

QUADRO DE ÁREAS	
NOME DA ZONA	ÁREA (m²)
ES	21,19 m²
ELEVADOR	
EL01	6,28 m²
EL02	6,28 m²
EL03	6,45 m²
EL04	6,36 m²
Emergency stairs	
E3	17,68 m²
E4	5,37 m²
E5	16,84 m²
EF	5,37 m²
ESCADA	
E1	42,24 m²
E2	42,26 m²
E3	42,25 m²
E4	42,23 m²
E5	18,52 m²
E6	42,17 m²
E7	38,75 m²
E8	59,66 m²
E9	59,66 m²
E10	46,24 m²
E11	52,08 m²
E12	52,08 m²
E13	46,24 m²
E14	52,08 m²

QUADRO DE ÁREAS	
NOME DA ZONA	ÁREA (m²)
EM1	11,55 m²
EM2	11,55 m²
EM3	11,55 m²
EM4	11,55 m²
EM5	13,91 m²
EM6	13,91 m²
EM7	13,40 m²
EM8	13,40 m²
EM9	16,66 m²
EM10	16,66 m²
EM11	14,87 m²
EM12	14,87 m²
EM13	16,66 m²
EM14	16,66 m²

- SINALETICA
- B - Balcões
 - F - Foyer
 - FE - Foyer de Emergência
 - F2 - Foyer de Emergência
 - PE - Plataforma
 - PE2 - Plataforma de Emergência
 - SE - Sala de espera de emergência
 - SE2 - Sala de espera de emergência
 - S - Sinalética
 - S2 - Sinalética de emergência
 - S3 - Sinalética de emergência
 - S4 - Sinalética de emergência
 - S5 - Sinalética de emergência
 - S6 - Sinalética de emergência
 - S7 - Sinalética de emergência
 - S8 - Sinalética de emergência
 - S9 - Sinalética de emergência
 - S10 - Sinalética de emergência
 - S11 - Sinalética de emergência
 - S12 - Sinalética de emergência
 - S13 - Sinalética de emergência
 - S14 - Sinalética de emergência
 - S15 - Sinalética de emergência
 - S16 - Sinalética de emergência
 - S17 - Sinalética de emergência
 - S18 - Sinalética de emergência
 - S19 - Sinalética de emergência
 - S20 - Sinalética de emergência
 - S21 - Sinalética de emergência
 - S22 - Sinalética de emergência
 - S23 - Sinalética de emergência
 - S24 - Sinalética de emergência
 - S25 - Sinalética de emergência
 - S26 - Sinalética de emergência
 - S27 - Sinalética de emergência
 - S28 - Sinalética de emergência
 - S29 - Sinalética de emergência
 - S30 - Sinalética de emergência
 - S31 - Sinalética de emergência
 - S32 - Sinalética de emergência
 - S33 - Sinalética de emergência
 - S34 - Sinalética de emergência
 - S35 - Sinalética de emergência
 - S36 - Sinalética de emergência
 - S37 - Sinalética de emergência
 - S38 - Sinalética de emergência
 - S39 - Sinalética de emergência
 - S40 - Sinalética de emergência
 - S41 - Sinalética de emergência
 - S42 - Sinalética de emergência
 - S43 - Sinalética de emergência
 - S44 - Sinalética de emergência
 - S45 - Sinalética de emergência
 - S46 - Sinalética de emergência
 - S47 - Sinalética de emergência
 - S48 - Sinalética de emergência
 - S49 - Sinalética de emergência
 - S50 - Sinalética de emergência
 - S51 - Sinalética de emergência
 - S52 - Sinalética de emergência
 - S53 - Sinalética de emergência
 - S54 - Sinalética de emergência
 - S55 - Sinalética de emergência
 - S56 - Sinalética de emergência
 - S57 - Sinalética de emergência
 - S58 - Sinalética de emergência
 - S59 - Sinalética de emergência
 - S60 - Sinalética de emergência
 - S61 - Sinalética de emergência
 - S62 - Sinalética de emergência
 - S63 - Sinalética de emergência
 - S64 - Sinalética de emergência
 - S65 - Sinalética de emergência
 - S66 - Sinalética de emergência
 - S67 - Sinalética de emergência
 - S68 - Sinalética de emergência
 - S69 - Sinalética de emergência
 - S70 - Sinalética de emergência
 - S71 - Sinalética de emergência
 - S72 - Sinalética de emergência
 - S73 - Sinalética de emergência
 - S74 - Sinalética de emergência
 - S75 - Sinalética de emergência
 - S76 - Sinalética de emergência
 - S77 - Sinalética de emergência
 - S78 - Sinalética de emergência
 - S79 - Sinalética de emergência
 - S80 - Sinalética de emergência
 - S81 - Sinalética de emergência
 - S82 - Sinalética de emergência
 - S83 - Sinalética de emergência
 - S84 - Sinalética de emergência
 - S85 - Sinalética de emergência
 - S86 - Sinalética de emergência
 - S87 - Sinalética de emergência
 - S88 - Sinalética de emergência
 - S89 - Sinalética de emergência
 - S90 - Sinalética de emergência
 - S91 - Sinalética de emergência
 - S92 - Sinalética de emergência
 - S93 - Sinalética de emergência
 - S94 - Sinalética de emergência
 - S95 - Sinalética de emergência
 - S96 - Sinalética de emergência
 - S97 - Sinalética de emergência
 - S98 - Sinalética de emergência
 - S99 - Sinalética de emergência
 - S100 - Sinalética de emergência

!!! placement deducted, because unclear from the Sinaletica plans

AL. TITULO		ESTADOS		DATA	DES	VERIF.
0		Estado Previo				
PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA S. SEBASTIÃO - ALCÁNTARA PROJETO DE EXECUÇÃO						
Data: _____ Aprov: _____ Verif: _____ Proj: _____ Des: _____				Escala: _____ Des. nº: 133072 F. / / Alter: _____ Autorizado: _____ Nº SAP: _____ Versão: _____ Folha: _____		
ESTAÇÃO DE CAMPO DE OURIQUE NÍVEL DOS ACESSOS E CORTES 6. 7. 7. 8. 8. 9. 9. 10. 10.						
Aprov: RV/RBP 25/03/2024 Verif: LB 25/03/2024 Proj: LG 25/03/2024 Des: AS 25/03/2024		MOTAENÇIL ENGENHARIA SARAIVA+ASSOCIADOS SARAIVA E ASSOCIADOS Escala: _____ Folha: _____ Des. nº: _____ Alter: _____				
LVSSA MSA PE ARIQ EST CO DW 133003 0						

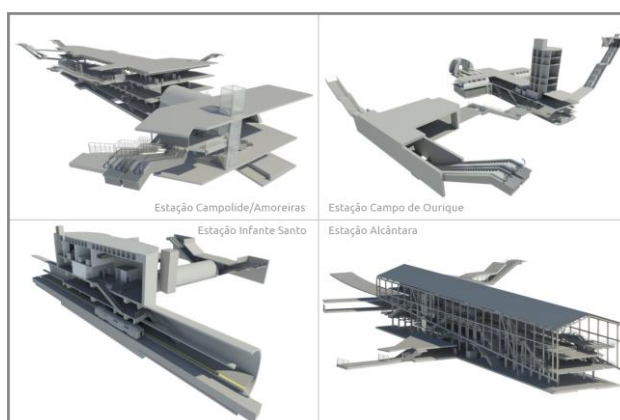
Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar de Projecto da Linha Vermelha em S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

METRO DE LISBOA

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO V

VOLUME 2 – ESTAÇÃO CAMPO DE OURIQUE – 02 ESTRUTURAS

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA. SUPORTE PRIMÁRIO E FASEAMENTO CONSTRUTIVO

Documento SAP:	LVSSA MSA PE STR EST CO MD 083000 0
----------------	-------------------------------------

	Nome	Assinatura	Dados
Elaborado	Christos Biliris / P. Kontothanasis		2024-09-27
Revisto	Afonso Marques		2024-09-27
Verificado	Sergio Notarianni		2024-09-27
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		
Aprovado	Raúl Pistone		

Índice

1	OBJECTIVO E ÂMBITO.....	8
2	DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO	9
3	CONDIÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS.....	11
4	CONDIÇÕES GERAIS	15
4.1	Alinhamento	15
4.2	Desvios.....	15
4.3	Ocupação à Superfície e Subterrânea.....	15
4.4	Interferências.....	15
4.5	Implementação.....	15
4.6	Segurança.....	16
4.7	Arquitetura.....	16
4.8	Compatibilidade com outras Especialidades.....	17
4.9	Ambiente.....	17
5	CÓDIGOS E NORMAS DE CONCEPÇÃO	18
6	MATERIAIS	19
7	CRITÉRIOS DE CONCEPÇÃO	20
7.1	Vida Útil do Projeto	20
7.2	Classificação dos Projetos de Acordo com a sua Importância.....	20
7.3	Classe de Inspeção.....	20
7.4	Classe de Fiabilidade	20
7.5	Classificação do Tipo de Solo.....	20
7.6	Estanquidade das Estruturas Subterrâneas.....	21
7.6.1	Estações Subterrâneas	21
7.6.2	Requisitos Legais de Proteção das Águas Subterrâneas.....	22
8	METODOLOGIA DE ESCAVAÇÃO E CONSTRUÇÃO.....	23

9	CLASSES DE ESCAVAÇÃO E APOIO INICIAL.....	26
9.1	Poço.....	26
9.2	Túneis.....	28
10	FASES DE CONSTRUÇÃO	35
11	METODOLOGIA DE PROJECTO.....	39
11.1	Metodologia de Análise de Elementos Finitos para Túneis e Poços.....	40
11.1.1	Análise de Elementos Finitos Bidimensionais	41
11.1.2	Análise Tridimensional por Elementos Finitos	52
11.2	Metodologia de Projeto de Paredes de Suporte Incorporados.....	55
12	RESULTADOS DAS ANÁLISES	61
12.1	Resultados de Análises de Elementos Finitos Bidimensionais para Túneis.....	61
12.1.1	Verificação do Revestimento Inicial de Betão Projetado.....	61
12.1.2	Verificação dos Pregagens	68
12.1.3	Convergências Iniciais de Revestimento.....	70
12.1.4	Deslocamentos do Solo.....	72
12.1.5	Estimativa da Tensão no Solo.....	74
12.2	Resultados da Análise Tridimensional por Elementos Finitos para o Poço.....	76
12.2.1	Estacas Ø600mm.....	76
12.2.2	Viga de Coroamento de Estacas	77
12.2.3	Betão Projetado.....	78
12.2.4	Pregagens	81
12.2.5	Deslocamentos no Solo.....	82
12.3	Resultados das Análises de Paredes de Contenção Embutidas.....	83
12.3.1	Profundidade de Embutimento Necessária.....	83
12.3.2	Dimensionamento e verificação da capacidade de estacas Ø600mm.....	85
12.3.3	Escoras de Aço e Vigas de Distribuição.....	88
12.3.4	Parede de Estacas e Deslocamentos do Solo.....	90

13 PLANO DE MONITORIZAÇÃO.....	96
13.1 Introdução.....	96
13.2 Parâmetros Monitorizados.....	97
13.3 Escavações Mineiras.....	97
13.4 Edifícios.....	98
13.5 Frequência de Monitorização	98
13.6 Níveis de Aviso, Referência e Alarme.....	99
ANEXO A – ANÁLISES DE REFORÇO DE ESTACAS.....	100
ANEXO B – CONTROLOS DE CAPACIDADE DOS ELEMENTOS DE AÇO.....	113

Lista de tabelas

Tabela 1 – Unidades Geotécnicas Reconhecidas no Local do Projeto.....	11
Tabela 2 – Profundidades das Unidades Geotécnicas.....	11
Tabela 3 – Valores Característicos Propostos para os Parâmetros Geotécnicos	13
Tabela 4 – Características dos Materiais	19
Tabela 5 – Tipos de Solo por EC8	20
Tabela 6 – Tipos de Solo por Parâmetros de Solo.....	21
Tabela 7 – Medidas de Apoio Iniciais.....	29
Tabela 8 – Valores dos Fatores da variável Ações	40
Tabela 9 – Factores Parciais.....	40
Tabela 10 – Dados da Análise de Elementos Finitos 2D.....	42
Tabela 11 – Túnel da Estação e Túnel Transversal 2: Fases de Construção Numéricas no PLAXIS 2D	47
Tabela 12 – Túnel de Alargamento: Fases de Construção Numéricas no PLAXIS 2D.....	49
Tabela 13 – Túnel de Acesso: Fases de Construção Numéricas no PLAXIS 2D	50
Tabela 14 – Eixo: Fases de Construção Numérica no PLAXIS 3D	52
Tabela 15 – Acesso Leste: Fases de Construção Numéricas no PLAXIS 2D	59
Tabela 16 – Carga Axial Máxima das Pregagens.....	69
Tabela 17 – Deslocamentos do Betão Projetado e Convergência	71
Tabela 18 – Deslocamentos Verticais Máximos ao Nível do Solo.....	72
Tabela 19 – Estimativa da Pressão do Solo.....	74
Tabela 20 – Acesso Leste – Profundidade de Embutimento e Resultados da Estabilidade Global.....	84
Tabela 21 – Acesso Oeste – Profundidade de Embutimento e Resultados da Estabilidade Global.....	84
Tabela 22 – Acessos: Valores de Projeto das Forças Internas para Estacas Ø600mm/1,20m.....	86
Tabela 23 – Acessos: Armadura Mínima Exigida e Finalmente Empregue para Estacas Ø600mm/1,20m ..	87
Tabela 24 – Acesso Este: Verificações da Capacidade da Secção Transversal para Barras de Aço – Modelo E-I.....	88
Tabela 25 – Acesso Este: Verificações de Encurvadura para Barras de Aço – Modelo E-I.....	88
Tabela 26 – Acesso Este: Verificações da Capacidade da Secção Transversal para Barras de Aço – Modelo E-II.....	88
Tabela 27 – Acesso Este: Verificações de Encurvadura para Barras de Aço – Modelo E-II.....	88
Tabela 28 – Acesso Oeste: Verificações da Capacidade da Secção Transversal para Barras de Aço – Modelo W-I	89
Tabela 29 – Acesso Oeste: Verificações de Encurvadura para Barras de Aço – Modelo W-I.....	89
Tabela 30 – Acesso Oeste: Verificações da Capacidade da Secção Transversal para Barras de Aço – Modelo W-II	89
Tabela 31 – Acesso Oeste: Verificações de Encurvadura para Barras de Aço – Modelo 2	89
Tabela 32 – Acessos: Deflexões Máximas das Paredes com Base nas Análises PLAXIS 2D.....	91
Tabela 33 – Acessos: Deslocações verticais máximas à superfície do solo com base nas análises PLAXIS 2D	91
Tabela 34 – Frequência de Monitorização.....	98

Lista de figuras

Figura 1 – Localização da Estação de Campo de Ourique.....	10
Figura 2 – Secção Longitudinal Geotécnica da Estação de Campo de Ourique	12
Figura 3 – Frentes de Obra da Estação de Campo de Ourique	25
Figura 4 – Parede Secante da Estaca do Veio	27

Figura 5 – Escavação e Suporte Inicial do Poço.....	28
Figura 6 – Escavação e Apoio Inicial do Túnel da Estação (Classe A).....	31
Figura 7 – Escavação e Apoio Inicial do Túnel Transversal 2.....	32
Figura 8 – Escavação e Suporte Inicial do Túnel de Alargamento.....	33
Figura 9 – Escavação e Apoio Inicial do Túnel de Acesso.....	34
Figura 10 – Convergência – Curva de Confinamento.....	42
Figura 11 – Aplicação da Relaxação no PLAXIS 2D.....	43
Figura 12 – Variação do Fator de Relaxação em Função da Distância à Face do Túnel para o Túnel da Estação.....	43
Figura 13 – Variação do Fator de Relaxação em Função da Distância à Face do Túnel para o Túnel de Acesso.....	44
Figura 14 – Modelo de Elementos Finitos para o Túnel da Estação (classe B).....	44
Figura 15 – Modelo de Elementos Finitos para o Túnel Transversal 2.....	45
Figura 16 – Modelo de Elementos Finitos para o Túnel de Alargamento.....	45
Figura 17 – Modelo de Elementos Finitos para o Túnel de Acesso.....	46
Figura 18 – Modelo Numérico Tridimensional do Poço (PLAXIS 3D).....	52
Figura 19 – Estimativa da Profundidade de Embebimento por Blum a) Rotação da Parede, b) Distribuição de Tensões Estimada, c) Cargas de Cálculo Equivalentes.....	56
Figura 20 – Distribuição dos Empuxos de Terra (Recomendações sobre escavações da Sociedade Alemã de Geotecnia).....	57
Figura 21 – Modelo Típico de Elementos Finitos para Sistema de Escoramento de Entradas (PLAXIS 2D).....	58
Figura 22 – Localização das Seções de Análise da Entrada Leste.....	58
Figura 23 – Localização das Seções de Análise da Entrada Oeste.....	59
Figura 24 – Verificação da Capacidade da Secção do Túnel da estação, Classe A, Escavação do Calote Superior.....	61
Figura 25 – Verificação da Capacidade da Secção do Túnel da Estação, Classe A, Escavação Total.....	62
Figura 26 – Verificação da Capacidade da Secção do Túnel da Estação, Classe B, Escavação do Calote Superior.....	62
Figura 27 – Verificação da Capacidade da Secção do Túnel da Estação, Classe B, Escavação Total.....	63
Figura 28 – Verificação da Capacidade de Secção do Túnel Transversal 2, Escavação do Calote Superior.....	64
Figura 29 – Verificação da Capacidade de Secção do Túnel Transversal 2, Escavação Total.....	64
Figura 30 – Verificação da Capacidade de Secção do Túnel de Alargamento, Escavação do Calote Superior.....	65
Figura 31 – Verificação da Capacidade de Secção do Túnel de Alargamento, Escavação Total.....	66
Figura 32 – Verificação da Capacidade de Secção do Túnel de Acesso, Escavação do Calote Superior.....	67
Figura 33 – Verificação da Capacidade de Secção do Túnel de Acesso, Escavação Completa.....	67
Figura 34 – Cargas Axiais Máximas nos Pregagens.....	68
Figura 35 – Deslocamentos Máximos do Revestimento de Betão Projetado.....	70
Figura 36 – Deslocamentos Máximos do Revestimento de Betão Projetado.....	72
Figura 37 – Carga Axial no Revestimento Final.....	74
Figura 38 – Distribuição da Carga no Solo para Túneis Minados (Beton – Kalender 2014).....	75
Figura 39 – Estacas do Poço Ø600mm: Forças internas calculadas com base em análises PLAXIS 3D.....	76
Figura 40 – Coroamento da Estaca do Poço: Forças Internas Calculadas com Base em Análises PLAXIS 3D.....	77
Figura 41 – Poço: Diagrama de Interação M-N; Espessura do Betão Projetado 20cm (superior), Espessura do Betão Projetado 40cm (inferior).....	78
Figura 42 – Poço – Betão Armado (espessura 20 cm): Forças Internas Calculadas com Base em Análises PLAXIS 3D.....	79

