito elevada.

7.1.2 INFLUÊNCIA DAS MARÉS E SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES

Nas obras incluídas nos projetos E9 a E12 e E15 e E16 poderão, com forte probabilidade em algumas delas, principalmente as dispostas sobre aterros e aluviões, sentir-se os efeitos da influência das marés nos níveis piezométricos.

As amplitudes entre praia-mar e baixa-mar em Portugal Continental são da ordem de 3,0m para marés vivas e cerca de 1,40 m para marés mortas. (Instituto Hidrográfico, 2012). Naturalmente que esta amplitude não se verifica ao nível das águas subterrâneas instaladas nas camadas de aterro ou aluvionares, tanto mais se se tratarem de solos de composição fina e com baixa permeabilidade. Com os dados piezómetros atualmente existentes não é ainda possível atualmente conhecer essa amplitude, pelo que se deverá assegurar que as sondagens complementares a realizar antes da realização da obra sejam equipadas com sonda de registo contínuo de níveis, para monitorização dessa amplitude de forma contínua.

As cotas hidrográficas de referência no Cais de Santa Apolónia são as seguintes:

- PM_{Max} – Altura de água máxima que se prevê que ocorra sob condições meteorológicas médias, é de +4,27m (ZH);
- $PMAV$ – Valores médios, tomados ao longo do ano, das alturas da água de duas preia-mar sucessivas, que ocorrem quinzenalmente, quando a amplitude da maré é maior são de 3,81m (ZH);
- $BMAV$ – Valores médios, tomados ao longo do ano, das alturas da água de baixa-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude da maré é maior, são de +0.60m (ZH).

Estas cotas potenciam, pois, fenómenos de inundação, principalmente com a conjugação de marés vivas em praia-mar e pluviosidade intensa.

Os registos dos últimos 10 anos têm mostrado uma periodicidade quase anual e muitas vezes bianual de inundações na zona ribeirinha de Lisboa. Estas inundações são tanto ou mais gravosas quando conjugam pluviosidade forte e concentrada em período de praia-mar. Exemplo disso é inundação que teve lugar em Outubro de 2010 em que se registou uma precipitação horária de 79mm/h (Instituto Geofísico), com um máximo horário acumulado de 32mm (Instituto de Meteorologia), da qual resultou alturas de água superiores a 1 metro nas zonas baixas de acumulação como a Baixa, Rossio, Restauradores, Av. da Liberdade e Alcântara e um pouco inferiores a 1m na zona do Cais do Sodré.

Esta vulnerabilidade à inundação está de resto bem patente na Carta de vulnerabilidade à inundação urbana no Concelho de Lisboa que se apresenta na Figura abaixo, onde se verifica que muitas das obras ribeirinhas a construir se situam numa zona de elevada a muito elevada vulnerabilidade a inundações.

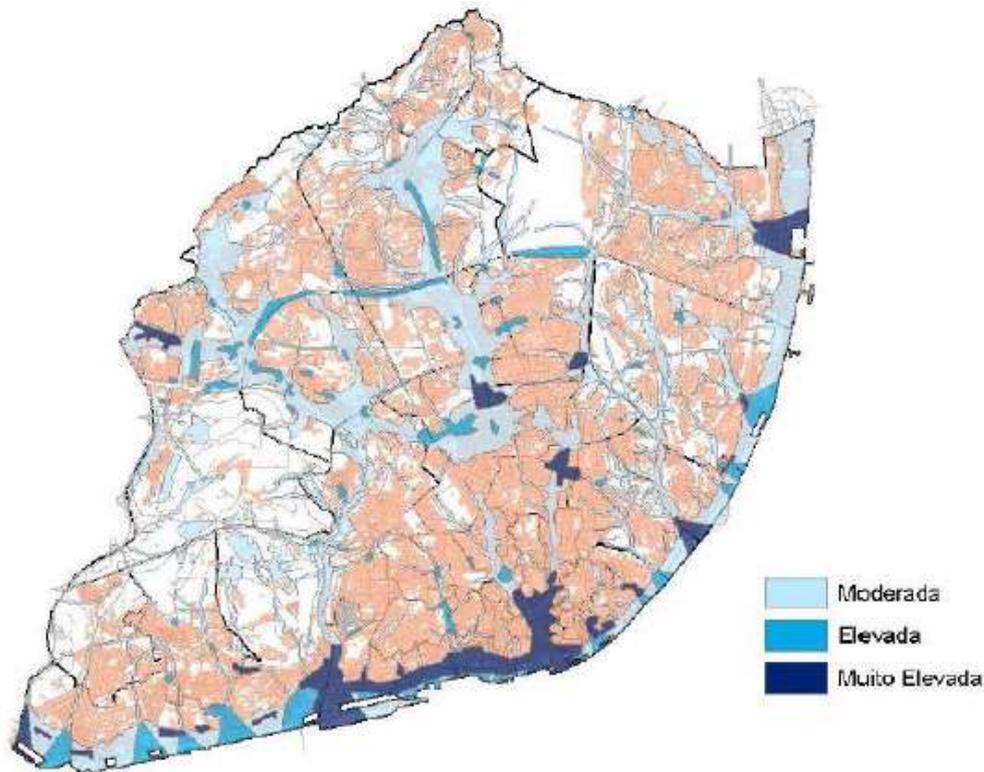


Figura 7.1 – Carta de vulnerabilidade à inundação urbana no Concelho de Lisboa. Fonte: CML (2010)

7.1.3 POTENCIAL DE LIQUEFAÇÃO DAS ALUVIÕES ARENOSAS

A ocorrência da liquefação depende, entre outros fatores relativos à intensidade e duração da ação sísmica, da compacidade relativa do solo, da distribuição granulométrica das suas partículas e do grau de cimentação das mesmas. Neste contexto e atendendo a critérios empíricos exploratórios que distinguem a possibilidade de ocorrência de fenómenos de liquefação, em função da natureza do solo e da sismicidade da zona, observa-se que a natureza do material de aterro que recobre as aluviões, de composição heterogénea, incorporando fragmentos líticos, restos de cerâmicas e de madeiras não é propícia ao desenvolvimento de fenómenos de liquefação. Estes materiais quando misturados com as aluviões lodosas, como se conhece nas zonas das obras, conduzem a um aumento da resistência à liquefação.

Por outro lado, uma parte significativa dos depósitos da zona em causa, nomeadamente os solos aluvionares argilosos, nomeadamente argilas silto-lodosas, argilas areno-lodosas e siltes argilo-arenosos, não reúnem condições para serem afetados, no sentido restrito da perda total de resistência efetiva e mesmo à mobilidade cíclica, por efeitos desta natureza. De facto, estes solos enquadram-se em tais

condições que, de acordo com vários autores e critérios designadamente o do EC7, os solos com percentagem de argila superior a 20% ($\#2\mu\text{m}$ ASTM $>20\%$) e com plasticidade $IP \geq 10\%$ não exibem suscetibilidade à liquefação para níveis baixos e médios da sismicidade à superfície, ou apresentam potenciais reduzidos.

Quanto aos solos arenosos, face aos dados reduzidos existentes, mas por comparação com dados das aluviões noutras zonas ribeirinhas na proximidade, há potencial de liquefação em alguns níveis dispersos das areias aluvionares, embora com diferentes graus de suscetibilidade. Estes níveis geralmente ocorrem em camadas dispersas no seio das aluviões e sem continuidade lateral, o que reduz o potencial e a gravidade do fenómeno.

