



Metropolitano de Lisboa

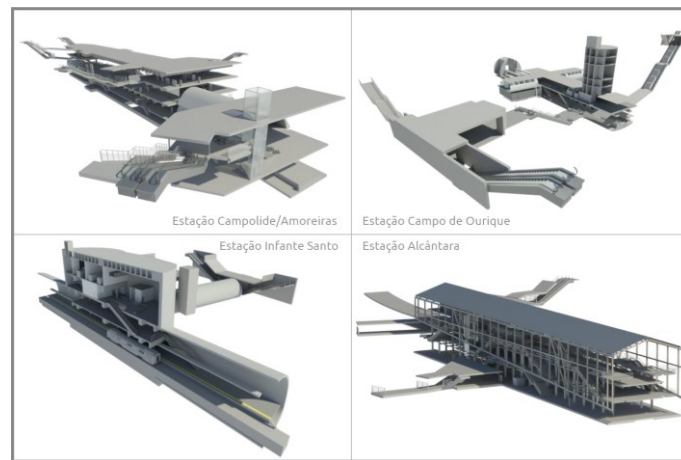


METRO DE LISBOA

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

NOTA DE CÁLCULO – ESTRUTURAS DEFINITIVAS

Documento SAP:	LVSSA MSA PE STR TUN OE5 NC 088002 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.....	6
2	SISTEMAS DE UNIDADES	7
3	REGULAMENTAÇÃO/NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA TÉCNICA.....	8
4	MODELOS DE CÁLCULO.....	10
5	CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA	11
5.1	Estado limite de levantamento global (UPL).....	11
5.2	Estados Limites Últimos (ELU).....	11
5.3	Estados Limites de Utilização (ELS)	12
6	RESUMO DAS VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA	13
6.1	Estado Limite Último de resistência à flexão de elementos	13

Índice de Figuras

Figura 1 – Secção do Túnel do Metro (SAP 2000)	10
---	----

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Verificação de segurança ao estado limite último de resistência à flexão..... 13

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Nota de Cálculo das estruturas definitivas 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 SISTEMAS DE UNIDADES

O sistema de unidades utilizado na elaboração do Projeto é o Sistema Internacional de Unidades (SI). As principais unidades utilizadas são as seguintes:

- Comprimento: metro (m).
- Força: quilonewton (kN).
- Momento: quilonewton metro (kN.m).
- Tensão no terreno: quilonewton por metro quadrado (kN/m^2) ou quilopascals (kPa).
- Tensão nos elementos estruturais: newton por milímetro quadrado (N/mm^2) ou megapascals (MPa).
- Peso específico: quilonewton por metro cúbico (kN/m^3).

3 REGULAMENTAÇÃO/NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA TÉCNICA

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.

4 MODELOS DE CÁLCULO

No dimensionamento estrutural e geotécnico da estrutura definitiva do túnel a análise estrutural foi realizada com base em modelos planos para o dimensionamento das secções representativas da secção do túnel.

Os modelos adotados foram realizados com recurso ao programa de elementos finitos SAP 2000, o qual permite modelar a secção bidimensional do túnel.

O túnel foi modelado através de elementos de barra apoiadas ao longo do seu contorno através de molas elásticas com valor da rigidez equivalente do solo confinante.

Com base no modelo consideram-se os esforços obtidos para se realizar as verificações de segurança dos elementos estruturais em relação aos estados limites últimos de rotura e aos estados limites de utilização. Os esforços resistentes foram, em geral, determinados a partir de folhas de cálculo ou, em alternativa, a partir de programas de cálculo automático.

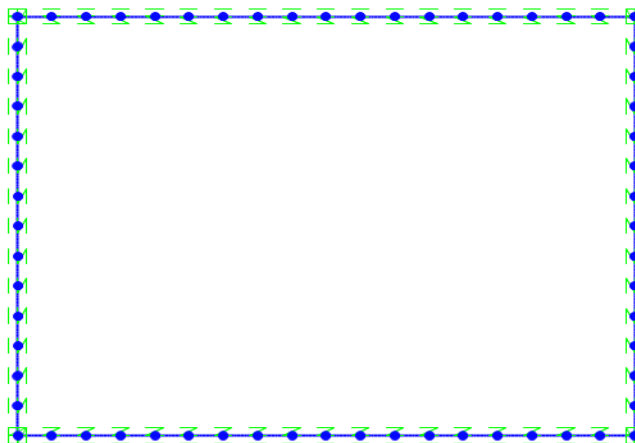


Figura 1 – Secção do Túnel do Metro (SAP 2000)

5 CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

5.1 Estado limite de levantamento global (UPL)

A verificação ao estado limite de levantamento global é efetuada segundo o estipulado na NP EN 1997-1. Garante-se a verificação da seguinte condição:

$$V_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d$$

Sendo:

$V_{dst;d}$ o valor de cálculo da combinação das ações verticais desestabilizantes permanentes e variáveis;

$G_{stb;d}$ o valor de cálculo das ações verticais permanentes estabilizantes;

R_d o valor de cálculo de qualquer capacidade resistente adicional ao levantamento global

Os coeficientes de segurança parciais a utilizar são os estipulados nos quadros A15 a A16 da NP EN 1997-1.

