

PROJECTO DE AMPLIAÇÃO DO ATERRO DA BRAVAL

PROJECTO DE EXECUÇÃO

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

ADENDA

- SELAGEM DO ATERRO -

C.P.A. - CONSULTORIA E PROJECTOS DE AMBIENTE, LDA

SETEMBRO 2021

PROJECTO DE AMPLIAÇÃO DO ATERRO DA BRAVAL

PROJECTO DE EXECUÇÃO

ADENDA

- SELAGEM DO ATERRO -

CONTEÚDO GERAL DO PROJECTO DE EXECUÇÃO

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

ESPECIFICAÇÕES

PEÇAS DESENHADAS

MEDIÇÕES

PROJECTO DE AMPLIAÇÃO DO ATERRO DA BRAVAL

EQUIPA DO PROJECTO DE EXECUÇÃO

Direcção de Projecto	Eng.º Mário Aguilar
Engenharia civil	Eng.º Eduardo Ferreira
Modelação	Dr. Benedito Rodrigues
Impermeabilização	Eng.º Mário Aguilar
Hidráulica	Eng.ª Eduardo Ferreira
Lixiviados	Eng.ª Eduardo Ferreira
Electricidade	Eng.º Luís Matos
Rede de incêndio	Eng.º António Vedor
Vias	Eng.ª Eduardo Ferreira
Biogás	Eng.ª Eva Rei
Medições	Nuno Araújo
Desenho	Nuno Araújo

A Direcção de Projecto:

ÍNDICE

1	Objecto do projecto	1
2	Modelação e selagem	1
2.1	Enquadramento geral.....	1
2.2	Topografia	1
2.3	Modelação.....	1
2.4	Selagem	2
3	Dimensionamento e estabilidade	4
3.1	Estabilidade global do aterro.....	4
3.2	Cálculos de estabilidade global	4
3.3	Estabilidade das superfícies de selagem.....	8
3.4	Cálculo de estabilidade de taludes	9

1 Objecto do projecto

O presente documento refere-se a adenda ao projecto de execução da ampliação do aterro sanitário da BRAVAL, situado no Rua do Aterro, Ferreiros, concelho da Póvoa de Lanhoso, compreendendo o projecto de selagem do aterro.

2 Modelação e selagem

2.1 Enquadramento geral

Com a selagem do aterro pretende assegurar-se o confinamento da massa de resíduos depositada. Deste modo serão criadas condições que permitirão controlar adequadamente o desenvolvimento dos processos biológicos, que continuarão a desenvolver-se por vários anos, e os efeitos deles resultantes, concretamente, a produção de lixiviados e de biogás, bem como assegurar a estabilização da massa de resíduos, de modo a serem garantidas condições que permitam a criação de uma modelação e de inclinações ao nível dos taludes adequadas, quer à estabilidade do aterro, quer para a construção dos sistemas de drenagem de águas pluviais e de captação e condução de lixiviados e de biogás.

2.2 Topografia

A morfologia da área a selar apresenta uma forma para-rectangular, com cerca de 200 m de largura e 180 m de comprimento, apresentando uma superfície de cerca de 28.540 m² em talude e cerca de 3.530 m² em plataforma de topo, esta com uma forma quadrangular.

2.3 Modelação

A modelação proposta para a selagem do aterro é a apresentada nos desenhos E-BRV-1001 a E-BRV-1002.

A modelação do aterro e pormenores de selagem final são apresentados no desenho E-BRV-1001, os cortes e perfis constam no desenho E-BRV-1002.

Para a concepção da modelação apresentada foram considerados, entre outros factores, a ocupação e a morfologia resultante do esquema de exploração do aterro e o aproveitamento futuro que se pretende para o local.

Na modelação do aterro foram consideradas banquetas intermédias nos taludes com o duplo objectivo de:

- Criar condições de circulação e acesso para a manutenção dos taludes;
- Instalar os sistemas de drenagem das águas pluviais, com áreas de influência relativamente pequenas, de modo a minimizar potenciais efeitos de erosão.