O estudo do potencial de liquefação dos níveis aluvionares arenosos será aprofundado, através da integração dos dados existentes com os dados a adquirir com a campanha de prospeção complementar atualmente em execução, que incluirá sondagens mecânicas com a realização de ensaios SPT, ensaios de penetração estática com medição das tensões neutras (CPTu) e ensaios laboratoriais sobre amostras indeformadas das camadas consideradas mais suscetíveis a este fenómeno.

Uma nota deve ser feita às obras do projeto E10, nas quais o processo construtivo e a solução proposta já prevê o tratamento das aluviões na vizinhança do túnel do metro o que minimiza por si a ocorrência destes fenómenos.

7.1.4 CONTAMINANTES NATURAIS

Das unidades geológicas/geotécnicas interessadas pelas escavações das obras, que podem eventualmente apresentar contaminantes naturais que possam expor os trabalhadores a situações de risco, apenas se destacam as rochas do CVL, nas quais se conhece a presença de minerais do grupo da serpentina, provenientes de alteração hidrotermal do mineral olivina.

Não existindo dados referentes às obras do corredor TMSA acerca da presença de minerais do grupo da serpentina nas rochas do CVL, apresenta-se no Quadro abaixo as percentagens deste mineral e da associação comum serpentina + clorite, obtidas por Pereira (2018) [53] em vários locais da cidade de Lisboa.

Quadro 7.1 – Critérios Percentagens totais da mineral serpentina e da associação
Serpentina + clorite nas amostras do CVL em Lisboa

Local de amostragem	Amostra	% total de serpentina ($\pm 5\%$)*	% total de serpentina + clorite ($\pm 5\%$)*
Basaltos obtidos nos trabalhos do Metropolitano de Lisboa, linha vermelha (Troço Alameda II - S. Sebastião II)	BLV1		16%
	BLVII.a	14%	7%
	BLVII.b		28%
Basaltos obtidos nos trabalhos do Metropolitano de Lisboa, linha azul (Troço Pontinha - Falagueira)	BLAI	6%	15%
	BLAII		17%
Basaltos obtidos no Parque Florestal de Monsanto, Lisboa	BM		26%
Basaltos obtidos em Alcântara, Lisboa	BA	4%	9%

Observa-se deste Quadro, que embora o mineral acessório/secundário serpentina e a sua associação com o mineral clorite e iddingsite ocorram em praticamente todas as amostras analisadas, a sua percentagem não é suficientemente elevada, para que se justifiquem a tomada de medidas excepcionais no manuseamento dos produtos das escavações.

Relativamente a outros contaminantes, como sejam os metais pesados, deve referir-se que as rochas do CVL e os seus solos de alteração se encontram naturalmente enriquecidos com os metais Vanádio (V), Crómio (Cr), Bário (Ba), Níquel (Ni), Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Chumbo (Pb), que são parte integrante do seu fundo natural, isto é que estão presentes de forma sistemática no meio natural e que, no essencial, a sua concentração não foi influenciada por atividades antropogénicas.

Em particular os valores dos metais Ni, V e Cr podem exceder os VR publicados pela APA no seu guia técnico Solos Contaminados – Valores de Referência para o Solo (2019) [54], como se refere em Inácio et al. (2008) [55] e Andrei Spiridon (2019) [56].

Estes primeiros autores reportam para os parâmetros Cr, Ni e V valores de 250mg/kg, 180mg/kg e 200mg/Kg, respetivamente, cujas concentrações excedem os VR da tabela E do guia da APA (2019) fixados em 160, 130 e 86mg/Kg. Já os estudos mais recentes efetuados por Spiridon (2019) mostram para os mesmos parâmetros valores de 331,5mg/kg, 262,3mg/Kg e 548mg/kg, respetivamente.

7.2 CONDICIONAMENTOS GEOTÉCNICOS DECORRENTES DAS ESCAVAÇÕES

7.2.1 AFLUÊNCIAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NATURAIS

A integração dos dados da geologia, dos dados referentes aos níveis piezométricos e ainda referentes aos ensaios de permeabilidade do tipo Lugeon e Lefranc e de bombagem, fazem prever condições diferenciadas relativamente às afluições de águas subterrâneas ao longo dos corredores interessados às obras. É também através desta informação coligida que é possível fazer uma estimativa do caudal a bombear de modo a garantir a viabilidade das soluções previstas, o cálculo justificativo da verificação aos impulsos previstos e ainda o estudo do impacto do túnel no fluxo de águas subterrâneas, em particular nas obras da zona ribeirinha.

No que respeita ao corredor TMSA, os condicionamentos hidrogeológicos/hidrológicos mais relevantes estão associados às obras dos seguintes projetos: E1, E4, E5, E6 E9-E12. No corredor TCB, oestes mesmos condicionamentos têm maior significância nas obras dos projetos E14, E15, E16 e E17.

Na obra do projeto E1, são expectáveis no setor noroeste, no atravessamento da estrutura rochosa anticlinal de calcários e calcários margosos do Cretáceo das formações da Bica (C3C) e de Caneças (C2AC), interferências com níveis de água, que ocorrem suspensos a vários níveis. Dado que se tratam de aquíferos confinados, aquíferos e aquíferos suspensos a vários níveis, limitados lateralmente e no teto e base por formações menos permeáveis ou falhas de preenchimento argiloso, prevê-se que o controlo das afluições às escavações esteja facilitado e seja materializável através de bombagens pontuais, eventualmente sistemáticas.

Nas obras dos projetos E4, E5, E6, E14 e E17, os condicionamentos hidrogeológicos afetos às escavações, estão relacionados sobretudo com as unidades geológicas dos aterros e aluviões que ocupam os talwegues das antigas linhas de água, já que as formações miocénicas de base se consideram de permeabilidade global reduzida.

As condições hidrogeológicas associadas a estes depósitos superficiais prevêem-se heterogéneas e por vezes complexas, dado que as origens dos níveis de água afetando as escavações podem ter fontes distintas. Nestas condições haverá que contar com a necessidade de se dispor de meios de bombagem pontuais, eventualmente sistemáticas.

Nos projetos E8 a E12 e E15 e E16, a presença generalizada de solos finos abaixo dos aterros, determina condições hidrogeológicas mais restritas devido à permeabilidade moderada a baixa destes solos, mesmo

desenvolvendo-se as escavações na dependência do Rio Tejo e sujeitas provavelmente às variações do regime de marés neste rio. Nessas condições admite-se que o controlo das aflúncias se faça com o recurso a bombagens sistemáticas, eventualmente pontuais nos trechos de grande homogeneidade composicional fina. Haverá, contudo, que contar sempre com a presença de intercalações arenosas mais permeáveis no seio destes solos finos, cuja posição estratigráfica e distribuição em planta é de difícil sistematização, dado o carácter irregular com que o rio procedeu à sedimentação destes depósitos. Estas intercalações, caso tenham continuidade, permitem a transmissão de caudais mesmo em meios de permeabilidade restrita e podem ser fatores de instabilização das escavações ou obrigar a rever as estruturas de estanqueidade previstas.

7.2.2 INFLUÊNCIA DA CARSIIFICAÇÃO E HETEROGENEIDADE LITOLÓGICA

O túnel TMSA intersetará ao longo de cerca de 1750 m calcários cristalinos e calcários margosos, que estão afetados de carsificação pelo menos primária e eventualmente secundária, embora não se tenha observado nas sondagens realizadas, perdas de material significativas que indiquem a presença de cavidades de dimensão expressiva e os ensaios Lugeon, não tenham mostrado perdas de pressão, geralmente associados à presença de vazios.

