



Metropolitano de Lisboa

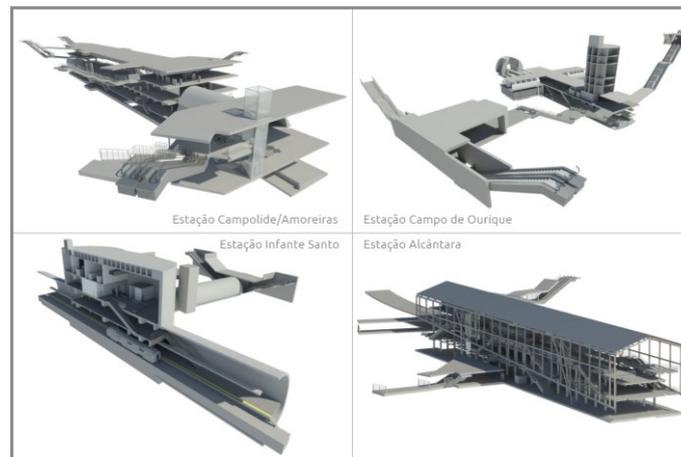


METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO III: OBRAS ESPECIAIS

VOLUME 5 - OE5: TÚNEL ZONA DO BALUARTE

MEMÓRIA DESCRITIVA – ESTRUTURAS PROVISÓRIAS

Documento SAP:	LVSSA MSA PE STR TUN OE5 MD 088001 0
-----------------------	--------------------------------------

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado	Pedro Marques/ Carlos Martins		2024-10-04
Revisto	Rui Tomásio		2024-10-04
Verificado	Sandra Ferreira/ Gonçalo Mateus		2024-10-04
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-04
Aprovado	Raúl Pistone		2024-10-04



Metropolitano de Lisboa



Índice

1	OBJETIVO E ÂMBITO.....	7
2	ELEMENTOS DE BASE	8
3	CONDICIONAMENTOS.....	9
3.1	Traçado.....	9
3.2	Geológico e Geotécnicos.....	9
3.3	Desvios de Circulação.....	11
3.4	Ocupação de Superfície e de Subsolo	11
3.5	Interferências	11
3.6	Análise de danos e Demolições.....	17
3.7	Implantação.....	17
3.8	Segurança	17
3.9	Arquitetónicos.....	18
3.10	Compatibilidade com as Outras Especialidades.....	18
3.11	Ambiente.....	18
4	REGULAMENTAÇÃO E BIBLIOGRAFIA DE BASE	21
5	MATERIAIS.....	23
6	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	25
6.1	Tempo de Vida Útil.....	25
6.2	Classificação da Obra de Acordo com a sua Importância	25
6.3	Classe de Inspeção	25
6.4	Classe de Fiabilidade	25
6.5	Categoria Geotécnica da obra associada às Estruturas de Contenção	25
7	DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO.....	26
7.1	Solução de Contenção Provisória.....	26

7.2	Solução de Recalçamento da Muralha do Baluarte	27
7.3	Solução Conservação e Restauro de Elementos Pétreos da Muralha do Baluarte, Muro do Miradouro do Largo das Necessidades e Guarida	29
8	FASEAMENTO CONSTRUTIVO	34
8.1	Solução de Contenção Provisória e Fase Definitiva	34
8.2	Faseamento Localizado da Solução de Recalçamento da Muralha do Baluarte.....	35
9	PROJETO GEOTÉCNICO DAS CONTENÇÕES PROVISÓRIAS	37
9.1	Ações consideradas.....	37
9.2	Combinações de Ações	37
9.3	Verificação da Segurança	41

Índice de Figuras

Figura 1 - Planta e perfil longitudinal – Geologia / Geotecnia	9
Figura 2 – Planta de localização das carotes executadas	12
Figura 3 – Corte transversal na zona da carote C1 (esquerda) e corte transversal na zona da carote C2 (direita).....	13
Figura 4 - Corte transversal na zona da carote C6	13
Figura 5 - Planta de localização com indicação das interferências	14
Figura 6 – Fotografia ilustrativa da muralha do Baluarte interferência N° 384 (à esquerda) e fotografia ilustrativa da muralha do Baluarte interferência N° 381b (à direita) com o poço de sondagem realizado e a guarita, a foto foi retirada na plataforma representada pela interferência N° 381	16
Figura 7 – Fotografia ilustrativa de parte da muralha filipina/espanhola atualmente preservada no interior do edifício da casa de Goa, interferência N° 381c	16
Figura 8 – Fotografia ilustrativa do muro do miradouro Largo das Necessidades, interferência N° 385	17
Figura 9 – Vista 3D da solução de contenção provisória elaborado no Revit.....	26
Figura 10 – Modelo 3D da solução de recalçamento, elaborado em Revit (à esquerda) e corte transversal na zona da muralha do Baluarte a recalçar (à direita)	28
Figura 11 – Pormenorização da solução de recalçamento através de vigas de recalçamento	28
Figura 12 – Fotografia ilustrativa do tratamento proposto já executado noutra muralha histórica.....	32
Figura 13 - Guarida existente na muralha do Baluarte em pedra.....	33
Figura 14 – Pormenor de reforço interior da guarida através de argamassa reforçada com fibras de carbono	33

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Valores característicos dos parâmetros a adotar na presente fase do estudo para as várias formações ocorrentes	10
Tabela 2 - Edifícios mais suscetíveis à ocorrência de danos.....	14
Tabela 3 - Características dos materiais (1/2)	23
Tabela 4 – Características dos materiais (2/2)	24
Tabela 5 – Estruturas provisórias. Recobrimentos nominais das armaduras	24
Tabela 6 - Ações de dimensionamento	37
Tabela 7 - Coeficientes de redução	38
Tabela 8 - Coeficientes parciais de segurança utilizados nas ações	38
Tabela 9 - Coeficientes parciais de segurança utilizados na minoração das propriedades do terreno.....	39
Tabela 10 - Coeficientes parciais de segurança relativos aos materiais para os estados limites últimos	39
Tabela 11 - Coeficientes parciais de segurança utilizados nas ações.	39
Tabela 12 - Coeficientes parciais de segurança utilizados na minoração das propriedades do terreno.....	39
Tabela 13 - Coeficientes parciais de segurança utilizados nas ações.	40
Tabela 14 – Revestimento primário. Coeficientes de redução de ações	41
Tabela 15 – Combinações de ações consideradas nas verificações de segurança	41
Tabela 16 – Verificações de segurança associadas às contenções provisórias	42

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Memória Descritiva e Justificativa das estruturas provisórias da Obra Especial 5 – Túnel na Zona do Baluarte**, no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do **Tomo III – Obras Especiais do Volume 5 – OE5: Túnel Zona do Baluarte**.

2 ELEMENTOS DE BASE

Com base nos elementos do Programa Preliminar realizado pelo Metropolitano de Lisboa e do Anteprojeto realizado pelo ACE Metro São Sebastião Alcântara, fizeram-se as verificações necessárias bem como os acrescentos e ajustes considerados como pertinentes para otimização e desenvolvimento detalhado ao nível de Projeto de Execução, das soluções técnicas e elementos de obra, bem como dos processos e faseamento construtivos associados.

Os documentos considerados como elementos de entrada associados à obra foram os seguintes:

- Procedimento – Proc. n.º 125/2022-DLO/ML;
- Programa Preliminar, Tomo IV – Estruturas, Volume 2 – Obras Especiais;
- Memória Descritiva e Justificativa - “LVSSA ML PP STR TUN OE5 MD 088001 0”;
- Peças Desenhadas (“LVSSA ML PP STR TUN OE5 DW 088000 A” a “LVSSA ML PP STR TUN OE5 DW 088001 A” e “LVSSA ML PP STR TUN OE5 DW 088100 0” a “LVSSA ML PP STR TUN OE5 DW 088103 0”);
- Projeto de Execução, Tomo I – Geral, Volume 2 – Traçado;
- Projeto de Execução, Tomo I – Geral, Volume 6 – Estudo Geológico Geotécnico.

3 CONDICIONAMENTOS

3.1 Traçado

A solução estrutural adotada e os processos e faseamento construtivos previstos encontram-se compatibilizados com o projeto do traçado da linha.

3.2 Geológico e Geotécnicos

Nesta fase de Projeto de Execução e de acordo com as condições conhecidas para terrenos com características semelhantes foram estabelecidas soluções de suporte que serão confirmadas e/ou desenvolvidas em função da interpretação dos resultados dos trabalhos de prospeção já concluídos e das campanhas do Programa de prospeção complementar em decurso.

Os condicionamentos Geológicos e Geotécnicos são descritos no Tomo I – Geral, Volume 6 – Estudo Geológico-Geotécnico.

Apresenta-se na Figura 1, o excerto do perfil geológico-geotécnico do local.

