

TIPO DE VERIFICAÇÃO		
	Elementos metálicos	Estado limite último de resistência à flexão
		Estado limite último de resistência à encurvadura por varejamento
		Estado limite último de resistência à encurvadura por flexão torção
		Estado limite último de resistência ao esforço transversal

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.

Na 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. Limitar a propagação de fogo (chamas, gases quentes, excesso de calor).

8.5.3 Verificação da Segurança aos Estados Limites de Utilização (ELS)

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

- Limitação das tensões de compressão no betão:
 - $\sigma_c \leq 0.6 f_{ck}$ (combinação característica)
 - $\sigma_c \leq 0.45 f_{ck}$ (combinação quase-permanente)
 - $\sigma_s \leq 0.8 f_{yk}$ (combinação característica, cargas aplicadas) – armadura
 - $\sigma_s \leq 1.0 f_{yk}$ (combinação característica, deformações impostas) – armadura
- Controlo da fendilhação para os elementos de betão armado:
 - Abertura de fendas: limita-se a abertura de fendas a $w_k = 0,3$ mm para a combinação quase-permanente.
 - Garante-se a adoção de armaduras mínimas para os efeitos provocados por deformações impedidas de retração.
 - Garante-se a adoção de armadura de alma nas faces laterais em vigas com altura superior a 1m.
- Limitação de deformação em elementos horizontais (lajes e vigas)
 - $\delta_{max} \leq L/250$ - Flecha total, combinação quase-permanente
 - $\delta_{max} \leq L/500$ - Flecha ativa, combinação quase-permanente
- Controle de vibração
 - Pavimentos, controle da frequência própria vertical – $f_{vertical} \geq 5$ Hz

- Todos os pavimentos da estação devem cumprir os critérios de conforto definidos na publicação “HIVOSS – Vibrações em Pavimentos – recomendações Técnicas de projeto”.

8.5.4 Verificação da Resistência ao fogo

A verificação da segurança em elementos de betão armado é garantida mediante a especificação de recobrimentos iguais ou superiores aos valores tabelados para as diferentes classes de resistência ao fogo na NP-EN 1992-1-2.

Em estruturas metálicas a resistência ao fogo é garantida mediante a utilização de um esquema de pintura que garanta a classe de resistência ao fogo necessária.

Estabelece-se uma classe de resistência ao fogo R120 para a estação e galerias de acesso.

9 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

9.1 Junta de contração

Serão previstas juntas de contração em zonas de transição de comportamento estrutural da estrutura, de forma a evitar efeitos localizados que poderão ser nefastos para o comportamento das zonas da estrutura, nomeadamente na ligação aos acessos e à OE2.

9.2 Estanqueidade

A aplicação do sistema de impermeabilização descrito no ponto 5.2 acima garantirá a estanqueidade da estação.

As juntas de contração serão munidas de lâminas de estanqueidade tipo *Waterstop* em PVC.

10 REDE DE TERRAS

A rede de terras proposta tem com objetivo garantir que as tensões de passagem e de contato de um eventual defeito, não excedem os valores regulamentares.

Todas as estruturas metálicas e massas da instalação serão ligadas a este sistema de terra.

As ligações entre os cabos da malha de terras e as varetas de aço cobreado, serão feitas por soldadura aluminotérmica.

A rede de terras será constituída pelos subsistemas que compõe a SET, existindo na estação poços de terra para os sistemas 30 kV, BT e 750 Vcc.

Nos desenhos de arquitetura encontram-se localizados os poços de terra.

Atendendo ao elevado nível freático da zona, os poços terra serão executados, na sua totalidade, com a instalação do elétrodo de terra, na fase de Toscos. Assim, teremos:

- A execução dos negativos e/ou das furações na laje, até atingir o terreno;
- Fornecimento e instalação dos elétrodos de cobre e enchimento com terra vegetal de boa qualidade;
- Medição da resistência de terra e sua aprovação pela Fiscalização/ Dono de Obra;
- Enchimento com o betão pobre;
- Fornecimento e instalação da tampa em chapa xadrez.

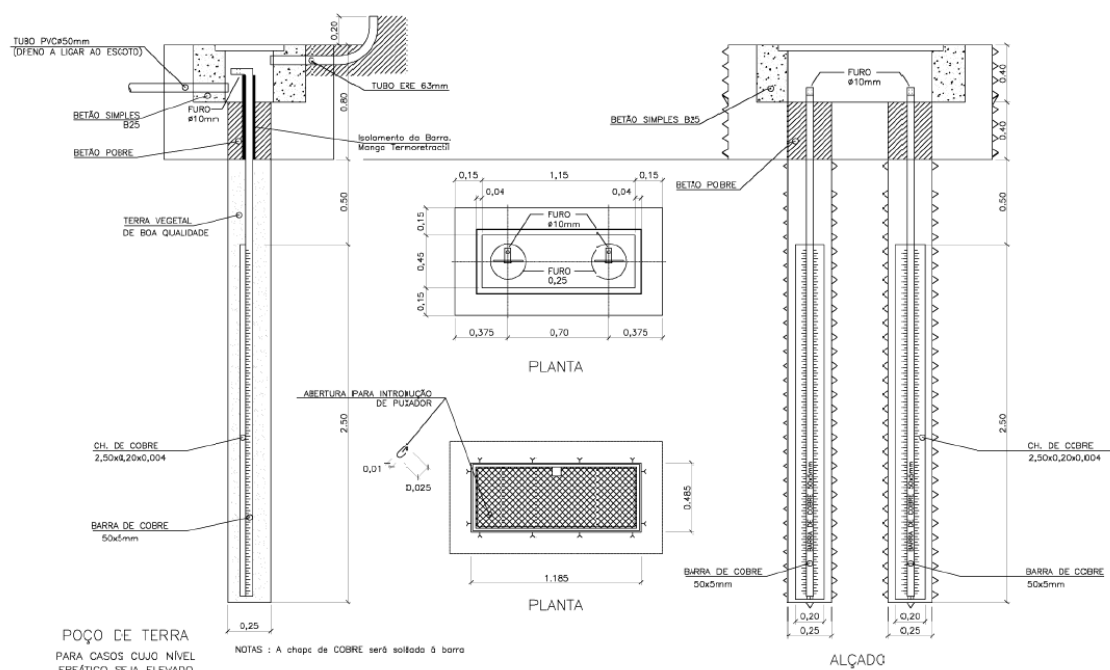


Figura 8 – Pormenores tipo dos poços de terra.