Os condicionamentos principais decorrentes da escavação do túnel em ambientes carsificados como os que são expectáveis nas formações calcárias do Cretácico, estão associados sobretudo à localização inesperada, geometria irregular e dimensões imprevisíveis das estruturas cársicas. Em zonas de carsificação franca são comuns os seguintes fenómenos:

- Influxos de águas subterrâneas, por intersecção de uma caverna, de zonas de falha ou de canais de fluxo com ligação a reservatórios, podendo ser repentinos e com uma certa imprevisibilidade, causando instabilidades locais da frente e das paredes da escavação ou inundações da câmara de pressão;
- Roturas do maciço de menor resistência devido ao desconfinamento provocado pelo túnel em zonas na proximidade de cavernas de armazenamento de água;
- Queda de blocos, lamas ou areias devido à intersecção de cavidades cársicas ao nível da abóbada, da frente e hasteais;
- Sobreescavações, devido à presença de cavidades;
- Subsidiências do terreno à superfície quando se tratam de túneis perto da superfície;

As condicionantes decorrentes da heterogeneidade litológica existente nas diversas obras a realizar estão sobretudo ligadas:

- Nos maciços rochosos, às diferentes formas como estes resistiram aos fenómenos de alteração e aos esforços (tectónicos ou decorrentes do arrefecimento) dos quais resultaram descontinuidades estruturais e zonas de alteração francas contrastantes com o encaixante, que condicionam os rendimentos do equipamento de escavação e ainda a necessidade ou não de dispor de ferramentas de corte híbridas;
- Nos maciços terrosos, à influência na estabilidade da maior ou menor coesão dos materiais a escavar e à presença de intercalações de granulometria distinta com distribuição aleatória e dificilmente sistematizável.

Nas rochas do CVL os condicionamentos geotécnicos relacionam-se com:

- A fracturação por vezes e com carácter pouco sistematizável e com a presença de estados elevados de alteração por vezes lado a lado com zonas menos alteradas, que determinam adaptações frequentes às estruturas de contenção projetadas;
- Com a distribuição em planta e em cota dificilmente sistematizáveis das intercalações vulcano-sedimentares, por se tratarem de depósitos sedimentados em episódios explosivos e de carácter intermitente, que mais uma vez determinam adaptações frequentes às estruturas de contenção projetadas;
- Com o comportamento mecânico débil dos tufos vulcânicos e brechas quando os mesmos se encontram com teores elevados de água, claramente contrastante com a situação em que estão secos;
- Com a eventual presença de argilas ativas com distribuição aleatória (montmorilonites, em particular as sódicas que foram detetadas nas análises petrográficas quer dos tufos quer dos basaltos), que exibem propriedades muito plásticas para uma gama elevada de teores em água e com a eventualidade destas mesmas argilas serem expansivas, como reportado por Santos (2017) [57] em amostras cedidas pelo Metropolitano de Lisboa EPE e obtidos ao longo da linha vermelha Alameda II/S. Sebastião II. A presença destas argilas de distribuição aleatória nos trechos a escavar determina por vezes sérias adaptações ao projeto e condiciona seriamente a eficácia da maquinaria de desmonte e corte.

Na série miocénica as heterogeneidades litológicas traduzem-se em diferenças de dureza e comportamento mecânico das camadas a atravessar, que condicionam os rendimentos do equipamento de escavação e ainda a necessidade ou não de dispor de ferramentas de corte híbridas.

Nos aterros e nas aluviões, os condicionamentos geotécnicos relacionam-se sobretudo com a maior ou menor coesão dos materiais a escavar no interior dos elementos estruturais de contenção/estanquidade e com a presença de intercalações arenosas dificilmente sistematizáveis devido à sua fraca possança e continuidade no seio de maciços muitas vezes classificados como lodosos (argilosos e siltosos com matéria orgânica) e homogéneos e de permeabilidade reduzida. Estas duas situações à qual se associam níveis de água francamente elevados, são muitas vezes responsáveis por fenómenos de levantamento hidráulico e de erosão interna (“piping”).

7.2.3 PRESENÇA DE SOLOS CONTAMINADOS

Dos solos a escavar das obras integrantes dos corredores TMSA e TCB, admite-se, com base na experiência em outras obras na cidade de Lisboa, que os aterros antrópicos depositados sobre os terrenos do substrato “in situ” presentes nos locais das obras, ou que substituíram e/ou estão misturados com as aluviões da zona ribeirinha possam apresentar algum grau de contaminação, isto é, com a presença de um ou vários contaminantes em concentrações acima dos valores de referência, definidos pela APA, para o solo desse local, tendo em consideração o uso atual ou o previsto para o mesmo, em função do que for mais restritivo, ou dos valores de fundo naturais do solo, se disponíveis.

Nessas condições, torna-se, pois necessário, proceder à realização de ensaios de caracterização básica para avaliar o grau de contaminação destes solos e a sua compatibilidade com o uso urbano, de acordo com os critérios da APA e qual o operador de gestão de resíduos mais indicado para a sua eliminação definitiva (critério de admissibilidade em aterro).

Dentro do conjunto destes aterros e misturas de aterros/aluviões considera-se que existem zonas mais suscetíveis/vulneráveis a serem focos de eventual contaminação, que se ligam por um lado ao seu anterior uso industrial e/ou proximidade a zonas de infraestruturas de transportes e por outro à presença de tipos de solos com granulometrias que facilitam a disseminação de eventuais contaminantes. Dentro destas zonas inclui-se a zona de Campolide e a zona de Santa Apolónia no corredor TMSA e a zona do Beato no corredor TCB.

A confirmar-se uma eventual contaminação nessas zonas, a técnica de descontaminação/operação de remediação de solos prevista para os solos contaminados é, à partida, a escavação e transporte para destino final adequado, através de transportador devidamente licenciado para o efeito.

Considera-se, pois, que a escavação dos solos até às profundidades previstas em projeto permitirá a remoção dos solos contaminados identificados.

Os solos classificados como resíduos perigosos (código LER 17 05 03*: solos e rochas, contendo substâncias perigosas) serão encaminhados para um CIRVER - Centro Integrado de Recuperação, Valorização e Eliminação de Resíduos Perigosos.

Os solos classificados como resíduos não perigosos (código LER 17 05 04 – solos e rochas não abrangidos em 17 05 03*), poderão ser encaminhados para valorização (em cimenteira, cujo destino final é a coincineração para produção de cimento) e poderão ser encaminhados para eliminação em aterro de resíduos inertes ou um aterro para resíduos não perigosos, dependendo se são cumpridos os critérios de admissibilidade definidos nas tabelas n.os 2 e 3 ou na tabela n.º 4, respetivamente, constantes na parte B do anexo II do novo Regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, fixado no Anexo II do Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro, na sua redação atual.

Os solos classificados como resíduos inertes poderão ser utilizados em obra, ser utilizados noutras obras, encaminhados para aterro de resíduos inertes ou utilizados na recuperação paisagística de pedreiras como material de enchimento.

8 CAMPANHA DE RECONHECIMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO COMPLEMENTAR

8.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O quadro geológico-geotécnico do traçado dos túneis e das obras acessórias está já bem identificado não só pelos trabalhos de reconhecimento anteriores, como pelo conhecimento alargado existente acerca da geologia/geotecnia da cidade de Lisboa decorrente de múltiplos projetos e obras realizadas, das quais existe ampla informação disponível.