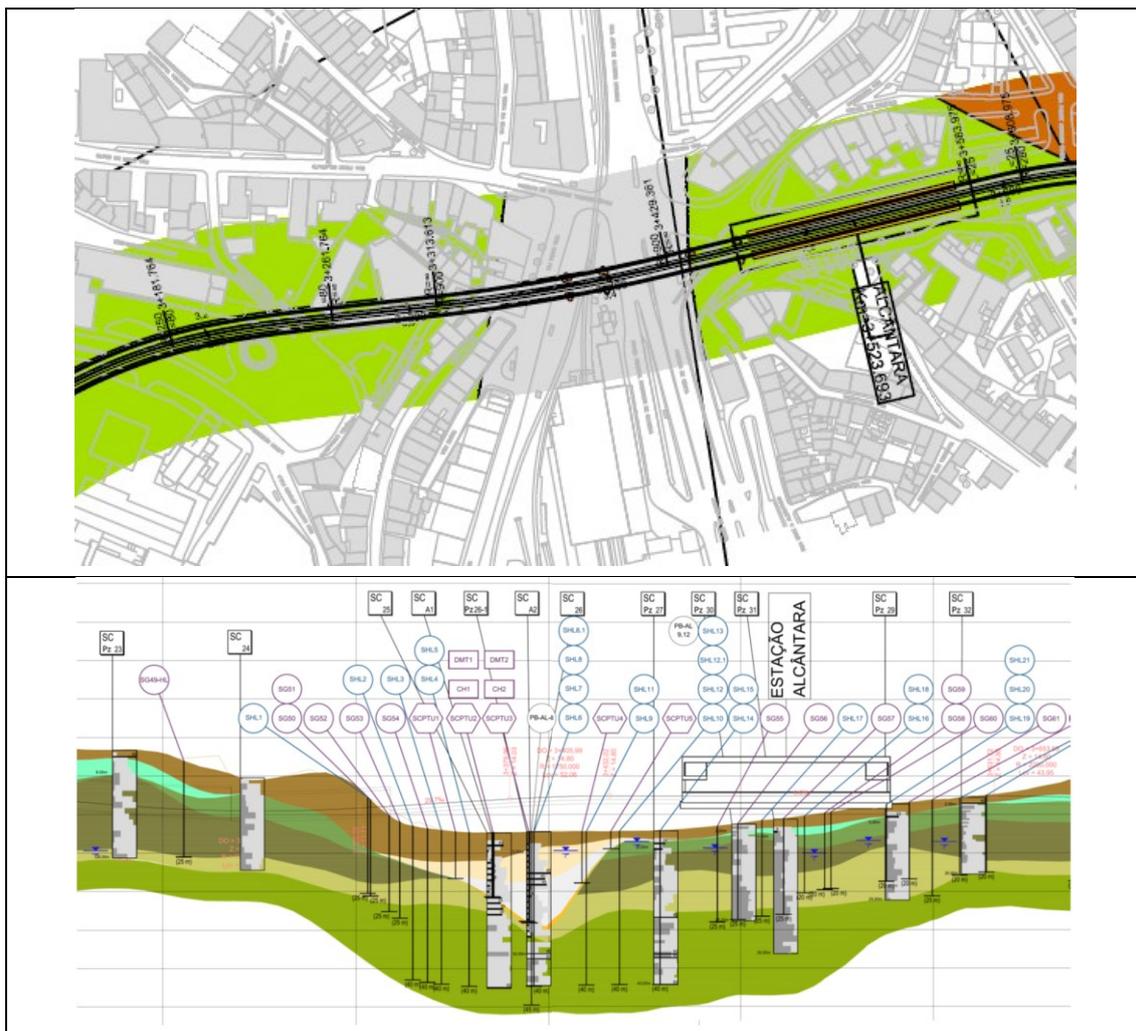


Figura 1 - Planta e perfil longitudinal – Geologia / Geotecnia

A zona do Vale de Alcântara, onde de nascente para poente, se encontram a OE5, o viaduto metálico, a Estação e a OE6 é dominada pela presença de materiais cretácicos da Formação da Bica, sob cobertura de materiais recentes de aterro, com espessura importante, localmente superior a 10 m, do lado nascente na zona da OE6 e com uma espessura combinada juntamente com os aluviões no centro do vale que pode atingir cerca de 25 m. As unidades cretácicas presentes são a Cc1a, essencialmente correspondente a argilas margosas, aqui com reduzida expressão, Cc1b (calcário nodular), Cc1c (calcário semi-cristalino a cristalino com rudistas) e Cc1d (calcário compacto fendilhado). Abaixo e já sem se encontrar cortado pelos aluviões do vale de Alcântara, encontram-se os calcários da Formação de Caneças Cc2 (calcários por vezes margosos).

Os aluviões são essencialmente arenosos na parte superior e argilosos na zona central, na base e na parte superior do lado poente. Na base encontra-se pequeno nível de aluvião com cascalheira.

Relativamente aos níveis de água presentes, considera-se que na dependência dos aluviões o nível de água se situe à cota +2,50. A partir desta cota o mesmo sobe nas encostas do vale até cerca da cota 15,00 no final do traçado (450 m a poente) e até à cota 40,00, (550 m a nascente).

Da análise desenvolvida às condições geológico-geotécnicas na zona da obra, resultam os parâmetros geotécnicos resumidos na tabela seguinte:

Tabela 1 – Valores característicos dos parâmetros a adotar na presente fase do estudo para as várias formações ocorrentes

Unidade	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c_u (kPa)	E_u (MPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E' (MPa)	K_0	k (m/s)	ν	σ (MPa) [rocha]	E' (GPa) [rocha]
ATERRO, At	18	20	---	---	0	28	8	0,5	10⁻⁵	0,35	---	---
ALUVIÃO, a(ar)	19	21	---	---	0	34	50	0,5	10⁻⁵	0,30	---	---
ALUVIÃO, a(ag)	17	19	10	10	0	28	4	0,5	10⁻⁸	0,46	---	---
ALUVIÃO, a(cg)	20	22	---	---	0	35	75	0,5	10⁻⁴	0,30	---	---
MIOCÉNICO, M(ag)a NSPT > 50	22	23	350	100	10	33	60	1,0	10 ⁻⁸	0,33	---	---
MIOCÉNICO, M(ag)b NSPT < 50	21	22	180	40	5	28	20	1,0	10 ⁻⁸	0,38	---	---
MIOCÉNICO M(cal)	24	24	---	---	100	34	400	0,8	10 ⁻⁵	0,25	---	---
OLIGOCÉNICO, Φ	20	22	400	150	15	30	75	1,2	10 ⁻⁷	0,30		
BASALTO, β	26	26	---	---	200	40	2000	0,8	10 ⁻⁷	0,26	20	12
BASALTO, $\beta_{w5;w4/5}$	21	23	---	---	50	35	250	0,7	10 ⁻⁶	0,28	---	---
TUFOS, τ	20	21	---	---	60	35	120	1,0	10 ⁻⁷	0,27	---	---
CALCÁRIO, Cc1a	23	23	---	---	50	32	60	0,8	10⁻⁷	0,23	---	---
CALCÁRIO, Cc1b	24	24	---	---	90	38	325	0,8	10⁻⁷	0,21	9	3
CALCÁRIO, Cc1c	25	25	---	---	300	42	4000	0,8	10⁻⁶	0,21	50	27,5
CALCÁRIO, Cc1d	24	24	---	---	120	40	600	0,8	10⁻⁷	0,21	12	6

Unidade	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c_u (kPa)	E_u (MPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E' (MPa)	K_0	k (m/s)	ν	σ (MPa) [rocha]	E' (GPa) [rocha]
CALCÁRIO DE CANEÇAS	23	23	---	---	100	35	200	0,8	10 ⁻⁷	0,25	5	1,5

*As camadas a negrito e sublinhadas correspondem às camadas encontradas na zona do Baluarte e viaduto

3.3 Desvios de Circulação

Ao longo da duração da obra os estaleiros e áreas reservadas junto à zona a realizar a céu aberto, que interfiram com a circulação existente, serão demarcadas como áreas temporárias de ocupação com os consequentes desvios de trânsito.

Os desvios de circulação são objeto de projeto autónomo, apresentado no Tomo I – Geral, Volume 12 – Projeto Viário, deste Projeto de Execução.

Os estaleiros são objeto de projeto autónomo, apresentado no Tomo I – Geral, Volume 09 – Outras Estaleiros, deste Projeto de Execução.

3.4 Ocupação de Superfície e de Subsolo

A execução a céu aberto do túnel definitivo interfere com as redes de infraestruturas existentes no subsolo. As infraestruturas serão objeto de desvios provisórios/definitivos ou eventual suspensão, de modo a compatibilizar-se com o faseamento construtivo proposto.

Os serviços afetados são objeto de projeto autónomo, apresentado no Tomo III – Obras Especiais, Volume 5 – OE5: Túnel na Zona do Baluarte, deste Projeto de Execução.

3.5 Interferências

3.5.1 Enquadramento

A avaliação de danos foi realizada com base na metodologia preconizada no Volume 17 – Interferências ao Longo da Linha, já mencionada nos Critérios Gerais de Projeto, apoiada pelas recomendações do Eurocódigo 7, Anexo H e ainda pelo relatório ITA/AITES Report 2006 - Settlements induced by tunneling in Soft Ground.

Genericamente, todas as interferências estudadas encontram-se dentro da faixa de 30 m de ambos os lados do eixo do traçado e na zona de influência das escavações. A avaliação risco contemplou diversos tipos de interferências (EIEIF), nomeadamente:

- Edificado, incluindo os de interesse patrimonial;
- Infraestruturas enterradas;
- Infraestruturas ferroviárias.

Após a realização da avaliação de danos, em função do tipo de interferência e da magnitude dos danos estimados, serão selecionadas medidas de mitigação de assentamentos tendo em consideração:

- Tipo de obra a realizar;
- Cenário geológico, geotécnico e hidrogeológico estimado;
- Relação custo-benefício.

A execução dos trabalhos de escavação irá originar alterações do estado de tensão do maciço que resultarão em descompressões e consequentemente em deslocamentos na sua zona de influência. O método construtivo adotado em combinação com o comportamento das

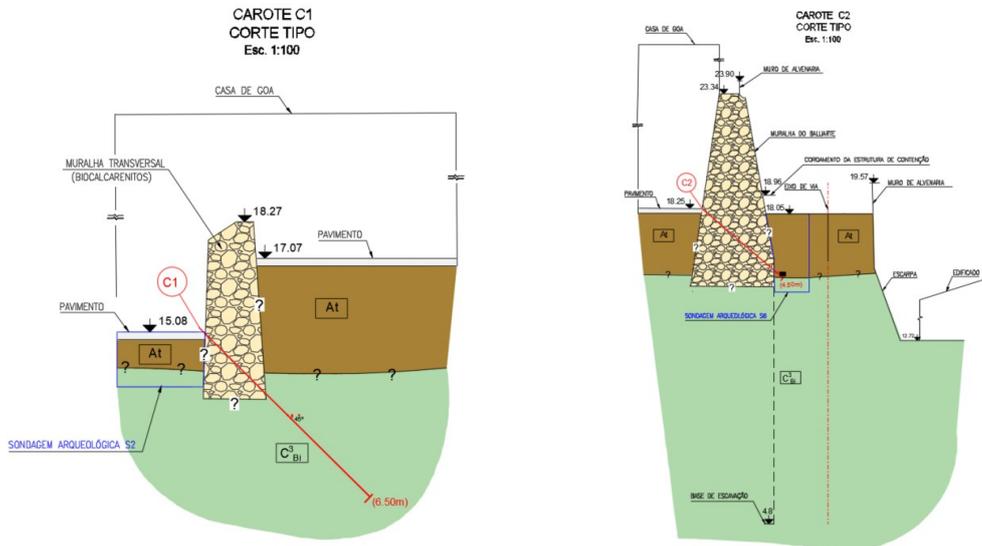


Figura 3 – Corte transversal na zona da carote C1 (esquerda) e corte transversal na zona da carote C2 (direita)

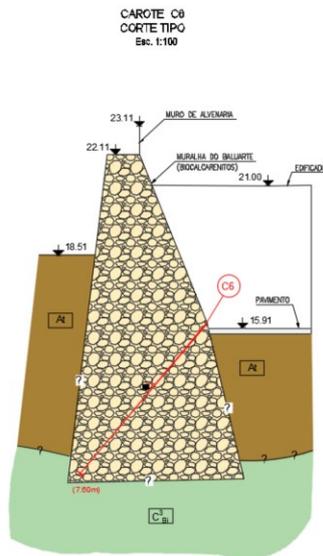


Figura 4 - Corte transversal na zona da carote C6

3.5.2.2 Edifícios e Estruturas Existentes

O projeto insere-se numa zona urbana cujo edificado foi construído em diferentes períodos históricos e em que a sua composição, estado de conservação e tipo de estrutura, diferem significativamente.