Os elétrodos de terra deverão assegurar uma resistência de terra sempre inferior a 1Ω , pelo que deverá ser considerado o fornecimento de terra vegetal de boa qualidade para o enchimento dos poços terra.

A terra vegetal deverá ser proveniente da camada superficial de terrenos de mata ou camada de terrenos agrícolas; estar isenta de pedras com dimensões superiores a 0.05 m e de materiais

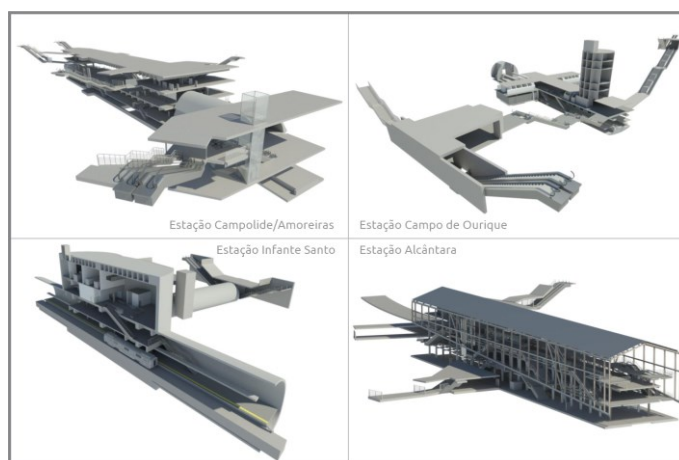
estranhos provenientes de incorporação de lixo; estar isenta de infestantes; apresentar uma composição uniforme, sem qualquer mistura de subsolo; ter uma textura franca; conter um teor de matéria orgânica não inferior a 4% e o PH situar-se entre os 6.5 e 7.5.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As soluções apresentadas foram desenvolvidas a partir dos elementos base, citados no capítulo 2, assim como nos pressupostos igualmente referidos no presente documento. Neste contexto, conforme prática corrente em intervenções com o enquadramento geológico e geotécnico da presente, todos os elementos de base e todos os pressupostos considerados deverão ser confirmados em fase de obra. Qualquer retificação dos mesmos determinará a necessidade de averiguar as suas consequências ao nível da segurança das soluções propostas e, se justificável, proceder à sua revisão. Neste âmbito, consideram-se particularmente importantes os seguintes aspetos:

- a) A confirmação do zonamento geológico-geotécnico e hidrogeológico e confirmação das características geomecânicas dos terrenos interessados pela intervenção, para tal considera-se particularmente relevante a análise dos materiais recolhidos durante a escavação e furação;
- b) Confirmação da compatibilização das soluções propostas com as definidas no âmbito dos trabalhos das restantes especialidades em particular: Arquitetura, Estruturas e Drenagem.

METRO DE LISBOA
LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA
EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO
PROLONGAMENTO DA LINHA
PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO VI – POÇOS DE VENTILAÇÃO
VOLUME 1 – POÇO DE VENTILAÇÃO PV211
NOTA DE CÁLCULO – ESTRUTURAS DEFINITIVAS

Documento SAP:	LVSSA MSA PE STR PVE PV211 NC 086001 0
-----------------------	--

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado	André Henriques		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

1	OBJETIVO E ÂMBITO.....	3
2	SISTEMAS DE UNIDADES.....	4
3	REGULAMENTAÇÃO/NORMATIVA E BIBLIOGRAFIA TÉCNICA.....	5
4	MODELOS DE CÁLCULO	7
4.1	Revestimento definitivo do poço de ventilação.....	7
4.2	Revestimento definitivo do túnel de ligação.....	7
4.2.1	Modelo de cálculo	7
5	CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA.....	9
5.1	Estado limite de levantamento global (UPL).....	9
5.2	Estado Limite Último (ELU)	9
5.2.1	Resistência à flexão de elementos	10
5.2.2	Resistência ao corte de elementos	10
5.3	Estado Limite de Utilização (ELS)	10
5.4	Verificação da Resistência ao fogo.....	11
6	RESUMO DAS VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA.....	12
6.1	Estado Limite Último (ELU)	12
6.2	Estado Limite de Serviço (ELS).....	15

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Nota de Cálculo das estruturas definitivas do Poço de Ventilação PV211**, no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do **Tomo VI – Poços de Ventilação do Volume 2 – Estruturas**.

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

O Projeto será desenvolvido de acordo com a regulamentação nacional em vigor, ou europeia em caso de omissão, destacando-se as seguintes normas:

- 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 – 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 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

Para o dimensionamento das estruturas definitivas, foram utilizadas metodologias de cálculo distintas para o poço de ventilação e o túnel de ligação, seguindo o exposto nos subcapítulos seguintes.

4.1 Revestimento definitivo do poço de ventilação

O dimensionamento do revestimento provisório e definitivo do poço de ventilação foi realizado de acordo com o exposto na memória descritiva, considerando os impulsos do terreno atuantes sobre a estrutura, bem como os impulsos gerados pelas sobrecargas provenientes da superfície.

