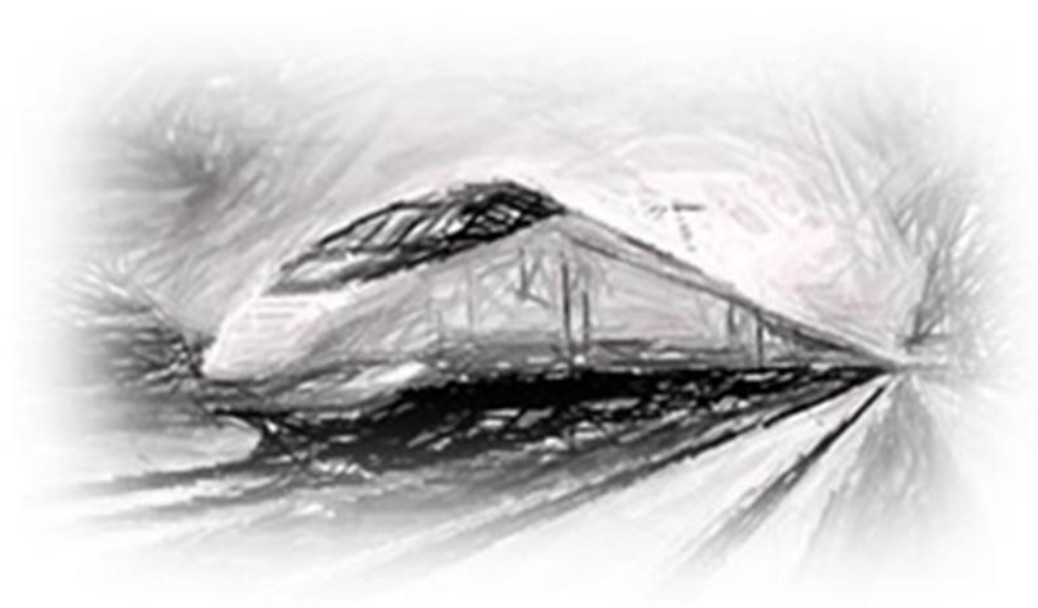


**LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE
PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA
TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ
SUBTROÇO A3 – KM 33+200 AO KM 49+900**



**PROJETO DE EXECUÇÃO
V01 – INFRA-ESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA FÉRREA
TOMO 01.03 – ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DA PLATAFORMA**

Memória Descritiva e Justificativa

LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA

**TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ
SUBTROÇO A3 – KM 33+200 AO KM 49+900**

**PROJETO DE EXECUÇÃO
V01 – INFRA-ESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA-FÉRREA
TOMO 01.03 – ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DA PLATAFORMA**

ÍNDICE DE PEÇAS ESCRITAS		
CÓDIGO DOCUMENTO	DATA	DESIGNAÇÃO
PF102A3.PR.01.03.00.00.IND.00	14.08.2025	ÍNDICE
PF102A3.PR.01.03.00.00.MDJ.00	14.08.2025	MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

ÍNDICE DE PEÇAS DESENHADAS			
CÓDIGO DOCUMENTO	DATA	DESIGNAÇÃO	Nº ORDEM
PF102A3.PR.01.03.00.00.101.00	14.08.2025	A34.1 - PK 34+430 a PK 34+500 Planta e Corte Tipo	EEP 101
PF102A3.PR.01.03.00.00.102.00	14.08.2025	A44.1 - PK 44+050 a PK 44+150 Planta e Corte Tipo	EEP 102

Controlo de Assinaturas

Realizado	Revisto	Aprovado Coordenador Projeto
Pedro Antunes Mário Freire Helena Costa Teresa Santos	Pedro Antunes	Eduardo Mira Fernandes
14-08-2025	14-08-2025	14-08-2025
Data e Assinatura	Data e Assinatura	Data e Assinatura

Não necessita de assinatura se aprovado eletronicamente

Informação Adicional	Informação do Documento	
O Gestor de Projeto -	Código Documento PF102A3.PR.01.03.00.00.MDJ.00.docx	
O Responsável Unidade -	Revisão 00	Data 14-08-2025
O Responsável Departamento -	Código Projetista	
O Diretor -	Nome do Ficheiro PF102A3.PR.01.03.00.00.MDJ.00.docx	

Registo de Alterações

Rev	Data	Autor	Secção Afetada	Alterações
00	14-08-2025	Vários	Edição inicial	-

LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA**TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ****SUBTROÇO A3 – KM 33+200 AO KM 49+900****PROJETO DE EXECUÇÃO****V01 – INFRA-ESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA FÉRREA****TOMO 01.03 – ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DA PLATAFORMA****MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA****ÍNDICE**

1	INTRODUÇÃO	1
2	ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	2
3	PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	3
4	ATERROS	4
4.1	Solução de reforço A34.1 (PK 34+430 a Pk 34+500)	4
4.1.1	Descrição do trecho em análise	4
4.1.2	Solução de reforço proposta	10
4.1.3	Faseamento construtivo	11
4.1.4	Plano de Instrumentação e Observação	13
4.2	Solução de reforço A44.1 (PK 44+050 a PK 44+150)	13
4.2.1	Descrição do trecho em análise	13
4.2.2	Solução de reforço proposta	22
4.2.3	Faseamento construtivo	23
4.2.4	Plano de Instrumentação e Observação	24
5	VERIFICAÇÃO DE ASSENTAMENTOS EM ATERROS TIPO DE GRANDE ALTURA	26
5.1	Estados Limites de Utilização (Assentamentos)	26
5.1.1	Cálculo dos assentamentos imediatos (s_i)	26
5.1.2	Cálculo dos assentamentos por consolidação primária (s_c)	27
5.1.3	Cálculo dos assentamentos por consolidação secundária (fluência) (s_d)	28
5.2	Modelos Numéricos	28
5.2.1	Aterros $H \leq 10,0m$	29
5.2.2	Aterros $H \leq 15,0m$	33
5.2.3	Aterros $H \leq 20,0m$	38
5.2.4	Discussão de Resultados	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do aterro entre os PK 34+460 – 34+495 sobre ortofotomapa. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)	5
Figura 2 - Representação do aterro entre os PK 34+460 – 34+495 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m).....	5
Figura 3 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).	6
Figura 4 - Excerto do aterro em planta, onde é visível a existência de duas linhas de água secundárias que interseitam a área de implantação do aterro.	7
Figura 5 - Localização esquemática do empréstimo situado ≈ entre os PK 33+550 – 34+400.....	9
Figura 6 - Localização esquemática do empréstimo situado ≈ entre os PK 34+575 – 35+400.....	10
Figura 7 – Representação do aterro entre os PK 44+053 e 44+103 sobre ortofotomapa. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)	14
Figura 8 Representação do aterro entre os PK 44+053 e 44+103 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m).....	15
Figura 9 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).	16
Figura 10 - Excerto do aterro em planta, onde é visível a existência de duas linhas de água que confluem numa única linha de água.....	17
Figura 11 – Representação em planta do trecho de escavação situado entre o PK 45+000 e 46+225.....	20
Figura 12 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase6)	31
Figura 13 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 6)	31
Figura 14 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 6)	32
Figura 15 – Aterro $H \leq 10,0$ - Gráfico dos assentamentos em função do tempo.....	32
Figura 16 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase7)	35
Figura 17 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Sem Reforço	35
Figura 18 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Sem Reforço	36
Figura 19 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Com Reforço	36
Figura 20 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Com Reforço.....	37
Figura 21 – Aterro $H \leq 15,0$ - Gráfico dos assentamentos em função do tempo.....	37
Figura 22 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase8)	40
Figura 23 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Sem Reforço	40
Figura 24 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Sem Reforço	41
Figura 25 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Com Reforço	41
Figura 26 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Com Reforço.....	42
Figura 27 – Aterro $H \leq 20,0$ - Gráfico dos assentamentos em função do tempo.....	42

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros geotécnicos para materiais terrosos.	3
Quadro 2 - Parâmetros geotécnicos para materiais rochosos.	3
Quadro 3 - Solução de reforço detalhada entre os PK 33+430 a 33+500	11

Quadro 4 - Solução de reforço detalhada entre os PK 44+050 a 44+150	22
Quadro 5 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos.....	30
Quadro 6 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS	30
Quadro 7 – Aterro $H \leq 10,0$ – Taxas de Deformação	33
Quadro 8 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos.....	34
Quadro 9 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS	34
Quadro 10 – Aterro $H \leq 15,0$ – Taxas de Deformação	38
Quadro 11 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos.....	39
Quadro 12 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS	39
Quadro 13 – Aterro $H \leq 20,0$ – Taxas de Deformação	43

ANEXOS

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo é parte integrante da Ligação Ferroviária de Alta Velocidade entre o Porto e Lisboa.

O troço em desenvolvimento denominado como Lote A, tem uma extensão aproximada de 70km, e situa-se entre o Porto (Campanhã) e Aveiro (Oiã), tendo sido subdividido em 6 zonas:

- Subtroço A1 – km 0+000 ao km 15+500
- Subtroço A2 – km 15+500 ao km 33+200
- **Subtroço A3 – km 33+200 ao km 49+900**
- Subtroço A4 – km 49+900 ao km 70+225
- Subtroço A5 – Estação da Campanhã
- Subtroço A6 – Ligação à Linha do Norte em Canelas

O presente documento diz respeito ao projeto de execução das Estruturas de Proteção e Estabilização da Plataforma, referente ao Subtroço A3 situado entre o km 33+200 e o km 49+900. Este projeto tem por base o estudo de Plataforma da Via / Terraplenagens, que é parte integrante deste projeto e que pode ser consultado no Tomo 1.1.

Além desta memória descritiva e justificativa, integram o presente estudo um conjunto de peças desenhadas, constituídas por plantas e perfis transversais tipo das soluções adotadas.

2 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O enquadramento geológico-geotécnico do sublote interessado nesta memória descritiva e justificativa (assim como a caracterização geotécnica dos materiais a intersetar) poderá ser consultado no Tomo 1.7 do presente volume.

3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Os parâmetros geotécnicos dos materiais interessados nas zonas de intervenção definidas neste documento foram definidos no âmbito do enquadramento geológico-geotécnico do sublote ST3, que poderão ser consultados no Tomo 1.7 do presente volume.

Por forma a facilitar a consulta do documento, os referidos parâmetros são transcritos nos quadros seguintes.

Quadro 1 - Parâmetros geotécnicos para materiais terrosos.

Descrição	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	c_u (kPa)	E (MPa)
Aterros (At) Materiais diversos de natureza arenosa ou xistenta soltos a medianamente compactos	18 - 20	27 - 33	0 - 5	-	20 - 50
Aluviões (Al) Areias muito soltas a soltas	16 - 18	28 - 32	0	-	< 20
Aluviões (Al) Areias lodosas ou argilosas muito moles a moles	16 - 18	-	-	< 40	< 20
Depósitos de cobertura (Q) Areias soltas a medianamente compactas, pontualmente compactas.	18 - 21	28 - 35	5 - 10	-	15 - 80
Unidades metamórficas decompostas a muito alteradas (W5 a W4)	19 - 22	28 - 33	10 - 20	-	15 - 80
Unidades metamórficas muito alteradas e com fracturação muito próxima a próxima (W5-4 / F5-4)	22 - 24	35 - 40	20 - 150	-	> 80

Quadro 2 - Parâmetros geotécnicos para materiais rochosos.

Descrição	γ (kN/m ³)	Parâmetros de rotura de Hoek-Brown							E (MPa)
		σ_{ci} (MPa)	GSI	mi	D	mb	s	a	
Unidade de Arada (W4 a W3, F4 ou melhor)	21 - 24	5 - 25	20 - 35	5 - 10	0,7	25 - 50	9,22 x 10 ⁻⁶ - 8,11 x 10 ⁻⁵	0,544 - 0,516	100 - 200
Unidade de Arada (W3-2, F3)	22 - 25	25 - 50	30 - 40			50 - 100	3,93 x 10 ⁻⁵ - 1,67 x 10 ⁻⁴	0,522 - 0,511	

4 ATERROS

Considerando as características dos materiais a utilizar nos aterros, os condicionamentos de ocupação do solo, as alturas de aterro, a disponibilidade de material adequado e a integração paisagística, considera-se genericamente uma inclinação de 1/2 (V/H) para os taludes de aterro.

Em taludes com altura superior a 10 metros, preconiza-se ainda a execução de uma banquetta estabilizadora intermédia, com 3,0 metros de largura e posicionada 10 metros abaixo da rasante, que permitirá diminuir a inclinação média e o percurso de escorrência de águas superficiais, que serão captadas por valetas de banquetta.

A inclinação relativamente baixa dos taludes, assim como adoção de espaldares reforçados em solo-cimento ou ABGE previstos nos trechos de aterros altos ($H_{\text{eixo}} > 15$ m), contribuem favoravelmente para a estabilidade.

As inclinações estabelecidas para os taludes são compatíveis com o revestimento de terra vegetal, devendo este ser aplicado nos taludes, conjuntamente com vegetação autóctone, de modo a prevenir a erosão provocada pela escorrência de água superficial sobre a face. A espessura da camada de terra vegetal deverá ser de 0,15 m.

Apresenta-se, no presente capítulo, a listagem dos aterros no subtroço A3 que atingem altura máxima ao eixo superior a 15 m.

- PK 34+412 – 34+588;
- PK 43+871 – 44+520;

Notar que os PK indicados na listagem apresentada indicam toda a extensão do aterro, sendo as extensões mais críticas ($h > 15$ m) subtrechos dos trechos indicados.

Nos subcapítulos seguintes descreve-se cada uma das situações acima elencadas, no que se refere ao seu enquadramento geológico e geomorfológico, à caracterização geotécnica disponível ao nível das condições de fundação do aterro e ainda à definição das soluções de reforço.

4.1 Solução de reforço A34.1 (PK 34+430 a Pk 34+500)

4.1.1 Descrição do trecho em análise

4.1.1.1 Descrição Geral

Nas figuras Figura 1, Figura 2 e Figura 3 apresentam-se excertos do aterro entre o PK 34+412 e 34+588, com particular para ênfase para a extensão crítica do aterro (onde $h_{\text{eixo}} > 15$ m), em planta sobre ortofotomapa, em planta sobre a cartografia geológica à escala 1:1.000 e em perfil longitudinal.

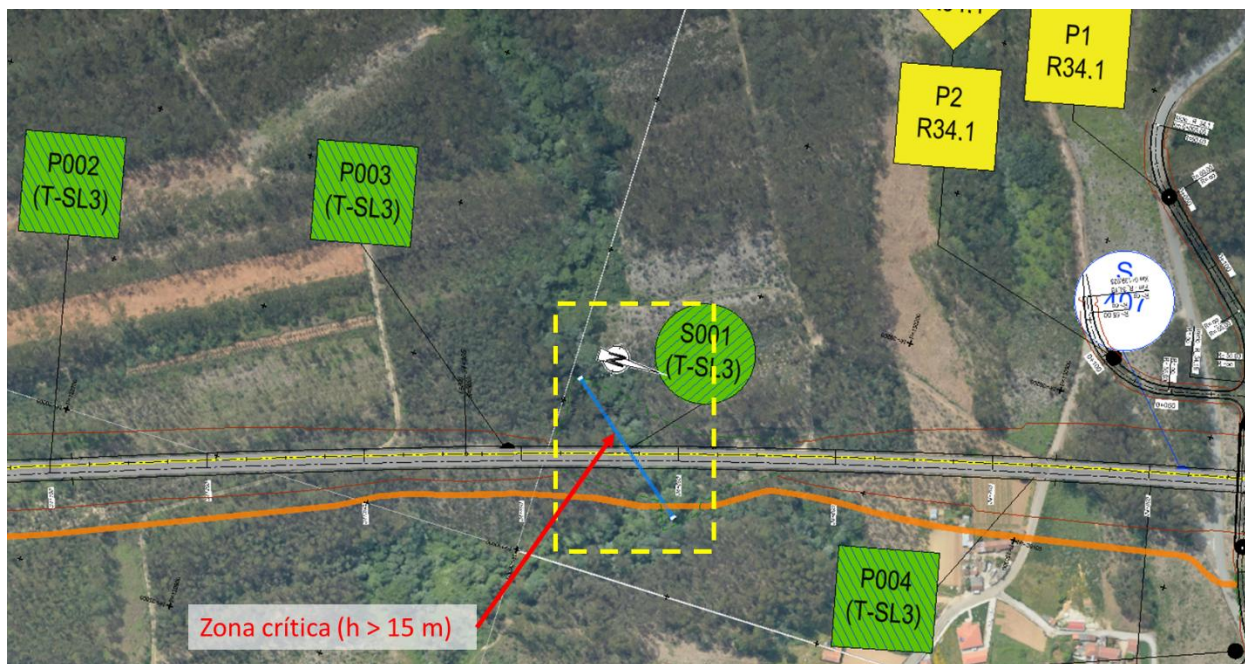


Figura 1 - Representação do aterro entre os PK PK 34+460 – 34+495 sobre ortofotomapa. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)

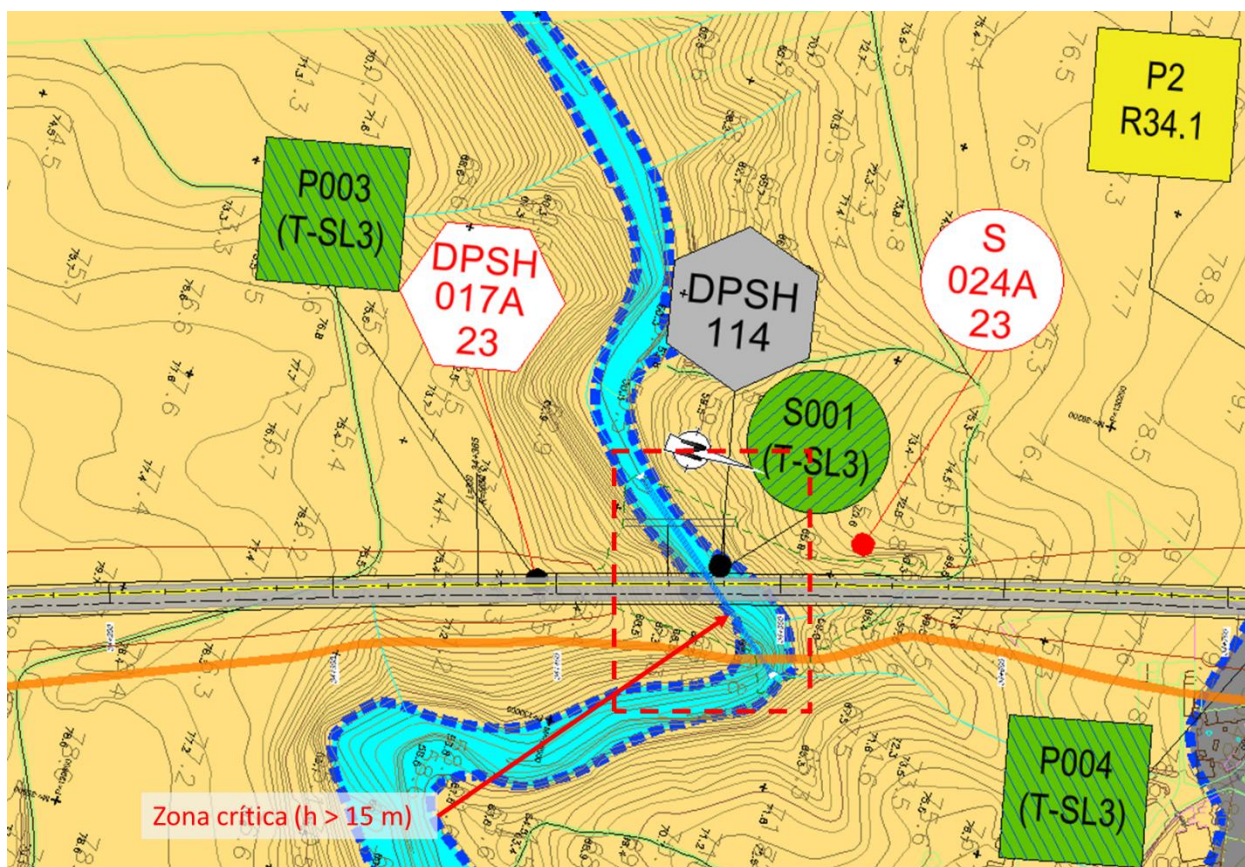


Figura 2 - Representação do aterro entre os PK 34+460 – 34+495 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)

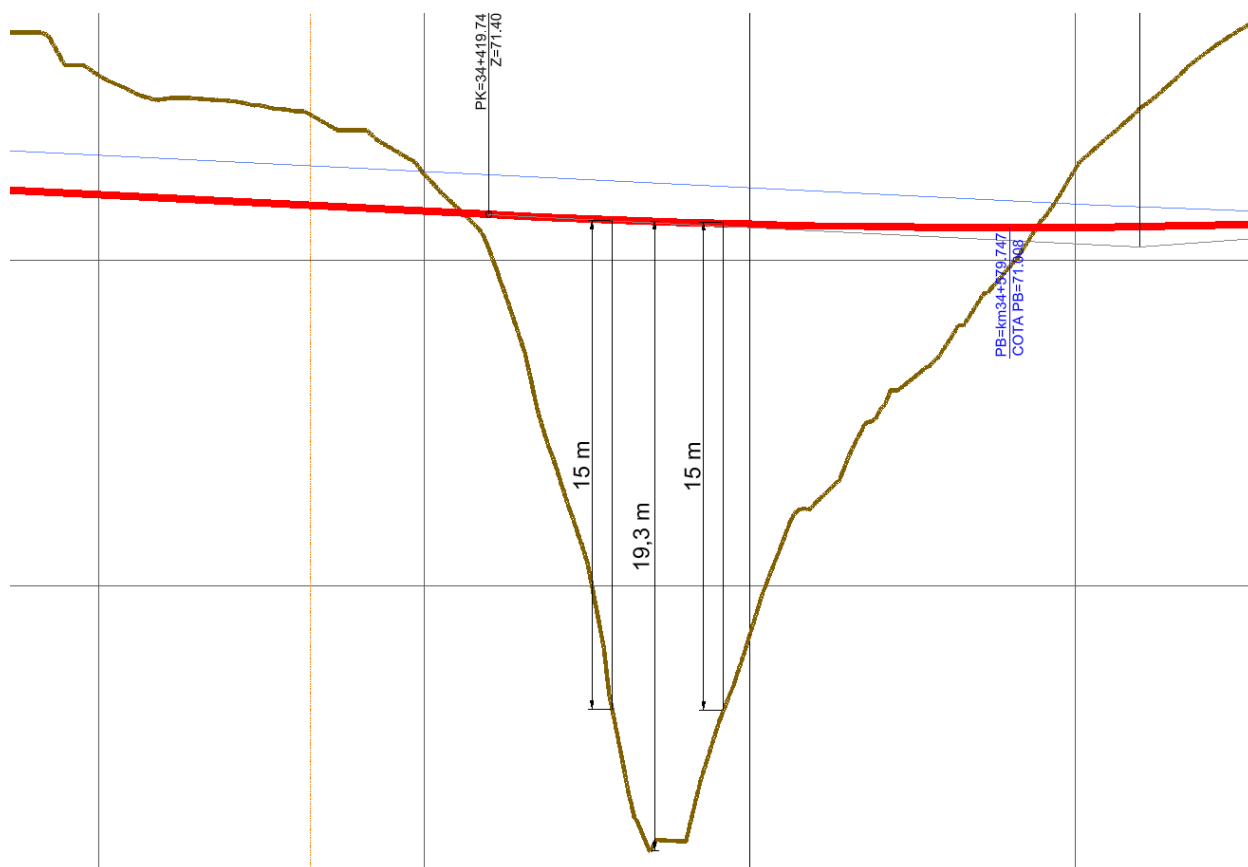


Figura 3 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).

