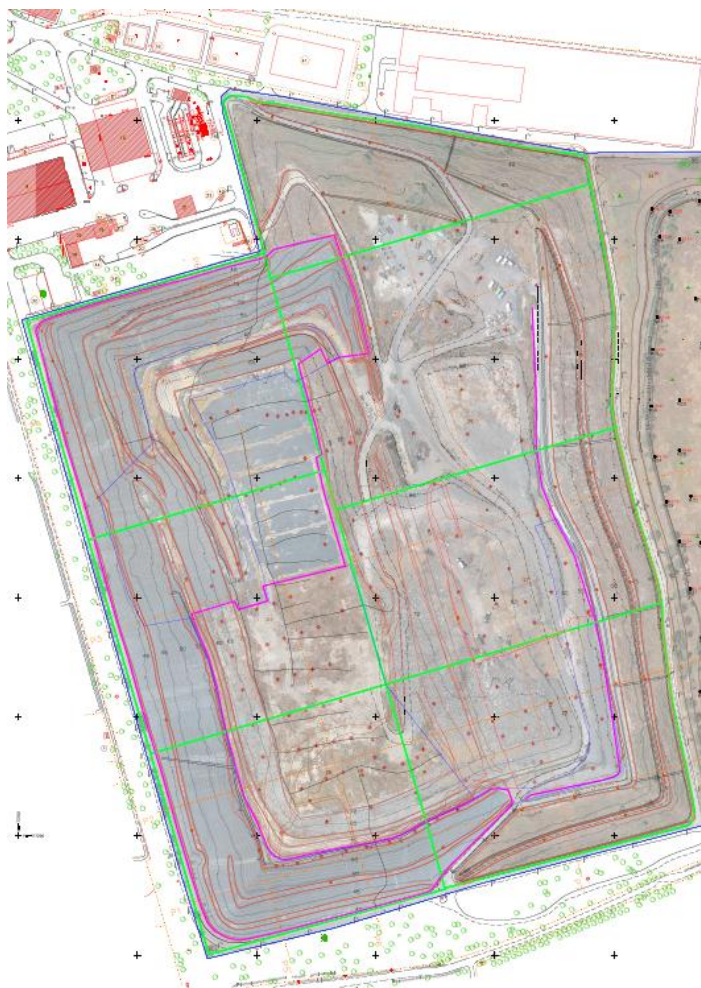




Consultoria de Engenharia



AN ENGINEERING PROJECT DEVELOPMENT S.L.

C/ Gibraltar Español, 34. 45500 Torrijos. Toledo (Espanha).

Telf: +34 925 76 13 87. Móvel: +34 639 60 40 82.

info@aningenieria.com

www.aningenieria.com

PROJETO
DE REENGENHARIA
DO PLANO DE
ENCHIMENTO
DAS CÉLULAS 1 A 7.

ATERRO SANITÁRIO DO
ECOPARQUE DE
PALMELA.

Q.ta do Anjo, Palmela. Portugal

Projeto de Reengenharia do Plano de Enchimento.
ATERRO SANITÁRIO DE PALMELA (AMARSUL)
Palmela, (PT).

Revisão R2 - Novembro 2025

**PROJETO DE REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DAS CÉLULAS
1 A 7, DO ATERRO SANITÁRIO DO ECOPARQUE DE PALMELA.
ECOPARQUE DA AMARSUL NO PALMELA (PT)**

**DOCUMENTO 0.
ÍNDICE GERAL**

Projeto de Reengenharia do Plano de Enchimento.
ATERRO SANITÁRIO DE PALMELA (AMARSUL)
Palmela, (PT).

Revisão R2 - Novembro 2025

- INDICE GERAL DOCUMENTOS.

- DOCUMENTO 1. MEMORIA DESCRITIVA.
- DOCUMENTO 2. PEÇAS DESENHADAS.
- DOCUMENTO 3. ESTUDO ESTABILIDADE TALUDES

PROJETO DE REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DAS CÉLULAS 1 A 7, DO ATERRO SANITÁRIO DO ECOPARQUE DE PALMELA.

DOCUMENTO I MEMÓRIA DESCRITIVA

Projeto de Reengenharia do Plano de Enchimento.

ATERRO SANITÁRIO DE PALMELA (AMARSUL)

Palmela, (PT).

Memória Descritiva.

Novembro 2025

PROJETO DE REENGENHARIA

MEMÓRIA DESCRITIVA

NOVEMBRO 2025

ÍNDICE MEMÓRIA:

1	Enquadramento.....	3
1.1	Introdução.	3
2	Entidade Requerente, Titular da Instalação, Operador e Autor do Projeto.....	5
2.1	Entidade Requerente, e Titular da Instalação.	5
2.2	Dados gerais da obra e Operador.....	5
2.3	Dados gerais do Autor do Projeto.	5
3	Enquadramento Jurídico: Legislação, Regulamentação, Disposições oficiais.	6
4	Descrição geral do Ecoparque de Palmela.....	6
4.1	Localização, acessos e estado atual do Ecoparque.....	6
4.2	Ecoparque de Palmela. Infraestruturas de apoio à Exploração do Aterro Sanitário.....	9
4.3	Licenças do Aterro do Ecoparque de Palmela.....	12
5	Objetivos gerais da intervenção preconizada.	13
5.1	Volume e Capacidade disponível com a intervenção prevista.	14
6	Reengenharia de taludes, reperfilamento do aterro da massa de resíduos.....	15
6.1	Modelação prevista do aterro. Perfil tipo a realizar. Estabilidade de Taludes.	19
7	Drenagem de lixiviados.....	24
8	Drenagem de Biogás.....	26
9	Encerramento da Aterro. Selagem.....	31
9.1	Pacote de selagem.	31
9.2	Selagens parciais e impermeabilizações temporárias na fase de exploração.....	33
10	Sistema de drenagem de escoamento de águas pluviais.	35
11	Vias de Acessos.....	39
12	Integração Paisagística.	39
13	Conclusões.	40

1 Enquadramento

1.1 Introdução

O presente Projeto de Reengenharia do plano de Enchimento das Células 1 a 7 do Aterro do Ecoparque de Palmela, tem como objetivo a definição da nova proposta de enchimento correspondente à exploração das Células 1 a 7 do Aterro que atualmente se encontram em exploração, abrangendo as seguintes medidas:

- Estabilidade dos taludes que conformam o aterro na fase de exploração, entre a célula 1 a 7.
- Com o reperfilamento e a reengenharia dos taludes otimizar-se-á a volumetria disponível para enchimento.
- Melhoria da operação do aterro, redesenhando tanto as vias de acesso e manobra de veículos desde os níveis mais baixos até à coroação do aterro; redesenho e ampliação da largura das banquetas, garantindo tanto a manobrabilidade na fase de exploração como na fase de pós-encerramento.
- Preparação e adaptação do aterro, especialmente no que se refere aos taludes e banquetas para as futuras obras de selagem aquando do seu encerramento (parcial ou definitivo). A preparação e adequação do atual aterro aos parâmetros estabelecidos de largura e inclinações longitudinal e transversal entre banquetas, assim como entre patamares de nível inferior e superior, perfil tipo, bem como inclinações da coroação do aterro.

Na elaboração do presente documento foram tidas em consideração as disposições técnicas e a regulamentação aplicável, bem como os condicionantes e os pontos críticos observados durante a visita ao local e a análise da documentação técnica disponível, em particular o levantamento topográfico do estado dos resíduos, com base no qual foi elaborada a proposta de intervenção.

O aterro sanitário de Palmela fica situado na confluência dos concelhos de Palmela e da Moita e recebe resíduos provenientes dos concelhos de Palmela, Alcochete, Barreiro, Moita, Montijo, Sesimbra e parte de Setúbal.

A exploração do aterro sanitário iniciou-se em 1997. Essa exploração foi realizada por fases, com a deposição dos resíduos nas células (1 e 2). À medida que a exploração foi avançando, procedeu-se à mudança de células, iniciando-se em 2002 a exploração da célula nº 3, os resíduos foram sendo depositados de forma conjunta nestas 3 células.

Posteriormente, iniciou-se a exploração das células 4, 5, 6 e 7, de acordo com as necessidades e de forma que o aterro fosse explorado de maneira conjunta, garantindo assim a estabilidade e a homogeneização da massa de resíduos. À medida que uma fase de exploração era concluída, e com o objetivo de minimizar a produção de lixiviados, foram realizadas selagens parciais e definitivas, como no talude Norte da célula nº 1.

Dessa forma, o aterro foi crescendo em altura de maneira homogênea, sendo criadas vias de acesso e circulação de veículos, bem como banquetas para garantir o acesso às diferentes zonas do interior do aterro, além de permitir a execução das instalações complementares, a gestão e o controle dos lixiviados e a captação do biogás.

No que se refere à construção das diferentes células do aterro, importa frisar que o sistema de impermeabilização do aterro é composto por um revestimento basal e lateral com geocompósito bentonítico e uma geomembrana, com soldadura dupla, nos taludes e no fundo uma camada mineral drenante com 0.50 m de espessura (0.15 m de areia e 0.35 m de godo), onde se encontram tubos ranhurados a 180º para a recolha e encaminhamento dos lixiviados para a EPTAR (estação de pre-tratamento de águas residuais).

O aterro dispõe ainda de uma rede de captação e drenagem do biogás, feita através de tubos verticais ranhurados a 360º em PEAD com coletores para encaminhamento do biogás para uma Central Valorização Energética (CVE). Ao longo da exploração do aterro também têm sido implementados sistemas horizontais de extração de biogás.

2 Entidade Requerente, Titular da Instalação, Operador e Autor do Projeto

2.1 Entidade Requerente, e Titular da Instalação

- Titular, Propriedade: **AMARSUL– Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.**
- Morada: **Estrada Luís de Camões. Apartado 117. 2861 – 909 Moita.**
- Correio eletrónico: **geral@amarsul.pt**
- Telefone: **(+351) 212 139 600**
- Número de identificação de pessoa coletiva (NIPC): **503 876 321**
- CAE: **38212 - Tratamento e eliminação de outros resíduos não perigosos.**

2.2 Dados gerais da obra e Operador

- Designação de intervenção: Reengenharia do Plano de Enchimento das Células 1 a 7, do Aterro Sanitário do Ecoparque de Palmela.
- Identificação dos locais de implantação: Quinta do Anjo, Portugal. Freguesias de Palmela, Pinhal Novo, Quinta do Anjo y la União das Freguesias de Marateca e Poceirão.
- Código do CPV: 45222110-3 Construção de depósito de resíduos.

2.3 Dados gerais do Autor do Projeto

- Engenharia: **AN Engineering Project Development S.L.**
- Morada: **C/ Gibraltar Español, 34. 45500 Torrijos (Toledo, Espanha)**
- Correio eletrónico: **info@aningenieria.com**
- Telefone: **+34 925 76 13 87.** Móvel: **+34 639 60 40 82**
- NRF: **B45788114**

3 Enquadramento Jurídico: Legislação, Regulamentação, Disposições oficiais

Na elaboração do **Projeto de Reengenharia do Plano de Enchimento das Células 1 a 7 do Aterro Sanitário do Ecoparque de Palmela**, foi considerada toda a legislação específica, tanto ao nível do ordenamento europeu como nacional.

LEGISLAÇÃO PORTUGUESA:

- Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro, aprova o novo regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, na sua redação atual.
A operação de deposição de resíduos em aterro está sujeita a licenciamento, cujo pedido deve ser apresentado nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 75/2015, de 11 de maio, na sua redação atual, que aprova o Regime de Licenciamento Único de Ambiente (LUA).

4 Descrição geral do Ecoparque de Palmela

4.1 Localização, acessos e estado atual do Ecoparque

O local de intervenção (Aterro Sanitário Células 1 a 7) situa-se no Ecoparque de Palmela encontram-se na confluência dos concelhos de Palmela e da Moita, a leste da Barra Cheia, limitados a leste pela Vala das Sete Fontes e a Oeste pelas Valas de Água Doce.

Na imagem seguinte apresenta-se um extrato da Carta Militar de Portugal, folha 443.

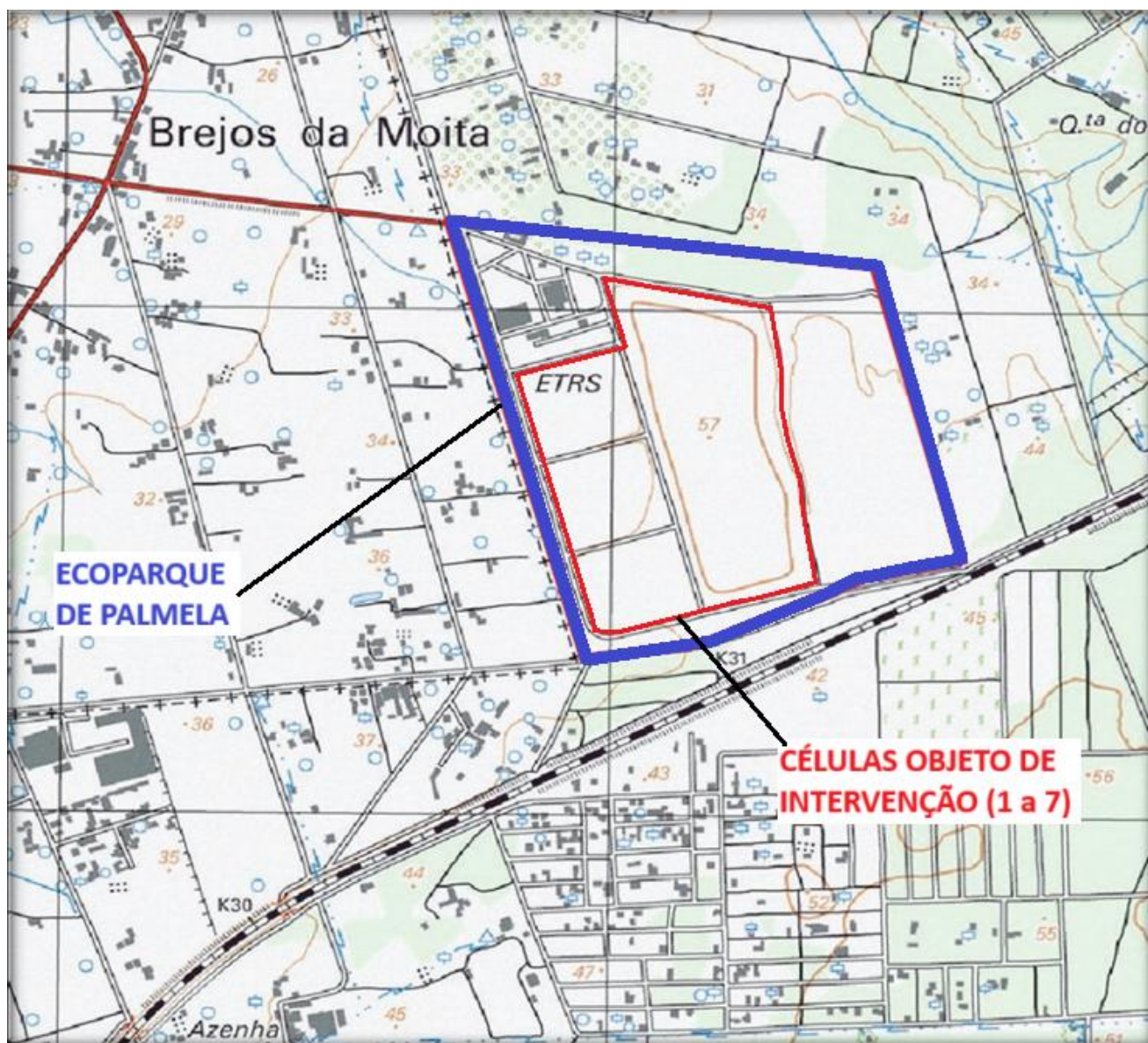


Figura 1 - Área de Intervenção. Ecoparque da Amarsul no Palmela.

Extrato da Carta Militar de Portugal na folha 443.

A seguir, apresentam-se fotografias aéreas da área, obtidas através do Google Earth e levantamentos aerofotogramétricos realizados, da célula de confinamento e das instalações auxiliares.



Figura 2 - Área de Intervenção. Ecoparque da Amarsul no Palmela. Imagem Aérea do Google Earth. Data 17/09/2025



Figura 3 - Área de Intervenção. Células 1 a 7. Imagem Aérea do Google Earth. Data 17/09/2025



Figura 4.- Disposição das células 1 a 7. Fonte arquivo AMARSUL

4.2 Ecoparque de Palmela. Infraestruturas de apoio à Exploração do Aterro Sanitário

Um aterro sanitário necessita de infraestruturas de apoio que assegurem o funcionamento adequado da instalação como um todo.

De acordo com o Projeto de Execução do Aterro, o aterro ou unidade de confinamento possui uma unidade automática dedicada à lavagem dos rodados das viaturas. Todas as viaturas que acedam a essa zona realizam um circuito de saída da instalação que passa pela unidade automática de lavagem de rodados, garantindo que a circulação para jusante desse ponto não contribui para a sujidade nas vias de circulação.

As instalações complementares e auxiliares que o aterro sanitário do Palmela possui, de acordo com o projeto de execução, são:

- Portaria;
- Edifício administrativo, contemplando:
 - Balneário;
 - Refeitório;

- Gabinete médico;
 - Gabinetes de trabalho;
 - Sala polivalente que pode ser utilizada como sala de reuniões, formação ou sala de visitas.
- Oficina, contemplando:
- Armazém de produtos químicos;
 - Armazém de peças;
 - Fosso de manutenção de Máquinas;
 - Gabinete;
- Armazenamento de combustível para as máquinas do aterro;
- EPTAR.
- Parque de estacionamento – para viaturas ligeiras e pesadas;
- Centro Electroprodutor – contemplando as infraestruturas e equipamentos de tratamento e/ou valorização energética de biogás;
- Parque de Inertes, destinada ao armazenamento das terras resultantes da escavação e reutilizadas na cobertura diária dos resíduos, resíduos de construção e demolição (RCD) entregues nos termos definidos na Licença e no Contrato de Concessão.

A instalação possuiu ainda uma via para circulação de viaturas, que executa um anel em redor da instalação, um parque de resíduos verdes e uma plataforma de resíduos volumosos.

O aterro dispõe de um sistema de drenagem sub-superficial (águas subterrâneas) em todas as células, com recurso a bombagens de modo a rebaixar os níveis freáticos que deverá ser mantido ao longo de toda a exploração do aterro e após encerramento por forma a manter os níveis freáticos abaixo do fundo das células.

Os lixiviados, e águas lixiviantes produzidas, bem como as águas residuais domésticas provenientes das instalações de apoio são encaminhadas pelo sistema de drenagem para uma EPTAR - Estação de tratamento de águas residuais, constituído por tratamento Biológico e Físico-Químico:

- Tanque de equalização.
- Lagoas arejadas.
- Lagoa de decantação.

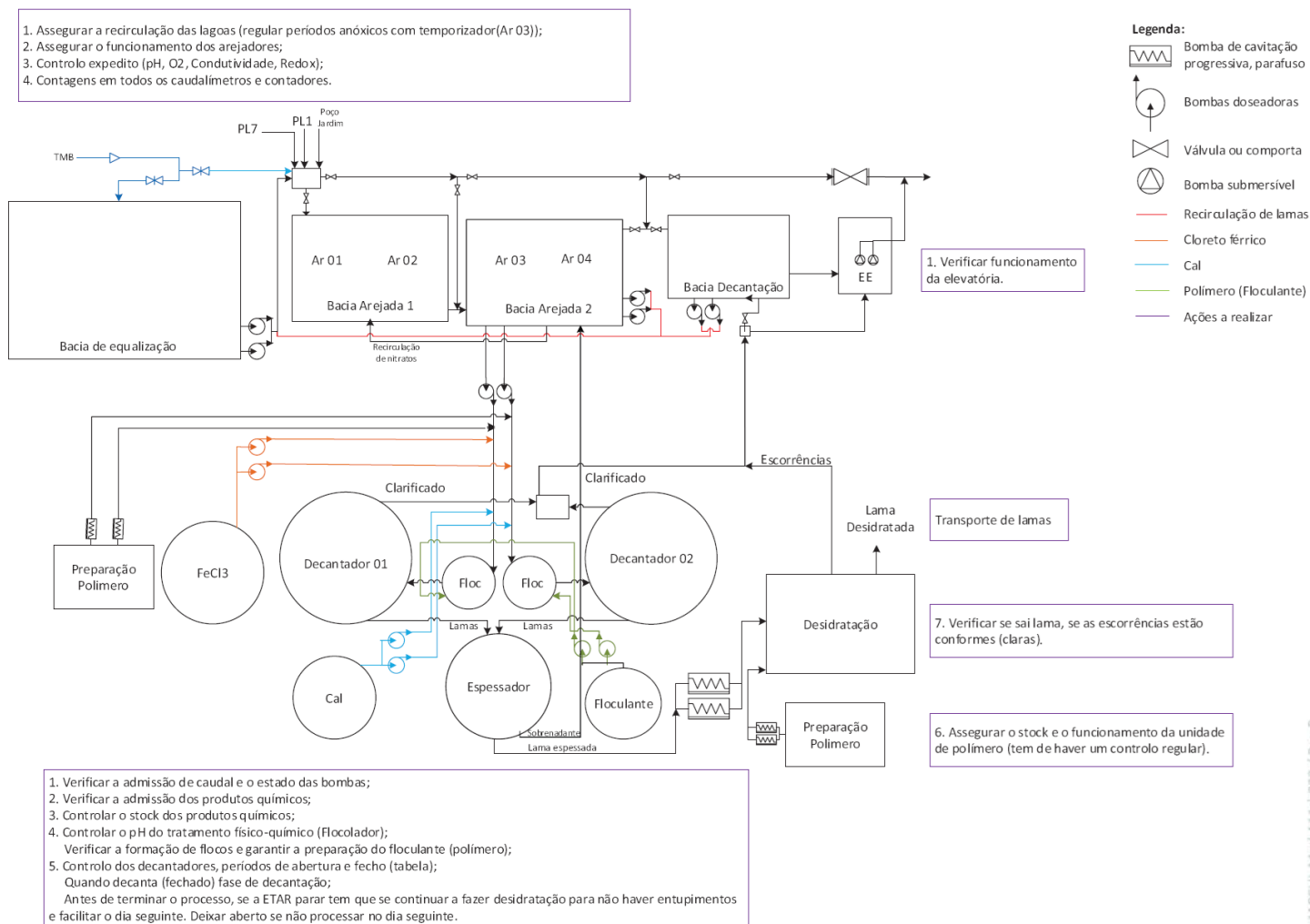


Figura 5. Esquema Geral EPTAR. Fonte Amarsul

O efluente pre-tratado é encaminhado para posterior tratamento fora das instalações da Amarsul, para a Simarsul, ETAR Barreiro Moita.

Toda a área da instalação, onde se inclui o Aterro Sanitário, encontra-se vedada, com o objetivo de evitar o acesso de pessoas e animais ao interior da instalação, sendo o controlo de entradas na instalação efetuado na Portaria.

4.3 Licenças do Aterro do Ecoparque de Palmela

O aterro é constituído por 7 células interligadas, cuja construção e exploração tem sido efetuada de forma faseada em função das necessidades.

Como foi mencionado em pontos anteriores, o aterro tem sido explorado de forma gradual, em função das necessidades. Possui a **Licença Ambiental nº 590/0.1/2015**, de acordo com o **TUA 20200714000217**.

A capacidade total do aterro é de 7.807.063 toneladas, correspondente a um volume de 5.459.484 m³, incluindo as terras de cobertura, que representam aproximadamente 10% do volume total. No que diz respeito à densidade, para o volume considerado foi utilizada pela APA uma densidade de **1,43 Tn/m³**.

Logicamente, a densidade é um parâmetro variável ao longo do tempo, bem como com a idade do aterro devido à exploração do biogás e à tipologia dos resíduos depositados.

De acordo com os relatórios elaborados pela AMARSUL, a densidade estimada dos resíduos depositados é atualmente inferior à prevista em TUA, sendo concretamente de 1,02 t/m³.

Dito isto, nas condições atuais, seriam verificadas dificuldades em cumprir as capacidades definidas em TUA, no qual se estabelece uma capacidade instalada de 7.807.063 toneladas, correspondente a um volume de 5.459.484 m³ (considerando uma densidade de 1,43 t/m³). Por esse motivo, considerou-se necessário proceder a uma reengenharia do Plano de Enchimento, de modo a otimizar a capacidade de encaixe e elevar a cota da cobertura final de 65,00 m, até aos 75 m na crista do talude existente entre o último patamar, perfazendo uma cota final de 79 m na plataforma de coroamento.

A partir dessa cota, e tendo em conta que a plataforma de coroamento deve possuir as inclinações necessárias para escoar as águas pluviais de escorrência, tanto na fase de enchimento como na fase de selagem, será necessário configurar declives que permitam o escoamento adequado até aos pontos de evacuação dessas

águas, os quais serão conduzidos por gravidade através das valetas no interior das banquetas, até ao pé do talude do aterro, drenando depois até aos pontos de descarga no curso de água.

Além disso, com a reengenharia dos taludes, prevê-se uma melhoria substancial da estabilidade dos taludes do aterro, bem como uma melhoria significativa na operacionalidade do mesmo, desde o presente até ao momento do seu encerramento, preparando a massa de resíduos para a execução das obras de selagem do aterro.

5 Objetivos gerais da intervenção preconizada

O alcance dos objetivos do Reengenharia do Plano de Enchimento baseia-se num conjunto de princípios de atuação a executar, nomeadamente:

- a) Análise da situação de partida, com base na topografia atual fornecida pela entidade proprietária, de forma a conceber a reengenharia dos taludes para garantir a estabilidade final dos resíduos.
- b) Remoção e adaptação das geomembranas de impermeabilização provisória e das instalações de captação de biogás e lixiviados, de forma a permitir o reperfilamento dos resíduos para a correta definição dos taludes, banquetas e caminhos de acesso e serviço a partir dos arruamentos perimetrais até ao coroamento da célula.
- c) Executados dos poços de captação vertical no coroamento da célula e preparados com a disposição de ERMs (Estação de Regulação e Medição) para a sua ligação aos coletores gerais de captação de biogás do aterro.
- d) Execução das modificações pertinentes tanto nos taludes como nas banquetas e caminhos de acesso à coroação, consubstanciada na alteração da cota de 65,00 m, elevando-se até aos 75 m na cabeceira do talude existente entre o último patamar e a plataforma de coroamento de forma a otimizar a capacidade útil de deposição de resíduos definida em TUA
- e) A partir dessa cota, +75 m estabelecer o desenho da coroação do aterro de modo a assegurar uma gestão adequada das águas de escorrência pluvial que incidam sobre essa plataforma de coroação do aterro, deixando o conjunto preparado para a selagem definitiva.
- f) Projetar a drenagem das águas pluviais de forma que, uma vez realizada a selagem, estas escoem desde as camadas superiores do aterro até às cotas inferiores, por meio de valetas que recolherão as águas de escorrência pluvial, as quais serão conduzidas pelo interior das banquetas, bem como através das descidas do mesmo e sejam recolhidas em pé de talude para a sua evacuação através das infraestruturas existentes do aterro.
- g) Redesenhar e/ou adaptar as infraestruturas relativas à captação de lixiviados e biogás de acordo com o novo modelo de reperfilamento de taludes previsto e ajustá-las às infraestruturas existentes.
- h) Garantir a correta funcionalidade dos caminhos de acesso, estradas e banquetas, uma vez que o aterro seja selado de forma definitiva, de modo que as operações de pós-encerramento sejam realizadas em condições de segurança pelo operador e colocar as inclinações das banquetas e dos taludes, talude 2H/1V, banquetas de 6,00 m.

Em resumo, na reengenharia do Plano de Exploração previsto prevê-se aumento da capacidade de encaixe de deposição de resíduos, em que todos trabalhos respetivos e operações sejam realizadas com segurança.

As intervenções previstas não implicam ampliação da área licenciada e construída, mantendo-se a rede de monitorização ambiental existente.

Para a sua correta execução, os trabalhos previstos serão realizados por Fases, em função da definição das mesmas fixada no Documento II. Peças Desenhadas.

A realização da reengenharia do plano de exploração permitirá e simplificará os trabalhos de selagem definitiva do aterro, uma vez que no presente documento já estarão incluídos os trabalhos necessários de redesenho e reperfilamento de taludes que possam não ser totalmente adequados ou que, por motivo de assentamentos diferenciais da massa de resíduos, tenham provocado que os perfis atuais do aterro não sejam tão corretos quanto se desejaria, tanto na fase de exploração como de cara à selagem do aterro.

5.1 Volume e Capacidade disponível com a intervenção prevista

Considerando a capacidade licenciada para o aterro de Palmela de 5.459.484 m³, o equivalente a 7.807.063 t, o projeto de reengenharia prevê um volume total de 5.992.355 m³, onde se aferiu uma capacidade de encaixe de 7.496.502 ton de acordo com o projeto realizado.

Tabela n.º1 –
Plano de enchimento previsto para a reengenharia de Aterro de Palmela

Ano	Total de resíduos depositados anual (t)	Total de resíduos acumulados (t)	Volume ocupado por resíduos (m ³)	Volume ocupado por resíduos + terras (m ³)	Volume acumulado (m ³)
2024	237 587	6 591 627	252 990	278 289	5 016 510
2025 (Jan- Mai)	93 471	6 685 098	91 639	100 802	5 117 312
2025 (Jun - Out)	100 830	6 785 928	98 853	108 738	5 226 051
2025 (Nov- Dez)	38 860	6 824 788	38 098	41 908	5 267 959
2026	233 160	7 057 948	228 588	251 447	5 519 406
2027	233 160	7 291 108	228 588	251 447	5 770 853
2028	205 393	7 496 502	201 366	221 503	5 992 355

Pressupostos assumidos:

Densidade: 1,02 ton/m³

Terras: 10 %

6 Reengenharia de taludes, reperfilamento do aterro da massa de resíduos

O dimensionamento do projeto de reengenharia teve por base levantamento topográfico mais recente realizado em junho de 2025, que permite visualizar o estado atual de exploração do aterro, conforme desenho 2.2. Estado atual da Topografia, no Anexo I.



Figura 6.- Estado atual de topografia. Fonte levantamento topográfico de junho de 2025

Nos desenhos 3.2.1; e 3.2.2. são apresentados, por um lado, o perfil atual do aterro, de acordo com o levantamento topográfico, perfil que fica refletido em linha vermelha, assim como o perfil final que deve ser realizado de forma a otimizar o modelo em função dos parâmetros definidos.

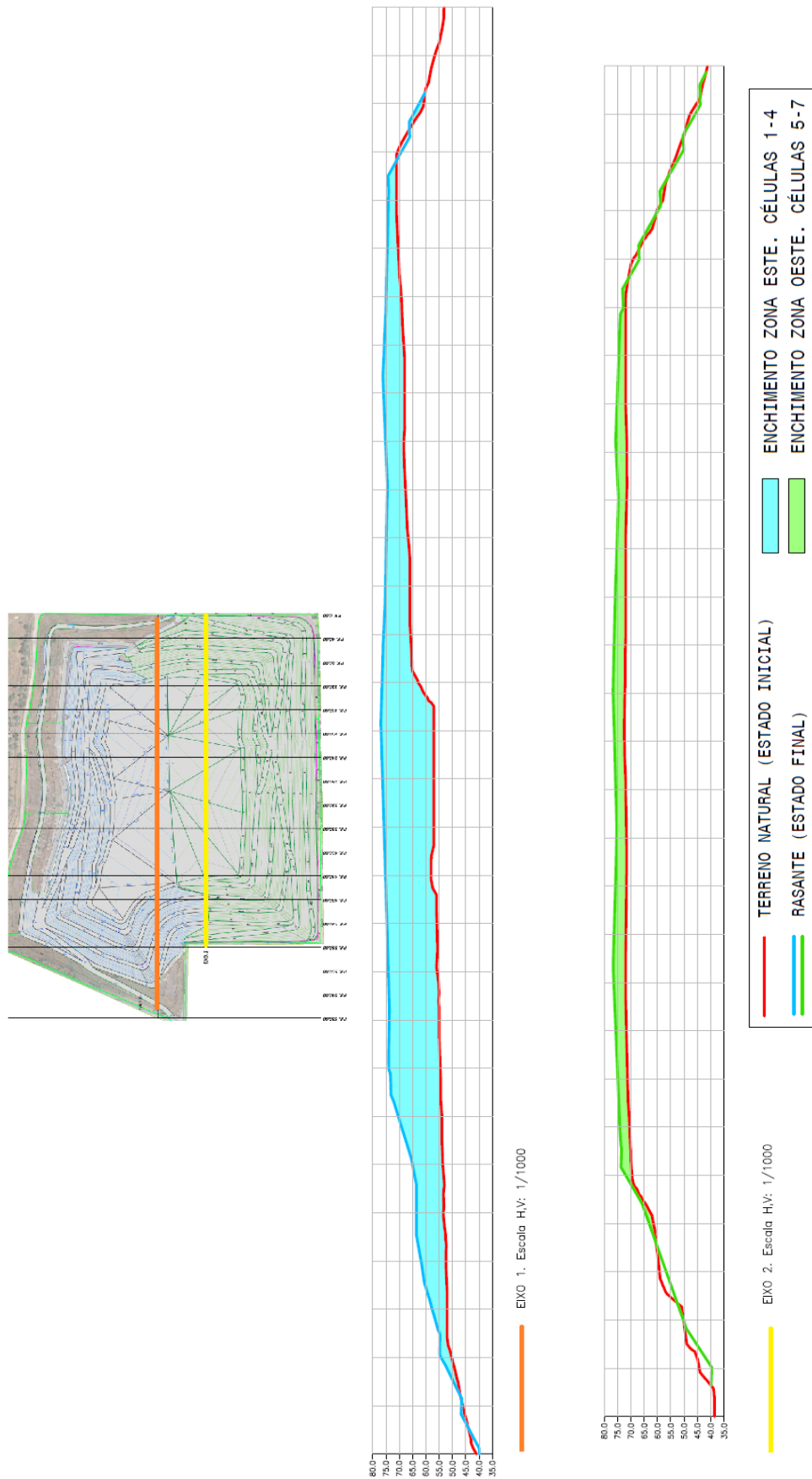


Figura 7.- Eixo 1 e Eixo 2. Estado atual e estado final.