Os elementos interiores do poço foram analisados com base em modelos simplificados, recorrendo, para tal, aos conceitos associados à teoria das peças lineares.

4.2 Revestimento definitivo do túnel de ligação

O dimensionamento do revestimento definitivo do túnel de ligação, foi realizado com recurso a um programa de cálculo automático de elementos finitos, o SAP2000.

O modelo desenvolvido segue o método das reações hiperestáticas, sendo que a interação solo-estrutura foi considerada através de molas com comportamento elástico perfeitamente plástico, permitindo compressões sem limite assinalável, mas não permitindo trações, tendo-se recorrido a análises fisicamente não-lineares para a obtenção dos esforços devidos aos carregamentos regulamentares.

Com base nos esforços obtidos, realizaram-se 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.

Os elementos interiores do túnel de ligação (lajes e pilares) foram analisados com base em modelos simplificados, recorrendo, para tal, aos conceitos associados à teoria das peças lineares.

4.2.1 Modelo de cálculo

O revestimento definitivo foi modelado segundo a sua linha média com elementos de barra. O módulo de reação (k) dos apoios elásticos foi estimado a partir do módulo de deformabilidade (E) e do coeficiente de Poisson (ν) dos complexos geomecânicos interessados, de acordo com a seguinte expressão:

$$k = \frac{E}{R(1 + \nu)}$$

em que R representa o raio do revestimento definitivo.

Na **Figura 1** apresenta-se o modelo desenvolvido para o túnel de ligação.

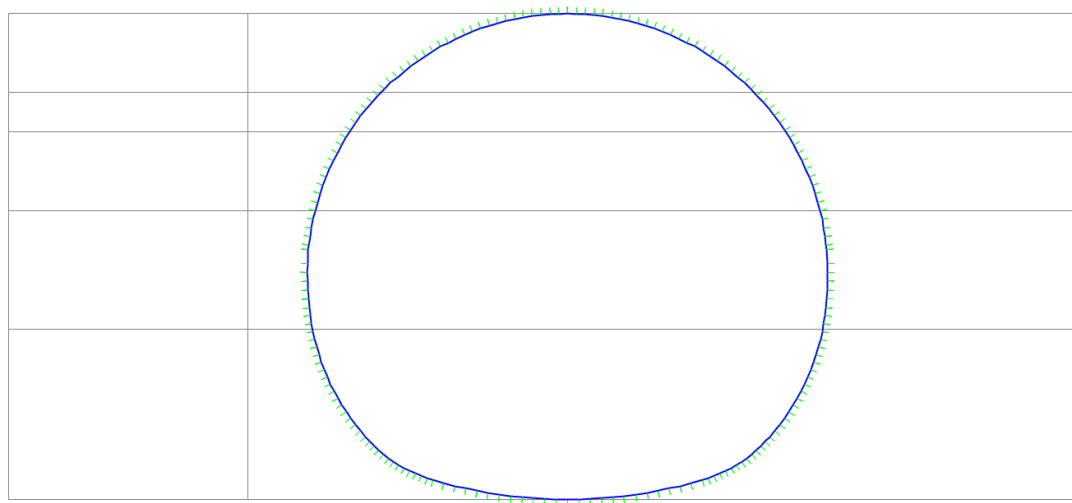


Figura 1 – Modelo de SAP 2000 desenvolvido para o túnel de ligação

5 CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DE 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 Estado Limite Último (ELU)

Os critérios de dimensionamento das estruturas de betão armado e metálicas são os fixados na regulamentação nacional aplicável, nomeadamente nas Normas NP EN1992, NP EN 1993 e NP EN 1998. O dimensionamento e verificação estrutural dos diversos elementos e secções foi efetuado com base em programas próprios, tendo em conta a regulamentação estrutural já referida.

Para a verificação da segurança aos estados limites últimos de resistência foram considerados valores dos coeficientes parciais de segurança, relativos às ações e aos materiais.

Tabela 1 – Verificações de segurança associadas às estruturas definitivas

	TIPO DE VERIFICAÇÃO	
Verificação da Segurança aos Estados Limites Últimos (ELU)	Elementos em betão armado	Estado limite último de resistência à flexão
		Estado limite último de resistência à flexão composta (quando relevante)
		Estado limite último de resistência ao corte
		Estado limite último de resistência ao punçoamento
		Estado limite último de descompressão para os elementos pré-esforçados
	Elementos metálicos	Estado limite último de resistência à flexão
		Estado limite último de resistência à encurvadura por varejamento
		Estado limite último de resistência à encurvadura por flexão torção
		Estado limite último de resistência ao esforço transversal

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.

5.2.1 Resistência à flexão de elementos

De acordo com o Eurocódigo 2, a verificação ao Estado Limite Último de resistência à flexão foi assegurada através da seguinte condição:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

onde:

M_{Ed} valor de cálculo do momento fletor atuante;

M_{Rd} valor de cálculo da resistência máxima do elemento estrutural.