A zona mais crítica do aterro encontra-se situada entre os PK 34+460 e 34+495 (35 m), onde a altura ao eixo varia entre 15,0 e 19,3 m, sendo este valor máximo atingido ao PK 34+469.

A zona mais crítica do aterro interessado ocorre no atravessamento de viés de uma linha de água muito encaixada, cujo fluxo se dá de NE para SW. A altura máxima do aterro é atingida no ponto mais baixo do vale, onde corre a referida linha de água. Geometricamente, o trecho mais crítico do aterro acompanha o alinhamento do vale intersetado.

A linha de água indicada no parágrafo anterior será captada pela PH34.1, com secção 4,0 x 4,0 m.

Além da linha de água principal, refere-se à existência de duas linhas de água secundárias, que correm de NNW para SSE em direção ao curso de água principal.

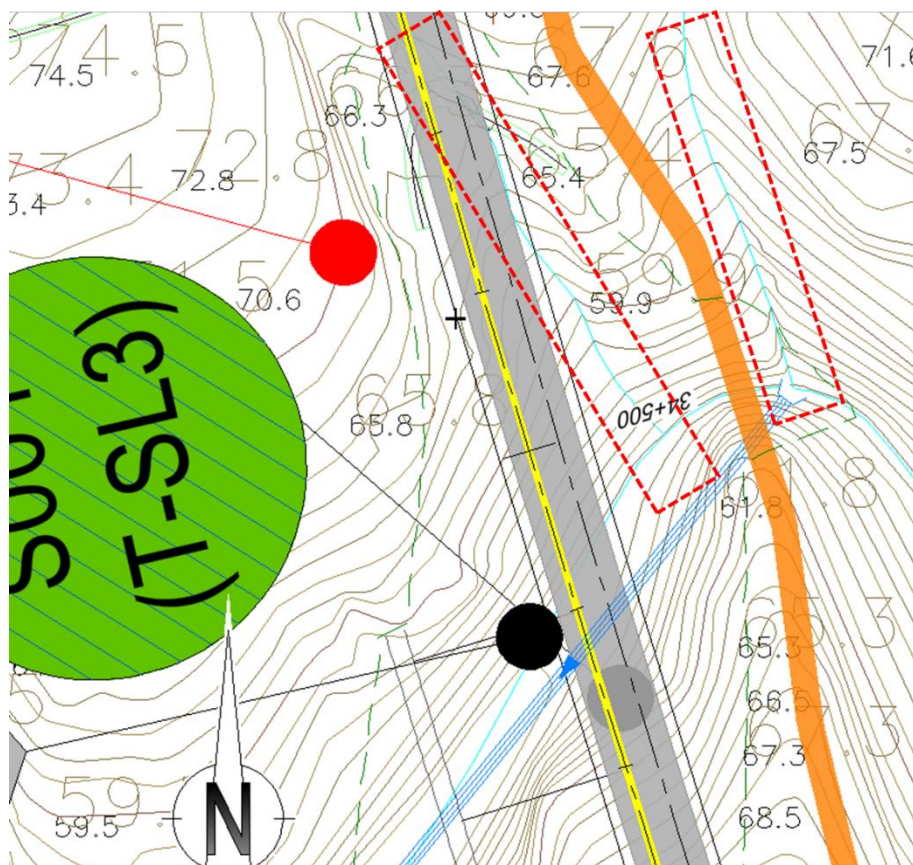


Figura 4 - Excerto do aterro em planta, onde é visível a existência de duas linhas de água secundárias que interseitam a área de implantação do aterro.

4.1.1.2 Considerações Geológicas e geotécnicas

A formação geológica sobre a qual se desenvolve este aterro corresponde à Unidade de Arada, sendo esta uma formação de cariz metamórfico, representada, essencialmente, por filitos negros e esverdeados constituídos por xistos argilo-quartzo-sericíticos, quartzo-sericito-cloríticos, clorito-sericito-moscovíticos, geralmente físseis, que se apresentam mais ou menos ondulados e contêm intercalações quartzosas lenticulares.

Ao nível da linha de água, desenvolvem-se aluviões, não se conhecendo as características dos seus solos.

Relativamente à prospeção geotécnica existente, destacam-se os seguintes elementos:

- DPSH114 (Ex-RAVE): Situado, sensivelmente, ao km 34+475, próximo do eixo do traçado, este DPSH aparenta ter intersetado aluviões ou um horizonte superficial descomprimido da Unidade de Arada (X);
- S024A-23 (Estudo Prévio, IP): Esta sondagem situa-se ao PK 34+535, estando situada a curta distância do eixo de traçado. No entanto, situa-se fora da zona mais crítica da fundação do aterro. Não obstante, a informação contida nesta sondagem é útil para caracterizar, de um modo geral, os materiais expetáveis de intersetar na fundação do aterro.

Síntese dos resultados do DPSH114: Este DPSH aparenta ter intersetado aluviões ou um horizonte superficial descomprimido da Unidade de Arada (X), caracterizado por Qd compreendido entre 10 e 20 MPa, numa espessura de 1 m. A “nega” foi obtida aos 1,4 m de profundidade.

Síntese dos resultados da S024A-23: A sondagem S024A-23 intersetou a Unidade de Arada a partir de 1,0 m de profundidade, a qual manifestou-se na forma de xistos grauvacóides W4/3 a W3/2 e F4 a F3, evidenciando planos de xistosidade verticais. O 1,0 m superficial é constituído por depósitos de aterro heterogéneos. O maciço apresenta fortes indícios de alteração nas paredes das descontinuidades (nomeadamente oxidação), observando-se vários filonetes quartzíticos com orientação subvertical (paralela à da xistosidade).

Em suma, embora a prospeção existente permita uma avaliação preliminar das condições de fundação do aterro, não existem elementos que permitam caracterizar, especificamente, as condições de fundação na sua zona mais crítica.

4.1.1.3 Caracterização da fundação do aterro

Como referido anteriormente, não existem dados de prospeção geotécnica que permitam uma caracterização específica das condições de fundação do aterro no seu trecho mais crítico. No entanto, é possível referir os seguintes aspetos.

- De acordo com o DPSH114, as aluviões poderão ter espessura média da ordem de 1,0 m, embora não seja evidente que os terrenos intersetados no ensaio mencionado correspondam a aluviões ou a um horizonte descomprimido da Unidade de Arada;
- Apesar de não se verificarem condições de acesso para executar a sondagem S001 (T-SL3), no processo de procura de acessos/tentativa de criação de acessos, foi reportada a presença de maciço rochoso aflorante (maciço xistento) ao nível das vertentes e do fundo do vale, pelo que a fundação do aterro deverá intersetar rocha.

4.1.1.4 Caracterização de empréstimos

Não existem escavações de dimensão significativa muito próximas do aterro interessado. Com efeito, as escavações com maiores dimensões mais próximas deste aterro são as seguintes:

PK $\approx$ 33+550 – 34+400: Sem dados de prospeção geotécnica de fases anteriores. Escavação com altura máxima da ordem dos 7,5 m que interseta a Unidade de Arada e, pontualmente, depósitos de terraço (de acordo com a cartografia geológica disponível).

PK $\approx$ 34+575 – 35+400: Nesta escavação refere-se, a sondagem S407 e o poço P119.

- Na sondagem referida intersetaram-se:
 - Depósitos de terraço até aos 4 m de profundidade, correspondendo estes a solos silto-argilosos com pequenos seixos rolados, níveis arenosos e fragmentos de xisto, sendo caracterizados por N_{SPT} de 37 a 49 pancadas.

- Unidade de Arada, descrita como migmatitos muito alterados a decompostos até aos 8,5 m de profundidade, passando-se a migmatitos medianamente alterados e muito fraturados até ao fim da sondagem (15 m).
- No poço P119, ensaiou-se uma amostra representativa dos depósitos de terraço, no qual foi obtida uma classificação de A-2-6 (0) / SC / C1-B2. Outros parâmetros ensaiados indicam % de finos de 22 %, LL = 38 %, IP = 19 %, teor em água de 8 %, equivalente de areia de 19 %, Azul de Metileno de 1,3 g/100g e CBR de 23 %

Os trechos de escavação referidos deverão intersetar, nalguns casos e de modo superficial, os depósitos de terraços fluviais e os xistos da Unidade de Arada. Não obstante a informação geotécnica disponível ser muito escassa, é expetável que nestes empréstimos não se obtenham materiais com classificação superior a QS1 (sejam solos, ou rochas). Na sondagem S407, é aparente que os depósitos são, predominantemente, de grão fino. Já a rocha, quando intersetada, deverá ocorrer, maioritariamente, na forma de maciço decomposto a muito alterado, apresentando um aspeto notoriamente evolutivo. Não obstante, o poço P119, situado a curta distância da sondagem S407, revela um cenário bastante mais favorável à caracterização dos depósitos de terraço, tendo-se ensaiado solos areno-cascalhentos com CBR de 23 %. Sobre este último poço, importa referir que, embora o CBR obtido seja típico de solos QS3, o teor em finos e a sua plasticidade relegam-nos para a classe QS1.

A eventual aplicação de enrocamentos na fundação dos aterros estará dependente da sua obtenção em empréstimo já que, mesmo que possam ser obtidos materiais rochosos na base das escavações, estes não têm características para serem aplicados com esta finalidade (materiais excessivamente friáveis e alteráveis).

Prevê-se que este trecho da LAV venha a requerer maior volume de terras, sendo provável a necessidade de recorrer a empréstimos afastados deste trecho (podendo, inclusivamente, não vir a ser obtidos das escavações na linha).

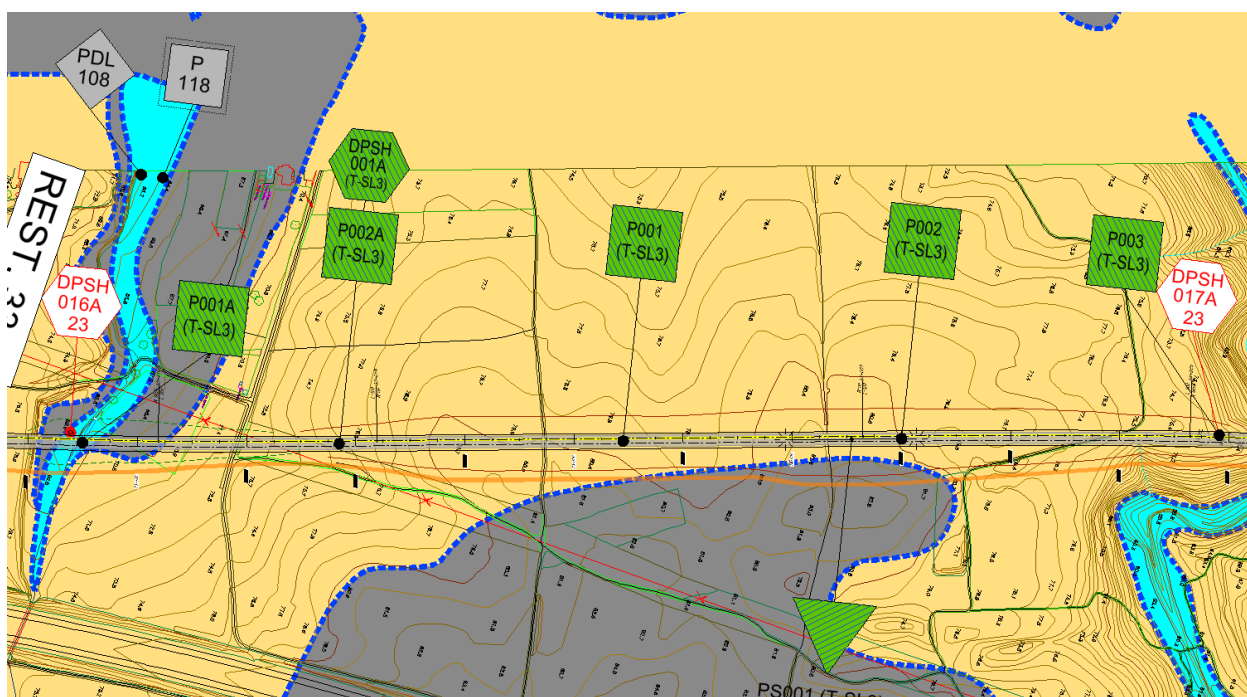


Figura 5 - Localização esquemática do empréstimo situado ≈ entre os PK 33+550 – 34+400

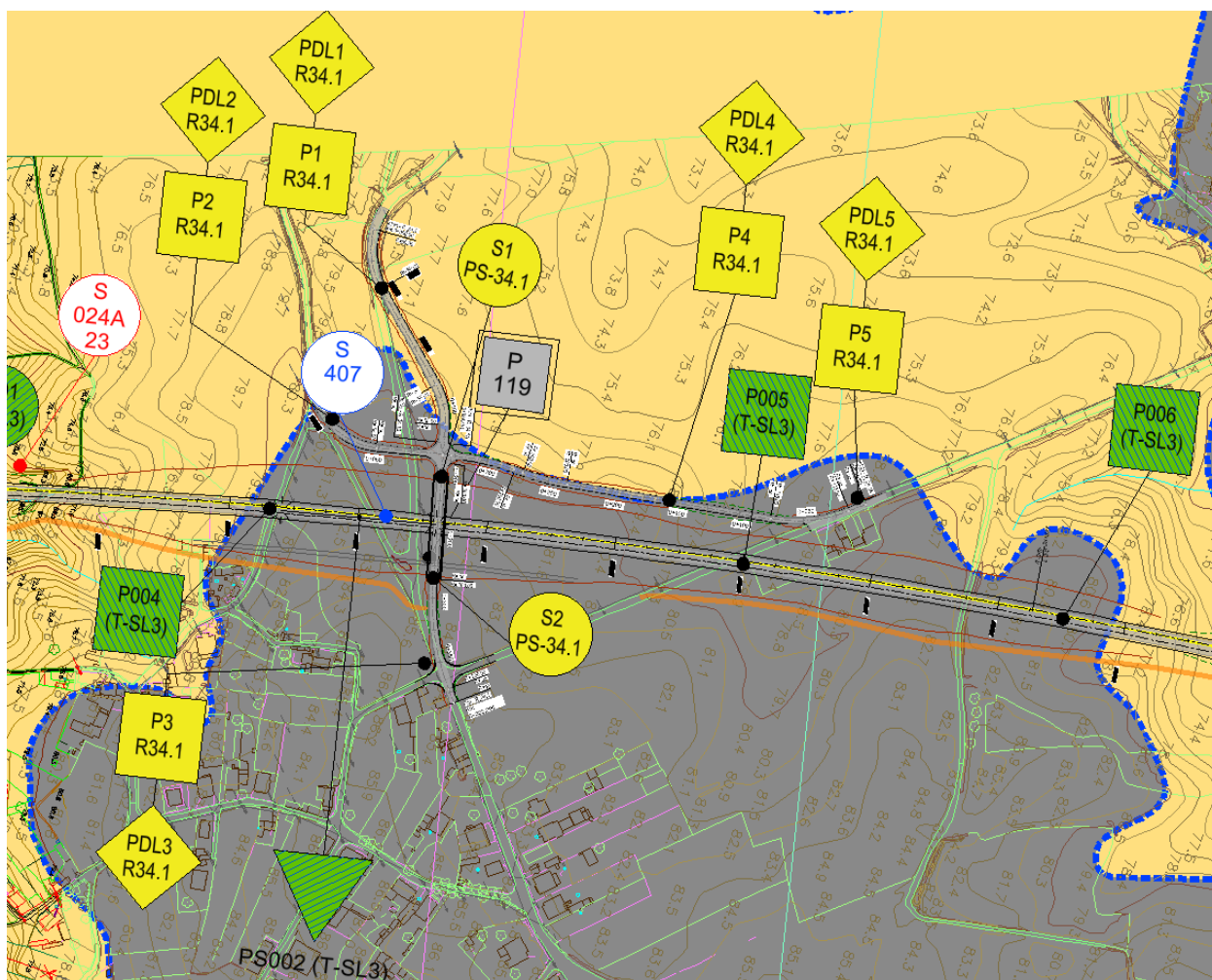


Figura 6 - Localização esquemática do empréstimo situado $\approx$ entre os PK 34+575 – 35+400

4.1.2 Solução de reforço proposta

Como possíveis soluções para este aterro, no seu trecho crítico, preconizam-se (preliminarmente) as seguintes:

- Fundação do aterro:
 - Saneamento numa espessura mínima de 1,0 m e substituição por enrocamento envolto em geotêxtil (camada drenante) nos terrenos identificados como aluvionares. Executar esta solução ao longo do alinhamento das outras linhas de água que serão sobrepostas pelo aterro a executar (*Figura 4*);
 - Escavação de endentamentos no terreno natural, devido à sua elevada pendente;
- Parte inferior do aterro:
 - Aplicação de materiais insensíveis à água (enrocamento) - A aplicação de enrocamento deverá ser considerada até 0,5 m acima do nível máximo de cheia, o qual deverá ser determinado pela especialidade de hidrologia.
- Corpo do aterro:

- Execução do aterro com materiais de características equiparáveis à classe QS2 ou QS1 (IRS70719), desde que o material seja caracterizado com valores de CBR > 10%, aplicados em camadas com espessura máxima de 30 cm e compactados a 95 % da baridade seca máxima (a aferir com o ensaio Proctor modificado). No caso de se aplicarem materiais xistentos, de características evolutivas, deverá assegurar-se que a compactação é realizada com cilindros pé-de-carneiro.
- Espaldar do aterro:
 - Aplicação de materiais com características idênticas ao corpo do aterro, mas tratados com cimento (teor estimado de 3 a 4 %, a validar com estudo de formulação específico). O tratamento com cimento deverá ser executado com uma largura de 7 a 10 m (pano superior e pano inferior do aterro, respetivamente). Estes espaldares podem também ser executados com materiais granulares britados do tipo ABGE, devendo ser assegurada a drenagem para o exterior do aterro.
- Parte superior do aterro / coroamento
 - Atendendo aos exigentes critérios de deformabilidade a que os Projetos têm de atender, considera-se que também o coroamento e a parte superior do aterro devem ser alvo de tratamento com cimento, nos mesmos termos que o indicado para os espaldares do aterro. Nesta fase preconiza-se uma espessura de 3 m para o coroamento / PSA tratado com cimento. Tal como referido para os espaldares do aterro, também neste caso admite-se a possibilidade de se considerar uma solução equivalente com aplicação de ABGE.

