



LABORATÓRIO DE GEOMECÂNICA

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DINÂMICA NO ATERRO SANITÁRIO DE MATO DA CRUZ



Indústria de Cimentos, S. A.

Maio de 2011

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DINÂMICA NO ATERRO SANITÁRIO DE MATO DA CRUZ

ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO	1
2 – A ESTABILIDADE DE ATERROS DE RSU	2
2.1 – Variáveis intervenientes	2
2.2 – Práticas construtivas	3
2.3 – Factores de segurança	4
2.4 – Aplicação de sistemas de reforço estrutural	5
3 – ANÁLISES DE ESTABILIDADE DINÂMICA PARA O ASMC	6
3.1 – Atribuição de valores representativos para as variáveis intervenientes	6
3.1.1 – Vibrações admissíveis	6
3.1.2 – Resistência ao corte dos RSV	7
3.2 – Análises de equilíbrio-limite usando o modelo de taludes infinitos	9
4 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE POR MÉTODO COMPUTACIONAL	11
5 – CONCLUSÕES	17

ANEXO – PEÇAS DESENHADAS

Desenho 1 – Topografia actual do aterro de Mato da Cruz
Desenho 2 – Topografia inicial do aterro de Mato da Cruz
Desenho 3 – Cortes topográficos

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DINÂMICA NO ATERRO SANITÁRIO DE MATO DA CRUZ

1 – INTRODUÇÃO

O presente relatório tem por objectivo analisar a estabilidade dinâmica dos taludes do Aterro Sanitário de Mato da Cruz (ASMC), perante as eventuais solicitações que serão geradas em consequência das operações de desmonte de rochas com explosivos a serem executadas futuramente na vizinha pedreira de Arcena, pertencente à CIMPOR.

Esta pedreira está localizada no interior de uma área classificada no Plano Director Municipal de Vila Franca de Xira como “Espaço de Indústria Extractiva” e “Outras Infraestruturas”, confinando no seu limite Oeste com os terrenos do ASMC.

Prevê-se no respectivo Plano de Pedreira que a mesma seja dividida em dois sectores, o primeiro dos quais a Sul com 5.9 hectares e o segundo a Norte com 7.4 hectares. O destino a dar à primeira parcela, após a extracção de cerca de 560 000 m³, será a construção da futura Célula 4-A (a Sul do ASMC), enquanto que da segunda se esperam produzir 1 250 000 m³ de matérias primas de calcário e marga para a indústria cimenteira, posteriormente formando, a Norte, a célula 4-B.

O problema a analisar neste relatório está relacionado com os efeitos que a escavação de rochas na primeira dessas parcelas possam afectar a estabilidade das bancadas do aterro sanitário, nomeadamente os da sua Célula 3 de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que se situam a Sul do complexo do ASMC.

Tais condições de estabilidade devem ser correctamente estabelecidas, uma vez que subsequentemente se definirão as principais características do processo de escavação, dado que a operação de desmonte de rochas com recurso a explosivos é susceptível de ser concebida e executada com a mais adequada combinação dos seus parâmetros essenciais, como sejam a

escolha do tipo de explosivo, do sistema de disparo das cargas, dos pesos de explosivos detonados por micro-retardo, do diâmetro dos furos onde as mesmas são introduzidas, etc.

Nestas circunstâncias, são seguidamente abordadas as metodologias de análise da estabilidade dos taludes de aterros sanitários, tendo em vista caracterizar a situação da zona Sul do ASMC.

2 – A ESTABILIDADE DE ATERROS DE RSU

2.1 – Variáveis intervenientes

Os taludes de pilhas de resíduos, de taludes de aterros, de depósitos superficiais e de outras estruturas de contenção de sólidos podem ser susceptíveis de causar danos materiais e perdas de vidas humanas quando se instabilizam em função dos agentes naturais (chuvas, ventos e abalos sísmicos), bem como em resultado da acção do homem.

A principal feição a considerar neste contexto relaciona-se com a integridade dos taludes criados para essas deposições de resíduos, designadamente os respectivos sistemas de cobertura, com vários componentes que podem sofrer deslizamentos ou escorregamentos, quer internos, quer nas suas interfaces.

Numerosos acidentes têm sido relatados na bibliografia da especialidade, fornecendo dados valiosos para a interpretação de tais mecanismos e para a definição de novos critérios de concepção e de projecto.

Os exemplos envolvem roturas de sistemas de cobertura de aterros cujas camadas de solo de protecção, instaladas geralmente sobre membranas de GCL reforçado, sofrem deslizamentos devidos à ausência de camadas de drenagem interna, ou casos em que camadas drenantes de areia (situadas por baixo do leito de protecção superior) escorregam sobre geomembranas de PEAD, face a incapacidades de drenagem interna.

Em síntese, a existência de numerosos componentes como geomembranas, GCLs, CCLs, geotexteis e camadas geocompostas de drenagem, implicam uma vasta quantidade de configurações, cujos materiais (ou interfaces) de

baixa resistência ao corte constituem os elos mais fracos dos taludes de resíduos.

