

- 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 DADOS DE ENTRADA

Os documentos considerados como elementos de entrada associados a esta obra são os seguintes:

4.1 Documentos do programa preliminar

- Procedimento – Proc. n.º 125/2022-DLO/ML;
- Programa Preliminar, Tomo IV – Estruturas, Volume 5 – Poços de Ventilação, 1 – PV211, PV215 e PV 217:
 - Memória Descritiva e Justificativa – “LVSSA ML PP STR PVE PV211 MD 086000 0”, LVSSA ML PP STR PVE PV215 MD 086000 0 e LVSSA ML PP STR PVE PV217 MD 086000 0;

- Peças Desenhadas (“LVSSA ML PP STR PVE PV211 DW 086001 A” a “LVSSA ML PP STR PVE PV211 DW 086106 0”), LVSSA ML PP STR PVE PV215 DW 086001 A a LVSSA ML PP STR PVE PV215 DW 086105 0 e LVSSA ML PP STR PVE PV217 DW 086001 A a LVSSA ML PP STR PVE PV217 DW 086106 0;

- Respostas aos Esclarecimentos do procedimento “Resposta Esclarecimentos_Proc. 125_2022”

4.2 Estudo Prévio apresentado em fase de concurso

- Memória Descritiva e Justificativa da Estação: Tomo IV – Volume 5 – Poços de Ventilação “LVSSA CBJ EP STR PVE PV211 MD 086000 0”, LVSSA CBJ EP STR PVE PV215 MD 086000 0 e LVSSA CBJ EP STR PVE PV217 MD 086000 0;
- Peças desenhadas da estação: Tomo IV – Volume 5 – Poços de Ventilação “LVSSA CBJ EP STR PVE PV211 DW 086001 0” a “LVSSA CBJ EP STR PVE PV211 DW 086106 0”, LVSSA CBJ EP STR PVE PV215 DW 086001 0 a LVSSA CBJ EP STR PVE PV215 DW 086105 0 e LVSSA CBJ EP STR PVE PV217 DW 086001 0 a LVSSA CBJ EP STR PVE PV217 DW 086106 0;
- Estudo Geológico – Geotécnico: Tomo II – Volume 2

4.3 Levantamento topográfico e arquitetónico complementar

Sempre que a informação existente não se mostre adequada ou suficiente, serão previstos trabalhos de levantamento topográfico e/ou arquitetónicos complementares, que servirão de base para a elaboração do Projeto.

4.4 Cadastros

No desenvolvimento do projeto, serão consideradas todas os dados relativos à informação cadastral disponível, nomeadamente no que se refere a estruturas e infraestruturas adjacentes à zona de intervenção.

5 CONDICIONAMENTOS AO PROJETO

Os principais condicionamentos são os já identificados em fase de Projeto de Execução, entre os quais se referem os seguintes:

5.1 Traçado

A solução estrutural adotada e os processos e faseamentos construtivos previstos encontram-se compatibilizados com o projeto do traçado da linha definido no Programa Preliminar e Projeto de Execução.

A solução adotada para a PV211 foi condicionada pela profundidade a que está colocado o P.B.V. (Plano Base da Via) relativamente à superfície, cerca de 27 m.

A solução adotada para a PV215 foi condicionada pela profundidade a que está colocado o P.B.V. (Plano Base da Via) relativamente à superfície, cerca de 40 m.

A solução adotada para a PV217 foi condicionada pela profundidade a que está colocado o P.B.V. (Plano Base da Via) relativamente à superfície, cerca de 22 m.

5.2 Geológicos e Geotécnicos

Os condicionamentos Geológicos e Geotécnicos, encontram-se descritos no Estudo Geológico-Geotécnico (Tomo I – Volume 6 do Projeto de Execução).

5.3 Desvios de circulação

Ao longo da duração da obra os estaleiros e áreas reservadas para acesso às obras, que interfiram com a circulação existente, serão demarcadas como áreas temporárias de ocupação com os consequentes desvios de trânsito.

Os desvios de circulação serão objeto de projeto autónomo, apresentado no Capítulo 08 deste Volume.

Os estaleiros são objeto de projeto autónomo, apresentado no Tomo I – Geral, Volume 9 – Estaleiros ao Longo da Linha.

5.4 Ocupação de superfície e de subsolo

Face à implantação prevista para os Poços PV211, PV215 e PV217, considera-se que não deverão existir interferências significativas com as redes de infraestruturas existentes no subsolo (águas, esgotos, eletricidade, telecomunicações e gás). De qualquer modo, 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 Capítulo 02 – Serviços Afetados, deste Volume.

5.5 Interferências

Existente na zona adjacente à obra um conjunto de estruturas, denominadas interferências, que, pela sua natureza e/ou proximidade serão alvo de análise cuidada para avaliação de potenciais danos causados pelos trabalhos de escavação.

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

Sempre que a avaliação de danos assim o determinar, as estruturas ou infraestruturas adjacentes serão alvo de intervenção de reforço tratada em projeto autónomo.

No caso do PV211, considera-se particularmente relevante a interação com as interferências 058 e 060, reservatórios enterrados da EPAL e Aqueduto, uma vez que configuram uma assimetria relevante no comportamento do poço.

5.6 Implantação

A implantação da obra respeita integralmente os requisitos definidos no Programa Preliminar, tendo os mesmos sido também desenvolvidos em fase de Projeto de Execução.

O PV211 está localizado na Rua Gorgel do Amaral sobre uma área verde próxima do aqueduto das águas livres e ao reservatório do Arco como representado na Figura 1.



Figura 1 – Implantação do PV211 e do respetivo túnel de ligação

O PV215 encontra-se implantado num lote desocupado situado a Sul do Cemitério Alemão e a Norte da Escola Básica do 1º ciclo com Jardim de Infância Eng. Ressano Garcia, como representado na Figura 1.