Na avaliação da suscetibilidade de edifícios foi também considerado o seu valor histórico-cultural, particularmente no que respeita ao facto de o mesmo ser considerado património classificado. Assim, com o objetivo de incluir na avaliação de risco esta componente, foi

incorporado um fator de agravamento da categoria de risco, descrita no Volume 17 – Interferências ao Longo da Linha.

A análise dos elementos acima referidos em combinação com o posicionamento dos edifícios em relação aos trabalhos de escavação, permitiu identificar os edifícios mais suscetíveis à ocorrência de danos (Tabela 2).

Tabela 2 - Edifícios mais suscetíveis à ocorrência de danos

N.º	CATEGORIA	LOCALIZAÇÃO
380	Edifício	Caçada do Livramento, 2-12
381	Edifício	Caçada do Livramento, Baluarte
381a	Edifício	Caçada do Livramento, Baluarte, muro 1
381b	Edifício	Caçada do Livramento, Baluarte, muro 2
381c	Edifício	Caçada do Livramento, Baluarte, Mfil
382	Edifício	Caçada do Livramento, 17
383	Edifício	Caçada do Livramento, 19
384	Edifício	Caçada do Livramento, Muro do Baluarte 3
385	Edifício	Caçada do Livramento, Muro do Miradouro

Apresenta-se na Figura 5 a planta de localização com indicação das interferências identificadas na tabela anterior.

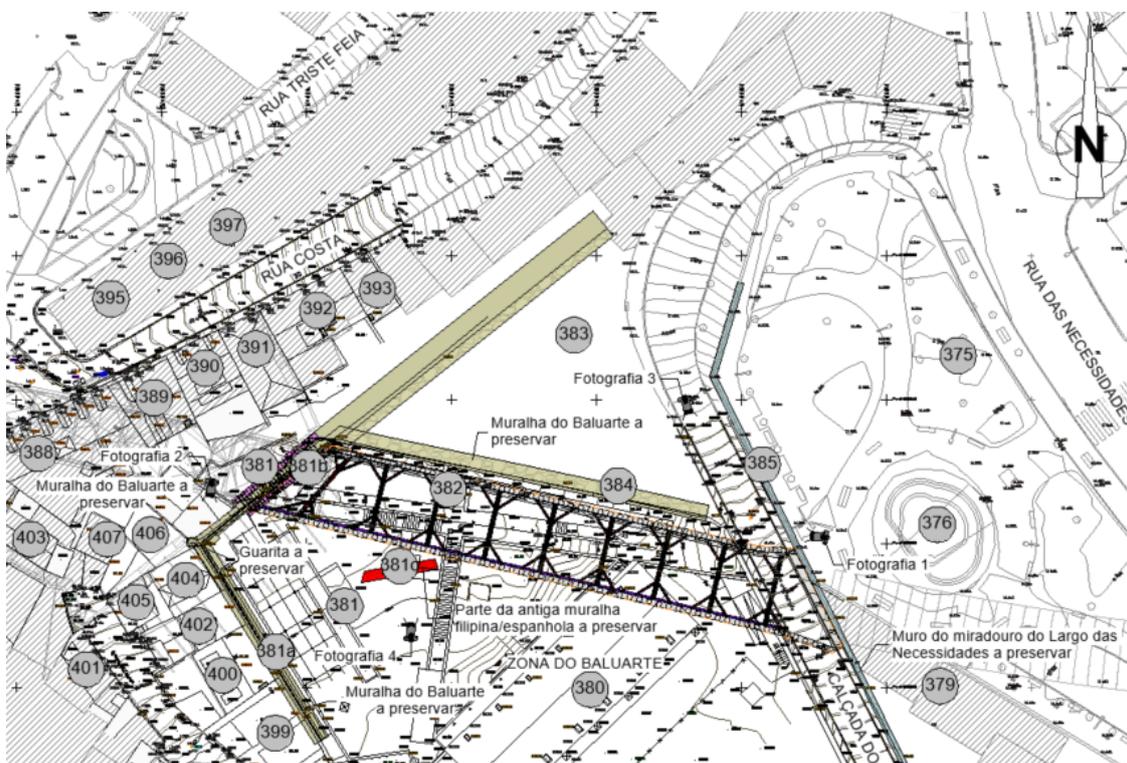


Figura 5 - Planta de localização com indicação das interferências

Destas interferências destaca-se o valor histórico e patrimonial das interferências Nº 381, 381a, 381b, 381c, 384 e 385.

As interferências Nº 381, 381a, 381b e 384 dizem respeito aos muros constituintes das muralhas do Baluarte para os quais se prevê a necessidade de um recalçamento e restauro dos elementos pétreos constituintes da muralha, estas soluções serão explicadas e descritas no Capítulo 7 do presente documento.

Dos estudos e registos históricos encontrados até à data, estima-se que as muralhas constituintes do baluarte tenham sido construídas no século XVII, após a dinastia filipina. Em termos de aparelho construtivo, estima-se que as muralhas sejam compostas por muros de alvenaria de pedra tosca e com aparelho irregular, sem reboco, sendo expectável que estejam fundadas nas camadas calcárias da *Formação da Bica*.

Os muros constituintes das muralhas representados pelas interferências nº 381a e nº 381b têm o seu coroamento à cota, aproximada, de +23m garantido um desnível máximo de terras de 12m, sendo que a noroeste junto ao baluarte existe um afloramento calcário com plataforma a um nível mais baixo, representada pela interferência nº 381, encontrando-se esta à cota +18.30m, havendo assim um desnível de, aproximadamente, 6m entre as interferências 381 e 381b. As muralhas apresentam espessura variável em profundidade entre 1.1m e 3.5m, valores estimados pelas sondagens/carotes C2 e C6 mostradas no subcapítulo anterior, estando as fundações a uma cota expectável de +15.05.

Estas muralhas apresentam, em geral, a sua aparência original em pedra tosca sem reboco, mas alterada por diversos fatores naturais do tempo, sendo que os paramentos apresentam um escurecimento e alteração de cor, devido à acumulação de sujidades superficiais e pela deposição de detritos como: sedimentos; guano e material orgânico vegetal. Verifica-se também a contaminação biológica generalizada com grande quantidade de plantas superiores, resultando no enegrecimento das superfícies e na alteração de cor nas zonas de escorrências, esta contaminação resulta da colonização de micro-organismos, como fungos, líquenes e de musgos, particularmente incidentes nas zonas de contacto com o solo; escorrência de águas pluviais; e transição entre elementos desnivelados de rebocos e cantarias.

Importa ainda referir que no vértice de ligação entre os muros das muralhas representados pelas interferências 381 e 381a existe uma guarita em pedra e com formato circular.

O muro constituinte do baluarte representado pela interferência nº 384 têm o seu coroamento à cota, aproximada, de +28m garantido um desnível máximo de terras de 11m. Apesar de ainda não ter sido possível executar trabalhos de prospeção junto a este muro face às condicionantes de acesso junto do mesmo, será expectável que muro possua espessura variável em profundidade e esteja fundado nas camadas calcárias. Supõe-se que este muro seja constituído por pedra tosca argamassada. Ao contrário dos muros descritos anteriormente das restantes interferências, este aparenta possuir um reboco de acabamento e encontra-se pintado de branco, sendo expectável que o muro tenha sido restaurado ao longo destes anos. Todos os pressupostos necessários confirmados antes do início dos trabalhos.

Ao longo de toda a empreitada todos estes muros constituintes das muralhas do baluarte mencionados serão preservados e restaurados, havendo apenas um ajuste e reforço das fundações do muro da interferência nº 381b, conforme se indicará no capítulo 7.

Em seguida apresentam-se fotografias ilustrativas, retiradas no local, referentes às interferências descritas.



Figura 6 – Fotografia ilustrativa da muralha do Baluarte interferência N° 384 (à esquerda) e fotografia ilustrativa da muralha do Baluarte interferência N° 381b (à direita) com o poço de sondagem realizado e a guarita, a foto foi retirada na plataforma representada pela interferência N° 381

A interferência 381c é referente a parte da muralha filipina/espanhola cuja construção se estima ser anterior à construção das muralhas mencionadas anteriormente, pertencentes ao século XVII. Esta parte da muralha encontra-se atualmente preservada no interior do edifício existente da casa de Goa, sendo este elemento preservado ao longo da empreitada. Da sondagem/carote C1 já executada, foi possível estimar uma espessura, aproximadamente, constante da muralha de 1,48m, com altura de 4,80m entre a cota +13.28 e a cota +8.48.

Em seguida apresenta-se uma foto ilustrativa, retirada no local, referente à muralha filipina.



Figura 7 – Fotografia ilustrativa de parte da muralha filipina/espanhola atualmente preservada no interior do edifício da casa de Goa, interferência N° 381c

Por fim, destaca-se ainda a interferência N° 385 que diz respeito ao muro do miradouro do Largo das Necessidades, por baixo do qual irá ocorrer a transição do túnel em *NATM* para “*Cut & Cover*”, nesta zona prevê-se a conservação e restauro do muro e um confinamento assegurado pela viga de coroamento constituinte da cortina de estacas, conforme se irá descrever no Capítulo 7 do presente documento. Em seguida apresenta-se uma foto ilustrativa, retirada no local, referente ao miradouro.



Figura 8 – Fotografia ilustrativa do muro do miradouro Largo das Necessidades, interferência N° 385

3.5.3 Medidas de mitigação

Para a fase de Projeto de Execução, foi realizada uma referenciação de danos nas interferências mais suscetíveis, tendo-se concluído, nesta fase do projeto e numa primeira aproximação, não ser necessário realizar medidas específicas de reforço estrutural. A monitorização de cada interferência pode ter que ser reforçada função do seu nível de suscetibilidade perante a obra.

3.6 Análise de danos e Demolições

A avaliação de danos em interferências ao longo do traçado, assim como a definição de critérios de danos em estruturas ou infraestruturas situadas na vizinhança da obra, encontra-se desenvolvida no Tomo I – Geral, Volume 17 – Interferências ao Longo da Linha.

As interferências resultantes da construção do túnel que resultam em necessidade de demolições, encontram-se retratadas no Tomo I – Geral, Volume 27 – Demolições ao Longo da Linha, do presente Projeto de Execução.

3.7 Implantação

A implantação da obra respeita integralmente os requisitos definidos no programa preliminar, tendo em consideração o novo traçado de via atualizado no “ANEXO X – AO CADERNO DE ENCARGOS TÉCNICO – ALTERAÇÃO DO TRAÇADO ENTRE OS KM 2+570.938 E O KM 3+471.193”.

3.8 Segurança

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

1. Evitar os riscos;
2. Avaliar os riscos que não possam ser evitados;
3. Combater os riscos na origem;
4. Adaptar o trabalho ao trabalhador;
5. Ter em conta o estado de evolução técnica;
6. Substituir o que é perigoso pelo que é isento de perigo ou menos perigoso;

7. Planificar a prevenção;
8. Dar prioridade à prevenção coletiva em relação à individual;
9. Dar formação e instruções adequadas aos trabalhadores.