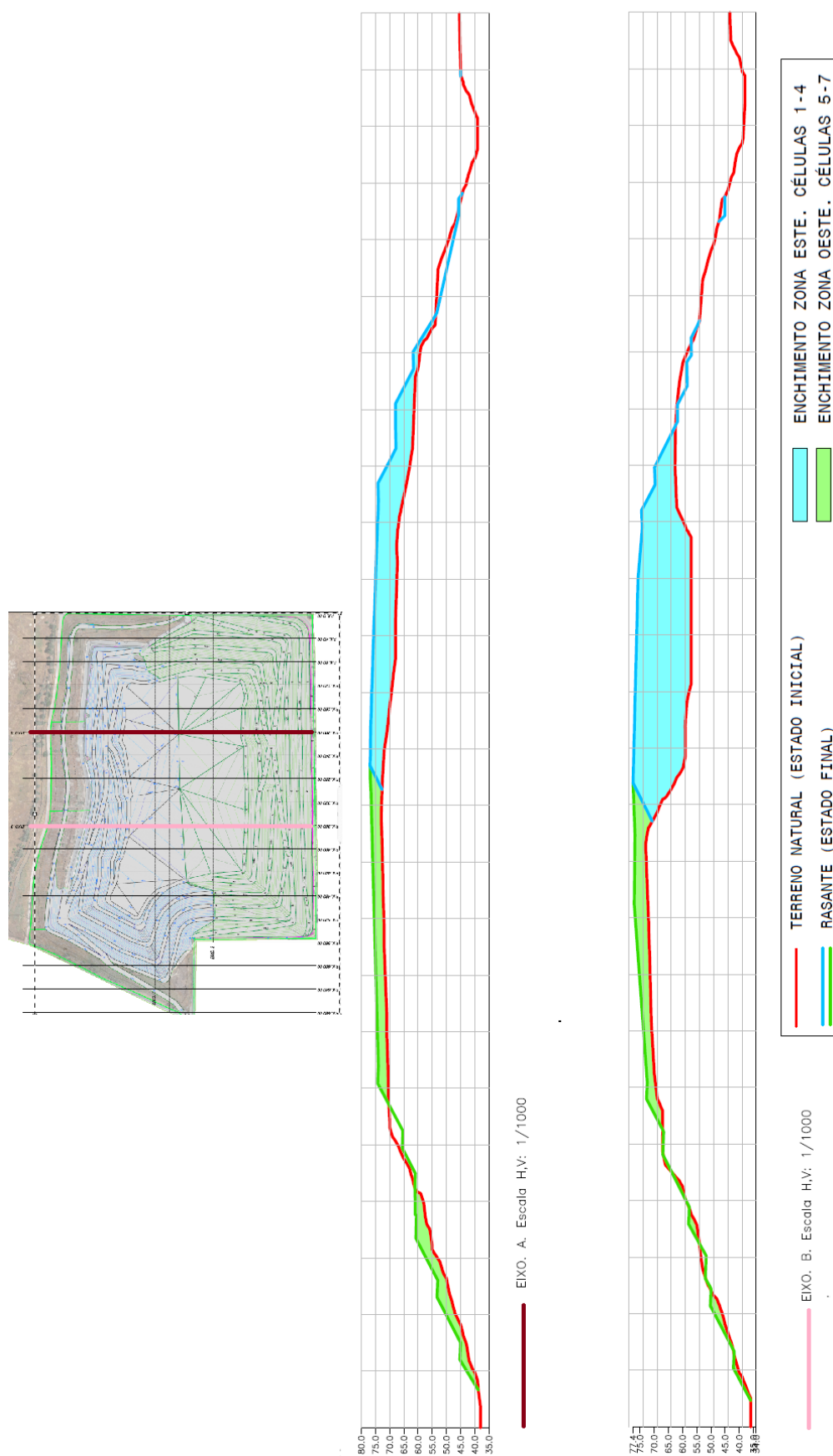


Figura 8.- Eixo A e Eixo B. Estado atual e estado final.



Figura 9.- Modelação do aterro. Planta geral após a reengenharia do Plano de Exploração.

Desenho 4.1.

6.1 Modelação prevista do aterro. Perfil tipo a realizar. Estabilidade de Taludes

Tendo em conta o estado atual das células, será necessário proceder à consolidação da massa de resíduos depositada no aterro, através da reengenharia dos taludes, incluindo trabalhos de escavação, extensão e compactação dos próprios resíduos das células 1 a 7, para a conformação tanto das plataformas como dos taludes, para o que se procederá à retirada das telas, incluindo a reposição das mesmas sempre que necessário.

O perfil tipo que se pretende obter da massa de resíduos existente, para o qual deverá proceder-se ao reperfilamento, encontra-se na figura seguinte, que corresponde ao Desenho 3.3.1.

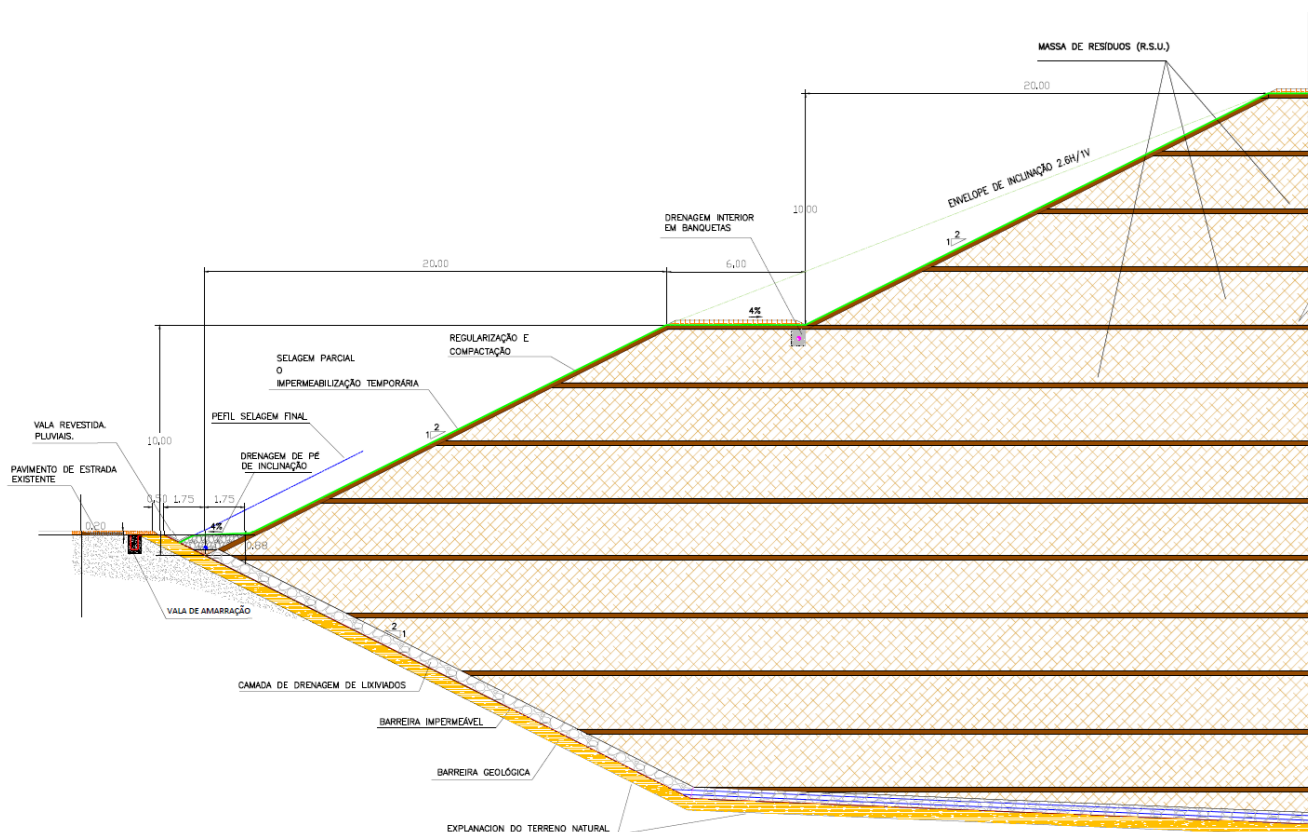


Figura 10.- Perfil tipo uma vez realizado o reperfilamento da massa de resíduos.

Critérios fundamentais adotados no reperfilamento da massa de resíduos atual do aterro:

- Talude de resíduos: **2H/1V.**
- Ângulo de Talude: **26,56º**
- Largura Banquetas: **6,00 m.**
- Altura entre Banquetas: **10,00 m.**
- Contorno geral: **2.6H/1V, corresponde a um ângulo de 21,03º**

Com estes parâmetros de conceção foi modelado o estado atual com o modelo previsto, obtendo-se o plano de Escavação - Terraplenagem, onde se evidenciam as zonas do aterro atual em que se deve proceder à escavação do resíduo já depositado para o adaptar ao modelo previsto. Esses resíduos serão depositados, espalhados e compactados no próprio aterro, nas zonas onde seja necessário adicionar resíduos para ajustar a

massa de resíduos de acordo com o modelo previsto, de acordo com o desenho n.º 4.2, representado na figura seguinte.

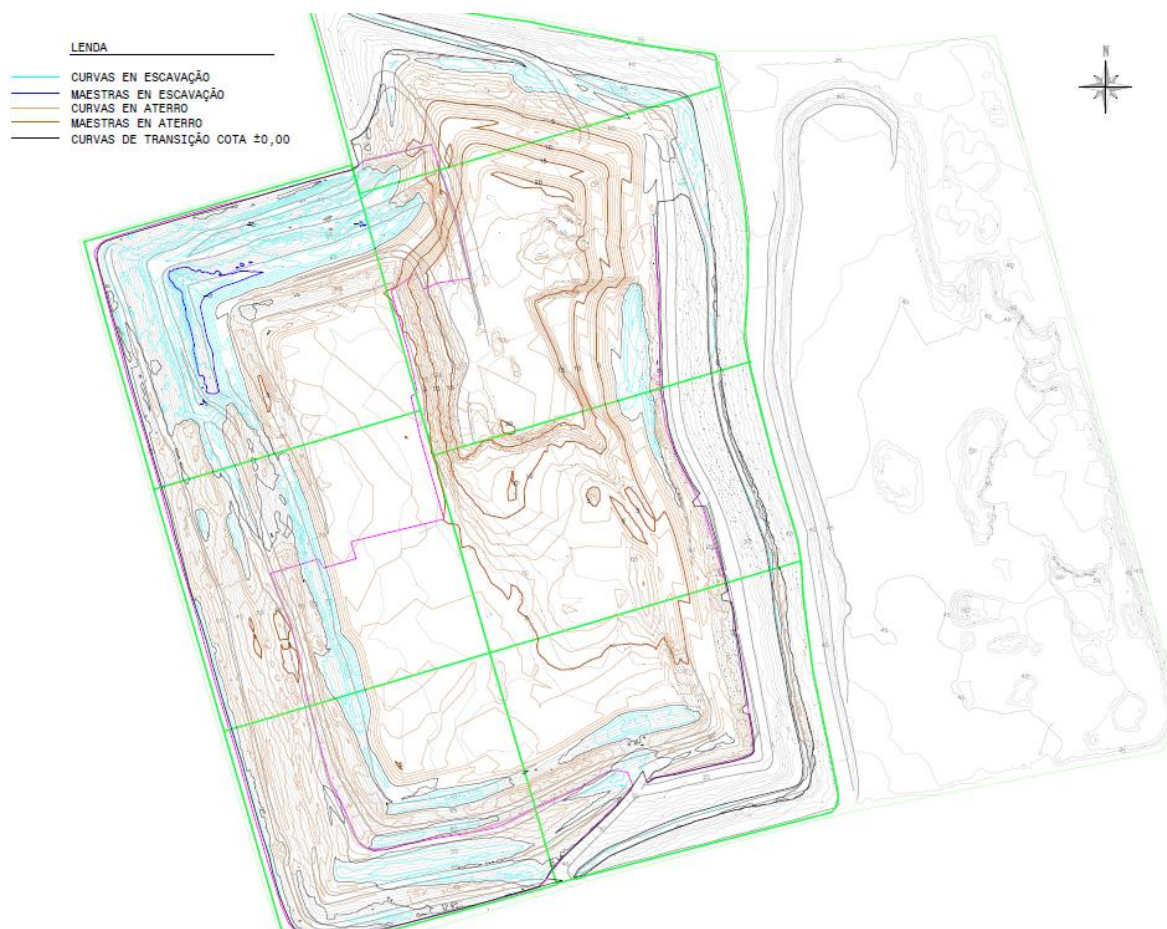


Figura 11.- Espessuras de escavação e terraplenagem das células 1 a 7 Aterro Palmela. Reperfilamento.

Na figura anterior definem-se por zonas e cores as diferentes áreas onde se deve proceder à remoção de resíduos (escavação) e as zonas onde se deve proceder à sua deposição, indicando-se ainda em valor numérico a espessura de escavação / terraplenagem a realizar.

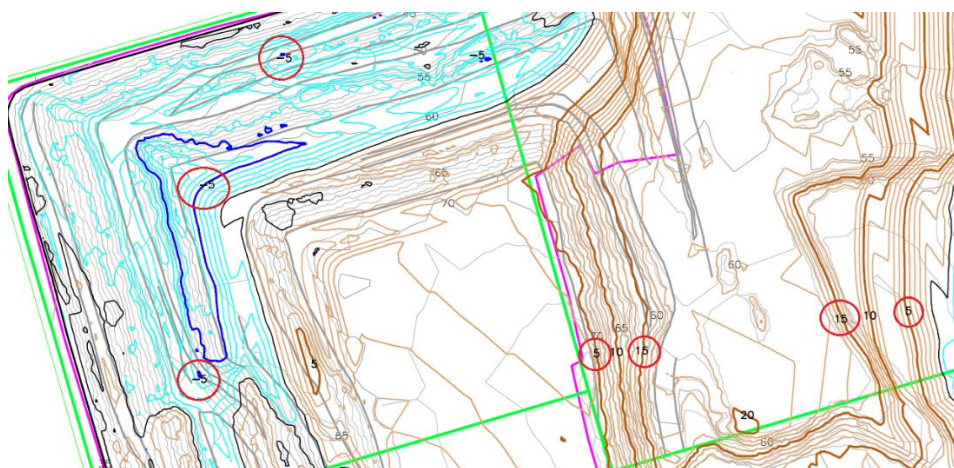


Figura 12.- Indicação do valor numérico da espessuras de escavação e terraplenagem do células 1 a 7 Aterro Palmela. Reperfilamento.

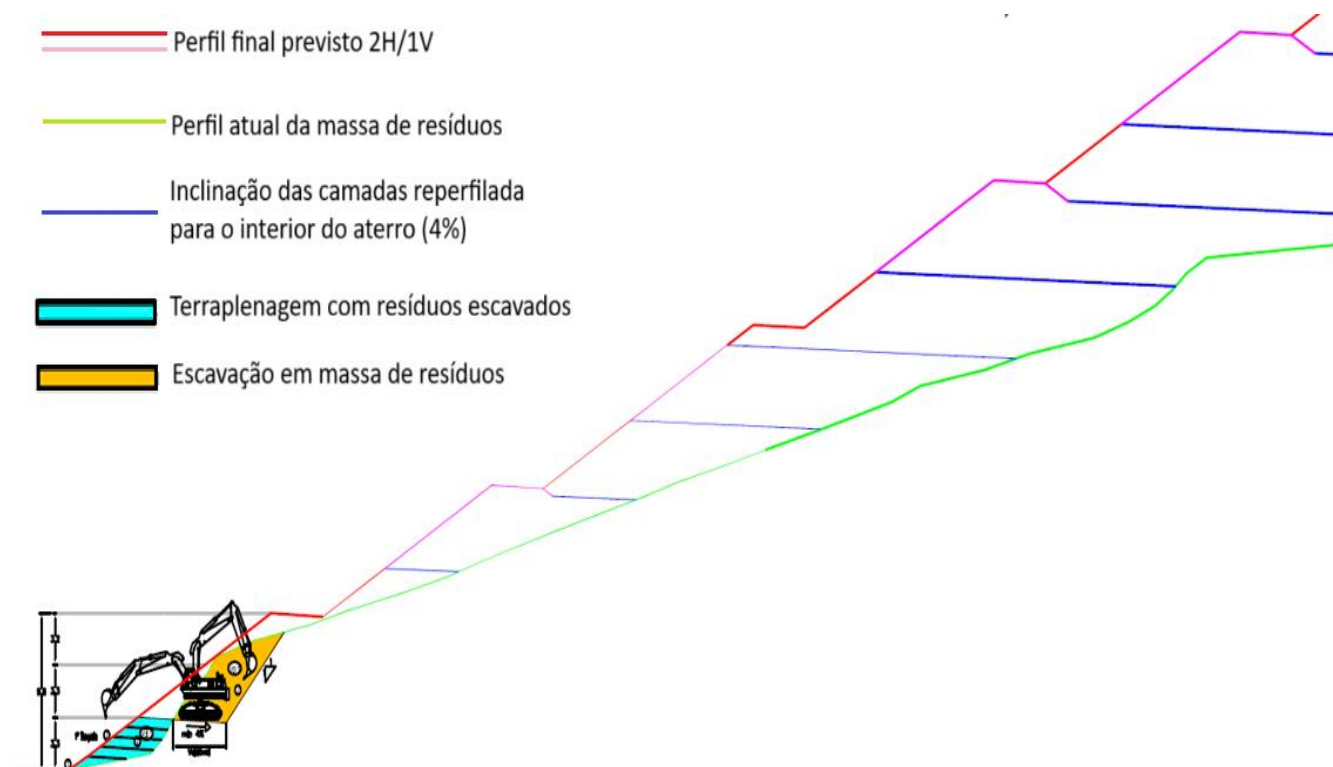


Figura 13. Fase-1 Sequência de reperfilamento da inclinação de massa de resíduos atual

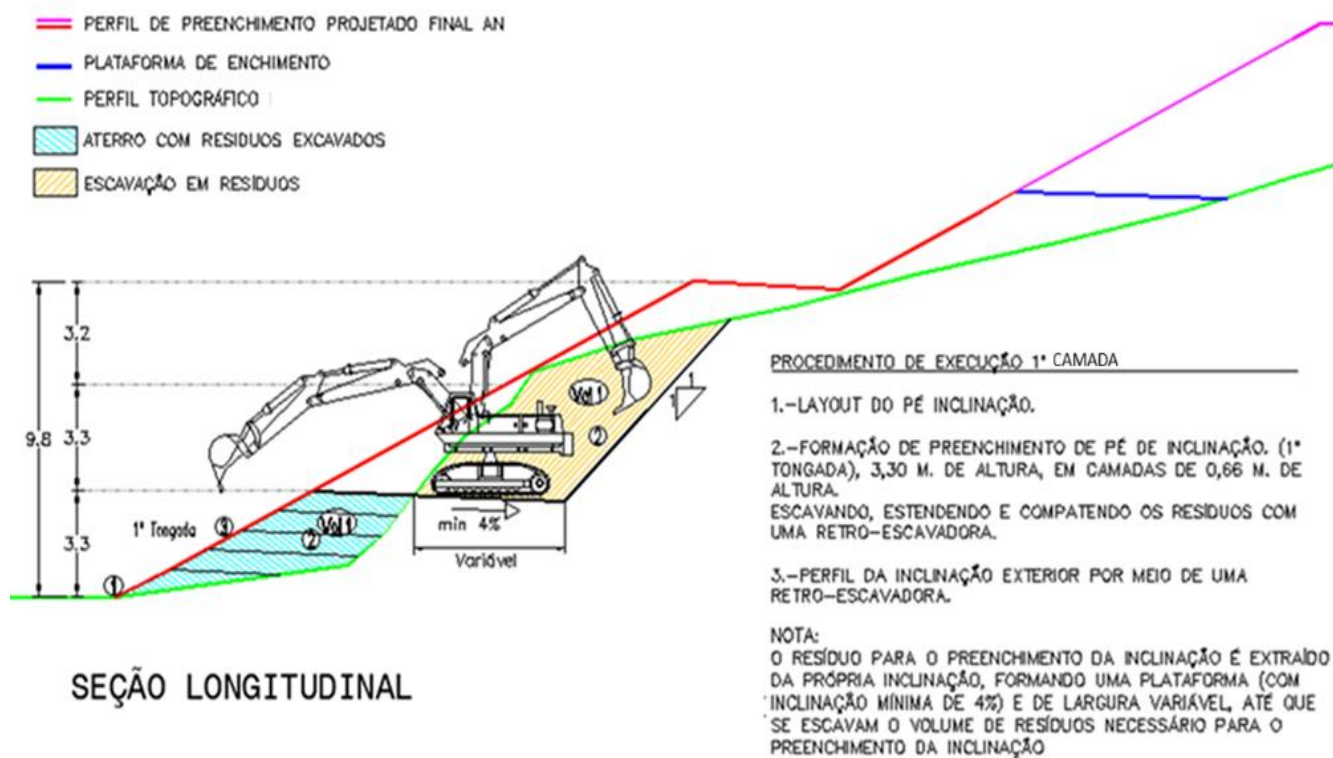


Figura 14. Fase-2 Sequência de perfilamento da inclinação de massa de resíduos atual

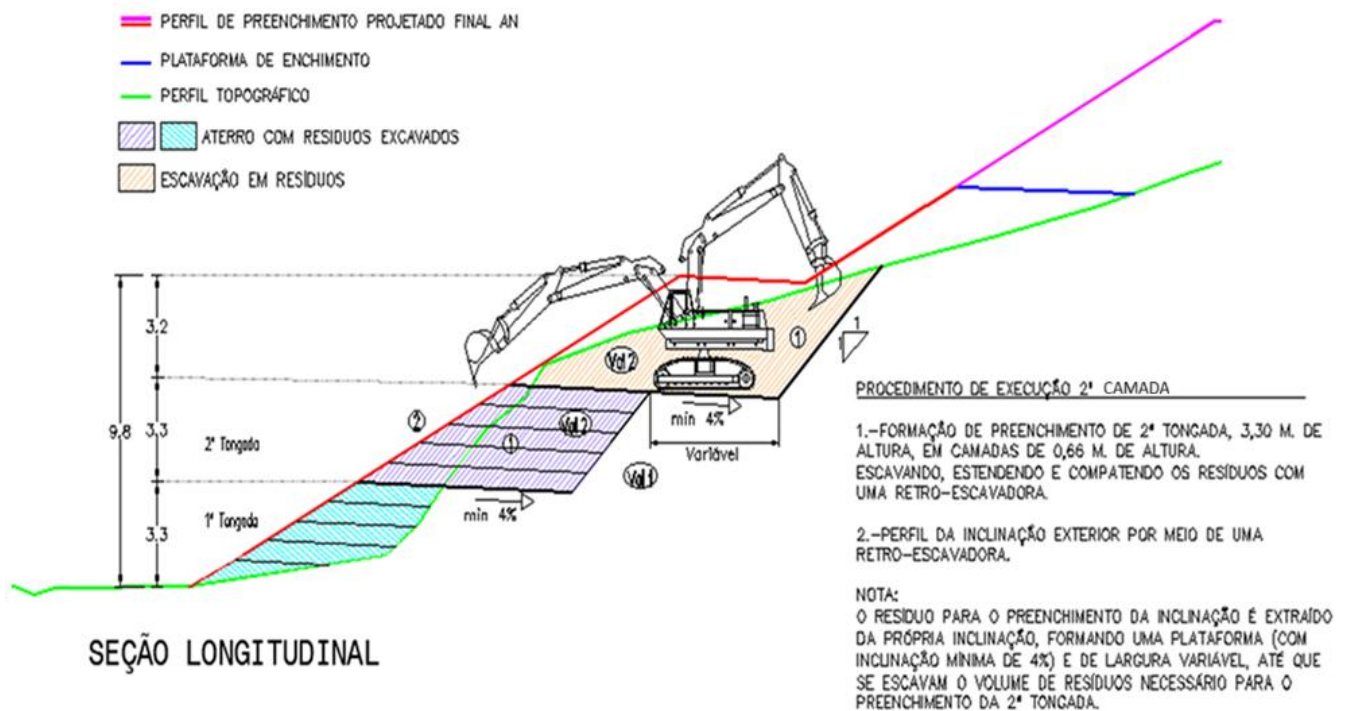


Figura 15. Fase-3 Sequência de perfilamento da inclinação de massa de resíduos atual

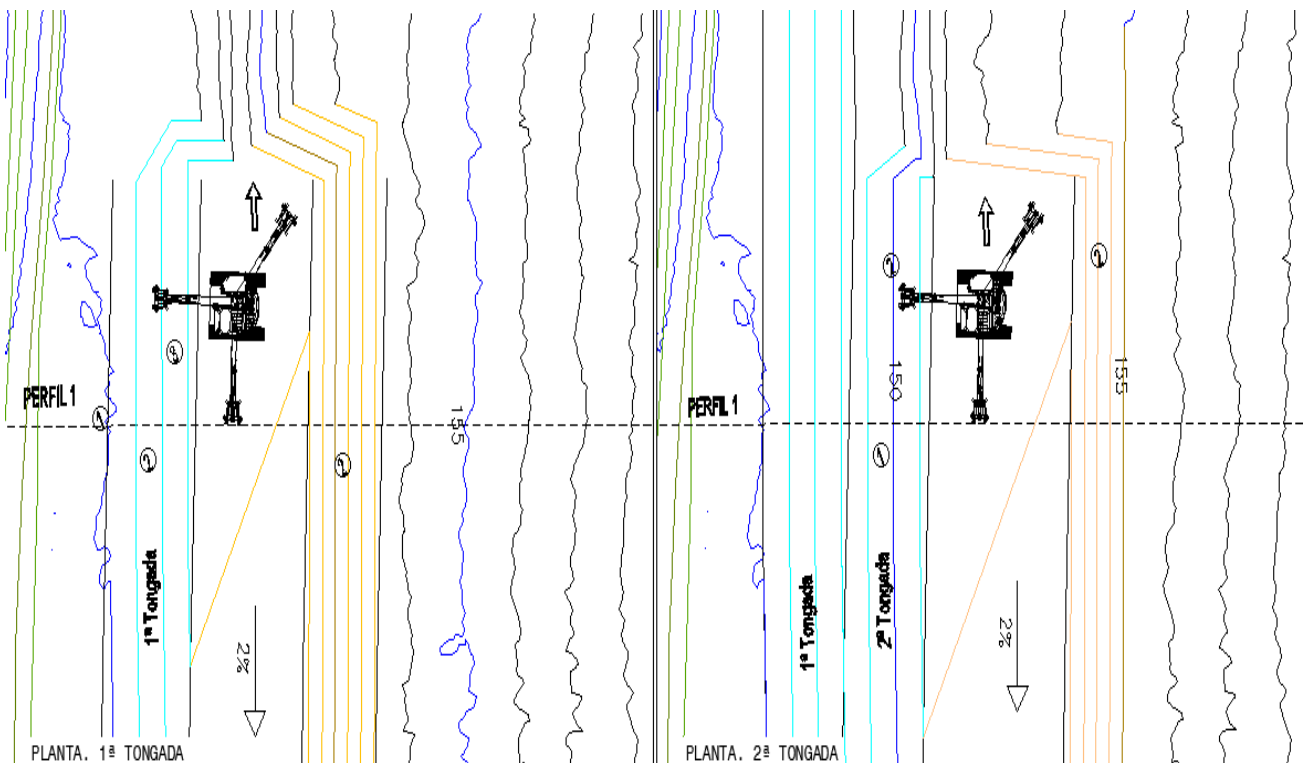


Figura 16. Sequência do avanço de perfilamento da inclinação de massa de resíduos, em diferentes níveis das banquetas.

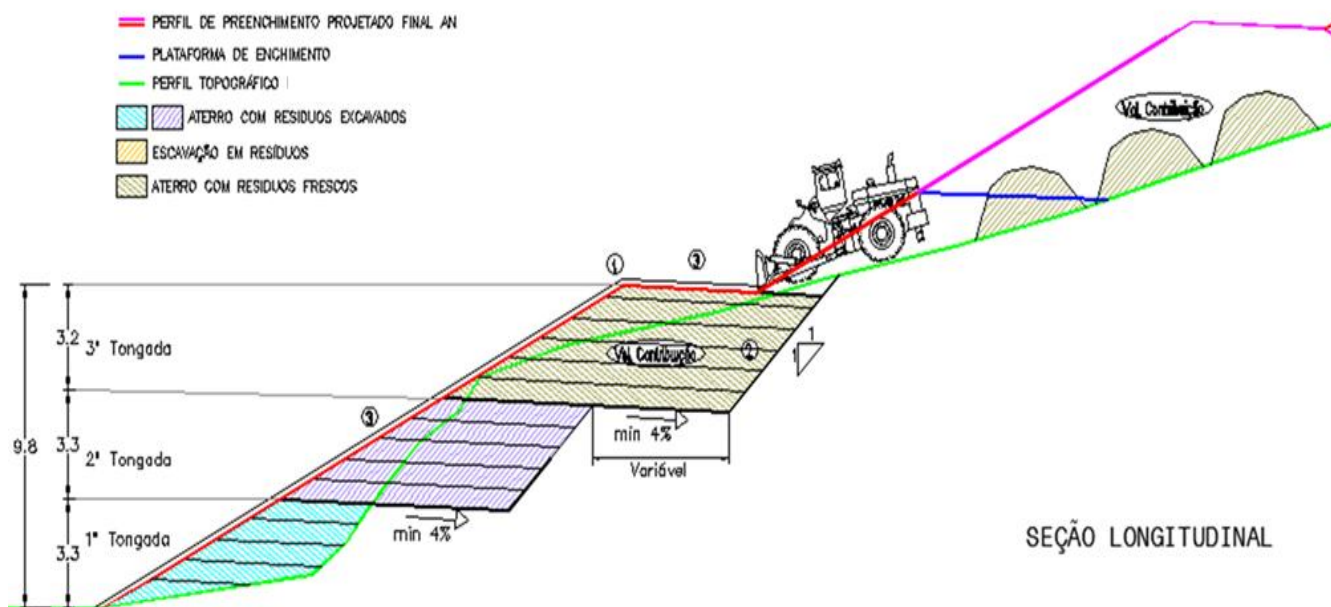


Figura 17. Avanço de perfilamento. Deposição de resíduos escavados.

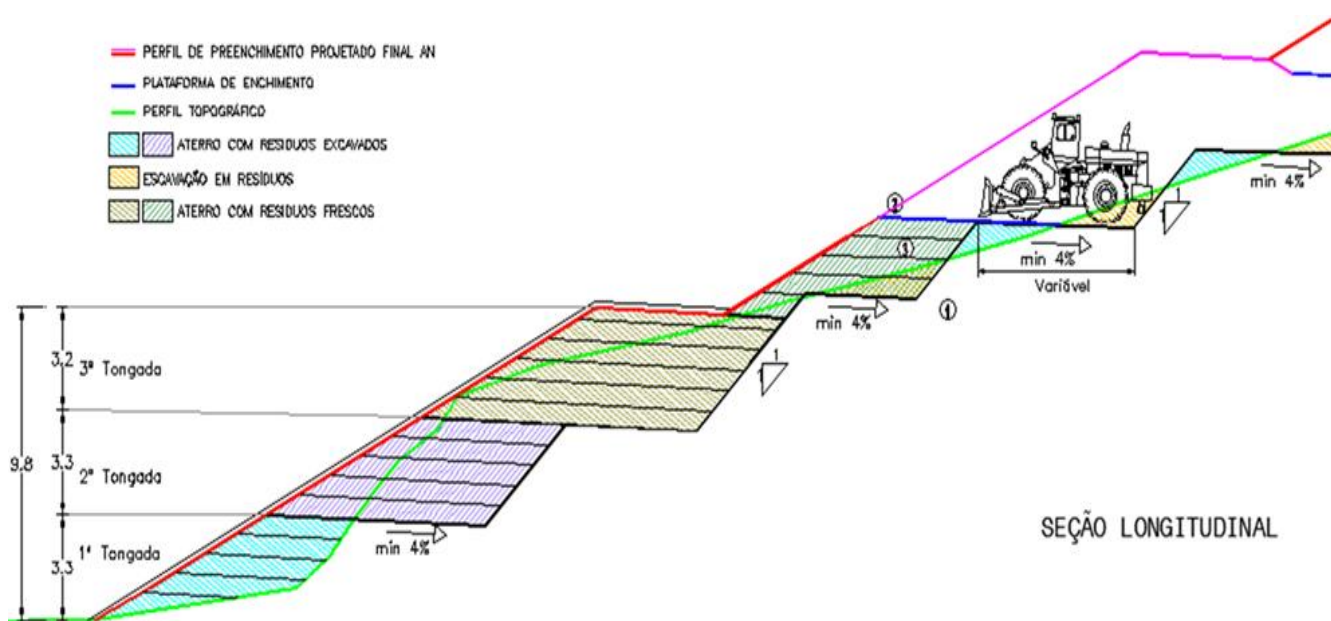


Figura 18. Avanço de perfilamento. Deposição de resíduos escavados e resíduos frescos.

7 Drenagem de lixiviados

Um dos grandes desafios na exploração de aterros é a minimização da produção de lixiviados, gerados pelo contato da massa de resíduos com a água da chuva (de escorrência pluvial) que se infiltra no aterro e pela sua própria decomposição.

Existem métodos e soluções que permitem minimizar a infiltração de água da chuva na massa de resíduos, durante a fase de exploração, como, por exemplo, a exploração por fases e a realização de selagens parciais (em zonas onde temporariamente a exploração deve ser suspensa, mas que podem ser reativadas no futuro), ou ainda a realização de selagens definitivas nas zonas em que a exploração tenha sido concluída e, portanto, se possa proceder ao encerramento.

No entanto, a própria deposição de resíduos no aterro já gera lixiviados, e, na praticamente totalidade dos casos, evitar completamente a entrada de água da chuva é praticamente impossível. Por isso, devem ser procurados sistemas que permitam realizar uma gestão eficiente dos lixiviados, sobretudo para evitar a saturação da massa de resíduos quando não é possível drenar os lixiviados até o fundo da célula (onde existem elementos para sua regulação e remoção por bombagem, se necessário) ou para evitar o surgimento de exsurgências ou escorrimento de lixiviados pelas frentes dos taludes abertos do aterro em exploração.

Deste modo é previsto o reforço do sistema de gestão e drenagem dos lixiviados no aterro, conforme se apresenta no Desenho 5.1 que acompanha a presente memória.

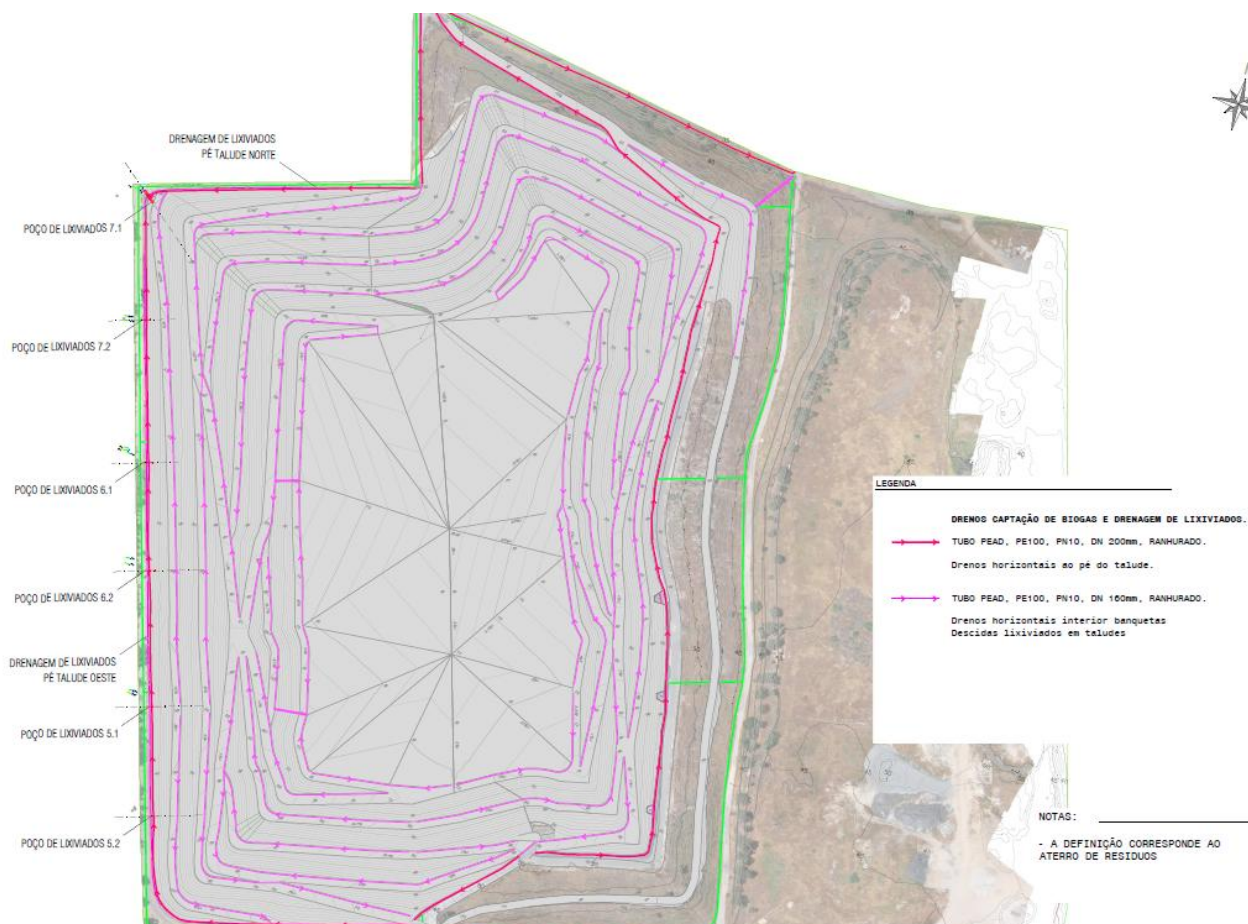
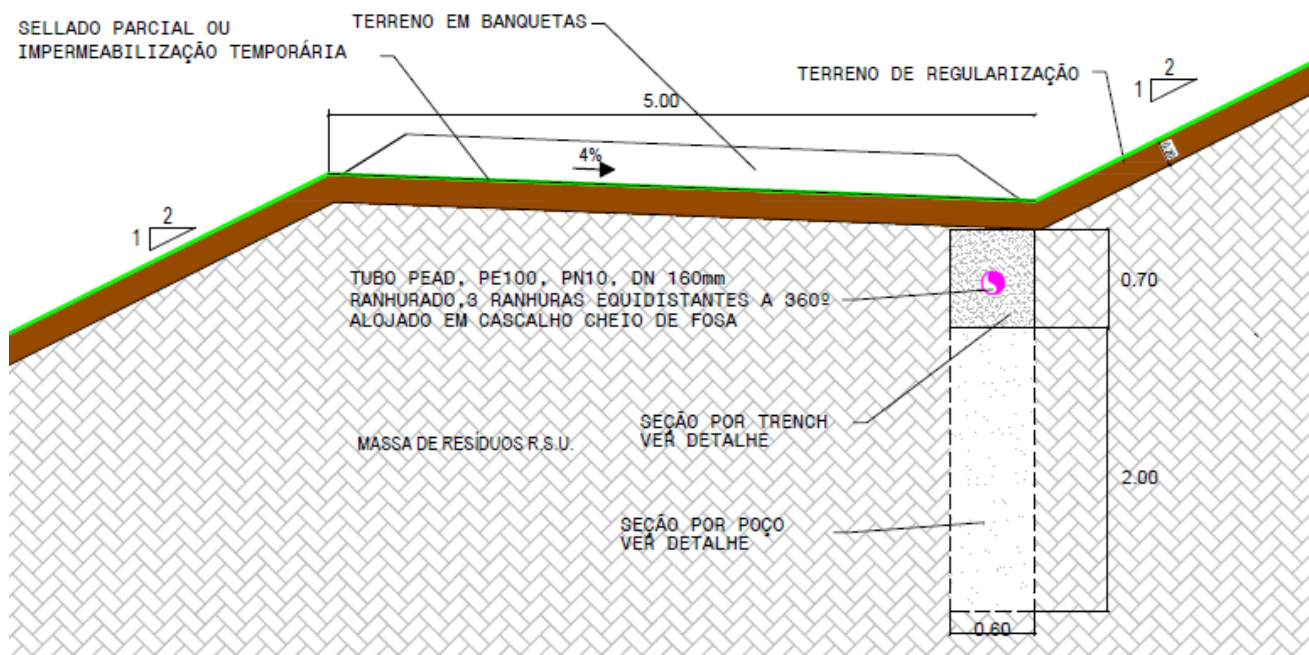


Figura 19. Drenagem de Lixiviados. Planta geral..