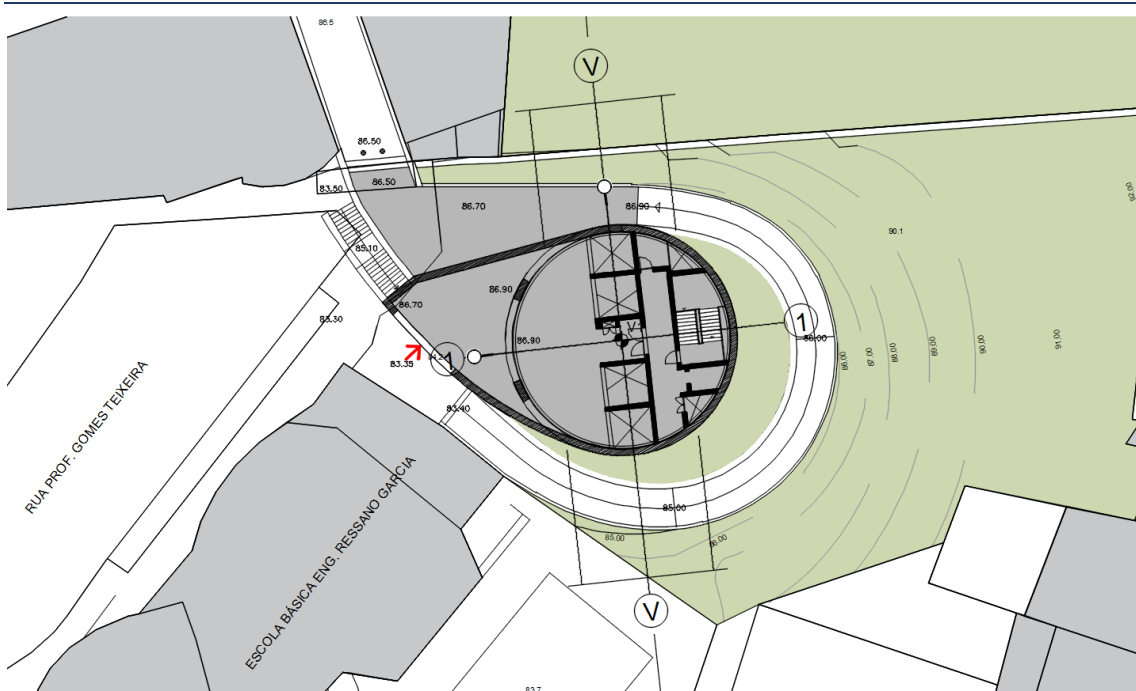


Figura 2 – Implantação do PV215

O PV217 está localizado num lote sem ocupação no Parque Florestal de Monsanto, junto ao Acesso à Ponte 25 de Abril como representado na Figura 1.

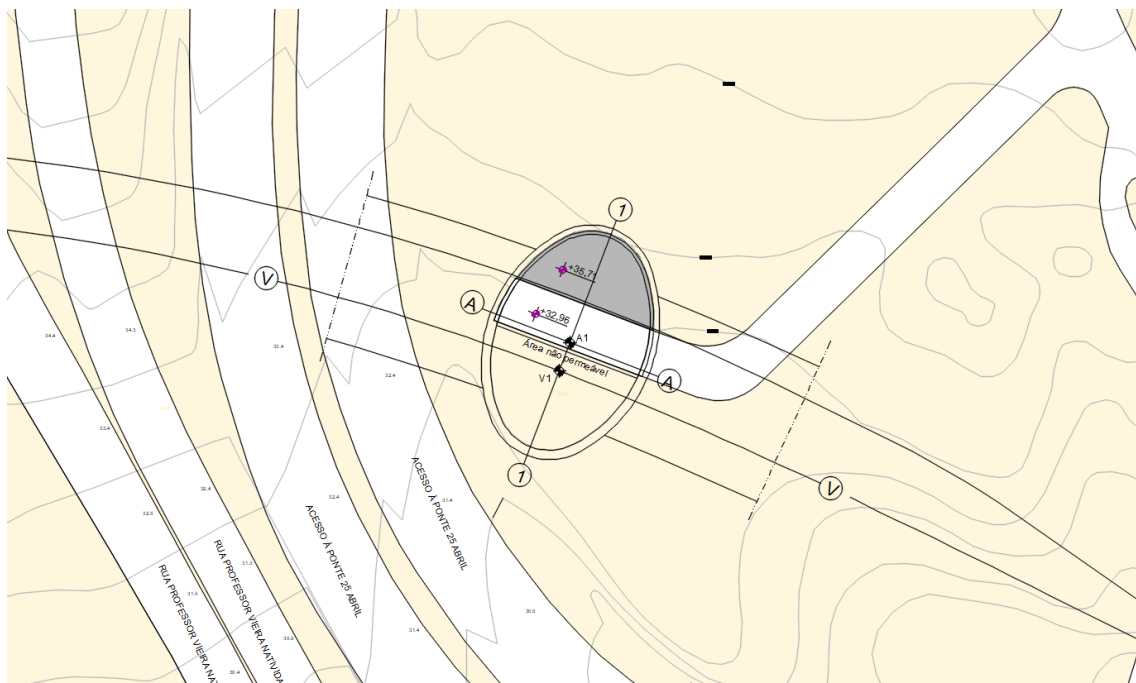


Figura 3 – Implantação do PV217

De acordo com o programa preliminar, a implantação dos poços de ventilação na localização mencionada acima foi condicionada pela necessidade de assegurar condições de fuga, segurança,

ventilação e exaustão de fumos (em caso de incêndio) no troço em que se insere e pela necessidade de uma área livre suficiente para a implantação à superfície e para o estaleiro durante a construção.

No caso particular no poço PV211 a ligação entre o poço e o túnel de via é assegurada por um túnel secundário implantado à cota do PBV no ponto de interseção.

5.7 Segurança

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

1. Evitar os riscos;
2. Avaliar os riscos que não 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 que devem nortear a ação de todos os intervenientes durante todo o processo de construção serão respeitados no desenvolvimento do presente Projeto, sendo nesta fase que se inicia a elaboração do respetivo Plano de Segurança e Saúde.

5.8 Arquitetura

O Projeto respeita todos os requisitos arquitetónicos definidos no Programa Preliminar e procurará atingir as soluções técnicas mais adequadas que cumpram os requisitos definidos no Programa Preliminar de Arquitetura, já vertidos no Projeto de Execução apresentado em fase de concurso.

5.9 Compatibilidade com outras especialidades

O Projeto de Execução está compatibilizado com o Projeto de Execução de Arquitetura e com as restantes especialidades.