Figura 43 – Poço – Betão Armado (espessura 40 cm): Forças Internas Calculadas com Base em Análises PLAXIS 3D	80
Figura 44 – Pregagens do Poço: Forças Axiais Calculadas com Base em Análises PLAXIS 3D	81
Figura 45 – Poço: Deslocações Verticais Maximas Calculadas  Superfície do Solo com Base nas Análises PLAXIS 3D	82
Figura 46 –Acesso Este: Modelos Numéricos para o Cculo da Profundidade de Embutimento (WALLS–Retain).....	83
Figura 47 –Acesso Oeste: Modelos Numéricos para o Cculo da Profundidade de Embutimento (WALLS–Retain).....	83
Figura 48 – Estacas de Acesso Leste: Forças Internas Calculadas com Base em Análises PLAXIS 2D – Modelo E-I.....	85
Figura 49 – Estacas de Acesso Leste: Forças Internas Calculadas com Base em Análises PLAXIS 2D – Modelo E-II.....	85
Figura 50 – Estacas de Acesso Oeste: Forças Internas Calculadas com Base em Análises PLAXIS 2D – Modelo W-I	86
Figura 51 – Estacas de Acesso Oeste: Forças Internas Calculadas com Base em Análises PLAXIS 2D – Modelo W-II	86
Figura 52 – Estacas de acesso leste: Deflexões de parede calculadas com base em análises PLAXIS 2D..	90
Figura 53 – Estacas de Acesso Oeste: Deflexões de Parede Calculadas com Base em Análises PLAXIS 2D	90
Figura 54 – Acesso Leste: Deslocaes Verticais do Solo Calculadas com Base em Análises PLAXIS 2D – Modelo E-I.....	92
Figura 55 – Acesso Leste: Deslocaes Verticais do Solo Calculadas com Base em Análises PLAXIS 2D – Modelo E-II.....	93
Figura 56 – Acesso Oeste: Deslocaes Verticais do Solo Calculadas com Base em Análises PLAXIS 2D – Modelo W-I	94
Figura 57 – Acesso Oeste: Deslocaes Verticais do Solo Calculadas com Base em Análises PLAXIS 2D – Modelo W-II	95

1 OBJECTIVO E ÂMBITO

A Estação de Campo de Ourique faz parte do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara do Metropolitano de Lisboa. A estação é constituída por uma estrutura subterrânea com 117,4m de comprimento interior, 18,8m de largura interior máxima e 15,7m de altura interior máxima, com cerca de 15 metros de cobertura.

Este documento é apresentado no âmbito do Projeto Preliminar de Escavação e Apoio Inicial da Estação de Campo de Ourique.

O presente relatório baseia-se nos seguintes documentos e respetivos desenhos, fornecidos pelo Metropolitano de Lisboa:

1. Estação Campo De Ourique, Arquitetura, Memória Descritiva E Justificativa, LVSSA ML PP ARQ EST ECO MD 063001 0, 2022-08-10,
 2. Estação Campo De Ourique, Memória Descritiva E Justificativa, LVSSA ML PP STR EST ECO MD 083000 A, 2022-11-16,
- bem como aos documentos seguintes e aos desenhos que os acompanham, apresentados no âmbito do projeto de concurso:
3. VOLUME 3 - Estações - Campo De Ourique Memória Descritiva E Justificativa, Suporte. Primário E Faseamento Construtivo, LVSSA CBJ EP STR EST ECO ME 083000 0, 2023-06-23,
 4. VOLUME 3 - Estações - Estação Campo De Ourique Memória Descritiva E Justificativa, LVSSA CBJ EP STR EST ECO MD 083001 0, 2023-06-23,
 5. VOLUME 3 - Estações - Estação Campo De Ourique Nota De Cálculo - Estruturas Externas, LVSSA CBJ EP STR EST ECO NC 083001 0, 2023-06-23,
 6. VOLUME 3 - Estações Nota De Cálculo - Estruturas Internas Da Estação De Campo De Ourique, LVSSA CBJ EP STR EST ECO NC 083002 0, 2023-06-23,
 7. Memória Descritiva e Justificativa do Método Construtivo e Faseamento da Obra, PROC. N.º 125/2022 DLO/ML

2 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

A estação de Campo de Ourique situa-se no Jardim da Parada, entre a Rua 4 de Infantaria e a Rua Tomás da Anunciação.

Devido às restrições de espaço à superfície, esta estação será construída numa galeria totalmente subterrânea, devido à necessidade de interferência mínima com a superfície e os edifícios circundantes.

A estação é constituída por um poço de acesso com 14,0m de diâmetro interior final, o túnel principal (Túnel da Plataforma) com 117,4m de comprimento interior, 18,8m de largura interior máxima e 15,7m de altura interior máxima, e um túnel transversal com cerca de 57,0m de comprimento interior, 15,8m de largura interior máxima e 14,9m de altura interior máxima. Estão ainda previstos dois túneis de acesso com 7,0m de largura interior máxima e 6,1m de altura interior máxima.

O poço de acesso situa-se na esquina entre a Rua Almeida e Sousa e a Rua Tomás da Anunciação.

A Estação de Campo de Ourique encontra-se sob o Jardim Teófilo de Braga, sendo que a cobertura sobre o Túnel varia aproximadamente entre 15m e 18m.

A construção da estação subterrânea será efetuada pelo método NATM. O túnel da plataforma será escavado a partir do poço.

Os túneis de acesso serão executados a partir do Túnel Principal, no sentido ascendente, até ao nível do último lanço de escadas. A partir desta cota, os trabalhos serão executados à superfície pelo método "cut and cover" através de um poço aberto, provisoriamente retido por uma parede de estacas.

Uma vez que o diâmetro do poço é inferior à largura do túnel, são inicialmente considerados alargamentos laterais do túnel, preenchidos com betão, para funcionarem como pilares e colunas de reforço do poço, que serão reavaliados durante a fase de projeto pormenorizado.

A figura seguinte mostra a localização da Estação de Campo de Ourique.

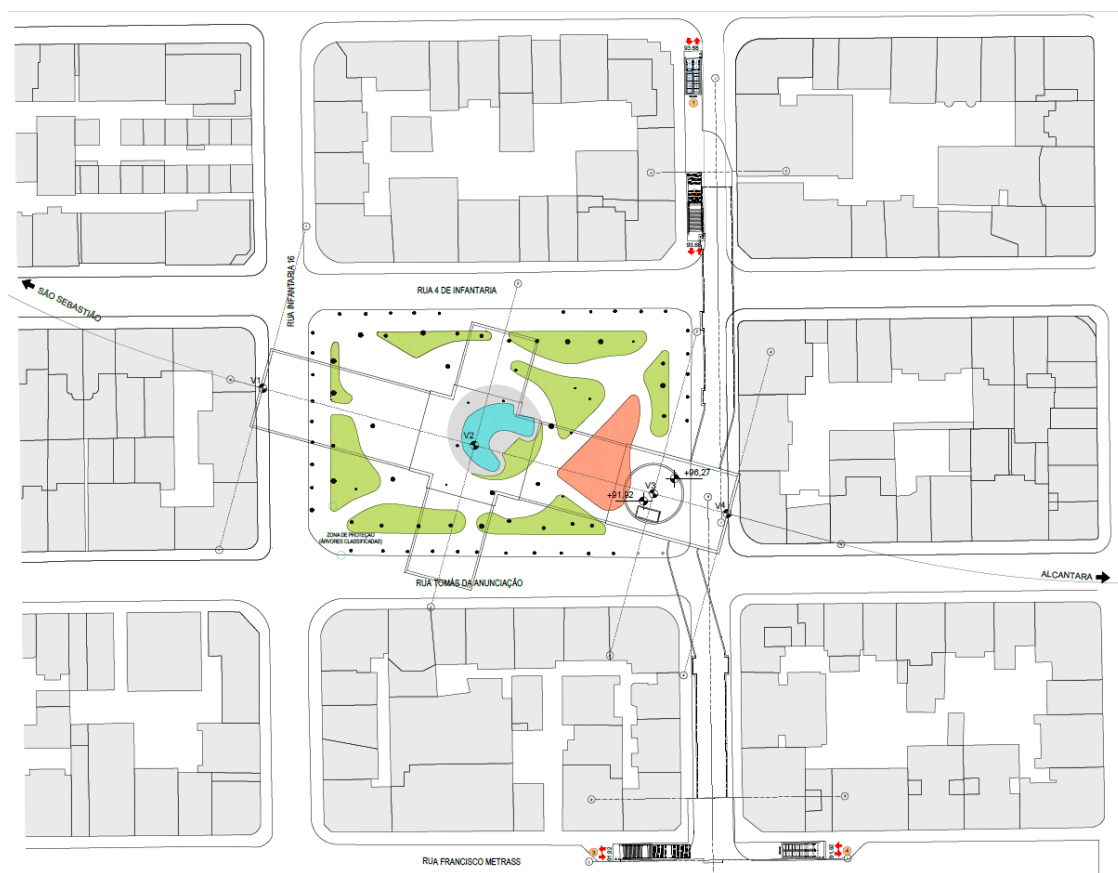


Figura 1 - Localização da Estação de Campo de Ourique

3 CONDIÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS

Os resultados disponíveis da investigação geotécnica efetuada foram avaliados e posteriormente foi desenvolvido um modelo geotécnico preliminar adequado à elaboração dos estudos geotécnicos preliminares da estação de Campo de Ourique. De acordo com os dados geotécnicos obtidos com base na investigação geotécnica relativa (sondagens SC14-pz, SC15-pz, SC16, SC17-pz e SC18-pz), as formações no local do projeto são constituídas por argilas silto-arenosas rígidas a muito rígidas, sobrepostas a uma camada de argilas e margas siltosas, duras a muito duras. Nos estratos mais profundos, encontra-se a formação de basalto moderadamente a fortemente fraturado com abundantes veios de calcite. Na base do local do projeto encontra-se a formação calcária cristalina, que apresenta um grande grau de diferenciação em termos do seu grau de meteorização e desintegração.

De um modo geral, a estratigrafia encontrada na área geral da estação proposta de Campo de Ourique é categorizada em unidades geotécnicas distintas, conforme apresentado na Tabela abaixo.

Tabela 1 - Unidades Geotécnicas Reconhecidas no Local do Projeto

Unidade Geotécnica	Descrição
At	Camada betuminosa assente em aterro argiloso-siltoso, ligeiramente arenoso, com fragmentos de calcário, cinzento acastanhado.
M(ag)b	Argila silto-arenosa rígida a muito rígida ($15 < N_{SPT} < 30$), com concreções carbonatadas, cinzenta acastanhada e cinzenta-esverdeada.
M(ag)a	Argilas e margas duras a muito duras ($N_{SPT} > 30$), com fragmentos basálticos.
$\beta_{W5;W4/5}$	Basalto, com abundantes veios de calcite, fortemente fraturado, moderadamente a fortemente desgastado, caracterizado pelo Índice de Resistência Geológica, GSI=20-35.
β	Basalto, com abundantes veios de calcite, moderadamente fraturado, ligeira a moderadamente alterado, caracterizado pelo Índice de Resistência Geológica, GSI=35-55.
Cc1a	Argila margosa e/ou marga argilosa esbranquiçada a amarelada
Cc1b	Calcário cristalino, fortemente desintegrado, moderadamente a fortemente desgastado, caracterizado pelo Índice de Resistência Geológica, GSI=10-20.
Cc1d	Calcário cristalino, moderadamente desintegrado, moderadamente a fortemente meteorizado, caracterizado pelo Índice de Resistência Geológica, GSI=20-40.
Cc1c	Calcário cristalino, ligeira a moderadamente desintegrado, moderadamente desgastado, caracterizado pelo Índice de Resistência Geológica, GSI=40-55.

As profundidades a que as unidades geotécnicas estabelecidas acima mencionadas são encontradas em cada furo de sondagem na área geral do local do projeto são apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 2 - Profundidades das Unidades Geotécnicas

Furo de Sondagem	Profundidade (m)								
	At	M(ag)b	M(ag)a	$\beta_{W5;W4/5}$	β	Cc1a	Cc1b	Cc1d	Cc1c
SC14-pz	0.0 - 1.5	1.5 - 10.5		10.5 - 13.5		-	16.5 - 21.0 25.0 - 34.5	13.5 - 16.5	21.0 - 25.0 34.5 - 48.0

Furo de Sondagem	Profundidade (m)								
	At	M(ag)b	M(ag)a	$\beta_{W5;W4/5}$	β	Cc1a	Cc1b	Cc1d	Cc1c
SC15-pz	0.0 - 2.0		2.0 - 13.6	13.6 - 24.0		-	29.5 - 37.5 45.4 - 48.0	24.0 - 29.5	37.5 - 45.4
SC16	0.0 - 3.0	3.0 - 8.5	8.5 - 19.5	19.5 - 25.5		25.5 - 28.5	31.5 - 45.0	28.5 - 31.5	45.0 - 47.26
SC17-pz	0.0 - 2.0	2.0 - 7.5	7.5 - 17.3	17.3 - 21.0	21.0 - 28.5	28.5 - 31.5		31.5 - 42.0 45.6 - 49.0	42.0 - 45.6 49.0 - 50.0
SC18-pz	0.0 - 2.9	2.9 - 5.0	5.0 - 6.5	6.5 - 15.0			21.0 - 22.5 29.0 - 33.2	15.0 - 21.0 22.5 - 29.0 33.2 - 45.0	

De notar que, com base nos dados disponíveis das cinco (5) sondagens executadas nas imediações da Estação de Campo de Ourique, a formação Cc1a (ex.: "Argila marga e/ou marga argilosa esbranquiçada a amarelada"), reconhecida com base nos dados de toda a campanha de investigação geotécnica, foi identificada apenas em zonas muito limitadas nas sondagens SC16 & SC17-pz, sem resultados laboratoriais suficientes para a estimativa de parâmetros de uma Unidade Geotécnica distinta (CC1a). Assim, como abordagem conservadora e devido à semelhança esperada em termos de comportamento geomecânico global, aos materiais a estas profundidades foram atribuídos os parâmetros geotécnicos adotados para a Unidade Geotécnica M(ag)a (Argilas e margas duras a muito duras ($N_{SPT} > 30$), com fragmentos basálticos).

Na figura seguinte, apresenta-se a secção longitudinal geotécnica ao longo da estação.

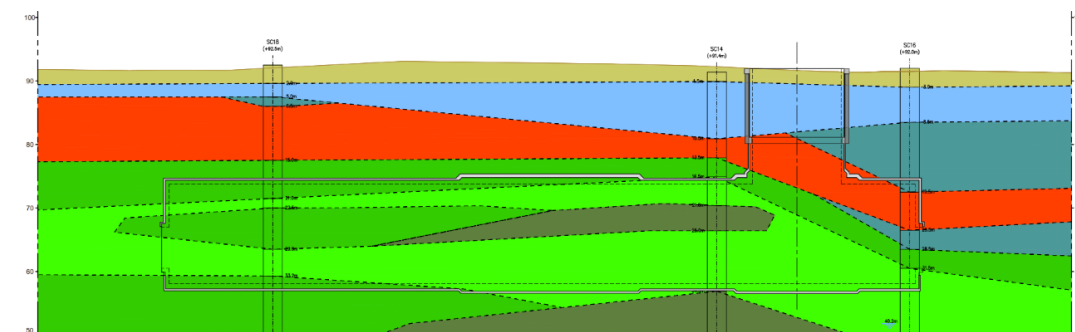


Figura 2 - Secção Longitudinal Geotécnica da Estação de Campo de Ourique

Com base na avaliação preliminar e no tratamento estatístico dos dados disponíveis provenientes dos trabalhos de investigação geotécnica executados in situ e em laboratório, são propostos valores preliminares dos parâmetros de projeto geotécnico para cada unidade geotécnica, conforme se apresenta na Tabela seguinte. Observa-se que para as unidades geotécnicas de rocha são fornecidos dois conjuntos de parâmetros de projeto, um que corresponde a um fator de perturbação, D , de 0,30 e outro que corresponde a um fator de perturbação de 0,0. De acordo com Hoek e Brown (2019), enquanto uma escavação de túnel cuidadosamente projetada e executada é alcançada, o valor mais alto do fator de perturbação ($D = 0.30$) pode ser aplicado apenas a uma zona que se estende por 2-3 m em torno da escavação do túnel.