5.2.2 Resistência ao corte de elementos

De acordo com o Eurocódigo 2, no âmbito da verificação do Estado Limite Último de resistência ao esforço transversal, deverá satisfazer-se a seguinte condição:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,S}$$

Em que:

V_{Ed} valor de cálculo do esforço transversal atuante;

$V_{Rd,S}$ valor de cálculo do esforço transversal que pode ser suportado por um elemento com armadura específica de esforço transversal;

A armadura de esforço transversal é calculada de forma a satisfazer $V_{Ed} \leq V_{Rd,S}$. De entre os métodos de cálculo disponíveis optou-se por se seguir o disposto no método das bielas de inclinação variável, para elementos com armadura de esforço transversal constituída por estribos verticais.

$$V_{Rd,S} = \frac{A_{sw}}{s} \times z \times b \times f_{ywd} \times \cot \theta$$

onde:

θ – ângulo das bielas de betão com o eixo do elemento;

A_{sw} – área da armadura de esforço transversal;

s – espaçamento da armadura de esforço transversal;

z – para um elemento de altura constante, representa o binário das forças interiores correspondente ao momento fletor máximo no elemento que está a ser considerado. Usualmente pode recorrer-se ao valor aproximado $z=0,9d$.

f_{ywd} – valor de cálculo da tensão de cedência da armadura de esforço transversal;

1. Da aplicação desta expressão resultam, para verificação da condição $V_{Ed} \leq V_{Rd,S}$, as áreas de armadura transversal a adotar nos elementos de betão armado

5.3 Estado Limite de Utilização (ELS)

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

- Limitação das tensões de compressão no betão:

- $\sigma_c \leq 0.6 f_{ck}$ (combinação característica)
- $\sigma_c \leq 0.45 f_{ck}$ (combinação quase-permanente)
- $\sigma_s \leq 0.8 f_{yk}$ (combinação característica, cargas aplicadas) – armadura
- $\sigma_s \leq 1.0 f_{yk}$ (combinação característica, deformações impostas) – armadura
- Controlo da fendilhação para os elementos de betão armado:
 - Abertura de fendas: limita-se a abertura de fendas a $w_k = 0,3$ mm para a combinação quase-permanente.
 - Garante-se a adoção de armaduras mínimas para os efeitos provocados por deformações impedidas de retração.
 - Garante-se a adoção de armadura de alma nas faces laterais em vigas com altura superior a 1m.
- Limitação de deformação em elementos horizontais (lajes e vigas)
 - $\delta_{max} \leq L/250$ - Flecha total, combinação quase-permanente
 - $\delta_{max} \leq L/500$ - Flecha ativa, combinação quase-permanente
- Controle de vibração
 - Pavimentos, controle da frequência própria vertical – $f_{vertical} \geq 5\text{Hz}$
 - Todos os pavimentos da estação devem cumprir os critérios de conforto definidos na publicação “HIVOSS – Vibrações em Pavimentos – recomendações Técnicas de projeto”.

5.4 Verificação da Resistência ao fogo

A verificação da segurança em elementos de betão armado é garantida mediante a especificação de recobrimentos iguais ou superiores aos valores tabelados para as diferentes classes de resistência ao fogo na NP-EN 1992-1-2.

Em estruturas metálicas a resistência ao fogo é garantida mediante a utilização de um esquema de pintura que garanta a classe de resistência ao fogo necessária.

Estabelece-se uma classe de resistência ao fogo R120 para a estação e galerias de acesso

6 RESUMO DAS VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA

6.1 Estado Limite Último (ELU)

De seguida apresentam-se as verificações da segurança em relação aos estados limites últimos de flexão composta e de esforço transverso. Para fins de dimensionamento, apresenta-se apenas os resultados dos cenários que se mostraram mais desfavoráveis. Os valores apresentados nos diagramas de esforços atuantes já se encontram majorados.

Tabela 2 – Verificação da resistência à flexão composta do revestimento definitivo do poço (1/2).