Por forma a complementar a informação existente proveniente da fase do Estudo Prévio, nomeadamente dos locais onde subsistiam ainda dúvidas acerca do modelo geotécnico ocorrente e da sua continuidade, para refinar a parametrização geotécnica com vista a otimizar em termos técnicos as soluções construtivas já definidas e para a definição detalhada e caracterização dos níveis aquíferos e tipos de massas de água e permeabilidades do meio, programou-se uma campanha de prospeção geotécnica complementar. Essa campanha foi dividida em trabalhos a executar para o desenvolvimento do projeto de execução e trabalhos a realizar em fase de obra. Estes últimos serão realizados com meios já disponíveis em estaleiro e apenas para o esclarecimento de situações pontuais que ainda possam ocorrer.

Os resultados dos trabalhos da fase de projeto de execução confirmam o quadro geológico-geotécnico já estabelecido, e os mesmos não motivam alterações às disposições construtivas de projeto anteriormente consideradas. Alterações feitas à conceção de algumas das obras não decorrem pois de mudanças do modelo geológico-geotécnico definido, mas sim de otimizações de processos construtivos com reflexos na diminuição dos prazos de execução e de impactes ambientais.

Os boletins individuais dos trabalhos para o projeto de execução encontram-se explanados no Anexo 1 a esta memória.

8.2 TRABALHOS PROGRAMADOS

Na campanha de prospeção geológico-geotécnica do projeto de execução e a levar a cabo em fase de obra, dos corredores TMSA e TCB, foram programados os seguintes trabalhos:

- Sondagens mecânicas à rotação com carotagem acompanhadas da realização de ensaios no interior dos furos de sondagem, da colheita de amostras indeformadas e da instalação de piezómetros;
- Ensaios com pressiómetros de Ménard;
- Ensaios do tipo CPTu;

- Ensaios geotécnicos de laboratório de identificação, de caracterização física, de caracterização mecânica e químicos.

8.2.1 CORREDOR TMSA

Os Quadros abaixo sintetizam os trabalhos de prospeção geológico-geotécnicos complementares programados para o corredor TMSA.

Quadro 8.1 – Características das sondagens mecânicas, ensaios no interior dos furos, piezómetros e amostragem no decurso da furação

Obra	Designação da sondagem	PK	Critério para furação com recuperação de amostra	Critério de paragem	Inclinação (° com a horizontal)	Comprimento (m)			Tipo furação			Ensaio no interior do furo de sondagem						Piezómetros		Amostragem			
						Destr.	Carot.	Total (m)	Rotação em rocha (m)	Rotação em solo (m)	Destrut.	SPT	Lefranc e/ou ensaio absorção com obturador			Lugeon em trecho de 3 a 5m		m	Prof. câmara de tomada de pressão	Amostras indeformadas solos		Amostras águas subt.	
													Prof. trecho a ensaiar (m)	Lefranc	Obturador	Quant.	Prof. trecho a ensaiar (m)			Quant.	Quant.	Prof. colheita	Quant.
Projeto E1 - TMSA	SEP1-1	0+000	Todo o comprimento	Comprimento definido	Vertical	0	28	28	20	8	0	5	14,5-24,5	-	X	2	14,5-24,5	1	28	A definir após a execução dos furos, em função do perfil individual da respetiva sondagem. A dimensão da câmara de tomada de pressão deve garantir que a mesma apenas interessa um tipo litológico	1	14,5-21,5	1
	SEP1-2	0+037	Todo o comprimento			0	28	28	20	8	0	5	-	-	-	-	-	-	28		-	-	-
	SEP1-3	0+180	2∅ acima da abóbada e 1∅ abaixo da soleira			28	26	54	20	6	28	4	-	-	-	-	40-50	2	54		-	-	-
	SEP1-4	0+315	2∅ acima da abóbada e 1∅ abaixo da soleira		60°	38	27	65	25	2	38	1	-	-	-	-	52-62	2	65		1	52-59	-
	SEP1-5	0+445	2∅ acima da abóbada e 1∅ abaixo da soleira		60°	46	27	73	25	2	46	1	-	-	-	-	60-70	2	73		-	-	-
	SEP1-6	0+637	2∅ acima da abóbada e 1∅ abaixo da soleira		Vertical	70	26	96	26	0	70	-	-	-	-	-	83-93	2	96		-	-	1
	SEP1-7	1+724	2∅ acima da abóbada e 1∅ abaixo da soleira			23	26	49	26	0	23	-	-	-	-	-	35-45	2	49		-	-	1
	SEP1-7a	1+900	2∅ acima da abóbada e 1∅ abaixo da soleira			13	25	38	25	0	13	-	-	-	-	-	26-36	2	38		-	-	-
	SEP1-8	2+125	2∅ acima da abóbada e 1∅ abaixo da soleira			13	17	30	12	5	13	-	17-27	-	X	1	17-27	2	30		1	17-24	-
	SEP1-9	2+400	2∅ acima da abóbada e 1∅ abaixo da soleira			33	25	58	5	20	33	13	46-56	-	X	2	46-56	1	58		2	46-53	1
	SEP1-10	3+878	2∅ acima da abóbada e 1∅ abaixo da soleira		38	48	86	31	17	38	11	73-83	-	X	2	73-83	1	86	2		73-80	1	
SEP1-11	4+430	Todo o comprimento	0	18	18	7	11	0	7	3,5-13,5	-	X	2	3,5-13,5	1	18	2	3,5-10,5	1				

Obra	Designação da sondagem	PK	Critério para furação com recuperação de amostra	Critério de paragem	Inclinação (° com a horizontal)	Comprimento (m)			Tipo furação			Ensaio no interior do furo de sondagem						Piezómetros		Amostragem				
						Destr.	Carot.	Total (m)	Rotação em rocha (m)	Rotação em solo (m)	Destrut.	SPT	Lefranc e/ou ensaio absorção com obturador				Lugeon em trecho de 3 a 5m		m	Prof. câmara de tomada de pressão	Amostras indeformadas solos		Amostras águas subt.	
													Prof. trecho a ensaiar (m)	Lefranc	Obturador	Quant.	Prof. trecho a ensaiar (m)	Quant.			Quant.	Prof. colheita	Quant.	
	SEP1-12	4+430	Todo o comprimento			0	18	18	7	11	0	7	-	-	-	-	-	-	18		-	-	-	
Projetos E2 e E3 - TM1	SEP2-1	PE2-TM1	Todo o comprimento	Comprimento mínimo definido obriga à obtenção de 3 negas consecutivas no ensaio SPT se furação ocorrer em tufos ou solos residuais de basalto	Vertical	0	25	25	5	20	0	13	-	-	-	-	-	-	25		-	-	-	
	SEP2-2	PE2-TM1				0	25	25	5	20	0	13	2-18	-	-	2	2-18	2	25		-	-	-	
	SEP2-3	PE2-TM1				0	25	25	5	20	0	13	-	-	-	-	-	-	-	25		1	15-25	-
	SEP3-1	PE3-TM1				0	25	25	16	9	0	6	2-18	-	-	3	2-18	1	25		-	-	-	
	SEP3-2	PE3-TM1				0	25	25	16	9	0	6	2-18	-	-	2	2-18	2	25		1	20-30	-	
	SEP3-3	PE3-TM1				0	25	25	15	10	0	6	-	-	-	-	-	-	25		-	-	-	
	SEP3-4	PE3-TM1				0	25	25	15	10	0	6	-	-	-	-	-	-	25		-	-	-	
	SEP3-5	PE3-TM1				0	37	37	28	9	0	6	-	-	-	-	-	-	37		-	-	-	
Projeto E4 - TM2	SEP4-1	PE4-TM2	Todo o comprimento	Comprimento definido	Vertical	0	38	38	26	12	0	8	-	-	-	-	-	-	38		2	5-10/20-25	-	
	SEP4-2	PE4-TM2				0	35	35	21	14	0	9	-	-	-	-	-	-	35		-	-	-	
	SEP4-3	PE4-TM2				0	8	8	0	8	0	5	-	-	-	-	-	-	8		-	-	-	
Projeto E5 - TM3)	SEP5-1	PE5-TM3	Todo o comprimento	Comprimento definido	Vertical	0	15	15	3	12	0	8	9-15	X	-	2	-	-	15		2	9-15	-	