As soluções propostas foram definidas em função da altura do aterro, estando a sua distribuição ao longo do traçado sintetizada na tabela seguinte:

Quadro 3 - Solução de reforço detalhada entre os PK 33+430 a 33+500

Aterro Geral				Zona de tratamento				
Km inicial	Km final	Extensão Total (m)	Hmáx (eixo) (m)	Km inicial	Km final	Extensão(m)	H(eixo) (m)	Tipo do Solução
34+414	34+588	174	20,0	33+430	33+500	70	Heixo > 17,5 m	Solo cimento pano inferior: e = 7m pano superior: e = 10 m Coroamento: e = 3m

4.1.3 Faseamento construtivo

No que se refere ao processo construtivo, a execução dos aterros propostos, deve obedecer ao estipulado no Caderno de Encargos da Obra. Não obstante, importa referir que:

- Deverá promover-se a utilização de materiais com a mesma origem, e bem assim com comportamento uniforme, ao longo da mesma camada, em particular nos espaldares, não sendo permitida a alternância entre materiais xistosos e graníticos. Também em altura, a alternância destes materiais só é permitida no mínimo a cada 5 camadas (2m);

- Os materiais devem ser dispostos em “cordão”, a cerca de 5 metros da frente da camada, sendo depois espalhados pelo “Buldozer”, com a sua lâmina progressivamente mais baixa, por forma a permitir a boa envolvimento dos materiais mais grossos com os mais finos, que se reveste de fundamental importância, em particular, nos materiais xistosos dada a sua forte anisotropia e heterogeneidade conferida pela xistosidade. Com este procedimento consegue-se ainda uma fragmentação secundária, provocada pela passagem das lagartas do “Buldozer”, bastante benéfica, atendendo ao carácter evolutivo dos xistos; e,
- As camadas não deverão ter espessura superior a 0,40 m e deverão ser sujeitas a uma compactação intensa.

A execução de solo-cimento in situ pressupõe que as camadas dos espaldares sejam feitas em simultâneo com o restante aterro, não havendo diferenciação dessa parte do aterro relativamente ao restante até ao início do processo de enriquecimento do solo com cimento, que ocorre após a compactação da camada (que deverá estar minimamente desempenada).

O cimento deve ser adicionado na proporção ponderal de 3 a 4% (esta percentagem de cimento, por ser relativamente diminuta, mas claramente suficiente, não deverá conduzir a fenómenos de fissuração das camadas tratadas).

As camadas devem ser tratadas em toda a sua espessura (0,40 m), nas larguras apresentadas anteriormente, o que implica, a sua execução por faixas adjacentes de largura limitada à do tambor misturador da recicladora (usualmente com 2,5 m).

A execução de solo-cimento in situ pressupõe a realização sequencial das seguintes etapas construtivas, após a compactação inicial da cada camada:

- Espalhamento do cimento pelo camião-silo;
- Execução da mistura com adição de água, pela recicladora acoplada à cisterna. Quando decorra mais de 4 horas entre a realização de camadas consecutivas de solo-cimento, a recicladora deverá proceder à escarificação da camada abaixo da que se pretende tratar, em 1-2 cm, para que, desta forma, se promova a adequada ligação entre camadas;
- Compactação final com cilindro; e,
- Espalhamento, até um máximo de 4 horas após a compactação final, de uma nova camada, para execução imediata de solo-cimento ou apenas para cobertura, o que permitirá reduzir a exposição da camada tratada e funcionar como cura (substituindo a rega betuminosa que se utiliza usualmente para esse fim).

A construção dos aterros deve ser antecedida da realização de um trecho experimental de aterro corrente e de outro em solo-cimento, que permitirão confirmar os pressupostos de projeto, aferir a gama de valores de teor em água dos materiais mais adequada à construção dos aterros, e no que se refere ao trecho em solo-cimento, avaliar as resistências obtidas para a percentagem de cimento adicionada e a sua evolução temporal, em particular nos primeiros tempos.

4.1.4 Plano de Instrumentação e Observação

O plano de Instrumentação e Observação permitirá avaliar o desempenho das estruturas durante as fases construtiva e de exploração, mediante o reconhecimento de critérios de alerta, traduzindo diferentes níveis de gravidade, suscitados por medições anómalas das grandezas monitorizadas, os quais poderão indiciar a necessidade de intervenções com vista a garantir a segurança e economia das Obras em causa.

Este Plano foi concebido com base nos condicionamentos próprios da Obra, atendendo aos riscos a eles associados.

Por forma a caracterizar o comportamento das estruturas, no que se refere às suas deformações internas e superficiais, o Plano de Instrumentação e Observação contempla a instalação de dispositivos de observação e de instrumentação, a saber:

- Marcas topográficas, para medição das grandezas deslocamento horizontal e deslocamento vertical, na superfície dos aterros;
- Extensómetros, para medição da grandeza deslocamento vertical, no interior dos aterros; e,
- Inclínómetros, para medição da grandeza deslocamento horizontal, no interior dos aterros.

Os dispositivos de observação previstos serão instalados nos coroamentos, nas banquetas e nas saias dos aterros, de acordo com o descritivo seguinte e representado nas peças desenhadas do projeto.

- Coroamento: Marcas topográficas, inclínómetros e extensómetros;
- Banquetas: Marcas topográficas e inclínómetros;
- Pé do aterro: Marcas topográficas;

4.2 Solução de reforço A44.1 (PK 44+050 a PK 44+150)

4.2.1 Descrição do trecho em análise

4.2.1.1 Descrição Geral

Nas figuras Figura 7, Figura 8 e Figura 9 apresentam-se excertos do aterro entre o PK 43+871 e 44+520, com particular para ênfase para a extensão crítica do aterro (onde $h_{\text{eixo}} > 15$ m), em planta sobre ortofotomapa, em planta sobre a cartografia geológica à escala 1:1.000 e em perfil longitudinal.

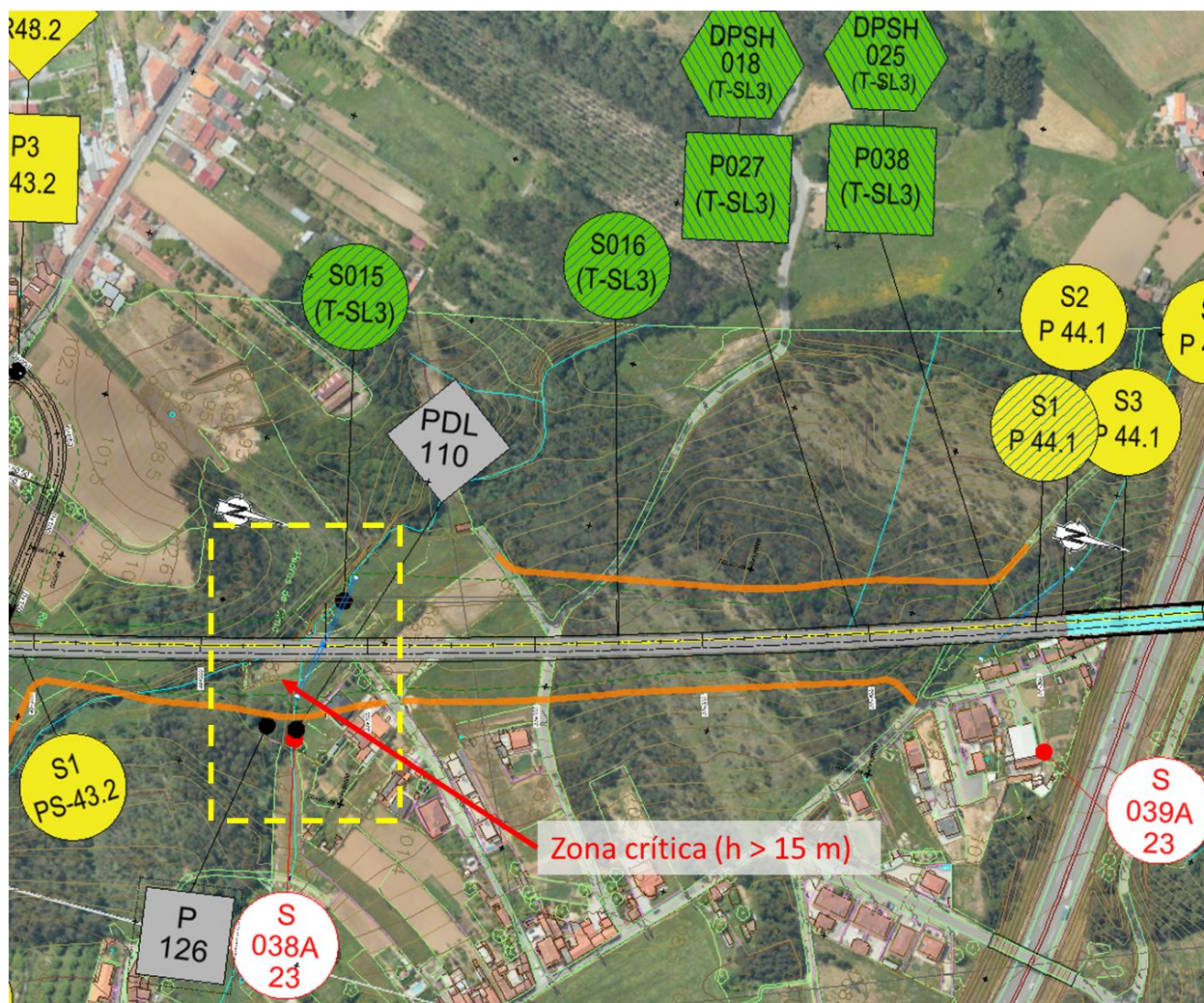


Figura 7 – Representação do aterro entre os PK 44+053 e 44+103 sobre ortofotomapa. Ênfase para a zona crítica ($h > 15$ m)

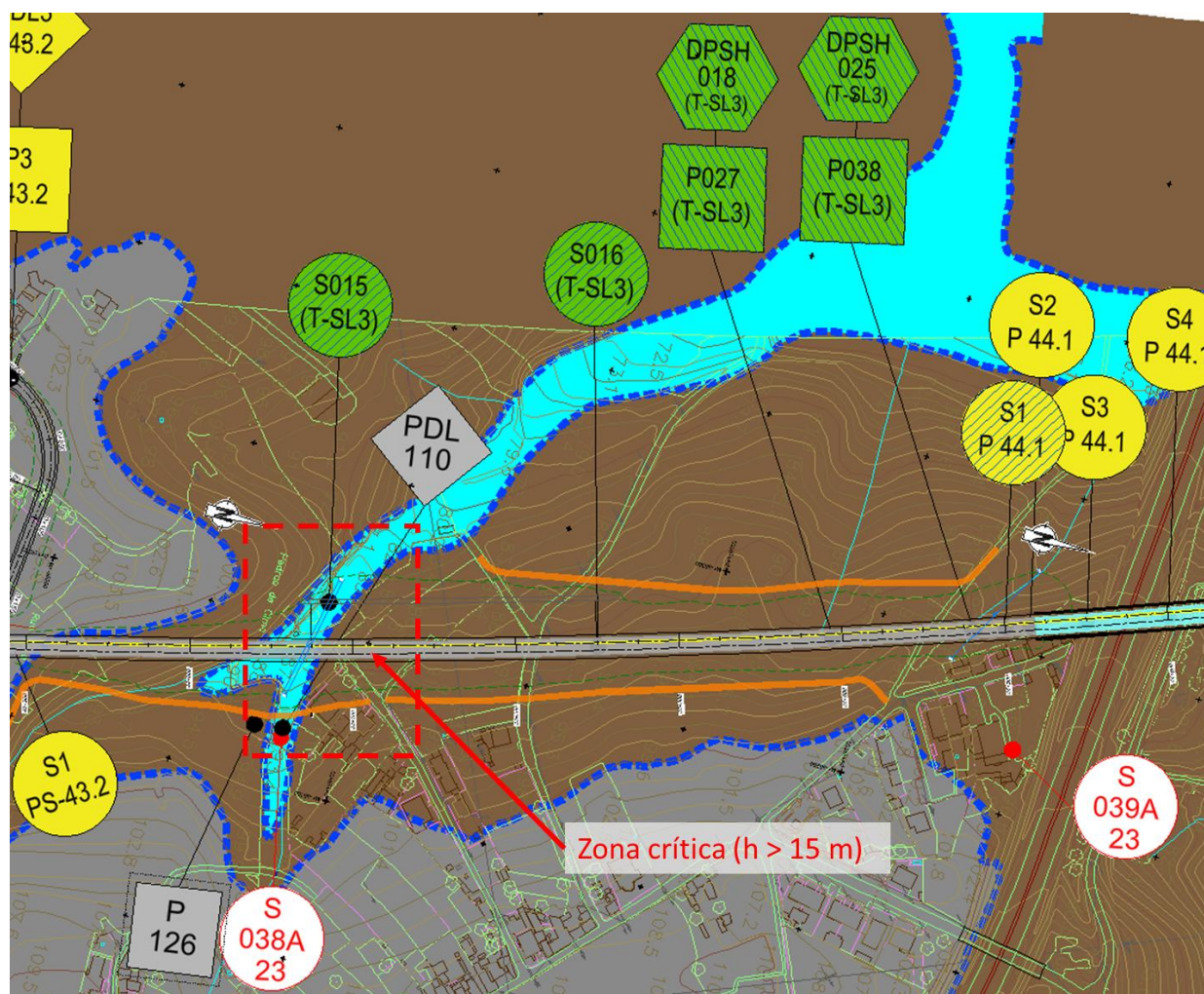


Figura 8 Representação do aterro entre os PK 44+053 e 44+103 sobre cartografia geológica à escala 1:1.000.
Enfãse para a zona crítica ($h > 15$ m)

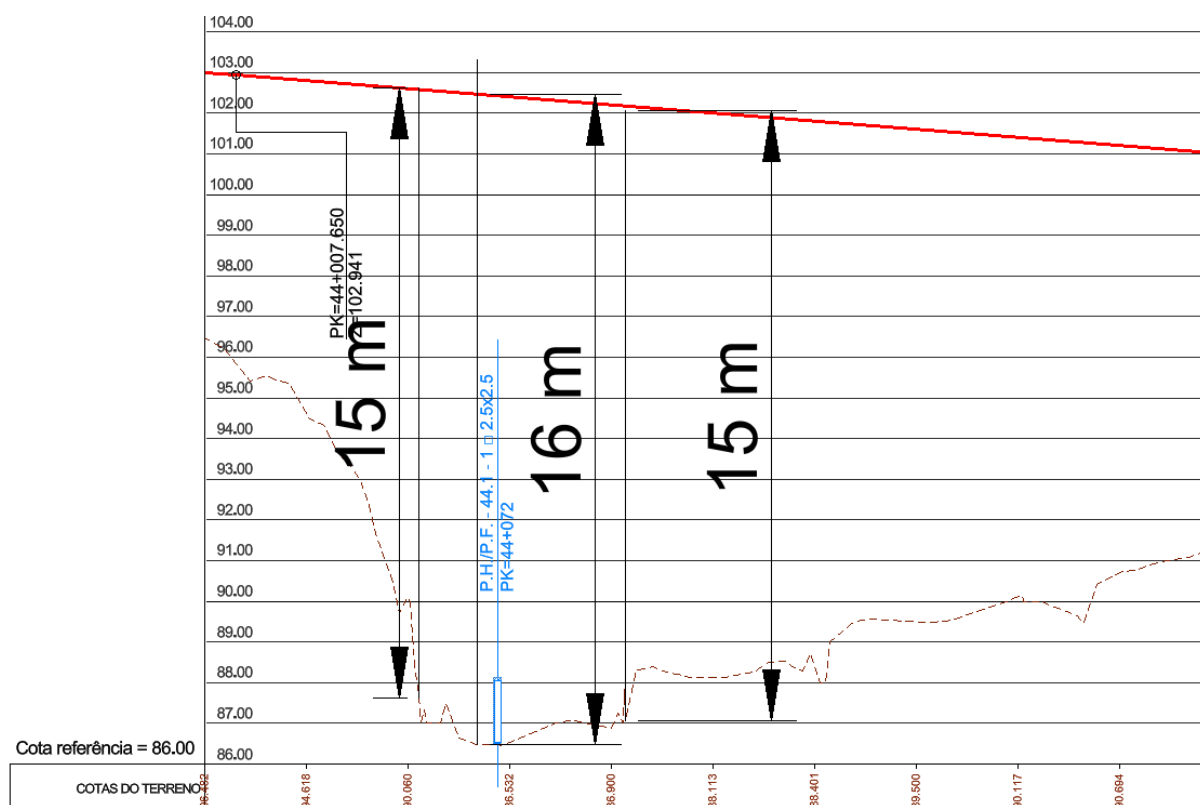


Figura 9 - Representação do trecho mais crítico do aterro em perfil longitudinal escala 1:1.000/1:100 (H/V).

A zona mais crítica do aterro encontra-se situada entre os PK 44+053 e 44+103 (50 m), onde a altura ao eixo varia entre 15,0 e 16,0 m, sendo este valor máximo atingido ao PK 44+063.

A zona mais crítica do aterro interessado verifica-se num local onde ocorre a junção de duas linhas de água, as quais, a partir desse ponto, seguem o seu curso no sentido leste – oeste (Figura 10). Estas desenvolvem-se em associação com pequenos vales, sendo que na zona onde se dá a confluência, a sul, observa-se uma vertente mais abrupta, enquanto, para norte, as cotas altimétricas do terreno aumentam de modo mais suave.

De acordo com o excerto de planta apresentado na Figura 10, a linha de água situada mais para sul será interetada obliquamente pelo aterro, enquanto a linha de água situada mais para norte (e que será canalizada por intermédio da PH44.1), é interetada de modo aproximadamente transversal.

Observa-se que a ocupação superficial do terreno inclui terrenos agrícolas e pequenas infraestruturas habitacionais.

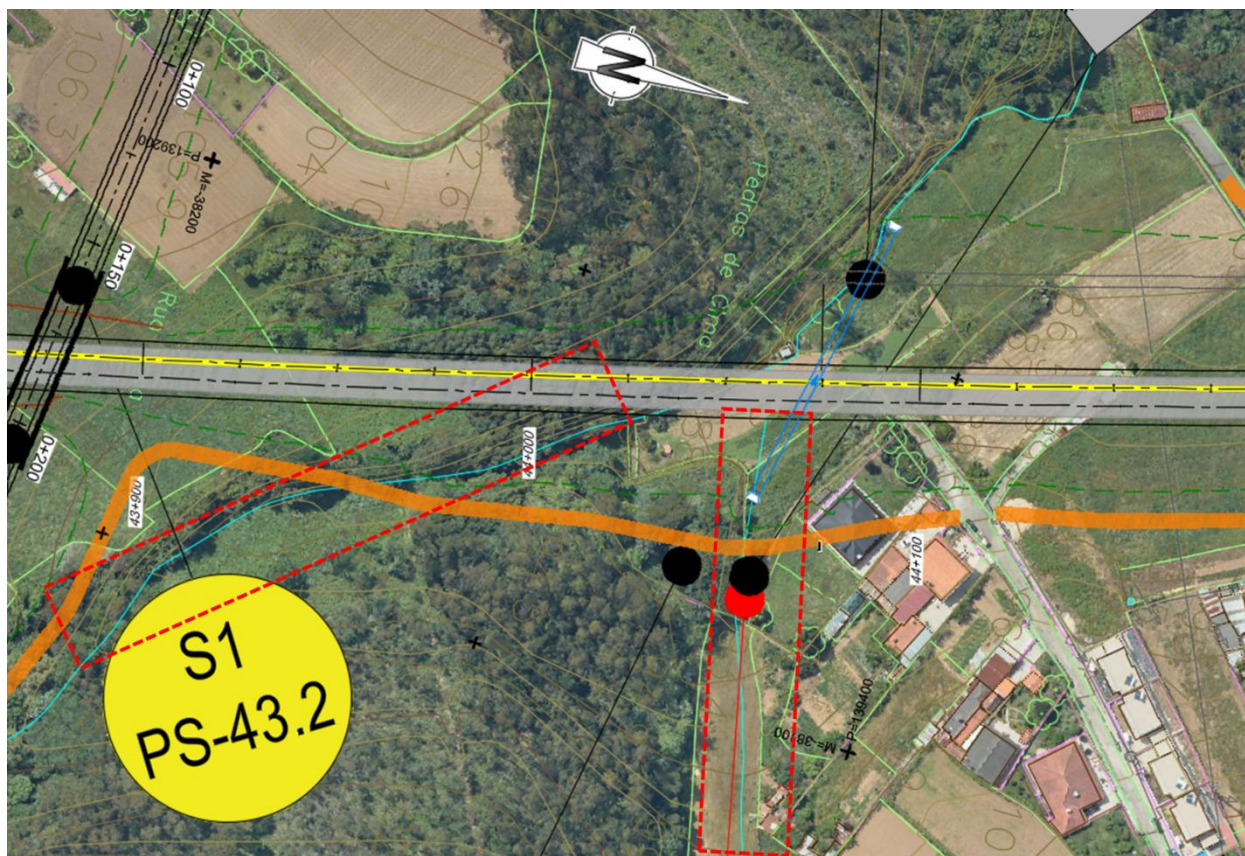


Figura 10 - Excerto do aterro em planta, onde é visível a existência de duas linhas de água que confluem numa única linha de água

4.2.1.2 Considerações Geológicas e geotécnicas

A formação geológica sobre a qual se desenvolve este aterro corresponde à Unidade de Lourosa, sendo esta uma formação de cariz metamórfico, representada, essencialmente, gnaisses granitóides, migmatitos e micaxistos por vezes granatíferos e com intercalações de xistos anfibolíticos e de anfibolitos, em regra granatíferos, de cor negra, medianamente granulares.