Estes princípios devem nortear a ação de todos os intervenientes durante todo o processo de construção. Apresenta-se nas peças desenhadas do presente Projeto de Execução, subscrevendo as orientações do Dono de Obra apresentadas no Programa Preliminar, desenho de notas gerais com uma lista não exaustiva de atividades que envolvem riscos especiais para a segurança e saúde dos trabalhadores decorrentes da execução do projeto e as ações para a prevenção de riscos associados à realização dos trabalhos.

Será da responsabilidade da Entidade Executante desenvolver o Plano de Segurança e Saúde, conforme indicado no Caderno de Encargos, e garantir a sua implementação na fase de execução da obra.

3.9 Arquitetónicos

O presente Projeto de Execução procura atingir as soluções técnicas mais adequadas e devidamente compatibilizadas com o Projeto de Execução de Arquitetura (Tomo III – Obras Especiais, Volume 5 – OE5: Túnel na Zona do Baluarte).

3.10 Compatibilidade com as Outras Especialidades

O presente Projeto de Execução está compatibilizado com todas as restantes especialidades, nomeadamente:

- Tomo I – Geral, Volume 2 – Traçado;
- Tomo I – Geral, Volume 3 – Via-Férrea;
- Tomo I – Geral, Volume 4 – Coluna seca;
- Tomo III – Obras Especiais, Volume 3 – Flúidos;
- Tomo III – Obras Especiais, Volume 4 – Energia;
- Tomo III – Obras Especiais, Volume 5 – Telecomunicações;
- Tomo III – Obras Especiais, Volume 6 – Mecânica;

3.11 Ambiente

O projeto do “Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara” está sujeito a Avaliação de Impacte Ambiental, tendo sido desenvolvido um Estudo de Impacte Ambiental e emitida uma Declaração de Impacte Ambiental (DIA) que determina uma **Decisão Favorável Condicionada** ao cumprimento dos termos e condições expressas na DIA (processo de AIA n.º 3462), na qual se identificam as medidas de minimização gerais a implementar em fase de construção, a serem complementadas em fase do Projeto de Execução com a realização do Relatório de Conformidade Ambiental com o Projeto de Execução (RECAPE).

No desenvolvimento do presente Projeto de Execução foram consideradas as seguintes medidas:

- Cumprimento das áreas mínimas de intervenção, necessárias à realização dos trabalhos, apresentadas no Programa Preliminar do M.L.;
- Consideração das medidas e recomendações constantes da DIA (processo de AIA n.º 3462) em particular:
 - A não afetação das estruturas a “cotas positivas” no limite noroeste do Baluarte do Livramento;
 - A realização do adequado diagnóstico arqueológico que demonstre que a plataforma defronte da muralha noroeste, à saída do túnel, corresponderá a um afloramento rochoso, e não a uma estrutura (desmoronada) pertencente à designada segunda muralha inferior existente a norte;
 - A revisão do projeto, de modo a assegurar que a sua construção, preferencialmente em túnel mineiro, não afetará a integridade do troço da muralha de cronologia anterior à fortaleza seiscentista, objeto de escavação e valorização nos anos 90 do século XX;
 - O rebaixamento máximo da cota base do túnel no atravessamento da estrutura defensiva para que os impactes visuais e formais no limite noroeste, na transição entre a secção em túnel e a solução para o viaduto, possam ser os menores possíveis;
 - O escoramento e entivação preventiva da guarita do Baluarte, devendo qualquer opção alternativa de atuação de preservação deste elemento patrimonial ser devidamente fundamentada (incluindo a atual proposta de desmonte, no início da empreitada, para posterior reposição no final dos trabalhos);
 - Prever a preservação *in situ* das preexistências do Baluarte do Livramento, definindo um plano de reabilitação e valorização, face à intervenção para a construção do túnel e do viaduto de Alcântara.
- Consulta dos elementos patenteados a concurso referentes à identificação de todas as interferências ao longo do traçado e ao levantamento dos respetivos cadastros para análise nas fases seguintes de projeto. Nesta fase realizou-se uma análise de risco aos edifícios interferidos seguindo a metodologia de avaliação de danos nos edifícios devido a escavações profundas e de túneis patenteada pelo M.L., que consta do Tomo e Volume específico, do presente Projeto de Execução;
- Adoção de faseamentos construtivos que promovam a realização dos trabalhos no prazo mais curto e que minimizem o impacto sobre a vida da comunidade e sobre o património edificado;
- Definição de um plano de instrumentação e observação, que se encontra enquadrado no presente Projeto de Execução em cada volume de frente de obra (a detalhar devidamente em Projeto de Execução), no sentido de detetar, quantificar e prevenir possíveis danos nas

estruturas (por exemplo, ao nível do edificado) e deformações da superfície, bem como prevenir que eventuais deformações tenham consequências ao nível do edificado.

4 REGULAMENTAÇÃO E BIBLIOGRAFIA DE BASE

A regulamentação e a bibliografia técnica adotadas são as apresentadas abaixo:

- NP EN 1990 – Bases para projetos de estruturas (EC0);
- NP EN 1991 – Bases de projeto e 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 Aço-Betão (EC4);
- NP EN 1997 – Projeto Geotécnico (EC7);
- NP EN 1998 – Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos (EC8);
- fib Model Code 2010 for Concrete Structures;
- Normas de Projeto de estruturas do Metropolitano de Lisboa.

Serão ainda 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 Gerais;
- NP EN 14199 – Execução de obras geotécnicas especiais: Microestacas;
- NP EN 1537 - Execução de obras geotécnicas especiais: Ancoragens;
- EN ISO 22447-5 – Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical structures - Part 5: Testing of grouted anchors;
- EN 1536 - Execution of Special Geotechnical Works: Bored piles;
- EN 14490 - Execution of Special Geotechnical Works: Soil nailing;
- NP EN 197-1 - Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes;
- NP EN 197-2 - Cimento. Parte 2: Avaliação de conformidade;
- NP EN 13251 - Geotêxteis e produtos relacionados. Características requeridas para a utilização em obras de terraplenagem, fundações e estruturas de suporte;
- NP EN 13256 - Geotêxteis e produtos relacionados. Características requeridas para a construção de túneis e obras 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 do 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 armaduras de pré-esforço. Métodos de ensaio;
 - NP EN 446 - Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Procedimentos para injeção;
 - NP EN 447 - Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço. Especificações para caldas correntes.

5 MATERIAIS

As características dos materiais adotados no presente Projeto de Execução encontram-se apresentadas nos quadros seguintes:

Tabela 3 - Características dos materiais (1/2)

MATERIAIS	PROPRIEDADES	
BETÃO	BETÃO PROJETADO (VIA HÚMIDA)	C30/37 XC4(P) CL 0,4 DMAX.10 S5
	BETÃO MOLDADO EM GERAL	C30/37 XC4(P) CL 0,4 DMAX.22 S3
	BETÃO EM ESTACAS	C30/37 XC4(P) CL 0,4 DMAX.15 S4
	REGULARIZAÇÃO/ENCHIMENTO	C12/15 X0(P) CL 1.0 DMAX.25 S3
CALDA DE CIMENTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS	f_{ck} MÍN. = 25 MPa
FIBRAS METÁLICAS	COMPRIMENTO (EXTREMIDADE COM GANCHO)	< 35 MM
	ESBELTEZA, L/D	65
	CLASSE DE ABSORÇÃO DE ENERGIA:	E700
FIBRA DE VIDRO	RESISTÊNCIA À TRACÇÃO	≥ 2000 MPa
	CARGA NOMINAL DE ROTURA	430 kN
AÇO	CHAPAS E PERFIS METÁLICOS	S 355 JR
	PRE-ESFORÇO	EN 10138-3-Y1860S7-15,7-F1-C1
	CAMBOTAS TRELIÇADAS	A 500NR
	REDE ELETROSSOLDADA	A 500ER
	ENFILAGENS	S 355 JR
	MICROESTACAS	N80 API 5A
	Elementos de fixação metálica	CLASSE 8.8
PREGAGENS DE TUBO EXPANSIVO	CARGA MÍNIMA DE CEDÊNCIA	$P_y = 130$ kN
	TIPO DE AÇO	S 355 MC
No caso particular das soldaduras de elementos de construção metálica, a sua preparação e execução deverá obedecer ao estipulado no EC3 e NP EN 1090		

Tabela 4 – Características dos materiais (2/2)

MATERIAIS	PROPRIEDADES	
GEODRENOS	TUBO DE POLIETILENO RÍGIDO, CORRUGADO E RANHURADO	SN2
GEOTÊXTEL DO GEODRENO	MASSA POR UNIDADE DE ÁREA (EN 9864)	150 g/m ²
	MASSA POR UNIDADE DE ÁREA (EN 9864)	2 mm
	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (EN ISO 10319)	4,5 kN/m
	ALONGAMENTO À CARGA MÁXIMA (EN ISO 10319)	80 %
	PUNÇOAMENTO ESTÁTICO (EN ISO12236)	≥ 700 N
	RESISTÊNCIA À PERFURAÇÃO DINÂMICA (EN 918)	≤ 28 mm
	DURABILIDADE	[DURAÇÃO ESTIMADA DE, NO MÍNIMO, 25 ANOS EM TERRENO COM 4 < PH < 9 E TEMPERATURAS < 25°C (TEMPO DE EXPOSIÇÃO MÁXIMO DE 1 SEMANAS APÓS INSTALAÇÃO)]

Tabela 5 – Estruturas provisórias. Recobrimentos nominais das armaduras

Recobrimentos Nominais (**)	
Elemento	Recobrimento nominal
Estacas	75 mm
Vigas de coroamento e distribuição	35 mm

(*) - Recobrimento mínimo + Margem de cálculo para as tolerâncias de execução = Recobrimento nominal.

6 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

6.1 Tempo de Vida Útil

Tendo em conta o preconizado no ponto 2.3 do Anexo Nacional da NP EN 1990, a estrutura é classificada com sendo uma estrutura de categoria do tempo de vida útil de projeto 5, a qual corresponde um valor indicativo de tempo de vida útil de projeto de 100 anos.

6.2 Classificação da Obra de Acordo com a sua Importância

A classificação da obra de acordo com a sua importância é realizada de acordo com o especificado no Anexo Nacional da EN 1990.

Tendo em conta a definição das classes de consequências apresentada no quadro B.1 da EN 1990, as Estações, Poços de Ventilação e Túnel são parte integrante de uma infraestrutura cujo colapso representa “consequência elevada em termos de perda de vidas humanas; ou consequências económicas, sociais ou ambientais muito importantes”, pelo que classificam-se como sendo da classe de consequência CC3.

6.3 Classe de Inspeção

De acordo com a norma NP EN 13670 – 1 anexo G, quadro G.1, a estrutura de objeto desta Memória Descritiva e Justificativa enquadra-se na classe de inspeção 3, para betão moldado.