O estudo destes fenómenos é actualmente desenvolvido a partir da aplicação de metodologias convencionais (como análises de equilíbrio limite, estáticas e dinâmicas, taludes infinitos e finitos), ou análises dos estados de tensão e de deformação (métodos de diferenças finitas e elementos finitos). Contudo, o factor mais relevante encontra-se na dificuldade de caracterização dos reais comportamentos mecânicos dos distintos materiais utilizados nestas estruturas, com especial destaque para os seus parâmetros de resistência ao corte.

Destacam-se cinco tipos de ensaios laboratoriais (corte directo convencional, caixa de corte de grande dimensão – 300 mm x 300 mm –, instrumento de corte por torção, mesa de ensaio inclinável e caixa de corte de grande deslocamento), embora os ensaios “in situ” constituírem fontes de informação mais representativas. Porém, o seu elevado custo e longa duração têm contribuído para o seu relativo pouco uso.

A existência de normas de ensaios concisas, como a ASTM D5321, estabelecem requisitos importantes para a determinação das resistências dos vários materiais envolvidos nos aterros de RSU, conduzindo à obtenção de propriedades representativas dos mesmos, em circunstâncias que condicionam as suas resistências ao deslizamento e respectivas deformabilidades, quando ocorrem assentamentos significativos, nomeadamente após episódios de chuvas intensas.

2.2 – Práticas construtivas

A colocação de camadas de solos sobre um talude que no seu interior possui materiais de baixa resistência ao corte, ou interfaces que podem criar tensões de corte, resultando em diminuições da estabilidade dos taludes envolvidos. Essas tensões de corte podem resultar de várias causas, desde o funcionamento dos equipamentos usados na construção do aterro até às deformações das referidas camadas, podendo levar o aterro à rotura.

Os conhecimentos adquiridos (Koerner & Daniel, 1997) conduzem a recomendações operacionais importantes, tais como as seguintes:

- a) Os solos de cobertura devem ser depositados sobre os materiais de baixa resistência ao corte e interfaces, desde a base do talude e prosseguindo para cima. Assim, é criada uma cunha resistente nesta base, que precede a aplicação de novos volumes de solos mais acima.
- b) Não devem ser depositados a partir do topo dos taludes, aproveitando a força da gravidade.
- c) Recomendam-se pequenas máquinas de movimentação de terras para tais operações.
- d) As forças dinâmicas descendentes são limitadas, caso estas máquinas reduzam a sua velocidade de movimentação, e evitando travagens.

2.3 – Factores de segurança

A adopção de factores de segurança na estabilidade de aterros e taludes de RSU é relevante, uma vez que estes possuem importantes implicações económicas. Enquanto os métodos clássicos de equilíbrio limite proporcionam valores que dependem consideravelmente dos parâmetros geotécnicos adoptados e das hipóteses de cálculo utilizadas, as técnicas computacionais exigem grande quantidade de *inputs* que não se obtêm na prática com facilidade e a baixo custo.

No que respeita à ordem de grandeza dos factores de segurança empregues em cada situação, nomeadamente os FS mínimos admissíveis, devem seguir-se requisitos regulamentares existentes. De acordo com diversos autores (Bonaparte et al, 1996; Byrne, 1994; Koerner & Soong, 1998 e Liu et al, 1997) são adoptados os valores da tabela seguinte.

É recomendável que os sistemas de cobertura sejam dimensionados em função de condições de aplicação de solicitações extremas temporárias, como sejam as tempestades atmosféricas, os abalos sísmicos, as cargas vivas aplicadas e as vibrações provenientes de sistemas mecânicos ou da detonação de cargas explosivas.

Tabela 1 – Factores de segurança mínimos recomendados por diversos autores para sistemas de cobertura permanente de aterros

CRITÉRIOS ADOPTADOS	ANÁLISES ESTÁTICAS	ANÁLISES DINÂMICAS
1 – Uso de valores de pico para os parâmetros de corte	1.50	1.25
2-Resistências ao corte com grandes deslocamentos	1.20	1.10
3 – Uso de valores residuais para os parâmetros de corte	1.15	1.05

2.4 – Aplicação de sistemas de reforço estrutural

Quando os factores de segurança mínimos não puderem ser alcançados por quaisquer ordens de razões, existem soluções de reforço cuja aplicação se sugere para aumentar a estabilidade dos taludes de resíduos.

Entre os mais utilizados, citam-se os seguintes:

- a) Uso de materiais com altas resistências ao corte (internas ou nas interfaces) para os sistemas de cobertura.
- b) Promover a aplicação de coberturas com reduzida inclinação, seja com resíduos assim dispostos desde o início da deposição, ou com a escavação de volumes de resíduos para retaludamento.
- c) Diminuir o declive do talude final com mais bermas horizontais.
- d) Construir muros de suporte ao longo do perímetro do depósito.
- e) Aumentar a drenagem interna da cobertura do aterro.
- f) Utilizar reforços de geossintéticos nas superfícies apropriadas.