No trecho mais crítico deverão ser intersetadas aluviões na fundação do aterro. Segundo a sondagem S038A-23, estas aluviões deverão ser constituídas por solos finos de reduzida possança ($\approx 1,5$ m).

No que respeita à prospeção geotécnica existente, destacam-se os seguintes elementos:

- S038A-23 (Estudo Prévio, IP): Esta sondagem situa-se ao PK 44+060, estando situada a curta distância do pé do aterro (lado direito), na sua zona mais alta, sendo, por isso, representativa das condições de fundação expetáveis;
- PDL110 (Ex-Rave): O PDL110 foi executado, sensivelmente, no mesmo local onde se realizou a sondagem S038A-23.

Síntese dos resultados da S038A-23: A sondagem S038A-23 intersetou, até à profundidade de 1,3 m, aluviões silto-argilosas, abaixo das quais deu-se a transição para a Unidade de Lourosa. Até aos

6,1 m de profundidade, esta unidade materializa-se na forma de solos residuais migmatíticos, de natureza silto-arenosa, sendo medianamente compactos até aos 3 m de profundidade ($N_{SPT} = 20$ aos 1,5 m de profundidade) e muito compactos entre os 3 e os 6 m (com obtenção de $N_{SPT} \geq 60$). À profundidade de 6,0 m ocorre transição para maciço rochoso (migmatitos), caracterizado por grau de alteração W4/3 a W3/2 e F4 a F4/3 e RQD de 27 a 57 %.

Síntese dos resultados do PDL110: O PDL110 detetou foi realizado até à profundidade de 3,7 m, o perfil de resistência obtido é sugestivo de se ter intersetado aluviões numa espessura de 1,5 a 2,0 m.

4.2.1.3 Caracterização da fundação do aterro

De acordo com os dados de prospeção geotécnica descritos no ponto anterior, é expetável que se verifique o seguinte a respeito das condições de fundação do aterro, na sua zona mais crítica:

- Presença de aluviões silto-argilosas entre os PK 44+000 e 44+125 (aproximadamente), sendo estas intersetadas obliquamente pelo traçado. De acordo com os dados disponíveis, não é expetável que a sua possança ultrapasse os 1,5 – 2,0 m;
- Subjacentemente às aluviões será intersetada a Unidade de Lourosa, a qual, no seu horizonte mais superficial (numa possança de $\approx 1,5$ m) será constituída por solos residuais silto-arenosos medianamente compactos;
- Fora da envolvência das linhas de água, é expetável que, à superfície, ocorram solos residuais silto-arenosos a areno-siltosos, muito duros/medianamente compactos, da Unidade de Arada os quais poderão, pelo menos parcialmente, ser alvo de saneamentos.
- A partir dos $\approx 3,0$ m de profundidade é expetável a interseção de solos residuais silto-arenosos rijos/muito compactos ($N_{SPT} \geq 60$), com passagem a maciço rochoso migmatítico a partir dos $\approx 6,0$ m.

4.2.1.4 Caracterização de empréstimos

As escavações mais próximas do aterro em análise que deverão produzir volumes de escavação mais significativos situam-se entre os PK $\approx 45+000 - 46+225$ (SL3) e entre os PK $\approx 49+950 - 50+600$ (SL4).

O trecho de escavação situado entre os PK $\approx 45+000 - 46+225$ (SL3) deverá intersetar depósitos de terraço (Q) sobrepostos à Unidade de Lourosa (xyz), sendo estes materiais caracterizados pelos seguintes elementos de prospeção (de fases anteriores):

- S040A-23: Situada a cerca de 90 m do eixo do traçado, à cota do encontro N da Ponte sobre a Ribeira da Remôlha, esta sondagem é algo representativa do terreno natural no início da escavação. Foram obtidos os seguintes resultados:
 - Interseção de solos residuais silto-arenosos da Unidade de Lourosa (aparentemente originários da alteração de micaxistos) em toda a sua extensão, com frequentes fragmentos rochosos, apresentando compacidade muito variável em profundidade.
- S109: Esta sondagem, executada na fase da Ex-RAVE, e da qual apenas se dispõe do diagrama de sondagem simplificado apresentado no perfil geológico longitudinal patente no

Estudo Prévio da IP, situa-se ao PK 45+350 a cerca de 120 m do eixo do traçado. Foram obtidos os seguintes resultados:

- Interseção de depósitos de terraço numa espessura de 1,3 m, abaixo dos quais ocorre a Unidade de Lourosa, na forma de solos residuais a maciço decomposto (W5 a W5/4), sendo caracterizada por “negas” consecutivas desde os 7,5 m de profundidade;
- S110: A sondagem S110, também da fase da Ex-RAVE e da qual também apenas se dispõe do diagrama de sondagem simplificado, foi executada, sensivelmente, ao PK 45+950, distando cerca de 150 m do eixo do traçado. O resultado obtido aponta para um cenário geológico semelhante ao descrito para a sondagem S109, com a diferença dos depósitos de terraço terem sido intersetados com uma possança mais significativa (até 6,8 m de profundidade).
- PS111: O perfil sísmico PS111 (L=60m), executado a relativa proximidade da sondagem S109, e do qual não se dispõe do boletim, mas, apenas, da sua representação simplificada no perfil geológico longitudinal, sugere que os terrenos da Unidade de Lourosa, a partir dos 4 a 5 m de profundidade, são caracterizados por V_P de 1900 a 2500 m/s, sugestivo de um maciço rochoso (embora este não tenha sido intercetado nas sondagens analisadas). Este resultado não aparenta estar coerente com o observado nas três sondagens descritas pese embora, na Unidade de Lourosa, existam variações laterais bruscas do grau de alteração do maciço.

Da presente fase de estudos, referem-se os resultados preliminares obtidos nos poços P028 (T-SL3), P029 (T-SL3), P030 (T-SL3) e P031 (T-SL3), correspondendo estes, apenas, a descrições litológicas dos horizontes intersetados.

- P028 (T-SL3):
 - 0,00 - 0,40 m: Solo orgânico;
 - 0,40 – 1,20 m: Solo silto-argiloso amarelo;
 - 1,20 – 2,60 m: Solo silto-argiloso avermelhado com clastos de xisto;
- P029 (T-SL3):
 - 0,00 – 0,80 m: Solo orgânico;
 - 0,80 – 2,30 m: Solo silto-argiloso amarelo fortemente micáceo;
 - 2,30 – 3,20 m: Solo silto-argiloso laranja-avermelhado com níveis de areia grosseira;
- P030 (T-SL3):
 - 0,00 – 0,30 m: Solo orgânico;
 - 0,30 – 0,80 m: Solo arenoso de grão médio a grosseiro castanho com calhaus rolados;
 - 0,80 – 3,00 m: Solo silto-argiloso cinzento-amarelado.

- P031 (T-SL3):
 - 0,00 – 0,30 m: Solo orgânico;
 - 0,30 – 0,80 m: Solo arenoso de grão médio a grosseiro castanho com calhaus rolados (Depósitos de Terraço?);
 - 0,80 – 2,80 m: Solo silto-argiloso laranja-avermelhado.

Os dados acima indicados são meramente descritivos, não permitindo uma avaliação rigorosa do potencial de reaproveitamento destes materiais.

Na Figura 11 encontra-se patente o trecho de escavação analisado.

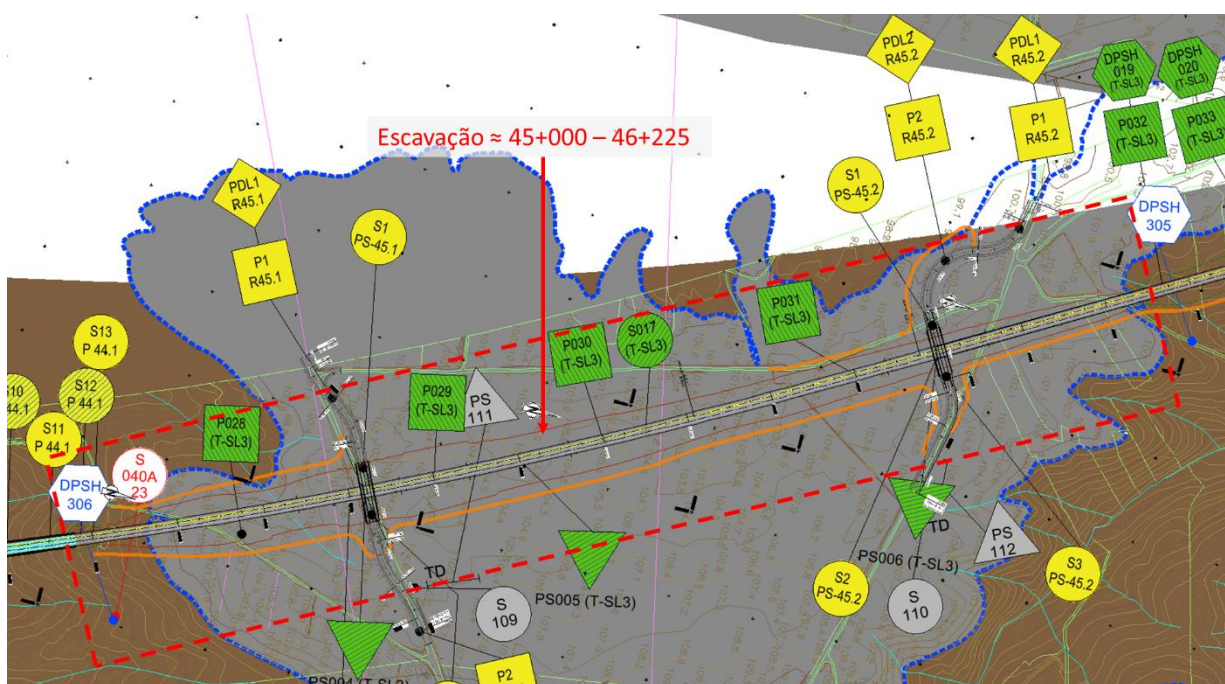


Figura 11 – Representação em planta do trecho de escavação situado entre o PK 45+000 e 46+225

Já no que se refere ao trecho de escavação localizado entre os PK≈ 49+950 – 50+600 (SL4) deverão, também, ser intersetados depósitos de terraço (Q) sobrepostos à Unidade de Lourosa (Xyz), sendo estes materiais caracterizados pelos seguintes elementos de prospeção (de fases anteriores):

- S044A-23: Situada ao PK 50+285, a cerca de 75 m do eixo do traçado, esta sondagem é algo representativa do terreno natural na zona mais alta da escavação. Foram obtidos os seguintes resultados:
 - Interseção de depósitos de terraço, na forma de solos silto-arenosos até aos 2 m de profundidade, a partir de onde ocorre a passagem a areias de grão fino a médio, siltosas, com seixo disperso, até aos 5,3 m de profundidade. Estes materiais apresentam-se medianamente compactos (N_{SPT} compreendido entre 15 e 28);

- Solos residuais areno-siltosos da Unidade de Lourosa (aparentemente originários da alteração de gnaisses) em toda a sua extensão, sendo caracterizados por “negas” em ensaios SPT desde os 7,50 m de profundidade.
- S214: Esta sondagem, executada na fase da Ex-RAVE, e da qual apenas se dispõe do diagrama de sondagem simplificado apresentado no perfil geológico longitudinal patente no Estudo Prévio da IP, situa-se ao PK 50+465 a cerca de 150 m do eixo do traçado. Foram obtidos os seguintes resultados:
 - Interseção da Unidade de Lourosa em toda a profundidade da sondagem na forma de solos residuais a maciço decomposto (W5 a W4/5), sendo caracterizada por “negas” consecutivas desde os 12,0 m de profundidade;
- PS100: Este perfil sísmico (L=120 m) é representativo da escavação analisada, verificando-se que, até aos ≈ 4 m de profundidade, serão intersetados materiais pouco compactos ($V_P < 900$ m/s). Este perfil sugere ainda que, até aos ≈ 25 m de profundidade, serão intersetados materiais caracterizados por V_P compreendida entre 900 e 2000 m/s, tornando-se superior a 2000 m/s abaixo dos ≈ 25 m de profundidade.

Em suma, os resultados disponíveis até ao momento são insuficientes para estimar, com rigor, as condições de reaproveitamento dos materiais a escavar. A este respeito, refere-se que apenas existe descrição litológica dos materiais amostrados na sondagem S040A-23 e S044A-23, sendo que das restantes sondagens atrás descritas apenas se conhece a profundidade do contacto entre os depósitos de terraço e a Unidade de Lourosa, os resultados obtidos nos ensaios SPT, e o grau de alteração e fracturação do maciço (quando aplicável).

Deste modo, apenas é possível efetuar uma estimativa bastante grosseira da tipologia dos materiais a obter desta escavação, os quais, no caso da Unidade de Lourosa, deverão corresponder a solos residuais silto-arenosos, por vezes silto-argilosos, com fragmentos rochosos (possivelmente de micaxisto ou gnaiss). No que se refere aos depósitos de terraço, com base no descritivo da sondagem S044A-23, estes aparentam ser constituídos, superficialmente, por siltes arenosos, evoluindo, em profundidade, para areias siltosas de grão fino a médio, com seixo disperso.

Os solos a obter dos depósitos de terraço, conforme já descrito, poderão compreender materiais mais finos e mais granulares, devendo-se efetuar uma criteriosa gestão, de modo a reservar os materiais mais granulares para o corpo dos aterros altos mais próximos, podendo estes, eventualmente, ter características adequadas para executar espaldares em solo cimento.

Por sua vez, os materiais a obter da Unidade de Lourosa tanto podem corresponder a solos residuais silto-arenosos a areno-siltosos (por vezes com fragmentos rochosos) como maciço rochoso (embora, nas sondagens analisadas para caracterização dos empréstimos, este não tenha sido detetado). No caso dos solos residuais existem dúvidas no que se refere à sua adequabilidade na produção de soluções do tipo solo-cimento.

A eventual aplicação de enrocamentos na fundação dos aterros estará dependente da sua obtenção em empréstimo já que, nos trechos analisados, não é exetável a obtenção de materiais rochosos nas escavações analisadas.

4.2.2 Solução de reforço proposta

Como possíveis soluções para este aterro, no seu trecho crítico, preconizam-se (preliminarmente) as seguintes:

- Fundação do aterro:
 - Saneamento numa espessura mínima de 2,0 m e substituição por enrocamento envolto em geotêxtil (camada drenante) – solução preconizada no atravessamento das aluviões;
 - Escavação de endentamentos no terreno natural, onde este possuir elevada pendente;
- Parte inferior do aterro:
 - Aplicação de materiais insensíveis à água (enrocamento) - A aplicação de enrocamento deverá ser considerada até 0,5 m acima do nível máximo de cheia, o qual deverá ser determinado pela especialidade de hidrologia.
- Corpo do aterro:
 - Execução do aterro com materiais de características equiparáveis à classe QS2 ou QS1 (IRS70719), desde que o material seja caracterizado com valores de CBR > 10%, aplicados em camadas com espessura máxima de 30 cm e compactados a 95 % da baridade seca máxima (a aferir com o ensaio Proctor modificado). No caso de se aplicarem materiais xistentos, de características evolutivas, deverá assegurar-se que a compactação é realizada com cilindros pé-de-carneiro.
- Espaldar do aterro:
 - Aplicação de materiais com características idênticas ao corpo do aterro, mas tratados com cimento (teor estimado de 3 a 4 %, a validar com estudo de formulação específico). O tratamento com cimento deverá ser executado com uma largura de 7 a 10 m (pano superior e pano inferior do aterro, respetivamente). Estes espaldares podem também ser executados com materiais granulares britados do tipo ABGE, devendo ser assegurada a drenagem para o exterior do aterro.
- Parte superior do aterro / coroamento
 - Atendendo aos exigentes critérios de deformabilidade a que os Projetos têm de atender, considera-se que também o coroamento e a parte superior do aterro devem ser alvo de tratamento com cimento, nos mesmos termos que o indicado para os espaldares do aterro. Nesta fase preconiza-se uma espessura de 3 m para o coroamento / PSA tratado com cimento. Tal como referido para os espaldares do aterro, também neste caso admite-se a possibilidade de se considerar uma solução equivalente com aplicação de ABGE.

As soluções propostas foram definidas em função da altura do aterro, estando a sua distribuição ao longo do traçado sintetizada na tabela seguinte.

Quadro 4 - Solução de reforço detalhada entre os PK 44+050 a 44+150

Aterro Geral				Zona de tratamento				
Km inicial	Km final	Extensão Total (m)	Hmáx (eixo) (m)	Km inicial	Km final	Extensão(m)	H(eixo) (m)	Tipo do Solução
43+869	44+520	651	16	44+050	44+150	100	15 < Heixo < 17,5 m	Solo cimento pano inferior: e = 5m pano superior: e = 8 m Coroamento: e = 3m

4.2.3 Faseamento construtivo

No que se refere ao processo construtivo, a execução dos aterros propostos, deve obedecer ao estipulado no Caderno de Encargos da Obra. Não obstante, importa referir que:

- Deverá promover-se a utilização de materiais com a mesma origem, e bem assim com comportamento uniforme, ao longo da mesma camada, em particular nos espaldares, não sendo permitida a alternância entre materiais xistosos e graníticos. Também em altura, a alternância destes materiais só é permitida no mínimo a cada 5 camadas (2m);
- Os materiais devem ser dispostos em “cordão”, a cerca de 5 metros da frente da camada, sendo depois espalhados pelo “Buldozer”, com a sua lâmina progressivamente mais baixa, por forma a permitir a boa envolvência dos materiais mais grossos com os mais finos, que se reveste de fundamental importância, em particular, nos materiais xistosos dada a sua forte anisotropia e heterogeneidade conferida pela xistosidade. Com este procedimento consegue-se ainda uma fragmentação secundária, provocada pela passagem das lagartas do “Buldozer”, bastante benéfica, atendendo ao carácter evolutivo dos xistos; e,
- As camadas não deverão ter espessura superior a 0,40 m e deverão ser sujeitas a uma compactação intensa.

A execução de solo-cimento in situ pressupõe que as camadas dos espaldares sejam feitas em simultâneo com o restante aterro, não havendo diferenciação dessa parte do aterro relativamente ao restante até ao início do processo de enriquecimento do solo com cimento, que ocorre após a compactação da camada (que deverá estar minimamente desempenada).

O cimento deve ser adicionado na proporção ponderal de 3 a 4% (esta percentagem de cimento, por ser relativamente diminuta, mas claramente suficiente, não deverá conduzir a fenómenos de fissuração das camadas tratadas).

As camadas devem ser tratadas em toda a sua espessura (0,40 m), nas larguras apresentadas anteriormente, o que implica, a sua execução por faixas adjacentes de largura limitada à do tambor misturador da recicladora (usualmente com 2,5 m).

A execução de solo-cimento in situ pressupõe a realização sequencial das seguintes etapas construtivas, após a compactação inicial da cada camada:

- Espalhamento do cimento pelo camião-silo;
- Execução da mistura com adição de água, pela recicladora acoplada à cisterna. Quando decorra mais de 4 horas entre a realização de camadas consecutivas de solo-cimento, a

recicladora deverá proceder à escarificação da camada abaixo da que se pretende tratar, em 1-2 cm, para que, desta forma, se promova a adequada ligação entre camadas;

- Compactação final com cilindro; e,
- Espalhamento, até um máximo de 4 horas após a compactação final, de uma nova camada, para execução imediata de solo-cimento ou apenas para cobertura, o que permitirá reduzir a exposição da camada tratada e funcionar como cura (substituindo a rega betuminosa que se utiliza usualmente para esse fim).

A construção dos aterros deve ser antecedida da realização de um trecho experimental de aterro corrente e de outro em solo-cimento, que permitirão confirmar os pressupostos de projeto, aferir a gama de valores de teor em água dos materiais mais adequada à construção dos aterros, e no que se refere ao trecho em solo-cimento, avaliar as resistências obtidas para a percentagem de cimento adicionada e a sua evolução temporal, em particular nos primeiros tempos.

4.2.4 Plano de Instrumentação e Observação

O plano de Instrumentação e Observação permitirá avaliar o desempenho das estruturas durante as fases construtiva e de exploração, mediante o reconhecimento de critérios de alerta, traduzindo diferentes níveis de gravidade, suscitados por medições anómalas das grandezas monitorizadas, os quais poderão indiciar a necessidade de intervenções com vista a garantir a segurança e economia das Obras em causa.

Este Plano foi concebido com base nos condicionamentos próprios da Obra, atendendo aos riscos a eles associados.