6.4 Classe de Fiabilidade

A Classe de Fiabilidade é definida de acordo com o anexo nacional da NP EN 1990. Tendo em conta que a obra definitiva é da classe de consequência CC3, de acordo com o ponto B.3.2 do Anexo B, fixa-se a classe de fiabilidade RC3 para a obra.

6.5 Categoria Geotécnica da obra associada às Estruturas de Contenção

A NP EN 1997-1:2010 estabelece a Categoria Geotécnica (CG1, CG2 ou CG3) do projeto em função da sua complexidade e classe de consequências.

Tendo em conta a definição das classes de consequências apresentada no quadro B.1 da NP EN 1990, considera-se que a estrutura de contenção necessária à execução do túnel é uma infraestrutura cujo colapso representa “consequência elevada em termos de perda de vidas humanas; ou consequências económicas, sociais ou ambientais medianamente importantes” (CC3) considera-se ainda que o grau de complexidade do projeto geotécnico é elevado. Assim, para uma classe de consequências CC3 para uma complexidade do projeto geotécnico média, atribui-se a Categoria Geotécnica 3 (CG3) à estrutura de contenção.

7 DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se as soluções definidas para garantia dos trabalhos de escavação em segurança, as soluções definidas para ajuste das fundações das muralhas do baluarte e ainda a descrição para os trabalhos propostos para o restauro e reforço dos muros da muralha do baluarte.

7.1 Solução de Contenção Provisória

Na conceção das soluções definidas no âmbito do presente Projeto de Execução procurou-se para além da necessária contenção dos terrenos a escavar, respeitar os seguintes pressupostos de base:

- Controlar as deformações nos terrenos envolventes à escavação, permitindo ainda a fácil adaptação da solução a eventuais singularidades de natureza geológico e geotécnica;
- Garantir a menor interferência possível com todas as estruturas e infraestruturas adjacentes;
- Procurar garantir facilidade, rapidez e segurança de execução;

De acordo com a prática corrente neste tipo de intervenções e tendo por base a avaliação dos principais condicionamentos existentes, propõe-se que a contenção periférica da escavação seja efetuada através da técnica de “cortina de estacas moldadas em betão armado” para a execução da escavação necessária para execução do túnel na zona do Baluarte. Esta contenção provisória face ao desnível de terras existentes no local, terá uma altura de escavação de aproximadamente 11,0m no alçado a norte e cerca 9,0m no alçado sul. Na Figura 9 mostra-se o modelo 3D efetuado da solução de contenção periférica.

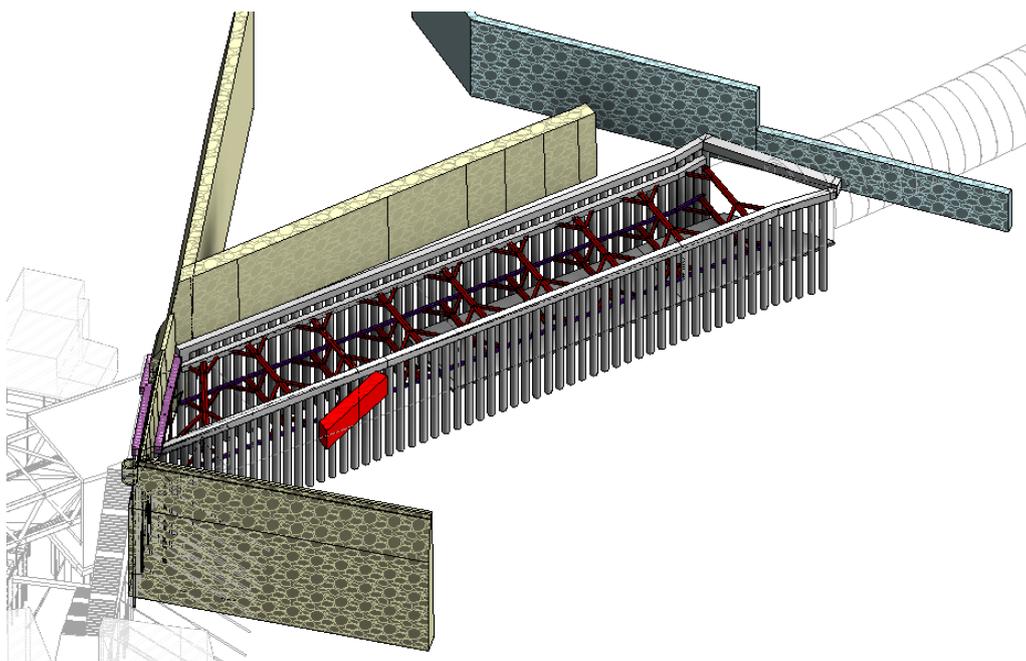


Figura 9 – Vista 3D da solução de contenção provisória elaborado no Revit

Esta técnica de contenção consiste na execução de uma cortina de estacas moldadas em betão armado com $\varnothing 800\text{mm}$ de diâmetro espaçadas a eixo aproximadamente 1,40m. A Cortina de Estacas será travada provisoriamente através de 2 níveis de escoras metálicas e por uma laje em betão armado com 30cm. Todas as estacas pertencentes da cortina deverão ter um encastramento mínimo de 4m abaixo do fundo de escavação. Este tipo de solução apresenta a vantagem de permitir executar, antes da escavação, a estrutura de contenção definitiva, podendo o número de travamentos ser redefinidos em fase obra, em função das reais características dos terrenos escavados, assim como dos resultados do Plano de Instrumentação e Observação proposto.

A cortina de estacas será solidarizada entre si através de viga de coroamento e vigas de distribuição de betão armado e metálicas, estes elementos para a além de permitirem a solidarização das estacas entre si, garantem também a correta transmissão dos esforços provenientes dos impulsos de terras aos elementos de travamento.

O terreno entre estacas, deverá ser revestido com betão projetado (5cm+5cm), devidamente reforçado com fibras e drenado com recurso a um nível de geodrenos afastados a 4,2m.

As escoras serão materializadas através de perfis tipo “pés-de-galinha” materializados através de 2 perfis HEB300 ligados entre si no vão principal e por perfis HEB300 nos vãos secundários, espaçados a eixo aproximadamente 8,00m entre si.

Por fim, e de forma a permitir que em parte da escavação (cerca de 40m) seja possível a remoção do 2º nível de escoras metálicas previamente à execução da laje de fundo definitiva do túnel propõe-se a execução de uma laje de travamento provisória de 30cm betonada contra o terreno e a cortina de estacas.

7.2 Solução de Recalçamento da Muralha do Baluarte

Uma vez que parte do túnel coincide parcialmente com parte das fundações da muralha do Baluarte, e de forma a preservar a mesma, foi ajustado o posicionamento do encontro entre o Viaduto e a seção do túnel NATM, da fase de anteprojecto para esta fase de execução, de forma a garantir-se que o encontro seja executado fora da zona das muralhas do baluarte, desta forma, foi apenas necessário definir uma solução de recalçamento provisória para ajuste e reforço da fundação da muralha na zona coincidente com o túnel. Na fase definitiva a fundação da muralha é reajustada de forma a apoiar diretamente sobre o túnel do metro a contruir. A alteração efetuada relativamente ao anteprojecto e as soluções adotadas, que se explicam nos parágrafos seguintes, permitiram preservar os paramentos existente das muralhas do baluarte, sendo apenas necessário ajustar as fundações destas.

A solução de recalçamento consiste na execução de 2 vigas de recalçamento em betão armado, uma de cada parede da muralha a recalçar. Estas vigas ficarão apoiadas na cortina de estacas, quando possível, sendo os restantes apoios garantidos por microestacas $\varnothing 177.8 \times 12.5\text{mm}$ com uniões exteriores, com furação $\varnothing 250\text{mm}$ e selagem do tipo IRS, travadas horizontalmente a 4m de profundidade por perfis UPN 140. As vigas ficarão ligadas entre si e a confinar a parede de ambos os lados através de 2 níveis de varões de alta resistência GEWI $\varnothing 25$, ou equivalente. Importa referir que entre a parede da muralha e as faces das vigas em betão armado deverá ser colocado uma membrana plástica de forma a garantir que as superfícies da muralha não são danificadas.

A solução de recalçamento através de vigas de recalçamento apenas deverá ser executada após a execução dos trabalhos de preservação e restauro da muralha, explicados no subcapítulo seguinte. Após execução do túnel definitivo por baixo da muralha, toda a solução de

recalçamento poderá ser desativada, incluindo remoção das vigas de recalçamento, corte das microestacas de apoio e remoção dos perfis UPN de travamento.

Na Figura 10 e Figura 11, mostra-se a solução de recalçamento descrita.

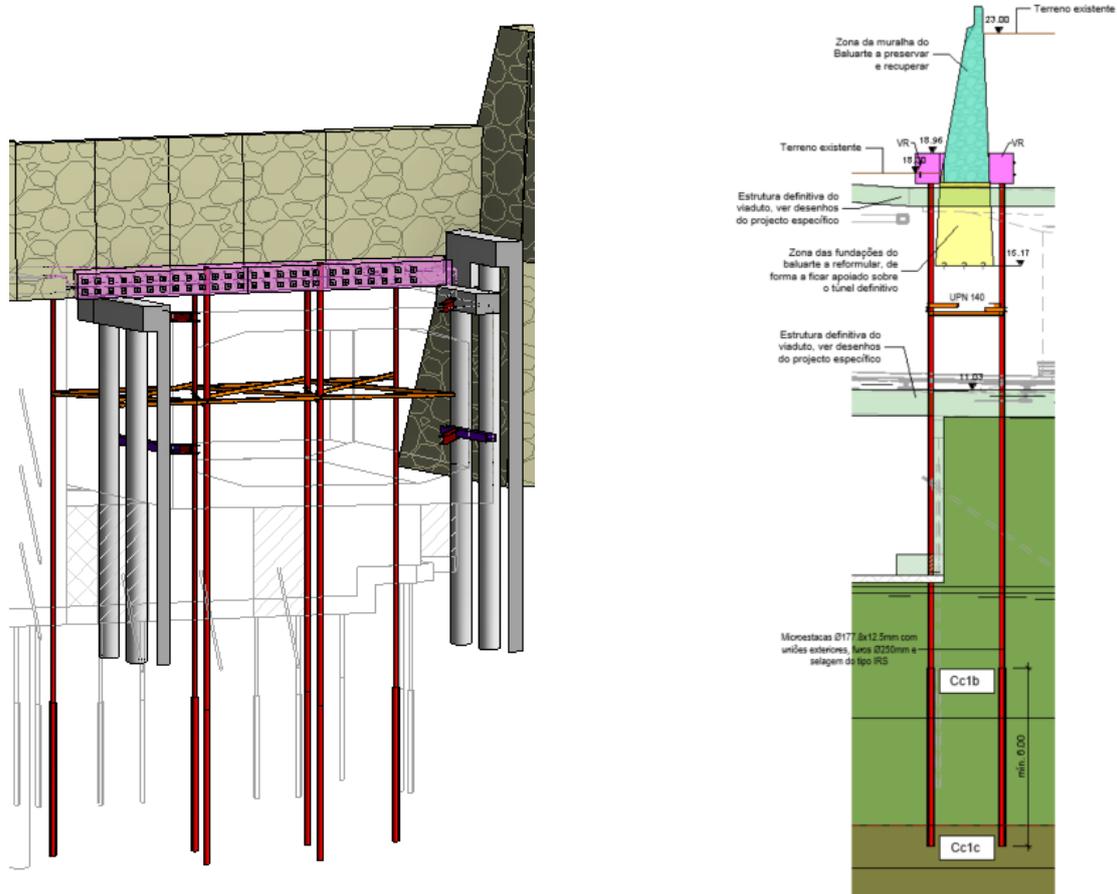


Figura 10 – Modelo 3D da solução de recalçamento, elaborado em Revit (à esquerda) e corte transversal na zona da muralha do Baluarte a recalçar (à direita)