- Tomo V – Via Férrea, Volume 1 – Traçado;
- Tomo V – Via Férrea, Volume 2 – Sistema de via;
- Tomo V – Via Férrea, Volume 3 – Drenagem de via;
- Tomo VI – Sistemas, Volume 1 – Energia;
- Tomo VI – Sistemas, Volume 2 – Telecomunicações;
- Tomo VI – Sistemas, Volume 3 – Mecânica;
- Tomo VII – Fluídos, Volume 1 – Redes de águas;
- Tomo VII – Fluídos, Volume 2 – Redes de drenagem;
- Tomo VII – Fluídos, Volume 3 – Coluna seca.

O presente Projeto de Execução encontra-se ainda compatibilizado com os requisitos técnicos do ML, como o caderno de encargos técnico e os demais requisitos definidos no procedimento.

5.10 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).

6 MODELO GEOLÓGICO/GEOTÉCNICO

No Projeto de Execução, a abordagem ao modelo geológico assentou na informação do Programa Preliminar patenteado a concurso.

Apresentam-se na Figura 4 o excerto da planta e perfil geológico-geotécnico na zona do PV211.

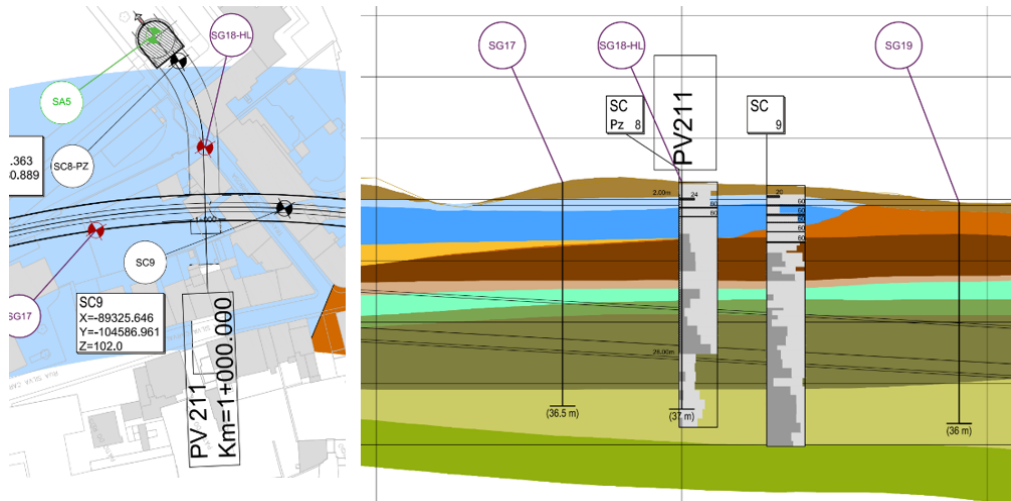


Figura 4 – Planta e Perfil longitudinal da Geologia/ Geotecnia na zona do PV11.

Apresentam-se na Figura 5 o excerto da planta e perfil geológico-geotécnico na zona do PV2.

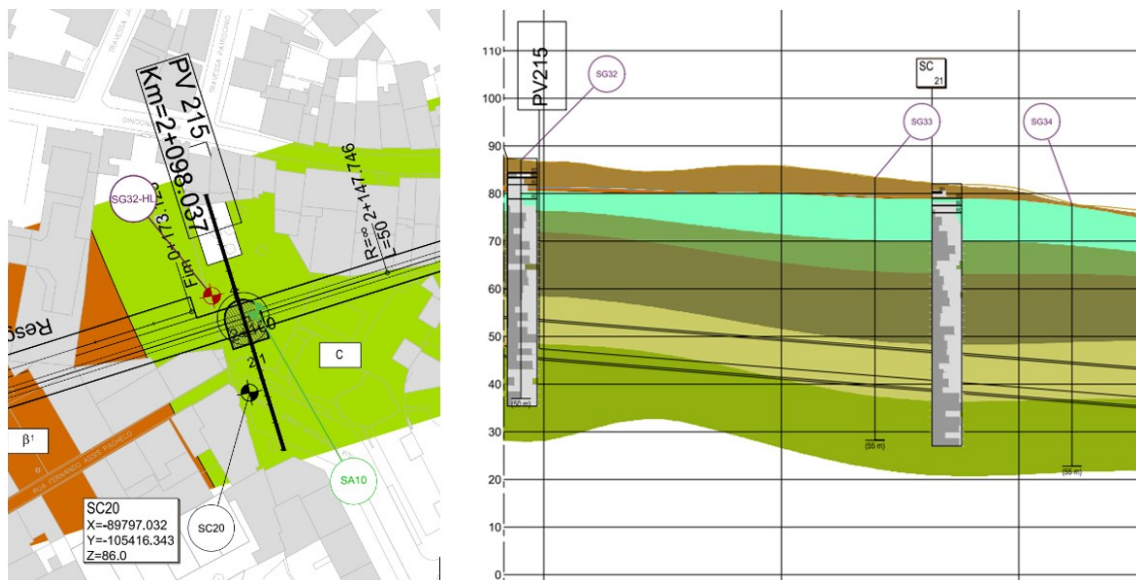


Figura 5 – Planta e Perfil longitudinal da Geologia/ Geotecnia na zona do PV115.

Apresentam-se na Figura 5 o excerto da planta e perfil geológico-geotécnico na zona do PV2.



Figura 6 – Planta e Perfil longitudinal da Geologia/ Geotecnia na zona do PV217.

As unidades atravessadas, representadas em perfil, são as indicadas na Figura 7.

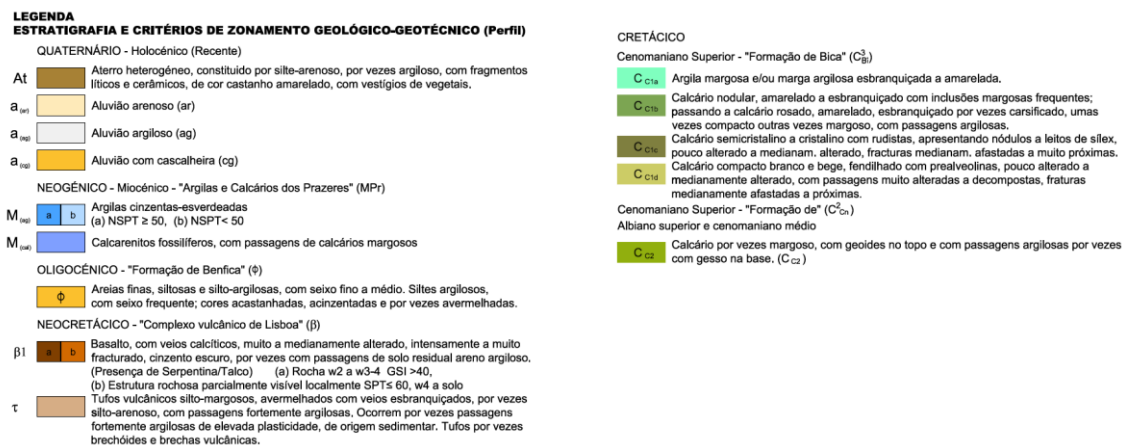


Figura 7 – Legenda das unidades representadas nos Perfis Longitudinais – Geologia / Geotecnia dos poços de Ventilação.