Tabela 3 – Valores Característicos Propostos para os Parâmetros Geotécnicos

Parâmetro	Gama de Valores de Projeto												
	Em	M(ag)b	M(ag)a	$\beta_{W5;W4/5}$		β		Cc1b		Cc1d		Cc1c	
				D=0.0	D=0.3	D=0.0	D=0.3	D=0.0	D=0.3	D=0.0	D=0.3	D=0.0	D=0.3
Peso unitário, γ (kN/m ³)	18	19	20	23		23		22		23		24	
Coesão efectiva, c' (kPa)	2	8	20	60	50	110	90	55	45	130	90	210	150
Ângulo de fricção efetivo, ϕ' (°)	28	28	30	47	44	52	47	38	32	46	42	50	48
Resistência ao cisalhamento não drenada, c_u (kPa)	-	70	300	-		-		-		-		-	
Resistência à compressão uniaxial, σ_{ci} (MPa)	-	-	-	7.5		7.5		15		25		25	
GSI	-	-	-	20-35		35-55		10-20		20-40		40-55	
Módulo de elasticidade, E (MPa)	8	15	45	-		-		-		-		-	
Módulo de elasticidade do maciço rochoso, E_m (MPa)	-	-	-	200	150	600	350	270	220	1100	600	2500	1500
Rácio de Poisson, ν	0.35	0.35	0.30	0.25		0.25		0.20		0.20		0.20	
Coefficiente de pressão da terra em repouso, K_0	0.5	0.5	0.7	0.7		0.7		0.8		0.8		0.8	
Módulo do edómetro, E_s (MPa)	12	24	60	-		-		-		-		-	

*Nota: O valor mais elevado do fator de perturbação ($D = 0.30$) pode ser aplicado a uma zona que se estende por 2-3 m à volta da escavação do túnel, de acordo com Hoek e Brown (2019).

As águas subterrâneas foram registadas a profundidades que variam entre 40,2m e 46,8m da superfície do solo, o que corresponde a uma profundidade superior a 5m abaixo do “invert” do túnel da plataforma.

Note-se que os valores, abaixo tabelados, dos parâmetros geotécnicos das várias unidades geotécnicas reconhecidas se baseiam, em geral, numa abordagem conservadora, pertinente para a presente fase de Estudo Prévio do projeto. Os valores dos parâmetros geotécnicos adotados serão reavaliados no âmbito da fase de Projeto de Execução, com base nos resultados do programa de investigação geotécnica adicional que será realizado nas imediações da Estação de Campo de Ourique.

4 CONDIÇÕES GERAIS

4.1 Alinhamento

A solução estrutural adotada e os processos e faseamentos de construção previstos são compatíveis com o projeto de traçado da linha definido no Programa Preliminar e no Estudo Prévio.

O traçado do percurso, bem como a sua proximidade a um eixo viário crítico para a mobilidade urbana, onde qualquer interrupção ou desvio, mesmo que temporário, provocaria transtornos muito significativos, foram aspetos fundamentais que condicionaram a implementação da estação de Campo de Ourique.

A profundidade a que o P.B.V. é colocado. (Plano de Base da Estrada) em relação à superfície foi uma parte condicionante da solução estrutural, bem como do faseamento da construção.

4.2 Desvios

Ao longo da duração dos trabalhos, as estações e áreas reservadas junto à área a executar a céu aberto, que interfiram com a circulação existente, serão demarcadas como áreas de ocupação temporária com os consequentes desvios de trânsito.

As estações são objeto de um projeto autónomo, apresentado no Tomo I – Geral, Volume 9 – Estações da Linha.

4.3 Ocupação à Superfície e Subterrânea

A execução a céu aberto de parte dos acessos à estação e o arranque do poço vertical interferem com as redes de infraestruturas existentes no subsolo. As infraestruturas serão objeto de desvios provisórios/definitivos ou eventual suspensão, de forma a serem compatíveis com a fase de construção proposta.

Os serviços afetados são objeto de um projeto autónomo, apresentado no Capítulo 02 – Serviços afetados, do presente volume.

4.4 Interferências

As principais interferências serão objeto de um estudo autónomo, apresentado nos desenhos de identificação de interferências. As necessidades de demolições, reforço de edifícios e contenções, estão retratadas no Tomo I – Geral, Volume 17 – Interferências ao longo da Linha e Volume 27 – Demolições ao longo da Linha.

4.5 Implementação

A execução da obra respeita integralmente os requisitos definidos no Programa Preliminar, que foram também desenvolvidos na fase de Estudo Prévio.

Tendo em conta a cobertura da estação, será efetuado um levantamento cuidadoso das interferências identificadas, de forma a mitigar os danos associados à execução dos trabalhos.

4.6 Segurança

A atividade de prevenção dos riscos profissionais apresenta uma matriz de referência baseada num conjunto de princípios gerais de prevenção:

1. Evitar os riscos;
2. Avaliar os riscos que não podem ser evitados;
3. Combater os riscos na origem;
4. Adaptar o trabalho ao trabalhador;
5. Adaptação ao progresso técnico;
6. Substituir o que é perigoso pelo que não é perigoso ou pelo que é menos perigoso.
7. Prevenção;
8. Dar prioridade à prevenção coletiva em detrimento da individual;
9. Dar instruções adequadas aos trabalhadores.

Estes princípios que devem orientar a atuação de todos os intervenientes ao longo do processo de construção serão respeitados no desenvolvimento deste Projeto, iniciando-se nesta fase a elaboração do respetivo Plano de Segurança e Saúde.

4.7 Arquitetura

O Projeto respeita todas as exigências arquitetónicas definidas no Programa Preliminar e procurará obter as soluções técnicas mais adequadas que respondam às exigências definidas no Programa Preliminar de Arquitetura.

4.8 Compatibilidade com outras Especialidades

O projeto é compatível com o Programa Preliminar de Arquitetura e com as outras especialidades.

- Volume V – Caminho de ferro, Volume 1 – Alinhamento;
- Volume V – Caminhos-de-ferro, Volume 2 – Sistema de vias;
- Tomo V – Caminhos-de-ferro, Tomo 3 – Drenagem da via;
- Volume VI – Sistemas, Tomo 1 – Energia;
- Volume VI – Sistemas, Volume 2 – Telecomunicações;
- Volume VI – Sistemas, Volume 3 – Mecânica;
- Volume VII – Fluidos, Volume 1 – Redes de água;
- Volume VII – Fluidos, Volume 2 – Redes de drenagem;
- Volume VII – Fluidos, Volume 3 – Coluna seca.

4.9 Ambiente

O projeto do "Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara" está sujeito a Avaliação de Impacto Ambiental, tendo sido desenvolvido um Estudo de Impacto Ambiental e emitida uma Declaração de Impacto Ambiental (DIA) que determina uma Decisão Favorável Condicionada ao cumprimento dos termos e condições expressos na DIA (processo de AIA n.º 3462), na qual são identificadas as medidas gerais de minimização a implementar na fase de construção, a complementar na fase de Projeto de Execução com a realização do Relatório de Conformidade Ambiental com o Projeto de Execução (RECAPE).

5 CÓDIGOS E NORMAS DE CONCEPÇÃO

A conceção será desenvolvida com base nos seguintes códigos de conceção:

- NP EN 1990 – Bases para o Projeto de Estruturas (EC0);
- NP EN 1991 – Ações em Estruturas (EC1);
- NP EN 1992 – Projeto de Estruturas de Betão (EC2);
- NP EN 1993 – Projeto de Estruturas de Aço (EC3);
- NP EN 1994 – Projeto de Estruturas Mistas de Aço e Betão (EC4);
- NP EN 1997 – Projeto Geotécnico (EC7);
- NP EN 1998 – Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos (EC8);
- Código Modelo FIB para Estruturas de Betão 2010
- Normas de Projeto de Estruturas do Metropolitano de Lisboa.

Serão igualmente consideradas as seguintes normas de execução:

- NP EN 206:2013+A1:2017 – Betão: Especificação, desempenho, produção e conformidade.
- NP EN 13670-1 – Execução de estruturas de betão. Parte 1 – Regras.
- NP EN 14199 – Execução de obras geotécnicas especiais. Microestacas.
- NP EN 1537 – Execução de obras geotécnicas especiais. Ancoragens de solo.
- EN ISO 22447-5 – Investigação e ensaios geotécnicos – Ensaio de estruturas geotécnicas – Parte 5: Ensaio de ancoragens betumadas.
- EN 1536 – Execução de Obras Geotécnicas Especiais. Estacas escavadas.
- EN 14490 – Execução de trabalhos geotécnicos especiais. Pregagem do solo.
- NP EN 197-1 – Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos comuns.
- NP EN 197-2 – Cimento. Parte 2: Avaliação e verificação da regularidade do desempenho.
- NP EN 13251 – Geotêxteis e produtos relacionados com geotêxteis – Características requeridas para uso em terraplenagens, fundações e estruturas de suporte.
- NP EN 13256 – Geotêxteis e produtos relacionados com geotêxteis – Características requeridas para uso na construção de túneis e estruturas subterrâneas.
- NP EN 14487-1 – Betão projetado – Parte 1: Definições, especificações e conformidade.
- NP EN 14487-2 – Betão projetado – Parte 2: Execução.
- NP EN 14889-1 – Fibras para betão – Parte 1: Fibras de aço – Definições, especificações e conformidade.
- NP EN 14488-5 – Ensaio de betão projetado – Parte 5: Determinação da capacidade de absorção de energia de provetes de lajes reforçadas com fibras.
- NP EN 445 – Caldas de injeção para tendões de pré-esforço – Métodos de ensaio
- NP EN 446 – Caldas de injeção para tendões de pré-esforço – Procedimentos de injeção
- NP EN 447 – Caldas de injeção para tendões de pré-esforço – Requisitos básicos

6 MATERIAIS

As características dos materiais a adotar na conceção são apresentadas a título indicativo na Tabela seguinte.

Tabela 4 - Características dos Materiais

Material		Propriedades	
Betão	Betão projetado (húmido)	C30/37 XC 4(P) CL 0.4 DMAX.10 S5	
	Enxuto / Enchimento	C12/15 XC 2(P) CL 0.4 DMAX.22 S3	
Fibras metálicas	Resistência à tração	1500MPa	
	Comprimento (extremidade do gancho)	< 35mm	
	Esbelteza, L/D	65	
	Dose mínima de fibra	25kg/m ³	
	Classe de absorção de energia	E700	
Aço	Chapas e conjuntos de aço	S 355 JR	
	Cambotas metálicas treliçadas	A 500NR	
	Malha electro-soldada	UM 500ER	
	Enfilagens	S 355 JR	
	Pregagens	CLASSE ISO 8.8	
A soldadura de elementos de aço, a sua preparação e execução obedecerão aos requisitos da REAE, NP EN 1515 e NP EN 1993			
Parafusos de tubo expansivo	Carga mínima de elasticidade	Py = 130kN	
	Grau de aço	S 355 MC	
Parafusos totalmente calcados	Carga mínima de elasticidade	Py = 200kN	
	Grau de aço	A 500NR	
Parafusos de fibra de vidro	Resistência à tração	≥ 2000Mpa	
	Carga de projeto	> 250kN	
Argamassa	Resistência à compressão aos 28 dias	FCK MIN. =25 MPa	
Tubos de drenagem	Tubo de polietileno rígido, corrugado e com ranhuras		
Geotêxtil	Massa por unidade de superfície (EN 9864)	150g/m ²	
	Espessura mínima (EN ISO 9863-1)	2mm	
	Resistência à tração (EN ISO 10319)	4,5kN/m	
	Alongamento à carga máxima (EN ISO 10319)	80%	
	Puncionamento estático (EN ISO12236)	> 700N	
	Resistência dinâmica à perfuração (EN 918)	≤ 28 mm	
	Durabilidade	[Duração estimada de pelo menos 25 anos em solos com 4 < PH < 9 e temperaturas < 25°C (tempo máximo de exposição de 1 semana após a instalação)]	

7 CRITÉRIOS DE CONCEÇÃO

7.1 Vida Util do Projeto

Tendo em conta o recomendado no ponto 2.3 do Anexo Nacional da NP EN 1990, a estrutura é classificada na categoria de vida útil de projeto 5, o que corresponde a uma vida útil de projeto indicativa de 100 anos.

7.2 Classificação dos Projetos de Acordo com a sua Importância

A classificação dos projetos em função da sua importância é efetuada de acordo com o especificado no Anexo Nacional da EN 1990.

Tendo em conta a definição das classes de consequências apresentadas na tabela B.1 da EN 1990, as estações e poços de ventilação são parte integrante de uma infraestrutura cujo colapso representa "Consequências elevadas para a perda de vidas humanas, ou consequências económicas, sociais ou ambientais muito grandes", pelo que são classificadas como sendo da classe de consequências CC3.

7.3 Classe de Inspeção

De acordo com a Tabela G.1 do Anexo G, da norma NP EN 13670 - 1, as estruturas de betão do projeto são classificadas como Classe de Inspeção 3.

7.4 Classe de Fiabilidade

A Classe de Fiabilidade é definida de acordo com o anexo nacional da NP EN 1990. Tendo em conta que o trabalho final é da classe de consequência CC3, de acordo com a cláusula B.3.2 do Anexo B, a classe de fiabilidade RC3 é atribuída ao projeto.

7.5 Classificação do Tipo de Solo

Relativamente ao tipo de solo, a EC8 recomenda a seguinte classificação.

Tabela 5 – Tipos de Solo por EC8

Tipo de solo	Descrição
A	Rocha ou outra formação geológica semelhante à rocha, incluindo, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície.
B	Depósitos de areia muito densa, cascalho ou argila muito rígida, com pelo menos várias dezenas de metros de espessura, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade.
C	Depósitos profundos de areia densa ou medianamente densa, cascalho ou argila rígida com espessura de várias dezenas a muitas centenas de metros.
D	Depósitos de solo solto a médio sem coesão (com ou sem algumas camadas coesivas moles), ou de solo coesivo predominantemente mole a firme.

Tipo de solo	Descrição
E	Perfil de solo constituído por uma camada de aluvião superficial com valores de v_s do tipo C ou D e espessura variável entre cerca de 5 m e 20 m, subjacente a material mais rígido com $V_s > 800$ m/s.
S ₁	Depósitos constituídos, ou contendo uma camada com pelo menos 10 m de espessura, de argilas moles/siltos com um elevado índice de plasticidade ($PI > 40$) e elevado teor de água.
S ₂	Depósitos de solos liquefactíveis, de argilas sensíveis ou de qualquer outro perfil de solo não incluído nos tipos A – E ou S ₁ .

Assim, cada tipo de solo é definido de forma mais rigorosa e a sua classificação pode ser baseada na velocidade da onda de cisalhamento, $V_{s,30}$, ou / e na contagem de golpes do Standard Penetration Test, N_{SPT} , ou / e na resistência ao cisalhamento não drenada, c_u , conforme apresentado na tabela abaixo.

Tabela 6 – Tipos de Solo por Parâmetros de Solo

Tipo de solo	Parâmetros		
	$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (sopros/30cm)	c_u (kPa)
A	> 800	–	–
B	360 – 800	> 50	> 250
C	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	< 180	< 15	< 70

Com base no que precede, e tendo em conta que a espessura do material mais fraco é superior a 5 m, o solo é classificado como sendo do tipo B.

7.6 Estanquidade das Estruturas Subterrâneas

7.6.1 Estações Subterrâneas

Os critérios de desempenho de fugas em estações subterrâneas correspondem à classe 2 das Especificações para a construção de túneis (BTS, 2010), complementadas pelas recomendações da STUVA (Studiengesellschaft für TUNnel und VerkehrsAnlagen – Research Association for Tunnels and Traffic Facilities) (Haack, 1991(2)) para a mesma classe.

O sistema de impermeabilização garante que a superfície interior permanece essencialmente seca, permitindo apenas manchas ocasionais de humidade e pequenos pontos de humidade isolados. O contacto manual seco com o remendo não deve detetar água à superfície. De igual modo, um papel colocado sobre o remendo não deve ficar descolorido devido à absorção de água.

Este requisito limita o afluxo médio (espacial) diário de água a 0,1 litros/m² em secções com um comprimento de referência de 10 m e a 0,05 litros/m² em secções com um comprimento de referência de 100m. Para a aplicação do primeiro limite, as secções de 10 m devem ser periódicas.

A fim de limitar os defeitos do sistema de impermeabilização e os trabalhos de reparação, será efetuada uma compartimentação transversal e, se necessário, longitudinal do sistema de impermeabilização. A área máxima de cada compartimento será de 360m². A compartimentação transversal será efetuada através da solidarização de perfis flexíveis extrudidos à membrana de impermeabilização ao longo do perímetro dos túneis. Para a eventual compartimentação longitudinal, em troços localizados, os perfis serão colocados segundo o eixo da galeria num

alinhamento superior (abóbada) e em alinhamentos inferiores (juntas de betão no início dos varões). No poço principal, serão também aplicados os princípios acima enunciados relativamente à compartimentação do sistema de impermeabilização com as necessárias adaptações.