3 – ANÁLISES DE ESTABILIDADE DINÂMICA PARA O ASMC

3.1 – Atribuição de valores representativos para as variáveis intervenientes

3.1.1 – Vibrações admissíveis

Os objectivos das análises de estabilidade dinâmica aplicadas a aterros de RSU são habitualmente desenvolvidas para garantir que o sismo de projecto não conduza a situações de colapso, parcial ou total. Para tal, os principais parâmetros requeridos são a aceleração de pico do terreno de fundação, a distância à origem do fenómeno (hipocentro), a magnitude do abalo e o espectro de acelerações.

Em geral, a componente horizontal da aceleração máxima é obtida a partir dos mapas de risco sísmico ou do zonamento sísmico da região, havendo duas opções: a determinística e a probabilística.

Em Portugal adopta-se a primeira, em função do mapa de isossistas do País. Noutros países, como os E.U.A., existem mapas representativos das acelerações horizontais esperadas, com probabilidades de 2%, de 5% e de 10% para que sejam excedidos tais valores durante um certo número de anos (50, 100 ou 250 anos).

No caso concreto do ASMC, o seu projecto de execução (Hidroprojecto, 1996) estabeleceu que a aceleração admissível não devia ultrapassar 0.04 g na direcção horizontal, nem 0.01 g na direcção vertical (g representa a aceleração da gravidade, igual a $9\,800\text{ mm/s}^2$).

Observa-se que estes valores correspondem a abalos sísmicos de magnitude V na Escala de Mercalli Modificada, o que, segundo textos da especialidade (Bolt, 1978)* equivale a um intervalo de velocidades de vibração de pico compreendido entre 20 e 50 mm/s.

Bruce A. Bolt (1978) – Earthquakes, a Primer; W.H. Freeman, San Francisco.

A correlação entre estas grandezas características das ondas sísmicas pode ser explicada através da relação existente entre valores de pico (ou máximos) da aceleração $\underline{a}$ e da velocidade de vibração $\underline{v}$, admitindo que são ondas harmónicas sinusoidais, por meio da expressão:

$$a = 2\pi f v$$

Para os valores máximos de $a = 0.04g$, e considerando uma velocidade vibratória de $v = 20 \text{ mm/s}$, resulta uma frequência ondulatória de 3.12 Hz, enquanto que para o valor de $v = 50 \text{ mm/s}$ tal frequência reduz-se para 1.25 Hz.

Será ainda interessante verificar se estes valores são compatíveis com os limites de vibração estabelecidos pela Norma Portuguesa 2074 de 1983, intitulada “Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosivos ou solicitações similares”.

Com efeito, sendo a velocidade de pico admissível calculada pelo produto de três coeficientes (α , relativo ao tipo de terreno em que assenta a estrutura; β , sobre o tipo de estrutura; e γ , referente ao número de solicitações diárias) admite-se ser aplicável a taludes constituídos por RSU.

Considerando para o caso presente que $\alpha = 2$, $\beta = 1$ (construção normal) e $\gamma=1$ obtém-se uma velocidade de vibração máxima de 20 mm/s, e admitindo tratar-se de uma construção sensível (com $\beta=0.5$) a mesma descerá para 10 mm/s.

A compatibilidade entre estes valores e a máxima aceleração permitida de 0.04g, ou seja, 392 mm/s^2 , é assim imediata para uma velocidade de vibração máxima de 20 mm/s, podendo ser afectada por razões plausíveis de prudência, para metade desse valor (10 mm/s).

Consequentemente, pode-se concluir que o critério de dimensionamento adoptado no projecto de execução do aterro, baseado na aceleração das ondas sísmicas, é compatível com os ditames da NP 2074, sendo estes valores relevantes para a análise que se segue.

3.1.2 – Resistência ao corte dos RSU

Há que utilizar valores fiáveis dos parâmetros de resistência ao corte dos materiais constituintes do aterro de Mato da Cruz. Não são conhecidos resultados de ensaios de laboratório, ou *in situ*, sobre tais materiais, pelo que serão adoptados valores consagrados na bibliografia da especialidade.

Nesta conformidade, entre as diversas citações de trabalhos geotécnicos em que são indicados os valores representativos da coesão e do ângulo de atrito para os materiais típicos de RSU escolheu-se o critério de Singh & Murphy, 1990, até porque também foi usado no respectivo projecto de execução (Hidroprojecto, 1996).

A essência desse critério consta da Figura 1.