Conforme se ilustra na Figura 4, o meio envolvente do poço de ventilação PV 211 é caracterizado por um maciço sequencialmente constituído do topo para a base por materiais miocénicos da "Formação dos Prazeres", predominantemente argilas e margas e por CVL- "Complexo Vulcânico de Lisboa", nesta zona principalmente correspondente a basalto decomposto a basalto W₂ a W₃₋₄. Abaixo desta unidade ocorrem calcários da Formação da Bica, nomeadamente a unidade

Cc1a (essencialmente correspondente a argilas margosas), Cc1b (calcário nodular) e Cc1c (calcário semi-cristalino a cristalino com rudistas).

Segundo a Figura 2 o poço de ventilação PV 215 atravessará uma cobertura superficial de aterro, seguida imediatamente da “Formação da Bica” de idade miocénica, constituída especificamente pela ordem do topo para a base pelas unidades CC1a (Argilas e margas argilosas); CC1b (Calcários nodulares), CC1c (Calcários Cristalinos) e ainda pela unidade CC1d (Calcário compacto). Imediatamente abaixo desta formação ocorre a “Formação de Caneças”, constituída pela formação CC2, representativa do calcário margoso.

De acordo com a Figura 6 o poço de ventilação PV 217 atravessará uma cobertura de aterro; seguida do CVL- “Complexo Vulcânico de Lisboa”, nesta zona principalmente correspondente a tufos, podendo ocorrer ocasionalmente evidências de basalto decomposto. Subjacentemente, segue-se a “Formação da Bica” de idade miocénica, constituída especificamente pela ordem do topo para a base pelas unidades CC1a (Argilas e margas argilosas); CC1b (Calcários nodulares), CC1c (Calcários Cristalinos) e pela unidade CC1d (Calcário compacto). Ainda abaixo das formações acima descritas, ocorre a “Formação de Caneças”, constituída pela formação CC2, representativa do calcário margoso.

Relativamente à presença de água subterrânea, consideram-se ao longo do traçado as seguintes posições para o nível de água:

- Do pk 0+750 a 1+200, nível de água à cota +75,00 m;
- Do pk 1+750 a pk 2+600, nível de água em variação entre as cotas +70,00 m e +40,00 m;
- Do pk 3+600 ao 4+097, nível de água em variação entre as cotas +2,50 m e +15,00 m.

Os níveis de água anteriores são indicados sem prejuízo da possível existência local de níveis de água suspensos.

No caso dos PV211 e PV215, face à cota identificada para o nível freático, prevê-se que a laje de fundo e as paredes definitivas tenham de suportar valores significativos de pressão de água. Por outro lado, no caso do PV217, prevê-se que os impulsos hidrostáticos sejam negligenciáveis.

7 MATERIAIS

7.1 Estruturas provisórias

As características dos materiais a adotar para as estruturas provisórias encontram-se resumidas nas tabelas seguintes.

Tabela 1 – Suporte Primário. 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 XO(P) CL 1.0 DMAX.25 S3 |
| CALDA DE CIMENTO | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS | f_{ck} MÍN. = 25 MPa |
| FIBRAS METÁLICAS | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO | 1500 MPa |
| | 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 2 – Suporte Primário. Características dos materiais (2/2)

| MATERIAIS | PROPRIEDADES | |
|-----------------------|---|--|
| GEODRENOS | TUBO DE POLIETILENO RÍGIDO, CORRUGADO E RANHURADO | SN2 |
| GEOTÊXTIL 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 % |
| | PUNÇAMENTO 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 3 – 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.

7.2 Estruturas definitivas

As características dos materiais adotados para as estruturas definitivas da estação encontram-se apresentadas nas tabelas seguintes.

Tabela 4 – Estruturas definitivas. Características dos materiais – Betão

| Materiais | Localização | Classe de Resistência | Classe de exposição | Cl. teor de cloretos | D _{max} (mm) | Classe de Consistência |
|------------------------------------|--|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Betão (<i>in situ</i>) | Regularização | C12/15 | X0 | CL 1,00 | 25 | S3 |
| | Estrutura interior em ambiente seco (lajes, vigas, pilares, escadas e paredes) | C30/37 | XC1 | CL 0,40 | 25 | S3 |
| | Estrutura interior em zonas húmidas – zonas com sanitários (lajes, vigas, pilares, escadas e paredes) | C30/37 | XC3 | CL 0,40 | 25 | S3 |
| | Estrutura exterior (revestimento definitivo das paredes de contenção periférica, laje de fundo, laje de cobertura e elementos expostos à intempérie) | C30/37 | XC4 | CL 0,40 | 25 | S3 |
| | Enchimento | C20/25 | X0 | CL 1,00 | 25 | S3 |
| | Elementos pré-esforçados | C40/50 | XC4 | CL 0,20 | 25 | S3 |

Notas:

As betonilhas de enchimento a realizar para o assentamento dos revestimentos dos pisos e para a formação de pendentos nas lajes internas deverão ter um peso específico máximo de 15 kN/m³.