Na plataforma de topo do aterro a modelação prevista tem em consideração as inclinações adequadas a uma drenagem das respectivas áreas de influência.

2.4 Selagem

Com a selagem do aterro pretende criar-se as necessárias condições de estabilização da massa de resíduos e das terras de cobertura, assim como controlar a produção de lixiviados e de biogás.

Deste modo, interessa evitar a entrada de águas pluviais na massa de resíduos de forma a diminuir a formação de lixiviados. Contudo, por outro lado, e considerando o processo de degradação biológica, a eliminação da humidade nos resíduos tem como consequência a diminuição da produção instantânea de biogás e um retardamento do processo biológico, com consequente prolongamento por muito mais tempo do processo de estabilização da massa de resíduos.

Face a estes factores, é necessário encontrar uma solução de equilíbrio, que permita o controlo da produção de lixiviados e, ao mesmo tempo, que favoreça o processo de degradação biológico da massa de resíduos, com formação de biogás potencialmente recuperável, no sentido de uma mais rápida estabilização do aterro, assegurando sempre a estabilidade das camadas de selagem.

A solução de selagem preconizada para o aterro tem subjacentes os aspectos referidos anteriormente, que determinaram a estratigrafia. Para a definição das estratigrafias para a selagem final do aterro foi considerado o estudo de estabilidade das camadas de selagem.

Assim, a selagem final do aterro será concebida da seguinte forma (de baixo para cima):

- Camada de terras de regularização;
- Geodreno para drenagem de biogás;
- Geomembrana de PEAD de 1,5 mm, rugosa em ambas as faces nos taludes e lisa na plataforma de topo;
- Geocomposto drenante (para águas pluviais) formado por uma georede unida em ambos os lados por dois geotêxteis não tecidos;
- Geomalha de reforço de alta resistência à tracção nos taludes;
- Camada de terras de cobertura com uma espessura de um metro de espessura, sendo
 - 0,7 m, no mínimo, de solos de cobertura,
 - 0,3 m, no mínimo, de terra vegetal, para implantação da cobertura vegetal.

A análise dos diferentes materiais e das diferentes zonas do aterro conduziu à introdução de geomalhas de reforço de alta resistência à tracção (aplicada antes das terras de cobertura), de forma a assegurar a estabilidade dos geossintéticos nas zonas com maiores pendentes ou nas áreas em que dada a geometria dos taludes e/ou dos materiais utilizados poderia não ficar garantida a estabilidade. Com a instalação da geomalha pretende-se evitar roturas consequentes de deslizamentos entre geossintéticos ou entre as terras de cobertura e os geossintéticos.

O desenho E-BRV-1001 apresenta secções tipo da selagem onde se identificam as diferentes camadas estruturantes e se visualiza as respectivas diferenças. Concretamente, identifica-se a existência de dois tipos de selagem, que se caracterizam da seguinte maneira:

- Selagem dos taludes
- Selagem da plataforma do aterro.

3 Dimensionamento e estabilidade

3.1 Estabilidade global do aterro

No estudo de estabilidade global do aterro é fundamental conhecer a superfície topográfica e a posição dos contactos entre as diferentes unidades litológicas, os resíduos e os materiais geossintéticos.

Na Figura 1 apresenta-se o perfil para o qual se identificou a situação de maior instabilidade.

Este perfil corresponde à secção com maior desnível (aproximadamente 40 m), implicando um maior volume de aterro.