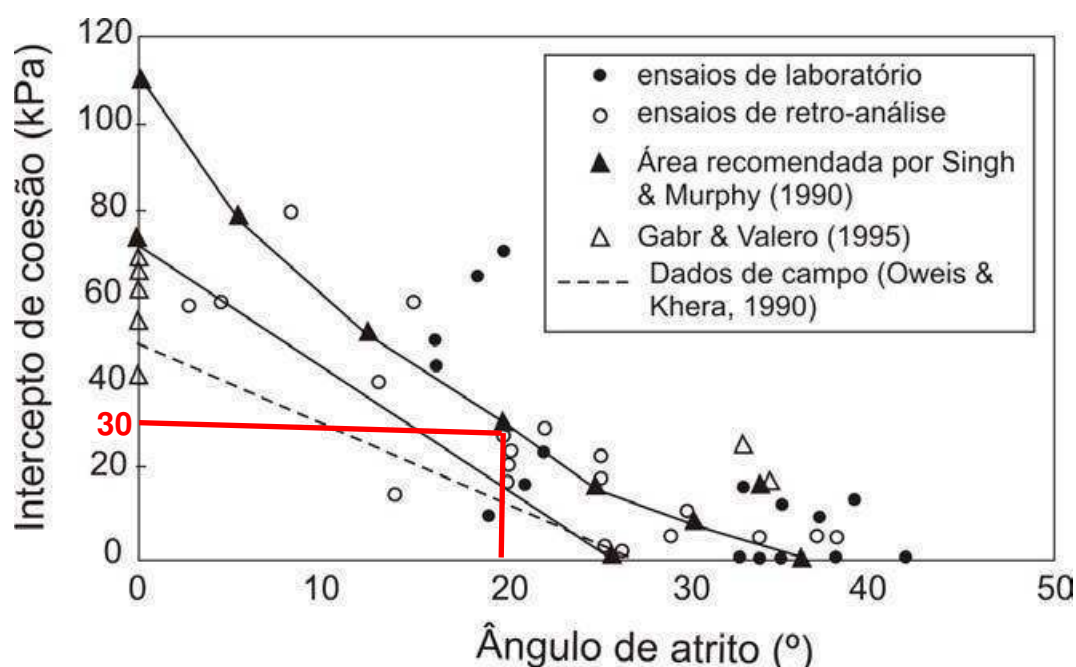


Figura 1 – Diagrama de variação da coesão com o ângulo de atrito de materiais típicos de RSU (segundo Singh & Murphy, 1990)

Assim, no interior da área do diagrama recomendada por estes autores para projectos de aterros sanitários, seleccionou-se, por serem valores intermédios de ambos os parâmetros, as seguintes grandezas das propriedades de resistência ao corte :

- Ângulo de atrito: 20°
- Coesão: 30 kPa

Nestas circunstâncias, é possível efectuar análises de estabilidade dinâmica relativas aos taludes do ASMC que sejam exigidas perante a utilização controlada de explosivos nas escavações adjacentes.

3.2 – Análises de equilíbrio limite usando o modelo de taludes infinitos

O critério clássico de cálculo dos factores de segurança de taludes por analogia com taludes infinitos é muito utilizado em Geotecnia como primeira abordagem nas análises de estabilidade, pois permite atingir valores realísticos.

Assim sendo, considere-se a geometria do talude apresentada na Figura 2, como os seus principais atributos, assente sobre uma barreira hidráulica, que pode ser uma geomembrana (inclinação do talude β , força de percolação da água F_w , espessura de material depositado t , altura do nível freático t_w , extensão de referência b , com peso W_b).

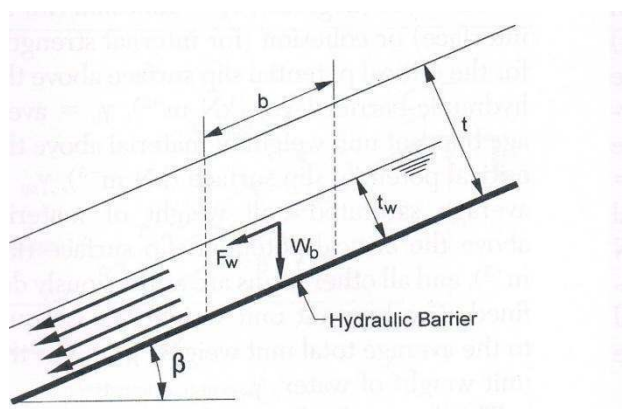


Figura 2 – Esquema de talude de aterro com a presença de água e forças de percolação, acima de uma barreira hidráulica

Em anexo são apresentados mapas da topografia actual e inicial da zona do talude SE do ASMC (Desenhos 1 e 2 do Anexo 1) onde está assinalado o perfil vertical AB representativo da zona central do respectivo talude.

Um corte vertical do talude consta do Desenho nº 3, em que se representam duas situações: aterro seco e com nível freático a meia altura.

Assim sendo serão aplicadas as seguintes expressões matemáticas:

a) Análise estática, talude seco

A expressão do factor de segurança é (Das, 2011):

$$F_{s1} = \frac{\text{tg } \phi_i}{\text{tg } \beta} + \frac{a_i}{\gamma \times t \times \sin \beta}$$

Substituindo os valores acima referidos e adicionalmente o peso volúmico de 11 kN/m³ e uma espessura de 18 m, resulta um factor de segurança de 1.95.

b) Análise estática, talude saturado

A fórmula do factor de segurança é agora (Das, 2011):

$$F_{s2} = \frac{\gamma \times \text{tg } \phi_a}{\gamma_{\text{sat}} \times \text{tg } \beta} + \frac{a_a}{\gamma_{\text{sat}} \times t \times \sin \beta}$$

conduzindo a um factor de segurança de 1.34.