Por forma a caracterizar o comportamento das estruturas, no que se refere às suas deformações internas e superficiais, o Plano de Instrumentação e Observação contempla a instalação de dispositivos de observação e de instrumentação, a saber:

- Marcas topográficas, para medição das grandezas deslocamento horizontal e deslocamento vertical, na superfície dos aterros;
- Extensómetros, para medição da grandeza deslocamento vertical, no interior dos aterros; e,
- Inclínómetros, para medição da grandeza deslocamento horizontal, no interior dos aterros.

Os dispositivos de observação previstos serão instalados nos coroamentos, nas banquetas e nas saias dos aterros, de acordo com o descritivo seguinte e representado nas peças desenhadas do projeto.

- Coroamento: Marcas topográficas, inclínómetros e extensómetros;
- Banquetas: Marcas topográficas e inclínómetros;
- Pé do aterro: Marcas topográficas;

5 VERIFICAÇÃO DE ASSENTAMENTOS EM ATERROS TIPO DE GRANDE ALTURA

5.1 Estados Limites de Utilização (Assentamentos)

De acordo com o definido na GR.IT.GEO.011 deve ser feita uma estimativa, devidamente justificada, do valor dos assentamentos esperados a longo prazo e propostas soluções que garantam as condições de funcionalidade da superestrutura ferroviária nos aterros com alturas da ordem dos 10 m ou superiores, constituídos por materiais coesivos e/ou evolutivos e com alturas da ordem dos 15 m ou superiores nos aterros com soluções de reforço, no âmbito da verificação aos Estados Limites de Utilização

Os assentamentos totais a longo prazo (s_t) deverão ser obtidos pela soma das seguintes parcelas:

- Assentamento imediato (s_i) correspondente à fase de construção
- Assentamento por consolidação primária (s_c) após construção
- Assentamento por consolidação secundária ou fluência (s_d)

Deverão ser tidos em consideração os assentamentos por consolidação ao nível do material de fundação, os assentamentos por consolidação do próprio aterro e os assentamentos induzidos pelo tráfego ferroviário. Neste caso foram analisados os assentamentos por fluência do próprio aterro.

Segundo o CE os assentamentos imediatos que ocorram nas vias em exploração, durante os trabalhos de terraplenagem para alargamento de aterros existentes, deverão cumprir com as tolerâncias de ação imediata dos valores de nivelamento longitudinal previstos na **GR.IT.VIA.018**.

Os assentamentos nos aterros, para o período de vida útil atribuído à plataforma de via, deverão ser limitados a 10 cm em plena via, ao valor admissível para a estrutura no início do bloco técnico e no final do bloco técnico às tolerâncias de intervenção estabelecidas na GR.IT.VIA.018 para nivelamento longitudinal em função da velocidade.

Como valores de referência/comparativo temos:

- Systra, guidelines 2023 - Como referência, devem considera-se como valores máximos de assentamento total dos aterros 30mm a 100mm, com uma taxa anual de deformação inferior a 5-10 mm/ano.
- NT.IP. infraestruturas. v03 - Os assentamentos totais calculados após entrada em exploração da obra, não deverão exceder nunca os 25 mm junto a obras de arte e hidráulicas e os 10 cm em plena via

5.1.1 Cálculo dos assentamentos imediatos (s_i)

O valor do assentamento imediato pode ser estimado, em termos simplificados supondo para a fundação um comportamento elástico linear isotrópico e meio semi-infinito a volume constante. Assim, este pode ser calculado assimilando a ação da fundação a uma tensão vertical uniforme (q) atuando sobre uma determinada área, assim como as características elásticas do maciço, constantes em

profundidade. Com base na lei de Hooke, o assentamento imediato (s_i) à superfície pode ser obtido a partir da equação 2-8, definida em Matos Fernandes (2008):

$$s_i = q \cdot (B(1-\nu^2)/E_s \cdot I_p$$

Onde:

q – Pressão aplicada no terreno;

B – Menor dimensão do elemento de fundação;

ν – Coeficiente de Poisson;

E_s – Módulo de deformabilidade do solo;

I_p – valor adimensional, função da geometria da área carregada, profundidade da fundação e do ponto sob o qual se pretende obter o assentamento.

5.1.2 Cálculo dos assentamentos por consolidação primária (s_c)

A consolidação primária (ou hidrodinâmica) está associada à expulsão de água dos vazios do solo saturado, sendo particularmente relevante em solos argilosos de baixa permeabilidade. O cálculo é feito com base na “Teoria da Consolidação” de Terzaghi, utilizando-se a equação referente a solos normalmente consolidados (NC):

$$s_c = h_0 / (1+e_0) \cdot C_c \cdot \text{Log}_{10} ((\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v)/\sigma'_{v0})$$

Onde,

h_0 – espessura inicial da camada;

e_0 – índice de vazios inicial;

C_c – índice de compressibilidade;

σ'_p – tensão de pré-consolidação;

σ'_{v0} – tensão efetiva vertical de repouso;

$\Delta\sigma'_v$ – acréscimo da tensão efetiva vertical, devido ao carregamento;

Para a avaliação do tempo de consolidação, pode recorrer-se à equação do fator tempo, admitindo o excesso de pressão neutra inicial constante ao longo da espessura do estrato.

$$T = (C_v \cdot t) / H^2$$

onde,

T – Fator tempo;

H – Maior distância que uma partícula de água tem de percorrer para abandonar o estrato em consolidação em direção a uma fronteira drenante;

Cv – Valor do coeficiente de consolidação;

t – Instante ao fim do qual se pretende determinar o assentamento.

Assume-se que uma taxa de consolidação de 90%, é suficiente para estimar o tempo necessário para o assentamento por consolidação.

5.1.3 Cálculo dos assentamentos por consolidação secundária (fluência) (s_d)

Após o término da consolidação primária, o solo continua a sofrer deformações ao longo do tempo, mesmo sob tensão constante. Esse processo é conhecido como consolidação secundária ou "creep", especialmente significativo em argilas orgânicas e solos altamente compressíveis. A estimativa desse assentamento é dada por:

$$\Delta h = C_\alpha / (1+e_0) \cdot H \cdot \log (t/t_p)$$

Onde,

C_α – Coeficiente de fluência;

e_0 – Índice de vazios do solo;

H – Espessura da camada de solo;

t, t_p – tempos inicial e final do período considerado. Tempo inicial coincide com o término da consolidação primária.

O valor de C_α pode ser determinado diretamente através de ensaios edométricos de longa duração, que permitem medir a deformação associada à compressão secundária sob carga constante. Alternativamente, este parâmetro pode ser estimado por correlações empíricas com base no índice de compressibilidade C_c .

Neste contexto, é comum assumir uma relação proporcional entre o coeficiente de fluência e o índice de compressibilidade, expressa pela razão C_α/C_c , cujo intervalo típico varia entre 0,025 e 0,10, consoante a natureza e a sensibilidade do solo. Esta gama de valores tem sido observada para uma variedade de solos naturais, incluindo argilas altamente sensíveis, conforme documentado por vários autores.

5.2 Modelos Numéricos

Neste capítulo, apresenta-se a análise numérica de tensão-deformação para uma abordagem global estática para situações a longo prazo, de forma a estimar a magnitude dos assentamentos por consolidação secundária (fluência) do corpo do aterro, considerando diferentes cenários em função da altura dos aterros e com e sem implementação de soluções de reforço de zonas tratadas. As análises foram realizadas com o software PLAXIS 2D (versão 2016), utilizando o método dos elementos finitos.

Foram considerados diferentes cenários de dimensionamento para os aterros ferroviários, avaliando-se situações com taludes de 20, 15 e 10 metros de altura sem qualquer solução de reforço com solo-cimento, bem como cenários com taludes de 20 e 15 metros de altura com inclusão de reforço por meio de zonas tratadas com solo-cimento nos espaldares.

A sobrecarga ferroviária foi definida com base no modelo de cargas LM71, aplicável à combinação frequente de ações nos Estados Limites de Serviço, tendo sido afetada por um coeficiente de classificação das cargas $\alpha=1,33$ e por um fator de segurança do modelo de carga de 1,50, de forma a refletir adequadamente os efeitos do tráfego ferroviário de alta intensidade e velocidade.

Relativamente aos materiais utilizados, o corpo do aterro será modelado com solos da classe QS2 ou superior, de acordo com as especificações técnicas do LNEC (IRS 70719). A fundação dos aterros é composta por materiais de elevada resistência e baixa deformabilidade, representando uma fundação de natureza rochosa de boa qualidade. Nos cenários com reforço, prevê-se a utilização de solo tratado com cimento nos espaldares, com o objetivo de melhorar o desempenho mecânico e a estabilidade global da estrutura.

Quanto à geometria dos taludes, foi adotada uma inclinação geral de 1V:2H (vertical:horizontal). Para os aterros com alturas superiores a 10 metros, prevê-se a introdução de uma banqueteta com 3,0 metros de largura, com a finalidade de facilitar a execução faseada e garantir condições adequadas de estabilidade durante e após a construção.

5.2.1 ATERROS H≤10,0M

No caso dos aterros com alturas iguais ou inferiores a 10,0 não está previsto a implementação de soluções de reforço. Por isso, foi simulado para um único cenário, aterro sem solução de reforço.

5.2.1.1 Descrição do modelo de cálculo

O modelo de cálculo é constituído pelos seguintes elementos:

- Elementos finitos triangulares com 15 nós utilizados na simulação do solo;
- Carga uniformemente distribuída vertical na superfície do topo do talude de 50 kN/m (25x1,33x1.5);
- As condições de fronteira do modelo foram definidas de forma a ter um conjunto de apoios fixos na base, e apoios móveis nas zonas laterais, permitindo os deslocamentos verticais na zona lateral.

O solo de fundação foi modelado com o modelo constitutivo Mohr-Coulomb, os materiais constituintes da superestrutura foram modelados com o modelo constitutivo Elástico-linear, em regime drenado. Enquanto que o material de aterro foi modelado com o modelo constitutivo Soft Soil Creep (SSC), que consiste numa extensão do modelo constitutivo Soft Soil (SS) com a característica adicional de conseguir reproduzir o comportamento do solo quando este se encontra no estado elástico, ou seja, tem em consideração o efeito da fluência ao longo do tempo. A rotura do solo foi avaliada com base no critério de Mohr-Coulomb.

No quadro seguinte apresentam-se os valores característicos dos parâmetros geotécnicos de cada uma das camadas do solo.

Quadro 5 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	E_{v2} (MPa)	C_c	C_α	$C_\alpha/(1+e_0)$
Corpo aterro (SSC)	18	5	32	60	0,03	0,0015	0,0023
Fundação (MC)	19	200	500	200	-	-	-

De forma a reproduzir o faseamento construtivo previsto em fase de construção e de serviço, este foi modelado através de várias fases de construção do aterro, seguidas da ativação da sobrecarga estática ferroviária prevista para cálculo da consolidação, sendo considerado o seguinte faseamento genérico simplificado:

Quadro 6 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS

Faseamento Construtivo PLAXIS	
Fases	Descrição
Inicial	Ativação do estado de tensão inicial instalado do maciço
1-2	Construção do aterro (Camadas com espessura de 5,0m com duração de 30 dias por fase)
3	Construção do aterro (Superestrutura com duração de 30 dias)
4	Construção do aterro (em repouso com duração de 30 dias)
5	Ativação da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 1 dia)
6	Permanecia da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 100 anos)

Optou-se por uma altura máxima de construção do aterro de 5,0 m por fase, com uma duração de 30 dias, onde se assume que a magnitude dos assentamentos dos aterros que ocorrem nesta fase são compensados no final da construção.

A análise na fase de serviço foi realizada para uma duração de 100 anos, correspondente à duração da vida útil da estrutura.

Na figura seguinte apresenta-se a malha de elementos finitos adotada no final da fase de serviço (Fase 6).

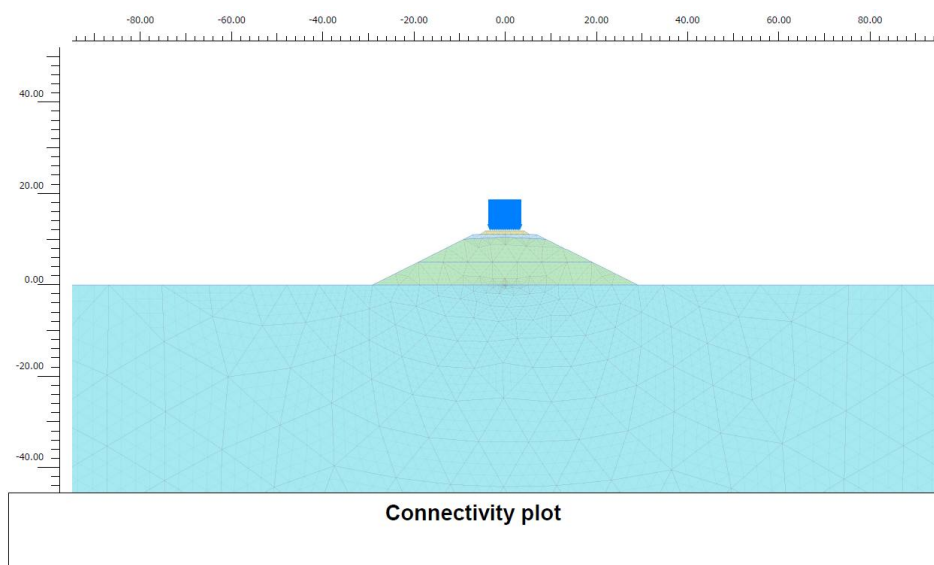


Figura 12 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase6)

5.2.1.2 Resultados obtidos

Apresentam-se as figuras com os deslocamentos horizontais e verticais verificados, valores acumulativos obtidos na última fase, após os 100 anos (Fase 6).

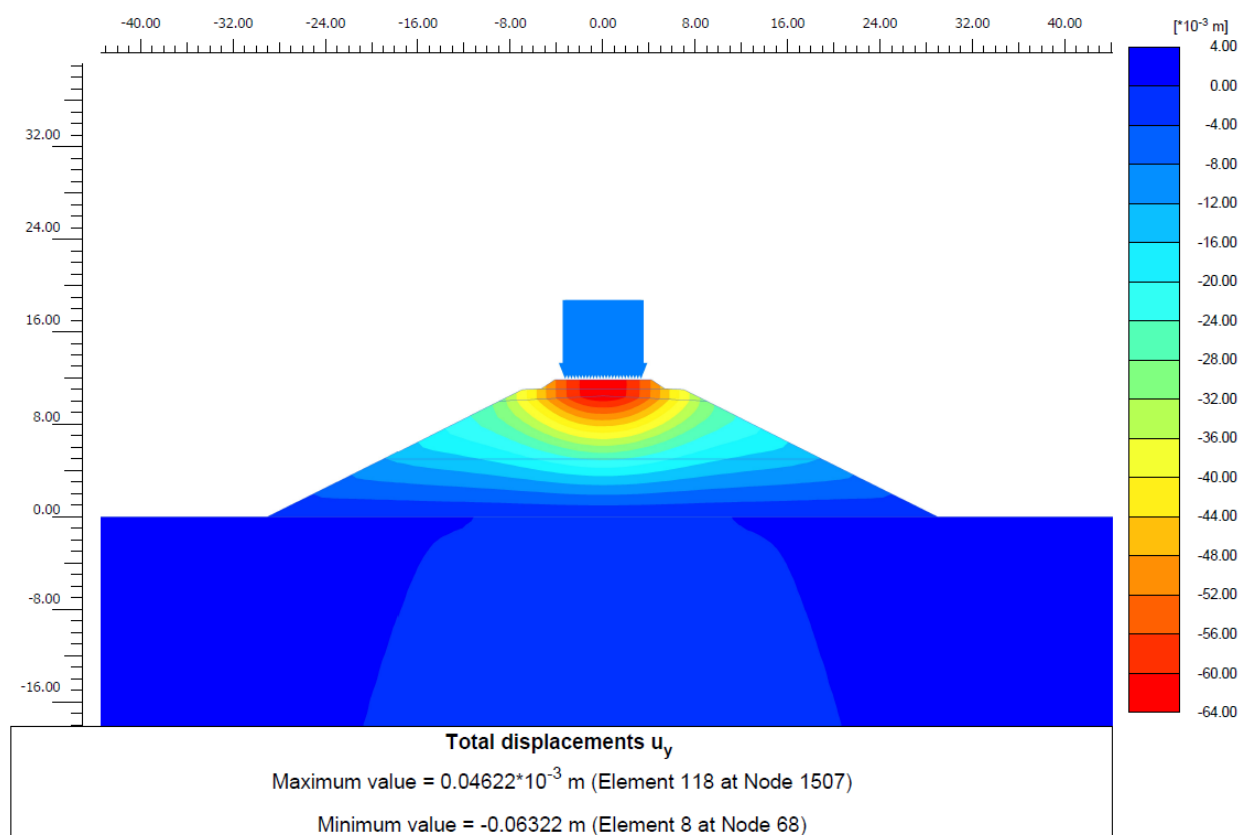


Figura 13 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 6)

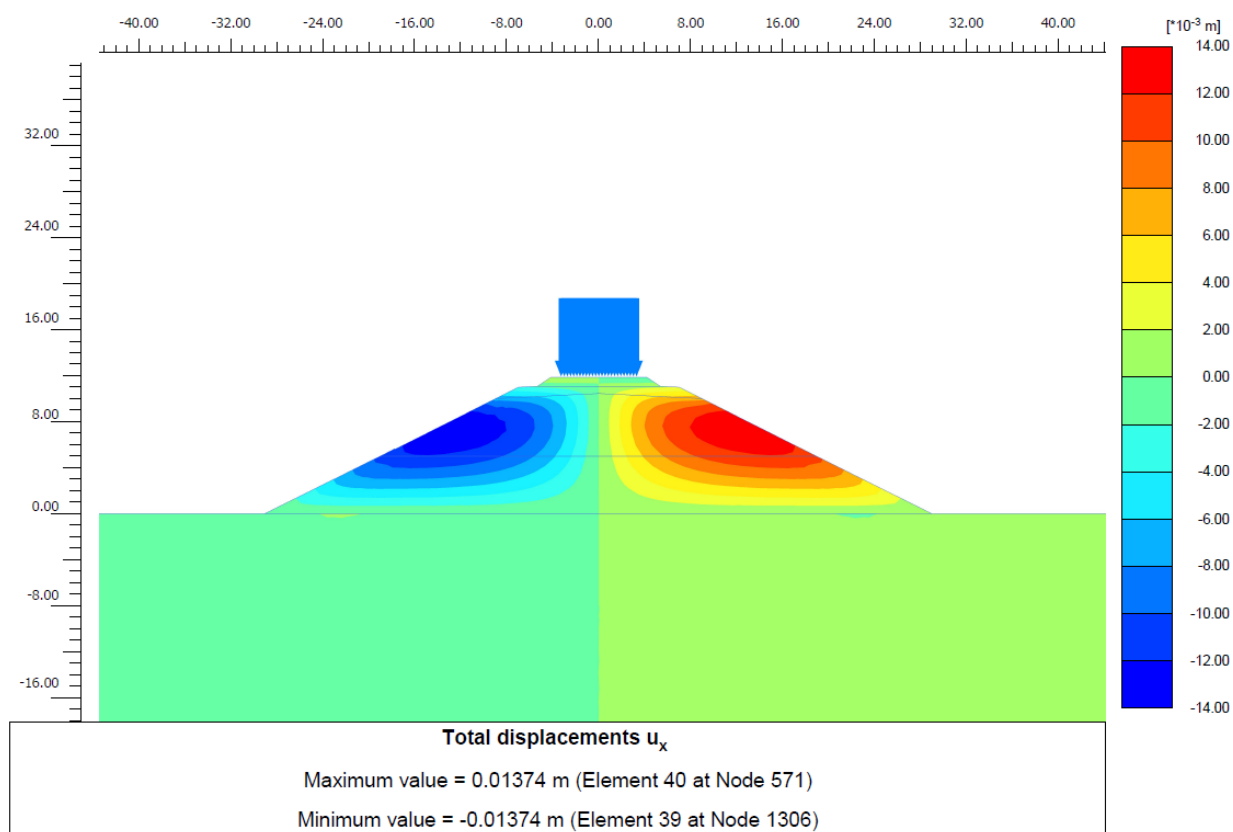


Figura 14 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 6)

De seguida apresentam-se os gráficos da estimativa dos assentamentos em função do tempo após entrada de serviço da linha, bem como as taxas de deformação referentes a 0-6 meses, anuais nos primeiros 5 anos, entre 5-10 anos, 10-50 anos e entre 50-100 anos.