Tabela 5 – Estruturas definitivas. Características dos Materiais – Aço estrutural

| Materiais | Localização | Classe de resistência |
|-----------------------|--|-------------------------------|
| Aço Estrutural | Armaduras ordinárias | A500 NR SD |
| | Armaduras pré-esforço | EN 10138-3-Y1860S7-15,7-F1-C1 |
| | Malha eletrossoldada | A500 EL |
| | Estruturas metálicas (chapas e perfis) | S355 JR |
| | Parafusos / Pernos | Classe 8.8/10.9 |
| | Porcas | Classe 8/10 |

Tabela 6 – Estruturas definitivas. Recobrimentos nominais das armaduras

| Recobrimentos Nominais (*) (**) | | |
|---|-----------------------------------|----------------------|
| | Elemento | Recobrimento nominal |
| Recobrimentos a Garantir de Acordo com Exigências de Resistência ao Fogo e Durabilidade dos Materiais Vida Útil Considerada: 100 Anos Estabilidade ao Fogo: R120 | Lajes elevadas e escadas | 40 mm |
| | Paredes interiores | 40 mm |
| | Pilares e Vigas | 45 mm |
| | Paredes de Contenção | 45 mm |
| | Laje de fundo | 45 mm |
| | Lajes de cobertura enterradas | 45 mm |
| | Vigas pré-esforçadas na cobertura | 60 mm |
| | Vigas pré-esforçadas interiores | 55 mm |

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

(**) – Em elementos inferiores a 0.25 m o recobrimento é reduzido em 0.005 m, devendo ser garantidos os recobrimentos mínimos definidos na EN 10080.

7.3 Sistemas de impermeabilização

De forma a cumprir as exigências de estanqueidade definidas no Caderno de Encargos, prevê-se para o túnel de ligação (NATM) a aplicação de um sistema de impermeabilização com recurso a uma barreira geossintética constituída por uma geomembrana impermeabilizante (policloreto de vinil) com 2 mm de espessura protegida com geotêxtil (polipropileno), de acordo com a especificação RT026 do ML e com as peças desenhadas do presente Projeto de Execução.

De acordo com o previsto no Caderno de Encargos, para a circunscrição dos eventuais defeitos do sistema de impermeabilização e dos trabalhos de reparação será efetuada a compartimentação transversal e, se necessário, longitudinal do sistema de impermeabilização (AFTES, 2005).

A compartimentação transversal será conseguida pela solidarização de perfis extrudidos flexíveis (lâminas de estanqueidade do tipo *watersop*) à geomembrana impermeabilizante ao longo do perímetro das galerias. Para a eventual compartimentação longitudinal, em troços localizados, os perfis serão colocados segundo o eixo das galerias nos alinhamentos superior (abóbada) e inferior (soleira).

A compartimentação transversal será realizada aproximadamente a cada 8 metros, limitando-se assim a área máxima de cada compartimento a 250 m².

A eventual necessidade de colocação de uma proteção mecânica, e suas características, deverá ser avaliada em conjunto com o aplicador e fornecedor do sistema de impermeabilização, em função do risco de danificação da tela de impermeabilização, tendo em conta o tipo de circulação e dos trabalhos a realizar em obra.

Na soleira das galerias, deverá ser aplicada uma betonilha de proteção do sistema de impermeabilização com 50 mm de espessura para permitir a circulação mantendo a integridade do sistema de impermeabilização.

O sistema de impermeabilização será confirmado em função das condições encontradas em obra e em conjunto com o fornecedor e aplicador da solução.

Na Figura 8 apresentam-se os pormenores do sistema de impermeabilização do revestimento definitivo das galerias da estação, respetivamente para hasteais e abóbada (à esquerda) e soleira (à direita).

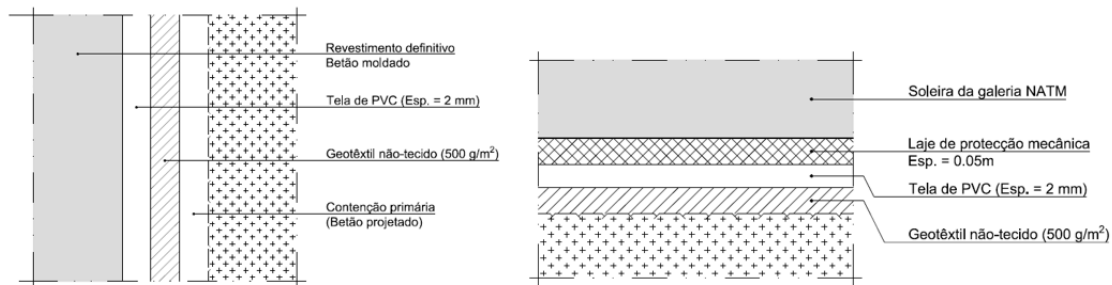


Figura 8 – Sistema de impermeabilização do revestimento definitivo do túnel de ligação

Para a impermeabilização das estruturas executadas a céu aberto, neste caso, o poço será adotado o sistema de impermeabilização abaixo apresentado.

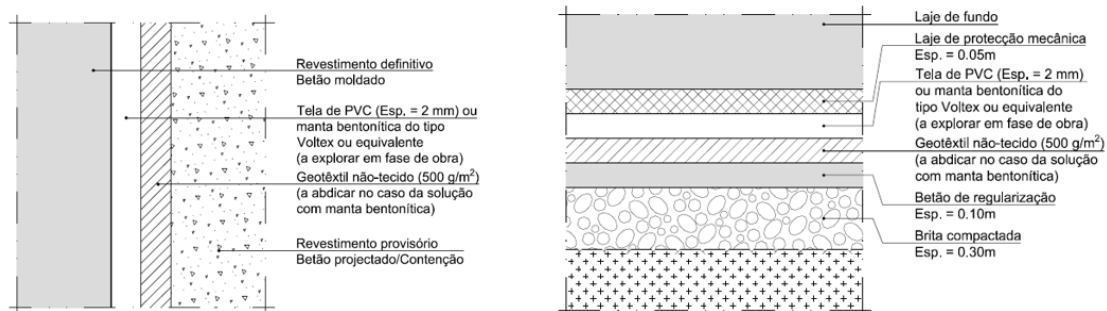


Figura 9 – Sistema de impermeabilização do revestimento definitivo das estruturas executadas a céu aberto (poço)

Propõe-se, para as estruturas executadas a céu aberto, explorar em fase de obra a possibilidade de utilização do sistema de impermeabilização a base de mantas bentoníticas.

Neste cenário, a explorar em fase de obra, a utilização de soluções com telas bentoníticas armadas com armadura de poliéster do tipo Voltex DS ou similar, protegidas a polietileno e geotêxtil, e com cordões hidroexpansivos.

8 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

8.1 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.

8.2 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 e Poços de Ventilação 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 se classificam como sendo da classe de consequência CC3.