7.6.2 Requisitos Legais de Proteção das Águas Subterrâneas

Como regra geral, a Lei de Proteção da Água exige que os níveis de água subsuperficiais sejam mantidos e que as águas subterrâneas não sejam contaminadas; uma consequência direta do cumprimento dos requisitos acima mencionados é que o rebaixamento permanente do lençol freático não é permitido sempre que possível.

Assim, qualquer desvio de águas subterrâneas deve ser limitado ao período de construção e os volumes desviados devem ser limitados, a fim de garantir a recuperação total do nível inicial das águas subterrâneas.

8 METODOLOGIA DE ESCAVAÇÃO E CONSTRUÇÃO

A conceção do poço e dos túneis da estação baseia-se nos seguintes princípios principais de conceção e construção:

- escavação mecânica da secção transversal em várias fases,
- apoio direto da secção de escavação com revestimento de betão projetado e implementação de medidas de apoio iniciais,
- aplicação de sistema de impermeabilização constituído por membrana e geotêxtil e
- construção final do revestimento de betão armado.

A construção do poço e dos túneis da estação e a conceção das medidas de apoio iniciais estão em conformidade com os princípios do Novo Método Austríaco de Construção de Túneis (NATM), que são resumidos a seguir:

- A escavação e a construção do apoio inicial são realizadas de modo a ativar a resistência do maciço rochoso circundante, a reduzir as tensões atuantes previstas do maciço rochoso no revestimento do túnel e, ao mesmo tempo, a reduzir os requisitos do apoio inicial. A ativação da resistência do maciço rochoso é realizada através de deformações / convergências controladas da secção transversal, não sendo permitida a rutura do maciço rochoso e o subsequente desenvolvimento de deformações excessivas da secção transversal.
- Em geral, as medidas de apoio inicial do método NATM incluem secções transversais normalizadas de escavação e apoio direto que são aplicadas a condições técnico-geológicas, hidrológicas e de carga específicas.
- Para reduzir a secção transversal da escavação e evitar a rutura do maciço rochoso, para melhorar a estabilidade da face, da abóbada e das paredes laterais do túnel, bem como para evitar o desenvolvimento de deformações significativas, a escavação da secção transversal é realizada em mais do que uma fase.
- Imediatamente após a escavação de cada fase, são aplicadas as medidas de apoio inicial (betão projetado, tirantes, etc.) para reforçar o maciço rochoso e a sua capacidade autoportante. Se necessário, deve ser construído um “invert” com betão projetado para aumentar a rigidez e a capacidade de carga das medidas de apoio iniciais e reduzir as convergências.
- Nas zonas em que se possam desenvolver possíveis instabilidades na face do túnel, a estabilidade da face deve ser melhorada através da aplicação de medidas adequadas, como a escavação inclinada da face, a formação de núcleos na face, a instalação de pregagens de fibra de vidro e a aplicação de elementos de reforço da cobertura, como enfilagens.
- Uma parte integrante da metodologia de escavação de túneis NATM é o registo de medições e observações geotécnicas adequadas durante a fase de construção, com o objetivo de monitorizar o comportamento da escavação subterrânea, o mapeamento da rocha circundante, bem como a monitorização dos movimentos do solo à superfície do terreno em locais de relativa sensibilidade.
- Podem ser aplicadas medidas de apoio iniciais adicionais para condições de campo de tensão específicas e de acordo com as medições do programa de monitorização geotécnica. A eficácia das medidas de apoio iniciais deve ser continuamente verificada e confirmada durante a construção e, se necessário, as medidas de apoio serão ajustadas.
- Após a conclusão da perfuração da totalidade ou de uma parte significativa do túnel, a construção do revestimento final está prevista para suportar parte ou a totalidade das cargas que foram suportadas pelas medidas de apoio iniciais, bem como as cargas que podem ser desenvolvidas durante a vida útil do projeto.

Note-se que todos os materiais de construção, equipamento, materiais de escavação, engenheiros, trabalhadores, etc., se deslocarão através do poço vertical, tornando o poço o elemento mais importante para o progresso contínuo em condições de trabalho seguras das obras de construção. De acordo com os dados geotécnicos disponíveis e o núcleo recuperado do furo SC14, que está mais próximo (a 20m) do poço, aproximadamente nos 10m superiores da superfície do solo, prevêem-se formações semelhantes a solo, consistindo em argila silto-arenosa rígida e areias siltosas.

Tendo em conta a importância de garantir condições de trabalho seguras através do poço, bem como o facto de o poço ser a única saída/entrada de emergência para o pessoal de trabalho, mesmo os mais pequenos movimentos ou micro-deformações do solo podem ser desastrosos para a progressão dos trabalhos de construção, para a segurança do pessoal de trabalho e para a programação global do projeto.

Tendo em conta o exposto, o pré-reforço do terreno a escavar é conseguido através de uma metodologia semelhante à adotada para o Poço de Ventilação PV 211, através de paredes de estacas secantes. Uma vez que a parede de estacas secantes terá uma forma circular, a parede será submetida a uma carga de arco e a sua profundidade de cravação será mínima nas formações rochosas subjacentes.

Além disso, e uma vez que o diâmetro do poço é inferior à largura do túnel, está inicialmente prevista a construção de alargamentos do túnel lateral preenchidos com betão. Estes alargamentos do túnel lateral atuarão como pilares e colunas de reforço do poço e dos túneis de acesso adjacentes e permitirão a transmissão segura de cargas e a escavação segura do túnel da estação. A solução técnica acima referida para a escavação e o apoio inicial da ligação entre o poço e o túnel principal será revista e modificada, se necessário, durante a fase de projeto de pormenor.

A sequência de construção é resumida da seguinte forma:

- A. Escavação do poço.
 - B. Escavação de túneis de alargamento lateral.
 - C. Escavação do túnel da plataforma da estação.
 - D. Escavação do túnel transversal (Túnel 2).
 - E. Escavação do túnel de acesso leste (túnel de acesso 1).
 - F. Escavação da mina a céu aberto leste (mina a céu aberto 1).
 - G. Escavação do túnel de acesso oeste (túnel de acesso 2).
 - H. Escavação da mina a céu aberto oeste (mina a céu aberto 2).
- Execução dos trabalhos de betonagem do revestimento final.

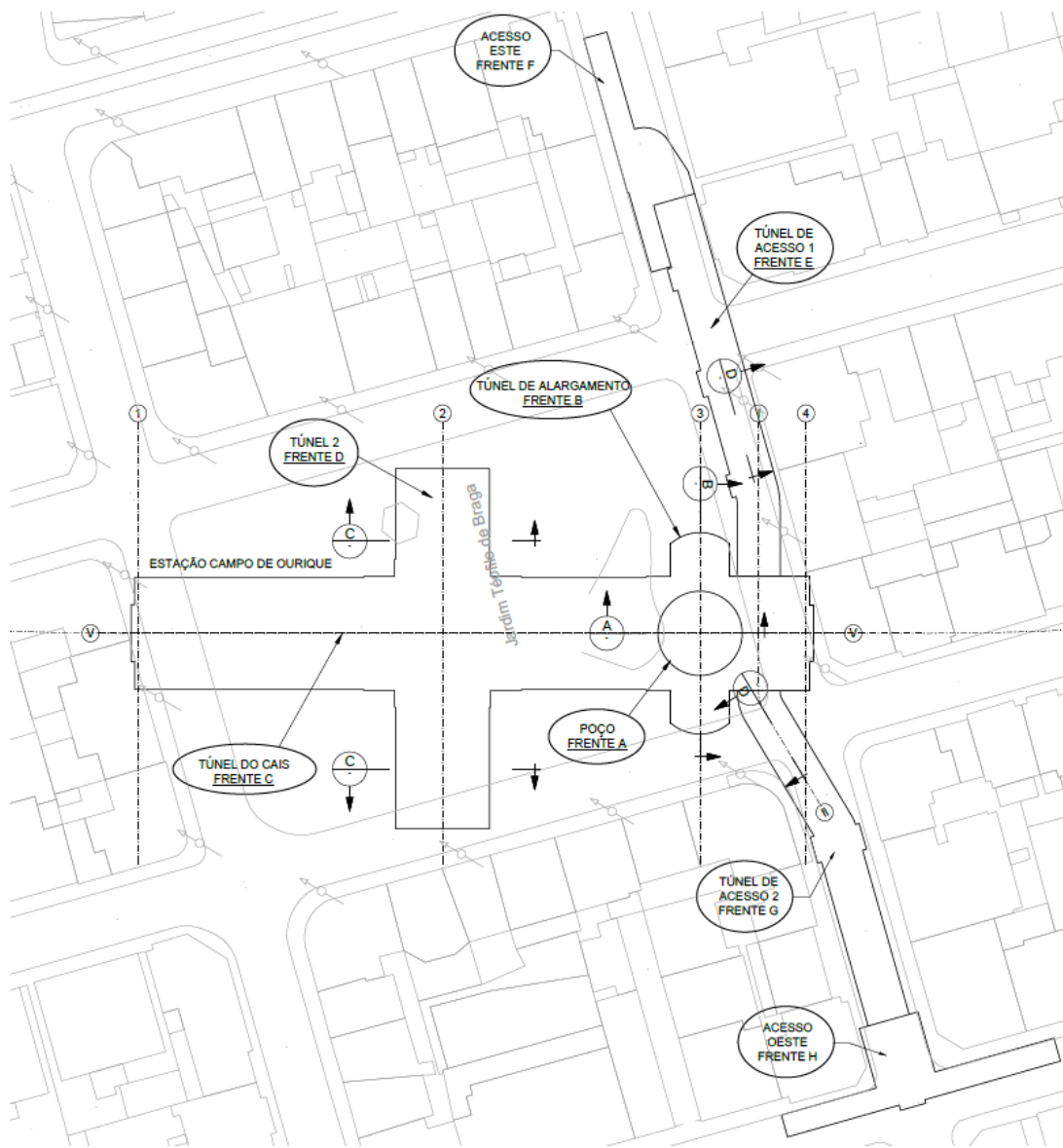


Figura 3 - Frentes de Obra da Estação de Campo de Ourique

9 CLASSES DE ESCAVAÇÃO E APOIO INICIAL

9.1 Poço

Na atual fase de Anteprojeto, para o suporte dos 11-12m superiores do terreno, que constitui principalmente formações do tipo solo, está previsto uma parede de estacas secantes circulares. A parede de estacas será composta por estacas duras reforçadas com 11m de comprimento e por estacas moles não reforçadas com Ø600mm de diâmetro, instaladas a cada 500mm. As estacas duras serão de betão C30/37 e as estacas moles serão de betão C12/15. No topo das estacas será construído um remate de estacas de betão armado C30/37 e de dimensões 0,80m x 0,80m. Para garantir a estabilidade da parede de estacas secantes durante a escavação abaixo das bases das estacas, será construída uma viga circular de betão armado C30/37 e de dimensões 0,35m x 1,00m. Entre os extrados do revestimento final do poço, de 40cm de espessura, está previsto um espaço de 15cm para tolerâncias de construção e movimentos da parede. Este espaço será preenchido com betão projetado para formar uma superfície de regularização para a aplicação da membrana de impermeabilização antes da construção do revestimento final do poço.

Abaixo da parede de estacas, para o apoio e a escavação do poço, estão previstas as seguintes medidas de apoio inicial:

- está previsto um betão projetado de 20 cm (15 cm com fibras) com duas camadas de malha #Ø10/150,
- cavilhas de rocha totalmente betumadas, Ø25 de capacidade de suporte 200kN, de comprimento 3.00m, em grelha escalonada 2.00m (perímetro) por comprimento redondo,
- furos de drenagem com 4,00m de comprimento, a instalar por 2 comprimentos redondos, se necessário.

Prevê-se que o comprimento redondo da escavação seja da ordem dos 2,0 - 2,5m. Entre os extrados do revestimento final do poço, de 40cm de espessura, está previsto um espaço de 5cm para tolerâncias de construção e movimentos da parede.

Na zona da junção do poço com o túnel da estação, está previsto um aumento da espessura do betão projetado de 40 cm (35 cm com fibras), com duas camadas de malha #Ø10/150. Na zona da junção, a espessura do revestimento final deve ser aumentada para 80 cm.

Nas figuras seguintes são apresentadas as secções de escavação e de apoio inicial do poço.

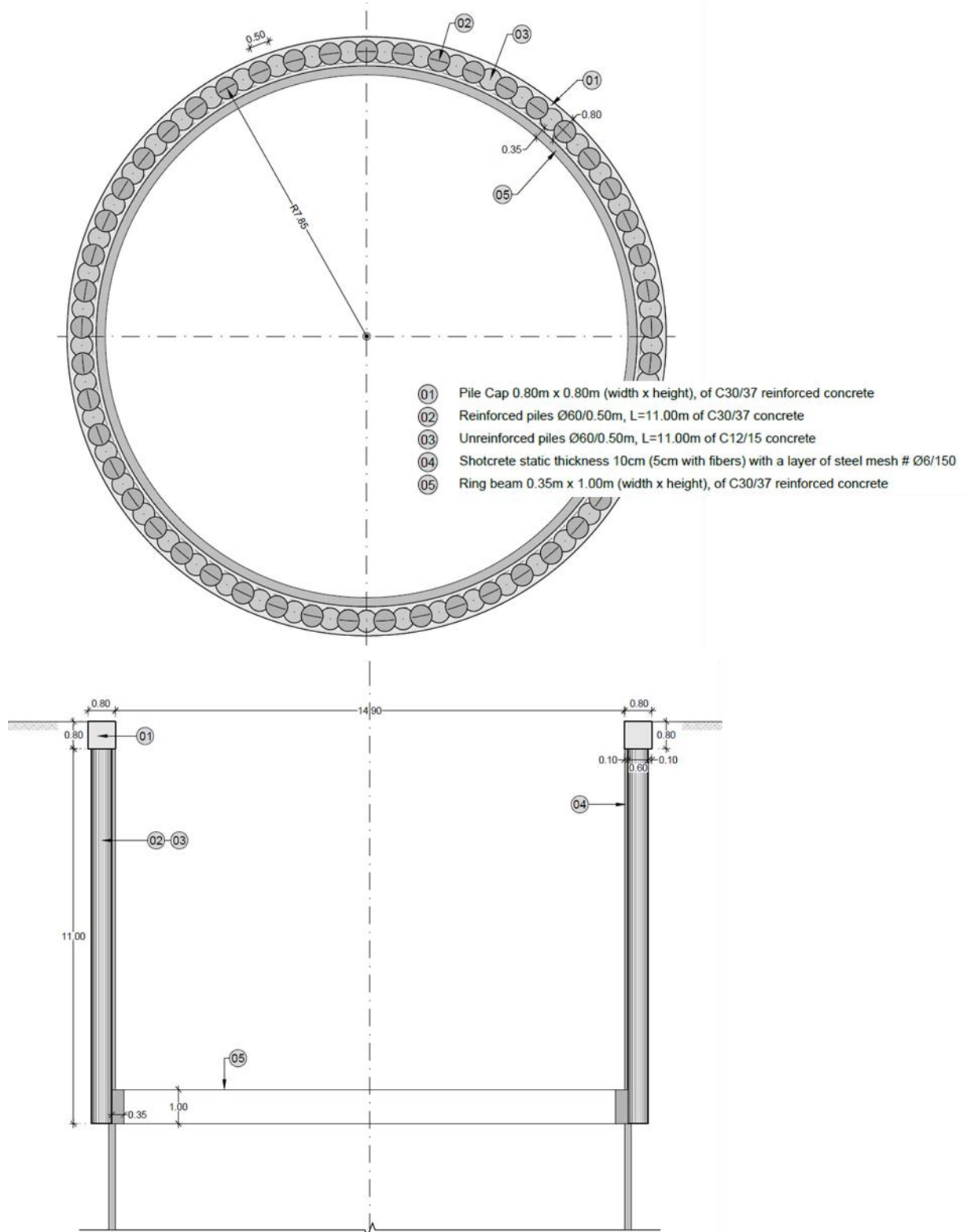


Figura 4 - Parede Secante da Estaca do Veio

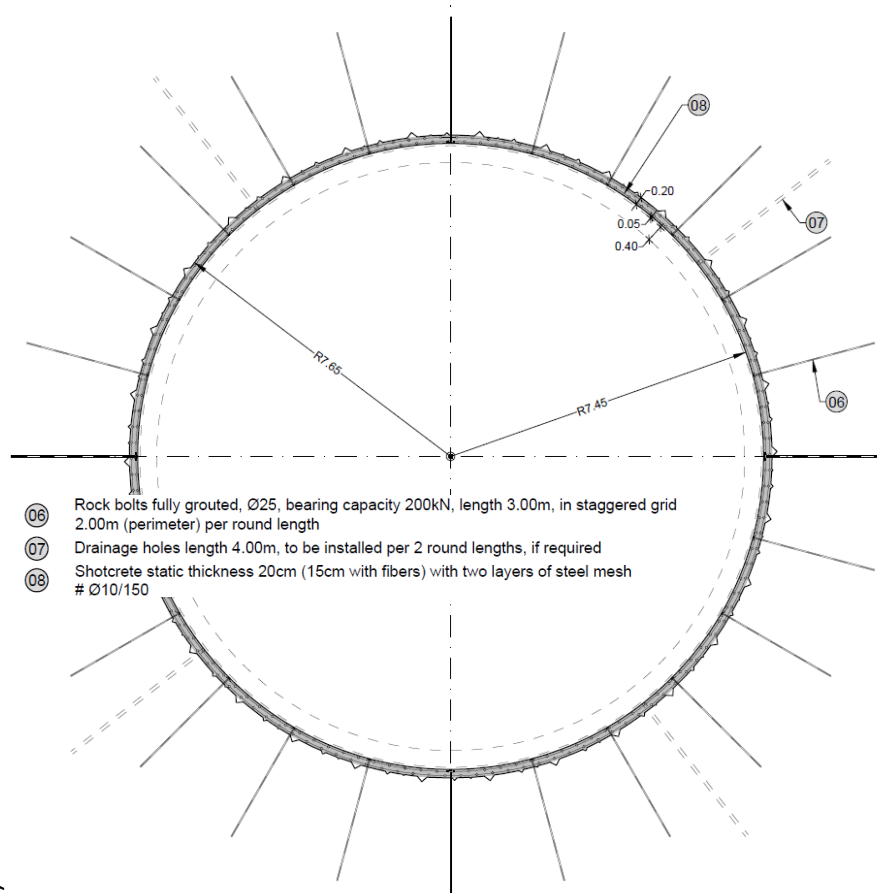


Figura 5 - Escavação e Suporte Inicial do Poço

9.2 Túneis

Na atual fase de Anteprojeto, foram desenvolvidas cinco (5) classes de escavação e de apoio. Especificamente:

- duas (2) classes de escavação e suporte para o túnel da estação,
- uma (1) classe de escavação e suporte para o túnel transversal 2,
- uma (1) classe de escavação e apoio para o túnel de alargamento e
- uma (1) classe de escavação e suporte para o túnel de acesso.