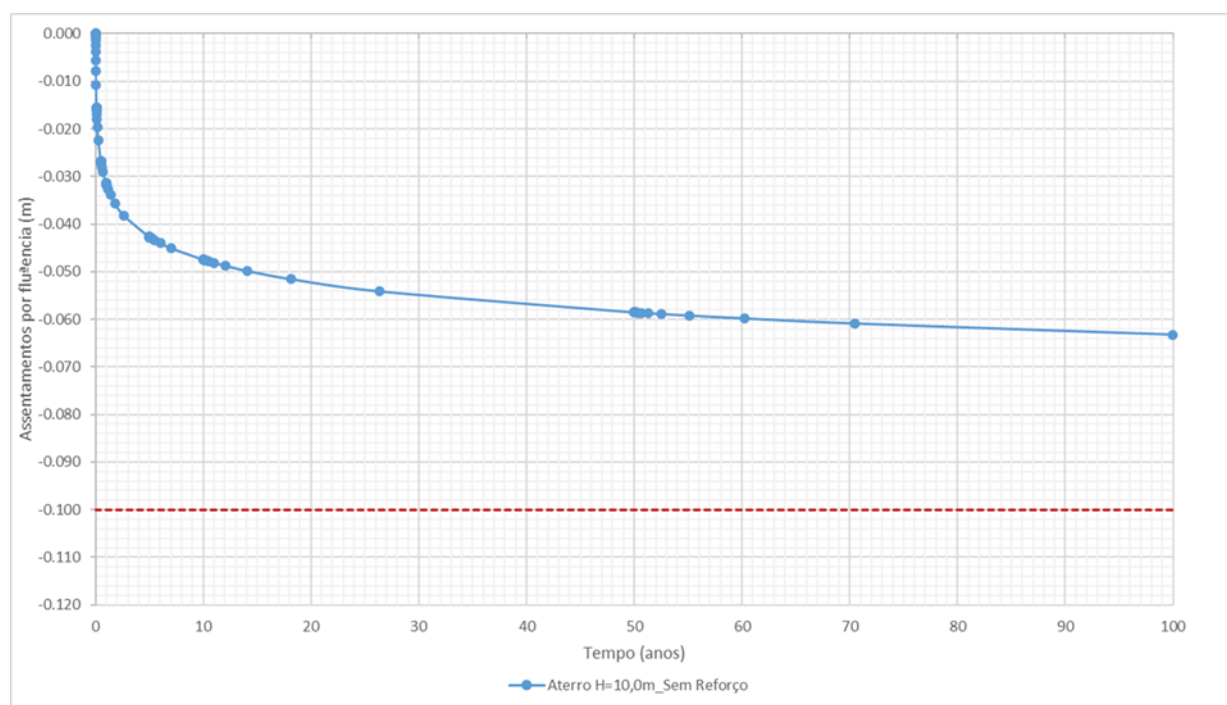


Figura 15 – Aterro H≤10,0 - Gráfico dos assentamentos em função do tempo

Quadro 7 – Aterro H≤10,0 – Taxas de Deformação

H=10m s/ Reforço	
Ano	Taxa de deformação (mm/ano)
1	32 (>10)
2	5
3	3
4	3
5	2
10	1
50	0
100	0

5.2.2 ATERROS H≤15,0M

No caso dos aterros com alturas iguais ou inferiores a 15,0 m foram considerados dois cenários, nomeadamente o aterro sem e com a implementação da solução de reforço.

5.2.2.1 Descrição do modelo de cálculo

O modelo de cálculo é constituído pelos seguintes elementos:

- Elementos finitos triangulares com 15 nós utilizados na simulação do solo;
- Carga uniformemente distribuída vertical na superfície do topo do talude de 50 kN/m (25x1,33x1.5);
- As condições de fronteira do modelo foram definidas de forma a ter um conjunto de apoios fixos na base, e apoios móveis nas zonas laterais, permitindo os deslocamentos verticais na zona lateral.

O solo de fundação foi modelado com o modelo constitutivo Mohr-Coulomb, os materiais constituintes da superestrutura foram modelados com o modelo constitutivo Elástico-linear, e o solo-cimento com o modelo constitutivo Hardening Soil (HS), em regime drenado. Enquanto que o material de aterro foi modelado com o modelo constitutivo Soft Soil Creep (SSC), que consiste numa extensão do modelo constitutivo Soft Soil (SS) com a característica adicional de conseguir reproduzir o comportamento do solo quando este se encontra no estado elástico, ou seja, tem em consideração o efeito da fluência ao longo do tempo. A rotura do solo foi avaliada com base no critério de Mohr-Coulomb.

No quadro seguinte apresentam-se os valores característicos dos parâmetros geotécnicos de cada uma das camadas do solo.

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	E_{v2} (MPa)	C_c	C_α	$C_\alpha/(1+e_0)$
Corpo aterro (SSC)	18	5	32	60	0,03	0,0015	0,0023
Fundação (MC)	19	200	500	200	-	-	-
Solo-cimento (HS)	21	200	38	1000	-	-	-

Quadro 8 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos

De forma a reproduzir o faseamento construtivo previsto em fase de construção e de serviço, este foi modelado através de várias fases de construção do aterro, seguidas da ativação da sobrecarga estática ferroviária prevista para cálculo da consolidação secundária, sendo considerado o seguinte faseamento genérico simplificado.

Faseamento Construtivo PLAXIS	
Fases	Descrição
Inicial	Ativação do estado de tensão inicial instalado do maciço
1-3	Construção do aterro (Camadas com espessura de 5,0m com duração de 30 dias por fase)
4	Construção do aterro (Superestrutura com duração de 30 dias)
5	Construção do aterro (em repouso com duração de 30 dias)
6	Ativação da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 1 dia)
7	Permanecia da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 100 anos)

Quadro 9 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS

Optou-se por uma altura máxima de construção do aterro de 5,0 m por fase, com uma duração de 30 dias, onde se assume que a magnitude dos assentamentos dos aterros que ocorrem nesta fase são compensados no final da construção.

A análise na fase de serviço foi realizada para uma duração de 100 anos, correspondente à duração da vida útil da estrutura.

Na figura seguinte apresenta-se a malha de elementos finitos adotada no final da fase de serviço (Fase 7).

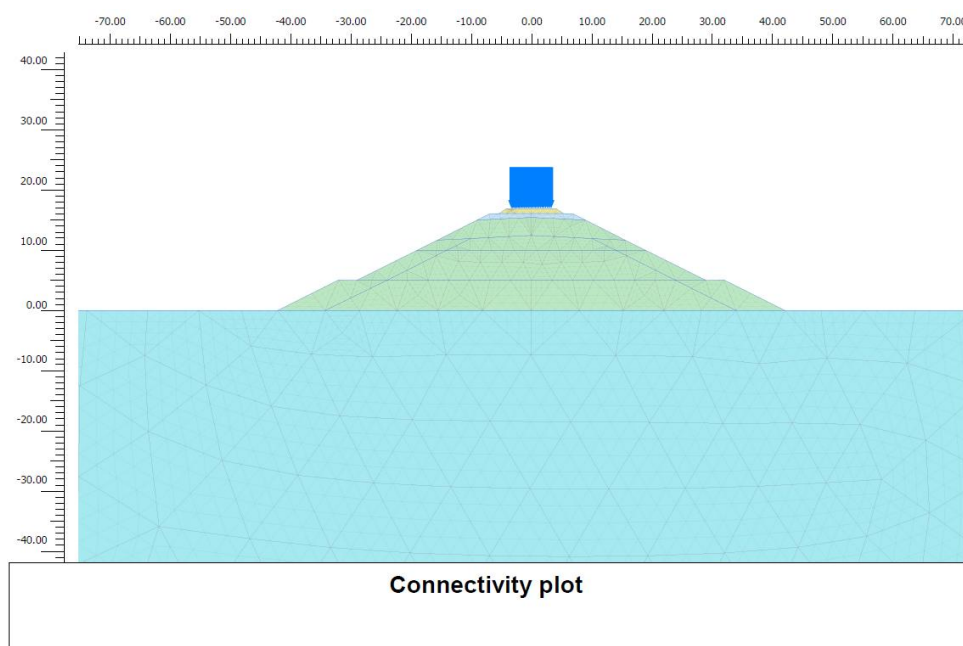


Figura 16 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase7)

5.2.2.2 Resultados obtidos

Apresentam-se as figuras com os deslocamentos horizontais e verticais verificados, valores acumulativos obtidos na última fase, após os 100 anos (Fase 7).

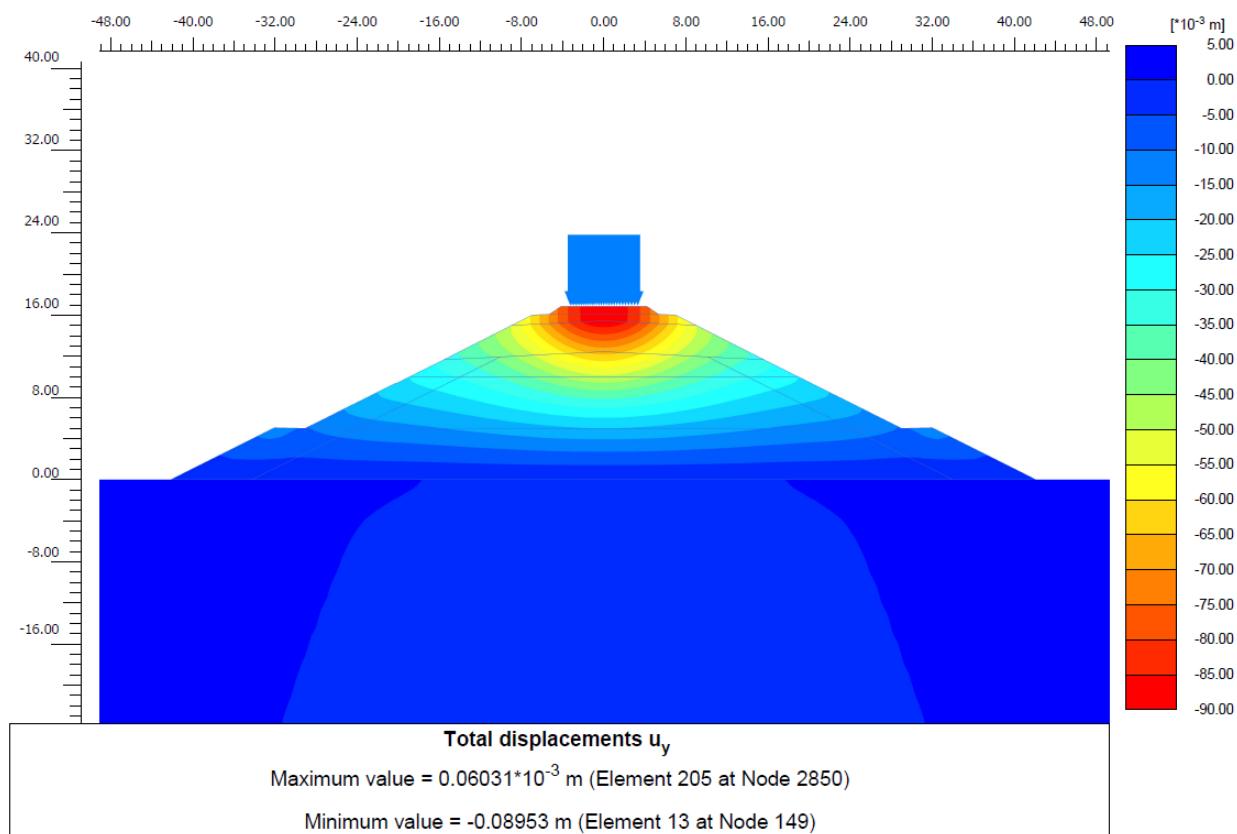


Figura 17 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Sem Reforço

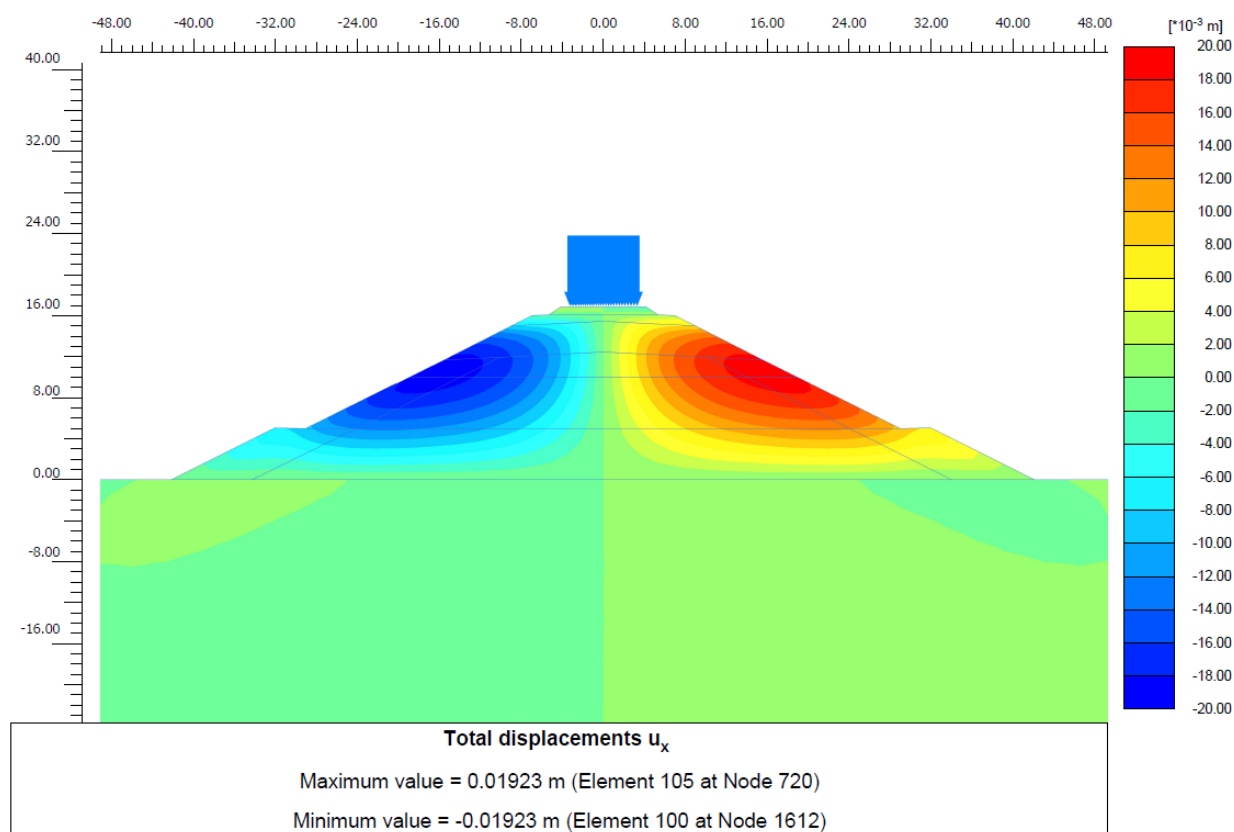


Figura 18 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Sem Reforço

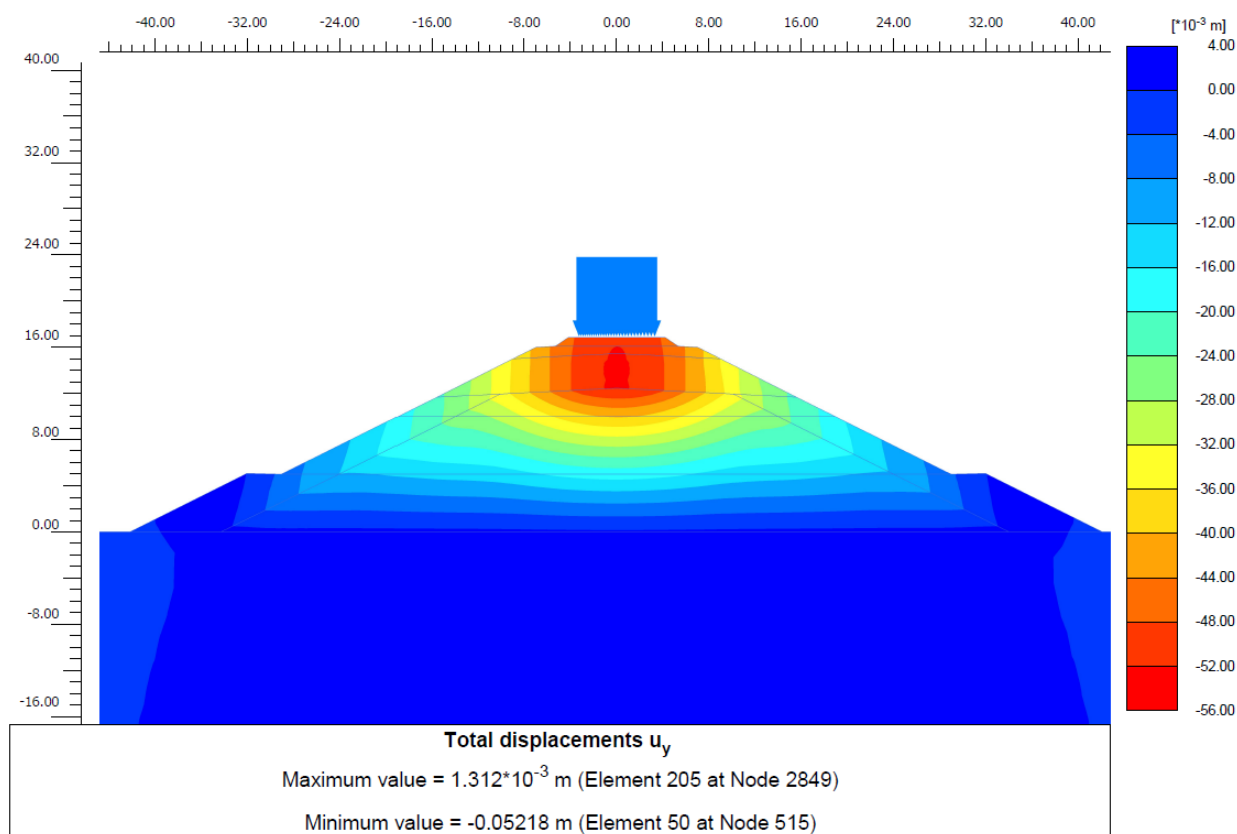


Figura 19 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Com Reforço

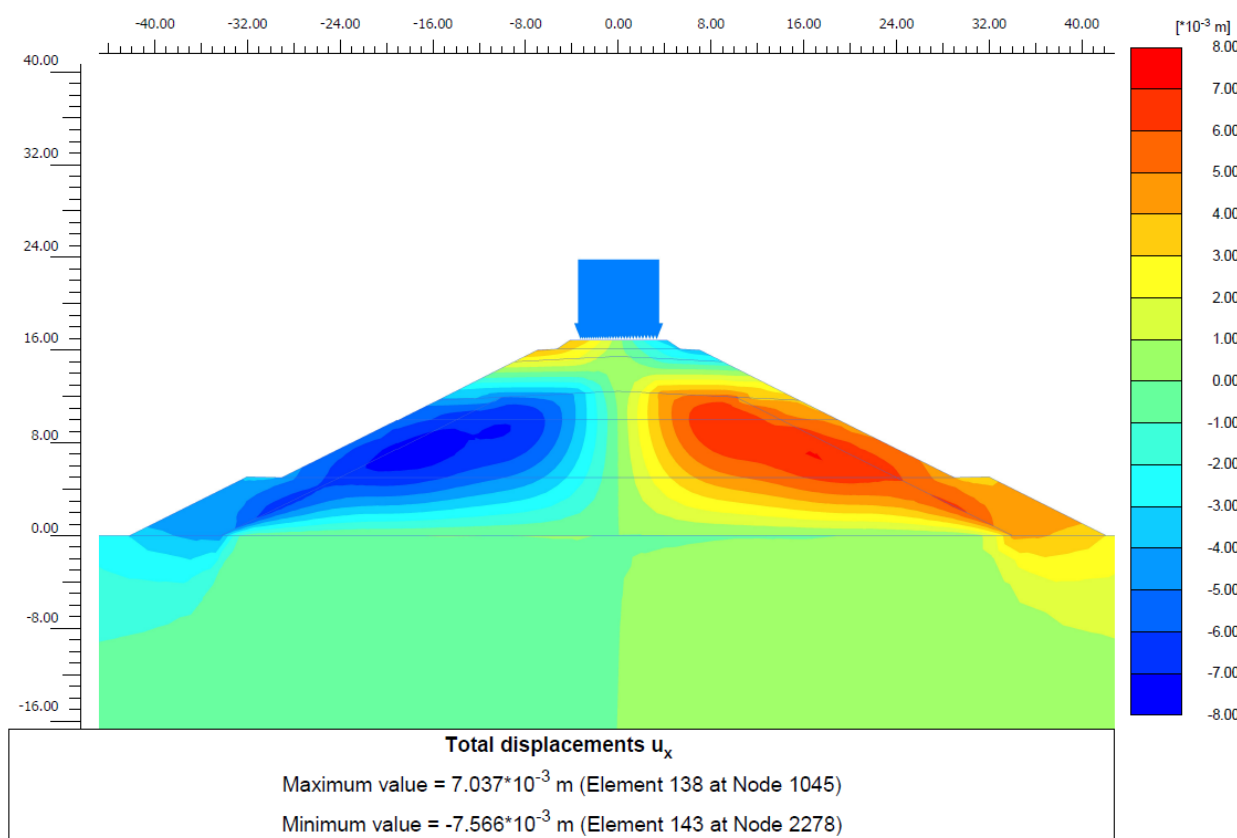


Figura 20 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 7) – Com Reforço

De seguida apresentam-se os gráficos da estimativa dos assentamentos em função do tempo após entrada de serviço da linha, bem como as taxas de deformação referentes a 0-6 meses, anuais nos primeiros 5 anos, entre 5-10 anos, 10-50 anos e entre 50-100 anos.