O procedimento para a execução do sistema de drenagem, bem como a sua configuração, são definidos nos respetivos desenhos. À medida da evolução da modelação do enchimento do aterro, nos diferentes níveis, serão geradas banquetas de 6 m de largura, que para além de servirem de vias de acesso, servirão para localizar os sistemas de gestão de lixiviados, biogás e valetas pluviais.

As banquetas terão uma inclinação para o interior da célula de 4%, e uma drenagem de lixiviado será gerada ao pé de cada talude, conforme detalhado na figura seguinte:



SEÇÃO CRUZADA DE TUBOS DE RECOLHA E DRENAGEM DE LIXIVIADOS EM BANQUETAS

Figura 20– Pormenor da rede de drenagem de lixiviados a executar.

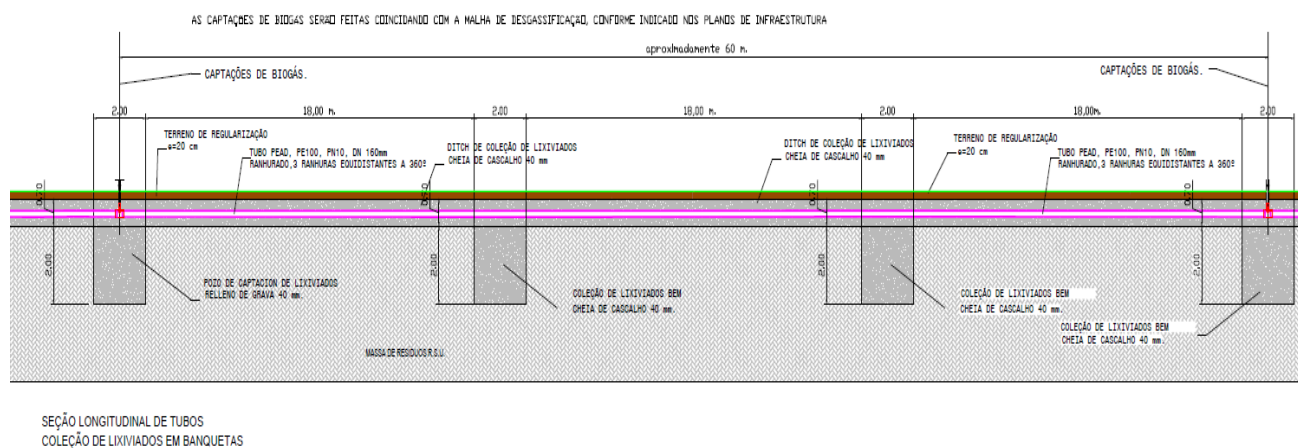


Figura 21– Secção Longitudinal da Rede de Lixiviados Intermédia das Banquetas.

8 Drenagem de Biogás

Durante a fase de exploração, serão instalados sistemas constituídos por drenos horizontais que permitirão a extração do biogás gerado pelo aterro em operação simultaneamente com os drenos verticais (poços) do aterro.

O controlo das emissões de biogás para a atmosfera, não apenas após encerramento do aterro, mas também durante a sua exploração, é fundamental para o correto funcionamento da instalação e, sobretudo, para o cumprimento dos parâmetros e exigências ambientais. Deste modo, projeta-se um sistema capaz de captar o biogás de maneira eficaz e garantir que este seja conduzido para o exterior do aterro para sua valorização energética e produção de energia.

Neste Plano reforçamos o sistema misto, com captação horizontal já existente, através de uma sequência de drenos horizontais de extração do biogás captado no interior da massa de resíduos em direção às banquetas e, nesses pontos, ligar-se-ão a um coletor de aspiração com uma ERM (Estação de Regulação e Medição), e posteriormente aos coletores gerais do Ecoparque.

O sistema horizontal projetado será constituído por um tubo de pead (PEAD) corrugado de parede dupla, colocado numa vala de cerca 50 cm de largura e 70 cm de profundidade, num leito de brita de material drenante. A vala será preenchida com brita ou equivalente e na sua parte superior será colocada uma tela de PEAD de baixa densidade pouco antes de ser recoberta com a terra de regularização. Desta forma, o biogás gerado através da brita será recolhido facilmente no tubo corrugado de parede dupla, evitando a sua saída para o exterior por impedimento da tela de PEAD. O biogás captado será canalizado na tubagem de recolha descrita nos pormenores de desenho.

Além disso, será aplicada uma camada de terra para separar os drenos horizontais de biogás, isolando cada um deles, para controlar a extração. Na restante superfície será disposta uma camada de brita ou equivalente de 0,3 m para favorecer a aspiração de biogás.

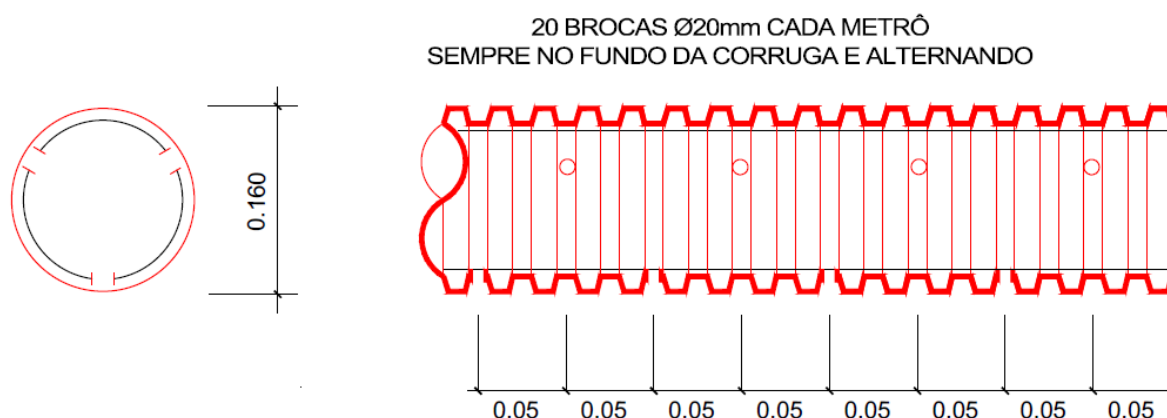


Figura 22– Seção Longitudinal da Rede de Lixiviados Intermédia das Banquetas.

A captação vertical do biogás será realizada por meio de poços verticais, os quais serão executados por perfuração, nos pontos mais altos e/ou outros pontos estratégicos.

Durante a fase de exploração e uma vez terminada a vida útil da do aterro, realiza-se a selagem do mesmo, onde será executada em definitivo a infraestrutura horizontal de captação dos poços verticais de biogás.

Esses poços verticais de biogás são responsáveis por extrair o biogás do interior do aterro nas fases de exploração e de pós encerramento.

À medida que o aterro vai avançando em altura em cada fase e na zona coincidente com os poços verticais preconizados, vão sendo construídos e ligados os poços de desgaseificação que são construídos com tubo de PEAD de 160 mm ranhurado, envolto em cascalho ou equivalente/material drenante.

No cimo do poço, serão incorporadas cabeças específicas de extração, ligadas à conduta perimetral para extração do biogás para encaminhamento à CVE com valorização energética.

Os poços são fechados com cabeças de captação de PEAD com diâmetro de cerca 160 mm. Estas cabeças possuem na sua parte superior uma tampa de registo e inspeção com uma abertura no centro para a recolha de amostras.

Os elementos utilizados para a realização desses poços de recolha são de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), sendo o PEAD o material que apresenta as melhores características de resistência à corrosão.

Esses poços verticais são constituídos por:

- Tubo de PEAD ranhurado com um diâmetro externo de 160 mm. O comprimento inicial deste tubo dependerá da altura do enchimento;
- Ao redor do tubo e abaixo dele é colocada brita que tem a função de pré-filtro e também de melhorar a recolha aumentando a superfície de drenagem (cilíndrica);
- O tubo perfurado/ranhurado atinge aproximadamente o nível da cota final, enquanto o material calibrado fica localizado em um nível inferior (cerca de um metro e meio abaixo) para facilitar a colocação da cabeça do poço;
- As cabeças serão inseridas num poço feito para o efeito, envolvendo a parte superior do tubo perfurado/ranhurado correspondente, apoiando-se no material calibrado. A distância livre interior da cabeça permite o seu eventual deslocamento vertical, sem bater no tubo de PEAD perfurado/ranhurado, no caso de assentamentos diferenciais;
- A seguir, a envolvente do poço é preenchida com terra, para imobilizar a cabeça e selagem do poço, ação essa que consiste em envolver por meio de um cone truncado fabricado por extrusão em folha de PEAD de alta densidade de 1,5 mm de espessura. Este cone truncado será preso à cabeça de recolha por meio de uma tira de metal.

Uma imagem do pormenor do poço de captação de biogás é apresentada nas figuras seguintes.

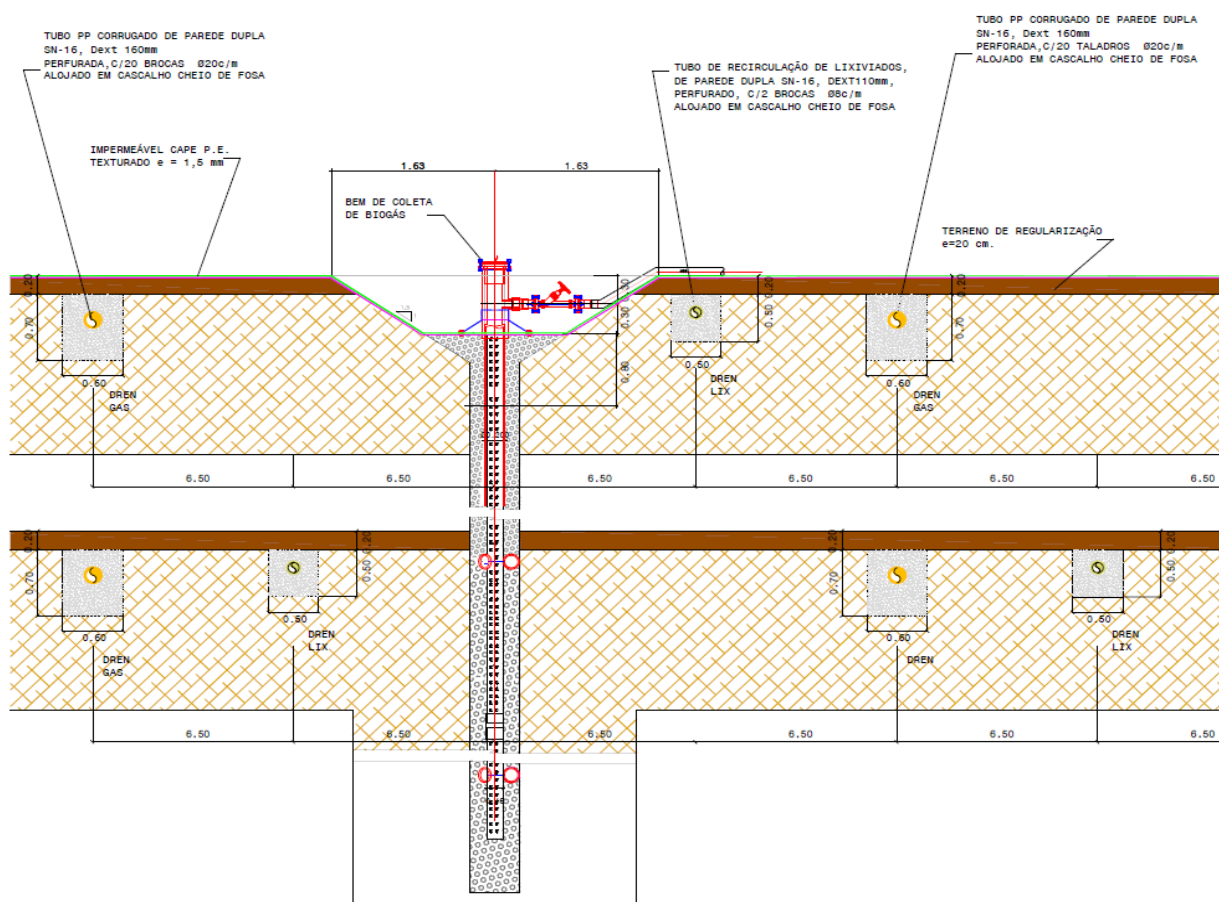


Figura 23— Secção Longitudinal da Rede de Lixiviados Intermédia das Banquetas.

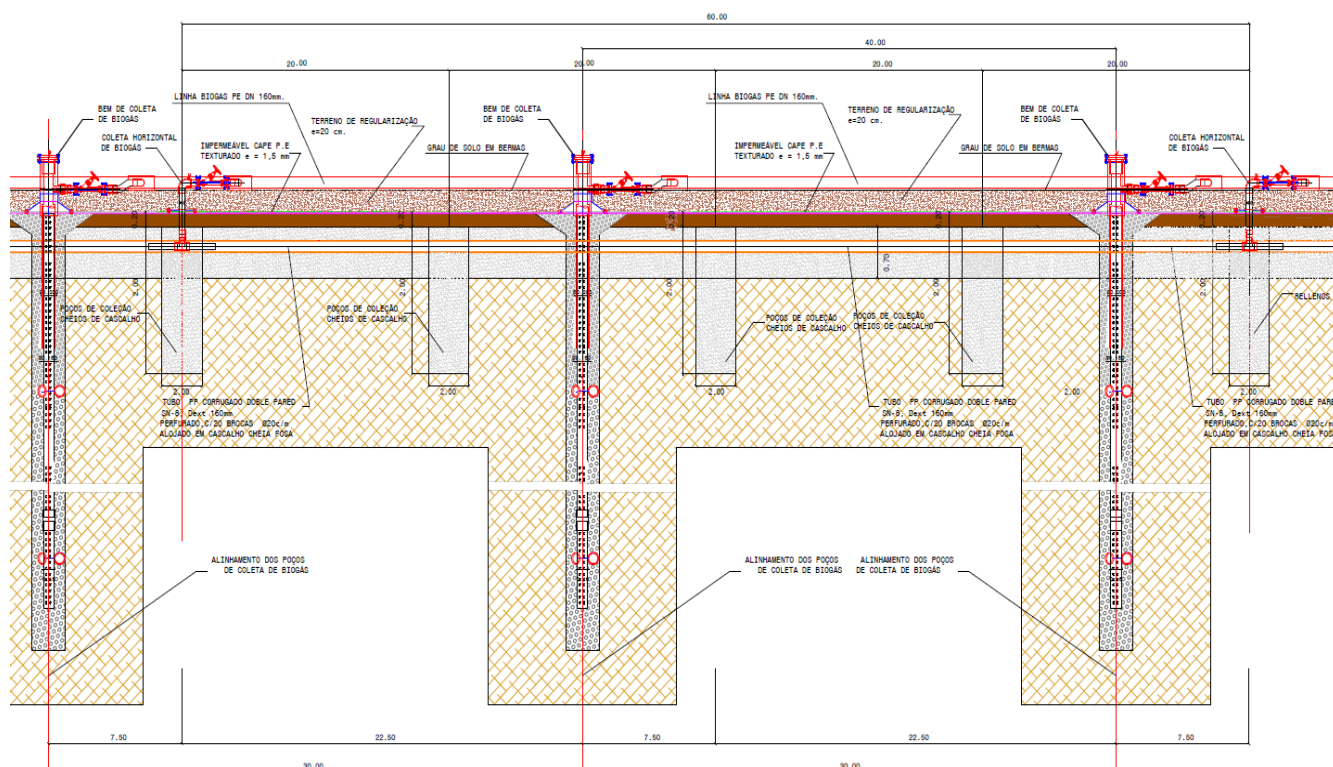


Figura 24– Detalhe de Poços Verticais de Biogás, interligados com os Drenos Horizontais.

A seguir, representa-se a implantação geral do projeto da rede de captação de biogás prevista, uma vez atingida a cota de coroamento.

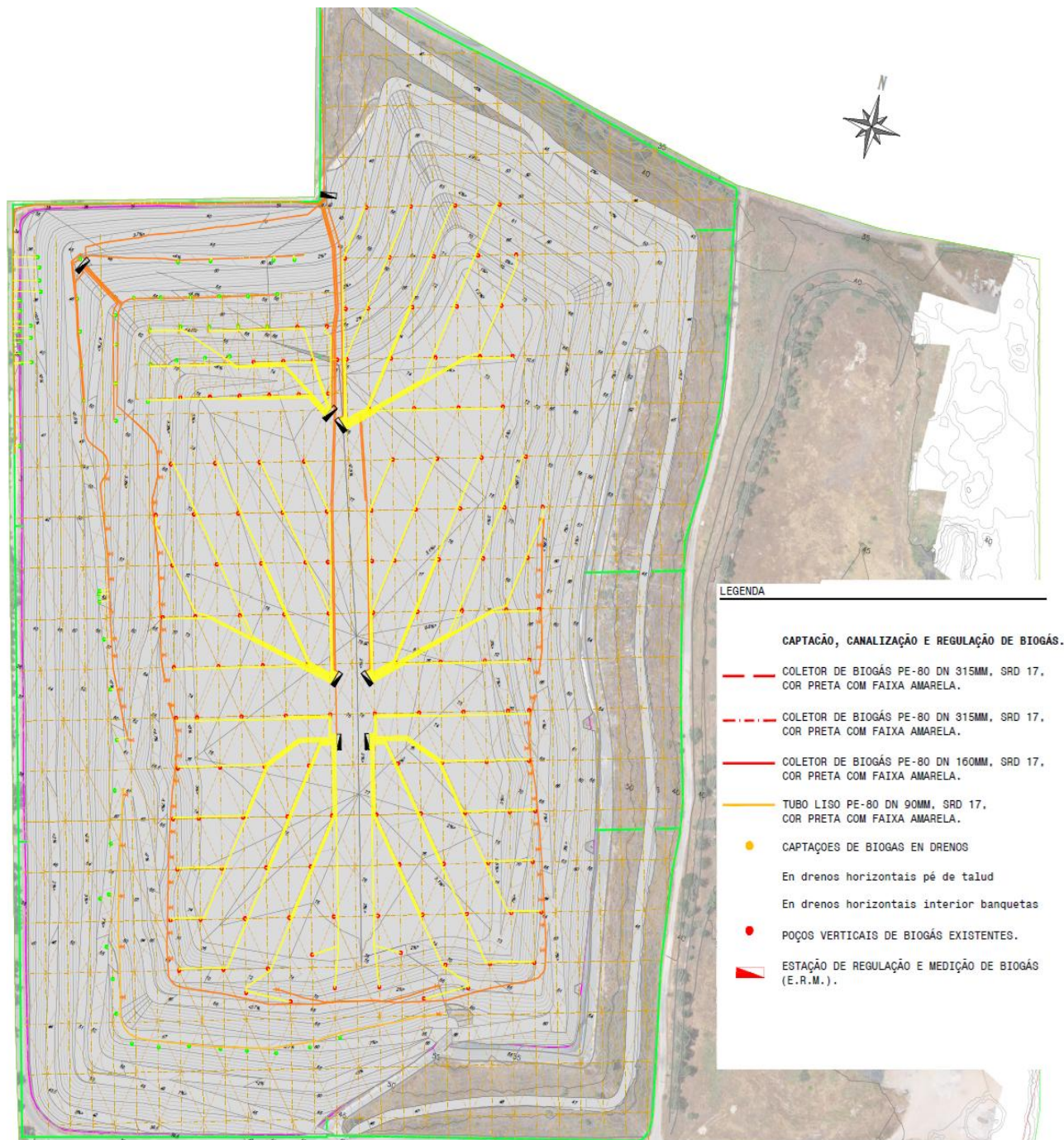


Figura 25— Desgaseificação planta geral.

Na figura anterior, que corresponde ao Plano 6.1. Desgaseificação Planta Geral, podemos observar o conjunto de poços verticais e captações horizontais que, a partir das banquetas, conduzem até o coroamento, onde está prevista a instalação de 6 ERM, para as diferentes zonas do aterro.

9 Encerramento da Aterro. Selagem

Tal como foi referido nos pontos anteriores, uma vez finalizado o processo de deposição de resíduos e atingida a capacidade de enchimento prevista, considera-se concluída a exploração das células do aterro, procedendo-se à previsão e execução do seu encerramento.

O encerramento e cobertura final do aterro sanitário constitui uma das ações fundamentais que permitirá garantir, a longo prazo, o bom estado de conservação e o funcionamento adequado de toda a instalação que constitui o aterro. Juntamente com os restantes sistemas de proteção ambiental, a selagem permitirá evitar ou reduzir os efeitos negativos sobre o meio ambiente, assim como quaisquer riscos para a saúde humana derivados da deposição de resíduos em aterro.

O sistema de cobertura final apresenta algumas principais funções associadas:

- Minimizar o escoamento superficial e evitar a erosão.
- Impedir a migração de biogás para o exterior.
- Controlo da infiltração de águas de chuva de forma a minimizar a produção de lixiviados.
- Impedir da migração de lixiviados através de taludes laterais.
- Proteção de pessoas e animais do contacto direto com os resíduos.
- Garantir a integração paisagística do aterro.

O aterro pertence à classe de aterros de resíduos não perigosos, conforme definido no RJDRA, que prevê como requisito técnico que a estrutura do sistema de cobertura final seja constituída por camada de recolha de gases, barreira de impermeabilização artificial, camada drenante e ainda uma cobertura final com material terroso.

9.1 Projeto de selagem

Uma vez finalizada a deposição de resíduos nas células do aterro, procede-se ao seu encerramento (selagem), evitando-se que as águas de escorrência das chuvas se infiltrem na massa de resíduos misturando-se com os lixiviados resultantes da degradação desses resíduos. Desta forma, realiza-se o encerramento da Célula ou aterro, tendo este como principal objetivo evitar a contaminação do solo e das águas, tanto subterrâneas quanto superficiais. Assim, a selagem do aterro contribuirá para a diminuição na produção de lixiviados, sendo este último fator consequência de uma menor entrada de águas pluviais na massa de resíduos.

O sistema de selagem do encerramento considerado será composto por diferentes geossintéticos, materiais drenantes e materiais de cobertura final. Este sistema de encerramento variará ligeiramente nos taludes, nas bermas e nos caminhos de acesso à plataforma de coroamento, sendo descrito a seguir de forma mais detalhada.

- O sistema de selagem considerado para os taludes é o seguinte (considerando desde a massa de resíduos para o exterior):
 - Massa de resíduos reperfilados.

- Geodreno de PEAD incompressível com espessura de 5 mm, com 2 Geotêxteis de Polipropileno de 200 g/m².
- Geomembrana de PEAD texturizada, espessura: 1,5 mm.
- Geodreno de PEAD incompressível com espessura de 5 mm, com 2 Geotêxteis de Polipropileno de 200 g/m².
- Terras limpas e selecionadas de escavação espalhadas, espessura média de 80 cm.
- Terras de escavação com emenda orgânica, espessura média de 20 cm. (Terra vegetal).

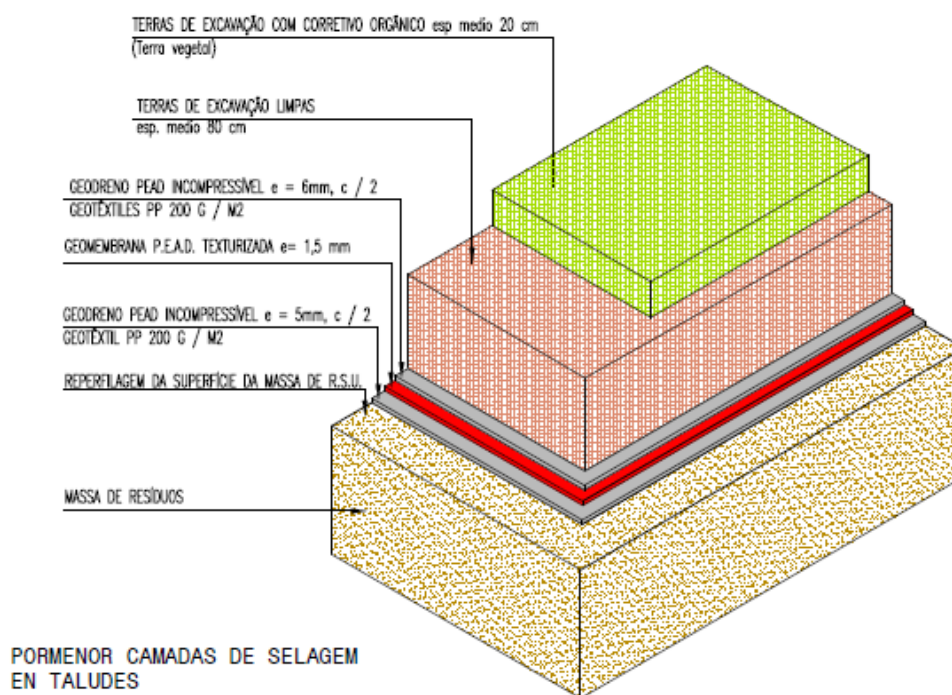


Figura 26. – Camadas de Selagem em Taludes

- No que se refere às banquetas:
 - Massa de resíduos reperilados.
 - Geodreno de PEAD incompressível com espessura de 5 mm, com 2 Geotêxteis de Polipropileno de 200 g/m².
 - Geomembrana de PEAD texturizada, espessura: 1,5 mm.
 - Geodreno de PEAD incompressível com espessura de 5 mm, com 2 Geotêxteis de Polipropileno de 200 g/m².
 - Terras limpas e selecionadas de escavação espalhadas, espessura média de 85 cm.
 - Camada de tout-venant compactada com espessura de 15 cm, com inclinação de 4% para o interior para a recolha das águas pluviais nas caleiras interiores da banqueta.

O mesmo sistema de selagem das bermas será aplicado nas vias internas e caminhos de acesso até a coroação da célula. O perfil de selagem encontra-se representado nos Desenhos n.º 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 e 3.3.4.

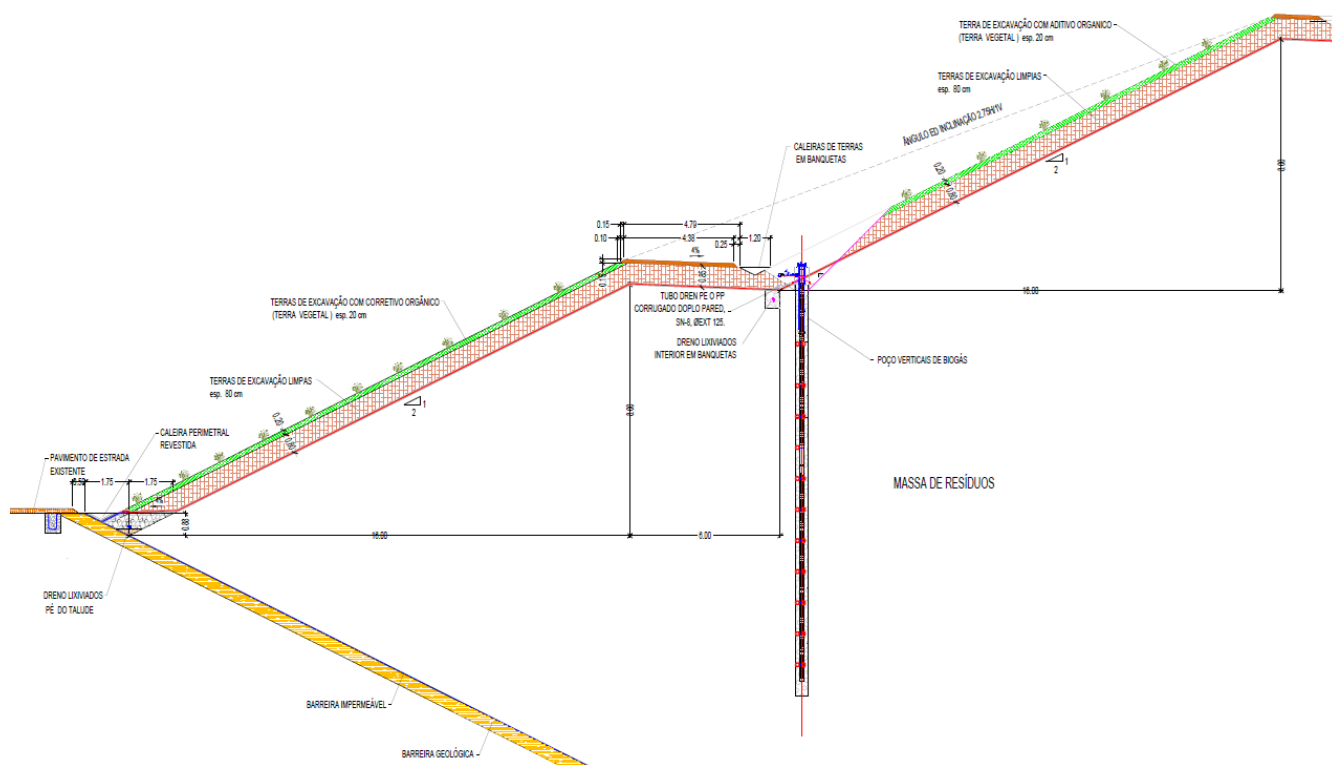


Figura 27. – Camadas de Selagem em Taludes

Os diferentes materiais do sistema de impermeabilização mencionado têm funções distintas: a função de impermeabilização nas lâminas de PEAD e funções de proteção no caso dos geotêxteis. Concretamente, os geodrenos respondem à necessidade de drenar as águas que vão percolando no interior das terras de cobertura em toda a área dos taludes. Além disso, o geodreno também favorecerá a drenagem do biogás superficial, que emana da massa de resíduos e que será captado para a sua extração da célula, com vista à sua valorização energética.

9.2 Selagens parciais e impermeabilizações temporárias na fase de exploração

Conforme comentado em pontos anteriores, existem métodos e soluções que podem minimizar a infiltração de água da chuva na massa de resíduos, durante a fase de exploração, como, por exemplo, a exploração por fases e a realização de selagens parciais ou impermeabilizações temporárias (simplesmente mediante a colocação de uma lâmina de PEAD em zonas onde temporariamente a exploração deva ser suspensa, mas que necessitem de ser reativadas no futuro).

No Desenho nº, 3.3.3 estão representados os detalhes correspondentes à impermeabilização temporária ou provisória a realizar nas zonas do aterro em que seja necessária a suspensão da exploração, mas em que, passado algum tempo, esteja prevista a reativação da deposição de resíduos.

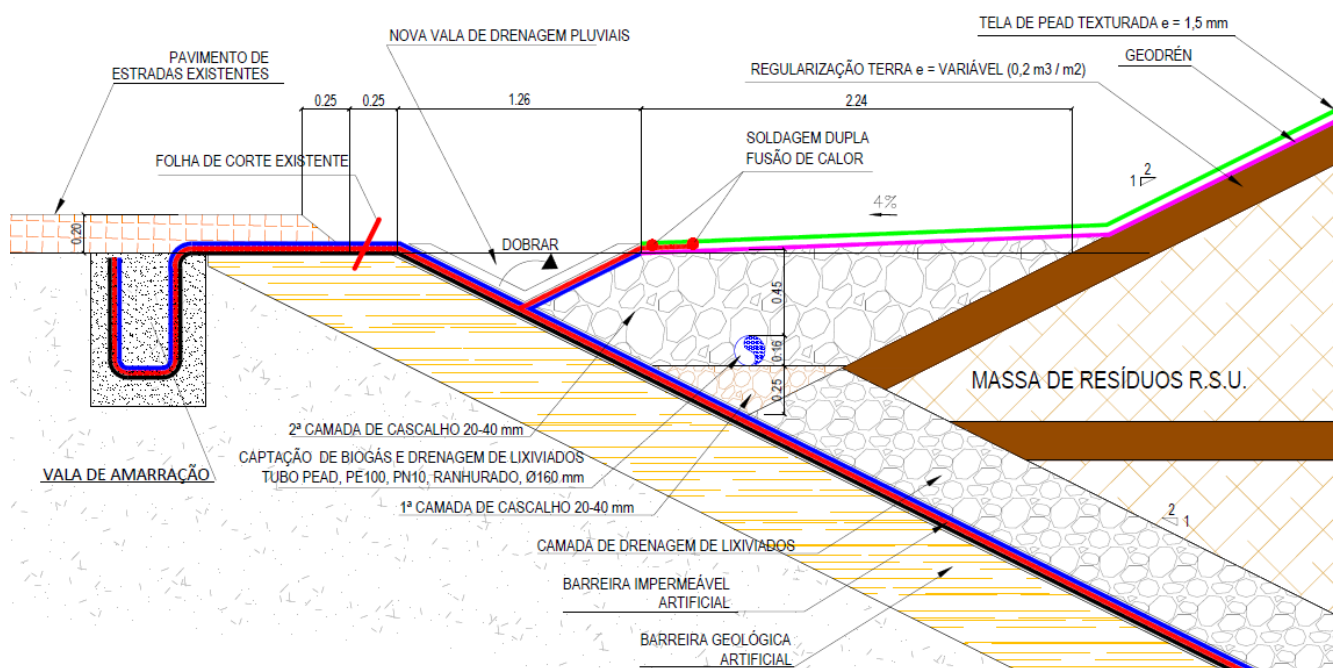


Figura 28 – Impermeabilizações temporárias na fase de exploração.