No caso do túnel da estação, a classe B de escavação e apoio "mais pesada" deve ser aplicada na zona da junção do túnel da estação com o poço e com os túneis de acesso. A classe de apoio B também deve ser aplicada se o calcário cristalino for encontrado fortemente desintegrado, moderado a fortemente desgastado (GSI=10-20).

Note-se que, para evitar danificar o sistema de impermeabilização, a última camada de betão projetado de 5 cm não terá fibras e, em vez disso, está prevista uma camada de rede metálica #Ø6/150. Para além disso, tendo em conta a possível existência de calcário cristalino desintegrado, as pregagens serão totalmente betumadas, pelo que o material circundante será também reforçado pela aplicação de calda de cimento. Na Tabela seguinte são resumidas as medidas de apoio iniciais para cada classe de escavação.

Tabela 7 - Medidas de Apoio Iniciais

Escavação e Medidas de Apoio	Túnel da Estação		Túnel 2 (Transversal)	Alargamento	Acesso
	Classe A	Classe B			
Tipo de revestimento final	Fechado		Fechado	Nenhum	Fechado
Espessura do revestimento final, abóbada / invertida (cm)	50 / 70		50 / 70	-	25 / 25
Convergências e tolerâncias de construção (cm)	10		10	-	5
Calote Superior					
Comprimento redondo (m)	1.25 - 1.75	1.00 - 1.50	1.00 - 1.50	1.00 - 1.50	2.00
Betão projetado com fibras, últimos 5 cm sem fibras (cm)	30	35	30	35	25 e 15 no inverso
Inversão temporária	25cm + 2 malhas de arame #Ø6/150	30cm + 2 malhas de arame #Ø6/150	25cm + 2 malhas de arame #Ø6/150	20cm + 1 malha de arame #Ø6/150	-
Pata de elefante	1.00		1.00	0.68	0.50
Pregagens	Ø25, 200kN, L=6m / 2,0m			Ø25, 200kN, L=3m / 2,0m	
Malha de arame	1 x #Ø6/150			1 x #Ø6/150	1 x #Ø6/150
Conjunto de aço	P115/30/36			P95/20/30	P95/20/30
Par de Pregagens	Ø25, 200kN, L=6m			-	-
Furos de Drenagem do Perímetro	4 para, Ø3", de 6 m de comprimento, se necessário			2 furos, Ø3", de 4 m de comprimento, se necessário	4 furos, Ø3", de 4 m de comprimento, se necessário

Escavação e Medidas de Apoio	Túnel da Estação		Túnel 2 (Transversal)	Alargamento	Acesso
	Classe A	Classe B			
Pregagens de face	38 pregagens de fibra de vidro de 250kN, 12m de comprimento a cada 8m, se necessário		30 pregagens de fibra de vidro de 250kN, 12m de comprimento a cada 8m, se necessário	19 Pregagens de fibra de vidro de 250kN, 12m de comprimento a cada 8m	12 pregagens de fibra de vidro de 250kN, 12m de comprimento a cada 8m
Elementos de Reforço da Cobertura	46 enfilagens Ø76/8 L=6,0m / 2,0m de sobreposição a 0,35m de distância, se necessário	54 enfilagens Ø76/8 L=6,0m / 2,0m de sobreposição a 0,30m de distância, se necessário	40 enfilagens Ø76/8 L=6,0m / 2,0m de sobreposição a 0,35m de distância, se necessário	37 enfilagens Ø76/8 L=6,0m / 2,0m de sobreposição a 0,30m de distância, se necessário	37 enfilagens Ø76/8 L=6,0m / 2,0m de sobreposição a 0,30m de distância, se necessário
Bancada e "Invert"					
Comprimento Redondo (m)	2.50 - 3.50	2.00 - 3.00	2.00 - 3.00	2.00 - 3.00	
Betão Projetado com Fibras, últimos 5 cm sem Fibras (cm)	30	35	30	35	
"Invert" Final	25cm + 2 malhas de arame #Ø6/150	30cm + 2 malhas de arame #Ø6/150	25cm + 2 malhas de arame #Ø6/150	20cm + 1 malha de arame #Ø6/150	
Pregagens	Ø25, 200kN, L=6m / 2,0m			Ø25, 200kN, L=3m / 2,0m	
Malha de Arame	1 x #Ø6/150			1 x #Ø6/150	
Conjunto de Aço	P115/30/36			P95/20/30	
Par de Pregagens	-	-	-	-	

Nas figuras seguintes são apresentadas as classes de escavação e de suporte dos vários túneis.

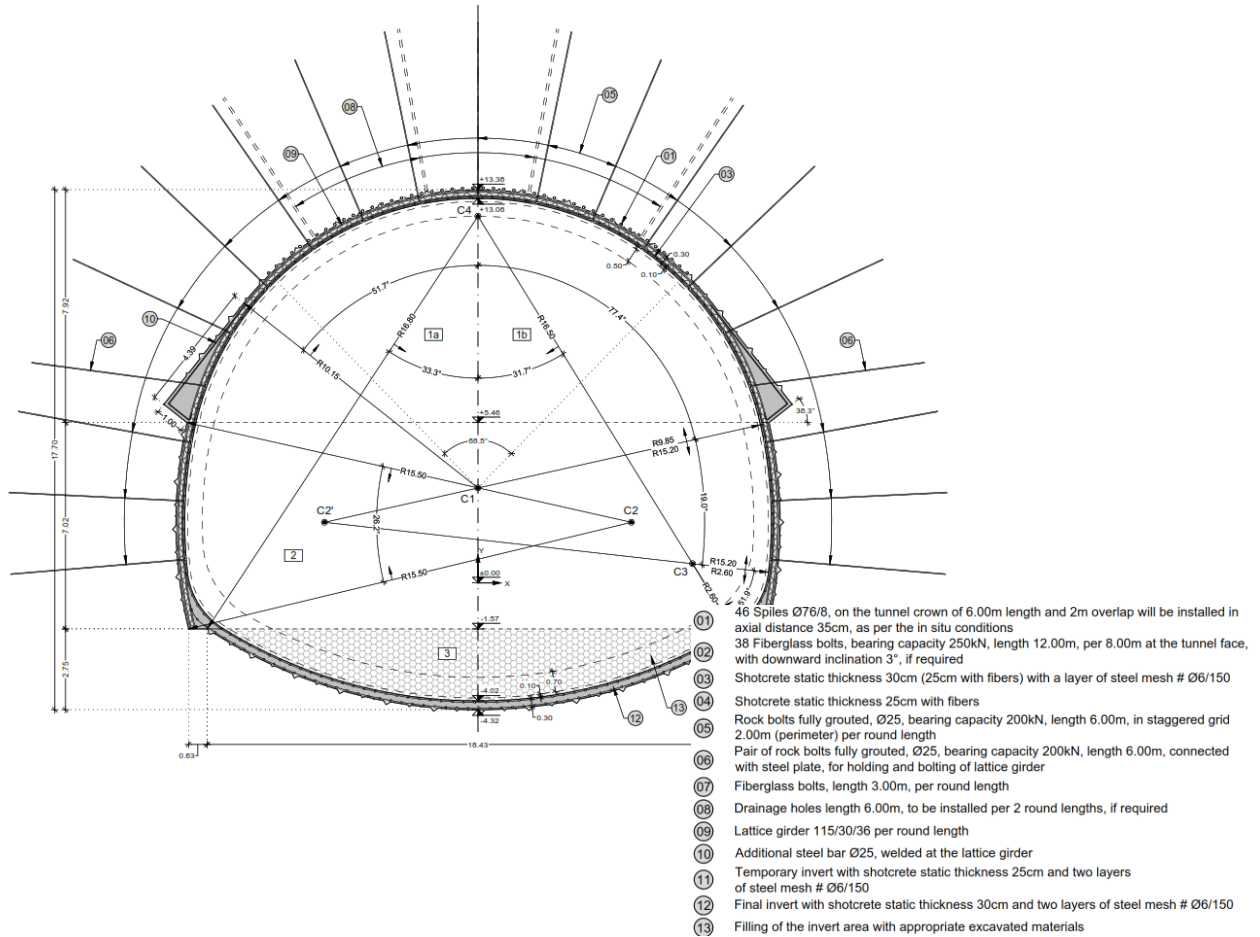


Figura 6 - Escavação e Apoio Inicial do Túnel da Estação (Classe A)

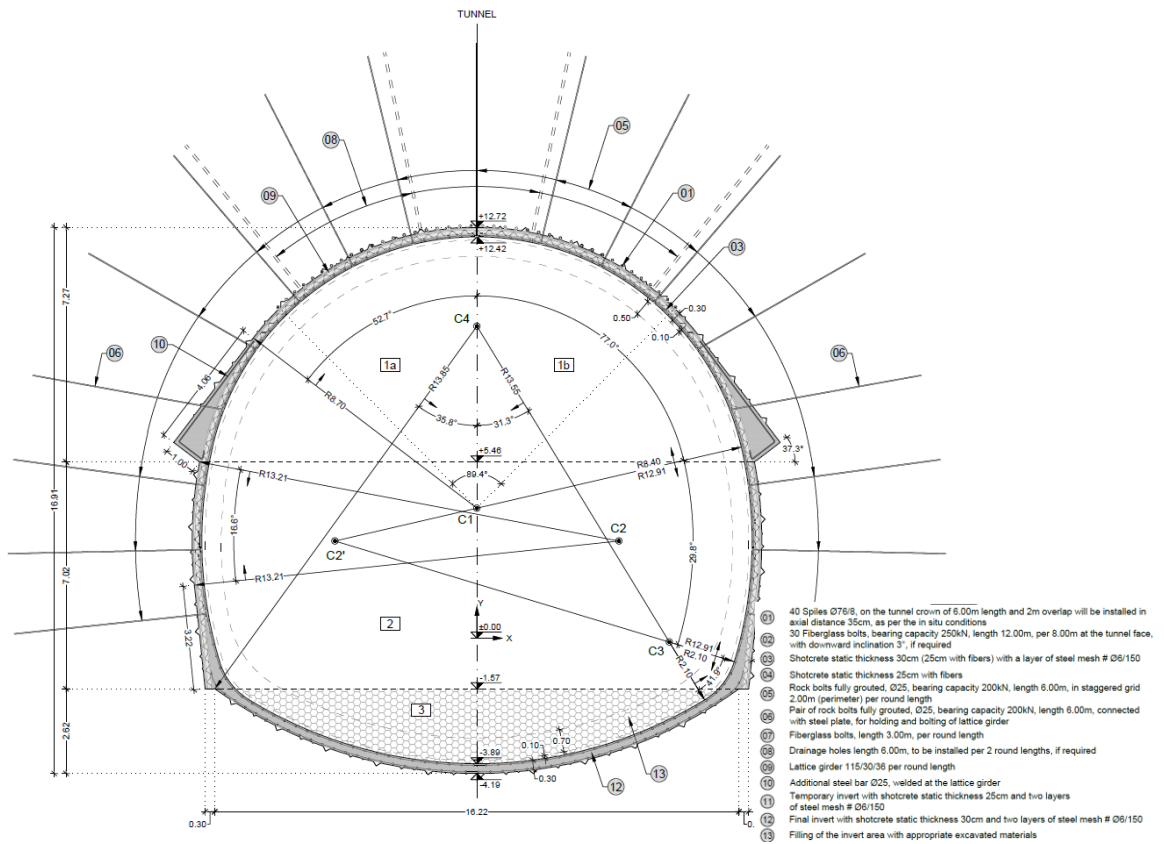


Figura 7 - Escavação e Apoio Inicial do Túnel Transversal 2

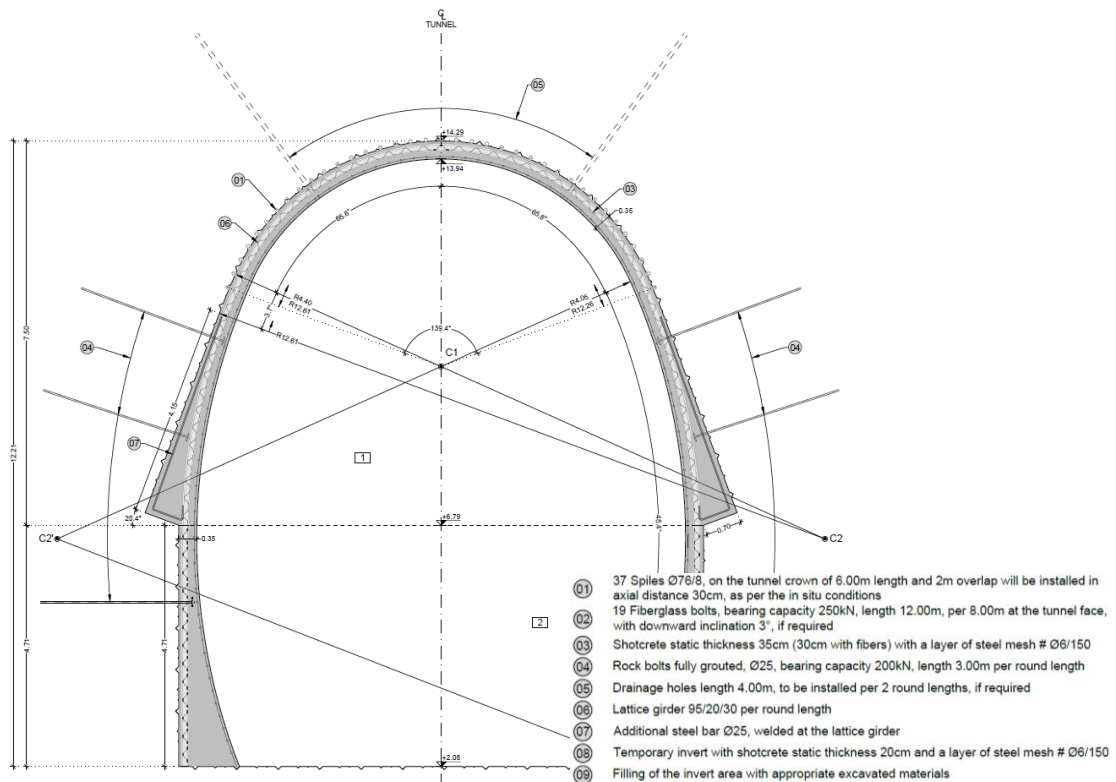


Figura 8 - Escavação e Suporte Inicial do Túnel de Alargamento

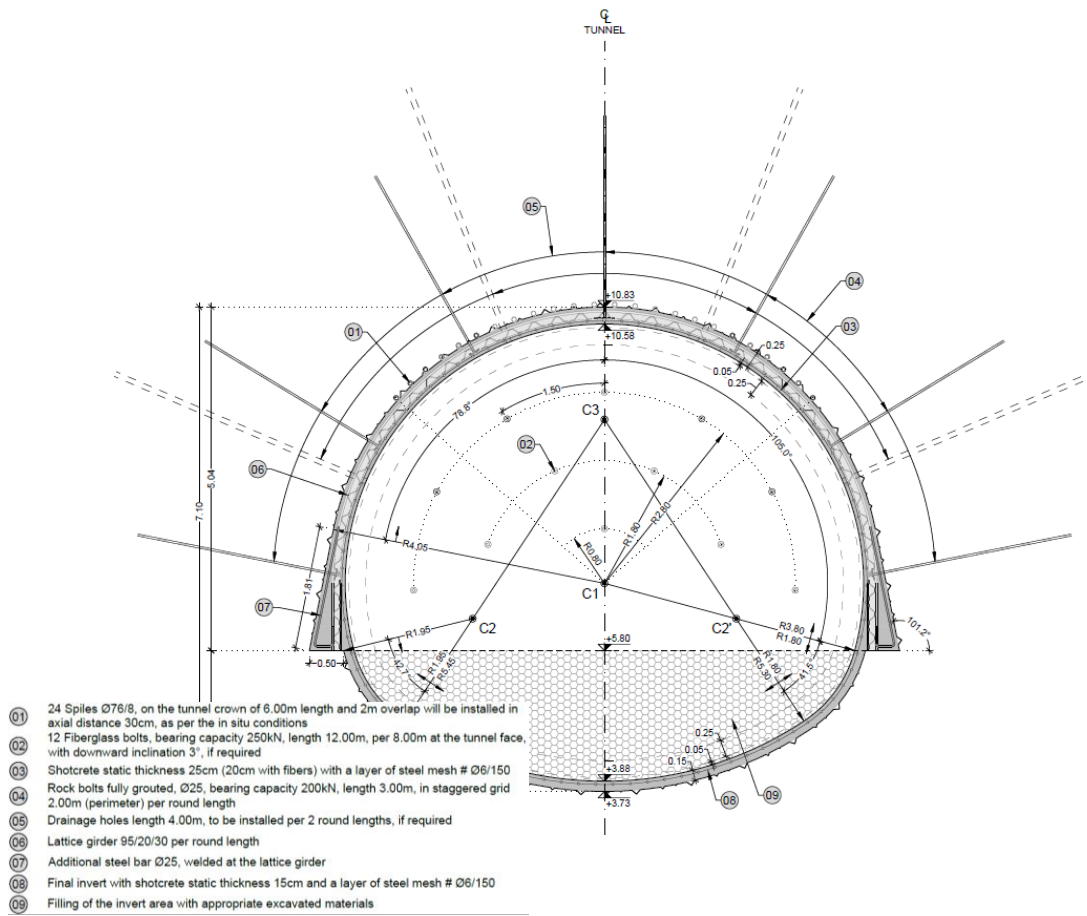


Figura 9 – Escavação e Apoio Inicial do Túnel de Acesso

10 FASES DE CONSTRUÇÃO

A escavação e a instalação dos apoios iniciais necessários à execução da obra da Estação de Campo de Ourique serão efetuadas de acordo com as seguintes fases de construção.