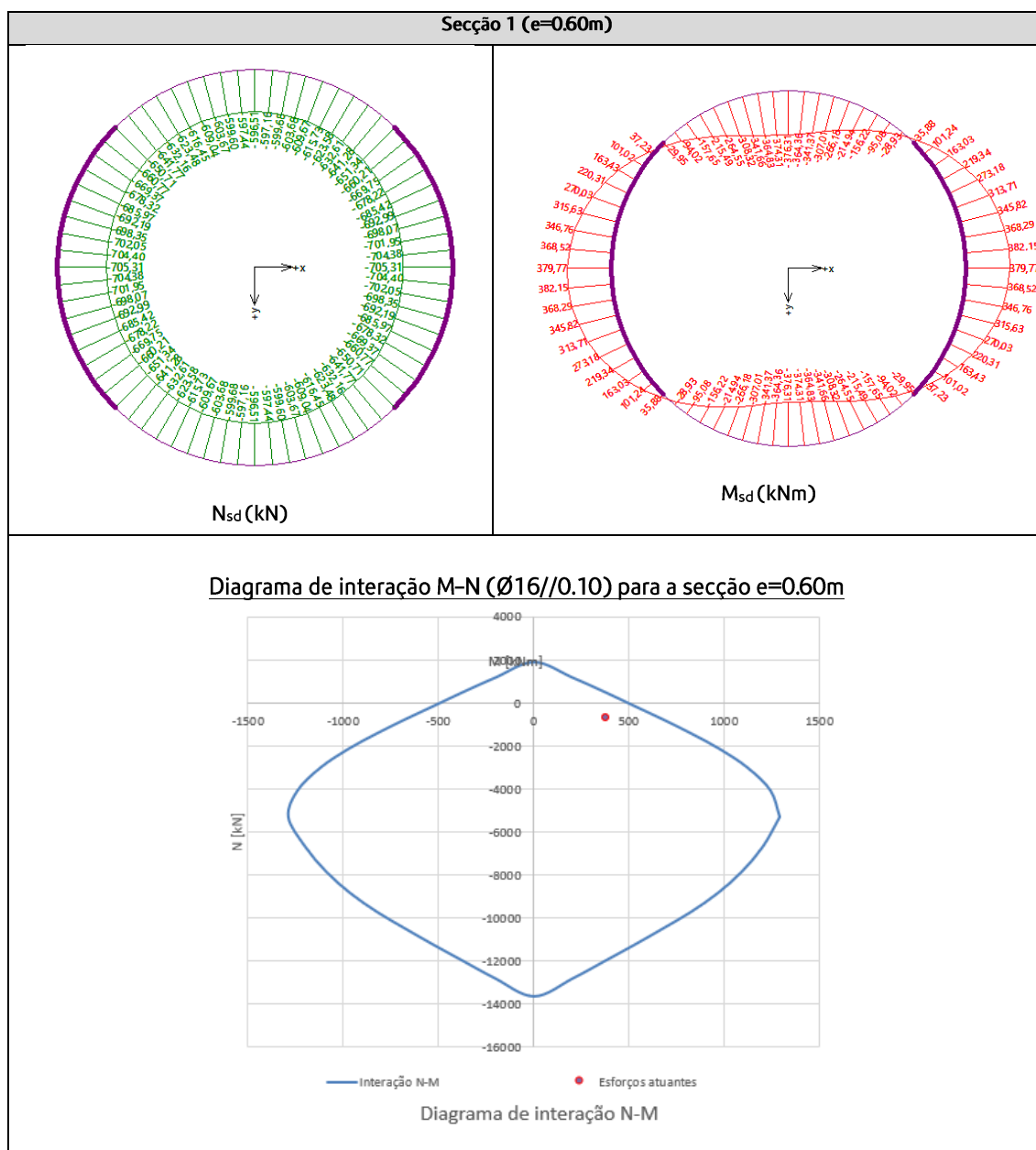


Tabela 3 – Verificação da resistência à flexão composta do revestimento definitivo do poço (2/2).

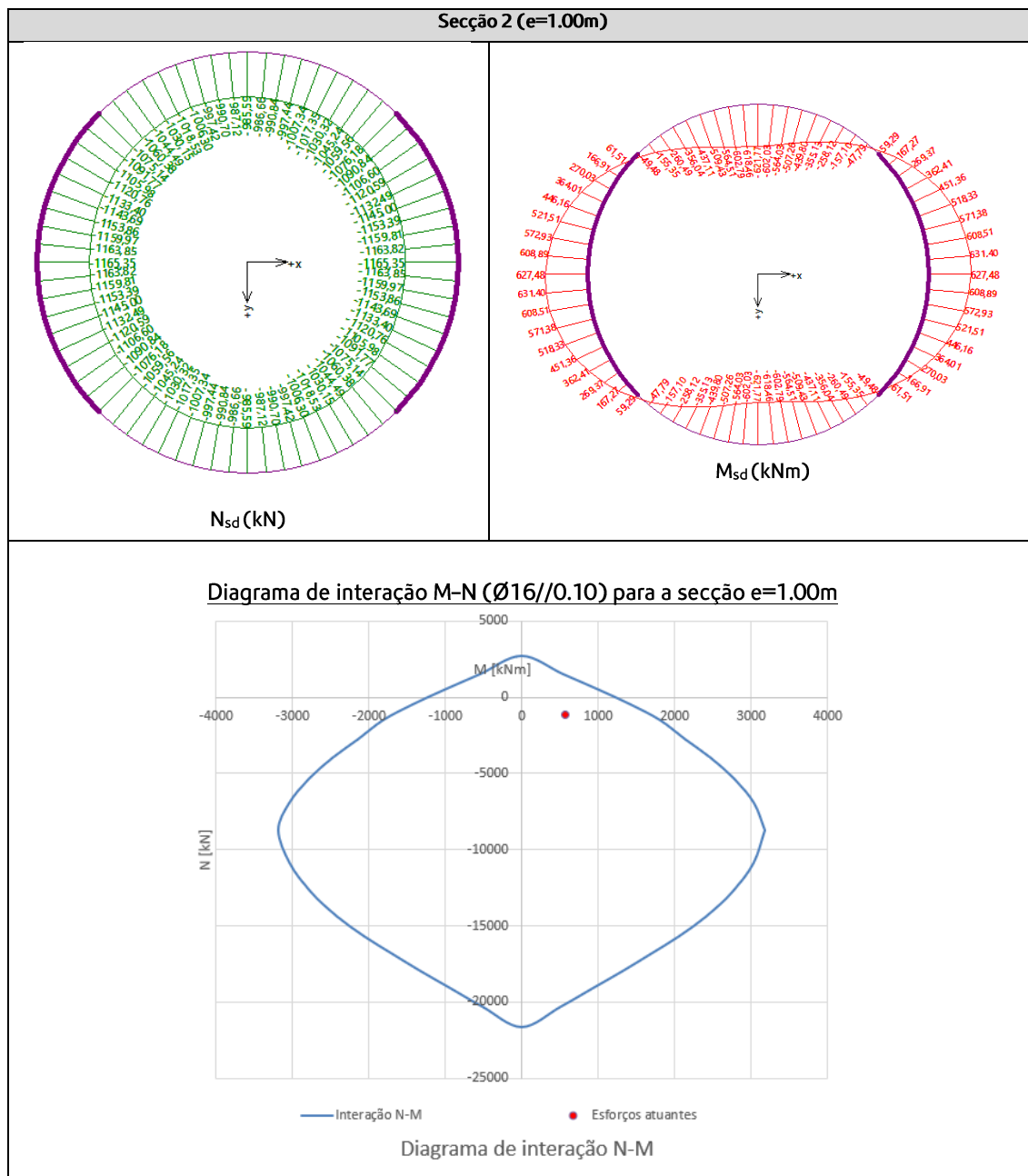


Tabela 4 – Verificação da resistência ao esforço transversal/corte do revestimento definitivo do poço.