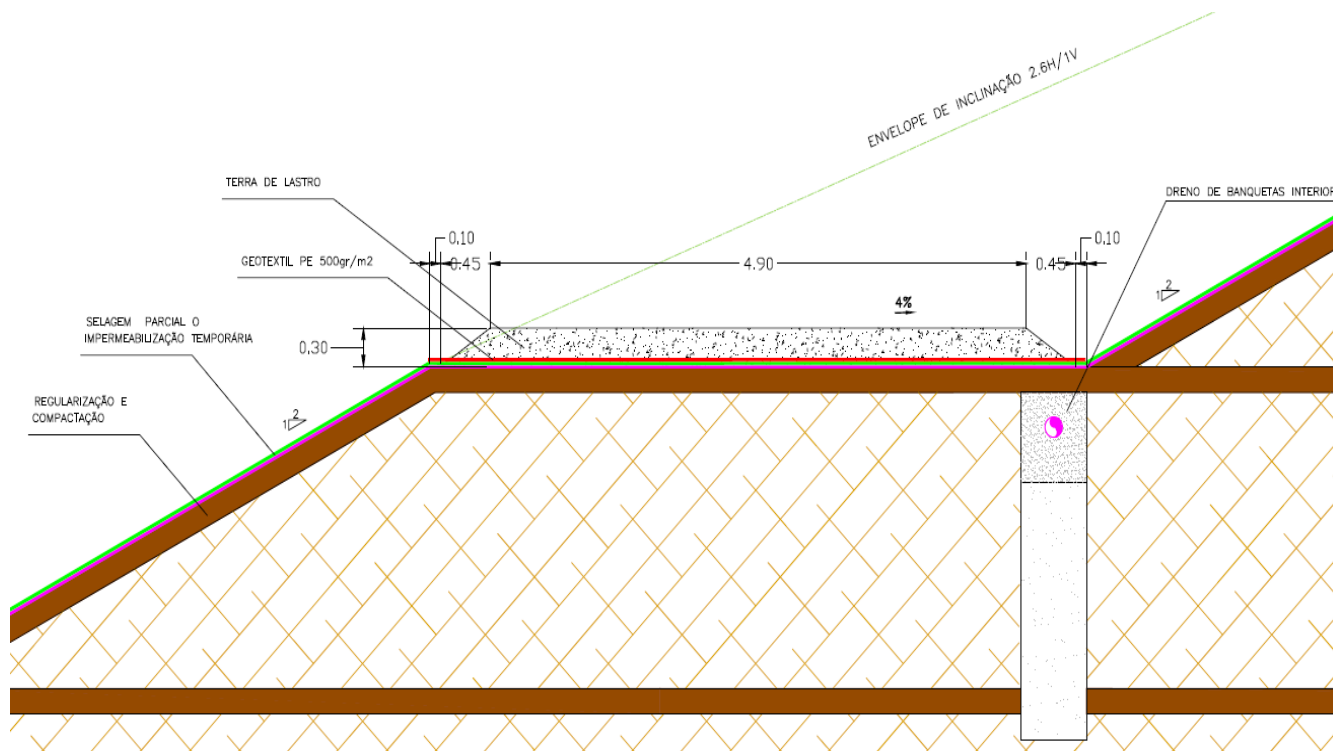


Figura 29 – Amarração da geomembrana de impermeabilizações temporárias na fase de exploração.

10 Sistema de drenagem de escoamento de águas pluviais

Um dos fatores mais relevantes a ter em conta no projeto e na exploração de aterros é a influência das condições climáticas, tanto na fase de exploração como na sua posterior desativação, especialmente no que diz respeito à drenagem das águas de escorrência pluvial.

Dessa forma, a definição de soluções para a drenagem das águas pluviais constitui um fator determinante na operação de um aterro, sendo propostas soluções que visem a minimização da infiltração das águas da chuva sobre a massa de resíduos, com o objetivo de reduzir a produção de lixiviados.

Da mesma forma, no que diz respeito à fase de selagem, e tendo em conta a selagem da massa de resíduos depositada, torna-se fundamental a existência de um sistema de drenagem de águas pluviais capaz de escoar todo o caudal precipitado que percole sobre os solos de cobertura e que chegue à lâmina de impermeabilização da selagem da massa de resíduos, com o objetivo de proteger os materiais de cobertura de selagem, tanto nos taludes como na parte superior da plataforma de coroamento, bem como nas infraestruturas envolventes.

A drenagem pluvial terá duas componentes, a drenagem do escoamento superficial e a drenagem do escoamento de águas pluviais infiltradas.

As caleiras para o escoamento de águas pluviais sobre as células seladas serão dos seguintes tipos:

- Caleira de terras em banquetas:

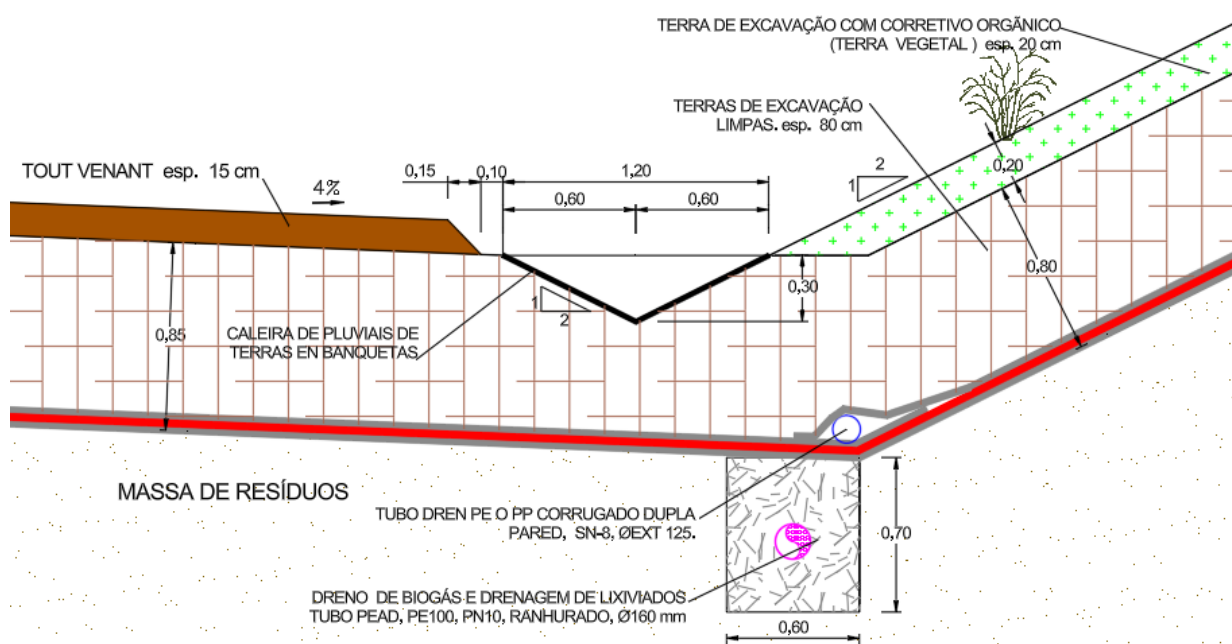


Figura Nº.30. - Caleira de terras em banquetas.

- Caleira revestida em banquetas:

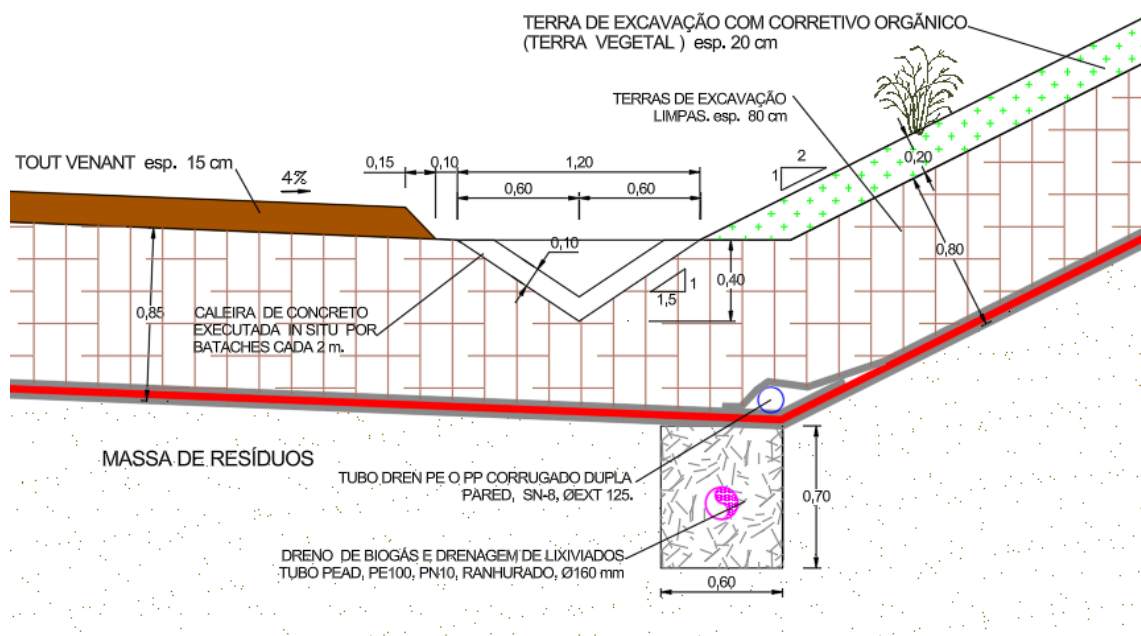


Figura Nº.31. - Caleira revestida em banquetas.

- Caleira perimetral revestida:

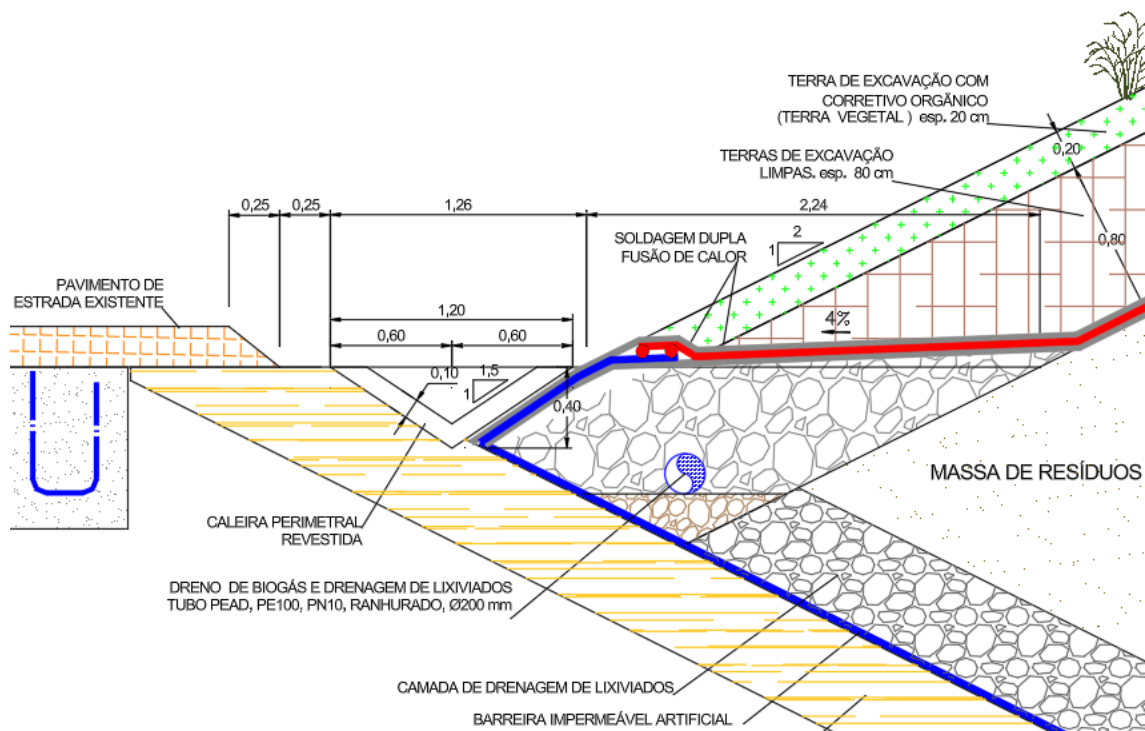


Figura Nº.32. - Caleira perimetral revestida.

O sistema de drenagem das águas pluviais que caem sobre o aterro e que, uma vez selado, serão recolhidas pelas caleiras e valetas, está representado no plano nº 7.1, cuja figura se anexa a seguir.



11 Vias de Acesso

A modelação prevista para a selagem e cobertura final do aterro manteve o traçado das vias de acesso existente às plataformas superiores, embora devido ao reperfilamento da massa de resíduos, o acesso viário tenha sofrido ligeiras modificações em relação ao traçado inicial.

Através do acesso viário, tem-se acesso tanto às banquetas intermédias quanto à plataforma de coroamento, permitindo assim o acesso a estas áreas para futuras operações inerentes ao pós-encerramento das Células. Os caminhos de acesso propostos dão acesso até à crista por ambas as vertentes. Os caminhos serão executados mediante a colocação de uma camada de tout-venant compactado com espessura de 15 cm e com uma inclinação de 4% em direção às valetas internas das bermas, para favorecer a evacuação das águas pluviais.

Esta estrutura pressupõe que a via não seja utilizada por veículos pesados, a não ser em situações excecionais.

12 Recuperação Paisagística

Os trabalhos de recuperação paisagística constituem um aspeto fundamental e de grande relevância no procedimento de selagem de aterros, uma vez que se tenha terminado a sua vida útil. A nível visual e paisagístico, a restauração da camada vegetal da célula selada é considerada de grande importância após o processo de impermeabilização e selagem, pois permite uma rápida recuperação paisagística e ambiental da área de intervenção.

A recuperação será realizada através da utilização de metodologias e espécies vegetais adequadas às condições edafo-climáticas do local, minimizando assim os custos de manutenção da revegetação na fase posterior ao encerramento.

A integração paisagística da área intervencionada tem como principais objetivos:

- Promover a diminuição dos impactes negativos provocados pela exploração do aterro sanitário.
- Fomentar a recuperação ambiental do local pela instalação de uma estrutura verde que funcione como pioneira para garantia da recuperação florística e ecológica.
- Restabelecer a qualidade estética e ecológica de toda área através da criação de um espaço verde.
- Garantir um revestimento vegetal após selagem para estabilização e proteção do solo contra a erosão.

A recuperação paisagística deverá ser planeada e realizada na fase de selagem, integrando-se no Projeto de Selagem do Aterro. O revestimento vegetal terá como objetivos não apenas a melhoria da qualidade estética do acabamento final da selagem, mas também as seguintes funções:

- Proteção do solo contra a erosão hídrica e eólica, nomeadamente no que concerne às zonas de taludes.

- Estabilização e proteção do sistema de selagem.
- Assegurar a recuperação e fixação de fauna e flora da região.

O revestimento vegetal da estrutura verde a implantar, compreende a hidrossementeira nos taludes e a sementeira mecânica na plataforma, sendo o material vegetal escolhido composto por espécies herbáceas com características perfeitamente adaptadas às condições edafo-climáticas, nomeadamente o regime de chuvas, a natureza do solo, a exposição solar, entre outros, minimizando assim os custos de instalação e manutenção, e potenciando o desenvolvimento ecológico local através da criação de condições para o estabelecimento e evolução de uma comunidade biótica saudável.

As plantas selecionadas, pelo desenvolvimento que atingem, asseguram uma boa cobertura do terreno, diminuindo drasticamente a erosão hídrica e eólica das áreas expostas e criam, ao mesmo tempo, condições edáficas propícias ao desenvolvimento de outras espécies o que permite contribuir para a biodiversidade.

Na eventualidade de existirem espécies consideradas invasoras na região, sobretudo nas zonas onde não existe interferência com as áreas a selar e em que se preconiza a preservação da vegetação existente, deverão ser promovidas ações de controlo e/ou de destruição das mesmas.

13 Conclusões

O projeto apresentado foi elaborado de acordo com as normas técnicas e regulamentares aplicáveis, incluindo a legislação nacional em matéria de gestão de resíduos, proteção ambiental, segurança e saúde, bem como demais requisitos legais e regulamentares vigentes.

As soluções técnicas propostas asseguram condições adequadas de impermeabilização, drenagem, controlo de lixiviados, captação e tratamento de biogás, estabilidade geotécnica e demais requisitos essenciais ao correto funcionamento e segurança do aterro.

O projeto cumpre os princípios de prevenção e minimização de impactes ambientais, e que incorpora as medidas necessárias para a proteção do solo, das águas superficiais e subterrâneas, bem como para a redução de emissões e potenciais riscos associados.

A reengenharia proposta do plano de enchimento das células 1 a 7 permite assegurar a continuidade do tratamento dos resíduos e refugos produzidos nas unidades de tratamento de RSU do sistema da AMARSUL, perspetivando-se o prolongamento da vida útil até 2028.

**PROJETO DE REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DAS CÉLULAS
1 A 7, DO ATERRO SANITÁRIO DO ECOPARQUE DE PALMELA.**
ECOPARQUE DA AMARSUL NO PALMELA (PT)

DOCUMENTO II.
PEÇAS DESENHADAS.

Projeto de Reengenharia do Plano de Enchimento.
ATERRO SANITÁRIO DE PALMELA (AMARSUL)
Palmela, (PT).

Peças Desenhadas.

Revisão R2 - Novembro 2025
2.0_DESENHOS_REENGH_PALM_R0.DOCX

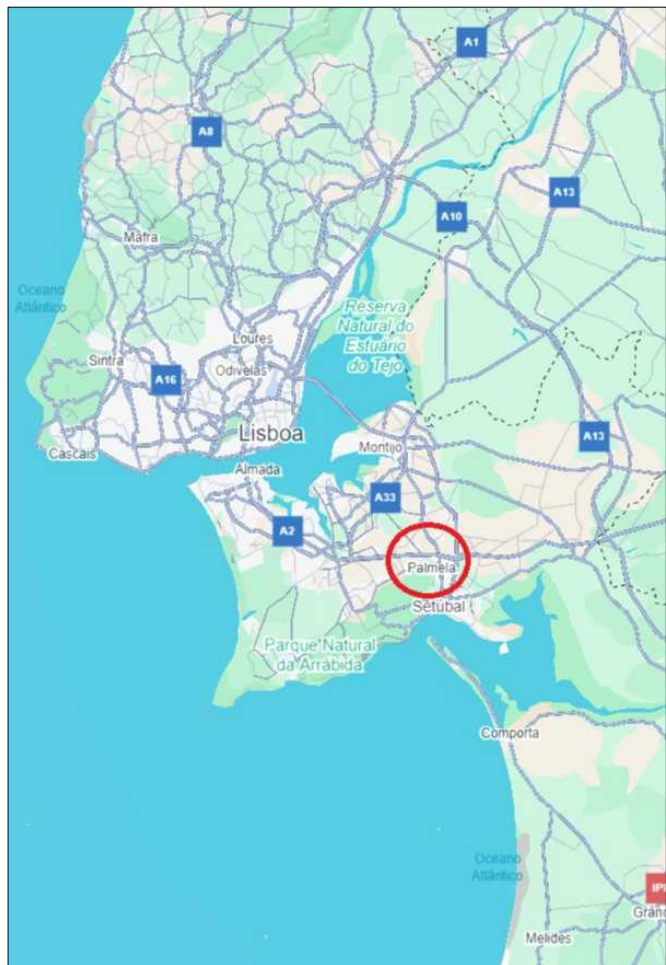
PROJETO DE REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DAS CÉLULAS 1 A 7,
DO ATERRO SANITÁRIO DO ECOPARQUE DE PALMELA

PEÇAS DESENHADAS

Novembro 2025

- INDICE PEÇAS DESENHADAS.

1. LOCALIZAÇÃO.
 - 1.1. Situação.
2. ESTADO INICIAL. TOPOGRÁFIA.
 - 2.1. Topografia Junho 2025. Implantação geral.
 - 2.2. Levantamento biogas. Implantação geral.
3. DEFINIÇÃO GERAL.
 - 3.1. Planta geral.
 - 3.2. Perfis do aterro.
 - 3.2.1. Células 1-4 e 5-7. Perfis longitudinais 1 e 2.
 - 3.2.2. Células 1-4 e 5-7. Perfis cruzados A e B.
 - 3.3. Secções típicas.
 - 3.3.1. Modelação do aterro. Selagem parcial e impermeabilização temporária.
 - 3.3.2. Modelação do aterro. Selagem final.
 - 3.3.3. Pormenores. Selagem parcial ou impermeabilização temporários.
 - 3.3.4. Pormenores. Selagem final
 - 3.3.5. Pormenores. Perfilamento de inclinação este.
4. MODELAÇÃO DO ATERRO.
 - 4.1. Planta geral.
 - 4.2. Espessuras de Aterro-Excavação.
5. DRENAGEM DE LIXIVIADOS.
 - 5.1. Planta geral.
6. DESGASIFICAÇÃO.
 - 6.1. Planta geral.
7. DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS.
 - 7.1. Planta geral.



SITUAÇÃO DO PALMELA



ATERRO SANITÁRIO DE PALMELA

REQUERENTE(S):



DESCRIÇÃO:

**PROJETO DE REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DAS CÉLULAS 1 A 7,
DO ATERRO DO ECOPARQUE DE PALMELA.**

ESCALAS:

S/D

CODIGO:

TAMANHO:

A3



COORDENAÇÃO E PROJETO:

AN ENGINEERING PROJECT DEVELOPMENT S.L.
C/ Gibraltar Español, 34. 45.500 Torrijos
(Toledo)
Tel-Fax: 92576 13 87

AUTOR DO PROJETO:

Dña. ANA ISABEL RODRIGUEZ GÓMEZ
Ing. Técnico Industrial
Colegiado Nº. 599.
C.O.I.T.I. Toledo



DESENHO:

**SITUAÇÃO DO PALMELA
LOCALIZAÇÃO DO ATERRO**

DATA:

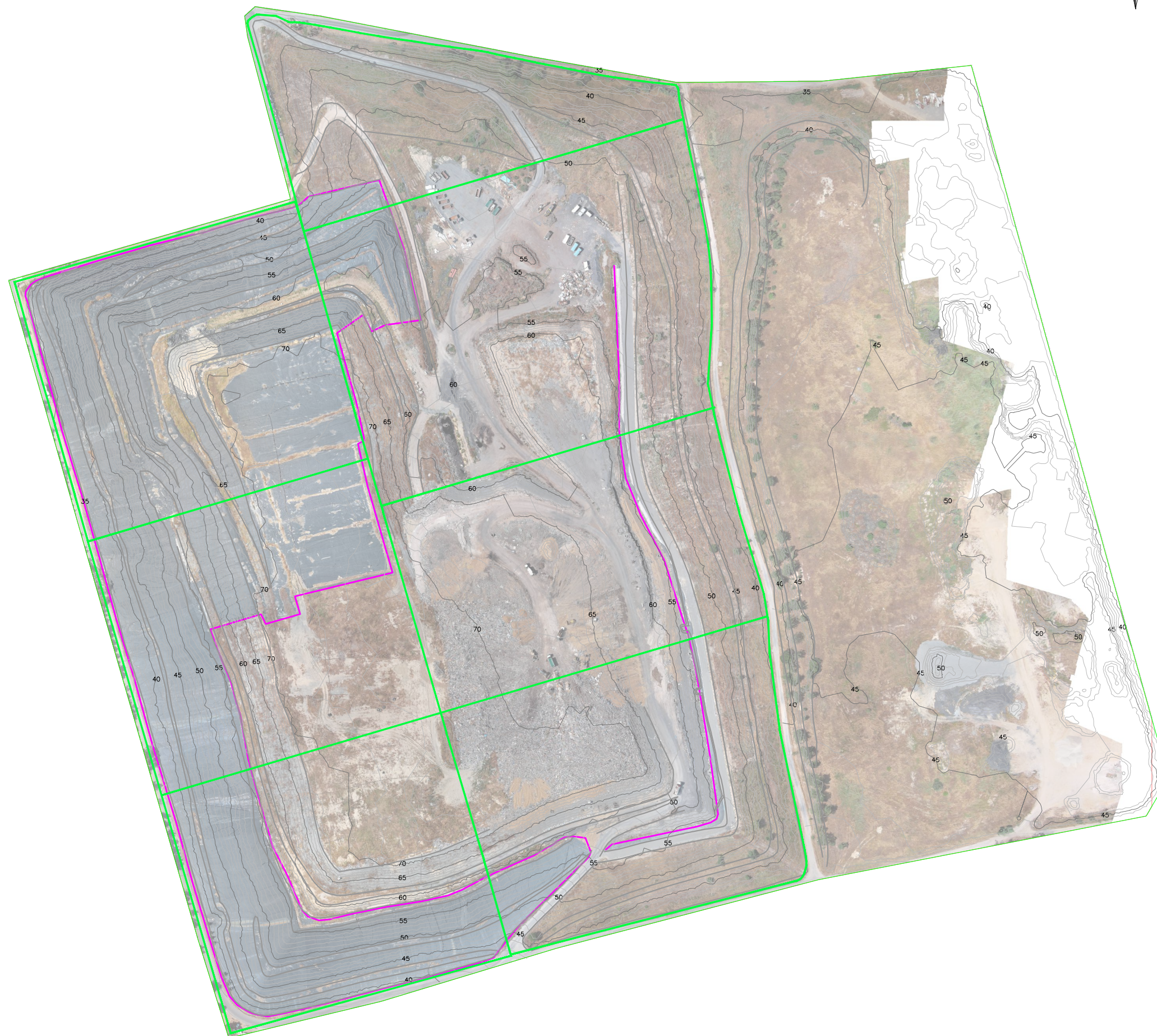
OUT - 2025

NIVEL:

0.0

FOLHA:

1



02.01 B.T.ang

REQUERENTE(S):



DESCRIÇÃO:

REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DO ATERRO SANITÁRIO DE PALMELA, DA AMARSUL.

ESCALAS:

1/3000

CODIGO:

TAMANHO:

A3



COORDENAÇÃO E PROJETO:

AN ENGINEERING PROJECT DEVELOPMENT S.L.

C/ Gibraltar Español, 34. 45.500 Torrijos (Toledo)

Tel-Fax: 925 76 13 87

AUTOR DO PROJETO:

Dña. ANA ISABEL RODRIGUEZ GÓMEZ

Ing. Técnico Industrial

Colegiado Nº. 599. C.O.I.T.I. Toledo



arodriguez@aningenieria.com

DESENHO:

ESTADO INICIAL. TOPOGRAFIA
TOPOGRAFIA JUNHO 2025
IMPLANTAÇÃO GERAL

DATA:

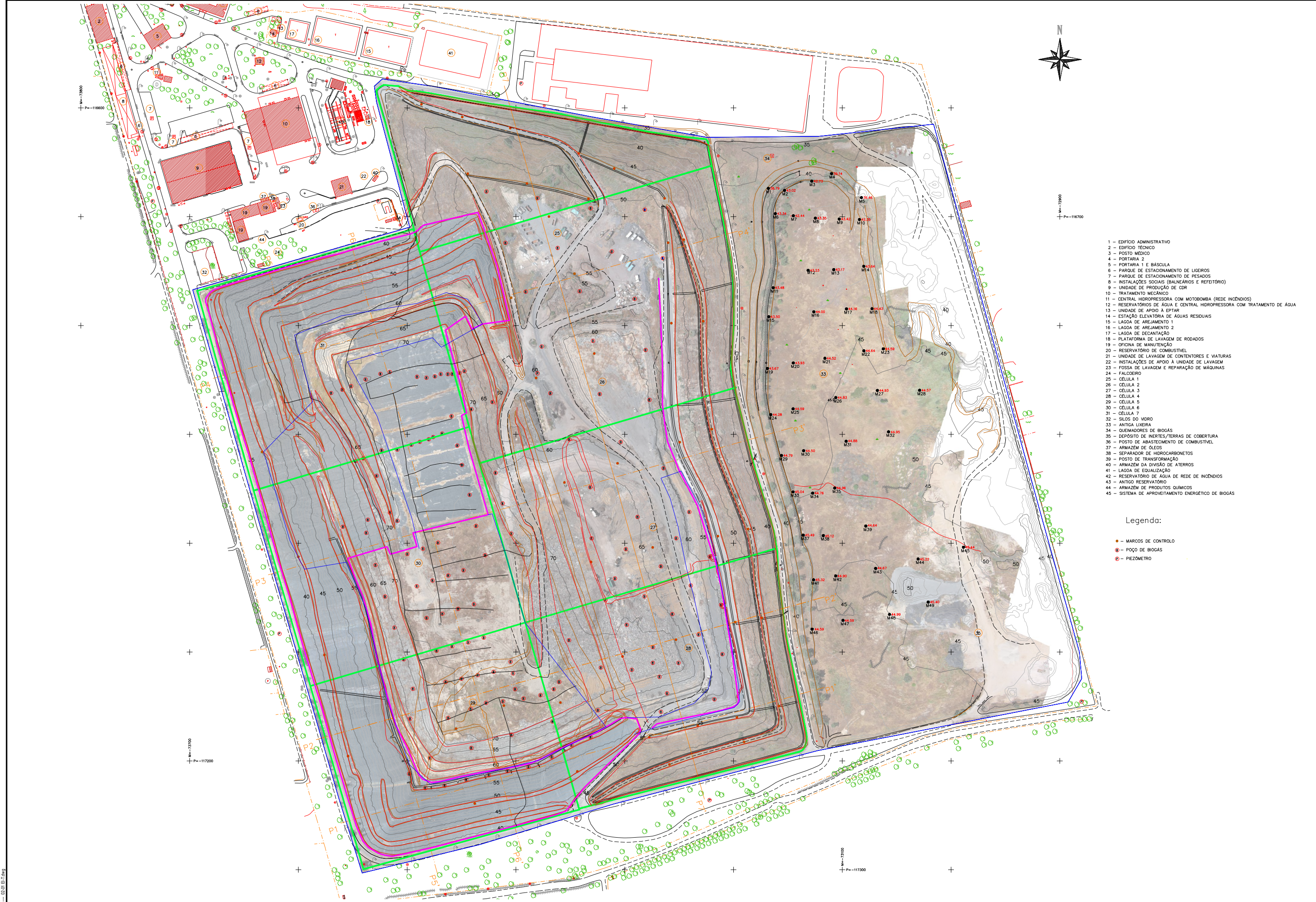
OUT - 2025

NIVEL:

0.0

FOLHA:

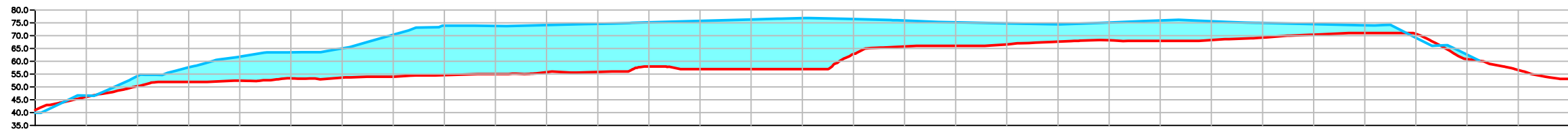
2.1



- 1 - EDIFÍCIO ADMINISTRATIVO
- 2 - EDIFÍCIO TÉCNICO
- 3 - POSTO MÉDICO
- 4 - PORTARIA 2
- 5 - PORTARIA 1 E BÂSCULA
- 6 - PARQUE DE ESTACIONAMENTO DE LIGEROS
- 7 - PARQUE DE ESTACIONAMENTO DE PESADOS
- 8 - INSTALAÇÕES SOCIAIS (BALNEÁRIOS E REFEITÓRIO)
- 9 - UNIDADE DE PRODUÇÃO DE CDR
- 10 - TRATAMENTO MECÂNICO
- 11 - CENTRAL HIDROPRESSORA COM MOTOBOMBA (REDE INCÊNDIOS)
- 12 - RESERVATÓRIOS DE ÁGUA E CENTRAL HIDROPRESSORA COM TRATAMENTO DE ÁGUA
- 13 - UNIDADE DE APOIO À EPTAR
- 14 - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUAS RESIDUAIS
- 15 - LAGOA DE AREJAMENTO 1
- 16 - LAGOA DE AREJAMENTO 2
- 17 - LAGOA DE DECANTAÇÃO
- 18 - PLATAFORMA DE LAVAGEM DE RODADOS
- 19 - OFICINA DE MANUTENÇÃO
- 20 - RESERVATÓRIO DE COMBUSTÍVEL
- 21 - UNIDADE DE LAVAGEM DE CONTENTORES E VIATURAS
- 22 - INSTALAÇÕES DE APOIO À UNIDADE DE LAVAGEM
- 23 - FOSSE DE LAVAGEM E REPARAÇÃO DE MÁQUINAS
- 24 - FALCOIRO
- 25 - CÉLULA 1
- 26 - CÉLULA 2
- 27 - CÉLULA 3
- 28 - CÉLULA 4
- 29 - CÉLULA 5
- 30 - CÉLULA 6
- 31 - CÉLULA 7
- 32 - SILOS DO VIDRO
- 33 - ANTIGA LIXEIRA
- 34 - QUEIMADORES DE BIOGÁS
- 35 - DEPÓSITO DE INÉRTES/TERRAS DE COBERTURA
- 36 - POSTO DE ABASTECIMENTO DE COMBUSTÍVEL
- 37 - ARMAZÉM DE ÓLEOS
- 38 - SEPARADOR DE HIDROCARBONETOS
- 39 - POSTO DE TRANSFORMAÇÃO
- 40 - ARMAZÉM DA DIVISÃO DE ATERROS
- 41 - LAGOA DE EQUALIZAÇÃO
- 42 - RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE REDE DE INCÊNDIOS
- 43 - ANTIGO RESERVATÓRIO
- 44 - ARMAZÉM DE PRODUTOS QUÍMICOS
- 45 - SISTEMA DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS

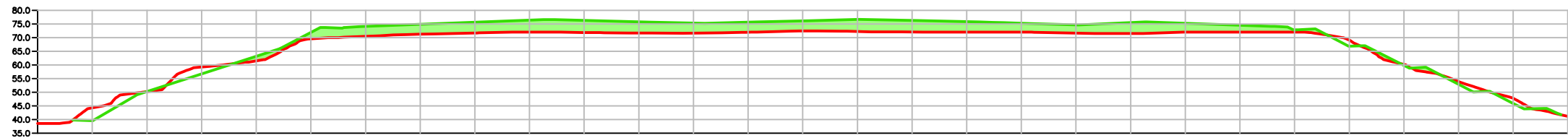
Legenda:

- - MARCOS DE CONTROLO
- ⊙ - POÇO DE BIOGÁS
- - PIEZOMETRO



P.K.		0.0		100.0		200.0		300.0		400.0		500.0		600.0	
DISTANCIAS A ORIGEM		0.00		20.00		40.00		60.00		80.00		100.00		120.00	
DISTANCIAS PARCIAIS		0.00		20.00		20.00		20.00		20.00		20.00		20.00	
COTAS DE PROJETO		39.82		46.63		54.28		57.68		61.78		63.50		65.01	
COTAS DE TERRENO		41.00		46.18		50.28		52.00		52.44		53.38		53.62	
COTAS VERMELHAS	ATERRO	0.45		3.98		5.66		9.34		10.12		11.39		16.33	
	ESCAVAÇÃO	-1.08													

EIXO 1. Escala H,V: 1/1000



P.K.		0.0		100.0		200.0		300.0		400.0		500.0		560.0	
DISTANCIAS A ORIGEM		0.00		20.00		40.00		60.00		80.00		100.00		120.00	
DISTANCIAS PARCIAIS		0.00		20.00		20.00		20.00		20.00		20.00		20.00	
COTAS DE PROJETO		39.66		50.27		56.71		63.15		71.95		74.14		76.42	
COTAS DE TERRENO		38.63		44.31		50.23		56.27		61.51		68.56		70.51	
COTAS VERMELHAS	ATERRO	0.04		1.65		2.39		3.62		3.63		3.93		4.42	
	ESCAVAÇÃO	-4.85		-2.56											