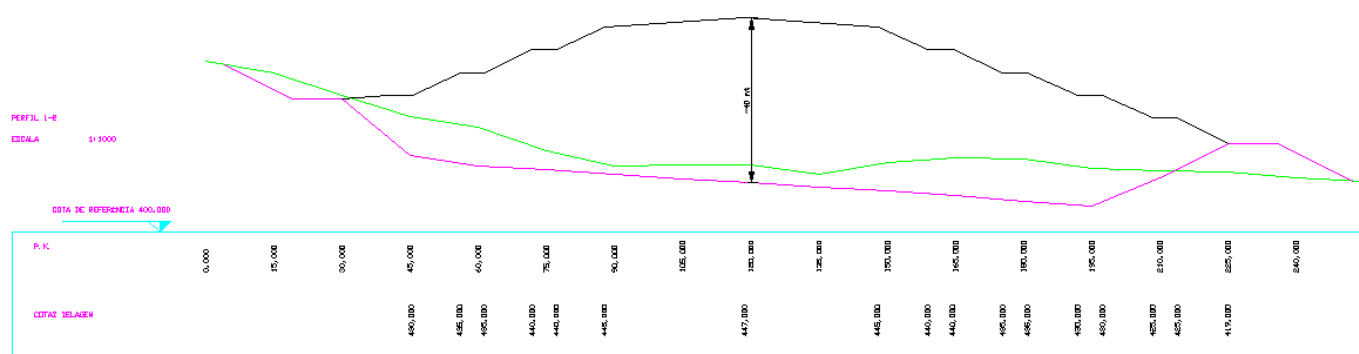


Figura 1 – Perfil em estudo.

É importante sublinhar que os resultados obtidos deverão ser revistos em sede de exploração, sendo fundamental confirmar as cotas de massas de resíduos, os materiais geossintéticos aplicados e conhecer o nível de lixiviados do aterro.

3.2 Cálculos de estabilidade global

O estudo de estabilidade global foi realizado através do método de Bishop, sendo um método simplificado, que considera a superfície de rotura circular. Este método considera o equilíbrio entre forças e momentos entre as fatias, sendo a resultante das forças verticais entre fatias nula.

Na Tabela 1 apresentam-se os factores de segurança mínimos adoptados, que deverão ser exigidos para considerar o aterro estável. Em função do critério estabelecido na tabela considerar-se-á o aterro estável para factores de segurança superiores a 1,4.

Tabela 1 – Factores de segurança

Tipo de situação	Coefficiente de segurança mínimo recomendado
Persistente e transitória a longo prazo	1,4 a 1,5
Transitória e situações teóricas de curto prazo	1,2 a 1,3
Acidental	1,1 a 1,2

O modelo supra-mencionado, para além da configuração geométrica, necessita de parâmetros relativos aos materiais envolvidos, nomeadamente, o peso volúmico natural, o coeficiente de coesão e o ângulo de atrito.

Para o cálculo de estabilidade do aterro, tomou-se como base a estratificação da selagem de fundo de aterro composta pelas seguintes camadas em sentido ascendente:

- Sub-base preparada de 50 cm de espessura;
- Geocompósito bentonítico;
- Geomembrana de PEAD de 2 mm;
- Geotêxtil 500g/m2 para protecção da geomembrana de PEAD;
- Camada drenante para recolha de lixiviados.

A caracterização dos resíduos, no que se refere à análise a realizar, depende de diversos factores, nomeadamente dos trabalhos realizados durante a exploração. Assim, e para o efeito desejado, são adoptados parâmetros ilustrados nas tabelas que se seguem.

Tabela 2 – Camada de resíduos

Peso volúmico natural	8,5 kN/m ³
Coeficiente de coesão	5 kPa
Ângulo de atrito	25°

Tabela 3 – Geossintéticos

Peso volúmico	9.2 kN/m ³
Ângulo de atrito	9°

Os parâmetros para os materiais geossintéticos corresponderiam ao contacto entre uma geomembrana lisa de polietileno com um geotextil, que representaria a situação ainda mais desfavorável.

Para efeitos do estudo solicitado, considera-se que a superfície de deslizamento não ocorre abaixo da camada base.