1. Poço

- 1.1 Transporte e montagem do estaleiro num local adequado para o início dos trabalhos.
- 1.2 Instalação e colocação em zero dos dispositivos de controlo.
- 1.3 Escavação até ao nível da construção da estaca. Construção de uma parede de estacas secantes. Em primeiro lugar, devem ser construídas as estacas macias – não reforçadas, seguidas da construção das estacas reforçadas. Betonagem da viga de coroamento da estaca.
- 1.4 Escavação do poço em avanços de 3m até à base das estacas. Aplicação paralela da camada de betão projetado na vertical e aplicação de furos de drenagem, se necessário. Construção de viga circular de betão armado na base das estacas.
- 1.5 Escavação do poço em avanços verticais de 2,0 – 2,5m.
- 1.6 Aplicação de betão projetado na face escavada do poço a cada 2,0 – 2,5m.
- 1.7 Paralelamente ao avanço da escavação, aplicação sucessiva de camadas de 5cm de betão projetado reforçado com uma camada de rede metálica a cada 2,0 – 2,5m de avanço até atingir a espessura total definida no projeto.
- 1.8 Paralelamente ao avanço da escavação e à aplicação de betão projetado, reforço do terreno com ancoragens seladas com calda de cimento e instalação de furos de drenagem.
- 1.9 Instalação e colocação em zero dos dispositivos de instrumentação, se for caso disso.
- 1.10 Repetir os passos 1.5 a 1.9 até ao nível de trabalho 1 (nível 67.13, ataque no topo do túnel de alargamento).
- 1.11 Após a execução do topo do túnel de alargamento, repetição dos passos 1.5 a 1.9 até ao nível de trabalho 2 (+63,38m).

2. Túneis de Alargamento

- 2.1 Instalação e colocação em zero dos dispositivos de controlo.
- 2.2 No interior do poço à cota do nível de trabalho 1 (+67,13m), instalação de enfilagens no coroamento do túnel de alargamento.
- 2.3 Colocação de pernos de face de rocha e furos de drenagem a cada 8m de avanço da escavação, de modo a garantir uma sobreposição mínima de 4m para os pernos de face de rocha e de 1m para os geodrenos;
- 2.4 Demolição da casca de betão armado do poço na zona do túnel de alargamento.
- 2.5 Escavação do topo do túnel de alargamento com avanços de 1,0 – 1,5m (ajustável de acordo com as condições geológicas encontradas).
- 2.6 Imediatamente após a conclusão da escavação e antes da conclusão dos restantes trabalhos, deve ser aplicada uma camada de 5cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas na superfície exposta para minimizar as convergências.
- 2.7 Instalação de cambotas metálicas treliçadas a cada avanço.
- 2.8 Colocação de pregagens e furos de drenagem.
- 2.9 Aplicação sucessiva de camadas de betão projetado de 5cm a partir do apoio primário até atingir a espessura total de projeto e instalação de redes metálicas e de prismas de convergência para controlo da deformação do apoio primário, quando aplicável;
- 2.10 Instalação e colocação em zero dos dispositivos de instrumentação, se for caso disso.

- 2.11 Escavação da bancada em avanços de 2-3m com aplicação de betão projetado reforçado com fibras metálicas.
- 2.12 Execução do procedimento descrito nos pontos 2.5 a 2.11 até ao final do túnel de alargamento, incluindo a construção das cabeceiras.
- 2.13 Após a conclusão do topo do túnel de alargamento e com a base do poço na cota de trabalho 2 (+63,38 m), conclusão da bancada de acordo com o procedimento descrito nos pontos 2.4 a 2.10.
- 2.14 Enchimento com betão leve do volume restante do túnel de alargamento.

3. Frente C – Túnel da Estação

Calote Superior

- 3.1 Enchimento provisório do poço até à cota do topo.
- 3.2 Instalação de enfilagens no lado norte e no lado sul do túnel da estação.
- 3.3 Colocação de parafusos de face de rocha a cada 8m de avanço da escavação, de forma a garantir uma sobreposição mínima de 4m e furos de drenagem a cada 8m de avanço da escavação, de forma a garantir uma sobreposição mínima de 1m.
- 3.4 Demolição do poço de betão projetado e do túnel de alargamento na região do desvio lateral 1 dos túneis da estação.
- 3.5 Escavação do “side-drift” em avanços de 1,25m - 1,75m para a classe A e de 1,00m - 1,50m para a classe B (ajustável em função das condições geológico-geotécnicas encontradas).
- 3.6 Imediatamente após a conclusão da escavação e antes da conclusão dos restantes trabalhos, deve ser aplicada uma camada de 5cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas na superfície exposta para minimizar as convergências.
- 3.7 Instalação de cambotas metálicas treliçadas a cada avanço.
- 3.8 Colocação de pregagens e furos de drenagem.
- 3.9 Aplicação sucessiva de camadas de betão projetado de 5cm a partir do apoio primário até atingir a espessura total de projeto. Instalação de prismas de convergência para controlo da deformação do apoio primário, quando aplicável.
- 3.10 Repetição dos passos 3.5 a 3.9 até ao fim do túnel da estação, incluindo a construção das paredes de proteção.
- 3.11 Demolição do revestimento de betão projetado do poço e túnel de alargamento na região restante do topo.
- 3.12 Escavação do topo (deriva lateral 2) em avanços de 1,25m - 1,75m para a classe A e de 1,00m - 1,50m para a classe B (ajustável em função das condições geológico-geotécnicas encontradas).
- 3.13 Imediatamente após a conclusão da escavação e antes da conclusão dos restantes trabalhos, deverá ser aplicada uma camada de 5cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas, na superfície exposta, de forma a minimizar as convergências.
- 3.14 Instalação de cambotas metálicas treliçadas a cada avanço.
- 3.15 Colocação de pregagens e furos de drenagem.
- 3.16 Aplicação sucessiva de camadas de 5cm de betão projetado a partir do apoio primário até atingir a espessura total de projeto e instalação de prismas de convergência para monitorização da deformação do apoio primário, quando aplicável.
- 3.17 Demolição da parede entre os taludes laterais em avanços de 2m.
- 3.18 Execução do “invert” em avanços de 2m, utilizando a aplicação de betão projetado reforçado com fibras metálicas.
- 3.19 Execução do procedimento descrito nos pontos 3.12 a 3.18 até ao final dos túneis norte e sul, incluindo a construção das cabeceiras.
- 3.20 Remoção do aterro provisório até à cota de trabalho da bancada

Bancada e “Invert”

- 3.21 Demolição do revestimento de betão projetado do poço na região inferior da bancada dos túneis da estação.
- 3.22 Escavação de “side-drifts” em avanços de 2,5m – 3,5m para a classe A e de 2,0m – 3,0m para a classe B (ajustável em função das condições geológicas encontradas).
- 3.23 Imediatamente após a conclusão da escavação e antes da conclusão dos outros trabalhos, deve ser aplicada uma camada de 5cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas na superfície exposta para minimizar as convergências.
- 3.24 Instalação de cambotas metálicas treliçadas a cada avanço.
- 3.25 Colocação de pregagens e furos de drenagem.
- 3.26 Aplicação sucessiva de camadas de 5cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas até atingir a espessura total do apoio primário e instalação de prismas de convergência para monitorização da deformação do apoio primário, quando aplicável.
- 3.27 Realização do procedimento descrito nos pontos 3.22 a 3.26 até ao final dos túneis norte e sul, incluindo a construção das cabeceiras.

4. Frente D – Túnel 2

Calote Superior

- 4.1 Após a conclusão da escavação total do calote superior da estação, instalação de enfilagens nas intersecções com o túnel da estação.
- 4.2 Colocação de parafusos de face de rocha a cada 8m de avanço da escavação, de forma a garantir uma sobreposição mínima de 4m e furos de drenagem a cada 8m de avanço da escavação, de forma a garantir uma sobreposição mínima de 1m.
- 4.3 Demolição do revestimento do túnel da estação na região do desvio lateral 1 dos túneis transversais.
- 4.4 Escavação do “side-drift” 1 em avanços de 1,0-1,5m (ajustável em função das condições geológico-geotécnicas encontradas). Instalação de pregagens e furos de drenagem à face de cada 8m de avanço de escavação, de modo a garantir uma sobreposição mínima entre 4m (1m para furos de drenagem).
- 4.5 Imediatamente após a conclusão da escavação e antes da conclusão dos outros trabalhos, deve ser aplicada uma camada de 5cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas na superfície exposta para minimizar as convergências.
- 4.6 Instalação de cambotas metálicas treliçadas a cada avanço.
- 4.7 Colocação de pregagens e furos de drenagem.
- 4.8 Aplicação sucessiva de camadas de betão projetado de 5cm a partir do apoio primário até atingir a espessura total de projeto. Instalação de prismas de convergência para controlo da deformação do apoio primário, quando aplicável.
- 4.9 Repetição dos passos 4.5 a 4.8 até ao fim dos túneis, incluindo a construção das cabeceiras.
- 4.10 Demolição do revestimento de betão projetado do túnel da estação no calote superior do túnel 2.
- 4.11 Escavação do “side-drift” 1 em avanços de 1,0-1,5m (ajustáveis em função das condições geológico-geotécnicas encontradas). Instalação de pregagens e furos de drenagem à face de cada 8m de avanço de escavação, de modo a garantir uma sobreposição mínima entre 4m (1m para furos de drenagem).
- 4.12 Imediatamente após a conclusão da escavação e antes da conclusão dos restantes trabalhos, deve ser aplicada uma camada de 5cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas, na superfície exposta, para minimizar as convergências.
- 4.13 Instalação de cambotas metálicas treliçadas a cada avanço.
- 4.14 Colocação de pregagens e furos de drenagem.

- 4.15 Aplicação sucessiva de camadas de 5cm de betão projetado a partir do apoio primário até atingir a espessura total de projeto e instalação de prismas de convergência para monitorização da deformação do apoio primário, quando aplicável.
- 4.16 Demolição da parede entre os “side-drifts” em avanços de 2m.
- 4.17 Execução da pré-sole em avanços de 2m, recorrendo à aplicação de betão projetado reforçado com fibras metálicas.
- 4.18 Execução do procedimento descrito nos pontos 4.12 a 4.18 até ao final dos túneis norte e sul, incluindo a construção das cabeceiras.

Bancada e “Invert”

- 4.19 Após a conclusão de toda a bancada e do “invert” do túnel da estação, demolição do revestimento do túnel da estação na região da bancada dos túneis transversais.
- 4.20 Escavação de galerias laterais com avanços de 2,0 – 3,0m (ajustáveis em função das condições geológicas encontradas).
- 4.21 Imediatamente após a conclusão da escavação e antes da conclusão dos outros trabalhos, deve ser aplicada uma camada de 5cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas na superfície exposta para minimizar as convergências.
- 4.22 Instalação de cambotas metálicas treliçadas a cada avanço.
- 4.23 Instalação de pregagens e furos de drenagem.
- 4.24 Aplicação sucessiva de camadas de 5cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas até atingir a espessura total do apoio primário e instalação de prismas de convergência para monitorização da deformação do apoio primário, quando aplicável.
- 4.25 Realizar o procedimento descrito nos pontos 4.20 a 4.24 até ao final dos túneis norte e sul, incluindo a construção das cabeceiras.

5. Túneis de Acesso

- 5.1 Instalação de enfilagens nas intersecções com o túnel da estação.
- 5.2 Instalação de parafusos de face de rocha a cada 8m de avanço da escavação, de forma a garantir uma sobreposição mínima de 4m e furos de drenagem a cada 8m de avanço da escavação, de forma a garantir uma sobreposição mínima de 1m.
- 5.3 Demolição do revestimento do túnel da estação na zona dos túneis de acesso.
- 5.4 Escavação do calote superior em avanços de 2m (ajustáveis em função das condições geológico-geotécnicas encontradas). Instalação de pregagens e furos de drenagem à face de cada 8m de avanço de escavação, de modo a garantir uma sobreposição mínima entre 4m (1m para furos de drenagem).
- 5.5 Imediatamente após a conclusão da escavação e antes da conclusão dos outros trabalhos, deve ser aplicada uma camada de 5cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas na superfície exposta para minimizar as convergências.
- 5.6 Instalação de cambotas metálicas treliçadas a cada avanço.
- 5.7 Colocação de pregagens e furos de drenagem.
- 5.8 Aplicação sucessiva de camadas de betão projetado de 5cm a partir do apoio primário até atingir a espessura total de projeto. Instalação de prismas de convergência para controlo da deformação do suporte primário, quando aplicável.
- 5.9 Escavação do “invert” em avanços de 4m;
- 5.10 Construção do “invert” com betão projetado reforçado com fibras metálicas e uma rede metálica.
- 5.11 Execução do procedimento descrito nos pontos 5.4 a 5.10 até ao final dos túneis de acesso, incluindo a construção das cabeceiras. Instalação de pregagens e furos de drenagem à face de cada 8m de avanço da escavação, de modo a garantir uma sobreposição mínima entre 4m (1m para furos de drenagem).

11 METODOLOGIA DE PROJECTO

A escavação e o apoio inicial durante a fase de Anteprojecto são verificados:

- por análises numéricas de elementos finitos elastoplásticos bidimensionais para as várias geometrias dos túneis e classes de apoio com o software PLAXIS 2D, ou similar, e
- por análises numéricas tridimensionais de elementos finitos elastoplásticos para o poço com o software PLAXIS 3D, ou similar.

A partir das análises acima mencionadas, são inicialmente estimadas as forças e as tensões internas dos vários elementos de apoio, bem como as convergências das secções e os deslocamentos na superfície do solo.

Durante a fase de projeto de pormenor, a adequação das medidas de apoio nas zonas das ligações/junções dos vários túneis será verificada através de análises numéricas tridimensionais mais elaboradas de elementos finitos elastoplásticos. Os resultados das análises tridimensionais acima referidas serão também utilizados para a estimativa dos deslocamentos à superfície do solo. Durante a fase de projeto pormenorizado, será igualmente verificada a estabilidade da face do túnel.

O projeto geotécnico e estrutural é realizado de acordo com as normas do Eurocódigo. As combinações de cargas no Estado Limite Último devem estar de acordo com o §6.4.3.2 da NP EN 1990.

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_G \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

em que,

E_d é o valor de conceção do efeito das ações,

γ_G é o fator parcial para as ações permanentes, que também tem em conta as incertezas do modelo e as variações dimensionais,

$G_{k,j}$ é o valor característico da ação permanente j ,

$\gamma_{Q,1}$ é o fator parcial para a ação da variável principal 1,

$Q_{k,1}$ é o valor característico da ação da variável principal 1,

$\gamma_{Q,i}$ é o fator parcial para a variável de acompanhamento da ação i ,

$\psi_{0,i}$ é o fator de combinação do valor de uma ação variável e

$Q_{k,i}$ é o valor característico da variável de acompanhamento da ação i .

As combinações de cargas no estado limite de utilização devem ser as indicadas no §6.5.3 da NP EN 1990.

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

em que,

E_d é o valor de conceção do efeito das ações,

$G_{k,j}$ é o valor característico da ação permanente j ,

$\psi_{2,i}$ é o fator para o valor quase permanente de uma ação variável e

$Q_{k,i}$ é o valor característico da ação complementar variável

Na tabela seguinte, são resumidos os valores dos fatores ψ .

Tabela 8 – Valores dos Fatores da variável Ações

ψ_0	ψ_1	ψ_2
0.70	0.50	0.30

De acordo com o respetivo anexo nacional, é adotada a abordagem de projeto 1 da norma EN 1997-1 com as seguintes combinações de conjuntos de coeficientes parciais de segurança:

Combinação DA 1-1: A1 "+" M1 "+" R1

Combinação DA 1-2: A2 "+" M2 "+" R1

De acordo com o respetivo anexo nacional para a abordagem de projeto 1, são considerados os seguintes fatores de resistência parcial.