EIXO 2. Escala H,V: 1/1000

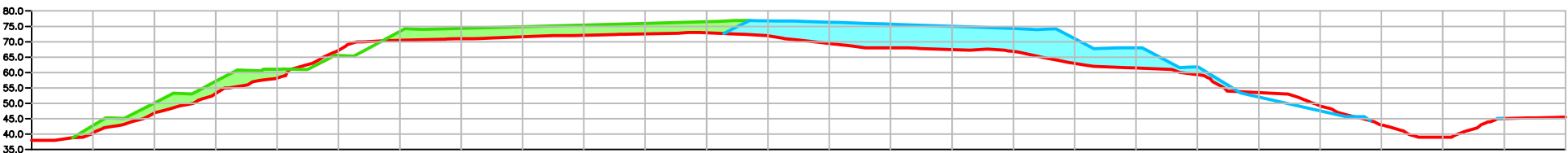
TERRENO NATURAL (ESTADO INICIAL)

RASANTE (ESTADO FINAL)

ENCHIMENTO ZONA ESTE. CÉLULAS 1-4

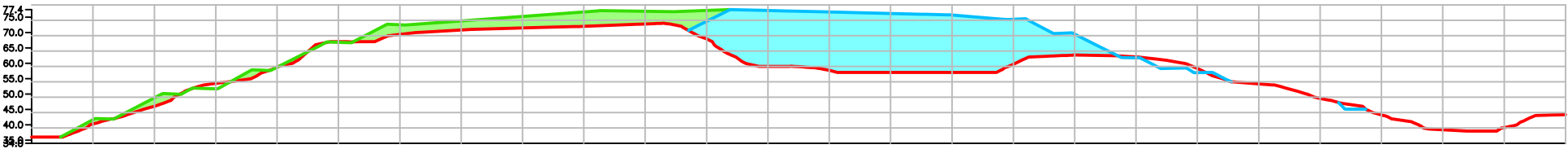
ENCHIMENTO ZONA OESTE. CÉLULAS 5-7

03.2.00 PERFILES.DWG



COTAS VERMELHAS		P.K.		DISTANCIAS A ORIGEM		DISTANCIAS PARCIAIS		COTAS DE PROJETO		COTAS DE TERRENO																							
		0.0	100.0	200.0	300.0	400.0	500.0	0.00	20.00	40.00	60.00	80.00	100.00	120.00	140.00	160.00	180.00	200.00	220.00	240.00	260.00	280.00	300.00	320.00	340.00	360.00	380.00	400.00	420.00	440.00	460.00	480.00	500.00
		36.30	42.79	50.12	57.16	61.07	65.57	73.34	74.34	74.88	75.43	75.97	76.51	76.78	76.34	75.72	75.00	74.29	71.00	68.00	61.84	52.05	47.58			45.04							
		38.00	40.32	46.80	53.18	58.17	67.15	70.47	71.00	71.63	72.09	72.58	72.91	71.93	69.42	68.00	67.48	66.83	62.84	61.45	59.31	53.46	49.19	42.92	39.00	45.05	45.48						
ATERRO			2.47	3.32	3.98	2.90	-1.59	2.87	3.34	3.28	3.33	3.39	3.60	4.85	6.92	7.72	7.51	7.46	8.08	6.55	2.53	-1.41	-1.60			-0.00							
ESCAVAÇÃO		-1.70																															

EIXO. A. Escala H,V: 1/1000



COTAS VERMELHAS		COTAS DE TERRENO		COTAS DE PROJETO		DISTANCIAS PARCIAIS		DISTANCIAS A ORIGEM		P.K.	
ATERRO		ESCAVAÇÃO									
		-0.91		36.00	35.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	
				40.30	41.89	20.00	20.00	20.00	20.00		
				45.98	48.77	20.00	20.00	40.00	40.00		
		-1.76		53.49	51.73	20.00	20.00	80.00	80.00		
		-0.01		58.78	58.78	20.00	20.00	80.00	80.00		
		-0.20		67.00	66.80	20.00	20.00	100.00	100.00	100.0	
				69.39	72.55	20.00	20.00	120.00	120.00		
				70.82	73.78	20.00	20.00	140.00	140.00		
				71.46	75.24	20.00	20.00	160.00	160.00		
				72.00	76.71	20.00	20.00	180.00	180.00		
				72.78	76.90	20.00	20.00	200.00	200.00	200.0	
				67.88	77.18	20.00	20.00	220.00	220.00		
				59.00	77.13	20.00	20.00	240.00	240.00		
				57.69	76.65	20.00	20.00	260.00	260.00		
				57.00	76.18	20.00	20.00	280.00	280.00		
				57.00	75.67	20.00	20.00	300.00	300.00	300.0	
				59.69	74.29	20.00	20.00	320.00	320.00		
				62.66	69.50	20.00	20.00	340.00	340.00		
				62.05	61.81	20.00	20.00	360.00	360.00		
		-0.24		58.32	56.93	20.00	20.00	380.00	380.00		
		-1.69		53.33	51.64	20.00	20.00	400.00	400.00	400.0	
		-1.58		48.57	46.99	20.00	20.00	420.00	420.00		
				43.24	45.09	20.00	20.00	440.00	440.00		
				38.43	45.09	20.00	20.00	460.00	460.00		
				39.09	45.09	20.00	20.00	480.00	480.00		
				43.35	45.09	20.00	20.00	500.00	500.00	500.0	

EIXO. B. Escala H,V: 1/1000

TERRENO NATURAL (ESTADO INICIAL)

RASANTE (ESTADO FINAL)

ENCHIMENTO ZONA ESTE. CÉLULAS 1-4

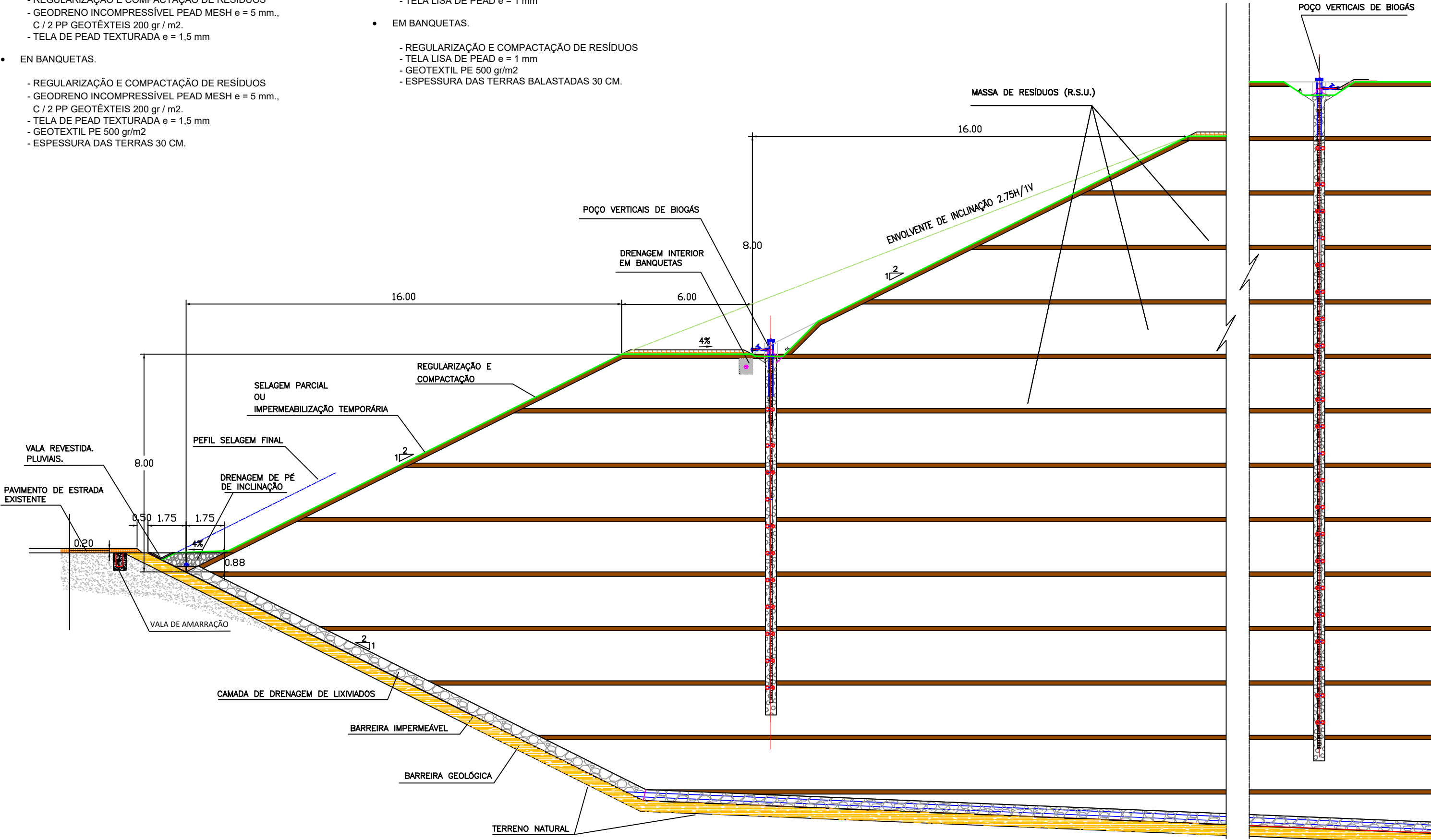
ENCHIMENTO ZONA OESTE. CÉLULAS 5-7

SELAGEM PARCIAL

- NA INCLINAÇÃO E CORONAÇÃO
 - REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS
 - GEODRENO INCOMPRESSÍVEL PEAD MESH e = 5 mm., C / 2 PP GEOTÊXTEIS 200 gr / m2.
 - TELA DE PEAD TEXTURADA e = 1,5 mm
- EN BANQUETAS.
 - REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS
 - GEODRENO INCOMPRESSÍVEL PEAD MESH e = 5 mm., C / 2 PP GEOTÊXTEIS 200 gr / m2.
 - TELA DE PEAD TEXTURADA e = 1,5 mm
 - GEOTEXTIL PE 500 gr/m2
 - ESPESSURA DAS TERRAS 30 CM.

IMPERMEABILIZAÇÃO TEMPORÁRIA

- EM INCLINAÇÃO E COROAÇÃO
 - REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS
 - TELA LISA DE PEAD e = 1 mm
- EM BANQUETAS.
 - REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS
 - TELA LISA DE PEAD e = 1 mm
 - GEOTEXTIL PE 500 gr/m2
 - ESPESSURA DAS TERRAS BALASTADAS 30 CM.



03.3.1 DE SELAGEM TEMP.

REQUERENTE(S):



DESCRIÇÃO:

PROJETO DE REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DAS CÉLULAS 1 A 7,
DO ATERRO DO ECOPARQUE DE PALMELA.

ESCALAS:

S7E

CODIGO:

TAMANHO:

A3



COORDENAÇÃO E PROJETO:

AN ENGINEERING PROJECT DEVELOPMENT S.L.
C/ Gibraltar Español, 34. 45.500 Torrijos
(Toledo)
Tel-Fax: 92576 13 87

AUTOR DO PROJETO:

Dña. ANA ISABEL RODRIGUEZ GÓMEZ
Ing. Técnico Industrial
Colegiado Nº. 599.
C.O.I.T.I. Toledo
arodriguez@aningenieria.com



DESENHO:

DEFINIÇÃO GERAL
SEÇÕES TÍPICAS. MODELAÇÃO DO ATERRO
SELAGEM PARCIAL E IMPERMEABILIZAÇÃO TEMPORÁRIA

DATA:

OUT - 2025

NIVEL:

0.0

FOLHA:

3.3.1

SELAGEM PARCIAL

- NA INCLINAÇÃO E COROAÇÃO
 - REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS
 - GEODRENO INCOMPRESSÍVEL PEAD MESH e = 5 mm., C / 2 PP GEOTÊXTEIS 200 gr / m2.
 - TELA DE PEAD TEXTURADA e = 1,5 mm
- EM BANQUETAS.
 - REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS
 - GEODRENO INCOMPRESSÍVEL PEAD MESH e = 5 mm., C / 2 PP GEOTÊXTEIS 200 gr / m2.
 - TELA DE PEAD TEXTURADA e = 1,5 mm
 - GEOTÊXTEL PE 500 gr/m2
 - ESPESSURA DAS TERRAS 30 cm.

IMPERMEABILIZAÇÃO TEMPORÁRIA

- EM INCLINAÇÃO E COROAÇÃO
 - REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS
 - TELA LISA DE PEAD e = 1 mm
- EN BANQUETAS.
 - REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE RESÍDUOS
 - TELA LISA DE PEAD e = 1 mm
 - GEOTÊXTEL PE 500 gr/m2
 - ESPESSURA DAS TERRAS 30 cm.

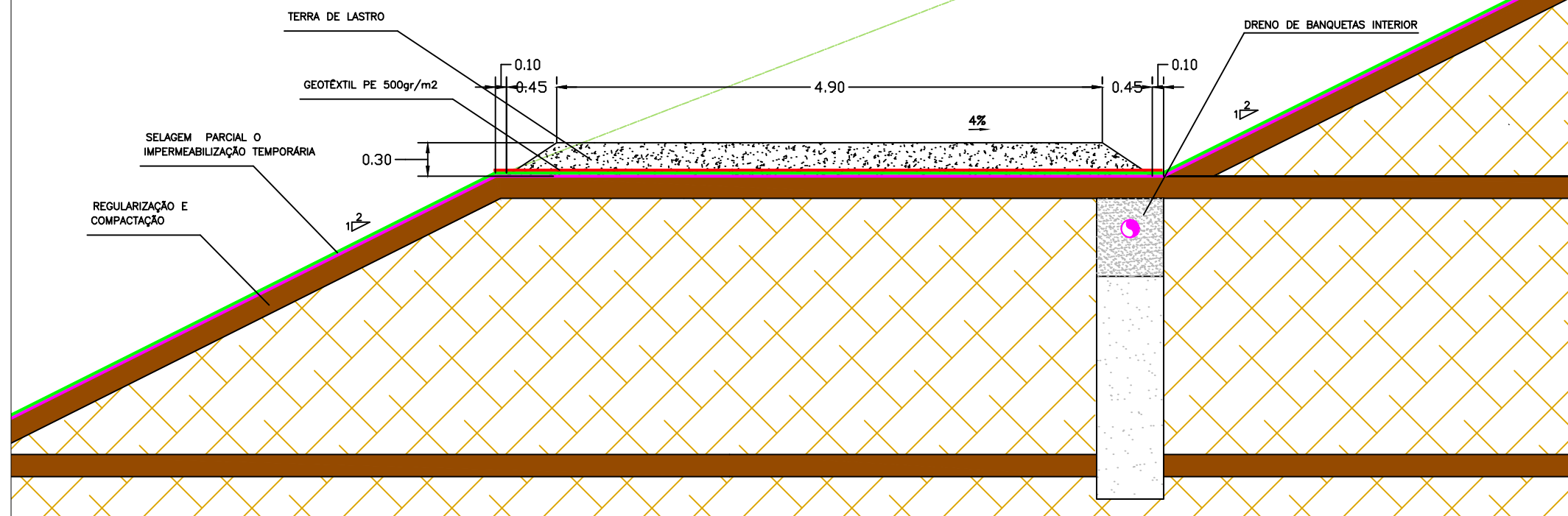
- Tela impermeável P.E.A.D. existente
- Tela impermeável P.E.A.D. texturizado e = 1,5 mm. nova posição
- Geodreno, composto por:
 - Malha de arame cruzado de PEAD de 5 mm de espessura
 - com dois geotêxteis de polipropileno 200 gr / m2.

NOTA: Na impermeabilização temporária, nenhum geodren será colocado, e a tela de P.E.A.D. será liso e = 1 mm.

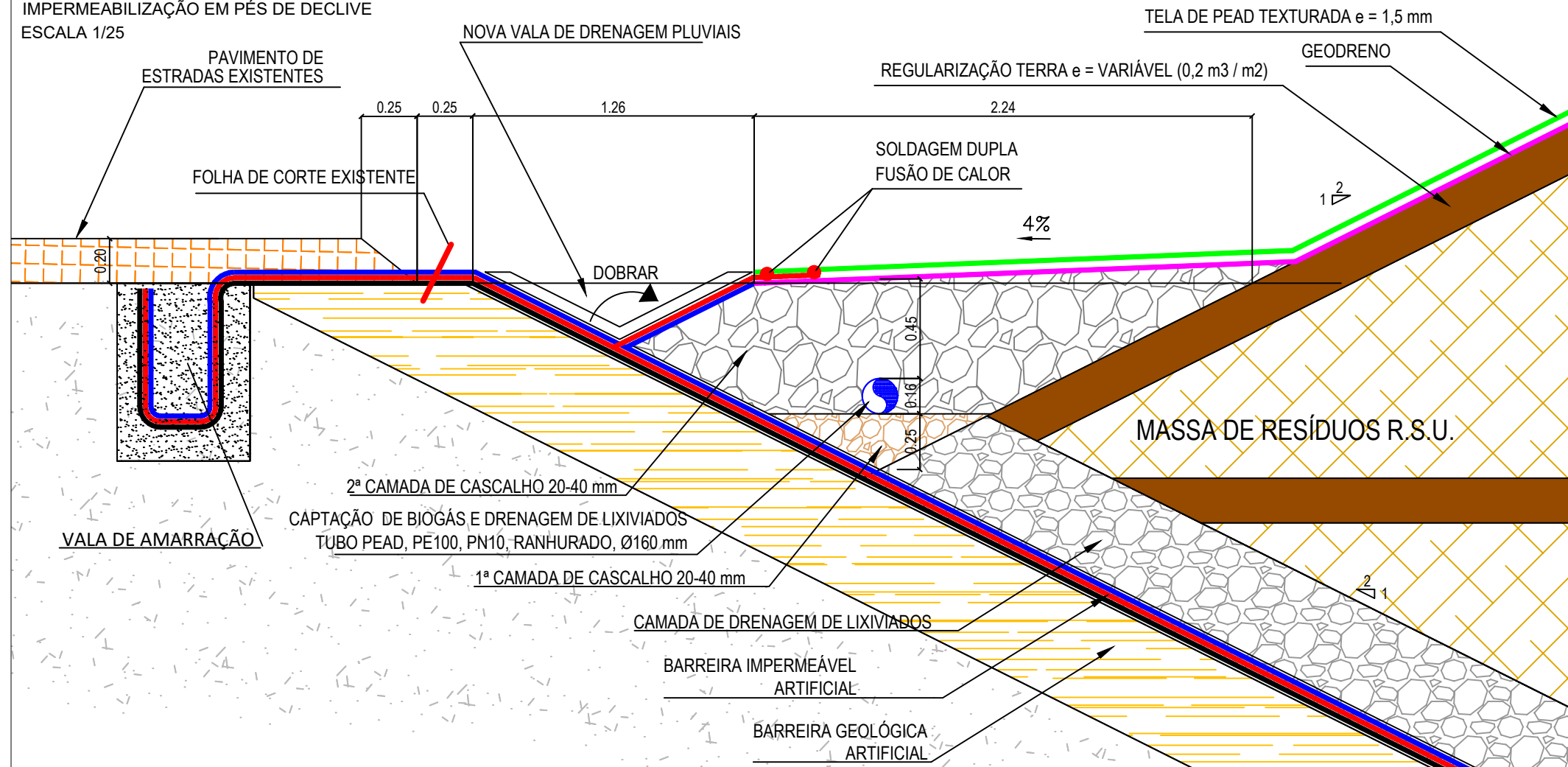
PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO

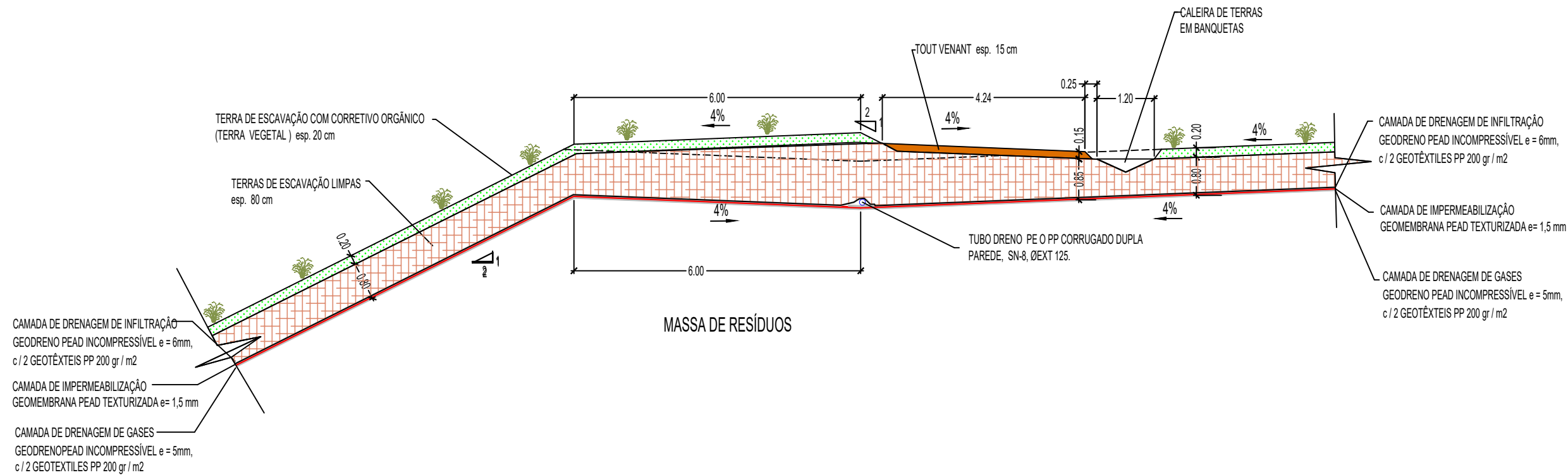
- Escavar vala de drenagem de lixiviado de resíduos de acordo com a geometria indicada. (Após delinear o declive e evitar quebrar a folha de polietileno).
- Espalhamento da primeira camada de brita 20-40 mm.
- Colocação do tubo de recolha de lixiviados PEAD, PE100, PN10, ranhurado, D = 160 mm
- Verter e espalhar a segunda camada de gravilha 20-40mm.
- Colocação de geodreno em solo perfilado e em cascalho.
- Folha de assentamento da nova lâmina PE.
- Corte a lâmina de PE e o geotêxtil do vidro e dobra o geodreno.
- Termofusão de via dupla solda as lâminas de PE do vaso e a vedação.

LASTRO DE GEOMEMBRANE
ESCALA 1/50

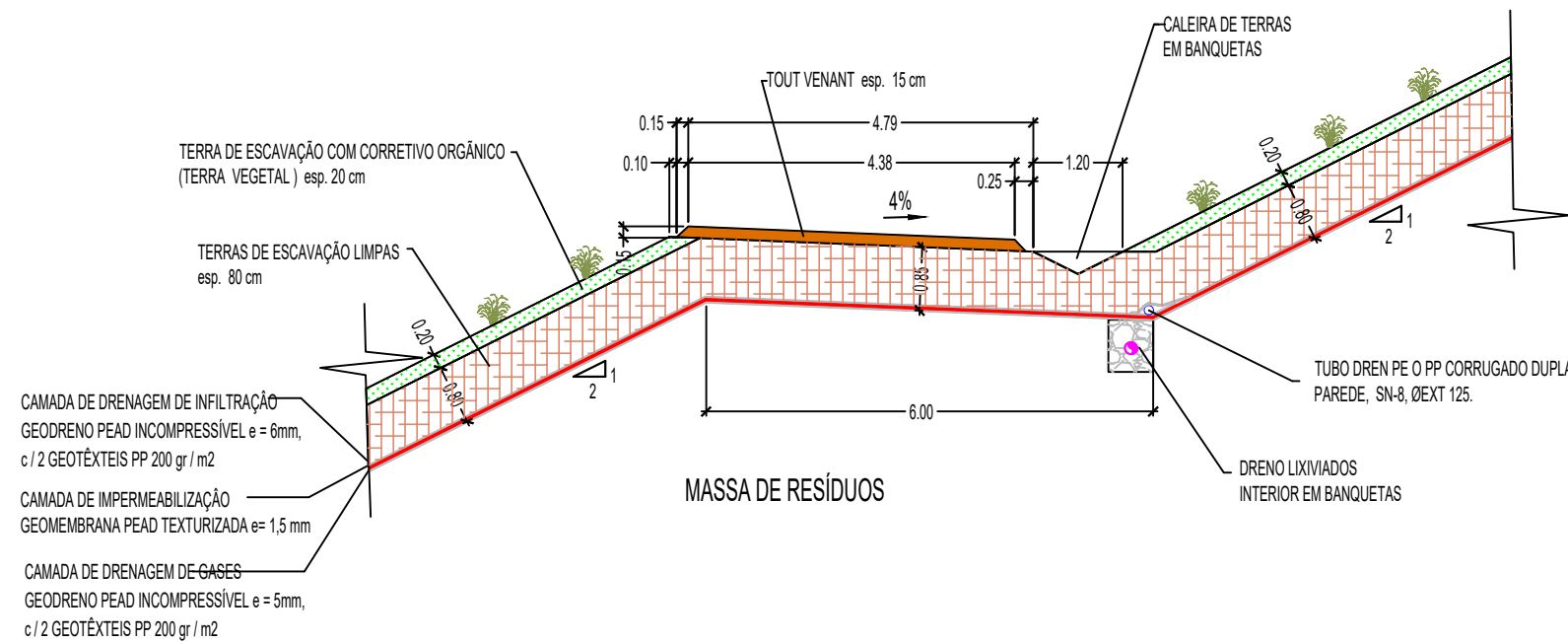


IMPERMEABILIZAÇÃO EM PÉS DE DECLIVE
ESCALA 1/25

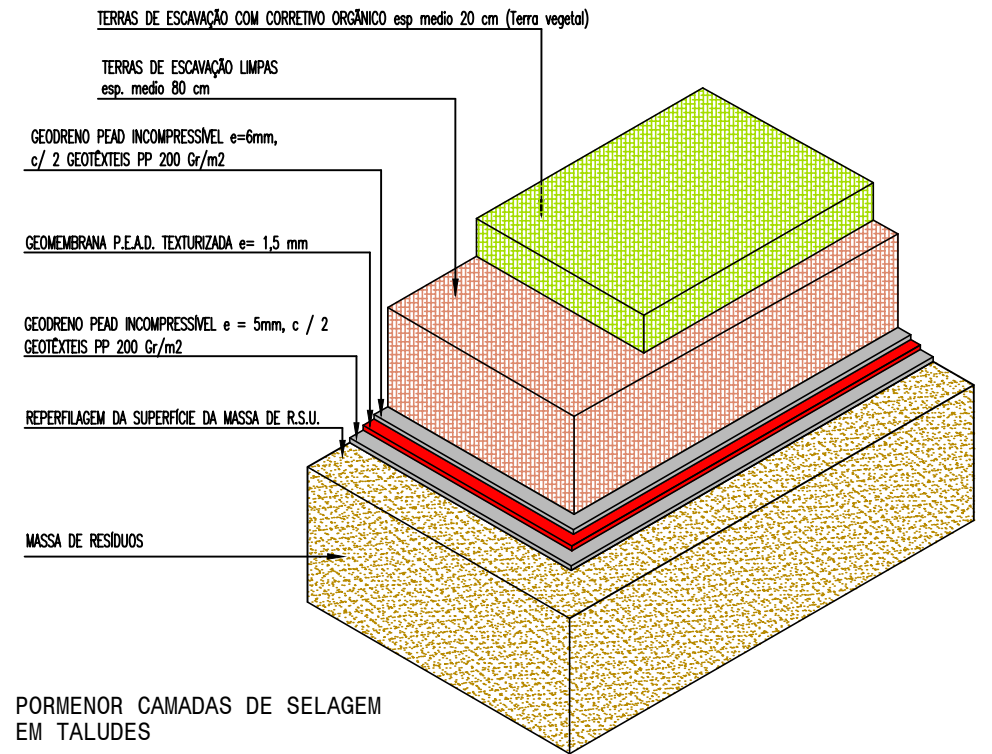




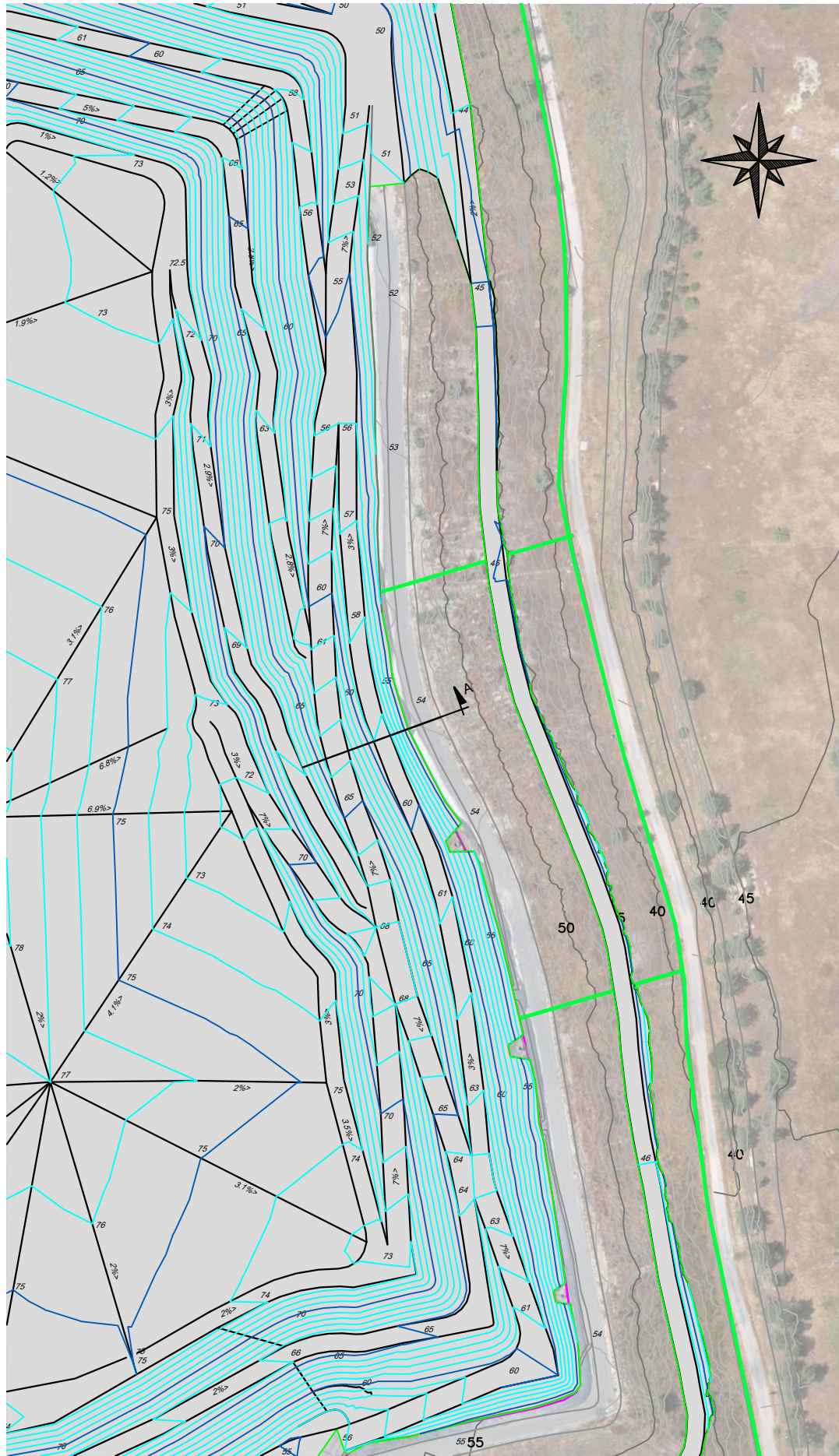
DETALHE - SELAGEM FINAL. UNIÓN TALUDE - PLATAFORMA SUPERIOR,
E:1/100



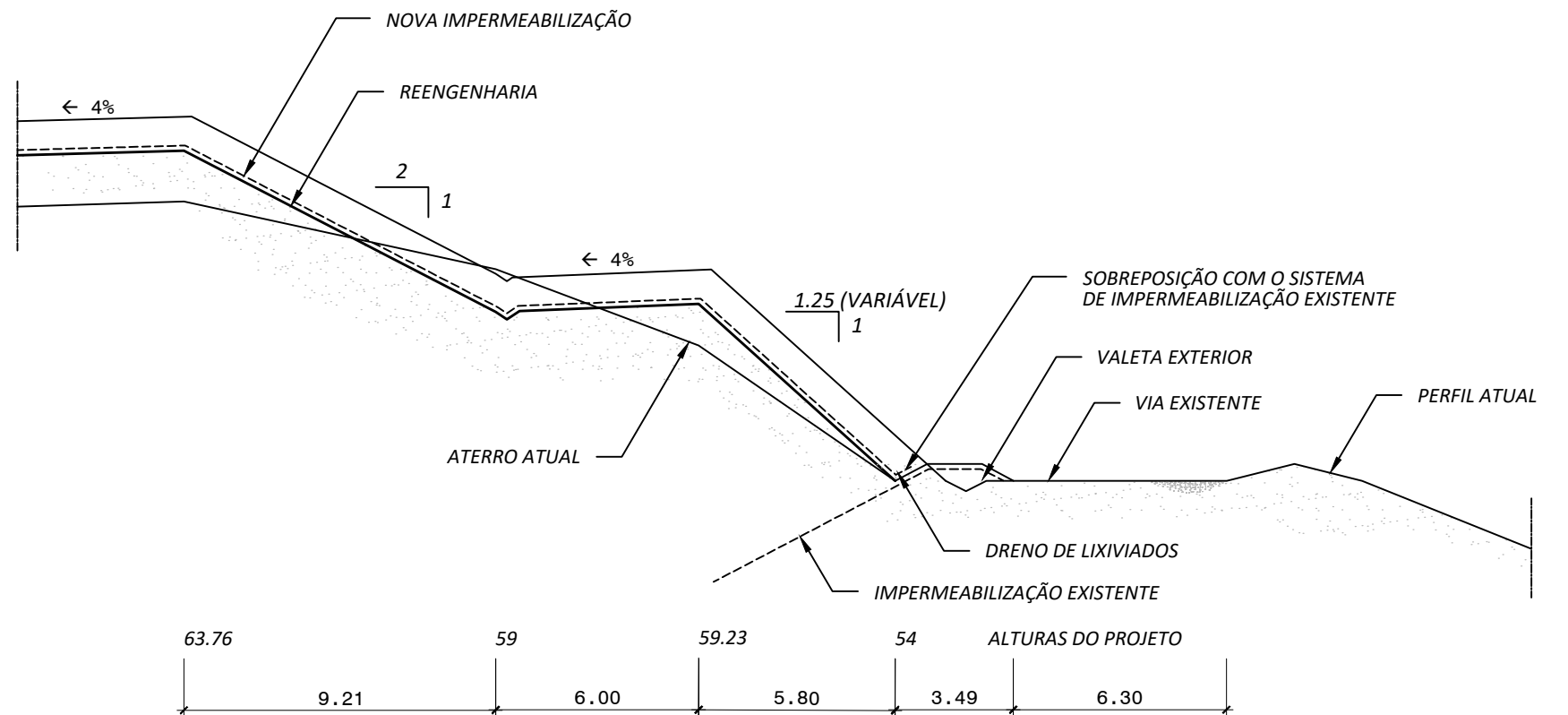
DETALHE - SELAGEM FINAL EM BANQUETAS.
E:1/100