Obra	Designação da sondagem	PK	Critério para furação com recuperação de amostra	Critério de paragem	Inclinação (° com a horizontal)	Comprimento (m)			Tipo furação			Ensaio no interior do furo de sondagem						Piezómetros		Amostragem				
						Destr.	Carot.	Total (m)	Rotação em rocha (m)	Rotação em solo (m)	Destrut.	SPT	Lefranc e/ou ensaio absorção com obturador				Lugeon em trecho de 3 a 5m		m	Prof. câmara de tomada de pressão	Amostras indeformadas solos		Amostras águas subt.	
													Prof. trecho a ensaiar (m)	Lefranc	Obturador	Quant.	Prof. trecho a ensaiar (m)	Quant.			Quant.	Prof. colheita	Quant.	
Projeto E6 - TM4)	SEP6-1	PE6-TM4	Todo o comprimento	Comprimento definido	Vertical	0	25	25	0	25	0	16	-	-	-	-	-	-	25		2	5-15	-	
	SEP6-2	PE6-TM4				0	12	12	0	12	0	8	-	-	-	-	-	-	-		12	-	-	-
	SEP6-3	PE6-TM4				0	27	27	0	27	0	18	2-6/10-16	-	X	3	-	-	-		27	1	2-6	-
Projeto E7 - Poço ventilação	SEP7-1	PE7-P1(4+380)	Todo o comprimento	Comprimento definido	Vertical	0	32	32	2	30	0	20	-	-	-	-	-	32		-	-	-		
Projeto E8 - TM5	SEP8-1	PE8-TM5	Todo o comprimento	Comprimento mínimo definido obriga à obtenção de 3 negas consecutivas no ensaio SPT	Vertical	0	15	15	3	12	0	8	-	-	-	-	-	15		-	-	-		
Projeto E9 - TM5	SEP9-1	PE9-TM5	Todo o comprimento	Comprimento mínimo definido obriga à obtenção de 3 negas consecutivas no ensaio SPT	Vertical	0	20	20	11	9	0	6	1-4	-	X	1	-	-	20		2	1-4/6-10	-	
Projeto E10 - TM5	SEP10-1	PE10-TM5	Todo o comprimento	Comprimento	Vertical	0	20	20	4	16	0	10	2-16	X	X	4	-	-	20		3	2-16	-	

Obra	Designação da sondagem	PK	Critério para furação com recuperação de amostra	Critério de paragem	Inclinação (º com a horizontal)	Comprimento (m)			Tipo furação			Ensaio no interior do furo de sondagem						Piezómetros		Amostragem			
						Destr.	Carot.	Total (m)	Rotação em rocha (m)	Rotação em solo (m)	Destrut.	SPT	Lefranc e/ou ensaio absorção com obturador				Lugeon em trecho de 3 a 5m		m	Prof. câmara de tomada de pressão	Amostras indeformadas solos		Amostras águas subt.
													Prof. trecho a ensaiar (m)	Lefranc	Obturador	Quant.	Prof. trecho a ensaiar (m)	Quant.			Quant.	Prof. colheita	Quant.
	SEP10-2	PE10-TM5		mínimo definido obriga à obtenção de 3 negas consecutivas no ensaio SPT		0	20	20	4	16	0	10	-	-	-	-	-	-	20		-	-	-
Projeto E11 - TM5	SEP11-1	PE11-TM5	Todo o comprimento	Comprimento mínimo definido obriga à obtenção de 3 negas consecutivas no ensaio SPT	Vertical	0	25	25	8	17	0	11	-	-	-	-	-	-	25		2	2-16	-
	SEP11-2	PE11-TM5				19	6	25	0	6	19	4	19-25	-	X	2	-	-	-	25		-	-

Quadro 8.2 – Características dos ensaios pressiométricos do tipo Ménard

Obra	Designação sondagem pressiométrica	Furo de sondagem	PK	Prof. trecho a ensaiar (m)	Número de ensaios	Notas
Projeto E1 - TMSA	PME1-1	SEP1-1	0+000	15-20	1	Ensaio sobre CVL
	PME1-5	SEP1-7a	1+900	13-23/26-32	3	2 Ensaio sobre CVL + 1 ensaio sobre solos alteração calcários (se ocorrentes)
	PME1-2	SEP1-9	2+400	46-56	2	Ensaio sobre Argilas dos Prazeres (MI)
	PME1-3	SEP1-10	3+878	49-54/69-73/73-83	6	2 ensaios sobre Areias de Quinta do Bacalhau (MIVb) + 1 ensaio sobre Argilas Forno Tijolo (MIVa) + 3 ensaios sobre Calcários de Entrecampos (MIII)
	PME1-4	SEP1-11	4+430	1-5/5-10/16-18	4	1 ensaio sobre aterros/aluviões + 1 ensaio sobre Areias de Quinta do Bacalhau (MIVb) + 2 ensaios sobre Argilas Forno Tijolo (MIVa)
Projetos E2 e E3 - TM1	PME2-1	SEP2-2	PE2-TM1	13-25	1	Ensaio sobre CVL
	PME3-1	SEP3-1	PE3-TM1	13-25	1	Ensaio sobre CVL
Projeto E4 - TM2	PME4-1	SEP4-1	PE4-TM2	10-16/16-30	2	1 ensaio sobre Argilas dos Prazeres (MI) + 1 ensaio sobre formações terrosas do CVL
Projeto E5 - TM3	PME5-1	SEP5-1	PE5-TM3	6-15	1	Ensaio sobre Argilas dos Prazeres (MI)
Projeto E6 - TM4	PME6-1	SEP6-1	PE6-TM4	15-20	1	Ensaio sobre Areolas da Estefânia (MII)
	PME6-2	SEP6-3		5-10/20-24	2	1 ensaio sobre Areolas da Estefânia (MII) + 1 ensaio sobre Argilas dos Prazeres (MI)
Projeto E9 - TM5	PME9-1	SEP9-1	PE9-TM5	2-10/10-12	3	2 ensaios sobre aterros + aluviões e 1 ensaio sobre Areolas da Estefânia (MII)
Projeto E12 - TM6	PME12-1	-	PE12-TM6	1-10	3	Ensaio sobre aterros + aluviões

Quadro 8.3 – Características dos ensaios CPTu

Obra	Designação CPTu	PK	Comprimento de princípio (m)	Critério paragem
Projeto E9 - TM5 Obra de descarga em Sta Apolónia (zona A troço 2)	CPTE9-1	PE9-TM5	10	Esgotamento capacidade do equipamento
	CPTE9-2	PE9-TM5	12	
Projeto E10 - TM5 Obra de descarga em Sta Apolónia (zona B troço 1)	CPTE10-1	PE10-TM5	15	Esgotamento capacidade do equipamento
Projeto E11 - TM5 Obra de descarga em Sta Apolónia (zona B troço 2)	CPTE11-1	PE11-TM5	14	Esgotamento capacidade do equipamento
	CPTE11-2		15	
Projeto 12 - TM6 Sistema drenagem de ar domésticas e pluviais da bacia Sta Apolónia	CPTE12-1	PE12-TM6	11	Esgotamento capacidade do equipamento

Quadro 8.4 – Resumo dos ensaios de laboratório a realizar sobre amostras de solos e de rochas