Tabela 9 – Factores Parciais

		Combinação 1	Combinação 2
Ação	Permanente Desfavorável, γ_G	1.35	1.00
	Permanente Favorável, γ_G	1.00	1.00
	Variável Desfavorável, γ_Q	1.50	1.30
	Variável Favorável, γ_Q	0.00	0.00
Parâmetros do Solo	Ângulo de atrito interno, $\tan\phi'$, $\gamma_{\phi'}$	1.00	1.25
	Coesão efectiva, c' , $\gamma_{c'}$	1.00	1.25
	Resistência ao corte não drenada, c_u , γ_{c_u}	1.00	1.40
	Densidade do peso, γ , γ_{γ}	1.00	1.00
Ancoragens Esforçadas Pré-	Temporário, $\gamma_{a,t}$ & Permanente $\gamma_{a,p}$	1.10	1.10
Estruturas de Retenção	Resistência à terra $\gamma_{R,e}$	1.00	1.00

Para o estado limite último, devem ser considerados os seguintes fatores parciais para os materiais de construção:

- Betão, $\gamma_C = 1,50$ e
- Aço, $\gamma_S = 1,15$.

Para a aplicação da Combinação de Abordagem de Projeto DA 1-1, os efeitos de ação/ação são tidos em conta, enquanto os parâmetros do solo não são tidos em conta. A Combinação de Abordagem de Projeto DA 1-2 requer que os parâmetros do solo sejam tidos em conta.

11.1 Metodologia de Análise de Elementos Finitos para Túneis e Poços

Para a simulação adequada das fases de construção e a estimativa das tensões e forças internas em desenvolvimento nos elementos de suporte iniciais (por exemplo, revestimento de betão

projetado, estacas, tirantes, etc.), das convergências, bem como da identificação de qualquer área de cedência do maciço rochoso circundante, são realizadas análises bidimensionais.

O modelo constitutivo de Mohr – Coulomb é adotado para os materiais do solo.

Nas análises elastoplásticas, são considerados os seguintes aspetos:

- As fases de construção das principais componentes da estação.
- A fase de execução das medidas de apoio.
- A força e as características das medidas de apoio.

Nas análises de elementos finitos realizadas, é adotada a combinação de abordagens de projeto DA 1–1, de modo a evitar a criação de zonas plásticas irrealistas e redistribuições de tensões, que podem resultar da utilização de parâmetros de solo reduzidos (de projeto) fatorizados, de acordo com a combinação de abordagens de projeto DA 1–2.

Quaisquer ações desfavoráveis variáveis são simuladas nas análises de elementos finitos por um fator de $1,50/1,35 = 1,10$.

O limite da grelha de elementos finitos deve estender-se a uma distância suficiente da escavação (cerca de cinco vezes o diâmetro do túnel da estação) para que as condições de fronteira não afetem os resultados das análises numéricas.

O **revestimento de betão projetado do suporte inicial** é simulado com elementos de viga nas análises de elementos finitos 2D e com elementos de casca nas análises de elementos finitos 3D. A espessura e a rigidez do revestimento de betão projetado simulado em cada fase de construção devem estar de acordo com a sequência de construção e os comprimentos das rondas. Para o betão projetado, foi considerado um módulo de elasticidade final igual a 15GPa e uma resistência à compressão característica mínima igual a 30MPa. Para o betão projetado no início, considera-se um módulo de elasticidade igual a 7,5GPa e uma resistência característica mínima à compressão do cilindro igual a 8MPa.

Note-se que os conjuntos de aço (cambotas metálicas treliçadas ou lajes) não são simulados nas análises, uma vez que não alteram significativamente as características de inércia da secção, mas são tidos em conta durante o projeto do betão projetado, se surgir a necessidade de instalação de armaduras.

As pregagens são simuladas com uma viga embutida de secção transversal e comprimento dependentes da categoria de escavação.

Prevê-se que a aplicação de **elementos de reforço da cobertura sob a forma de enfilagens** não seja sistemática. Se as enfilagens forem instaladas sistematicamente, então as enfilagens serão inicialmente simuladas nas análises.

No anteprojecto foram considerados os seguintes pressupostos/declarações:

- Foi adotada uma carga de sobrecarga uniformemente distribuída de 20kPa, ao nível do solo.
- O lençol freático é considerado conservadoramente a 40m de profundidade do nível do solo.
- Para ter em conta a redução do atrito entre o revestimento inicial dos túneis e o revestimento final dos túneis, devido ao sistema de impermeabilização, foram considerados elementos de interface com valores aumentados de rigidez normal e tangencial mínima.

11.1.1 Análise de Elementos Finitos Bidimensionais

Na Tabela seguinte são resumidos os dados das análises bidimensionais de elementos finitos efetuadas.

Tabela 10 – Dados da Análise de Elementos Finitos 2D

Análise	Túnel	Sondagem Considerada para Estratigrafia
1	Túnel da estação - Classe A	SC-18
2	Túnel da estação - Classe B	SC-14
3	Túnel 2 - Transversal	SC-14
4	Túnel de alargamento	SC-14
5	Túnel de acesso	SC-16

No que diz respeito às análises de elementos finitos 2D, a influência da terceira dimensão é indiretamente tida em conta durante a simulação das sucessivas fases de construção, através da utilização de curvas de convergência-confinamento. Para a estimativa da atenuação das tensões no solo ao longo do túnel, é aplicada a curva de convergência-confinamento proposta por Chern et al. (1998), que se baseia nas convergências registadas apresentadas na figura seguinte.

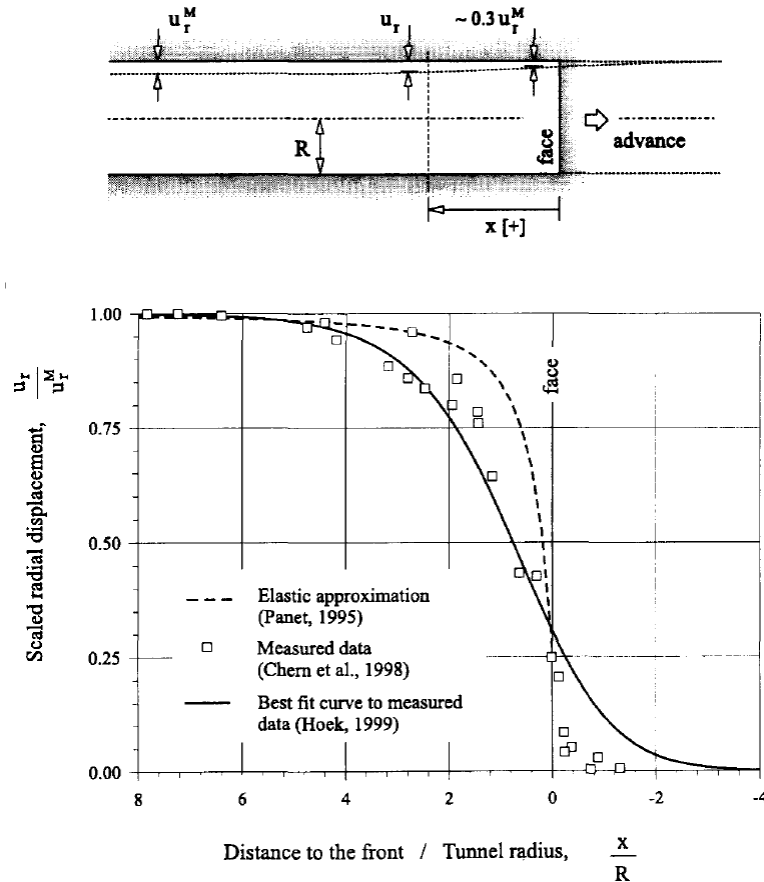


Figura 10 – Convergência - Curva de Confinamento

A curva de convergência – confinamento é descrita pela seguinte relação empírica:

$$\frac{u_r}{u_r^M} = \left[1 + \exp\left(\frac{-x/R}{1,10}\right)^{-1,7} \right]$$

Onde: u_r é a convergência radial do túnel a uma distância x da face do túnel (valores negativos correspondem a distâncias "atrás" da frente já escavada),
 u_r^M é a convergência máxima do túnel de plástico a uma distância suficiente da frente de escavação, e
 R é o raio do túnel.

O conceito básico deste método é que as tensões iniciais p_k , atuando em torno do túnel, são divididas numa parte $(1-\beta) p_k$ que é aplicada ao túnel não suportado e uma parte βp_k que é aplicada ao túnel suportado. O valor de β depende de vários fatores, como o rácio entre o túnel não suportado e o diâmetro equivalente do túnel e os parâmetros do solo, bem como a profundidade do túnel. Utilizando o software PLAXIS, o fator de fase ΣM pode ser comparado com $1 - \beta$. A representação esquemática do método acima mencionado é apresentada na figura seguinte.

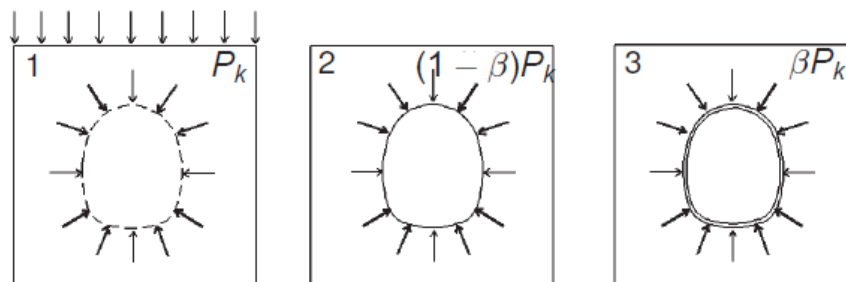


Figura 11 - Aplicação da Relaxação no PLAXIS 2D

A variação do fator de relaxação, $\lambda = 1 - \beta$, ao longo da distância da face do túnel para o túnel da estação e para os túneis de acesso é apresentada nas figuras seguintes.

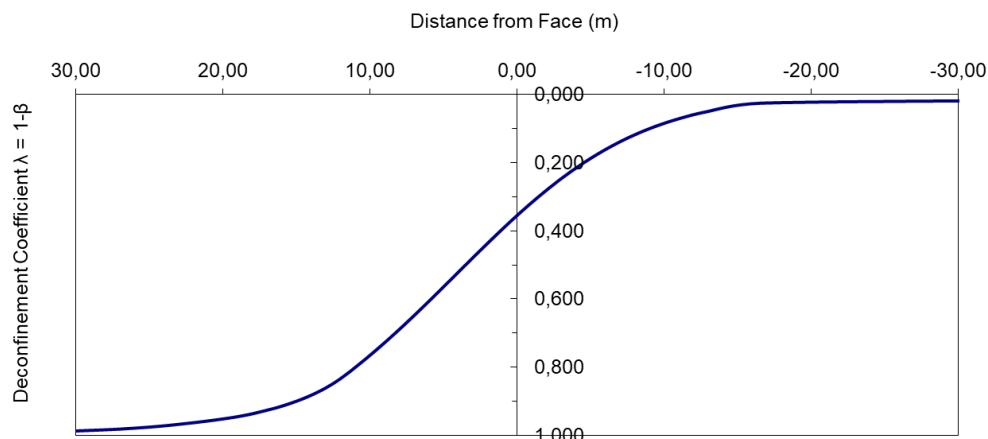


Figura 12 - Variação do Fator de Relaxação em Função da Distância à Face do Túnel para o Túnel da Estação

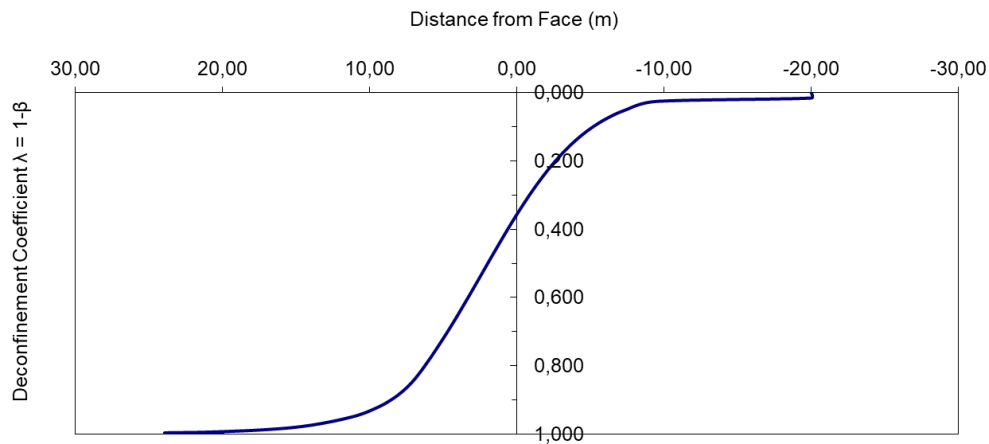


Figura 13 - Variação do Fator de Relaxação em Função da Distância à Face do Túnel para o Túnel de Acesso

Como se pode ver nas figuras acima, para o túnel da estação e para os túneis de acesso, o fator de relaxação é estimado em cerca de 30% - 40%. Assim, nas análises efetuadas na atual fase preliminar, considera-se, de forma conservadora, um fator de relaxação de 30%.

Nas figuras seguintes, são apresentados os modelos típicos de elementos finitos para os vários túneis.

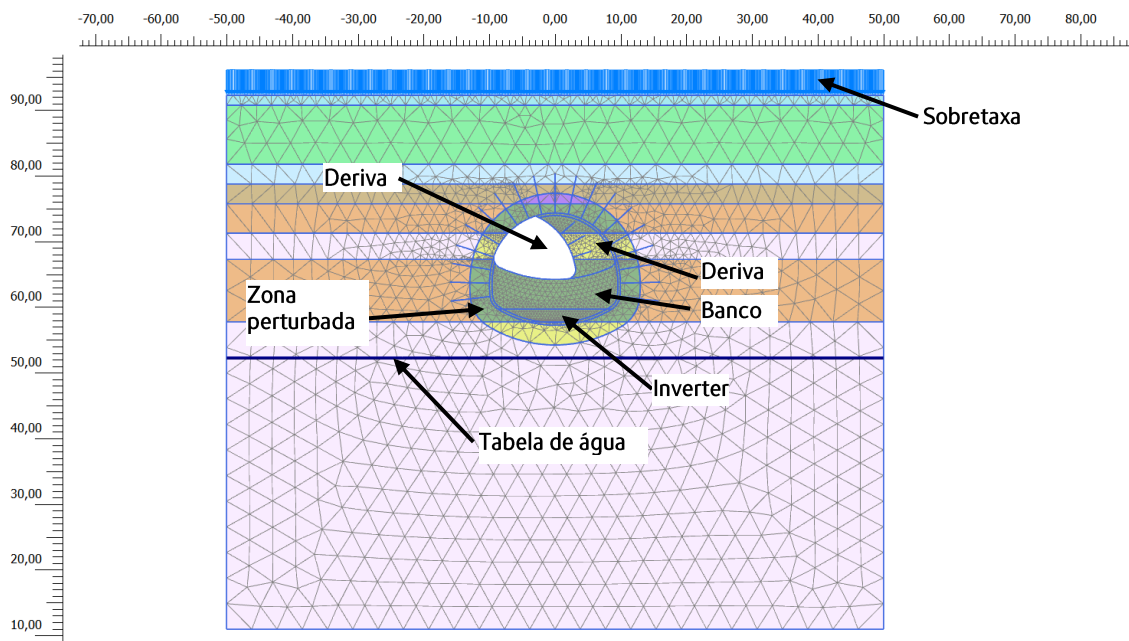


Figura 14 - Modelo de Elementos Finitos para o Túnel da Estação (classe B)