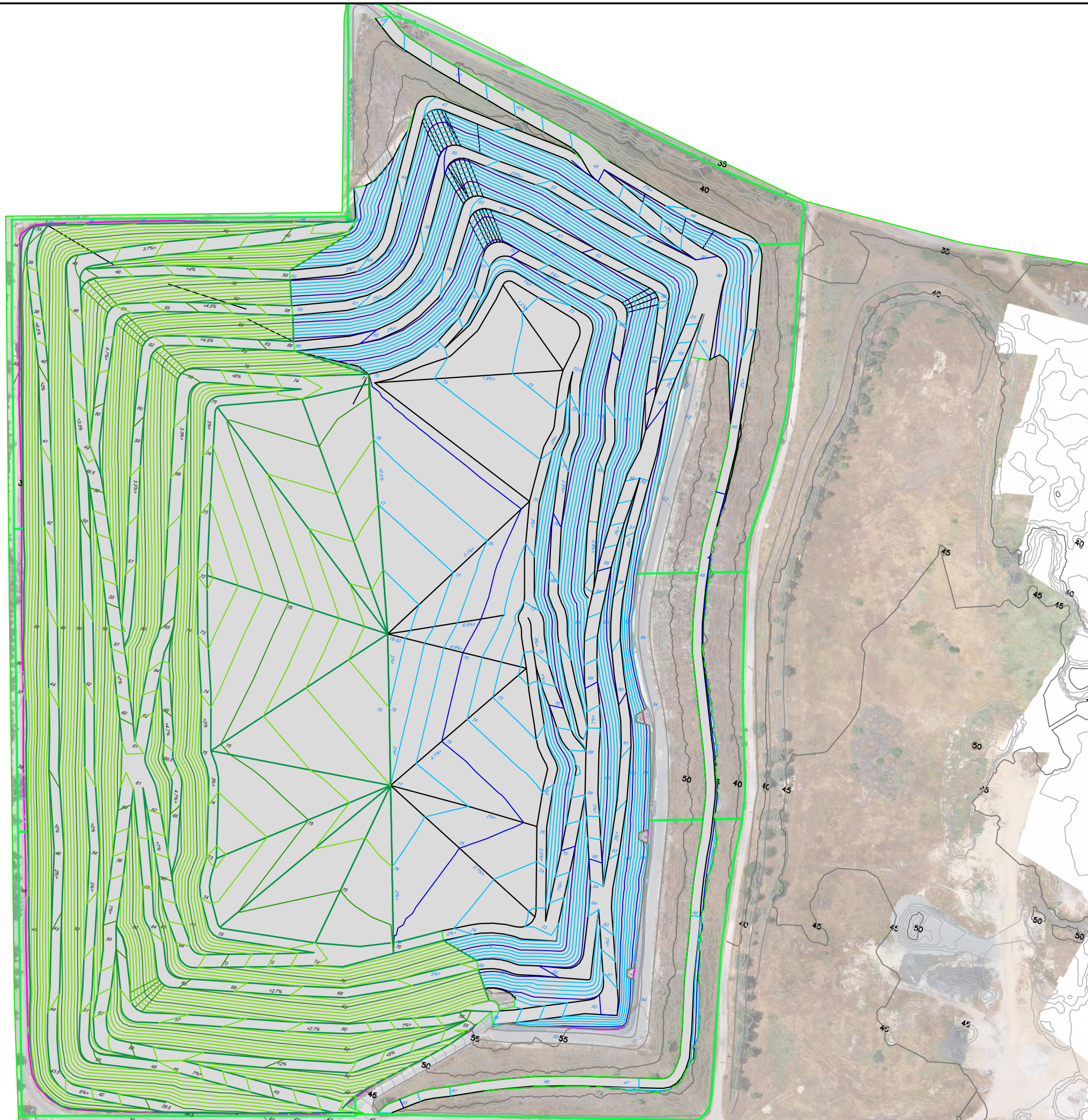
03.3.4.03 SELAGEM FINAL DWG



PLANTA. E: 1/2000



SEÇÃO "A". E: 1/200



SUPERFÍCIES

CÉLULAS 1-4 ZONA ESTE:

S. GEOMÉTRICA: 107.673m²

S. REDUZIDA: 102.664m²

CÉLULAS 5-7 ZONA OESTE:

S. GEOMÉTRICA: 127.848m²

S. REDUZIDA: 120.694m²

SUPERFÍCIE TOTAL:

S. GEOMÉTRICA: 235.521m²

S. REDUZIDA: 223.358m²

ATERRO DE RESÍDUOS

CÉLULAS 1-4 ZONA ESTE:

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 29.279m³

VOLUME DE ATERRO: 732.570m³

CÉLULAS 5-7 ZONA OESTE:

VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 62.374m³

VOLUME DE ATERRO: 242.133m³

VOLUME TOTAL:

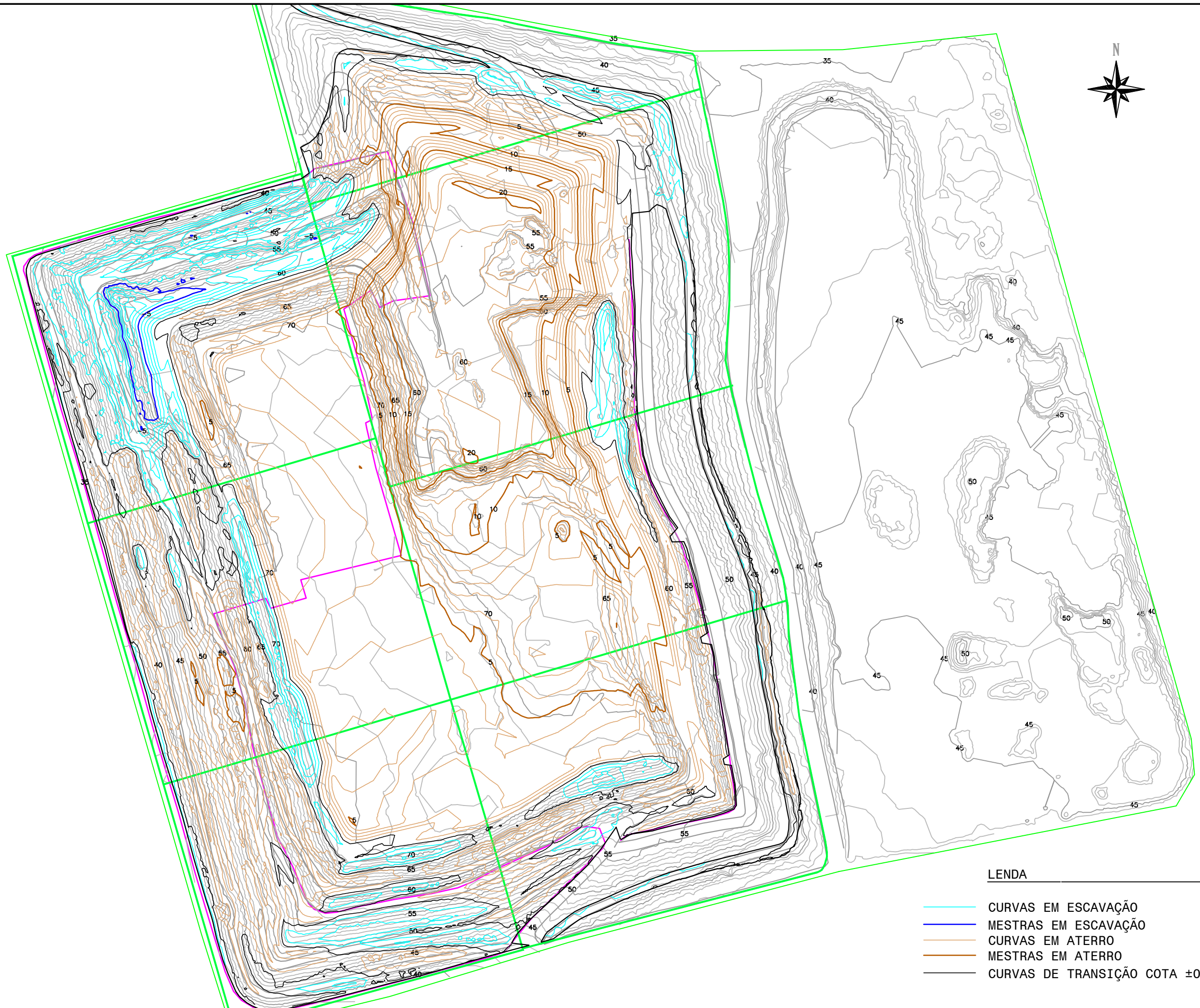
VOLUME DE ESCAVAÇÃO: 80.558m³

VOLUME DE ATERRO: 955.601m³

VOLUME UTIL: 875.043m³

NOTAS:

- A DEFINIÇÃO CORRESPONDE AO
ATERRO DE RESÍDUOS.
(BASE TOPOGRAFIA JUNHO 2025)



LENDA

- CURVAS EM ESCAVAÇÃO
- MESTRAS EM ESCAVAÇÃO
- CURVAS EM ATERRO
- MESTRAS EM ATERRO
- CURVAS DE TRANSIÇÃO COTA ±0,00

04.2.MD.ELA.E.DWG

REQUERENTE(S):



DESCRIÇÃO:

PROJETO DE REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DAS CÉLULAS 1 A 7,
DO ATERRO DO ECOPARQUE DE PALMELA.

ESCALAS:

1/2500

CODIGO:

TAMANHO:

A3



COORDENAÇÃO E PROJETO:

AN ENGINEERING PROJECT DEVELOPMENT S.L.
C/ Gibraltar Español, 34. 45.500 Torrijos
(Toledo)
Tel-Fax: 925 76 13 87

AUTOR DO PROJETO:

Dña. ANA ISABEL RODRIGUEZ GÓMEZ
Ing. Técnico Industrial
Colegiado Nº. 599.
C.O.I.T.I. Toledo



DESENHO:

MODELAÇÃO DO ATERRO
ESPESURAS DE ATERRO - ESCAVAÇÃO

DATA:

OUT - 2025

FOLHA:

NIVEL:

0.0

4.2

P.K. 680.00

P.K. 640.00

P.K. 600.00

P.K. 560.00

P.K. 520.00

P.K. 480.00

P.K. 440.00

P.K. 400.00

P.K. 360.00

P.K. 320.00

P.K. 280.00

P.K. 240.00

P.K. 200.00

P.K. 160.00

P.K. 120.00

P.K. 80.00

P.K. 40.00

P.K. 0.00

EIXO 2

EIXO 1

EIXO. B

EIXO. A



NOTAS:

- A DEFINIÇÃO CORRESPONDE AO
ATERRO DE RESÍDUOS

64.3 MODELO PERIS PLANS

REQUERENTE(S):



DESCRIÇÃO:

REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DO ATERRO SANTÁRIO
DE PALMELA, DA AMARSUL.

ESCALAS:

1/2500

CODIGO:

TAMANHO:

A3



COORDENAÇÃO E PROJETO:

AN ENGINEERING PROJECT DEVELOPMENT S.L.
C/ Gibraltar Español, 34. 45.500 Torrijos
(Toledo)
Tel-Fax: 925 76 13 87

AUTOR DO PROJETO:

Dña. ANA ISABEL RODRIGUEZ GÓMEZ
Ing. Técnico Industrial
Colegiado Nº. 599
C.O.I.T.I. Toledo



DESENHO:

MODELAÇÃO DO ATERRO
SEÇÕES. PLANTA DE PERFIS

DATA:

OUT - 2025

NÍVEL:

0.0

FOLHA:

4.3.1



DRENAGEM DE LIXIVIADOS
PÉ TALUDE NORTE

POÇO DE LIXIVIADOS 7.1

POÇO DE LIXIVIADOS 7.2

POÇO DE LIXIVIADOS 6.1

POÇO DE LIXIVIADOS 6.2

DRENAGEM DE LIXIVIADOS
PÉ TALUDE OESTE

POÇO DE LIXIVIADOS 5.1

POÇO DE LIXIVIADOS 5.2

LEGENDA

DRENOS CAPTAÇÃO DE BIOGAS E DRENAGEM DE LIXIVIADOS.

→ TUBO PEAD, PE100, PN10, DN 200mm, RANHURADO.

Drenos horizontais ao pé do talude.

→ TUBO PEAD, PE100, PN10, DN 160mm, RANHURADO.

Drenos horizontais interior banquetas
Descidas lixiviados em taludes

NOTAS:

- A DEFINIÇÃO CORRESPONDE AO
ATERRO DE RESÍDUOS

REQUERENTE(S):



DESCRIÇÃO:

REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DO ATERRO SANITÁRIO
DE PALMELA, DA AMARSUL.

ESCALAS:

1/2500

TAMANHO:

A3

CODIGO:



COORDENAÇÃO E PROJETO:

AN ENGINEERING PROJECT DEVELOPMENT S.L.

C/ Gibraltar Español, 34. 45.500 Torrijos

(Toledo)

Tel-Fax: 925 76 13 87

AUTOR DO PROJETO:

Dña. ANA ISABEL RODRIGUEZ GÓMEZ

Ing. Técnico Industrial

Colegiado Nº. 599.

C.O.I.T.I. Toledo



arodriguez@aningenieria.com

DESENHO:

DRENAGEM DE LIXIVIADOS
PLANTA GERAL

DATA:

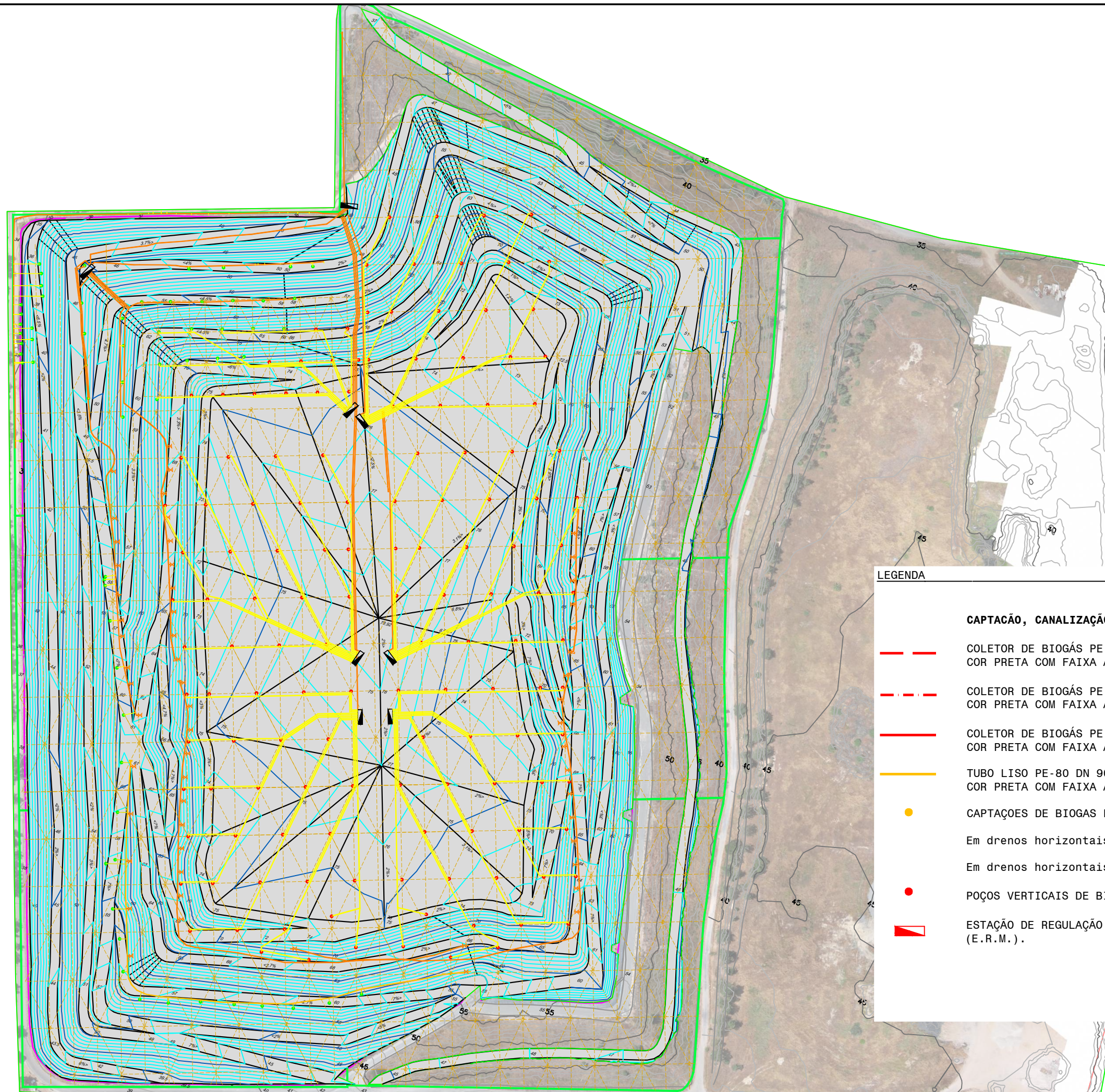
OUT - 2025

NÍVEL:

0.0

FOLHA:

5.1



LEGENDA

CAPTACÃO, CANALIZAÇÃO E REGULAÇÃO DE BIOGÁS.

- COLETOR DE BIOGÁS PE-80 DN 315MM, SRD 17, COR PRETA COM FAIXA AMARELA.
- COLETOR DE BIOGÁS PE-80 DN 315MM, SRD 17, COR PRETA COM FAIXA AMARELA.
- COLETOR DE BIOGÁS PE-80 DN 160MM, SRD 17, COR PRETA COM FAIXA AMARELA.
- TUBO LISO PE-80 DN 90MM, SRD 17, COR PRETA COM FAIXA AMARELA.
- CAPTAÇÕES DE BIOGAS EM DRENOS
 - Em drenos horizontais pé de talud
 - Em drenos horizontais interior banquetas
- POÇOS VERTICAIS DE BIOGÁS EXISTENTES.
- ESTAÇÃO DE REGULAÇÃO E MEDIÇÃO DE BIOGÁS (E.R.M.).

24 DESGAS. RD.dwg

REQUERENTE(S):



DESCRIÇÃO:

**PROJETO DE REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DAS CÉLULAS 1 A 7,
DO ATERRO DO ECOPARQUE DE PALMELA.**

ESCALAS:

1/2500

CODIGO:

TAMANHO:

A3



COORDENAÇÃO E PROJETO:

AN ENGINEERING PROJECT DEVELOPMENT S.L.

C/ Gibraltar Español, 34. 45.500 Torrijos

(Toledo)

Tel-Fax: 925 76 13 87

AUTOR DO PROJETO:

Dña. ANA ISABEL RODRIGUEZ GÓMEZ

Ing. Técnico Industrial

Colegiado Nº. 599.

C.O.I.T.I. Toledo



arodriguez@aningenieria.com

DESENHO:

**DESGASIFICAÇÃO
PLANTA GERAL**

DATA:

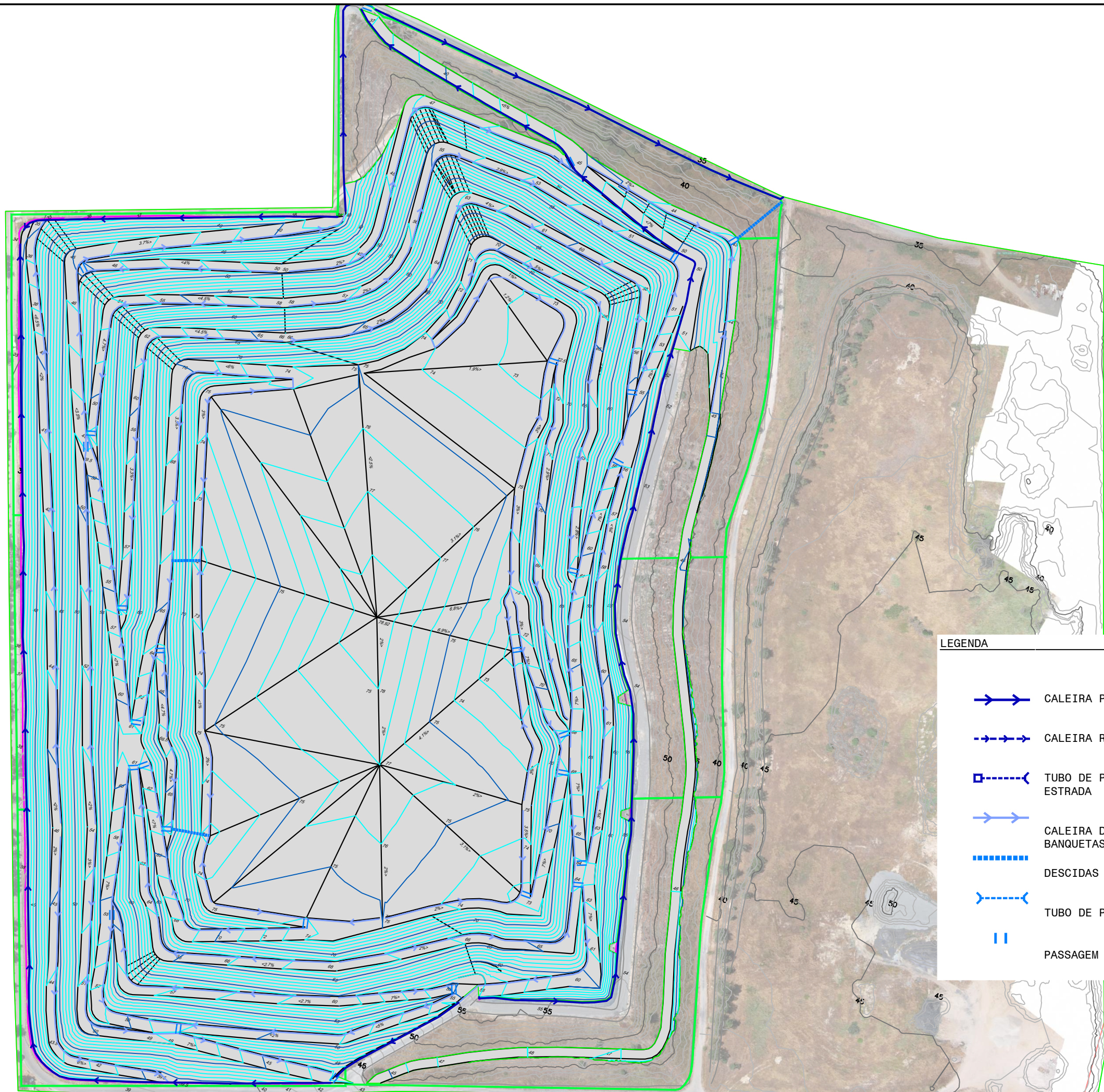
OUT - 2025

NÍVEL:

0.0

FOLHA:

6.1



LEGENDA

- CALEIRA PERIMETRAL REVESTIDA
- - - - - CALEIRA REVESTIDA EM ESTRADAS E BANQUETAS.
- - - - - - TUBO DE PLUVIAIS ENTERRADO EXTERIOR AO ESTRADA
- CALEIRA DE PLUVIAIS EM TERRAS EN BANQUETAS.
- DESCIDAS DE ÁGUAS PLUVIAIS EM TALUDES.
- > - - - - - TUBO DE PLUVIAIS ENTERRADO DN500mm.
- || PASSAGEM TRANSVERSAL Á VIA DE PLUVIAIS.

27 PLUVIAIS 02.dwg

PROJETO DE REENGENHARIA DO PLANO DE ENCHIMENTO DAS CÉLULAS 1 A 7, DO ATERRO SANITÁRIO DO ECOPARQUE DE PALMELA.

DOCUMENTO III ESTUDO DE ESTABILIDADE DE TALUDES

Projeto de Reengenharia do Plano de Enchimento.

ATERRO SANITÁRIO DE PALMELA (AMARSUL)

Palmela, (PT).

Estudo de estabilidade de taludes.

Novembro 2025

PROJETO DE REENGENHARIA
ESTUDO ESTABILIDADE DE TALUDES
NOVEMBRO 2025

ÍNDICE ESTABILIDADE DE TALUDES:

1	Introdução	3
2	Objeto	4
3	Formas de instabilidades em aterros	6
3.1	Deslizamentos superficiais	6
3.2	Deslizamentos profundos.....	6
4	Estabilidade da massa de resíduos e estruturas associadas	7
4.1	Objetivo.....	7
4.2	Caracterização geotécnica	9
4.3	Secções de cálculo	13
4.3.1	Secção 1.....	15
4.3.2	Secção 2	16
4.3.3	Secção 3.....	17
4.4	Método de cálculo	18
4.5	Secção de cálculo 1	19
4.6	Secção de cálculo 2	23
4.7	Secção de cálculo 3	27
4.8	Conclusões	31
5	Estabilidade do substrato geológico	32
6	Resistência ao deslizamento das camadas de selagem.....	33
6.1	Descrição das camadas de selagem	33
6.2	Características geotécnicas	35
6.3	Secção de cálculo	36
6.4	Método de cálculo	37
6.5	Cálculo dos coeficientes de segurança em camadas de selagem.....	38
6.5.1	Estabilidade ao deslizamento: geocomposto drenante – terra de regularização	39
6.5.2	Estabilidade ao deslizamento: lâmina PEAD e=1,5 mm – geocomposto drenante	40
6.5.3	Estabilidade ao deslizamento: geocomposto drenante – lâmina PEAD e=1,5 mm	41
6.5.4	Estabilidade ao deslizamento: terra de cobertura – geocomposto drenante.....	42
6.6	Conclusões	43

1 Introdução

A razão fundamental pela qual os estudos de estabilidade de aterros são tão complexos é devido à dificuldade envolvida na descrição dos materiais, e especialmente dos resíduos, que entram em jogo na análise em termos geotécnicos clássicos.

Soma-se a essa dificuldade a discussão sobre qual é o fator de segurança que deve ser considerado adequado para uma obra dessas características.

A heterogeneidade na composição do resíduo, a anisotropia causada pelo seu arranjo em camadas, as alterações físicas sofridas no processo de despejo, espalhamento e compactação, e as alterações físico-químicas que o resíduo muitas vezes experimenta durante os anos após sua deposição, tornam muito complexa a tarefa de atribuir valores geotécnicos únicos, precisos e válidos para a massa de resíduos em aterro.

Este processo é ainda mais difícil se tivermos em conta que apenas podemos prever grosseiramente a natureza dos grandes grupos de resíduos que serão depositados nas Células 1 a 7 do Aterro do Ecoparque de Palmela, objeto deste estudo.

2 Objeto

O presente Estudo de Estabilidade de Taludes das Células 1 a 7 do Aterro do Ecoparque de Palmela, é elaborado com o objetivo de verificar se o conjunto formado pelo terreno e o aterro será uma estrutura estável e integral ao longo do tempo, que garantirá a estabilidade da massa de resíduos.

Este estudo dará cumprimento ao Decreto-Lei nº. 102-D/2020 de 10 de dezembro de 2020. Anexo II "Regime jurídico da eliminação de resíduos em aterros", no Anexo I "Requisitos técnicos para todas as classes de aterros", ponto 3 "Requisitos de estabilidade e proteção":

3.1 *"A deposição dos resíduos no aterro deve ser realizada de forma a assegurar a estabilidade da massa de resíduos e das estruturas associadas, nomeadamente no sentido de evitar deslizamentos e ou derrubamentos".*

3.2 *"Sempre que é criada uma barreira artificial, deve garantir-se que o substrato geológico, considerando a morfologia do aterro, é suficientemente estável para evitar assentamentos que possam danificar essa barreira".*

Da mesma forma, os assentamentos previstos, tanto na camada de impermeabilização como no seu posterior fecho, deverão necessariamente ser verificados quanto à sua integridade, impermeabilização e função drenante, principalmente quando o terreno de apoio for muito deformável e no caso de aterro RSU com alto teor orgânico, o que causará assentamentos importantes mesmo após o seu fecho.

Resumidamente, os objetivos deste estudo são os seguintes:

- Estabelecer as hipóteses e mecanismos de rotura que podem ser desenvolvidos e o fator de segurança a ser aplicado em cada caso, para realizar as devidas análises de estabilidade.
- Sintetizar o modelo de estabilidade do aterro num perfil de cálculo e uma série de solos de distintas características ajustados à realidade do aterro.
- Definir, justificadamente, os parâmetros geotécnicos de cada uma das camadas.
- Efetuar os cálculos de estabilidade do aterro de acordo com as hipóteses de falha estabelecidas e tirar as conclusões derivadas com base nos fatores de segurança definidos.

Com todos os itens acima, será calculado:

- **Estabilidade da massa de resíduos e estruturas associadas, para um nível máximo de 78,92 m, de acordo com os planos de enchimento, que após selagem atingirá os 79,92 m.**
- **Estabilidade do substrato geológico, para evitar assentamentos que possam causar danos à barreira.**
- **Resistência ao deslizamento entre camadas de selagem da célula.**

As situações de cálculo acima descritas devem ser analisadas para qualquer superfície deslizante que possa ser considerada em todo a Célula. Os cálculos de estabilidade devem ser realizados para as seguintes posições da superfície de deslizamento:

- Superfícies de deslizamento que incluem a massa de resíduos, o terreno de apoio natural e o aterro de fecho.
- Superfícies de deslizamento que ocorrem no interior da massa de resíduos do aterro.
- Superfícies de deslizamento que se desenvolvem através do sistema de impermeabilização.

A Figura 1 mostra exemplos dessas três tipologias de superfície de deslizamento que devem ser consideradas nas análises:

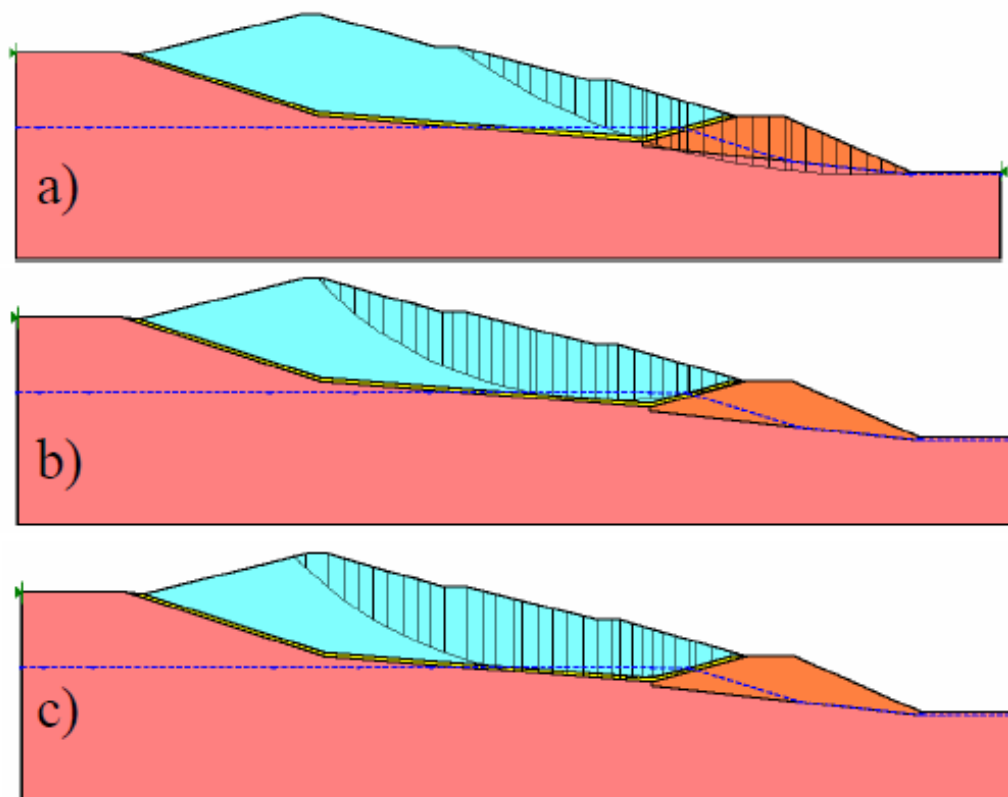


Figura 1 - Superfícies de deslizamento a serem consideradas nos cálculos:

- a) entre o aterro e o terreno de apoio natural*
- b) dentro da massa de resíduos do aterro;*
- c) através do pacote de impermeabilização*

3 Formas de instabilidades em aterros

Em geral, observam-se duas formas de instabilidade nos taludes dos aterros, tipologias que foram estudadas detalhadamente para o caso particular das Células 1 a 7 do Aterro Sanitário do Ecoparque de Palmela.

3.1 Deslizamentos superficiais

São deslizamentos de geometria circular, intersetados na crista do aterro de fecho e pouco extensos em profundidade, que afetam exclusivamente o material de cobertura.

Eles não são problemáticos do ponto de vista da estabilidade global do aterro, pois não atingem grandes massas de material e não costumam atingir os resíduos aterrados. No entanto, são deslizamentos que **afetam a cobertura de selagem** e causam uma **deterioração estética e funcional dos sistemas de drenagem e impermeabilização do aterro**.

3.2 Deslizamentos profundos

São aqueles que atingem grandes massas de material, com superfícies de rotura que penetram nos resíduos e podem até mesmo passar pela fundação do aterro.

Esse tipo de instabilidade é o que realmente preocupa, pois, os deslizamentos superficiais nunca causarão situações de sério risco material, pessoal ou ambiental.

O início mais característico de um movimento desse tipo começa com a formação de uma protuberância no pé do talude, razão pela qual às vezes se confunde entre o início incipiente de um fenômeno de instabilidade e o de um rearranjo do material por fluência plástica.

Na prática, a distinção entre um ou outro fenômeno é verificada instrumentalizando e monitorizando a frente e medindo a aceleração dos movimentos (medidas topográficas frequentes da superfície do terreno e inclinações métricas).

As causas que podem causar um deslizamento do tipo profundo são várias, das quais se destacam:

- Aumento das pressões intersticiais devido à falta de drenagem.
- Projeto ou execução de taludes excessivamente verticais.
- Escavações ao pé do aterro.
- Sobrecargas no topo da célula de descarga.
- Fenómenos desestabilizadores externos (detonação, modificações antrópicas), ou internos (reações físico-químicas, biogás).

4 Estabilidade da massa de resíduos e estruturas associadas

4.1 Objetivo

O objetivo deste estudo é avaliar a estabilidade dos taludes que os resíduos apresentarão uma vez perfilados e ajustados à morfologia final definida neste projeto, com o nível máximo estabelecido em 78,92 m, que após a selagem será de 79,92 m.

Conforme indicado no Projeto de Reengenharia do plano de Enchimento das Células 1 a 7 do Aterro do Ecoparque de Palmela, antes da construção das camadas de selagem, será realizada uma regularização da superfície a selar nos resíduos depositados uma vez reperfilados, com o objetivo de alcançar uma geometria compatível com as características de resistência dos materiais a utilizar e uma superfície estável e uniforme para que, ao instalar as camadas de selagem e cobertura, elas não sejam danificadas e deixem o biogás escapar.

A geometria que define a célula não é considerada, uma vez que a estabilidade do resíduo acima do nível do solo está sendo estudada, pois é ela que afeta o Projeto da Selagem.

A geometria do aterro de resíduos cuja estabilidade é estudada é definida por uma inclinação frontal escalonada, cujo perfil continua a alternar **taludes com inclinação de 2H:1V e uma altura máxima de 8 m com banquetas de 6,00 m de largura.**

Isto resulta numa **inclinação geral ou envolvente máxima de 2,75 H: 1V.**

A figura que se segue mostra a disposição final do que foi explicado nos parágrafos anteriores.