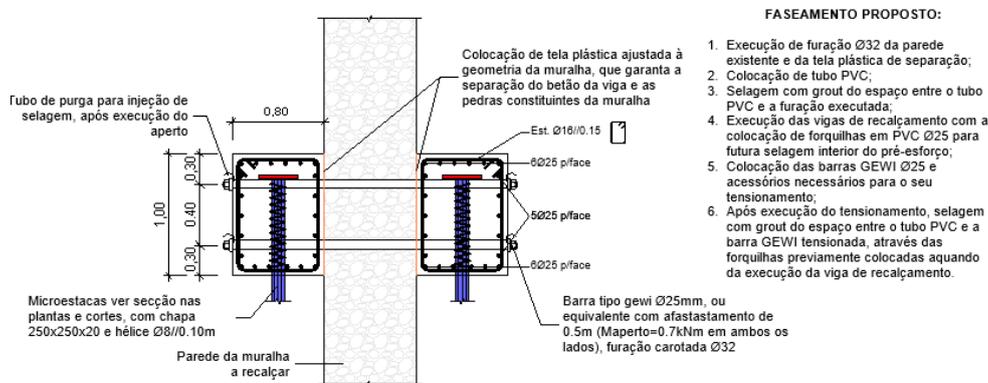


Figura 11 – Pormenorização da solução de recalçamento através de vigas de recalçamento

7.3 Solução Conservação e Restauro de Elementos Pétreos da Muralha do Baluarte, Muro do Miradouro do Largo das Necessidades e Guarida

Descreve-se em seguida os trabalhos propostos para o restauro e reforço dos muros da muralha do baluarte.

Eliminação de Colonização Biológica

Antes de se iniciar os trabalhos de conservação e restauro, deverá ser aplicado uniformemente um produto biocida e também herbicida (este, de forma localizada) de largo espectro, com solvente de base aquosa e misturado na proporção adequada às condições locais, com aplicação à trincha ou por infiltração, a fim de eliminar corretamente fungos, líquenes ou vegetação, de qualquer porte, existente.

Esta operação deverá ser executada por impregnação por via líquida com biocida à base de sais de amónia quaternária, tipo Preventol® R80/R50 da Bayer®, Lanxess®, ou equivalente. O biocida deverá ser diluído de 1,5 % a 3 % em água, pulverizado sobre toda a superfície. Mediante o grau de maior ou menor biocolonização, devem ser testados e contemplados vários tempos de reação e aplicados os que melhor se adequarem na erradicação da biocolonização de cada caso em específico.

A aplicação de biocida deverá ser repetida em número de ciclos necessários à completa erradicação de toda a presença orgânica na superfície e juntas dos ladrilhos e cantarias. A remoção de formações de musgo e líquenes – aqueles que prejudiquem a conservação dos materiais – de maior dimensão deverá ser feita por via manual, utilizando bisturi de forma cuidada, de modo a não danificar as superfícies dos elementos tratados.

Após a aplicação do biocida toda a superfície deverá ser lavada, sendo que esta operação poderá ser realizada de forma integrada com a limpeza superficial, evitando a excessiva utilização de água nas superfícies. A remoção de depósitos de líquenes e sujidades poderá ser feita por escovagem com escovas de cerdas macias.

Para a remoção de plantas superiores deve ser aplicado herbicida sistémico do tipo Roundap® Ultra max, ou equivalente, diluído a 1,5%, com vista à eliminação de plantas.

Após a secagem, a planta deve ser removida na sua totalidade pela raiz, sem partir para que não restem vestígios no interior dos materiais e nunca pela parte exterior. A remoção deve ser feita cuidadosamente com auxílio de espátulas e bisturis, sem nunca forçar a sua remoção para que não se arraste material agregado às raízes.

Limpeza de superfícies pétreas

A limpeza geral das superfícies de pedra deverá ser executada após a aplicação e atuação do biocida, tendo em atenção o tipo de sujidade e o estado de fragilidade das superfícies pétreas.

A limpeza por via húmida deve ser feita com auxílio de água nebulizada com recurso a escovagem com escovas de dureza branda com cerda de nylon de diversos formatos (consoante a área de ação). A nuvem nebulizadora deverá ser a mais atomizada possível, à pressão da rede pública, de forma a ser mais eficaz na limpeza e remoção de partículas pesadas e para evitar a supersaturação de água por parte dos suportes pétreos. Nas zonas que apresentem uma superfície sã, que apresentem um bom estado de conservação, a limpeza poderá ser feita com

projeção de água, a baixa pressão e de forma muito controlada e apenas nos locais que se considere apto após teste de resistência, devidamente aprovado pela equipa de fiscalização.

Nas situações em que se detete a existência de crostas negras, películas e gorduras a remoção deverá ser feita com projeção sobre o local de água nebulizada a baixa pressão, que incida diretamente sobre a película, até a desagregar completamente.

Se necessário, e muito pontualmente, poderá este processo ser colmatado com uma limpeza química onde deverão ser testados em zona a indicar pelo Dono de Obra, os diversos métodos.

Em último recurso, se necessário, a limpeza química poderá ser feita com pachos e a solução química deverá ser aferida em obra após teste, poderá por exemplo ser uma solução à base de Carbonato de Amónia com EDTA a 2%, ou uma solução à base de ácido fluorídrico (1 a 2%). Todo o processo deverá ser submetido à aprovação prévia do Dono de Obra.

Consolidação e Injeção de Argamassas

Nas situações em que se verifique zonas de vazio e ocos no interior é necessário realizar a injeção de uma argamassa fluida à base de cal hidráulica natural. A injeção em zonas consideradas anómalas, será feita com calda de cal hidráulica natural (NHL5) com agregado de areia de sílica, devendo promover-se em fase de obra ensaios prévios para ajustar a fluidez.

A injeção será realizada com recurso a tubos colocados na alvenaria à distância entre si de 15 a 20 cm. A injeção de calda deverá ser efetuada a baixa pressão compatível com a resistência das alvenarias e o seu estado de conservação, devendo ser realizado das camadas inferiores para as superiores (de baixo para cima). A injeção através do tubo deve parar, apenas quando a calda refluir pelo tubo que esteja colocado imediatamente acima dele. Pretende-se constituir uma camada com cerca de 50 cm de profundidade (250 L/m²).

Recolocação de material pétreo

Deve ser realizada a remoção pontual de pedras instáveis, bem como a recolha de pedras caídas no local que pertençam à muralha. A recolha e a recolocação do material pétreo deve respeitar a reintegração de acordo com a técnica de anastilose.

A remoção de material instável deve ser feita com a execução de aberturas para saneamento de juntas desagregadas e, com recurso a ferramentas manuais e meios mecânicos ligeiros, sem provocar danos na própria pedra. A recolocação de pedras e materiais constituintes deve ser feita com uma argamassa de ligante de cal hidráulica natural (NHL 3,5) e inertes lavados de granulometria adequada ao local, semelhante às pré-existências e libertos de sais solúveis, em traço 1:3.

Tratamento de Preenchimentos desadequados

Todos os preenchimentos em argamassas com cimento tipo Portland ou outras argamassas inadequadas ou já muito degradadas, devem ser analisados do ponto de vista da sua estabilidade, particularmente em relação à existência de fendas ou fissuras. No caso de se revelarem instáveis ou não funcionais, devem ser removidos e substituídos por argamassas de ligante hidráulico natural – NHL 5 e, em traço compatível com a resistência e aspeto final pretendidos, e reforçados por pedra (consoante as dimensões e a localização). Nas situações em que a remoção destes preenchimentos seja prejudicial para as pré-existências, recomenda-se a

aplicação de uma patine à base de cal e pigmentos orgânicos de forma a obter uma calda que cubra o cimento, integrando-o esteticamente no seu contexto.

Em todas as situações em que se verifique a existência de vazios, deverá ser assegurado que se procede à colmatação e preenchimento de lacuna e espaços ociosos, bem como o tratamento de fissuras. Para o preenchimento deverá utilizar-se uma argamassa tradicional à base de cal natural (NHL 3,5 com areias lavadas e isentas de sais, em traço 1:3). Se necessário fazer pigmentação com pigmentos naturais.

Recolocação de material pétreo

Desobstrução e Limpeza de Juntas – Remoção de argamassas danificadas ou de cimento (do tipo Portland), à exceção das situações em que a remoção possa ser um dano maior para o elemento original. A remoção destes cimentos justifica-se principalmente por ser um elemento que devido ao seu gradiente de dureza superior ao suporte pétreo, cria tensões e a degradação acelerada dos materiais que se encontram em contacto direto com estas argamassas cimentícias.

A limpeza das juntas deverá ser efetuada por via mecânica por meio de cinzéis, escopros e outras ferramentas manuais, utilizados com o maior cuidado possível para evitar danificar os materiais existentes nas zonas de contacto, e também com recurso a compressor de ar comprimido, sempre que necessário, auxiliados por meios húmidos, de acordo com o grau de dificuldade de remoção das sujidades. Toda a extensão de juntas degradadas deverá ser removida e substituída, incluindo zonas de difícil remoção de presença orgânica, zonas com falta de coesão e zonas que tenham sido objeto de reparação anterior com argamassas que se apresentem disfuncionais.

Preenchimento de juntas, fendas e fissuras - Esta operação deverá ser realizada em zonas passíveis da intrusão de água e de acumulação de matéria orgânica, bem como no preenchimento de cavidades abertas para inserção de costuras e pregagens metálicas de reforço estrutural, com recurso a argamassa tradicional à base de cal hidráulica natural NHL 3,5 e inertes lavados de granulometria adequada e libertos de sais solúveis, em traço 1:3, aditivado com 3% de óxido de zinco em pó.

Nas zonas mais profundas, o preenchimento deve ser realizado em diversas aplicações e por diferentes camadas, garantindo a correta carbonatação das argamassas.

Os preenchimentos devem ser contínuos, de acabamento estanhado, sem interrupção na linearidade volumétrica, com acabamento “rampeado” na interseção entre paramento vertical com horizontal, de forma a promover o “encanamento” de águas. O preenchimento deve cingir-se à zona interna da junta.