Obra	Designação da sondagem	PK	Ensaio sobre amostras indeformadas de solos							Ensaio sobre carotes rochosas da furação				
			Granulometria por peneiração	Granulometria por peneiração com sedimentação	Limites de Atterberg	Teor em água natural	Peso volúmico total	Ensaio edométrico com medição de Cv	Ensaio triaxial	Massa volúmica e porosidade	Compressão uniaxial com medição módulo Young	Compressão diametral (ensaio Brasileiro)	Dureza Cherchar	Abrasividade Cherchar
			Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.
Projeto E1 - TMSA	SEP1-1	0+000	1	-	1	-	1	-	-	1	2	1	2	2
	SEP1-2	0+037	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1		
	SEP1-3	0+180	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2	2
	SEP1-4	0+315	1	-	1	-	1	-	-	1	2	1	1	1
	SEP1-5	0+445	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1		
	SEP1-6	0+637	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	2	2
	SEP1-7	1+724	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	1	1
	SEP1-8	2+125	1	-	1	-	1	-	1	1	2	1	1	1
	SEP1-9	2+400	1	1	2	1	1	1	1	1	1	-	-	-
	SEP1-10	3+878	1	1	2	1	2	1	1	-	-	-	-	-
	SEP1-11	4+430	1	1	2	1	1	-	1	-	-	-	-	-
	SEP1-12	4+430	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-
Projetos E2 e E3 - TM1	SEP2-1	PE2-TM1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SEP2-2	PE2-TM1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-
	SEP2-3	PE2-TM1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-
	SEP3-1	PE3-TM1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
	SEP3-2	PE3-TM1	-	1	1	1	1	-	1	1	1	1	-	-
	SEP3-3	PE3-TM1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SEP3-4	PE3-TM1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SEP3-5	PE3-TM1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto E4 - TM2	SEP4-1	PE4-TM2	1	1	2	1	2	1	-	-	1	-	-	-
	SEP4-2	PE4-TM2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SEP4-3	PE4-TM2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto E5 - TM3	SEP5-1	PE5-TM3	-	2	2	2	-	-	-	1	1	-	-	
Projeto E6 - TM4	SEP6-1	PE6-TM4	1	1	2	1	1	-	1	-	-	-	-	-
	SEP6-2	PE6-TM4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SEP6-3	PE6-TM4	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Projeto	SEP7-1	PE7-P1(4+380)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Obra	Designação da sondagem	PK	Ensaio sobre amostras indeformadas de solos							Ensaio sobre carotes rochosas da furação				
			Granulometria por peneiração	Granulometria por peneiração com sedimentação	Limites de Atterberg	Teor em água natural	Peso volúmico total	Ensaio edométrico com medição de Cv	Ensaio triaxial	Massa volúmica e porosidade	Compressão uniaxial com medição módulo Young	Compressão diametral (ensaio Brasileiro)	Dureza Cherchar	Abrasividade Cherchar
			Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.
Projeto E8 - TM5 (A1)	SEP8-1	PE8-TM5	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Projeto E9 - TM5 (A2)	SEP9-1	PE9-TM5	-	2	2	-	2	-	1	-	1	-	-	-
Projeto E10 - TM5 (B1)	SEP10-1	PE10-TM5	1	2	3	-	2	1	1	-	-	-	-	-
	SEP10-2	PE10-TM5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Projeto E11 - TM5 (B2)	SEP11-1	PE11-TM5	1	1	2	-	1	1	1	-	-	-	-	-
	SEP11-2	PE11-TM5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

8.2.2 CORREDOR TCB

Os Quadros abaixo sintetizam os trabalhos de prospeção geológico-geotécnicos complementares programados para o corredor TCB.

Quadro 8.5 – Características das sondagens mecânicas, ensaios no interior dos furos, piezómetros e amostragem no decurso da furação

Obra	Designação da sondagem	PK	Critério para furação com recuperação de amostra	Critério de paragem	Comprimento (m)			Tipo furação			Ensaio no interior do furo de sondagem				Piezómetros		Amostragem			
					Destrutivo	Carotado	Total (m)	Rotação em rocha (Ø 86mm) (m)	Rotação em solo (Ø 125mm) (m)	Furação destrutiva com martelo ou trialeta	SPT	Lefranc e/ou ensaio absorção com obturador				m	Prof. câmara de tomada de pressão	Amostra indeformadas solos		Amost. águas subterrâneas
												Prof. trecho a ensaiar (m)	Lefranc convencional	Obturador	Quant.			Quant.	Prof. colheita	Quant.
P13 - TCB	SEP13-1	0+000	Todo o comprimento	Comprimento definido	0	23	23	3	20	0	13	8,5-18,5	X		3	23	A definir após a execução dos furos, em função do perfil individual da respetiva sondagem. A dimensão da câmara de tomada de pressão deve garantir que a mesma apenas interessa um tipo litológico	1	8,5-18,5	1
	SEP13-2	0+190	2Ø acima da abóbada e 1Ø abaixo da soleira	Comprimento definido	32	24	56	4	20	32	13	40-50	X		3	56		-	-	-
	SEP13-3	0+450	2Ø acima da abóbada e 1Ø abaixo da soleira	Comprimento definido	19	24	43	3	21	19	14	30-40		X	3	43		1	30-40	
	SEP13-4	0+720	2Ø acima da abóbada e 1Ø abaixo da soleira	Comprimento definido	7	24	31	3	21	7	14	19-29		X	3	31		2	19-34	
	SEP13-5	0+890	Abaixo da linha CF	Comprimento definido	10	27	37	8	19	10	12	25-35		X	3	37		1	25-35	1
P14 - Obra de desvio do caneiro de Chelas	SEP14-1	E14	Todo o comprimento	Comprimento mínimo definido obriga à obtenção de 3 negas consecutivas no ensaio SPT	0	18	18	3	15	0	10	1-6	X		2	18	-	-	-	
	SEP14-2	E14	Todo o comprimento		0	20	20	3	17	0	11	1-8	X		2	20	1	1-8	1	
P15 - Obra descarga troço 1	SEP15-1	E15	Todo o comprimento	Comprimento definido	0	25	25	13	12	0	8	-			-	25	1	1-12		
P16 - Obra descarga troço 2	SEP16-1	E16	Todo o comprimento	Comprimento definido	0	20	20	3	17	0	11	1-8	X		2	20	2	1-8	1	
	SEP16-2	E16	Todo o comprimento	Comprimento definido	19	11	30	0	11	19	7	-			-	30	1	20-30	-	
P17 - Obras interseção em Chelas (Câmaras desvio caudais Broma, Quartel, Picheleira)	SEP17-1	E17	Todo o comprimento	Comprimento mínimo definido obriga à obtenção de 3 negas consecutivas no ensaio SPT	0	8	8	0	8	0	5	-			-	8	1	1-8	-	
	SEP17-2	E17	Todo o comprimento		0	12	12	0	12	0	8	1-8	X		2	12	1	1-8	-	
	SEP17-3	E17	Todo o comprimento		0	10	10	0	10	0	6					10	-	-	-	

Obra	Designação da sondagem	PK	Critério para furação com recuperação de amostra	Critério de paragem	Comprimento (m)			Tipo furação			Ensaio no interior do furo de sondagem				Piezómetros		Amostragem			
					Destrutivo	Carotado	Total (m)	Rotação em rocha (Ø 86mm) (m)	Rotação em solo (Ø 125mm) (m)	Furação destrutiva com martelo ou trialeta	SPT	Lefranc e/ou ensaio absorção com obturador			m	Prof. câmara de tomada de pressão	Amostra indeformadas solos		Amost. águas subterrâneas	
												Prof. trecho a ensaiar (m)	Lefranc convencional	Obturador			Quant.	Quant.	Prof. colheita	Quant.
P18- Obra interseção Beato (câmara desvio caudal Rua Amigos Lisboa)	SEP18-1	E18	Todo o comprimento	Comprimento mínimo definido obriga à obtenção de 3 negas consecutivas no ensaio SPT	0	8	8	6	2	0	1	1-8		X	2	8		-	-	-