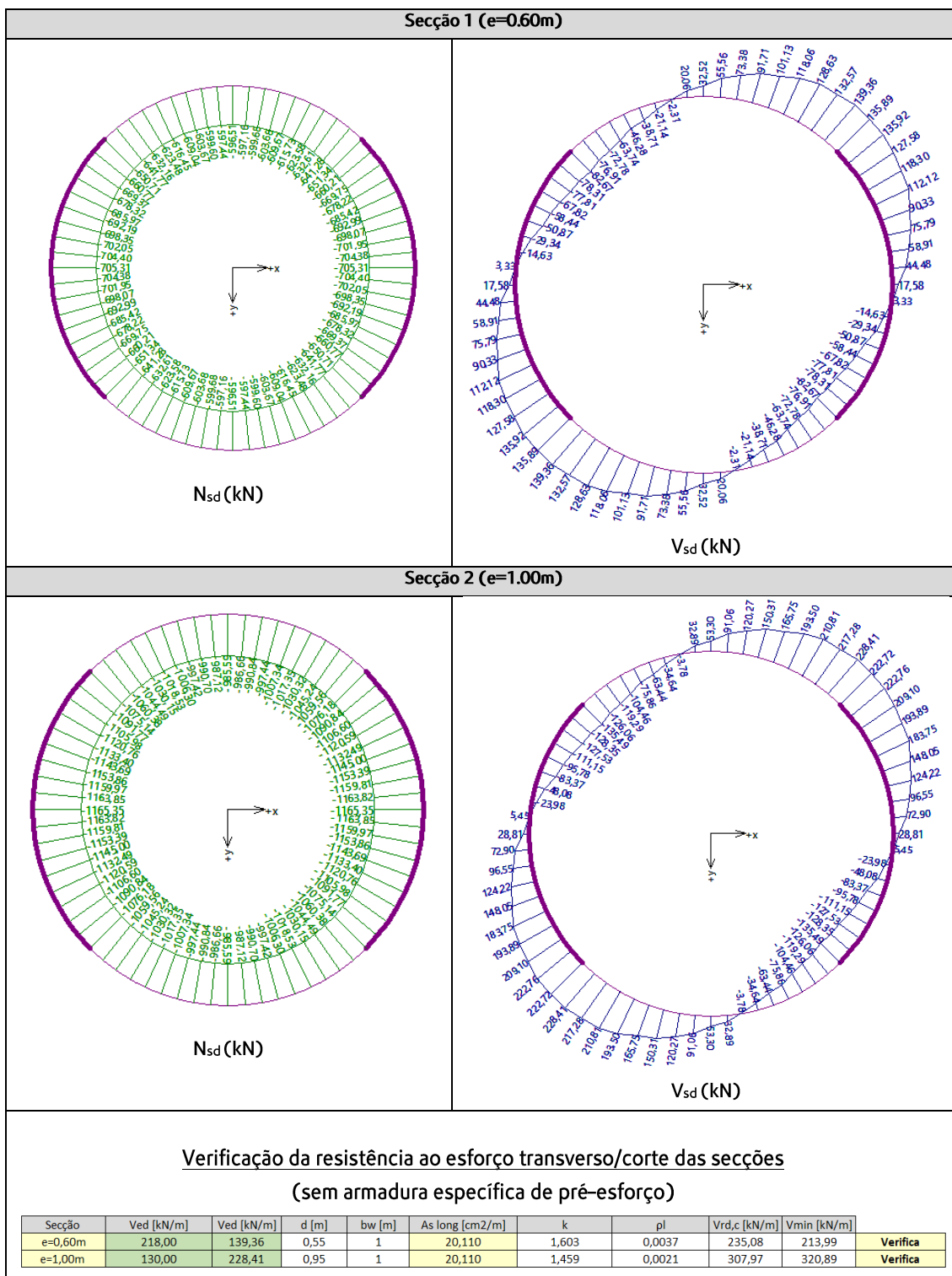
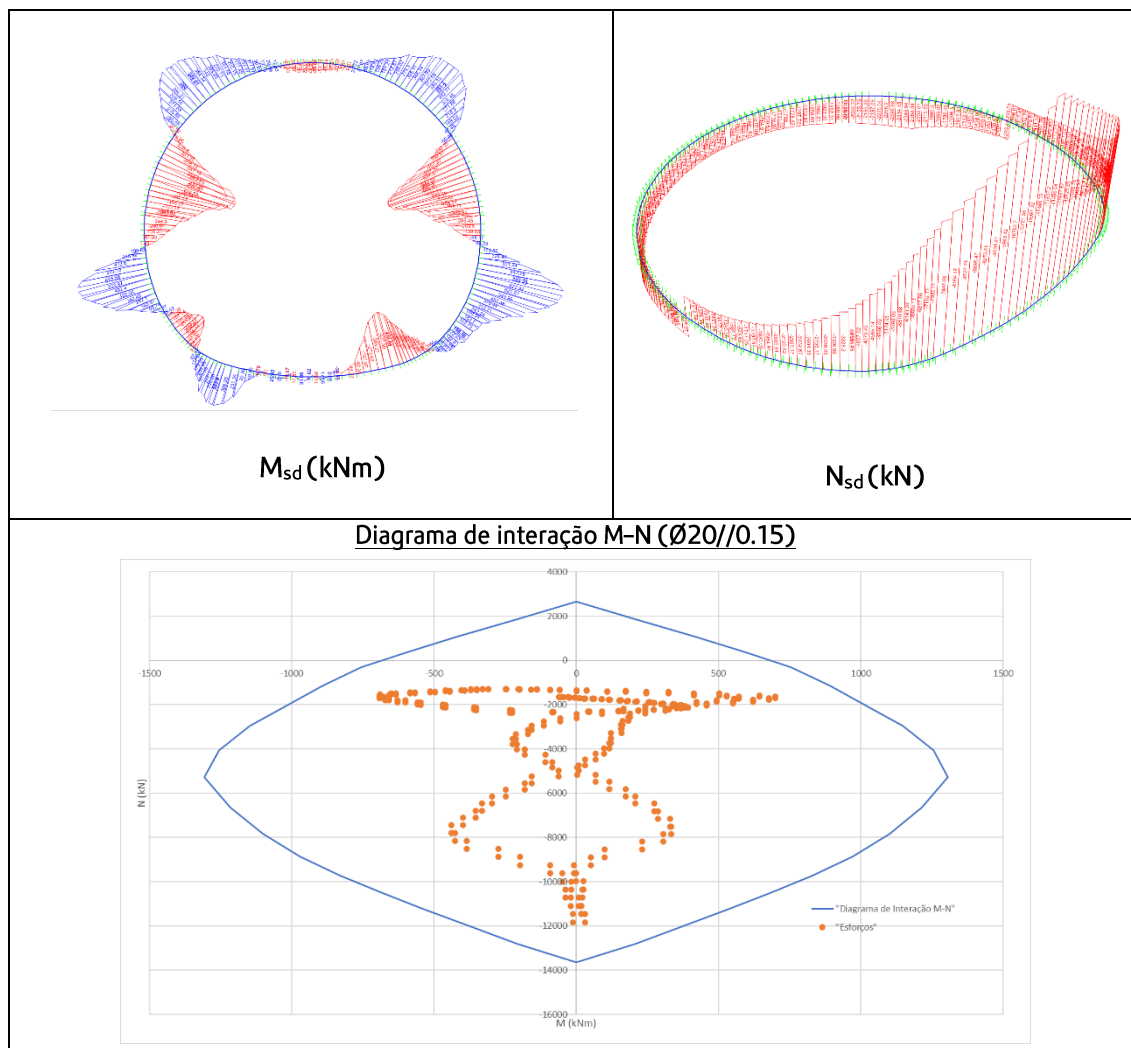