Tratamento de Rebocos

Previamente ao início dos trabalhos, deverão ser recolhidas amostras de argamassa (mínimo de 10x10 cm), entregues ao Dono de Obra, para posterior análise laboratorial e identificação de elementos. Os locais de levantamento de amostras deverão ser registados em mapa gráfico a anexar aos documentos finais da empreitada.

O reboco existente ao nível do revestimento deve ser alvo de uma primeira limpeza superficial com recurso a lavagem, para remoção de sujidades, depósitos superficiais tais como terras e sedimentos. Nas situações em que se verifique material desagregado, em mau estado de conservação, que comprometa a estrutura, deve este ser removido com recurso a picagem

manual. Devem, estas áreas ser devidamente identificadas em mapeamento gráfico. Nas restantes áreas que se considerem recuperáveis, deverão ser consolidadas por aplicação repetida de água de cal.

Nas situações em que se verifique a existência de vestígios ou indícios de camadas de algum tipo de acabamento de épocas e/ou campanhas anteriores, deve esta situação ser comunicada ao Dono de Obra, identificados em registo gráfico e fotográfico e devidamente preservados.

Para a execução de novo reboco deverá ser feito com respeito pelo material original e técnicas tradicionais. O acabamento final deverá ser efetuado usando argamassa de ligante hidráulico natural, NHL 3,5, e inertes de granulometria adequada, lavados e livres de sais hidrossolúveis, no traço 1:3 ou o considerado adequado e ajustado em função do comportamento. Deve ser executado com a massa sezoada, mas não endurecida, aplicada à talocha.

Relatório Técnico Final

Após a conclusão dos trabalhos, deverá ser compilado um relatório final de toda a intervenção expondo o estado de conservação antes da intervenção, a metodologia, materiais e procedimentos adotados durante a intervenção, o respetivo registo gráfico e fotográfico com inclusão de mapeamento gráfico do estado de conservação das muralhas, conclusões e recomendações para ações de manutenção futura do conjunto. As fotografias deverão ser entregues em formato digital JPEG, TIFF ou equivalente, em resolução compatível com impressão de boa qualidade (mínimo 300dpi).

Na Figura 12 mostra-se uma fotografia ilustrativa dos tratamentos descritos retirada de uma obra já executada através da mesma metodologia.



Figura 12 – Fotografia ilustrativa do tratamento proposto já executado noutra muralha histórica

Ainda na zona da muralha do Baluarte existe uma guarida com necessidade de cuidados específicos para reforço da mesma. Na Figura 13 mostra-se o elemento em causa.



Figura 13 - Guarida existente na muralha do Baluarte em pedra

Para este elemento para além da execução de todo o tratamento proposto para a muralha do Baluarte, propõe-se a execução de um reforço no interior da guarida. Este tratamento consiste na execução de uma limpeza para posterior aplicação de uma argamassa à base de cal hidráulica reforçada com fibra de carbono aferrolhada através ferrolhos em inox pelo interior às paredes da guarida. Na Figura 14 apresenta-se um pormenor da solução proposta para o reforço interior da guarida.

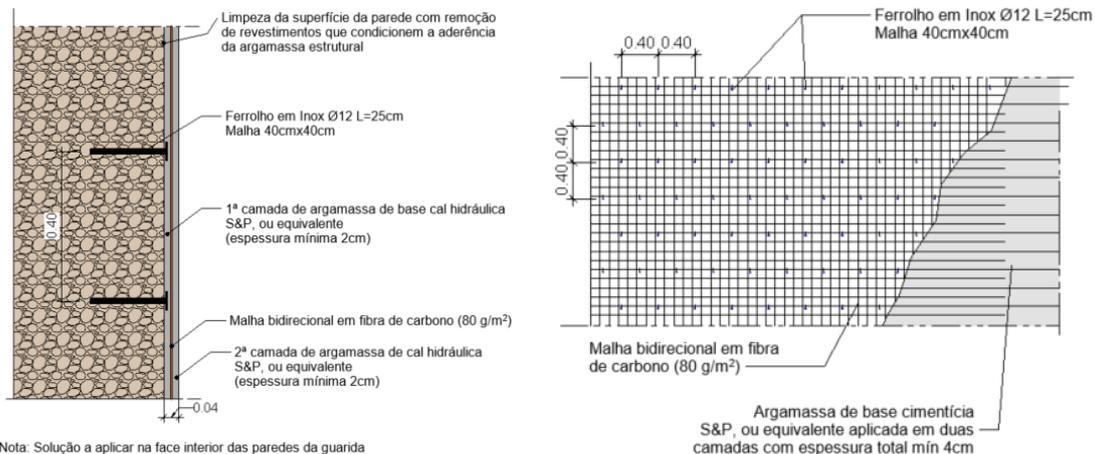


Figura 14 – Pormenor de reforço interior da guarida através de argamassa reforçada com fibras de carbono

8 FASEAMENTO CONSTRUTIVO

Neste capítulo apresentam-se de forma geral os faseamentos aplicados para as soluções descritas anteriormente.

8.1 Solução de Contenção Provisória e Fase Definitiva

1. Instalação e zeragem de parte do sistema de instrumentação a implementar, em particular a instalação dos inclinómetros e piezómetro;
2. Realização de vistoria aos edifícios adjacentes ao recinto da escavação;
3. Levantamento e eventual desvio dos serviços que possam vir a ser afetados pela intervenção, localizados nos arruamentos adjacentes;
4. Preparação da plataforma de trabalho e dos respetivos acessos, devidamente compatibilizada com a solução adotada, para execução da cortina de estacas constituintes do alçado norte. Incluindo a demolição/remoção faseada das construções existentes no local;
5. Execução das estacas moldadas em betão armado pertencentes ao alçado norte, com recurso a tecnologia adequada, de forma a garantir a colocação de armadura em todo o seu comprimento;
6. Execução da viga de coroamento de ligação das estacas já executadas, betonada, na face de extradorso, contra o terreno. Acompanhada da instalação e zeragem dos alvos topográficos definidos no Plano de Instrumentação e Observação;
7. Preparação da plataforma de trabalho e dos respetivos acessos, devidamente compatibilizada com a solução adotada, para execução das estacas constituintes do alçado sul. Incluindo a demolição/remoção faseada das construções existentes no local, execução de aterro nas áreas necessárias, por forma a garantir as cotas de topo das contenções previstas, e reperfilamento do talude existente;
8. Execução das restantes estacas moldadas em betão armado, com recurso a tecnologia adequada, de forma a garantir a colocação de armadura em todo o seu comprimento;
9. Execução da restante viga de coroamento de ligação entre todas as estacas, betonada, na face de extradorso, contra o terreno. Na zona do emboquilhamento, a viga de coroamento deverá ser betonada contra o muro existente a tardoz e ligado a este através de ferrolhos. Acompanhada da instalação e zeragem dos alvos topográficos definidos no Plano de Instrumentação e Observação;
 - a. Execução dos trabalhos do ponto 1. a 9. do “Faseamento Localizado da Solução de Recalçamento da Muralha do Baluarte”
10. Escavação até à base da 1ª viga de distribuição do alçado norte e até à base da viga de coroamento do alçado sul, incluindo a execução projeção de betão entre estacas, devidamente armado com fibras metálicas e aferrolhado ao longo das estacas;
11. Execução da viga de distribuição do 1º nível no alçado norte, aferrolhada, na face de extradorso, às estacas da cortina e betonada contra estas. Acompanhada da instalação e zeragem dos alvos topográficos definidos no Plano de Instrumentação e Observação;
12. Execução do 1º nível de travamento materializado através de escoras metálicas;
 - a. Execução dos trabalhos do ponto 10. a 12. do “Faseamento Localizado da Solução de Recalçamento da Muralha do Baluarte”

13. Escavação até à base da 2ª viga de distribuição do alçado norte e sul, incluindo a execução projeção de betão entre estacas, devidamente armado com fibras metálicas e aferrolhado ao longo das estacas;
14. Execução das vigas de distribuição metálicas do 2º nível, incluindo execução de cachorros de apoio a estas, devidamente ligados às estacas. Acompanhada da instalação e zeragem dos alvos topográficos definidos no Plano de Instrumentação e Observação;
15. Execução do 2º nível de travamento materializado através de escoras metálicas;
16. Escavação até à cota final de escavação, incluindo a execução projeção de betão entre estacas, devidamente armado com fibras metálicas e aferrolhado ao longo das estacas;
17. Na zona definida, ver peças desenhadas, execução de laje de travamento em betão armado;
18. Na zona definida, ver peças desenhadas, remoção do 2º nível de travamentos metálicos e da respetiva viga de distribuição;
19. Execução de laje de fundo da secção definitiva do túnel, incluindo todos os trabalhos relativos à execução da solução de impermeabilização preconizada em projeto;
20. Remoção de todos os elementos pertencentes ao 2º nível de travamentos metálicos e da respetiva viga de distribuição metálica;
21. Execução da restante estrutura do túnel, incluindo execução de hasteais e laje de cobertura assim como todos os trabalhos relativos à execução da solução de impermeabilização preconizada em projeto;
22. Execução de aterro faseado até à cota do 1º nível de travamento;
23. Remoção de travamentos do 1º nível;
24. Demolição das vigas de coroamento em simultâneo com execução dos trabalhos do ponto 14. do “Faseamento Localizado da Solução de Recalçamento da Muralha do Baluarte”
25. Execução de aterro faseado até à cota final da fase definitiva com reposição de todos os serviços necessários.

8.2 Faseamento Localizado da Solução de Recalçamento da Muralha do Baluarte

1. Execução dos trabalhos descritos até ao 9. do faseamento de “Solução de Contenção Provisória e Fase Definitiva”;
2. Execução dos trabalhos de preservação de restauro prescritos para a muralha do Baluarte e da guarida;
3. Execução das microestacas de apoio à viga de recalçamento;
4. Execução de furação Ø32 da parede existente e da tela plástica de separação;
5. Colocação de tubo PVC;
6. Selagem com grout do espaço entre o tubo PVC e a furação executada;
7. Execução das vigas de recalçamento com a colocação de forquilhas em PVC Ø25 para futura selagem interior do pré-esforço. Inclui execução de chapa de topo e hélices nas microestacas de recalçamento;
8. Colocação das barras GEWI Ø25 e acessórios necessários para o seu tensionamento;
9. Após execução do tensionamento, selagem com grout do espaço entre o tubo PVC e a barra GEWI tensionada, através das forquilhas previamente colocadas aquando da execução da viga de recalçamento;

-
10. Execução dos trabalhos descritos de 10. a 12. do faseamento de “Solução de Contenção Provisória e Fase Definitiva”;
 11. Escavação até à cota do travamento horizontal das microestacas de recalçamento;
 12. Execução da solução de travamento horizontal das microestacas devidamente ligado à cortina de estacas;
 13. Execução dos restantes pontos referidos no faseamento de “Solução de Contenção Provisória e Fase Definitiva”;
 14. Remoção da solução de recalçamento, incluindo demolição das vigas de recalçamento, corte das microestacas e remoção dos perfis horizontais de travamento.