Quadro 8.6 – Características dos ensaios pressiométricos do tipo Ménard

Obra	Tipo pressiómetro	Designação sondagem pressiométrica	Furo de sondagem	PK	Prof. trecho a ensaiar (m)	Número de ensaios
P13 - TCB	Ménard	PME13-1	SEP13-2	0+190	44-50	3
		PME13-2	SEP13-3	0+450	33-38	3
		PME13-3	SEP13-4	0+720	19-26	3
		PME13-4	SEP13-5	0+890	27-32	3
P15 - Obra descarga troço 1		PME15-1	SEP15-1	E15	2-6/7-13	2

Quadro 8.7 – Características dos ensaios CPTu

Obra	Designação CPTu	PK	Comprimento de princípio (m)	Critério paragem
P15 - Obra descarga troço 1	CPTu15-1	E15	15	Esgotamento capacidade do equipamento
P16 - Obra descarga troço 2	CPTu16-1	E16	15	
	CPTu16-2		15	

Quadro 8.8 – Resumo dos ensaios de laboratório a realizar sobre amostras de solos e de rochas

Obra	Designação da sondagem	PK	Ensaio sobre amostras indeformadas de solos							Ensaio sobre carotes rochosas da furação		
			Granulometria por peneiração	Granulometria por peneiração com sedimentação	Limites de Atterberg	Teor em água natural	Peso volúmico total	Ensaio edométrico com medição de Cv	Ensaio triaxial	Massa volúmica e porosidade	Compressão uniaxial com medição módulo Young	Compressão diametral (ensaio Brasileiro)
			Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.	Quant.
P13 - TCB	SEP13-1	0+000	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-
	SEP13-2	0+190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SEP13-3	0+450	-	1	1	1	1	-	1	1	1	1
	SEP13-4	0+720	1	1	2	1	2	-	1	1	1	1
	SEP13-5	0+890	-	1	1	1	1	-	1	1	1	1
P14 - Obra de desvio do caneiro de Chelas	SEP14-1	E14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SEP14-2	E14	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-
P15 - Obra descarga troço 1	SEP15-1	E15	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-
P16 - Obra descarga troço 2	SE16-1	E16	-	2	2	-	2	1	1	-	-	-
	SE16-2	E16	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-
P17 - Obras interseção em Chelas (Câmaras desvio caudais Broma, Quartel, Picheleira)	SEP17-1	E17	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-
	SEP17-2	E17	-	1	1	-	1	1	-	-	-	-
	SEP17-3	E17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P18 - Obra interseção Beato (câmara desvio caudal Rua Amigos Lisboa)	SEP18-1	E18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] (LNEC/CML, 2017) – Plano geral de Drenagem de Lisboa. Estudos geológicos e geotécnicos- Túnel Monsanto/Santa Marta/Santa Apolónia. Relatório síntese (Relatório 264/2017 – DG/Chefia)
- [2] (LNEC/CML, 2017) – Plano geral de Drenagem de Lisboa. Estudos geológicos e geotécnicos- Túnel Chelas/Beato. Relatório síntese (Relatório 262/2017 – DG/Chefia)
- [3] ASTM D2482 - Standard classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system). American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA
- [4] ASTM D3282 - Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA
- [5] BS 5930 - Code of Practice for Site Investigations. British Standards Institution, London
- [6] Peck, R.B., Hanson, W.E., and Thornburn, T.H., (1974), “Foundation Engineering”, John Wiley & Sons, 514p.
- [7] ISMR (1980) - Basic Geotechnical Description of Rock Masses. Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 16, pp. 135-140
- [8] ISRM (1978) - Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 15, pp. 319-368
- [9] Choffat, P. (1950) - Carta geológica 1:50.000, nº 34-D, Lisboa. Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa
- [10] Cotter, J. C. B. (1956) – O Miocénico marinho de Lisboa. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, XXXVI (supl.): 170 p.
- [11] Zbyszewski, G. (1963) – Carta geológica dos arredores de Lisboa na escala 1:50000. Notícia explicativa da folha 4 (Lisboa). Serv. Geol. Portugal. Lisboa. 93 p.

- [12] Romariz, C., Carvalho, A. M. Galopim, Forjaz, V. H., Silva, M. & Ubaldo, M. L. (1972) - Alguns elementos sobre o cenozoico de St. André (Santiago de Cacem). Rev. Fac. Cienc. Lisboa, 2.ª ser., C., vol. XVII
- [13] Teixeira, C. & Gonçalves, F. (1980) - Introdução à Geologia de Portugal. Instituto Nacional de Investigação Científica. Lisboa. 475 pp.
- [14] Almeida, F. M. (1986). Carta Geológica do Concelho de Lisboa, na escala 1:10.000. Direção Geral de Geologia e Minas. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa
- [15] Almeida, I. M. (1991), Características geotécnicas dos solos de Lisboa. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa
- [16] Almeida, F.M. e Almeida, I.M. (1997) – Contribuição para a actualização 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.
- [17] Reis, R.B.P.; Pais, J.; Antunes, M.T. (2000) – Sedimentação aluvial na região de Lisboa. O "Complexo de Benfca". Geogaceta. Madrid
- [18] Pais, J.; Cunha, P.P.; Pereira, D.; Legoinha, P.; Dias, R., Moura, D.; Silveira, A.B.; Kullberg, J.C.; González-Delgado, J.A. (2006) – The Paleogene and Neogene of Western Iberia (Portugal): A Cenozoic Record in the European Atlantic Domain. Springer Berlin Heidelberg, 158 p.
- [19] 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
- [20] 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

- [21] Cabral J. (1995) – Neotectónica em Portugal Continental. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, 31: 265p.
- [22] Cabral, J. (2003) - A Geologia na avaliação da perigosidade sísmica. Geonovas (APG), nº 17, 21-26
- [23] NP EN 1998-1: 2010 - Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios, IPQ
- [24] Deere, D.U. (1989) - Rock quality designation (RQD) after 20 years. U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1. Vicksburg, MS: Waterways Experimental Station.
- [25] Schneider, H.R. (1999) - Definition and determination of characteristic soil properties. Proceedings of the fourteenth international conference on soil mechanics and foundation engineering, Hamburg. pp. 2271-2278
- [26] Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G. (2005) - Geotechnical Engineering of Dams. Taylor & Francis. London. UK.
- [27] Nazareth, A. (1987) - Proposta de alteração do ensaio Lugeon. Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 43-62.
- [28] Sorensen K.K. et Okkels N. (2013) - Corrélation entre la résistance au cisaillement des sols drainés et l'indice de plasticité des argiles surconsolidés non perturbées. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - Comité technique 101 - Session II, Paris
- [29] Terzaghi, K., Peck, R. B. and Mesri, G. (1996) - Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd Ed. Wiley-Interscience
- [30] Sivrikaya, O. and Toğrol, E. (2002) - Relations between SPT-N and q_u ,” 5th Intern. Congress on Advances Civil engineering, Istanbul, Turkey, pp. 943-952
- [31] Baguelin, F., Jézéquel, J.-F., & Shields, D. H. (1978) - The pressuremeter and foundation engineering. Clausthal: Trans Tech Publications