Apresenta-se a superfície de deslizamento determinada para o factor de segurança mínimo, tendo em conta o método de Bishop (1955) e para uma superfície de rotura circular, de acordo com a seguinte figura representativa.

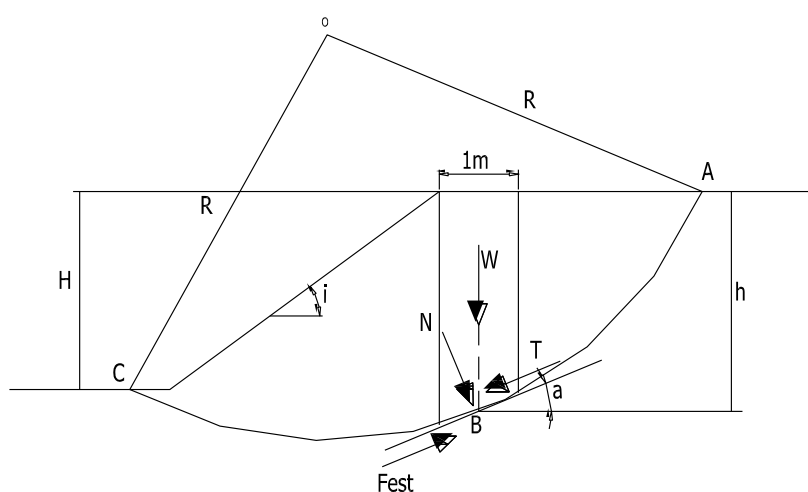


Figura 2 – Método de Bishop (1955).

Sendo:

- W - peso da fatia (kN/m³);
- A - inclinação da base da fatia (°);
- I - inclinação do talude (°);
- H - altura média da fatia (m);
- H - altura do talude (m).

Efectuou-se o cálculo da estabilidade através do método de Bishop, considerando uma superfície de rotura circular, tendo em conta os parâmetros referidos anteriormente. Admite-se que não ocorram deformações antes da rotura e que cada fatia de massa deslizante se comporta como um corpo rígido.

Neste método é feita a comparação (o quociente) dos momentos resistentes com os instabilizadores, dada pela seguinte expressão:

$$FS = \frac{Fest}{T}$$

Sendo:

- Fest - Força estabilizadora (kN)
- T - Força instabilizadora (kN)

Tendo em conta que:

- $T = W \times \cos a$

- $N = W \times \text{sena}$

- $Fest = N \times \tan\left(\frac{\pi \times \theta}{180}\right)$

- $FS = \frac{Fest}{T} = \frac{N \times \tan\left(\frac{\pi \times \theta}{180}\right)}{W \times \cos a}$

Então,

$$FS = 1,75$$

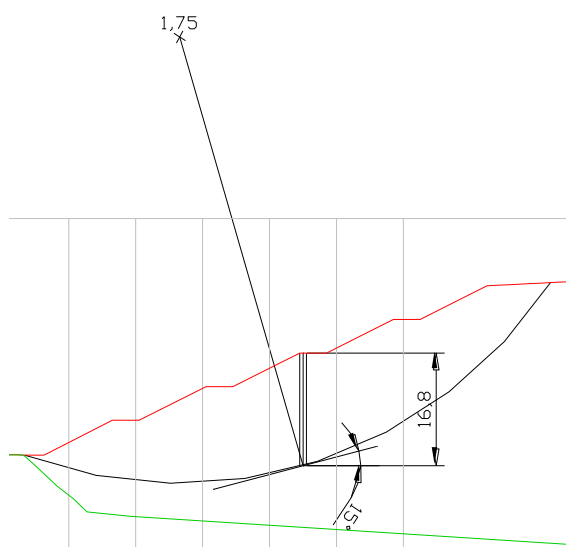


Figura 3 – Superfície de deslizamento estudada.