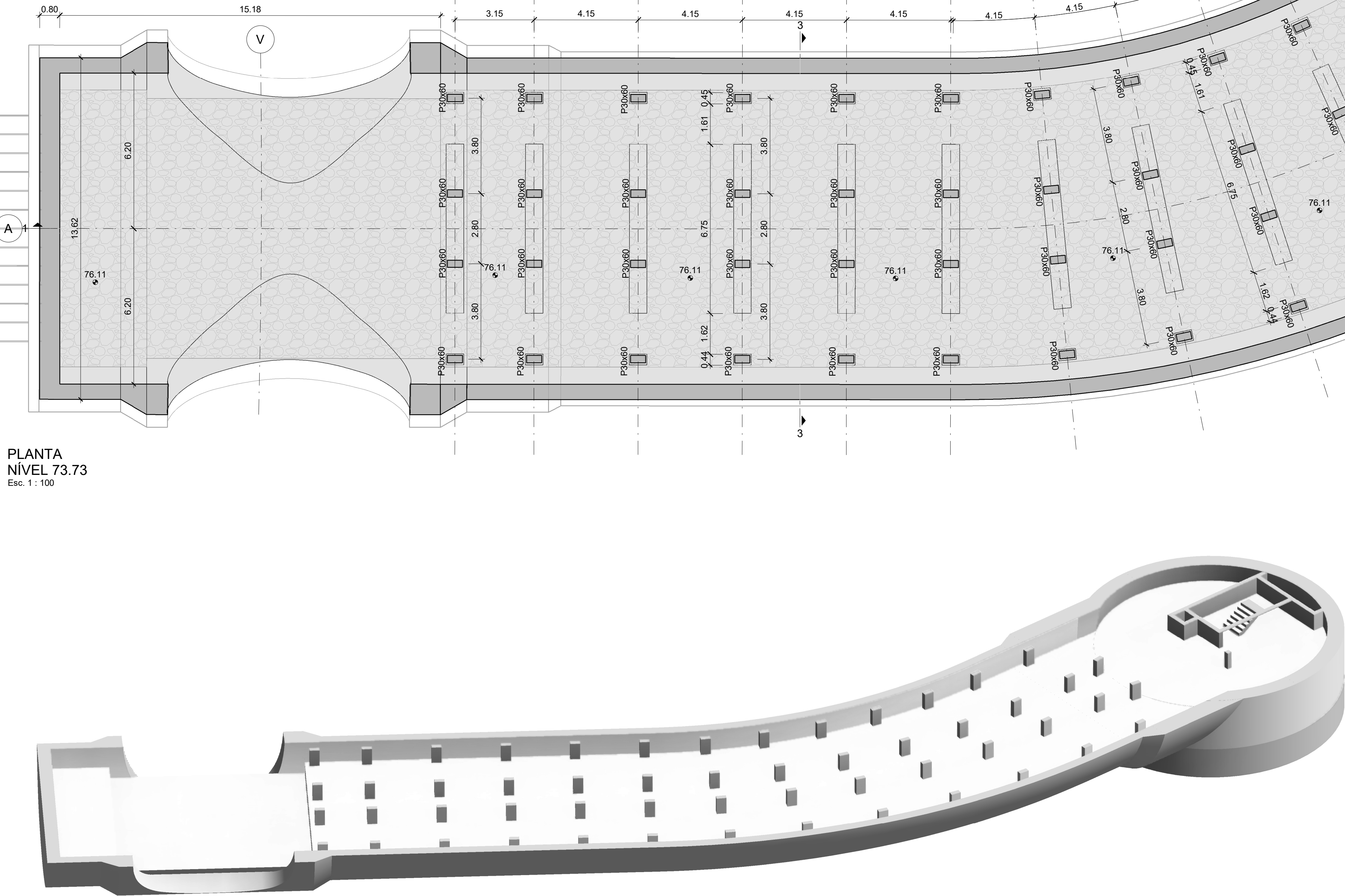
Tabela 5 – Verificação da resistência à flexão composta do revestimento definitivo do túnel de ligação.