5.2 Estados Limites Últimos (ELU)

A verificação da segurança aos estados limites últimos dos elementos de betão armado foi efetuada de acordo com as disposições da NP EN 1992-1.

Para a verificação da segurança aos estados limites últimos de resistência dos elementos de betão armado foram considerados valores dos coeficientes parciais de segurança, relativos as ações e aos materiais. Foram realizadas as seguintes verificações de segurança, consideradas como condicionantes:

- Estado limite último de resistência à flexão;
- Estado limite último de resistência a flexão composta (quando relevante);
- Estado limite último de resistência ao esforço transversal.

Foi igualmente verificado o estado limite último de resistência do solo de fundação.

A verificação da segurança em relação aos Estados Limite Últimos (ELU) foi realizada em termos de resistências, respeitando a condição,

$$S_d \leq S_r$$

em que S_d é o valor de cálculo do esforço atuante e S_r é o valor de cálculo do esforço resistente.

A verificação da segurança estrutural para a ação do fogo são considerados os seguintes critérios:

1. Manter a função de suporte de carga em pelo menos durante 120 minutos;
2. Limitação da propagação de fogo (chamas, gases quentes, excesso de calor).

Estes critérios são cumpridos adotando-se as disposições prescritas no EN 1992 1-2, no qual são apresentados valores tabelados que indicam as dimensões mínimas para elementos estruturais bem como os recobrimentos mínimos das armaduras.

No que se refere aos recobrimentos, os valores mínimos apresentados no quadro do capítulo 5 da EN 1992 1-2 são em geral inferiores aos mínimos necessários para garantir os requisitos de durabilidade. Na Memória Descritiva são apresentados os valores dos recobrimentos adotados para cada elemento estrutural com vista a garantir o requisito de durabilidade e de resistência ao fogo.

5.3 Estados Limites de Utilização (ELS)

A verificação da segurança aos estados limites de utilização das estruturas de betão armado foi efetuada de acordo com as disposições da NP EN 1992-1.

- Limitação das tensões de compressão no betão armado:
- Controle da fendilhação para os elementos de betão armado:
 - Abertura de fendas: limitou-se a abertura de fendas a $w_k = 0,3$ mm para a combinação quase-permanente.
 - Garantiu-se a adoção de armaduras mínimas para os efeitos provocados por deformações impedidas de retração;
 - Garantiu-se a adoção de armadura de alma nas faces laterais em vigas com altura superior a 1m.
- Controle da Deformação para os elementos de betão armado:
 - Limitação das flechas de lajes e vigas a $l/250$ para a combinação de ações quase permanente.
 - Limitação das flechas de elementos estruturais suscetíveis de danificar elementos adjacentes à estrutura, ou equipamentos a $l/500$ para a combinação de ações quase permanente.

6 RESUMO DAS VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA

Neste capítulo apresentam-se apenas as verificações de segurança associadas ao dimensionamento dos elementos principais constituintes da estrutura definitiva do túnel. Os esforços apresentados dos respetivos elementos foram obtidos ou extrapolado através dos modelos de cálculo apresentados e desenvolvidos.

6.1 Estado Limite Último de resistência à flexão de elementos

Apresenta-se em seguida em forma de tabela a verificação ao estado limite respetivo.

Tabela 1 – Verificação de segurança ao estado limite último de resistência à flexão

Elemento	Msd [kNm]	b [m]	d [m]	u	As,nec [cm ²]	As, adotada [cm ²]
Laje de cobertura	500	1,0	0,75	0,0444	15,76	31,42 (20//0,10)
	1354	1,0	0,75	0,1204	45,07	49,09 (25//0,10)
Hasteal	681	1,0	0,65	0,0806	25,40	49,09 (25//0,10)
	1070	1,0	0,65	0,1266	41,30	49,09 (25//0,10)
Laje de fundo	920	1,0	0,75	0,0818	29,75	49,09 (25//0,10)
	960	1,0	0,75	0,0853	31,12	49,09 (25//0,10)

Conforme apresentado na tabela, considera-se verificada a segurança no que diz respeito ao estado limite último em análise.