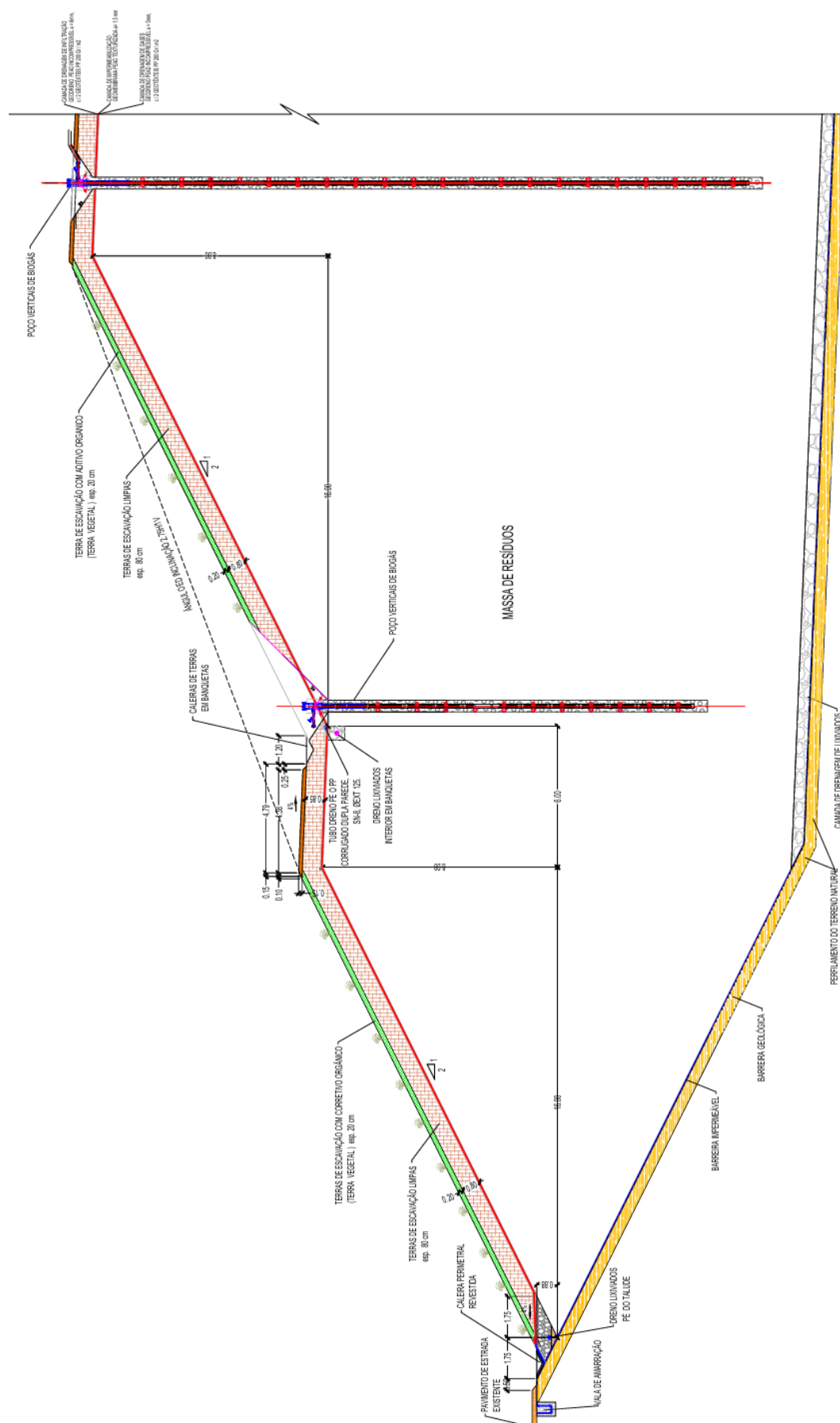


Figura 2 - Secção tipo. Selagem final

Para a realização da análise de estabilidade, foi analisada a topografia final da obra executada, para determinar a geometria dos taludes de forma a estabelecer as secções mais desfavoráveis.

As secções mais desfavoráveis serão aqueles com maior diferença de elevação entre pontos de altura máxima de aterro ou corte, ou seja, altura máxima de enchimento e em que a distância em projeção horizontal entre ambos o ponto é menor.

As secções estudadas serão os mais desfavoráveis, pelo que, se as secções estudadas cumprirem os critérios de estabilidade estabelecidos, iguais aos restantes parâmetros geotécnicos, podemos concluir a viabilidade dos restantes taludes em alturas inferiores à estudada.

Foi realizada uma **análise dos parâmetros geotécnicos** dos materiais que compõem o aterro.

A rotura do maciço rochoso que compões a fundação do aterro em construção é descartada e, portanto, não estudada. Ao apoiar o aterro, formado pela extensão e compactação dos resíduos, sobre um substrato rochoso com resistências muito superior à dos resíduos, todas as superfícies de rotura foram traçadas sobre os resíduos e foram atribuídas as propriedades geomecânicas destes.

4.2 Caracterização geotécnica

As características dos materiais que compõem a seção foram estimadas a partir de trabalhos de campo, e os diferentes estudos que se discutem a seguir:

- **Material base**

Os parâmetros de cálculo estimados são os seguintes:

Peso específico = $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Coesão = $c = 25 \text{ kN/m}^2$

Ângulo de atrito interno = $\phi = 28,5^\circ$

- **Resíduos sólidos urbanos**

Uma das características determinantes na análise de estabilidade de um aterro é o estado das tensões devido ao peso dos materiais que o constituem, pelo que é essencial conhecer o peso específico dos RSU.

Assim como outras propriedades físicas, a gravidade específica varia dependendo da composição, profundidade, grau de compactação e grau de decomposição da mesma.

O grau de compactação do enchimento tem grande influência no valor do peso específico, pois o RSU é composto por materiais com alto índice de vazio e alta compressibilidade. (1996) e Köning e Jessberger (1997) apresentam valores de gravidade específica para diferentes graus de compactação que variam de 3 kN/m^3 a 17 kN/m^3 .

No entanto, tanto o peso do lixo que é depositado sobre ele como o envelhecimento compactado, de modo que, depois de depositado 10-20 m de resíduos sobre ele, atinge um peso específico comparável ao de uma caixa bem compactada.

As características mecânicas a serem adotadas no lixo merecem um comentário:

Quanto à sua resistência, parece, apesar de alguns inconvenientes teóricos, que a resistência do resíduo pode ser assimilada ao critério de Mohr-Coulomb, típico dos solos, pelo que pode ser descrita pela coesão e por um ângulo de atrito (Sánchez Alciturri, 1997, Koning et al. 1997). No entanto, os valores de coesão e ângulo de atrito parecem depender da deformação axial permitida ao resíduo.

Como pode ser visto no gráfico abaixo, inicialmente o efeito de atrito predomina no comportamento resistente do material. À medida que o deslocamento relativo aumenta, os ângulos de atrito tendem a se estabilizar. Portanto, a coesão assume importância na resistência ao cisalhamento do material, especialmente para valores de deformação axial acima de 20%.

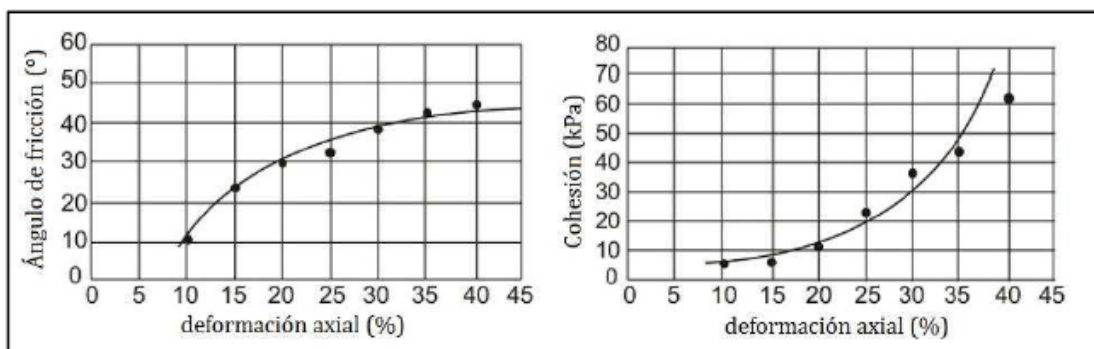


Figura 3 - Parâmetros de resistência em função de deformações (Grisolia et al., 1995).

Köning e Jessberger (1997) realizaram testes em resíduos de diferentes idades 9 meses e 10 anos, segundo os autores, não há evidências claras de que a resistência tenha sido afetada pelas idades da amostra. Além disso, acrescentam que o valor-limite para o ângulo de atrito é geralmente mobilizado para deformações axiais inferiores a 20%, não sendo observados valores-limite de coesão.

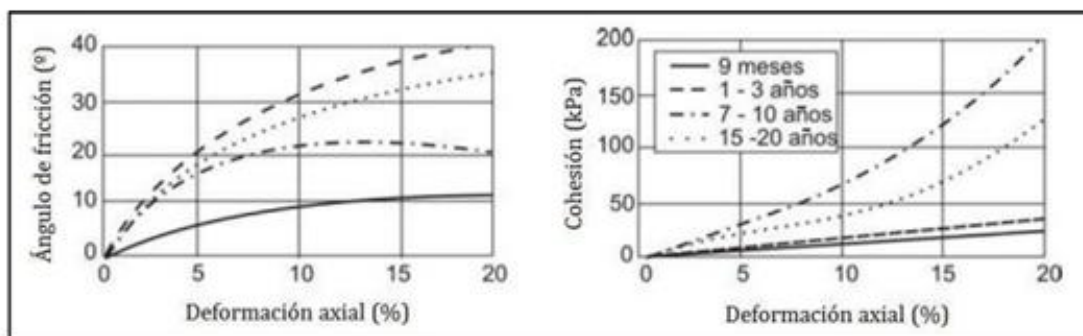


Figura 4 - Mobilização de parâmetros de resistência a RSU de diferentes idades a partir de testes triaxiais (Köning & Jessberger, 1997).

Sanchez-Alciturri et al. (1993) construíram um gráfico no qual recolheram várias retro-análises e estudos laboratoriais, embora haja uma grande dispersão entre todos os valores recolhidos, existem várias tendências:

- Os resultados laboratoriais geralmente indicam que uma resistência significativa ao atrito é mobilizada, com a maioria dos valores na faixa de $\Phi = 25-35^\circ$. Por outro lado, os valores de coesão são variáveis, embora sejam geralmente inferiores a 30kPa.
- As linhas correspondentes aos estudos de campo convergem para valores de Φ superiores a 15° .
- Nesta zona ($\Phi > 15^\circ$) as linhas correspondentes aos estudos de campo coincidem com o limite inferior dos resultados dos ensaios laboratoriais.

Estas tendências são apresentadas na figura 5.

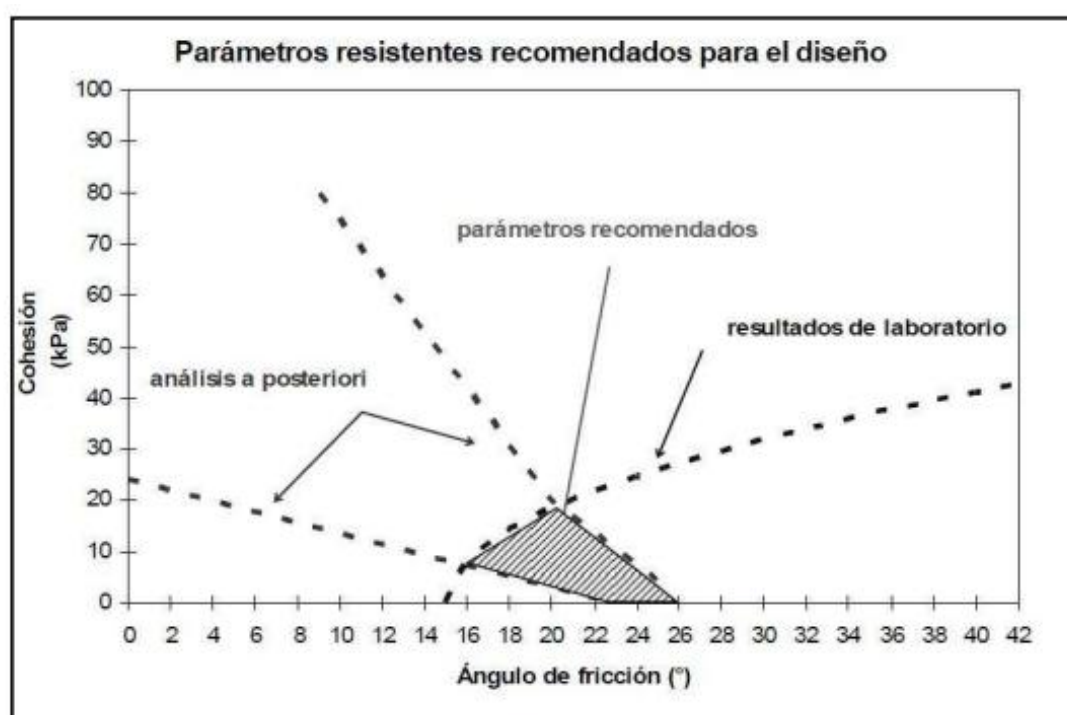


Figura 5 - Valores recomendados por Sánchez Alciturri et al, (1993).

Experiências em aterros, onde os resíduos brutos são despejados sem compactação, mostram que inclinações da ordem 2H:1V são perfeitamente estáveis, o que significaria uma resistência ao cisalhamento cujo valor mínimo seria:

$$\tan \Phi = V/H = 1/2; \Phi = 26,5^\circ$$

Ao analisar a totalidade do aterro, na sua situação mais desfavorável, uma vez enchido, o perfil de densidade dos resíduos variará com a profundidade. Como se consolidou por mais tempo, os resíduos mais baixos terão uma densidade maior do que as camadas superiores. Assim, foram adotados os seguintes valores para o cálculo, do ponto de vista conservador e de segurança:

Resíduos existentes

Peso específico = $\gamma = 8,5 \text{ kN/m}^3$

Coesão = $c = 7 \text{ kN/m}^2$

Ângulo de atrito interno = $\Phi = 23^\circ$

Resíduos novos

Peso específico = $\gamma = 8,5 \text{ kN/m}^3$

Coesão = $c = 7 \text{ kN/m}^2$

Ângulo de atrito interno = $\Phi = 23^\circ$

No que diz respeito à por opressão, para verificar a sensibilidade da estabilidade do talude no caso de presença de água, assume-se que os resíduos – apesar da existência de extração de lixiviados, que é realizada no interior do aterro – podem encontrar-se saturados. Isto pode afetar apenas a parte inferior do aterro de resíduos, pois o sistema de impermeabilização impede o contato com o terreno natural ou aterro de fecho.

- Terra cobertura

Os parâmetros de cálculo estimados são os seguintes:

Peso específico = $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$

Peso específico saturado = $\gamma_{\text{sat}} = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Coesão = $c = 5 \text{ kN/m}^2$

Ângulo de atrito interno = $\Phi = 27^\circ$ (Terra cobertura-geocomposto drenante)

Em resumo, os valores adotados para o cálculo são:

MATERIAL	Peso Específico γ (kN/m^3)	Peso Específico saturado γ_{sat} (kN/m^3)	Ângulo de atrito interno Φ (graus)	Coesão c (kN/m^2)
Material base	19	19	28,5 °	25
R.S.U. existentes	8,5	8,5	23	7
R.S.U. novos	8,5	8,5	23	7
Terra cobertura	18	19	27	5

4.3 Secções de cálculo

A estabilidade da frente da célula de aterro será analisada numa situação de preenchimento até ao nível máximo e numa situação em que o aterro é preenchido e selado, **com o nível máximo estabelecido em 78,92 m, que após a selagem será de 79,92 m.**

O estudo de estabilidade será realizado em três secções correspondentes a perfis que cortam perpendicularmente à frente do talude da unidade de confinamento, definida pelos pontos:

Coordenadas (Huso 30 ETRS)	X	Y	Z
SECÇÃO 1			
Ponto inferior talude	-77.140,0037	-117.028,6254	42,09
Ponto superior talude	-73.372,1269	-117.052,0483	76,81
SECÇÃO 2			
Ponto inferior talude	-73.364,1866	-116.601,7534	36,00
Ponto superior talude	--73.416,4768	-116.911,0071	77,88
SECÇÃO 3			
Ponto inferior talude	-73.606,4916	-117.083,6958	37,52
Ponto superior talude	-73.380,9280	-117.022,4641	77,44

As secções mais desfavoráveis serão aqueles com maior diferença de elevação entre pontos de altura máxima de aterro ou corte, ou seja, altura máxima de enchimento e em que a distância em projeção horizontal entre ambos o ponto é menor. Portanto, se as secções estudadas cumprirem os critérios de estabilidade estabelecidos, iguais aos restantes parâmetros geotécnicos, podemos concluir a viabilidade dos restantes taludes em alturas inferiores à estudada.

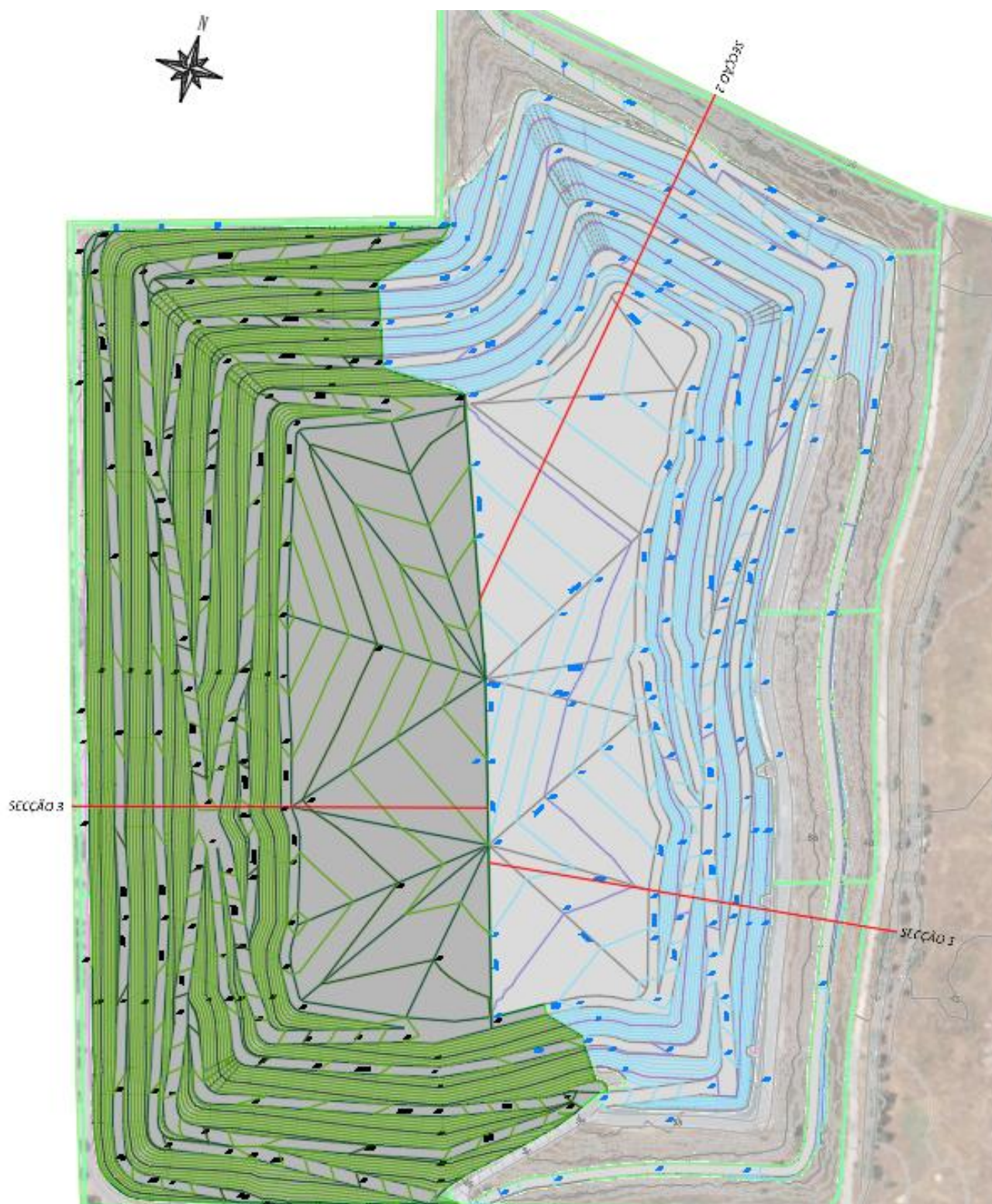


Figura 5 - Planta perfilamento de resíduos. Secções de cálculo.

4.3.1 Secção 1

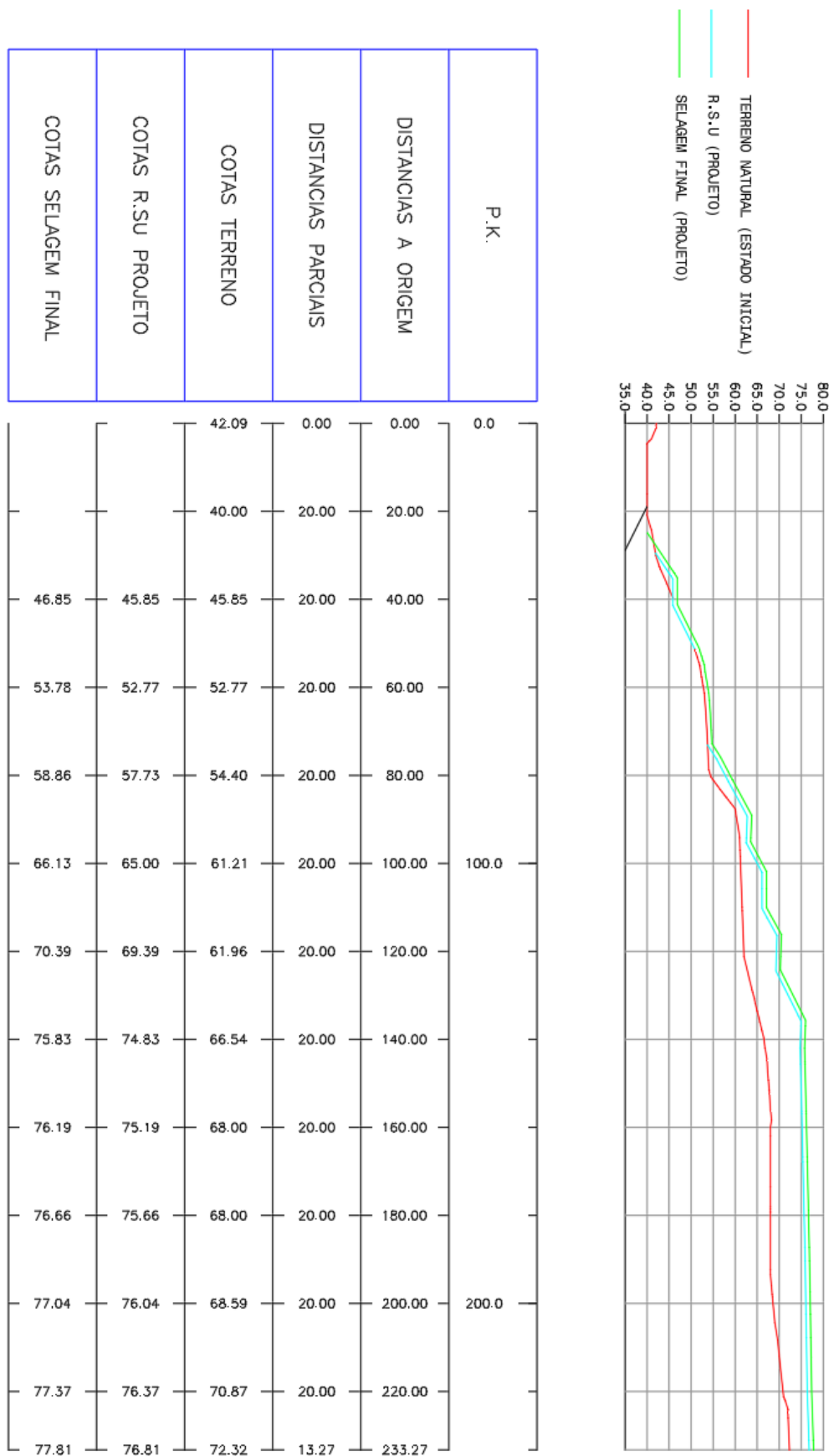


Figura 6 -Perfil transversal. Secção 1

4.3.2 Secção 2

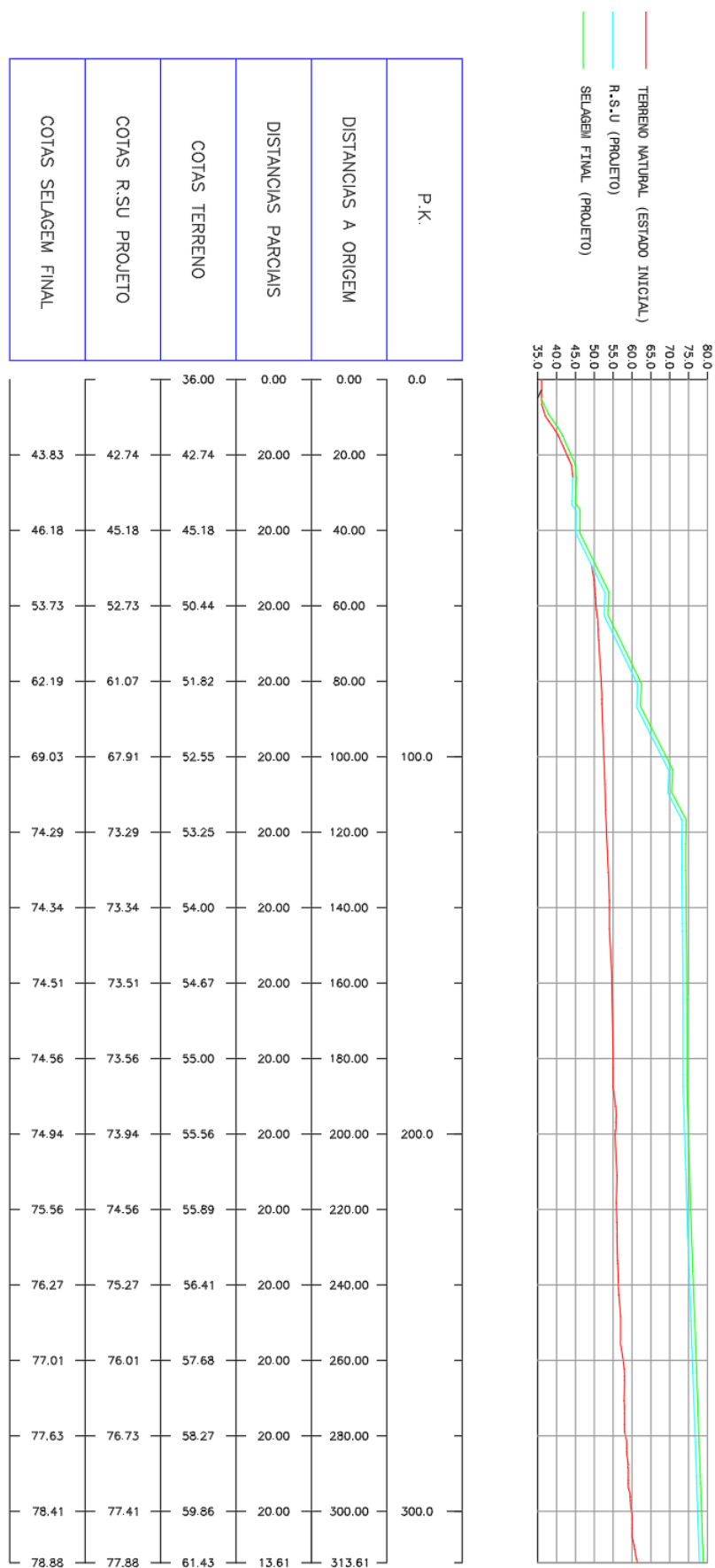


Figura 7 -Perfil transversal. Secção 2

4.3.3 Secção 3

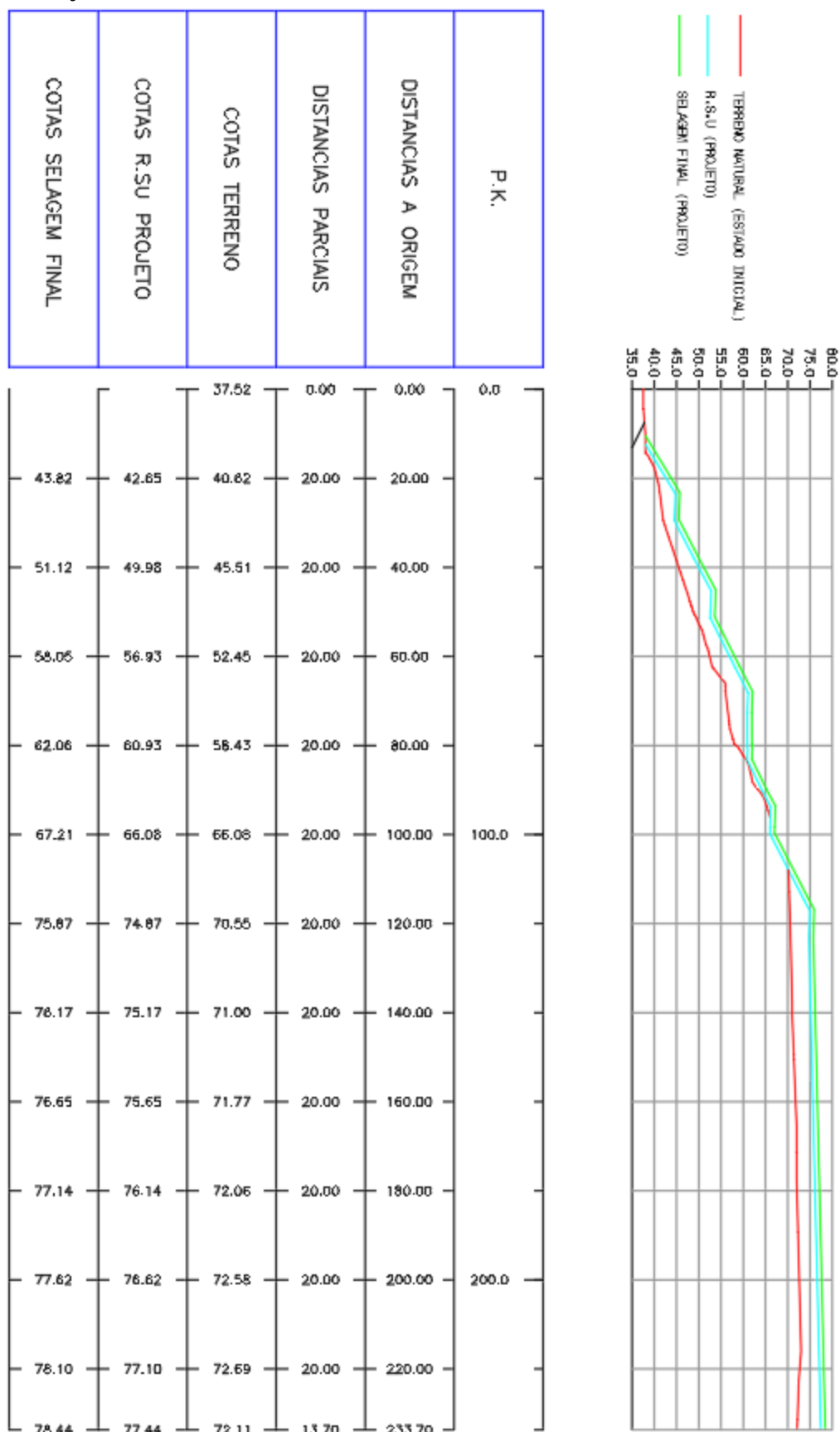


Figura 8 -Perfil transversal. Secção 3

4.4 Método de cálculo

Uma vez estabelecidos os parâmetros geométricos e geotécnicos, **procedeu-se à análise de estabilidade, utilizando o Método Bishop**, que considera as seguintes hipóteses:

- Superfície de falha circular.
- Análise bidimensional, correspondente a um estado de deformação plana.
- Lei de resistência de Mohr-Coulomb.
- A resistência ao cisalhamento é totalmente mobilizada em todos os pontos da superfície de deslizamento ao mesmo tempo.
- A análise foi realizada em condições perfeitamente drenadas (nível freático abaixo do corpo do aterro).

Uma superfície de rotura circular é assumida e o coeficiente de segurança correspondente a uma determinada linha de rotura **é calculado estabelecendo a relação** dos momentos existentes (em relação ao centro do círculo de deslizamento), entre os **momentos instabilizadores e de estabilização**.

O referido estudo foi realizado utilizando a aplicação informática SLIDE 5.0, software de análise de estabilidade de taludes que fornece o fator de segurança mais baixo do aterro em análise, ou seja, o fator de segurança da rotura menos estável e, portanto, da rotura mais provável, utilizando o já apresentado método de Bishop para o caso em questão.

Ao estabelecer as condições de equilíbrio limite, o SLIDE oferece a possibilidade de modelar diferentes tipos de solos e materiais, utilizando parâmetros de entrada determinísticos ou probabilísticos.

O programa realiza o cálculo por meio de análise probabilística, permitindo que por distribuições estatísticas sejam atribuídas a quase todos os parâmetros de entrada, incluindo propriedades do material, cargas e lençol freático. A probabilidade de falha é calculada e fornece uma medida objetiva do risco de falha associado à inclinação do projeto. A sensibilidade da análise permite determinar o efeito de variáveis individuais no fator de segurança do talude.

4.5 Secção de cálculo 1

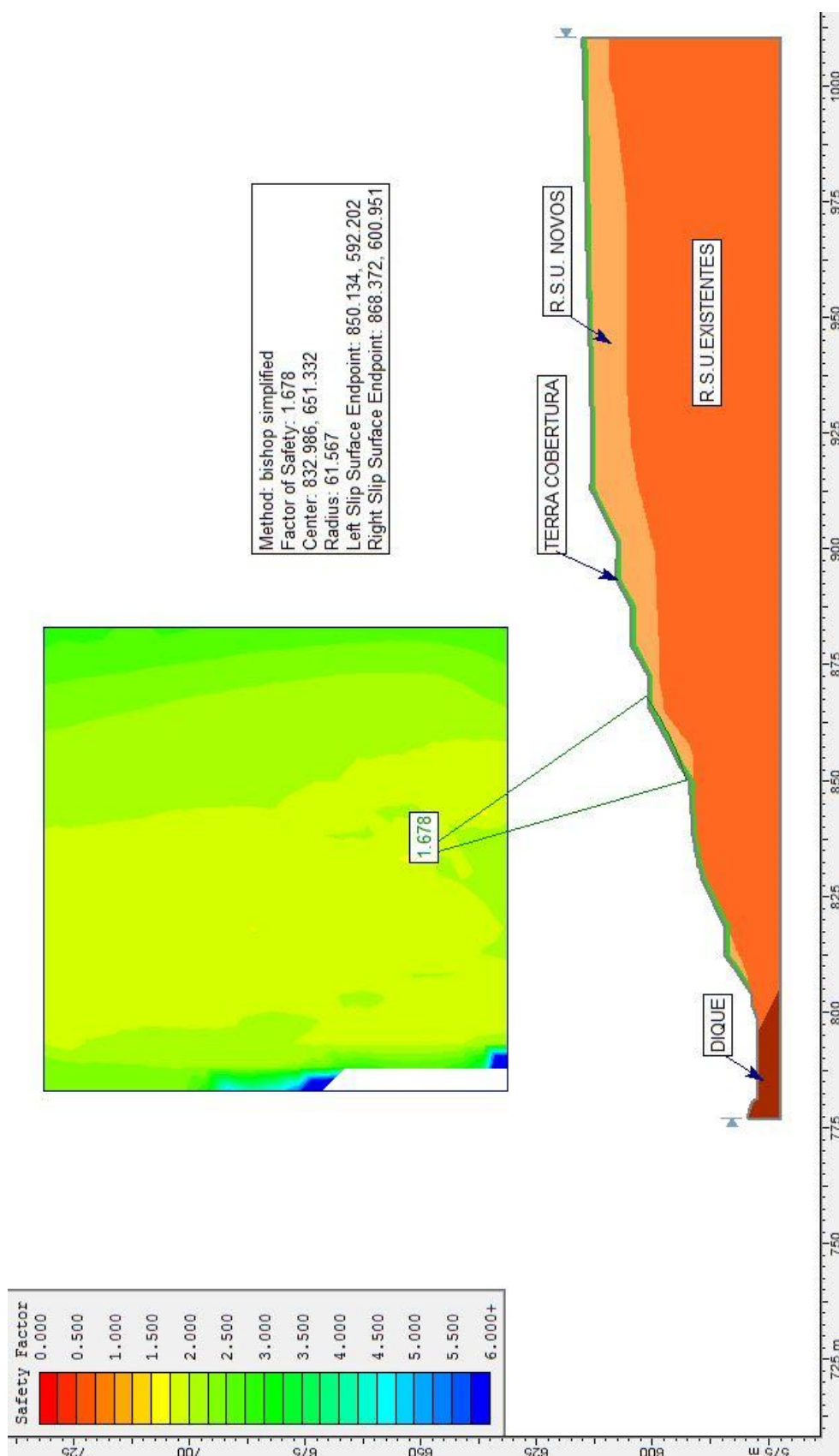


Figura 9 -Gráfico de Círculo de Rutura e Coeficiente de Segurança na Secção de Cálculo 1.