6.2 Estado Limite de Serviço (ELS)

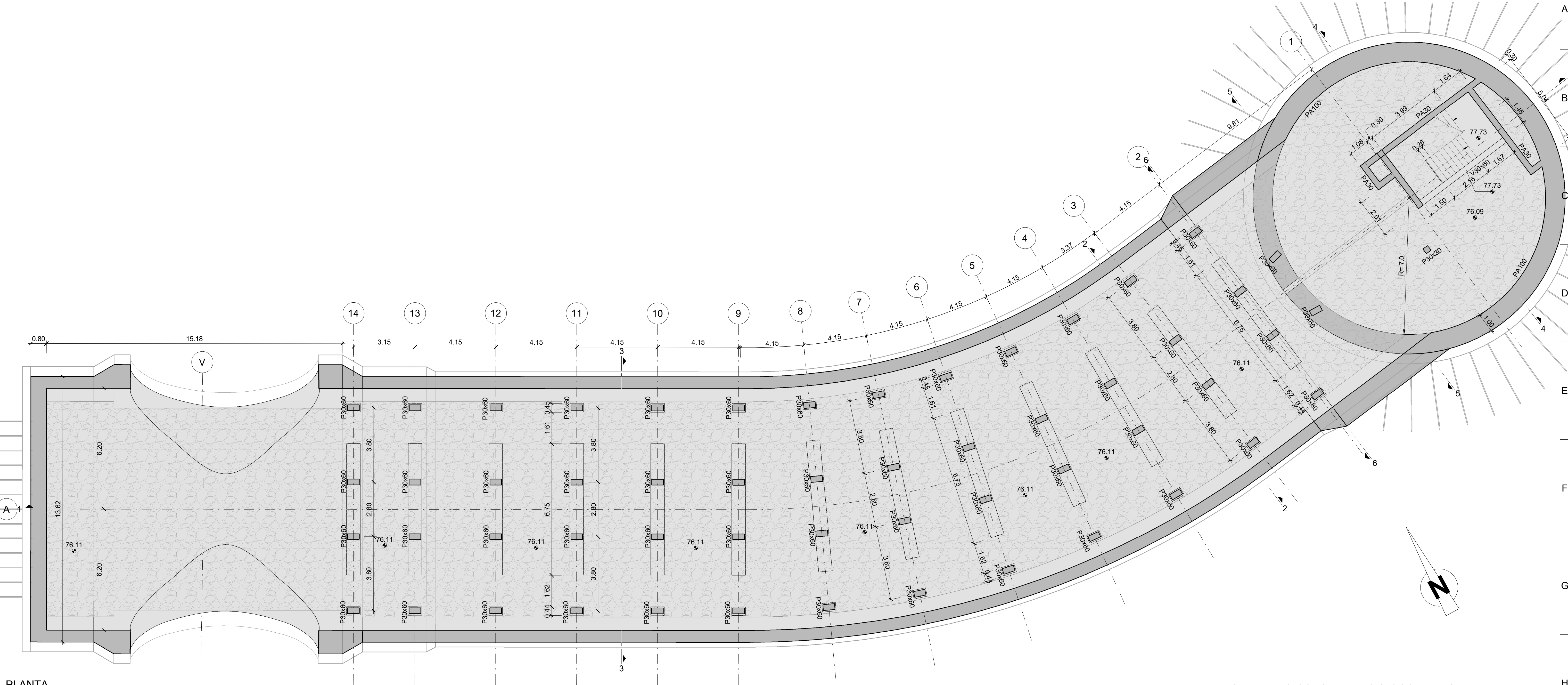


Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



VISTA 3D
NÍVEL 73.73
s / escala

PLANTA
NÍVEL 73.73
Esc. 1 : 100



FASEAMENTO CONSTRUTIVO (POÇO PV211):

- Execução da impermeabilização do poço e túnel entre os revestimentos provisório e definitivo;
- Execução revestimento definitivo do túnel;
- Execução revestimento definitivo do poço da cota +71.78 a +103.19;
- Execução da estrutura interna do poço e do túnel da forma tradicional;
 - Execução dos elementos verticais até ao piso do cais;
 - Abertura de roços horizontais no revestimento definitivo do poço para descobrir os varões deixados para empalme das armaduras das lajes;
 - Instalação de cimbrês e cofragem do piso, seguido de montagem de armaduras;
 - Betonagem do piso do cais numa única operação;
 - Repetição das fases i) a iv) para os restantes pisos até ao nível da cobertura;
 - Execução da estrutura elevada do poço (paredes, piso de entrada e cobertura).
- Execução dos muros de suporte exteriores ao poço;
- Colocação de aterro sobre os muros exteriores;
- Acabamentos.

ALTERAÇÕES					
0 Emissão inicial		04/10/2024	AH	RP	
		DATA	DES.	VERIF.	
Data:		PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA PROJETO DE EXECUÇÃO			
Aprov.		ESTRUTURAS POÇO DE VENTILAÇÃO 211			
Verif.		ESTRUTURAS DEFINITIVAS PLANTA DE DIMENSIONAMENTO - NÍVEL 73.73			
Proj.		Escalas: Des. n.º 134532 F. / /			
Des.		Alter. Substituído Nº SAP Versão Folha			
Aprov. RP 04/10/2024		MOTAENGIL ENGENHARIA			
Verif. RT 04/10/2024		COBA / JET SJ / JLOM / TALPROJECTO			
Proj. AH, AS, CM, PM 04/10/2024		Identificação Empresa Projeção: COBA / JET SJ / JLOM / TALPROJECTO			
Des. AH 04/10/2024		Escalas: 1/100 Folha: 02/10			
		Alter. 04/10/2024			