c) Análise dinâmica

A expressão do factor de segurança faz intervir o coeficiente sísmico $k=a/g$ onde a é a aceleração do fenómeno vibratório e g é a aceleração da gravidade (Das, 2011):

$$F_{s3} = \frac{(\cos \beta - k \times \sin \beta) \times \text{tg } \phi_i}{\sin \beta + k \times \cos \beta} + \frac{a_i}{\gamma \times t \times (\sin \beta + k \times \cos \beta)}$$

Depois de substituir os valores, obtém-se a seguinte relação numérica entre k e o F_s :

$$F_{s3} = \frac{0.451 - 0.094 \times k}{0.258 + 0.966 \times k}$$

Se for substituído o coeficiente sísmico acima adoptado ($k=0.04$), virá para o respectivo factor de segurança o valor de 1.50, que é perfeitamente compatível com os requisitos da NP 2074, uma vez que conduz a uma velocidade de vibração máxima de 20 mm/s.

Caso sejam acrescentadas outras solicitações nos taludes, como a presença de água subterrânea, esse F_s pode ser reduzido, como se observa nas simulações efectuadas no capítulo seguinte.

4 – Análises de estabilidade por método computacional

Para o método computacional, foi utilizado um software apropriado para realizar os estudos em questão (Slope/W) o qual fornece resultados dos factores de segurança estáticos e dinâmicos de taludes, segundo vários métodos típicos da Mecânica dos Solos.

O Slope/W é um programa computacional, produzido pela Geo-Slope (Canadá), que utiliza conceitos geotécnicos adequados para calcular o factor de segurança de taludes terrosos e rochosos. Este programa permite analisar problemas de estabilidade simples e complexos, utilizando uma grande variedade de métodos de cálculo do factor de segurança, tendo aplicação na análise de projectos de natureza geotécnica, mineira ou civil. São três os critérios adoptados pelo programa: Bishop, Janbu e Fellenius.

Para a presente análise, foi adoptado o método de Bishop que considera as forças normais, satisfazendo sobretudo o equilíbrio dos momentos. Assim, no Slope/W o factor de segurança dado por este método de cálculo é obtido quando a curva do factor de segurança correspondente ao equilíbrio das forças intersecta o eixo das ordenadas, correspondente ao factor de segurança.

Apresentam-se na Tabela 2 os resultados das simulações para realização da análise de estabilidade dos taludes correspondentes ao complexo de depósitos de resíduos do ASMC, para quatro taludes representativos, a que se associam outras tantas condições de nível freático no interior dos taludes.

Para a realização destas análises, consideraram-se as seguintes propriedades geomecânicas do talude (apresentado no Desenho n.º 3 em anexo), adoptando o modelo geomecânico de Mohr-Coulomb:

$$\phi = 20^\circ$$

$$c' = 30 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 11 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_w = 9.8 \text{ kN/m}^3$$

A Tabela 2 indica, para cada caso estudado, a figura correspondente que apresenta a superfície de deslizamento (Figuras 3 a 8).

Efectuando a comparação dos resultados alcançados pelo método computacional com aqueles alcançados pelo método clássico, verifica-se que os factores de segurança determinados pelo método de Bishop são mais elevados.

Este facto deve-se à consideração, no método de Bishop, de forças de atrito entre cada um dos elementos considerados na massa que compõe o deslizamento.

Tabela 2 – Valores dos factores de segurança mínimos para as situações simuladas numericamente, em que $k=0$ corresponde a análises estáticas e $k=0.04$ a análises dinâmicas

POSIÇÃO DO NÍVEL FREÁTICO	COEFICIENTE SÍSMICO (k)	FACTOR DE SEGURANÇA MÍNIMO	FIGURA
Seco	0	2.264	3
	0.04	1.992	4
A meia altura do aterro	0	1.778	5
	0.04	1.553	6
Aterro totalmente saturado	0	1.176	7
	0.04	1.036	8