Informações de análise de slides

Nome do documento

Nome do arquivo: Secção 1_Proj_Reengenharia_Palmela

Configurações do projeto

Título do Projeto: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Direção da falha: da direita para a esquerda

Unidades de medida: Unidades SI

Peso da unidade do fluido poroso: 9,81 kN/m³

Método das águas subterrâneas: Superfícies de água

Saída de dados: Standard

Calcular o excesso de pressão dos poros: Desligado

Permitir Ru com superfícies ou grades de água: Desligado

Números aleatórios: Pseudo-random Seed

Semente de número aleatório: 10116

Método de geração de números aleatórios: Park e Miller v.3

Métodos de Análise

Métodos de Análise utilizados:

Bishop simplificado

Número de fatias: 25

Tolerância: 0.005

Número máximo de iterações: 50

Opções do Surface

Tipo de superfície: circular

Incremento de raio: 10

Elevação mínima: Não definida

Superfícies compostas: Desativado

Curvatura Inversa: Criar Fenda de Tensão

Propriedades do material

Material: Dique

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 19 kN/m³

Coesão: 25 kPa

Ângulo de atrito: 28,5 graus

Superfície da água: Nenhum

Material: R.S.U. existentes

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 8,5 kN/m³

Coesão: 7 kPa

Ângulo de atrito: 23 graus

Superfície da água: Nenhum

Material: R.S.U. novos

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 8,5 kN/m³

Coesão: 7 kPa

Ângulo de atrito: 23 graus

Superfície da água: Nenhum

Material: Terra cobertura

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 19 kN/m³

Coesão: 5 kPa

Ângulo de atrito: 27 graus

Superfície da água: Nenhum

Mínimos Globais

Método: bishop simplificado

FS: 1.678040

Centro: 832.986, 651.332

Raio: 61.567

Ponto de extremidade de superfície de deslizamento esquerdo: 850.134, 592.202

Ponto de extremidade de superfície de deslizamento direito: 868.372, 600.951

Momento de Resistência = 17366.1 kN-m

Momento de condução= 10349 kN-m

Fator de segurança = 1,678 > 1,50

Estabilidade do declive ACEITÁVEL

4.6 Secção de cálculo 2

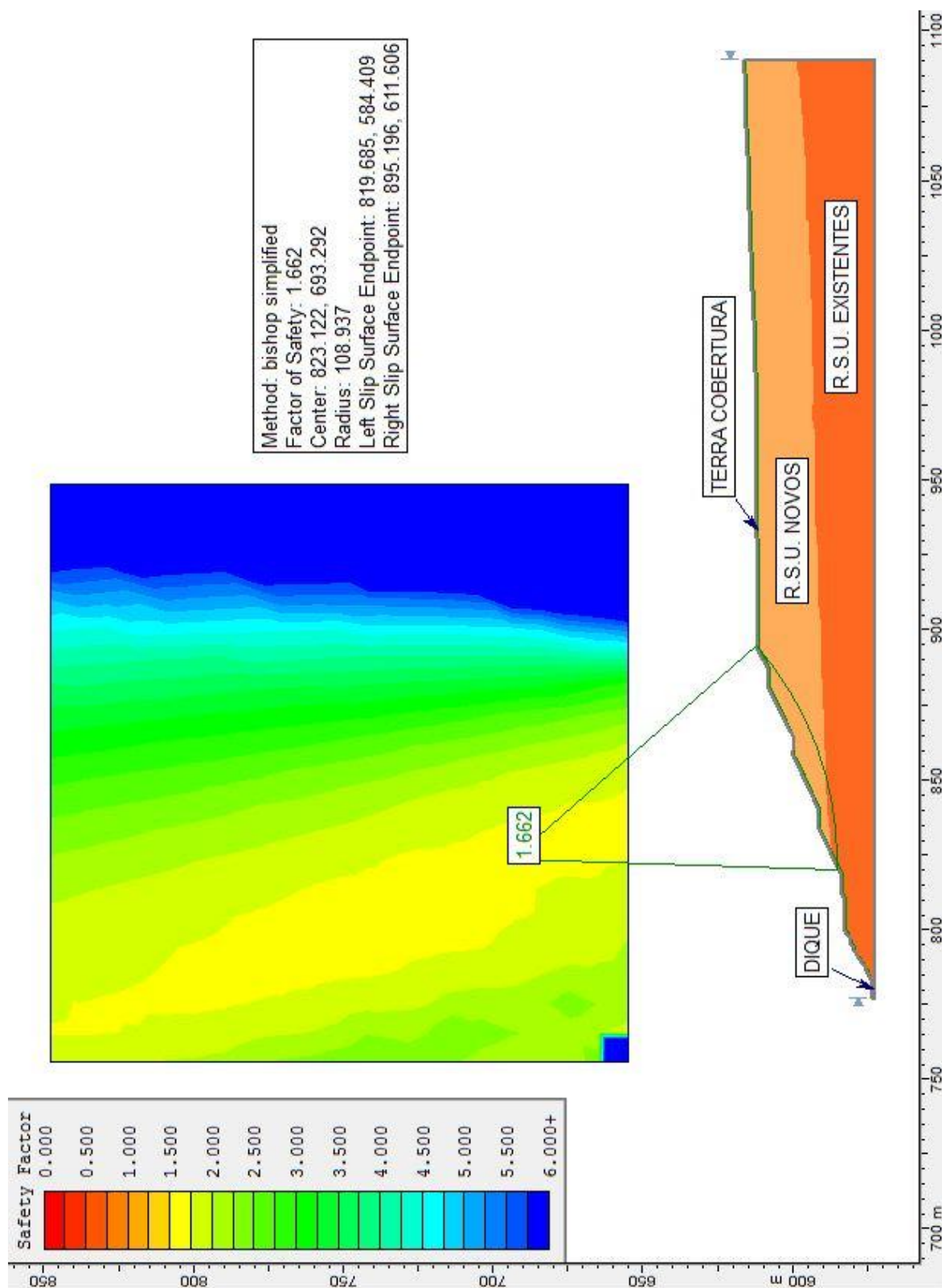


Figura 10 -Gráfico de Círculo de Rutura e Coeficiente de Segurança na Secção de Cálculo 2.

Informações de análise de slides

Nome do documento

Nome do arquivo: Secção 2_Proj_Reengenharia_Palmela

Configurações do projeto

Título do Projeto: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Direção da falha: da direita para a esquerda

Unidades de medida: Unidades SI

Peso da unidade do fluido poroso: 9,81 kN/m³

Método das águas subterrâneas: Superfícies de água

Saída de dados: Standard

Calcular o excesso de pressão dos poros: Desligado

Permitir Ru com superfícies ou grades de água: Desligado

Números aleatórios: Pseudo-random Seed

Semente de número aleatório: 10116

Método de geração de números aleatórios: Park e Miller v.3

Métodos de Análise

Métodos de Análise utilizados:

Bishop simplificado

Número de fatias: 25

Tolerância: 0.005

Número máximo de iterações: 50

Opções do Surface

Tipo de superfície: circular

Incremento de raio: 10

Elevação mínima: Não definida

Superfícies compostas: Desativado

Curvatura Inversa: Criar Fenda de Tensão

Propriedades do material

Material: Dique

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 19 kN/m³

Coesão: 25 kPa

Ângulo de atrito: 28,5 graus

Superfície da água: Nenhum

Material: R.S.U. existentes

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 8,5 kN/m³

Coesão: 7 kPa

Ângulo de atrito: 23 graus

Superfície da água: Nenhum

Material: R.S.U. novos

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 8,5 kN/m³

Coesão: 7 kPa

Ângulo de atrito: 23 graus

Superfície da água: Nenhum

Material: Terra cobertura

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 19 kN/m³

Coesão: 5 kPa

Ângulo de atrito: 27 graus

Superfície da água: Nenhum

Mínimos Globais

Método: bishop simplificado

FS: 1.662450

Centro: 823.122, 693.292

Raio: 108.937

Ponto de extremidade de superfície de deslizamento esquerdo: 819.685, 584.409

Ponto de extremidade de superfície de deslizamento direito: 895.196, 611.606

Momento de Resistência = 270940 kN-m

Momento de condução= 162976 kN-m

Fator de segurança = 1,662 > 1,50

Estabilidade do declive ACEITÁVEL

4.7 Secção de cálculo 3

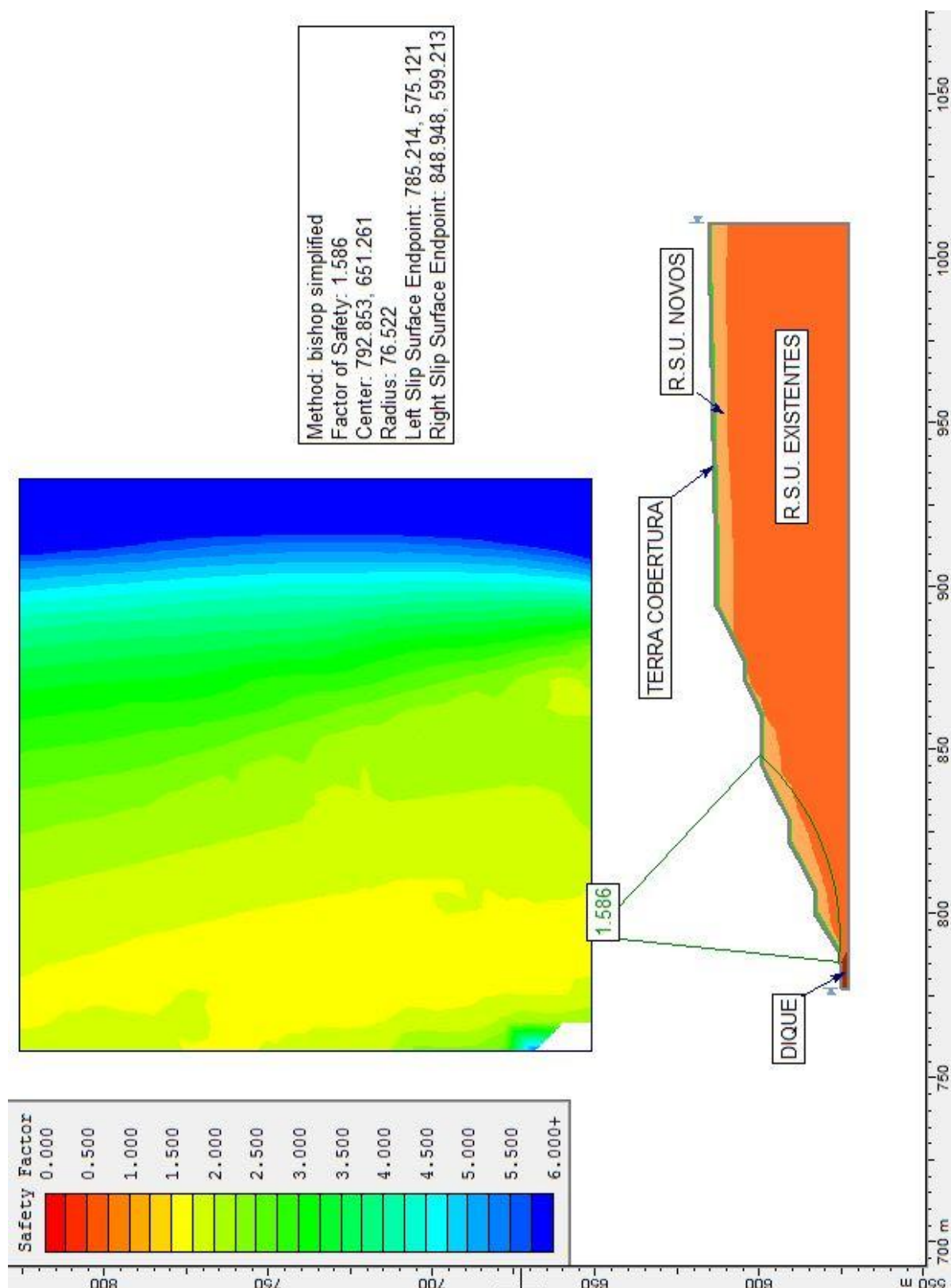


Figura 11 -Gráfico de Círculo de Rutura e Coeficiente de Segurança na Seção de Cálculo 3.

Informações de análise de slides

Nome do documento

Nome do arquivo: Secção 3_Proj_Reengenharia_Palmela

Configurações do projeto

Título do Projeto: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Direção da falha: da direita para a esquerda

Unidades de medida: Unidades SI

Peso da unidade do fluido poroso: 9,81 kN/m³

Método das águas subterrâneas: Superfícies de água

Saída de dados: Standard

Calcular o excesso de pressão dos poros: Desligado

Permitir Ru com superfícies ou grades de água: Desligado

Números aleatórios: Pseudo-random Seed

Semente de número aleatório: 10116

Método de geração de números aleatórios: Park e Miller v.3

Métodos de Análise

Métodos de Análise utilizados:

Bishop simplificado

Número de fatias: 25

Tolerância: 0.005

Número máximo de iterações: 50

Opções do Surface

Tipo de superfície: circular

Incremento de raio: 10

Elevação mínima: Não definida

Superfícies compostas: Desativado

Curvatura Inversa: Criar Fenda de Tensão

Propriedades do material

Material: Dique

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 19 kN/m³

Coesão: 25 kPa

Ângulo de atrito: 28,5 graus

Superfície da água: Nenhum

Material: R.S.U. existentes

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 8,5 kN/m³

Coesão: 7 kPa

Ângulo de atrito: 23 graus

Superfície da água: Nenhum

Material: R.S.U. novos

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 8,5 kN/m³

Coesão: 7 kPa

Ângulo de atrito: 23 graus

Superfície da água: Nenhum

Material: Terra cobertura

Tipo de força: Mohr-Coulomb

Peso Unitário: 19 kN/m³

Coesão: 5 kPa

Ângulo de atrito: 27 graus

Superfície da água: Nenhum

Mínimos Globais

Método: bishop simplificado

FS: 1.586040

Centro: 792.853, 651.261

Raio: 76.522

Ponto de extremidade de superfície de deslizamento esquerdo: 785.214, 575.121

Ponto de extremidade de superfície de deslizamento direito: 848.948, 599.213

Momento de Resistência = 2019.34 kN-m

Momento de condução= 1339.03 kN-m

Fator de segurança = 1,586 > 1,50

Estabilidade do declive ACEITÁVEL

4.8 Conclusões

Consideramos situações de baixo risco em que uma potencial instabilidade causaria exclusivamente danos materiais sem consequências ambientais significativas ou para a segurança das pessoas.

Assim, no nosso caso em estudo, estaríamos perante um Aterro de Resíduos Não Perigosos com baixo risco, pelo que o coeficiente de segurança é de 1,40.

Para o presente estudo de estabilidade, para estar do lado da segurança, foi considerado um fator de segurança de 1,5.

HIPÓTESE	Coeficiente de Segurança Mínimo Encontrado (FS)	FS mínimo
Secção 1	1,678	1,50
Secção 2	1,662	1,50
Secção 3	1,586	1,50

Como pode ser observado nos pontos anteriores, o **fator mínimo de segurança obtido para o círculo de rotura na situação mais desfavorável da massa de resíduos corresponde à secção 3 e tem um valor de 1,586.**

Tendo obtido um fator de segurança de 1,586, superior ao fator de segurança mínimo previamente estabelecido, para todas as hipóteses estudadas, podemos dizer que as **Células 1 a 7 do Aterro do Ecoparque de Palmela são estáveis face ao deslizamento.**

5 Estabilidade do substrato geológico

O aterro está localizado e projetado para evitar a contaminação do solo, águas subterrâneas ou superficiais e garantir a coleta eficiente de lixiviado para tratamento.

A proteção do solo e das águas subterrâneas é conseguida pela baixa permeabilidade do terreno natural e pela combinação de uma barreira geológica artificial e um revestimento de impermeabilização artificial.

Neste ponto vamos estudar a estabilidade do substrato geológico, para evitar recalques que possam causar danos à barreira quando o vaso estiver cheio.

No ponto anterior "Estabilidade da massa de resíduos e estruturas associadas", avaliou-se a estabilidade dos taludes que os resíduos apresentariam uma vez perfilados e ajustados à morfologia final definida neste projeto, para um nível máximo de 78,92 m, de acordo com os planos de enchimento, que após selagem atingirá os 79,92 m.

Como se pode ver no ponto 4.7: "Secção de cálculo 3. Estabilidade da massa de resíduos", o círculo de rotura na situação mais desfavorável do conjunto de resíduos-dique o fator de segurança obtido é de 1.586, portanto as Células 1 a 7 do Aterro do Ecoparque de Palmela são estáveis face ao deslizamento. Como se pode observar, este círculo não atinge o substrato rochoso em nenhum ponto, o que como já indicamos não ocorreria, portanto, **o deslizamento da massa de resíduos não afetaria a barreira de impermeabilização.**

Por outro lado, estudar os recalques que ocorreriam no substrato rochoso uma vez concluído o enchimento da poça até o seu nível final, e considerando os seguintes aspetos:

O substrato sobre o qual repousa o aterro é terreno natural, sendo este homogêneo e não apresentando descontinuidades, **por outro lado, os resíduos nele depositados serão distribuídos uniformemente e em nenhum caso haverá carga específica que possa produzir recalques diferenciados, o que pode danificar a barreira.**

6 Resistência ao deslizamento das camadas de selagem.

6.1 Descrição das camadas de selagem

As camadas de selagem definidas em " Projeto de Reengenharia do Plano de Enchimento das Células 1 a 7, do Aterro do Ecoparque de Palmela." está descrito abaixo, (nesta ordem do interior para o exterior):

- **Regularização da superfície da célula de confinamento após enchimento**

Antes da construção das camadas de selagem, será realizada uma regularização da superfície, com o objetivo de que esta seja estável e uniforme e com as inclinações adequadas.

Essa regularização será feita por meio de retroescavadora e motoniveladora, e será espalhada uma camada de solo de espessura média de 20 cm.

- **Camada de drenagem de gases**

É a camada inferior da selagem. Tem como missão captar os gases que saem da massa de resíduos e canalizá-los para a parte superior dos poços coletores.

Quando executado nas vertentes exteriores da massa de resíduos, serve também para recolher as exsurgências de lixiviado que possam surgir desses taludes, canalizando-as para a camada de recolha e drenagem de lixiviado.

É projetada colocando um geodreno sobre toda a superfície do talude e coroamento.

- **Barreira de impermeabilização artificial**

Uma camada de impermeabilização é instalada sobre a camada de drenagem de gases, constituída por uma geomembrana de impermeabilização em PEAD de 1,5 mm de espessura. Esta camada atua como uma barreira impermeável, impedindo a saída de gases da massa de resíduos e a entrada de água da chuva, reduzindo a quantidade de lixiviado gerado.

A referida camada é construída na superfície de coroamento, e nos taludes externos do enchimento. Estende-se até se conectar com a barreira impermeabilizante artificial, dando continuidade a esta, criando assim uma superfície impermeável que confina por completo a massa de resíduos.

- **Camada de drenagem de águas pluviais**

É a terceira camada do Sistema de selagem. Constituída por um geodreno sintético sobre toda a superfície do talude e coroamento.

A sua principal função é conduzir as águas de infiltração que cruzam a cobertura superior do solo e conduzi-las para os drenos localizados ao longo de todos os caminhos de pé de talude, encaminhando essas águas pluviais até aos seus canais naturais de escoamento.

- **Cobertura final com material terroso**

O objetivo desta camada é receber a cobertura vegetal, as quais servirão de suporte, minimização da erosão superficial e ajuda na recuperação da paisagem da área.

Projeta-se uma camada de 80 centímetros de terra limpa, oriunda de escavação, e sobre ela 20 cm de terra vegetal ou fertilizada.

Como alternativa ao solo superficial, sempre escasso, recomenda-se a mistura do composto com as camadas superiores do solo de escavação, até se obter uma estrutura e composição assimilável ao solo superficial, o que permite o desenvolvimento de plantas.

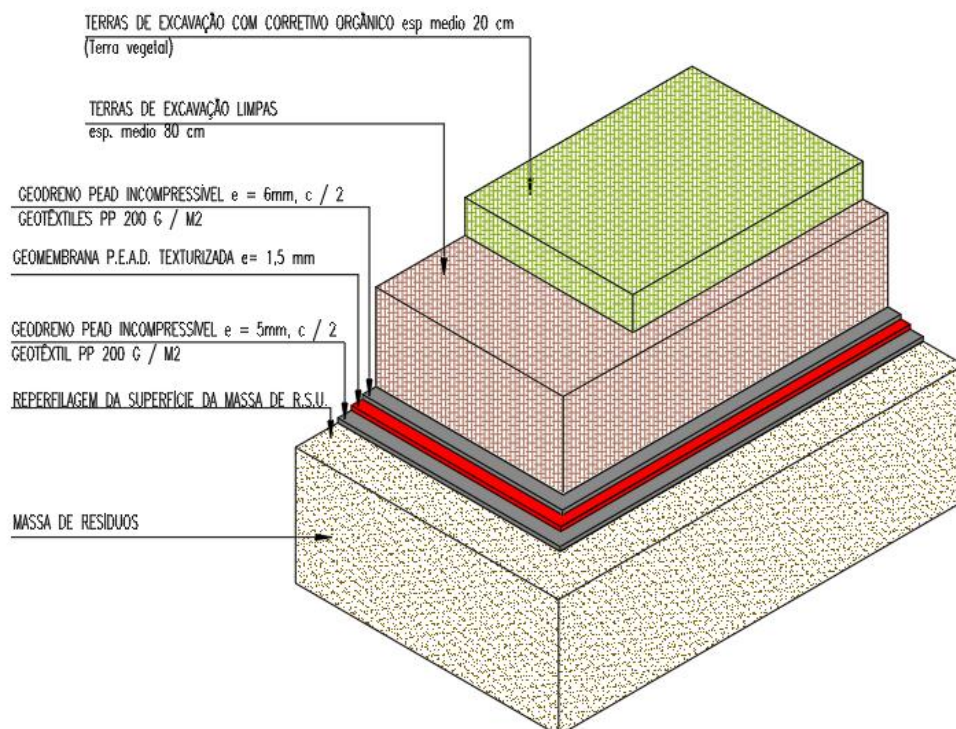


Figura 12 -Esquema camadas de Selagem

6.2 Características geotécnicas

Os coeficientes de atrito entre as diferentes camadas que compõem de selagem do aterro podem ser obtidos na tabela a seguir:

Ângulo de atrito f	Argila	Arena	Cascalho	Agulha Geotêxtil	Geotêxtil Soldada a calor	PEAD Texturizada	PEAD liso	Geocompósito impermeável	Resíduos
Argila	18								
Arena	22	26							
Cascalho	24	30	35						
Agulha Geotêxtil	28	28	27	20					
Geotêxtil soldado a calor	23	21	21	20	17				
PEAD texturado	21	24	35	27	21	30			
PEAD liso	15	18	18	9	8	24	15		
Geocomposto impermeável	30	30	28	22	20	30	16	25	
Resíduos	30	30	32	25	19	30	12	25	35

Tabla 2 de la Norma UNE 104425:2001

No caso do aterro em estudo, os coeficientes de atrito entre as diferentes camadas seriam:

	Ângulo de atrito
Terra regularização – geodreno	28
Geodreno - PEAD texturizada	27
PEAD texturada - geodreno	27
geodreno - terra cobertura	28

As camadas de vedação da selagem, são as seguintes:

	Peso
PEAD texturizada e=1,5mm	1,4 Kg/m ²
Geodreno PP e=6mm c/2 geotextiles PP 200gr/m2	1,1 Kg/m2
Terra cobertura	1900 Kg/ m ³

6.3 Secção de cálculo

Será analisada a estabilidade das camadas de selagem em situação de enchimento e selagem do aterro, sendo a cota máxima de coroamento estabelecida em 79,92 m.

A plataforma superior de selagem apresenta uma inclinação regular e muito suave, entre 2% e 7%, pelo que não é necessário realizar uma análise de estabilidade.

De acordo com o indicado no Projeto de Reengenharia do Plano de Enchimento das Células 1 a 7, do Aterro do Ecoparque de Palmela, o perfil será regularizado de modo a que os resíduos apresentem **taludes com inclinação 2H:1V e uma altura de 8 m, entre os quais serão instaladas banquetas com 6,00 m de largura.**

Isto resulta numa **inclinação geral** ou envolvente máxima de 2,75 H: 1V.

A secção a estudar, para nos colocarmos do lado da segurança, será aquela que se encontra entre as banquetas; ou seja, teremos uma altura de 8 m com inclinação 2H:1V, correspondente a 26,60°.

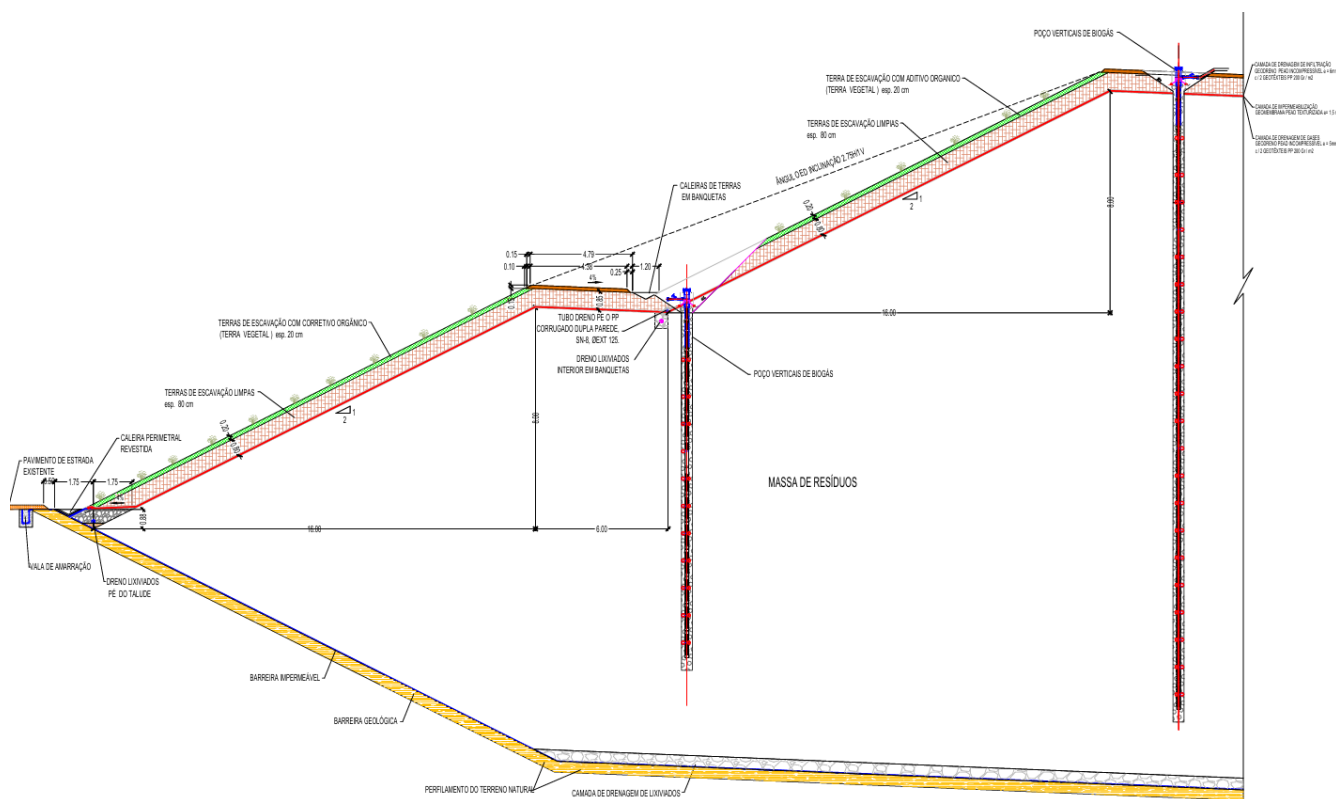


Figura 13 - Secção tipo. Selagem final

6.4 Método de cálculo

O estudo de estabilidade local entre as diferentes camadas que compõem el selagem da Célula do Aterro Sanitário de Viana do Castelo será realizado aplicando-se a metodologia prevista na norma UNE 104425:2001.

A formulação utilizada para determinar o risco de deslizamento entre as diferentes camadas é a seguinte:

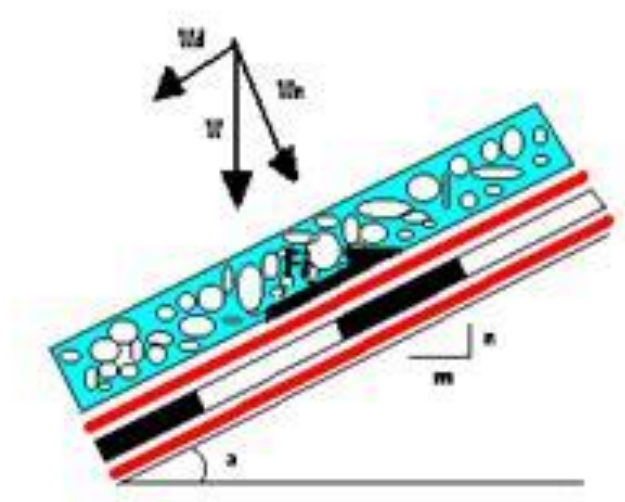


Figura 14 - Diagrama das forças que atuam no talude

Sendo,

W, o peso no sistema de impermeabilização e Wd e Wn, a decomposição do peso nas componentes tangente e normal ao plano inclinado:

$$W_d = W \sin \beta$$

$$W_n = W \cos \beta$$

A força de atrito é $F_i = W_n \tan \Phi$, onde Φ é o ângulo de atrito interno dos materiais e a força que faz a geomembrana deslizar, $R = F_i - W_d$

Assim, obtém-se uma resultante, que define a estabilidade do sistema:

- Se $R > 0$ Sistema estável
- Se $R < 0$ Sistema instável,

sendo o fator de segurança $CF = F_i / W_d$

6.5 Cálculo dos coeficientes de segurança em camadas de selagem

Para efetuar o cálculo, foram levados em consideração o seguinte:

- Considera-se o peso da cobertura e da camada drenante colocada na berma. Estas camadas contribuem para aumentar o peso de ancoragem e, assim, melhora-se a estabilidade ao deslizamento.
- Não se considera, para efeito estabilizador, a inclinação mais acentuada do coroamento da banqueteta.

Aplicando as características geotécnicas, ver no ponto 6.2. do presente estudo, verifica-se a estabilidade do deslizamento entre as diferentes camadas.

A partir dos parâmetros indicados anteriormente, **foram efetuados os cálculos da análise da estabilidade de deslizamento entre as diferentes camadas de selagem para cada um dos taludes em estudo. Uma tabela de dados e resultados é preparada para obter o coeficiente de segurança para cada hipótese, conforme mostrado abaixo:**

6.5.1 Estabilidade ao deslizamento: geocomposto drenante – terra de regularização

MATERIAIS	Densidade (Kg/m ³)	Espessura (m)	Altura da inclinação (m)	Ângulo de inclinação β°	Longitude (m)	W1 (Kg)
Terra cobertura	1.900,00	1,00	8,00	26,60	17,87	33.946,83
Geodreno	1,10		8,00	26,60	17,87	19,65
PEAD texturada e=1,5mm	1,40		8,00	26,60	17,87	25,01
Geodreno	1,10		8,00	26,60	17,87	19,65

CARGAS	Densidade (Kg/m ³)	Espessura (m)	Longitude (m)	W2 (Kg)
Banquetas (terra cobertura)	1.900,00	1,00	6,00	9.690,00

INCLINAÇÃO	W1 (Kg)	ângulo Inclinação β°	W2 (Kg)	Wn (Kg)	Wd (Kg)	Ângulo de atrito (Φ°)	Fi	R	CF
Geodreno - Terra regularização	34.011,15	26,60	9.690,00	40.101,31	15.228,80	28,00	21.322,19	6.093,39	1,40

6.5.2 Estabilidade ao deslizamento: lâmina PEAD e=1,5 mm – geocomposto drenante

MATERIAIS	Densidade (Kg/m ³)	Espessura (m)	Altura da inclinação (m)	Ângulo de inclinação β°	Longitude (m)	W1 (Kg)
Terra cobertura	1.900,00	1,00	8,00	26,60	17,87	33.946,83
Geodreno	1,10		8,00	26,60	17,87	19,65
PEAD texturada e=1,5mm	1,40		8,00	26,60	17,87	25,01

CARGAS	Densidade (Kg/m ³)	Espessura (m)	Longitude (m)	W2 (Kg)
Banquetas (terra cobertura)	1.900,00	0,85	6,00	9.690,00

INCLINAÇÃO	W1 (Kg)	ângulo Inclinação β°	W2 (Kg)	Wn (Kg)	Wd (Kg)	Ângulo de atrito (Φ°)	Fi	R	CF
Geomembrana PEAD - geodreno	33.991,91	26,60	9.690,00	40.083,64	15.220,00	27,00	20.423,63	5.203,63	1,34

6.5.3 Estabilidade ao deslizamento: geocomposto drenante – lâmina PEAD e=1,5 mm

MATERIAIS	Densidade (Kg/m ³)	Espessura (m)	Altura da inclinação (m)	Ângulo de inclinação β°	Longitude (m)	W1 (Kg)
Terra cobertura	1.900,00	1,00	8,00	26,60	17,87	33.946,83
Geodreno	1,10		9,00	26,60	17,87	19,65

CARGAS	Densidade (Kg/m ³)	Espessura (m)	Longitude (m)	W2 (Kg)
Banquetas (terra cobertura)	1.900,00	0,85	6,00	9.690,00

INCLINAÇÃO	W1 (Kg)	ângulo Inclinação β°	W2 (Kg)	Wn (Kg)	Wd (Kg)	Ângulo de atrito (Φ°)	Fi	R	CF
Geodreno - Geomembrana PEAD	33.966,48	26,60	9.690,00	40.061,27	15.208,80	27,00	20.412,24	5.203,44	1,34

6.5.4 Estabilidade ao deslizamento: terra de cobertura – geocomposto drenante

MATERIAIS	Densidade (Kg/m ³)	Espessura (m)	Altura da inclinação (m)	Ângulo de inclinação β°	Longitude (m)	W1 (Kg)
Terra cobertura	1.900,00	1,00	8,00	26,60	22,33	33.946,83

CARGAS	Densidade (Kg/m ³)	Espessura (m)	Longitude (m)	W2 (Kg)
Banquetas (terra cobertura)	1.900,00	0,85	6,00	9.690,00

INCLINAÇÃO	W1 (Kg)	ângulo Inclinação β°	W2 (Kg)	Wn (Kg)	Wd (Kg)	Ângulo de atrito (Φ°)	Fi	R	CF
Terra cobertura – Geodreno	33.946,83	26,60	9.690,00	40.043,70	15.200,00	27,00	21-291,61	6.091,61	1,40

6.6 Conclusões

Como resumo dos cálculos efetuados anteriormente, anexa-se a tabela a seguir com os coeficientes de segurança obtidos para o deslizamento das diferentes camadas que compõem a selagem da célula em estudo, na seção estudada:

HIPÓTESE	Geodreno - Terra regularização	Geomembrana PEAD - Geodreno	Geodreno - Geomembrana PEAD	Terra cobertura - Geodreno
CF	1,40	1,34	1,34	1,40

A partir dos resultados obtidos para o talude, podemos verificar que o **sistema de selagem definido neste estudo é estável ao deslizamento em taludes 2H/1V, ou mais assentados e uma altura de 8 m.**

Atendendo aos cálculos efetuados, e sempre do lado da segurança, **verificou-se a estabilidade das camadas de selagem entre si de acordo com a metodologia prevista na norma UNE 104425:2001 para as camadas de selagem definidas no Projeto de Reengenharia do Plano de Enchimento das Células 1 a 7, do Aterro do Ecoparque de Palmela.**

Palmela, novembro de 2025

AUTOR DO PROJETO



Ana Isabel Rodríguez Gómez

Colegiado 599

Col. Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Toledo.