Este estudo mostra o resultado para o caso de estabilidade mais desfavorável, obtendo um factor de segurança de 1,75, podendo-se considerar estável a configuração global do aterro, visto o valor obtido ser superior ao coeficiente de segurança mínimo (1,40).

É importante referir que em exploração, se deverá manter o nível de lixiviados o mais baixo possível para não afectar a estabilidade global do depósito.

3.3 Estabilidade das superfícies de selagem

No estudo de estabilidade das superfícies de selagem foram analisados os taludes mais desfavoráveis dentro da configuração de encerramento do aterro. Na superfície a selar é necessário diferenciar zonas de acordo com a natureza e incidência para a análise de taludes.

Para a plataforma superior, dado as pendentes serem inferiores a 5%, esta zona ficaria excluída da análise de taludes.

Na selagem lateral do aterro prevê-se pendentes de 2H:1V para todos os taludes. Assim, neste ponto apresenta-se a análise realizada à estabilidade do talude uma vez selado. A geometria do talude será de 10 metros na horizontal para um desnível de 5 metros.

3.4 Cálculo de estabilidade de taludes

Apresentando todos os taludes a mesma inclinação, será considerado o factor de segurança relativamente à sua estabilidade, utilizando o método de equilíbrio limite (método das fatias), considerando o talude infinito, sendo a superfície crítica paralela ao talude.

Torna-se importante sublinhar que é fundamental implementar um controlo de qualidade em obra que permita assegurar que são cumpridas as condições estabelecidas quanto às características dos materiais a aplicar e aos procedimentos de execução em obra para evitar um deslizamento da unidade de geossintéticos.

Na Tabela 1 anterior foram apresentados os factores de segurança mínimos adoptados, que deverão ser exigidos para considerar a superfície de selagem estável. Em função do critério estabelecido na tabela considerar-se-á o talude estável para factores de segurança superiores a 1,4.

O modelo supra-mencionado, para além da configuração geométrica, necessita de parâmetros relativos aos materiais envolvidos, nomeadamente, o peso volúmico natural, o coeficiente de coesão e o ângulo de atrito.

Para efeito de dimensionamento de estabilidade de taludes, tomou-se como base a estratificação da selagem de cobertura de aterro composta pelas seguintes camadas em sentido ascendente:

- Camada de regularização de terras sobre os resíduos;
- Geomembrana de PEAD de 1,5 mm de espessura, rugosa em ambas as faces;
- Geomalha de reforço;
- Camada de terras de cobertura com uma espessura de 0,7 m;
- Camada de terra vegetal de 0,3 m.

Os parâmetros que foram aplicados para cada um dos materiais relevantes são os apresentados nas tabelas que se segue.

Tabela 4 – Terras de regularização e cobertura, homogeneizadas

Peso volúmico natural	19 kN/m ³
Coeficiente de coesão	7 kPa
Ângulo de atrito	28°

Tabela 5 – Geossintéticos

Peso volúmico	9.2 kN/m ³
Ângulo de atrito	21° (considerando a instalação de uma geomembrana rugosa em ambas as faces)

Efectuou-se o cálculo da estabilidade do talude através do método das fatias, considerando os parâmetros referidos anteriormente, admitindo que não ocorrem deformações antes da rotura e que cada fatia da massa deslizante se comporta como um corpo rígido.

Neste método é feita a comparação (o quociente) dos momentos resistentes com os instabilizadores, dada pela seguinte equação:

$$FS = \frac{F_{est}}{T}$$

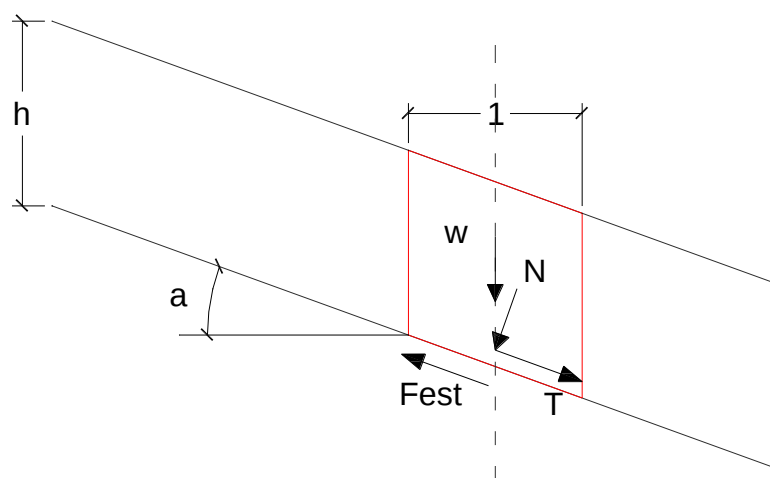


Figura 4 – Talude infinito: forças actuantes numa fatia genérica.

Foi considerada a instalação de uma geomembrana de reforço de alta resistência à tracção, com uma resistência ao atrito de 60kN/m, para assegurar a estabilidade dos materiais geossintéticos ou entre as terras de cobertura e os geossintéticos.

De referir que a estabilidade do conjunto pode modificar-se se não se realizar uma correcta gestão das águas superficiais uma vez que a presença de pressões de água no talude poderá diminuir a estabilidade das camadas de selagem e introduzir instabilidade ao conjunto.

A estratificação da selagem a realizar será deste modo composta pelas seguintes camadas em sentido ascendente, conforme também esquematiza a Figura 5:

- Camada de regularização de terras sobre os resíduos de 0,5 m;
- Geodreno de gases;
- Geomembrana de PEAD de 1,5 mm de espessura, rugosa em ambas as faces;
- Geodreno de águas pluviais;
- Geomalha de reforço;
- Camada de terras de cobertura com uma espessura de 0,7 m;
- Camada de terra vegetal de 0,3 m.

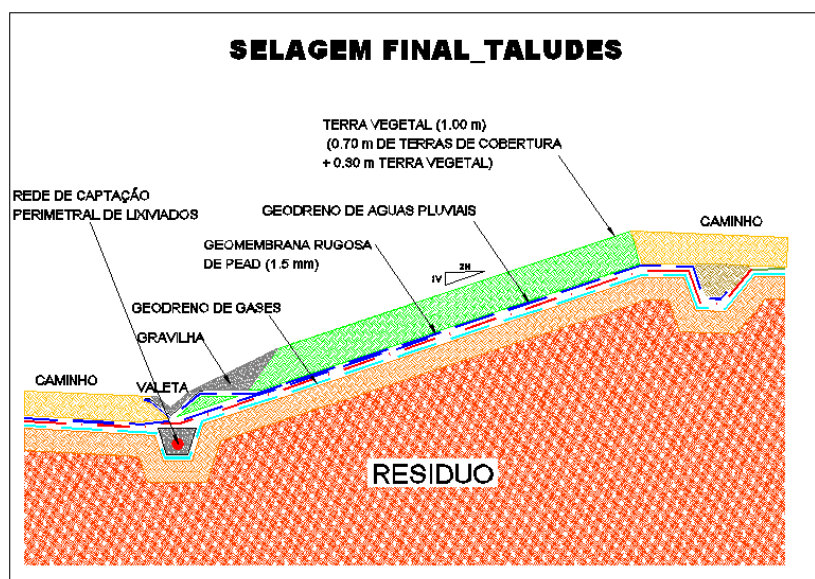


Figura 5 – Estratificação da selagem

As análises e os resultados da estabilidade global do aterro e das superfícies de selagem estão condicionadas a todas as considerações efectuadas. Assim, as cotas prescritas para o confinamento do aterro, inclinação de taludes, características dos materiais, escoamento de águas, lixiviados e biogás, entre outros, devem corresponder ao projecto. Na sequência de qualquer alteração, todas as hipóteses equacionadas devem ser reavaliadas.