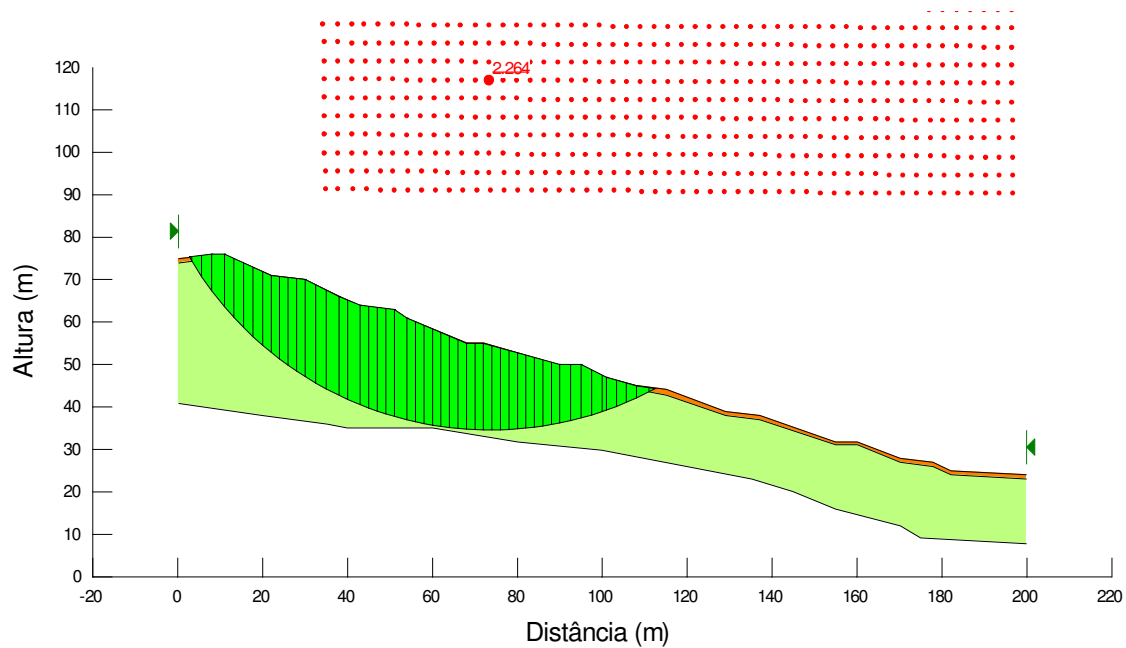


Figura 3 – Superfície de escorregamento calculada para o aterro seco em condições estáticas

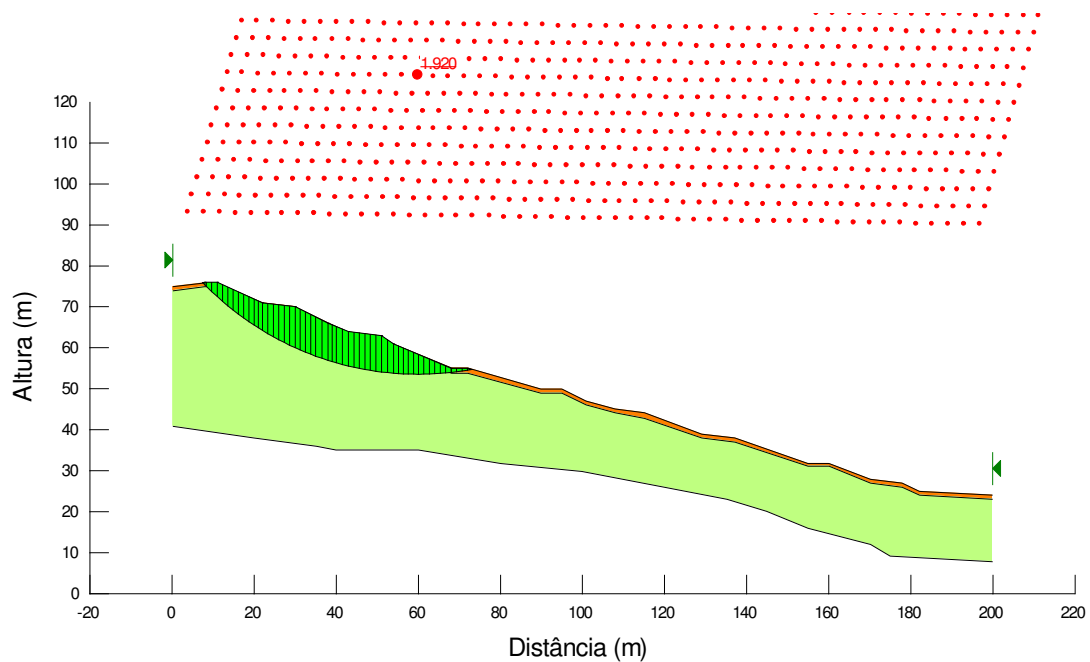


Figura 4 – Cálculo do factor de segurança dinâmico, considerando um coeficiente sísmico de 0.04g e o aterro seco.