9 PROJETO GEOTÉCNICO DAS CONTENÇÕES PROVISÓRIAS

A análise efetuada visou a realização de um estudo específico visando a análise de tensões e deformações experimentadas pelo solo ao longo das várias fases de execução da obra e as situações mais condicionantes para o dimensionamento estrutural.

9.1 Ações consideradas

As ações consideradas são as apresentadas no Tabela 6.

Tabela 6 - Ações de dimensionamento

Ações	Valor/Observação
CARGAS PERMANENTES	–
Peso próprio	$\gamma_{betão} = 25 \text{ kN/m}^3$
AÇÕES DO SOLO	–
Impulsos do solo	Adotaram-se os coeficientes de impulso horizontal definidos na parametrização geotécnica (ver Tomo II – Volume 2 – Estudo Geológico Geotécnico).
IMPULSOS DE ÁGUA	–
Impulsos hidrostáticos	$\gamma_{água} = 10 \text{ kN/m}^3$ Nível freático definido para cada secção de cálculo. Adotaram-se os níveis definidos nos estudos hidrogeológicos (ver Tomo II – Volume 2 – Estudo Geológico Geotécnico).
SOBRECARGAS À SUPERFÍCIE	–
Carga de ocupação à superfície	10 kN/m^2

9.2 Combinações de Ações

As combinações de ações baseiam-se nas regras definidas na NP EN 1990. Consideram-se as seguintes combinações de ações:

9.2.1 Estados Limite Últimos

Combinação fundamental geral:

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

Em que:

- E_d - valor de cálculo do efeito das ações;
- $\gamma_{G,j}$ – coeficiente parcial relativo à ação permanente j;
- $G_{k,j}$ – valor característico da ação permanente j;
- $\gamma_{Q,1}$ – coeficiente parcial relativo à ação variável de base de combinação 1;
- $Q_{k,1}$ - valor característico da ação variável de base de combinação 1;
- $\gamma_{Q,i}$ – coeficiente parcial relativo à ação variável i;
- $\psi_{0,i}$ – coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável;

$Q_{k,i}$ - valor característico da ação variável acompanhante i .

Combinação característica:

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

Em que:

E_d - valor de cálculo do efeito das ações;

$G_{k,j}$ – valor característico da ação permanente j ;

$\psi_{2,i}$ – coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de uma ação variável;

$Q_{k,i}$ - valor característico da ação variável acompanhante i .

Os coeficientes de redução ψ adotados são os definidos no Tabela 7:

Tabela 7 - Coeficientes de redução

Ação	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecargas	0,70	0,50	0,30

Em Portugal, as verificações respeitantes a estados limites últimos de rotura estrutural ou de rotura do terreno (STR/GEO) em situações persistentes ou transitórias devem ser efetuadas utilizando a Abordagem de Cálculo 1.

Assim, no presente projeto considerou-se a abordagem de cálculo 1 nos seguintes elementos:

- Combinação 1: A1 "+" M1 "+" R1.....(caso geral)
- Combinação 2: A2 "+" M2 "+" R1.....(caso geral)

Para a verificação da segurança aos estados limite serão considerados valores dos coeficientes parciais de segurança relativos às ações, de acordo com o estipulado nas normas NP EN1990 e NP EN1991 (Tabela 8) e aos materiais, segundo os regulamentos correspondentes a cada um destes estados limites (Tabela 9 e Tabela 10).

Tabela 8 - Coeficientes parciais de segurança utilizados nas ações

Ação		Símbolo	STR/GEO	
			A1	A2
Permanentes	Desfavorável	γ_G	1,35	1,00
	Favorável		1,00	1,00
Variável	Desfavorável	γ_Q	1,50	1,30
	Favorável		0,00	0,00

Tabela 9 - Coeficientes parciais de segurança utilizados na minoração das propriedades do terreno

Parâmetro do solo	Símbolo	STR/GEO	
		M1	M2
Ângulo de atrito interno em tensões efetivas	$\gamma_{\phi'}$	1,00	1,25
Coesão em tensões efetivas	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistência ao corte não drenada	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso volúmico	γ_v	1,00	1,00

Tabela 10 - Coeficientes parciais de segurança relativos aos materiais para os estados limites últimos

Material	Símbolo	Situações persistentes e transitórias
Betão	γ_c	1,50
Aço para cambotas metálicas e pregagens expansivas	γ_s	1,15

Os valores dos coeficientes parciais dos materiais para a verificação dos estados limites de utilização são iguais à unidade.

Para a verificação da segurança ao estado limite de levantamento global (UPL) serão considerados os valores dos coeficientes parciais de segurança:

Tabela 11 - Coeficientes parciais de segurança utilizados nas ações.

Ação		Símbolo	UPL
Permanentes	Desfavorável	$\gamma_{G,dst}$	1,00
	Favorável	$\gamma_{G,stb}$	0,90
Variável	Desfavorável	$\gamma_{Q,dst}$	1,50

Tabela 12 - Coeficientes parciais de segurança utilizados na minoração das propriedades do terreno.

Parâmetro do solo	Símbolo	UPL
Ângulo de atrito interno em tensões efetivas ^{a)}	$\gamma_{\phi'}$	1,25
Coesão em tensões efetivas	$\gamma_{c'}$	1,25
Resistência ao corte não drenada	γ_{su}	1,40
^{a)} Este coeficiente é aplicado a $\text{tg } \phi'$		

Para a verificação da segurança ao estado limite de levantamento hidráulico (HYD) serão considerados valores dos coeficientes parciais de segurança:

Tabela 13 - Coeficientes parciais de segurança utilizados nas ações.

Ação		Símbolo	HYD
Permanentes	Desfavorável	$\gamma_{G,dst}$	1,35
	Favorável	$\gamma_{G,stb}$	0,90
Variável	Desfavorável	$\gamma_{Q,dst}$	1,50

Os valores dos coeficientes parciais dos materiais para a verificação dos estados limites de utilização são iguais à unidade.

A verificação de segurança em relação aos estados limites últimos estruturais é garantida com base na seguinte condição:

$$S_d \leq R_d$$

em que S_d e R_d se designam respetivamente os valores de dimensionamento do esforço atuante e do esforço resistente.

Na consideração de um estado de limite de rotura ou de deformação excessiva de um elemento estrutural ou do terreno (STR ou GEO) deve ser feita a verificação de que:

$$E_d \leq R_d$$

em que E_d e R_d se designam respetivamente o valor de cálculo do efeito das ações e da capacidade resistente em relação a uma ação.

Na verificação dos estados limites de utilização no terreno ou numa seção, elemento ou ligação estruturais deve ser satisfeita a expressão:

$$E_d \leq C_d$$

em que E_d e C_d se designam respetivamente o valor de cálculo do efeito das ações e o valor limite de cálculo do critério relevante de aptidão para a utilização. A avaliação dos deslocamentos verticais e horizontais para uma estrutura de contenção é realizada considerando a combinação característica.

9.2.2 Estados Limite de Serviço

Combinação característica:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Em que:

E_d - valor de cálculo do efeito das ações;

$G_{k,j}$ - valor característico da ação permanente j ;

$\psi_{0,i}$ - coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável;

$Q_{k,1}$ - valor característico da ação variável de base de combinação 1;

$Q_{k,i}$ - valor característico da ação variável acompanhante i.

Os coeficientes de redução ψ adotados são os definidos no Tabela 7:

Tabela 14 – Revestimento primário. Coeficientes de redução de ações

Ação	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecargas	0,70	0,50	0,30

Os valores dos coeficientes parciais dos materiais para a verificação dos estados limites de utilização são iguais à unidade.

Na verificação dos estados limites de utilização no terreno ou numa seção, elemento ou ligação estruturais deve ser satisfeita a expressão:

$$E_d \leq C_d$$

em que E_d e C_d se designam respetivamente o valor de cálculo do efeito das ações e o valor limite de cálculo do critério relevante de aptidão para a utilização. A avaliação dos deslocamentos verticais e horizontais para uma estrutura de contenção é realizada considerando a combinação.

9.3 Verificação da Segurança

A verificação da segurança dos diversos elementos estruturais que constituem as soluções propostas foi efetuada de acordo com as disposições regulamentares, nacionais e internacionais, em vigor.

As referidas disposições regulamentares traduzem-se na aferição das dimensões médias dos elementos estruturais para um conjunto de situações de projeto a que corresponde uma expectável probabilidade de ocorrência dos estados limite.

Neste contexto, estes estados constituem limites para além dos quais a estrutura deixa de satisfazer os requisitos fundamentais de projeto, nomeadamente estados limites últimos e estados limites de utilização.

Com vista à verificação de segurança dos diversos elementos, as ações foram agrupadas nas seguintes combinações de ações:

Tabela 15 – Combinações de ações consideradas nas verificações de segurança

Verificações de segurança	Combinação
Estados Limites Últimos (ELU)	Combinações fundamentais de ações
Estado Limite de Utilização (ELS)	Combinação característica de ações

Para a verificação da segurança aos estados limites referidos foram considerados valores dos coeficientes parciais de segurança relativos às ações e aos materiais, segundo os regulamentos correspondentes a cada um destes.

Nesta fase de estudo consideraram-se relevantes as verificações da segurança aos estados limites dos elementos estruturais indicados na Tabela 16, sendo as mesmas efetuadas de acordo com as disposições das normas NP EN 1992-1, NP EN 1993-1 e NP EN 1997-1.

Tabela 16 – Verificações de segurança associadas às contenções provisórias

	Tipo de verificação	
Verificação da Segurança aos Estados Limites Últimos (ELU)	Cortina de estacas	Estado limite último de resistência à flexão
		Estado limite último de resistência ao corte
	Microestacas	Estado limite de resistência da seção
		Estado limite último de capacidade de carga do terreno (atrito lateral)
		Estado limite último de resistência à encurvadura por varejamento
	Escoras	Estado limite último de resistência à encurvadura por varejamento
	Vigas de coroamento, distribuição e recalçamento, em betão armado	Estado limite último de resistência à flexão
		Estado limite último de resistência ao corte
	Vigas de distribuição metálicas	Estado limite último de resistência à flexão
		Estado limite último de resistência ao corte
Betão projetado	Estado limite último de resistência em flexão composta do revestimento em betão projetado reforçado com fibras metálicas	
	Estado limite último de resistência ao esforço transversal/corte do revestimento em betão projetado reforçado com fibras metálicas	
Verificação da Segurança ao Estado Limite de Utilização (ELS)	Cortina de estacas	Deformação horizontal
	Terreno envolvente	Assentamentos das estruturas localizadas na zona de influência da escavação

Apresenta-se na Nota de Cálculo, apenas algumas das verificações de segurança resumidas para os elementos principais da solução definida.