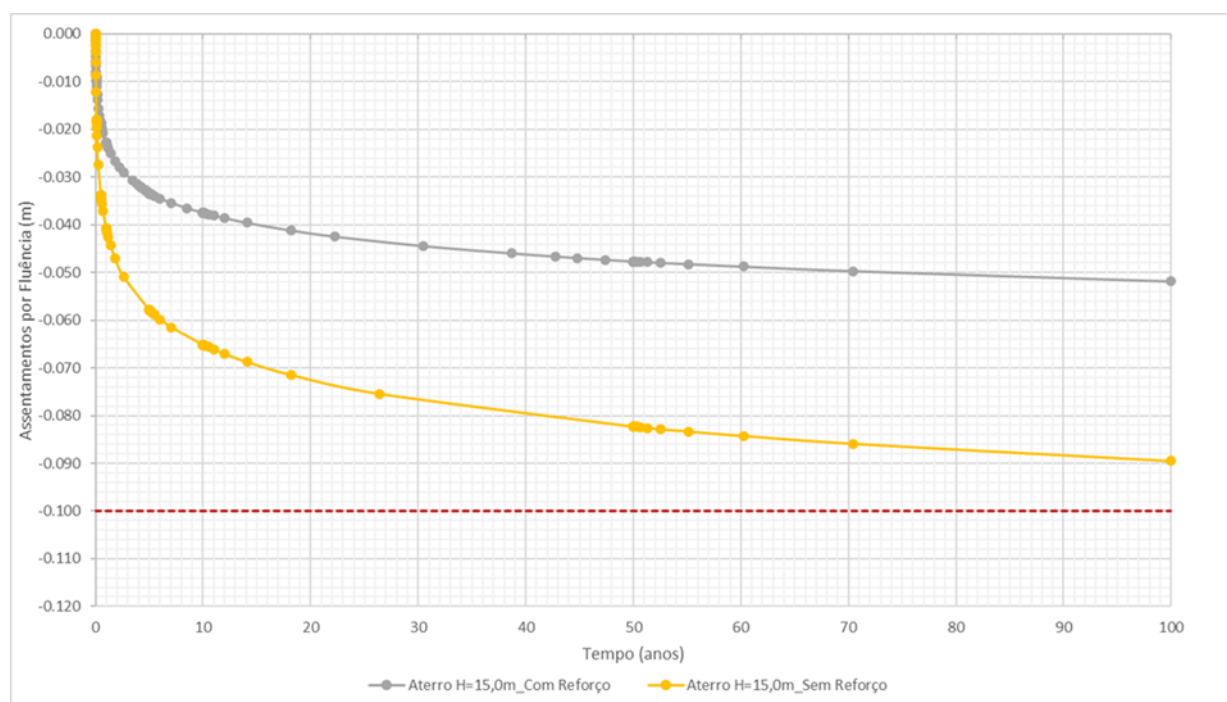


Figura 21 – Aterro H≤15,0 - Gráfico dos assentamentos em função do tempo

Quadro 10 – Aterro H≤15,0 – Taxas de Deformação

H=15m s/ Reforço		H=15m c/ Reforço	
Ano	Taxa de deformação (mm/ano)	Ano	Taxa de deformação (mm/ano)
1	41 (>10)	1	23 (>10)
2	8	2	5
3	5	3	3
4	5	4	2
5	3	5	2
10	1	10	1
50	0	50	0
100	0	100	0

5.2.3 ATERROS H≤20,0M

No caso dos aterros com alturas iguais ou inferiores a 20,0 m foram considerados dois cenários, nomeadamente o aterro sem e com a implementação da solução de reforço.

5.2.3.1 Descrição do modelo de cálculo

O modelo de cálculo é constituído pelos seguintes elementos:

- Elementos finitos triangulares com 15 nós utilizados na simulação do solo;
- Carga uniformemente distribuída vertical na superfície do topo do talude de 50 kN/m (25x1,33x1.5);
- As condições de fronteira do modelo foram definidas de forma a ter um conjunto de apoios fixos na base, e apoios móveis nas zonas laterais, permitindo os deslocamentos verticais na zona lateral.

O solo de fundação foi modelado com o modelo constitutivo Mohr-Coulomb, os materiais constituintes da superestrutura foram modelados com o modelo constitutivo Elástico-linear, e o solo-cimento com o modelo constitutivo Hardening Soil (HS), em regime drenado. Enquanto que o material de aterro foi modelado com o modelo constitutivo Soft Soil Creep (SSC), que consiste numa extensão do modelo constitutivo Soft Soil (SS) com a característica adicional de conseguir reproduzir o comportamento do solo quando este se encontra no estado elástico, ou seja, tem em consideração o efeito da fluência ao longo do tempo. A rotura do solo foi avaliada com base no critério de Mohr-Coulomb.

No quadro seguinte apresentam-se os valores característicos dos parâmetros geotécnicos de cada uma das camadas do solo.

Quadro 11 – Valores característicos dos parâmetros geotécnicos

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	E_{v2} (MPa)	C_c	C_α	$C_\alpha/(1+e_0)$
Corpo aterro (SSC)	18	5	32	60	0,03	0,0015	0,0023
Fundação (MC)	19	200	500	200	-	-	-
Solo-cimento (HS)	21	200	38	1000	-	-	-

De forma a reproduzir o faseamento construtivo previsto em fase de construção e de serviço, este foi modelado através de várias fases de construção do aterro, seguidas da ativação da sobrecarga estática ferroviária prevista para cálculo da consolidação secundária, sendo considerado o seguinte faseamento genérico simplificado.

Quadro 12 – Faseamento construtivo adotado no PLAXIS

Faseamento Construtivo PLAXIS	
Fases	Descrição
Inicial	Ativação do estado de tensão inicial instalado do maciço
1-4	Construção do aterro (Camadas com espessura de 5,0m com duração de 30 dias por fase)
5	Construção do aterro (Superestrutura com duração de 30 dias)
6	Construção do aterro (em repouso com duração de 30 dias)
7	Ativação da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 1 dia)
8	Permanência da sobrecarga dinâmica equivalente ferroviária de 50kN/m ² (duração de 100 anos)

Optou-se por uma altura máxima de construção do aterro de 5,0 m por fase, com uma duração de 30 dias, onde se assume que a magnitude dos assentamentos dos aterros que ocorrem nesta fase são compensados no final da construção.

A análise na fase de serviço foi realizada para uma duração de 100 anos, correspondente à duração da vida útil da estrutura.

Na figura seguinte apresenta-se a malha de elementos finitos adotada no final da fase de serviço (Fase 8).

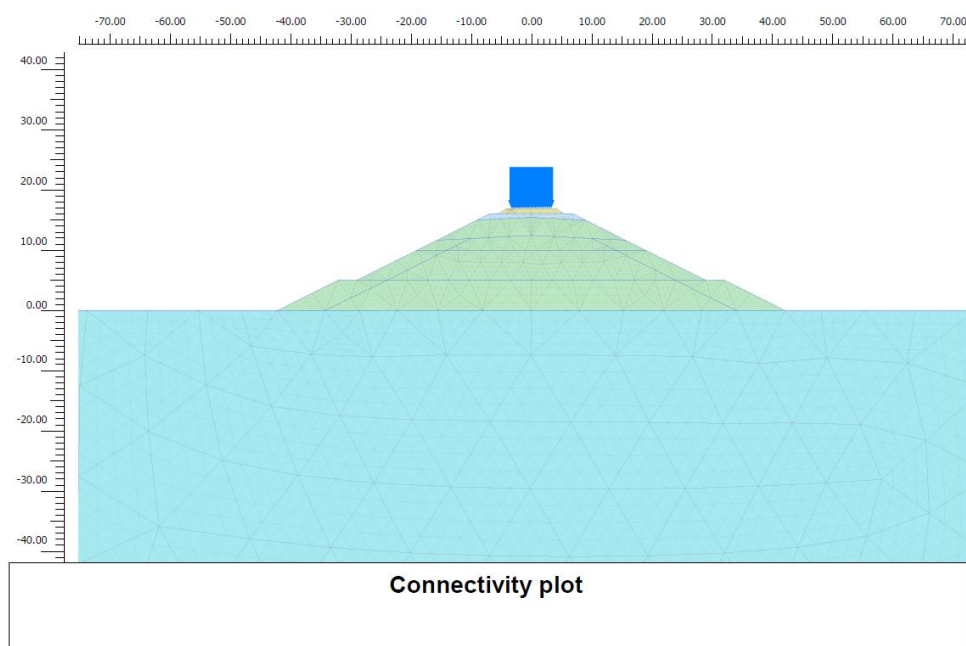


Figura 22 – Malha de elementos finitos adotada no PLAXIS (Fase8)

5.2.3.2 Resultados obtidos

Apresentam-se as figuras com os deslocamentos horizontais e verticais verificados, valores acumulativos obtidos na última fase, após os 100 anos (Fase 8).

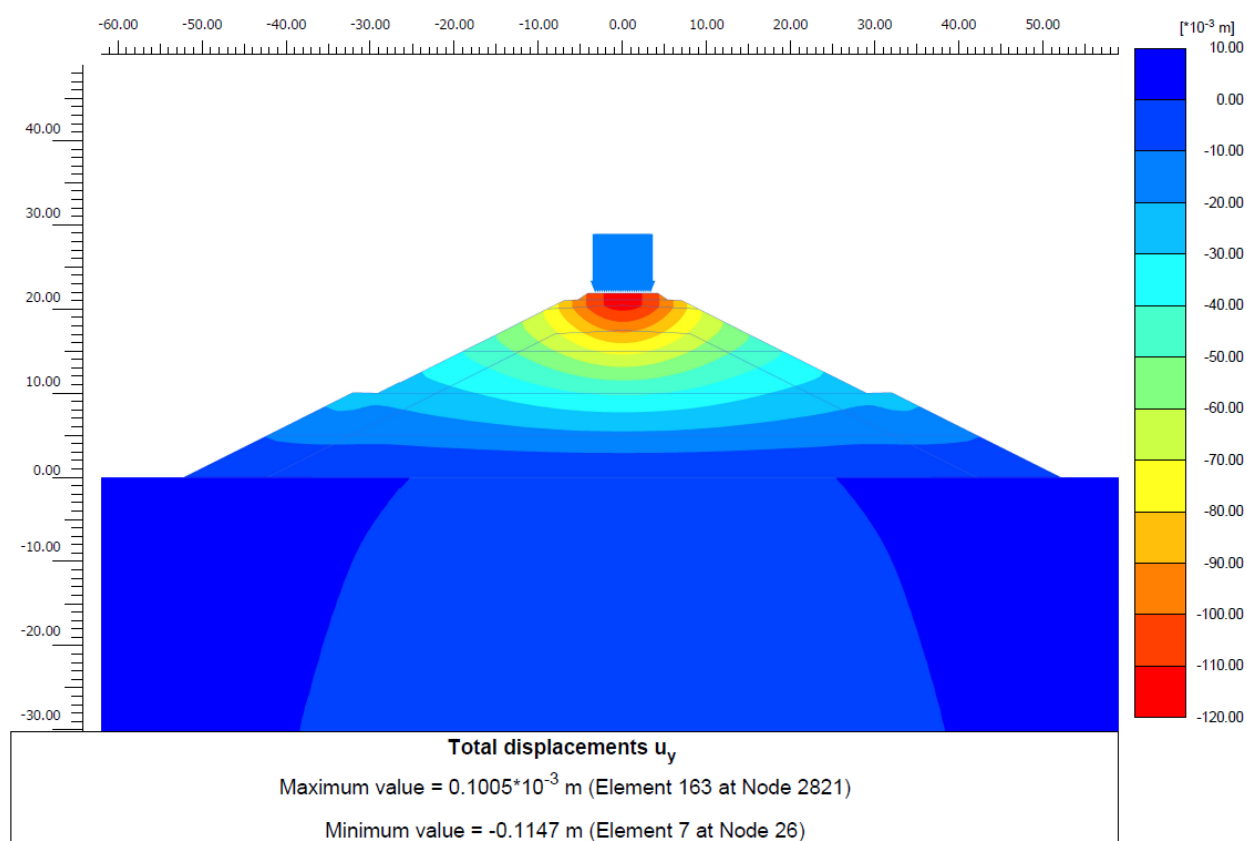


Figura 23 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Sem Reforço

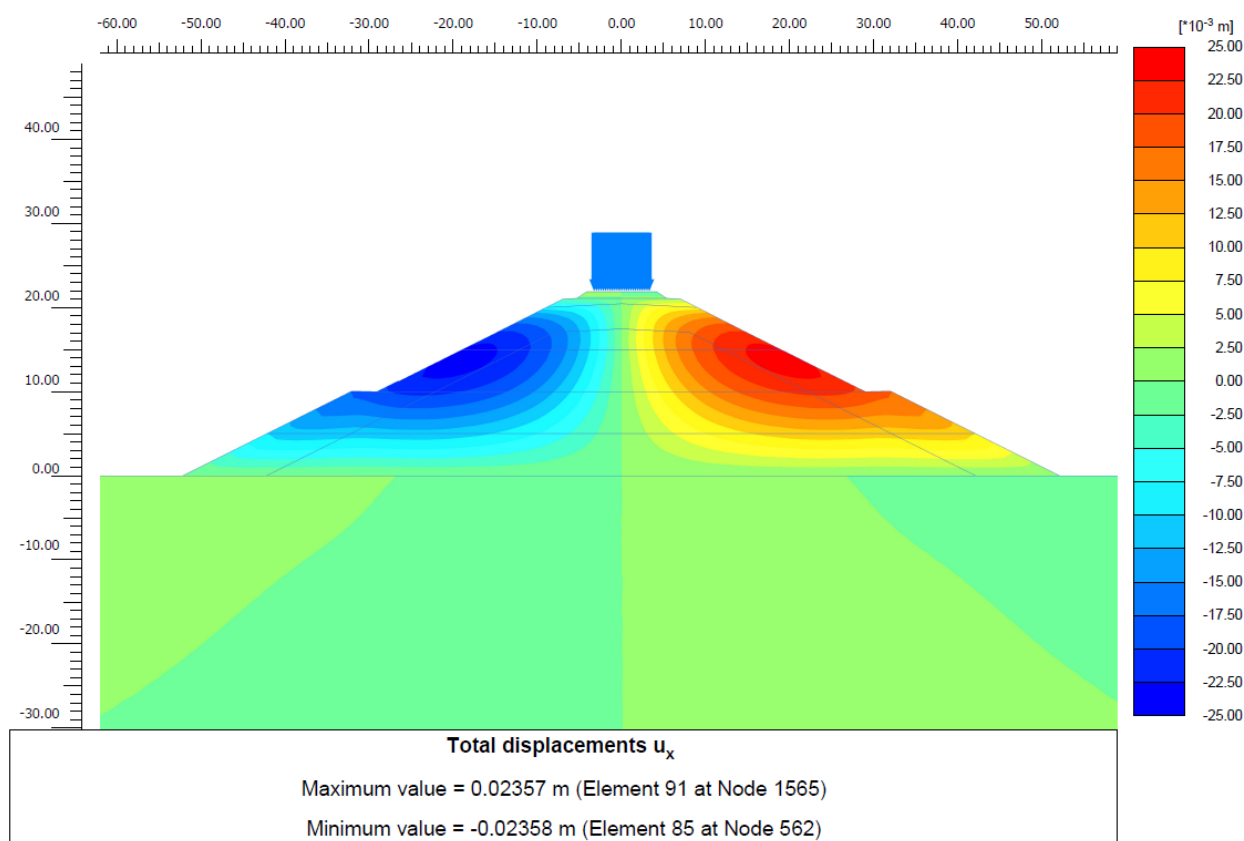


Figura 24 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Sem Reforço

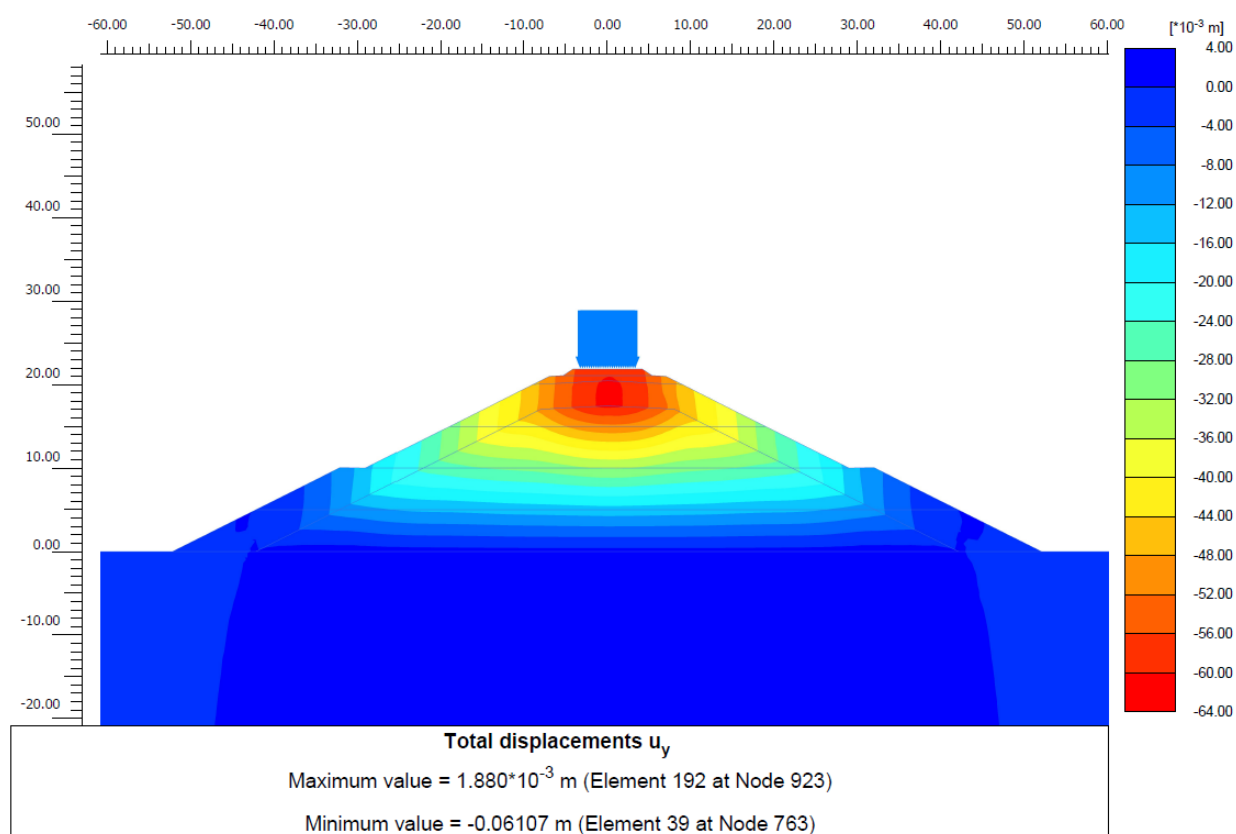


Figura 25 – Valor dos deslocamentos verticais, u_y , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Com Reforço

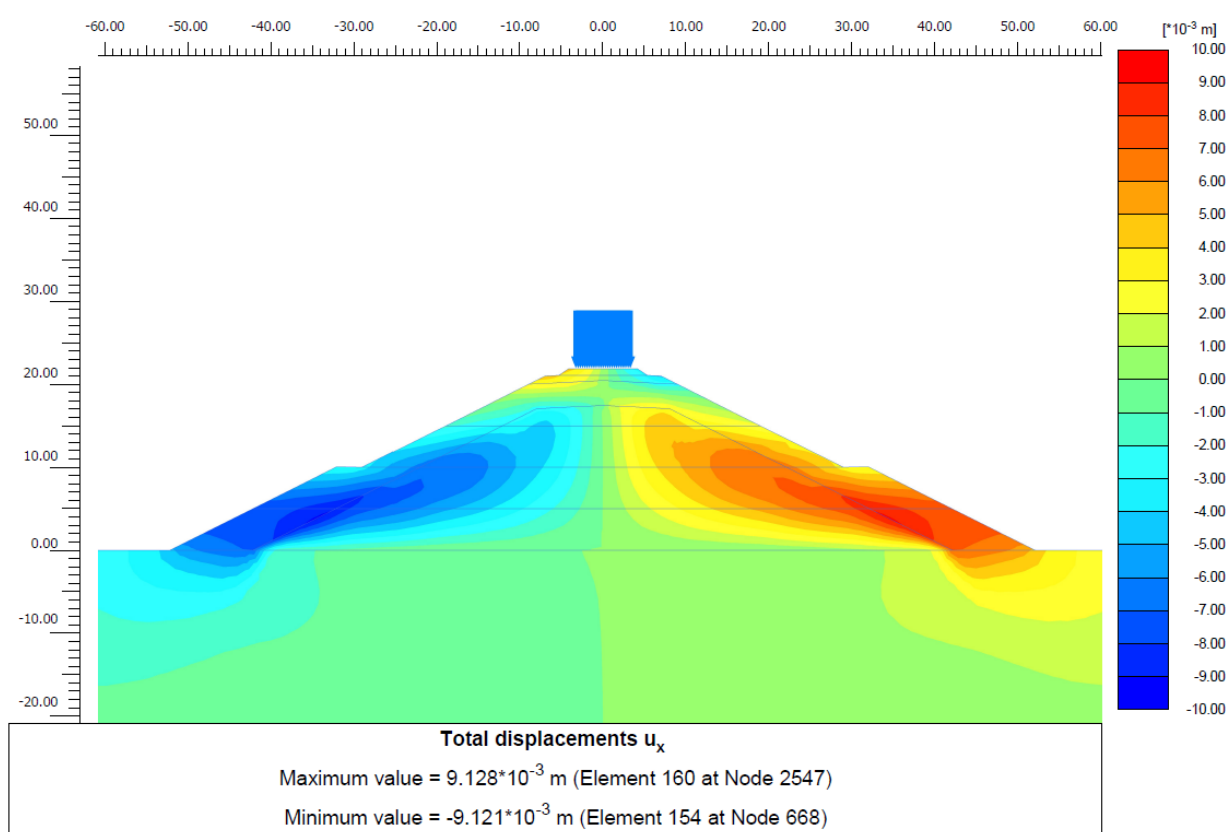


Figura 26 Valor dos deslocamentos horizontais, u_x , obtidos no PLAXIS (Fase 8) – Com Reforço

De seguida apresentam-se os gráficos da estimativa dos assentamentos em função do tempo após entrada de serviço da linha, bem como as taxas de deformação referentes a 0-6 meses, anuais nos primeiros 5 anos, entre 5-10 anos, 10-50 anos e entre 50-100 anos.