8.3 Classificação do Tipo de Terreno segundo a NP EN 1998

No que se refere à sismicidade, os sismos que afetam o território nacional têm duas fontes de geração distintas:

- Sismicidade interplaca – associada à fronteira das placas Eurasiática e Africana, gerada na Zona de fratura Açores-Gibraltar, com registo de sismos de magnitudes elevadas (1755 e 1969);
- Sismicidade intraplaca – associada a movimentos ao longo de estruturas de ressonância no interior da placa Eurasiática resultantes da acumulação de tensões e desenvolvimento de deformações, originando sismos de magnitudes moderadas (1909).

Considerando todos os sismos históricos e instrumentais registados, segundo dados compilados e interpretados pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), as intensidades sísmicas terão atingido na zona em estudo o valor IX, segundo a escala de Mercalli modificada.

De acordo com o estipulado na norma NP EN 1998-1: 2010 (EC8) e no respetivo Anexo Nacional NA, por afetação simultânea do território com perturbações dinâmicas com origem interplacas e intraplacas, a zona em análise encontra-se localizada nas Zonas Sísmicas classificadas como 1.3 e 2.3, para a Ação Sísmica Tipo 1 e Ação Sísmica Tipo 2, respetivamente.

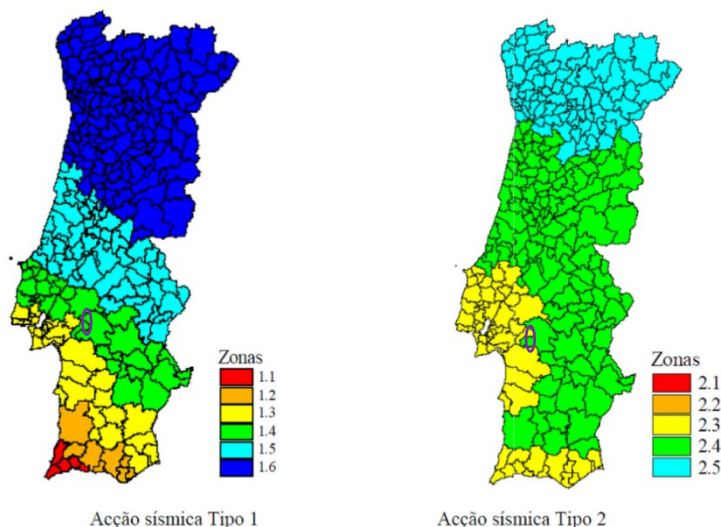


Figura 10 – Zonamento sísmico do território nacional de acordo com o Anexo Nacional NA da NPEN 1998-1:2010

Os valores da aceleração máxima de referência de projeto, para cada uma das zonas sísmicas em função dos dois tipos de atividade sísmica a considerar, são os indicados na tabela seguinte.

Tabela 7 – Aceleração máxima de referência de projeto a_{gR} (m/s²) nas várias zonas sísmicas

| Ação sísmica tipo 1 (afastada) | | Ação sísmica tipo 2 (próxima) | |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Zona Sísmica | a_{gR} (m/s ²) | Zona Sísmica | a_{gR} (m/s ²) |
| 1.1 | 2,5 | 2.1 | 2,5 |
| 1.2 | 2,0 | 2.2 | 2,0 |
| 1.3 | 1,5 | 2.3 | 1,7 |
| 1.4 | 1,0 | 2.4 | 1,1 |

| | | | |
|-----|------|-----|-----|
| 1,5 | 0,6 | 2,5 | 0,8 |
| 1,6 | 0,35 | --- | --- |

De acordo com este zonamento sísmico, os valores de aceleração máxima de referência a considerar na obra, a_{gR} , correspondentes a um período de retorno de 475 anos, são de $1,5 \text{ m/s}^2$ (Zona Sísmica 1.3 e Ação Sísmica Tipo 1) e de $1,7 \text{ m/s}^2$ (Zona Sísmica 2.3 e Ação Sísmica Tipo 2). Visando ter em conta a influência das condições locais do solo na ação sísmica, o EC8 considera os tipos de terreno indicados na Tabela abaixo, para definição dos espectros de resposta elásticos a utilizar em cada zona sísmica.

Tabela 8 – Tipos de Terreno segundo o EC8

| Classe de solo | Descrição do perfil estratigráfico | Parâmetros | | |
|----------------|--|-----------------------|-----------|----------------|
| | | $V_{s,30}$ (m/s) | N_{SPT} | C_u (kPa) |
| A | Rocha ou formação geológica rochosa, que inclua, no máximo 5m de material mais fraco à superfície | > 800 | - | - |
| B | Depósitos de areia muito densa, cascalho ou argila muito rija com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas em profundidade | 360 – 800 | > 50 | > 250 |
| C | Depósitos profundos de areia de densidade média a elevada, de cascalho ou de argila dura, com espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros | 180 – 360 | 15 – 50 | 70 – 250 |
| D | Depósitos soltos de solos não coesivos (com ou sem ocorrência de algumas camadas coesivas brandas), ou de solos coesivos predominantemente de fraca a média consistência | < 180 | < 15 | < 70 |
| E | Perfil de solo com um nível aluvionar superficial com $V_s < 360 \text{ m/s}$ e espessura variando entre 5 e 20 m, sobrejacente a um nível mais rígido (com $V_s > 800 \text{ m/s}$) | < 360 | | |
| S ₁ | Depósitos consistindo ou contendo uma camada com pelo menos 10m de espessura – de argilas ou siltes brandos com elevado índice de plasticidade ($IP > 40$) e elevado teor em água | < 100 (indicativo) | - | 10 – 20 |
| S ₂ | Depósitos de solos com potencial de liquefação, ou argilas sensíveis, ou outros perfis não incluídos nos tipos anteriores | | | |

A classificação do tipo de terreno segundo a NP EN 1998 será feita ponderando os valores de N_{SPT} das sondagens, da coesão não drenada, S_u obtida através dos ensaios de campo e das medições da velocidade das ondas de corte, V_s (m/s), obtidas diretamente dos resultados dos ensaios *in situ*, como os “crosshole” e SCPTu. Na fase de Projeto de Execução recorre-se aos ensaios existentes, ou seja, SPT's e medição da velocidade das ondas de corte.

Tendo em conta as características e a sequências das unidades geológicas presentes na zona de cada Poço de Ventilação, nesta fase do estudo adotou-se o perfil correspondente à Classe de Solo Tipo A nos três casos.