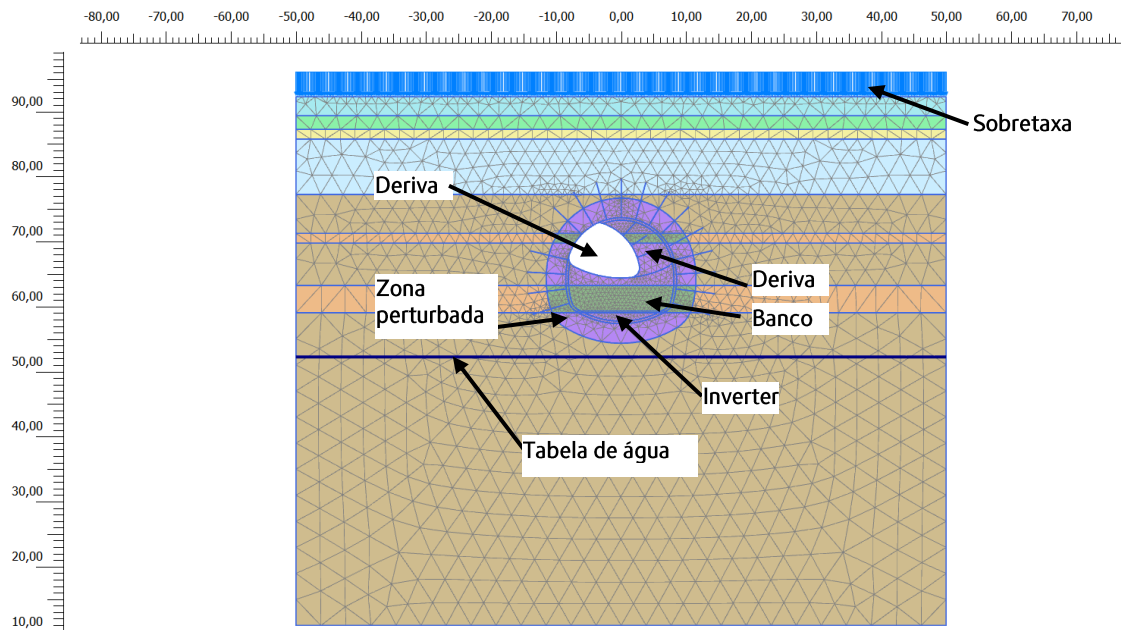


Figura 15 - Modelo de Elementos Finitos para o Túnel Transversal 2

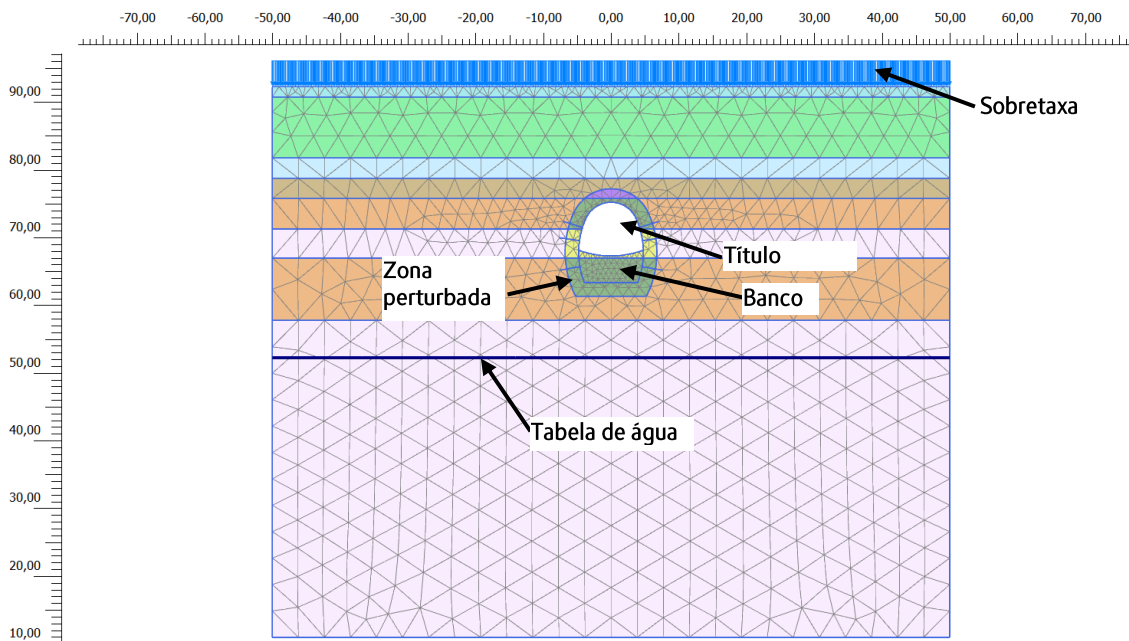


Figura 16 - Modelo de Elementos Finitos para o Túnel de Alargamento

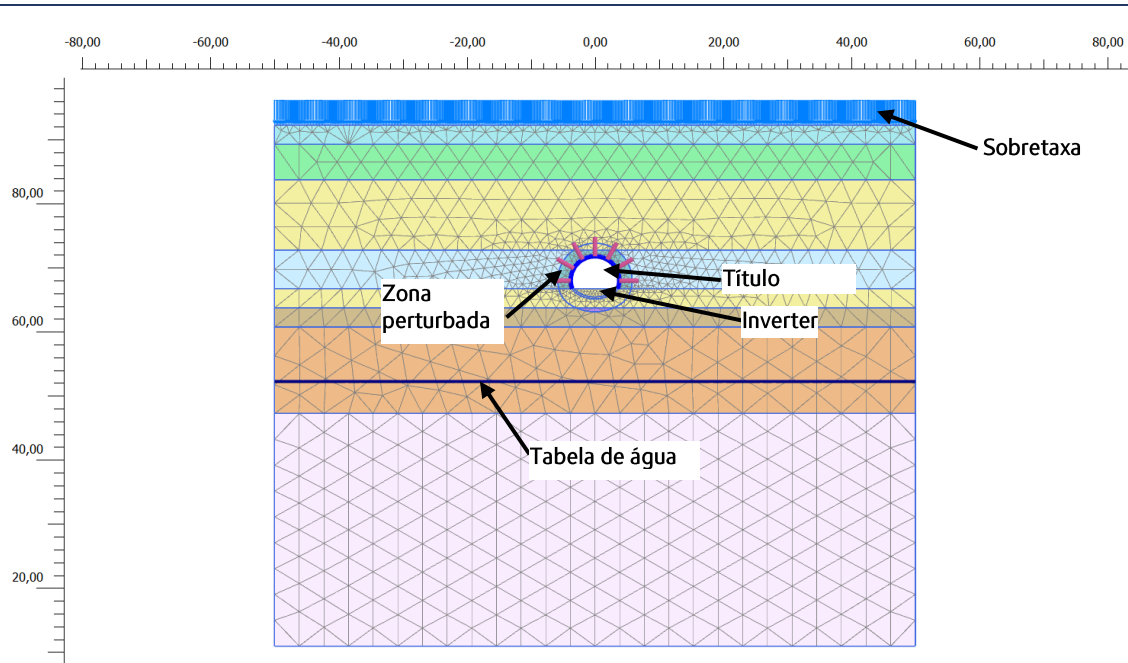
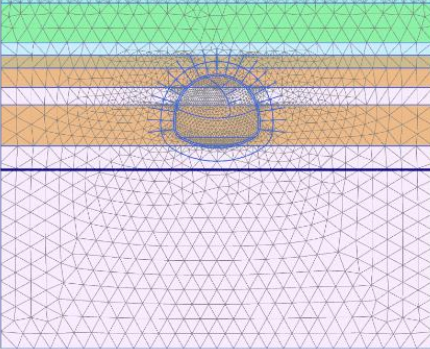
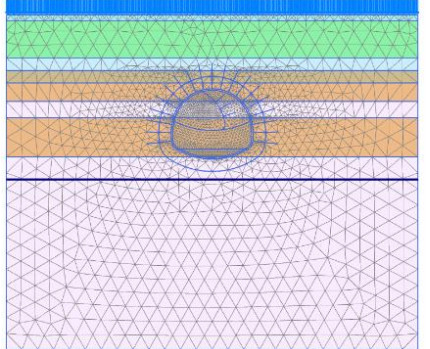
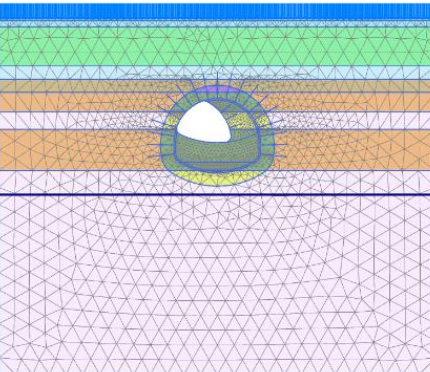
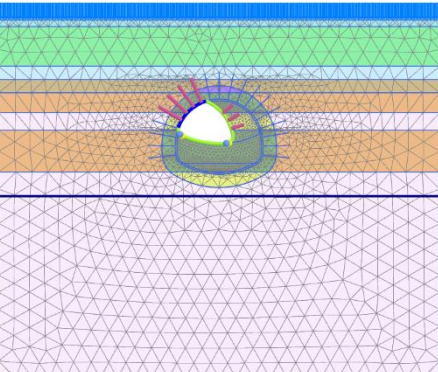
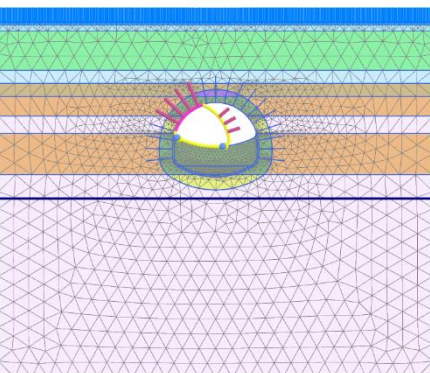
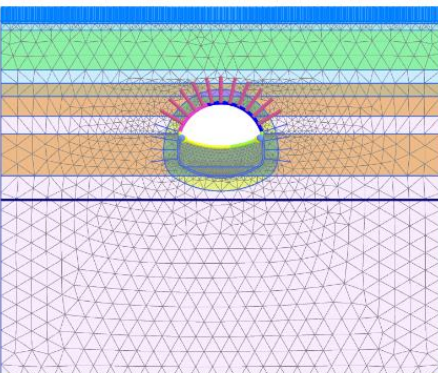


Figura 17 – Modelo de Elementos Finitos para o Túnel de Acesso

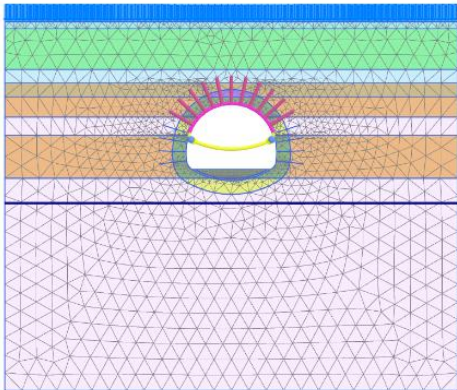
As fases de construção dos túneis NATM foram modeladas na análise de elementos finitos PLAXIS 2D da seguinte forma:

Tabela 11 – Túnel da Estação e Túnel Transversal 2: Fases de Construção Numéricas no PLAXIS 2D

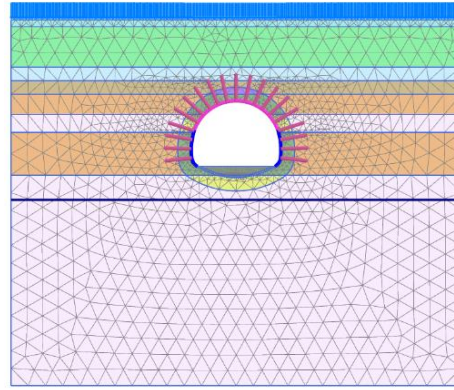
Túnel da Estação e Túnel Transversal 2	
<p>1. Fase inicial</p> 	<p>2. Impor uma carga móvel de 22kPa (20kPa fatorizado por $1,50/1,35 = 1,11$) "Reset" dos deslocamentos.</p> 
<p>3. Relaxamento do "side-drift" 1 do calote superior</p> 	<p>4. Instalação do revestimento inicial do túnel do "side-drift" 1 do topo (com propriedades de betão projetado no início) e instalação de pregagens</p> 
<p>5. Relaxamento do "side-drift" 2 do calote superior e endurecimento do betão projetado do "side-drift" 1 do calote superior</p> 	<p>6. Instalação do revestimento inicial do túnel do "side-drift" 2 do topo (com propriedades de betão projetado ni início) e instalação de pregagens</p> 

Túnel da Estação e Túnel Transversal 2

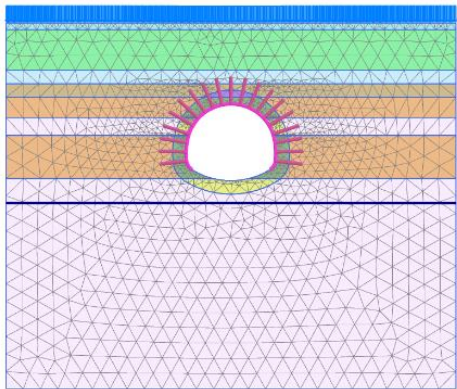
7. Relaxamento da bancada e endurecimento do betão projetado do "Side-Drift" 2 do calote superior



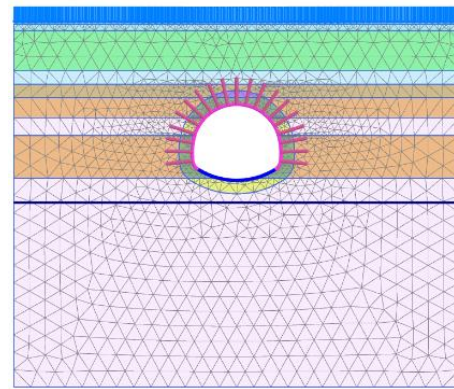
8. Instalação do revestimento inicial do túnel da bancada (com propriedades de betão projetado no início) e instalação de pregagens



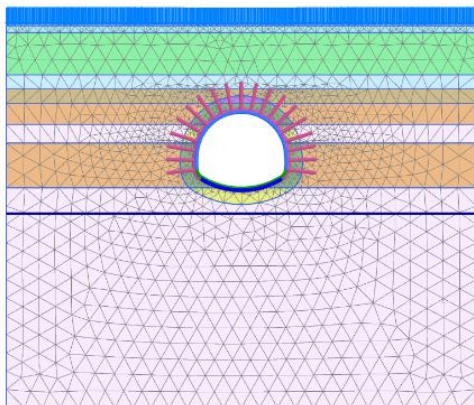
9. Relaxamento do Inverter e endurecimento do betão projetado da Bancada



10. Instalação do revestimento inicial do túnel do Inverter (com propriedades de betão projetado no início) e instalação de pregagens



11. Instalação do revestimento final e endurecimento do betão projetado do "invert"



12. Desativação do revestimento inicial do túnel e da desativação das pregagens

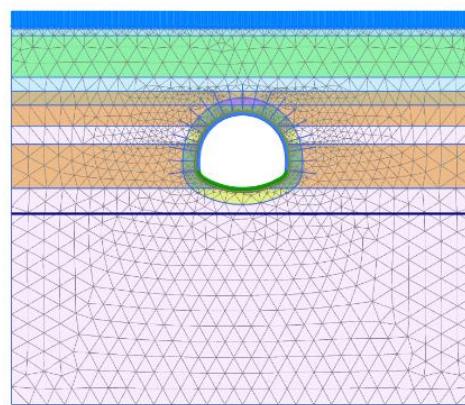
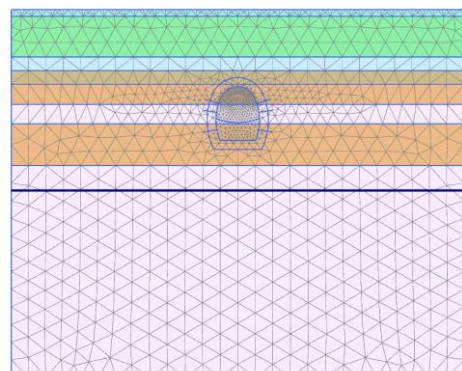
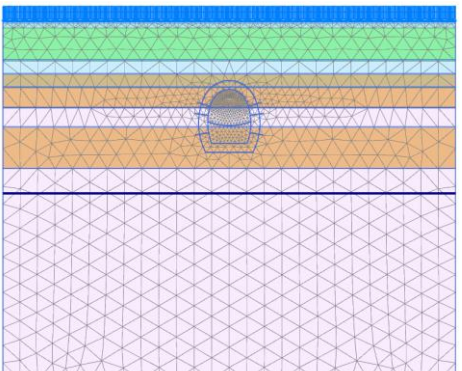
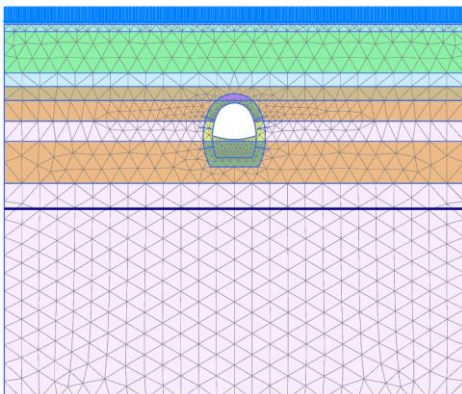
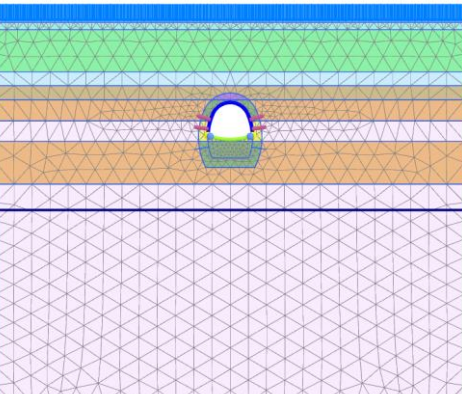
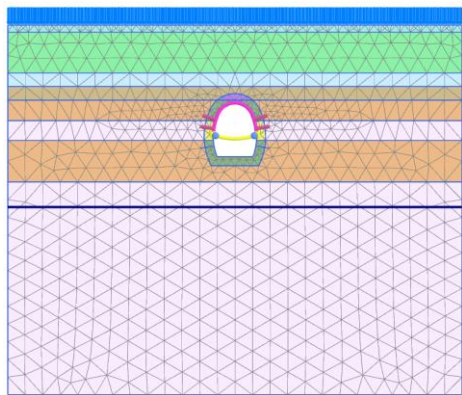


Tabela 12 – Túnel de Alargamento: Fases de Construção Numéricas no PLAXIS 2D

Túnel de alargamento	
<p>1. Fase inicial</p> 	<p>2. Impor uma carga móvel de 22kPa (20kPa fatorizado por $1,50/1,35 = 1,11$). "Reset" dos deslocamentos.</p> 
<p>3. Flexibilização do calote superior</p> 	<p>4. Instalação do revestimento inicial do túnel do calote superior (com propriedades de betão projetado no início) e instalação de pregagens</p> 
<p>5. Flexibilização da bancada e endurecimento do betão projetado do calote superior</p> 	<p>6. Instalação do revestimento inicial do túnel da bancada (com propriedades de betão projetado no início) e instalação de pregagens</p> 