- [32] Amar, S., Jézéquel, J-F. (1971) - A propos de la réalisation de l'essai pressiométrique. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, No 56 , 13-15
- [33] Peck, R.B., Hanson, W.E., and Thornburn, T.H., (1974), "Foundation Engineering", John Wiley & Sons, 514p
- [34] Hatanaka, M & Uchida, A (1996) - Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils", Soils and Foundations, vol. 36, no. 4, pp. 1-9
- [35] Mitchell, J.K. and Soga, K. (2005) Fundamentals of Soil Behavior. 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken
- [36] GEC No. 5 (2002) - Evaluation of Soil and Rock Properties, Geotechnical Engineering Circular 5, Federal Highway Administration Publication, Sabatini, P. J., Bachus, R. C., Mayne, P. W., Schneider, J. A., and Zettler, T. E., Publication Number: FHWA-IF-02034
- [37] Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996) - Soil Mechanics in Engineering Practice. 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York
- [38] Durgunoglu, H.T. and Mitchell, J.K. (1975) - Static Penetration Resistance of Soils: I-ANALYSIS, Proc. ASTTE Spec. Conf. on In Situ Measurement of Soil Parameters, Ralligh, Vol. I, 151-171.
- [39] Kulhawy, F.H.; Mayne, P.W. (1990) - Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. Report EL – 6800, Electric Power Research Institute. Palo Alto, 308 p.
- [40] NAVFAC DM-7.1 (1982) - Soil Mechanics. Department of the Navy. Naval Facilities Engineering Command, 200 Stovall Street, Alexandria, VA 22332
- [41] Ménard, L. (1975) - Interpretation and application of pressuremeter tests results to foundations design (D60). Sols Soils, n°26, Paris
- [42] Baud J-P, Gambin, M. (2013) - Obtaining the Ménard α rheological factor in a Pressiorama® diagram. Preprint submitted to 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Paris 2013

- [43] Bowles J. E. (1996) - Foundation Analysis and Design. 5th ed.", New York: McGraw-Hill
- [44] Jaky, J. (1948) - Pressure in silos. Proc., 2nd Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rotterdam, The Netherland, 1, 103–107
- [45] Alpan, I. (1967). "The Empirical Evaluation of the Coefficients K_o and K_{on} " Soils and Foundations, Vol.7, No.1, 31
- [46] Laranjo, M., R., L., L. (2013) - Argilas Miocénicas de Lisboa - Parametrização para o Dimensionamento de Estruturas Geotécnicas. Dissertação submetida para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- [47] Hoek, E., Carranza-Torres, C.T., and Corkum, B. (2002) - Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition. Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002
- [48] Serafim, J. Laginha, Paulino, J. Pereira (1983) - Determinação das Características Geotécnicas de um Maciço Rochoso Através da Classificação Geomecânica de Bieniawski
- [49] Bieniawski, Z. T. (1989) - Engineering Rock Mass Classification. Wiley, New York , 251 p.
- [50] Hoek, E. (2006) - Pratical Rock Engineering. www.rocscience.com
- [51] Barton, N.R. and Choubey, V. 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mech. 10(1-2), 1-54
- [52] Franklin JA, Broch E, Walton G (1971) - Logging the mechanical character of rock. Trans Inst Min Metall 80:A1–A9
- [53] Pereira, M., L., M., M., P. (2018) - Caracterização geotécnica de rochas vulcânicas de Lisboa – um contributo. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica. UNL
- [54] APA (2019) – Guia Técnico. Valores de Referência para o Solo. Agência Portuguesa do Ambiente. 73 p.

[55] Inácio, M, Pereira V., Pinto M. (2008) – The Soil Geochemical Atlas of Portugal: Overview and Applications. Journal of Geochemical Exploration 98, pp. 22-33

[56] Andrei Spriridon (2019) - Determinação do background geoquímico em metais pesados de solos basálticos do Complexo Vulcânico de Lisboa. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

[57] Santos, M., D., D. (2017) - Problemas geotécnicos associados a solos expansivos em Lisboa. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica. UNL

PEÇAS DESENHADAS

Projeto 00 – ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO (VERSÃO BASE)

PROJETO DE EXECUÇÃO
MEMÓRIA DESCRITIVA
P00-GER-GER-PE-MEM-EGG-00.01-R2

TM1 - VISTA AÉREA
A1=S:ESC/A3=S:ESC



TM1 - IMPLANTAÇÃO
A1=1:5000/ A3=1:10.000



TM1 - IMPLANTAÇÃO
A1=1:5000/ A3=1:10.000



TM3 - VISTA AÉREA
A1=S:ESC/A3=S:ESC



TM3 - IMPLANTAÇÃO
A1=1:5000/ A3=1:10.000



TM4 - VISTA AÉREA
A1=S:ESC/A3=S:ESC



TM4 - IMPLANTAÇÃO
A1=1:5000/ A3=1:10.000



TC1 - VISTA AÉREA
A1=S:ESC/A3=S:ESC



TC1 - IMPLANTAÇÃO
A1=1:5000/ A3=1:10.000



TC2 - VISTA AÉREA
A1=S:ESC/A3=S:ESC



TC2 - IMPLANTAÇÃO
A1=1:5000/ A3=1:10.000



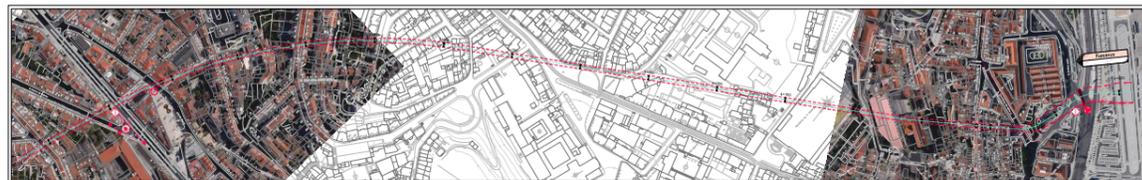
TUNEL MONSANTO SANTA APOLÓNIA - IMPLANTAÇÃO 1/3
A1=1:5000/ A3=1:10.000



TUNEL MONSANTO SANTA APOLÓNIA - IMPLANTAÇÃO 2/3
A1=1:5000/ A3=1:10.000



TUNEL MONSANTO SANTA APOLÓNIA - IMPLANTAÇÃO 3/3
A1=1:5000/ A3=1:10.000



TCB - VISTA AÉREA
A1=S:ESC/A3=S:ESC



TCB - IMPLANTAÇÃO
A1=1:5000/ A3=1:10.000



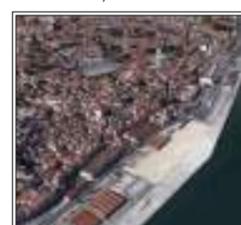
TM5 - VISTA AÉREA
A1=S:ESC/A3=S:ESC



TM5 - IMPLANTAÇÃO
A1=1:5000/ A3=1:10.000



TM6 - VISTA AÉREA
A1=S:ESC/A3=S:ESC



TM6 - IMPLANTAÇÃO
A1=1:5000/ A3=1:10.000



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

ESCALAS:	COMO INDICADO	PROJECÇÃO:	RC	VERIFICADO:	sc
		DESENHO:	SM	APROVADO:	SC

REVISÃO:	DATA:	DESCRIÇÃO:	RUBRICA:
		PROJECTO DE EXECUÇÃO	
		PLANTA DE ENQUADRAMENTO GERAL	
		Nº DO DESENHO:	PE1-TMSA-TCB-GER-01
		DATA 1ª EMISSÃO:	2021/04
		Nº ORDEM-REVISÃO:	01-00