8.4 Classe de inspeção

De acordo com a norma NP EN 13670 – 1 anexo G, quadro G.1, a estrutura da estação enquadra-se na classe de inspeção 3, para betão moldado.

8.5 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.

De acordo com a NP EN 1990, a classe de fiabilidade RC3 pode ser garantida através da combinação das medidas definidas nas alíneas c), d) e e) do ponto 2.2 (5), nomeadamente:

- c) medidas relacionadas com a gestão da qualidade;
- d) medidas destinadas a reduzir erros de projeto e de construção da estrutura, e erros humanos grosseiros;
- e) outras medidas relacionadas com as seguintes questões de projeto:
 - os requisitos gerais;
 - o grau de robustez (integridade estrutural);
 - a durabilidade, incluindo a escolha do tempo de vida útil de projeto;
 - a extensão e a qualidade das prospeções preliminares dos solos e as possíveis influências ambientais;
 - o rigor dos modelos mecânicos utilizados;
 - as disposições construtivas.

No presente projeto, encontram-se implementadas as medidas indicadas nas alíneas c) e d) acima, de acordo com o preconizado na alínea (b) do ponto B.1 e os procedimentos definidos nos pontos B.4 e B.5 do anexo B do ECO, nomeadamente:

- Nível de supervisão de projeto, DSL3, compatível com a classe de fiabilidade RC3, traduz-se num requisito de supervisão alargada, realizada por uma entidade distinta da que elaborou o Projeto;
- Nível de inspeção durante a execução, IL3, compatível com a classe de fiabilidade RC3, traduz-se num requisito de inspeção alargada, realizada por terceiros (Fiscalização da Empreitada de Construção).

Complementarmente, tendo em consideração a fixação do tempo de vida útil de projeto de 100 anos, o plano de prospeção geológico-geotécnica complementar previsto para a empreitada, a robustez das estruturas definitivas (nomeadamente a não integração e consideração de estruturas de contenção provisória nas estruturas definitivas) e outras disposições construtivas, tais como a adoção de sistemas de impermeabilização, conjugadas com as especificações técnicas que integram as Cláusulas Técnicas do Caderno de Encargos, garante-se também a classe de fiabilidade RC3 no que se refere ao cumprimento das medidas indicadas da alínea e) acima. Nas situações omissas, que forem posteriormente identificadas, poderão ser elaboradas especificações técnicas e ensaios de verificação complementares aos já previstos no CE.

8.6 Categoria geotécnica da obra associada às estruturas de contenção

A NP EN 1997-1:2010 estabelece-se 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, os Poços de Ventilação fazem parte integrante de 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 médio. Assim, para uma classe de consequências CC3, para uma complexidade do projeto geotécnico médio, atribui-se a Categoria Geotécnica 3 (CG3), de acordo com o Quadro IV do Anexo Nacional da NP EN 1997-1:2010.

8.7 Critérios de Estanqueidade em Estruturas Subterrâneas

8.7.1 Túneis e Poços de Ventilação

As obras dos poços de ventilação deverão apresentar desempenho correspondente à classe 3 de BTS (2010)(1) complementada com as recomendações STUVA (Haack, 1991(2)) para a mesma classe.

De acordo com estas recomendações o sistema de revestimento deverá garantir que o fluxo de água ao interior do túnel se restrinja a fenómenos de capilaridade, admitindo-se apenas, como manifestações de humidade, a existência de pequenas manchas isoladas sem qualquer escorrência de água, embora possa ocorrer alteração cromática de um papel sobre elas colocado. Esta exigência limita o influxo médio (espacial) diário de água a 0,2 litros/m² em troços com comprimento de referência de 10 m e a 0,1 litros/m² em troços com comprimento de referência de 100 m. Para aplicação do primeiro limite, os troços de 10 m deverão ser pontuais, com caráter esporádico.

Para a circunscrição dos eventuais defeitos do sistema de impermeabilização e dos trabalhos de reparação será efetuada a compartimentação transversal e, se necessário, longitudinal do sistema de impermeabilização (AFTES, 2005(3)).

A área máxima de cada compartimento será de 360 m². Nos terrenos com presença de água sob pressão até 3 bar essa área fica limitada a 250 m². Para valores indicativos de pressão superiores, o limite superior de área a considerar será de 200 m².

A compartimentação transversal será conseguida pela solidarização de perfis extrudidos flexíveis à geomembrana impermeabilizante ao longo do perímetro do túnel. Para a eventual compartimentação longitudinal, em troços localizados, os perfis serão colocados segundo o eixo do túnel num alinhamento superior (abóbada) e em alinhamentos inferiores (juntas de betonagem no arranque dos hasteais).

Aplicam-se nos poços os princípios acima enunciados relativamente à compartimentação do sistema de impermeabilização, com as devidas adaptações.

8.7.2 Requisitos legais de proteção de águas subterrâneas

Regra geral a Lei de Proteção da Água exige que os níveis de água existentes no subsolo sejam mantidos e que a água subterrânea seja mantida sem contaminação; uma consequência direta do cumprimento destas exigências é a impossibilidade de rebaixamento permanente do lençol freático, sempre que possível.

Assim, qualquer desvio de água subterrânea deve ser limitado ao período de construção e os volumes desviados devem ser limitados por forma a garantir a plena recuperação do nível inicial do lençol freático.

9 SITUAÇÕES DE PROJETO

9.1 Persistentes

No dimensionamento estrutural dos poços, serão consideradas as situações de projeto persistentes, correspondentes a condições normais de utilização, nomeadamente em cenários de estado limite último e estado limite de serviço.

9.2 Transitórias

No dimensionamento estrutural e geotécnico dos suportes provisórios dos poços serão consideradas as situações de projeto transitórias, correspondentes a condições temporárias e outras condições relacionadas com o faseamento construtivo da obra.

9.3 Acidentais

No dimensionamento dos poços serão consideradas as situações de projeto acidentais, correspondentes a condições excecionais aplicáveis às estruturas, nomeadamente a ação do incêndio.

9.4 Sísmica

No dimensionamento da estrutura provisória dos poços, face ao seu reduzido período de viga útil, não serão consideradas as situações de projeto sísmicas.

No dimensionamento da estrutura definitiva dos poços serão consideradas as situações de projeto sísmicas, correspondentes a condições aplicáveis à estrutura quando sujeita a ação dos sismos.