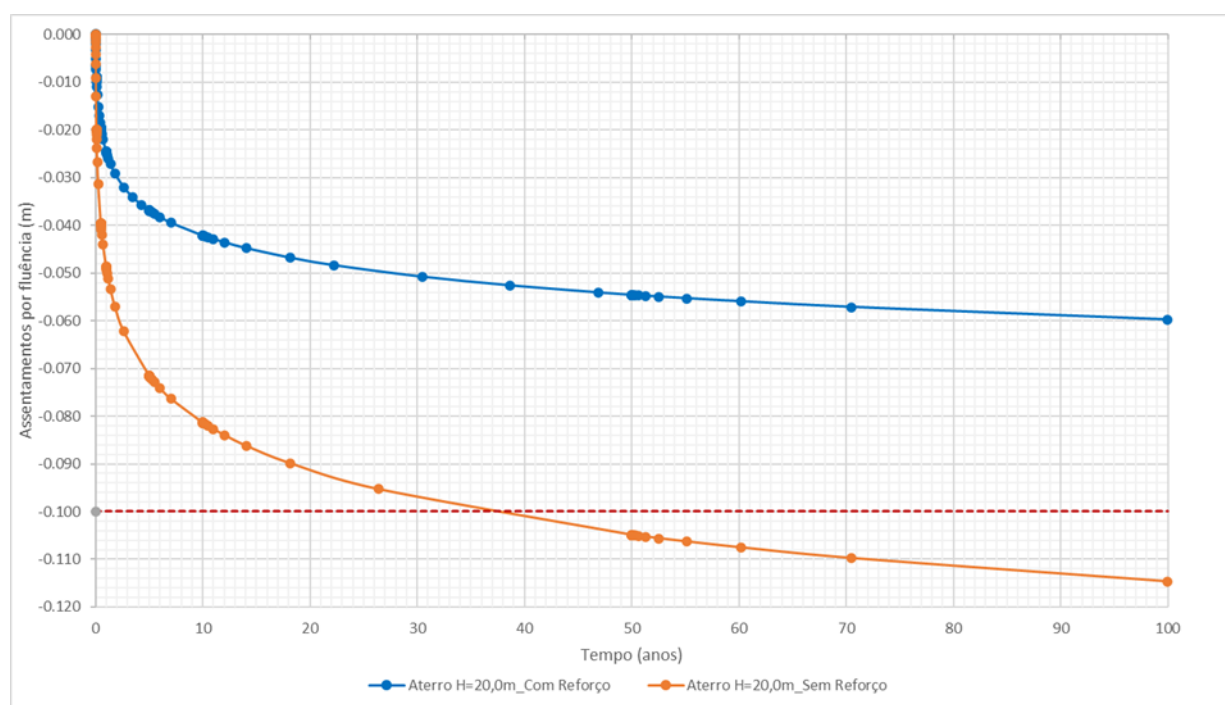


Figura 27 – Aterro H≤20,0 - Gráfico dos assentamentos em função do tempo

Quadro 13 – Aterro H≤20,0 – Taxas de Deformação

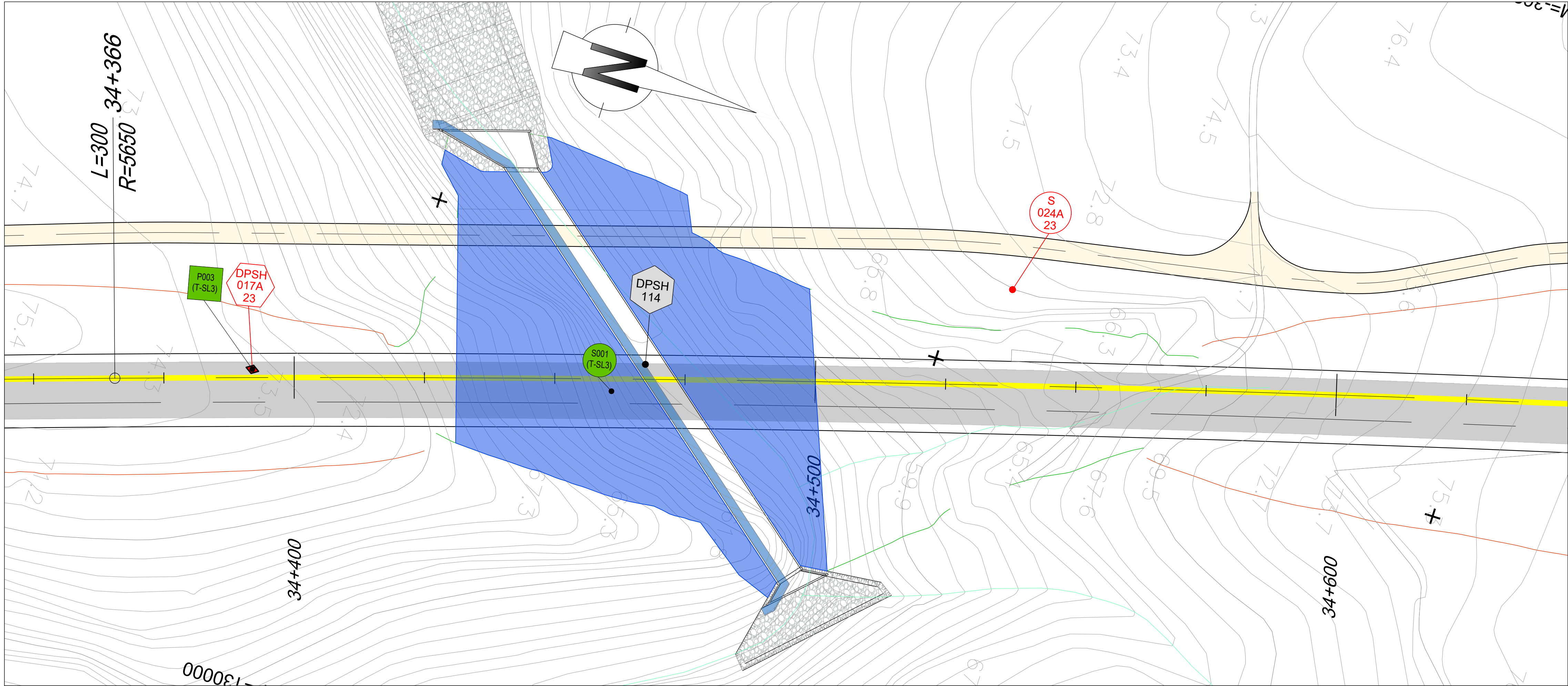
H=20m s/ Reforço		H=20m c/ Reforço	
Ano	Taxa de deformação (mm/ano)	Ano	Taxa de deformação (mm/ano)
1	49 (>10)	1	25 (>10)
2	10	2	6
3	6	3	3
4	6	4	2
5	4	5	2
10	2	10	1
50	1	50	0
100	0	100	0

5.2.4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Com base nos resultados podemos tecer as seguintes conclusões:

- Na análise dos assentamentos por fluência do próprio aterro não foram considerados os efeitos da presença do nível freático e os assentamentos do material de fundação;
- Para os cenários sem aplicação do reforço foram obtidos assentamentos no topo do aterro inferiores a 100 mm, exceto no caso do aterro com H=20m, onde foi obtido um assentamento de 115 mm. Foram determinadas taxas de deformação inferiores aos limites estabelecidos de 5-10 mm/ano para os assentamentos totais, exceto no primeiro ano onde foram obtidas taxas entre 49 e 32 mm/ano (no 1º semestre, entre 80 e 54mm/semestre; no 2º semestre, entre 18 e 9mm/semestre);
- Para os cenários com aplicação do reforço foram obtidos assentamentos no topo do aterro inferiores a 100mm, entre 60 (H=20m) e 52mm (H=15m). Foram determinadas taxas de deformação inferiores aos limites estabelecidos de 5-10 mm/ano para os assentamentos totais, exceto no primeiro ano onde foram obtidas taxas de 25 e 23 mm/ano (no 1º semestre, de 40mm/semestre; no 2º semestre, de 10 e 9mm/semestre);
- Manutenção mais cuidada nos aterros com altura iguais ou superiores a 10m durante no primeiro semestre após entrada em serviço;
- Validação da necessidade de reforçar os taludes com alturas superiores a 15 m.

PLANTA
Esc. 1:500



LEGENDA:

PLANTA

- Eixo de Projeto (unifilar)
- Eixo de Representação de Perfil Longitudinal
- Escavação
- Aterro
- Plataforma de Via
- Viaduto / Ponte
- Muro de Contenção
- Poste de Catenária

NOTA: A referência quilométrica é relativa à Via Ascendente.

PERFIL LONGITUDINAL

- Rasante de projeto
- Terreno
- Marco Quilométrico / Hectométrico de projeto
- Cota de entrada ou saída das PH's

- Plataforma De Passageiros PUEC

GERAL

- Passagem Hidráulica
- Passagem Superior / Inferior
- Ponte / Viaduto
- PUEC
- Muro
- Caminho Paralelo / Serviço

- Passagem Superior (PS)
- Passagem Inferior / Passagem Agrícola (PI / PA)
- AMV Projeto
- Viaduto / Ponte
- Túnel

PLATAFORMA A UIC:

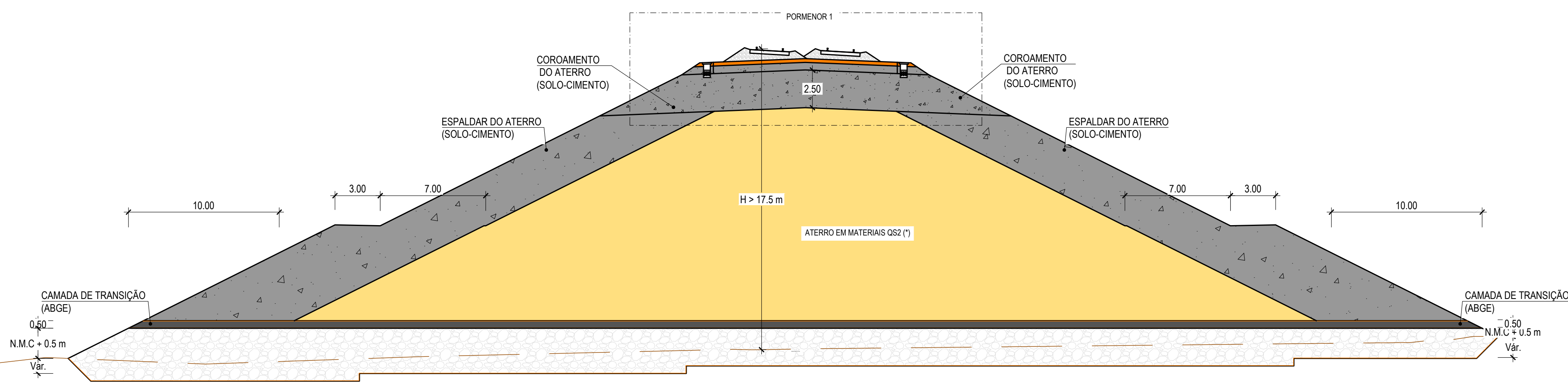
- Estrada
- Aparelho De Mudança De Via
- Linha
- Indicador De Limite De Resguardo
- Curva
- Passagem Superior Pedonal

LEGENDA:

SIMBOLOGIA

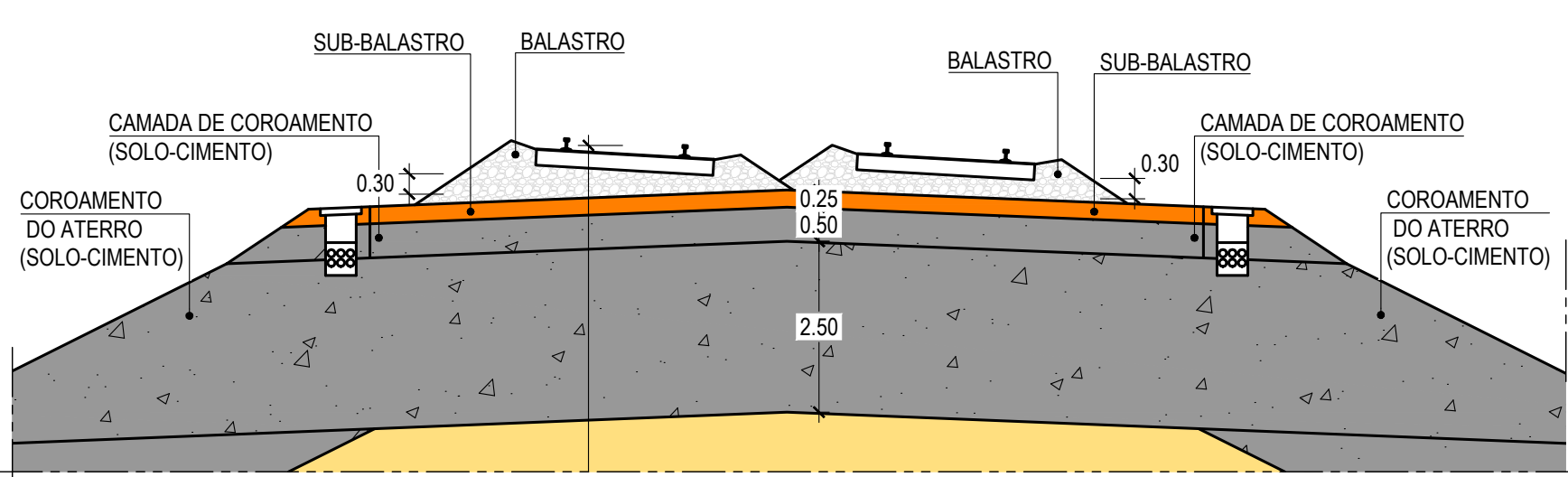
- Aterro reforçado - Secção Tipo 1 (ST1)
- Aterro reforçado - Secção Tipo 2 (ST2)

PERFIL TIPO ST2
Esc. 1:200

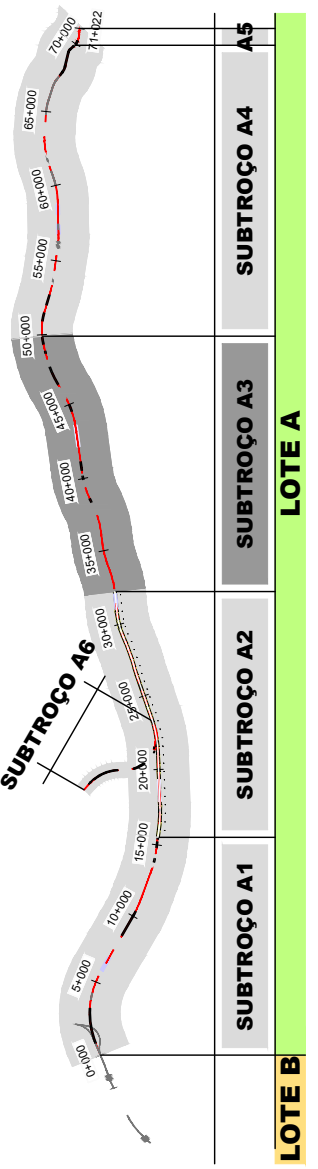


NOTA (*): CASO EXISTA INDISPONIBILIDADE DE MATERIAIS COM CARACTERÍSTICAS Q52, PODERÃO APLICAR-SE MATERIAIS Q51 DESDE QUE POSSUAM CBR ≥ 10 %.

PORMENOR 1
Esc. 1:100



SISTEMA DE REFERÊNCIA
PT-TM06 / ETRS 89



Cofinanciado pela
União Europeia

AVAN
CONCESSÕES DE ALTA VELOCIDADE
AVACE
NORTE

						 CONCESSÃO DE VIA VELOCIDADE		 AVACE NORTE		 CONSTRUTORA DE	

Esc. 1:500



-  - Plataforma de Via
-  - Viaduto / Ponte
-  - Muro de Contenção
-  - Poste de Catenária

NOTA: A referenciação quilométrica é relativa à Via Ascendente

- Rasante de projeto

-
- Passagem Superior (PS)
- Passagem Inferior / Passagem Agrícola (PI / PA)

Nome - AMV Project



1

- | | |
|---|------------------------------------|
|  | - Estrada |
|  | - Aparelho De Mudança De Via |
|  | - Linha |
|  | - Indicador De Limite De Resguardo |
|  | - Curva |
|  | - Passagem Superior Pedonal |

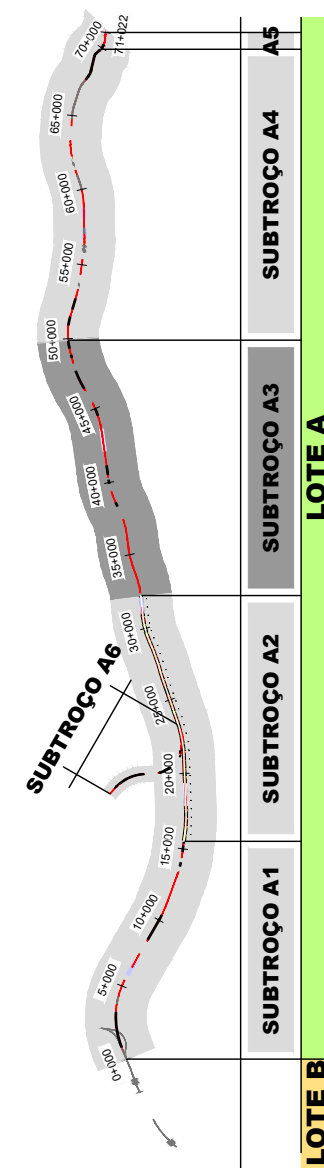
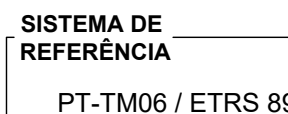
SIMBOLOGIA

- Aterro reforçado - Secção Tipo 1 (ST1)
- Aterro reforçado - Secção Tipo 2 (ST2)

Esc. 1:200



Esc. 1:100



						  	
				Código Projeto		-	
PR	14.08.2025	Edição inicial		E. M. Fernandes		PF102A3 PR.01.03.00.00.101-102.00.DWG	
Rev.	Data	Descrição		Responsável		Projeto: Paulo Faria/Teresa Santos Desenho: Pedro Bilbão Validou: Eduardo M. Fernandes	
		O Gestor de Projeto		Projeto		Código Desenho	
		-		LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE PORTO (COMPANHIA) E LISBOA		PF102A3 PR.01.03.00.00.102.00	
		O Responsável Unidade		Unidade		Nº da Ficha	
		-		TROÇO PORTO (COMPANHIA) A OÂ - SUBTROCÇO A3 - PK 33+200 AO PK 49+900		11	
		O Responsável Departamento		Local		Nº de Cálculos	
-		PORTO (COMPANHIA) A OÂ		14.08.2025		Versão	
O Diretor		Especialidade		V01 - INFRA-ESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA FÉRREA T1.3 - ESTRUTURAS DE PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DA PLATAFORMA		EEP 102	
-		Título do Desenho		A44.1 - PK 44+050 A PK 44+150 PLANTA E CORT TIPO		1:500 1:200 1:100	
Empreendimento		Estudos e Projetos Ferroviários		Exatidão		1:500 1:200 1:100	
Fase		N.º				1:500 1:200 1:100	
		Projeto de Execução					