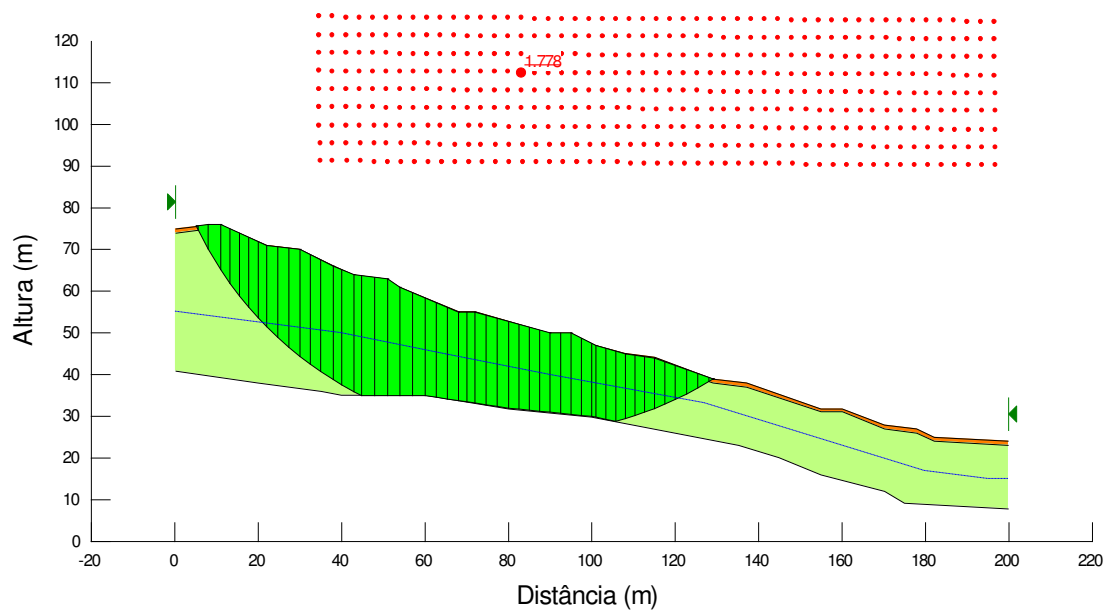


Figura 5 - Cálculo do factor de segurança estático para o nível freático a meia altura do aterro

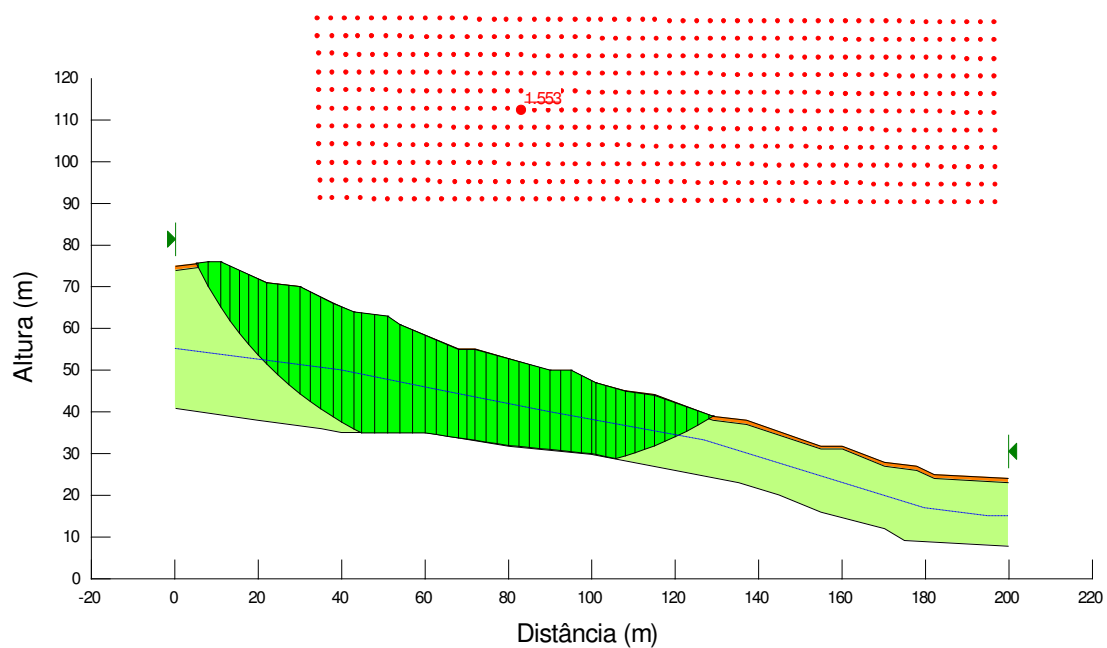


Figura 6 - Cálculo do factor de segurança dinâmico para o nível freático a meia altura do aterro e $k = 0.04$