10 PROJETO GEOTÉCNICO DO SUPORTE PRIMÁRIO

Para o dimensionamento das estruturas de suporte provisórias, foram utilizadas metodologias de cálculo distintas para os poços de ventilação, seguindo o exposto nos subcapítulos seguintes:

10.1.1 Estruturas de contenção do poço de ventilação

O dimensionamento da estrutura de contenção provisória dos Poço de ventilação é realizado através de um modelo de cálculo numérico num programa de elementos finitos. Para o efeito, utilizaram-se os programas de cálculo automático Plaxis 2D e Plaxis 3D, os qual permitem a produção automatizada de uma malha de elementos finitos, triangulares de quinze nós, tendo esta sido refinada a zona próxima da escavação.

A modelação numérica será efetuada considerando um modelo 2D axissimétrico no caso do PV215 e modelos 3D nos casos do PV211 (por ter os impulsos de terras muito desequilibrados devido à presença do aqueduto e dos reservatórios da EPAL) e PV217 (por ser oval)

Em ambos os casos o comportamento mecânico do terreno foi simulado por uma lei de comportamento elástico linear perfeitamente plástico, sendo a rotura controlada pelo critério de Mohr-Coulomb, admitindo todos os materiais como isotrópicos.

As fronteiras foram definidas de modo a abranger a quase totalidade da zona onde se faz sentir a alteração do estado de tensão e deformação causada pela abertura das escavações. Em cada fase de escavação foram retirados os elementos correspondentes e, subsequentemente instaladas as medidas de suporte primário preconizadas, de modo a reproduzir um faseamento construtivo previsto em fase de construção.

Na Figura 11 ilustra-se o modelo de cálculo desenvolvido para o PV217.

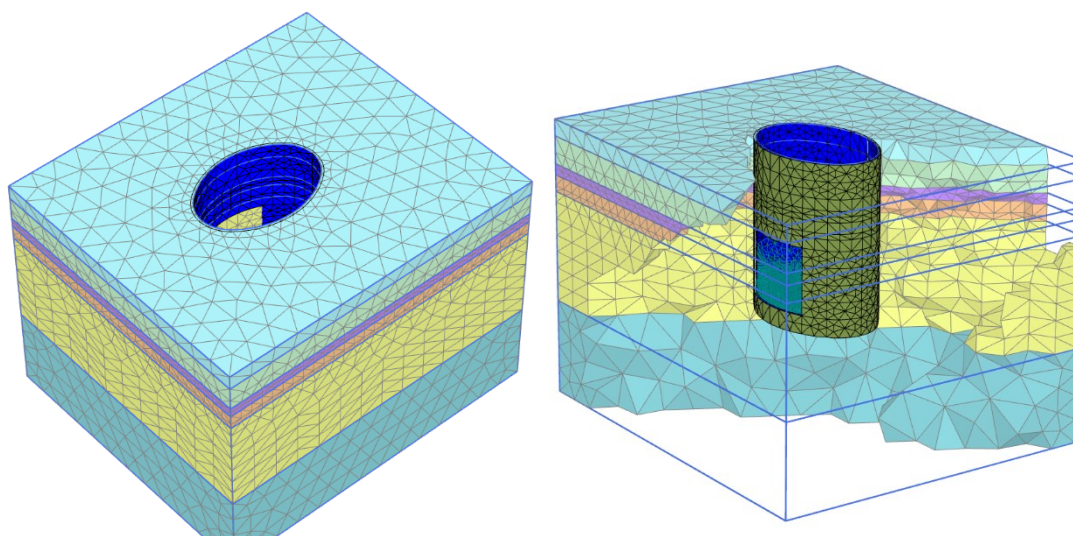


Figura 11 – Modelo de cálculo do poço de ventilação PV217

No âmbito das análises numéricas, no que respeita às verificações de segurança e à determinação dos esforços de cálculo atuantes nos elementos estruturais a aplicação dos coeficientes parciais de segurança estabelecidos pelo EC7 será realizada através de ferramenta própria disponível no software utilizado (Design Approach).

10.2 Ações

As ações consideradas no projeto geotécnico das contenções provisórias foram definidas com base na regulamentação em vigor e no Normativo do Metropolitano. Encontram-se resumidas na Tabela 9.

Tabela 9 – Revestimento primário. Ações de dimensionamento

| Ações | Valor/Observação |
|---|---|
| CARGAS PERMANENTES | – |
| Peso próprio | $\gamma_{\text{betão}} = 25 \text{ kN/m}^3$ |
| AÇÕES DO SOLO | – |
| Peso de Terras | Carregamento resultante do peso de terras atuante em cada secção de cálculo. Adotaram-se os pesos específicos definidos na parametrização geotécnica (ver Tomo I – Volume 6 – Estudo Geológico Geotécnico). |
| Tensões do solo | Adotaram-se os coeficientes de impulso horizontal definidos na parametrização geotécnica (ver Tomo I – Volume 6 – Estudo Geológico Geotécnico). |
| IMPULSOS DE ÁGUA | – |
| Impulsos hidrostáticos | $\gamma_{\text{água}} = 10 \text{ kN/m}^3$ Nível freático definido para cada secção de cálculo. Adotaram-se os níveis definidos no Tomo I – Volume 6 – Estudo Geológico Geotécnico). |
| SOBRECARGAS À SUPERFÍCIE | – |
| Carga de ocupação à superfície | 10 kN/m ² por cada metro de profundidade |
| Carregamento imposto por edifícios (quando aplicável) | 12 kN/m ² (por piso, incluindo o peso próprio) |

10.3 Combinações de Ações

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

10.3.1 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.

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 10) e aos materiais, segundo os regulamentos correspondentes a cada um destes estados limites (Tabela 11 e Tabela 12).

Tabela 10 - 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 11 - 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_γ | 1,00 | 1,00 |

Tabela 12 - 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 13 – 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 14 – 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 $\tan \phi'$ | | |

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

Tabela 15 – 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 |

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.

10.3.2 Estados Limite de Serviço

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 16:

Tabela 16 – 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.

10.4 Verificação da Segurança

10.4.1 Descrição geral

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.

Na verificação da segurança dos elementos estruturais dimensionados foi adotada a regulamentação nacional e internacional em vigor e, em situações não previstas regulamentarmente, metodologias de cálculo reconhecidamente comprovadas. Este procedimento permitiu a aferição das dimensões médias dos elementos dimensionados, cujos valores se encontram, naturalmente, condicionados pela validade das premissas consideradas.

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