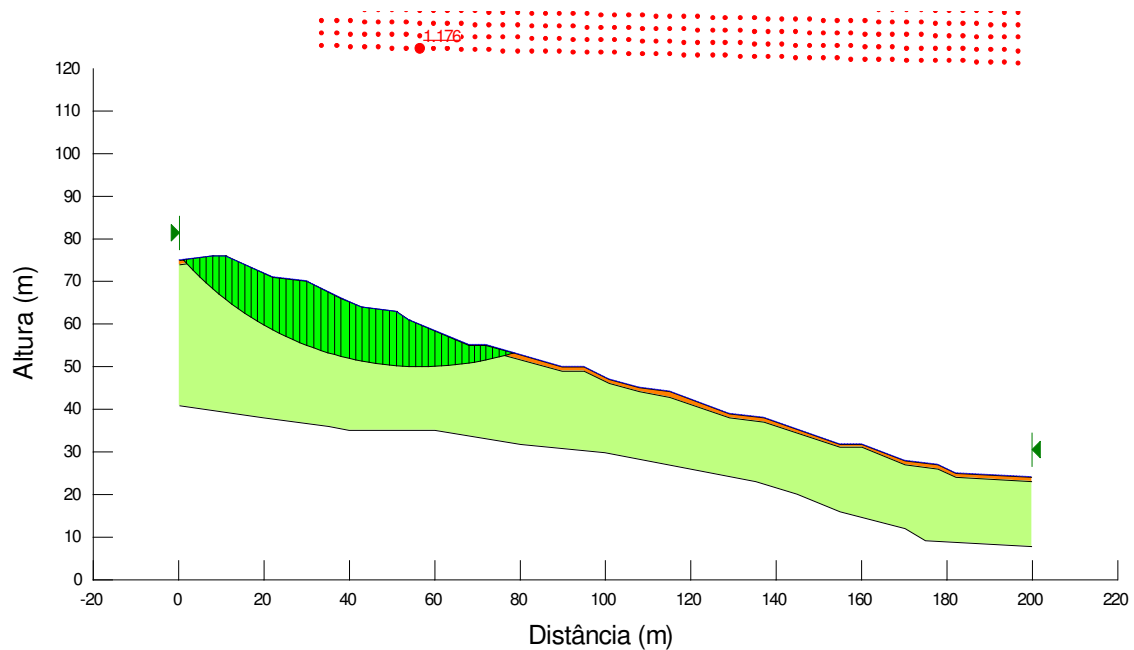


Figura 7 – Análise de estabilidade estática, considerando o talude totalmente saturado

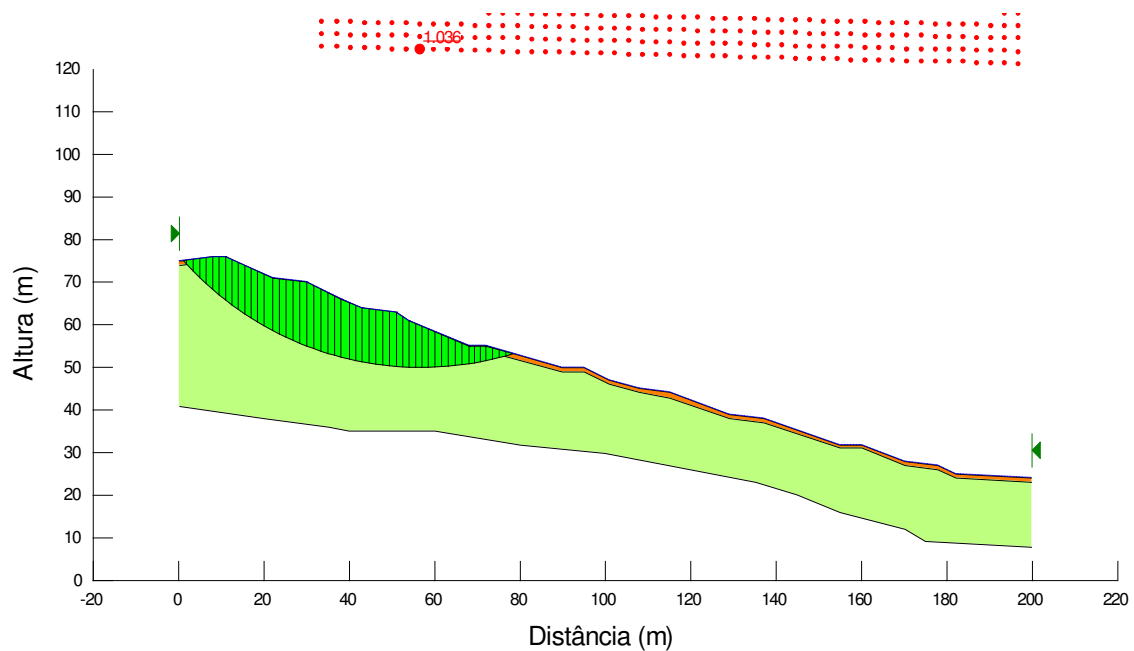


Figura 8 – Análise de estabilidade dinâmica, considerando o talude totalmente saturado e um coeficiente sísmico $k = 0.04$

Pela análise da Tabela 2 verifica-se, como seria previsível, que os factores de segurança diminuem com a subida do nível de água no interior do corpo do aterro, circunstância pouco provável de ocorrer no ASMC, face às características do sistema de drenagem implantado.

Não obstante, a simulação conduziu a uma condição de estabilidade, mesmo quando após tal saturação se considera a intervenção de um abalo sísmico com $0.04g$ de aceleração.

Esta sobreposição de efeitos não é geralmente considerada nos projectos de aterros sanitários, como afirmam Koerner & Daniel (1997), pois quando se efectuam análises dinâmicas de estabilidade, deve-se assumir uma condição de ausência de escoamento nos taludes, dado ser extraordinariamente reduzida a probabilidade de ocorrência de um abalo sísmico com a intensidade máxima admissível em simultâneo com a pior condição possível de nível freático.

Para finalizar a análise pelo método computacional, apresenta-se na Figura 9 a variação do factor de segurança com o coeficiente sísmico, para três situações de nível freático no interior do corpo do aterro. Verifica-se que, para se atingir um factor de segurança unitário, se obtêm coeficientes sísmicos da ordem de 0.33 para talude seco, de 0.22 para um nível freático a meia altura do aterro, e de 0.05 para saturação completa, com todos estes valores situados acima dos requisitos mínimos de segurança estabelecidos.

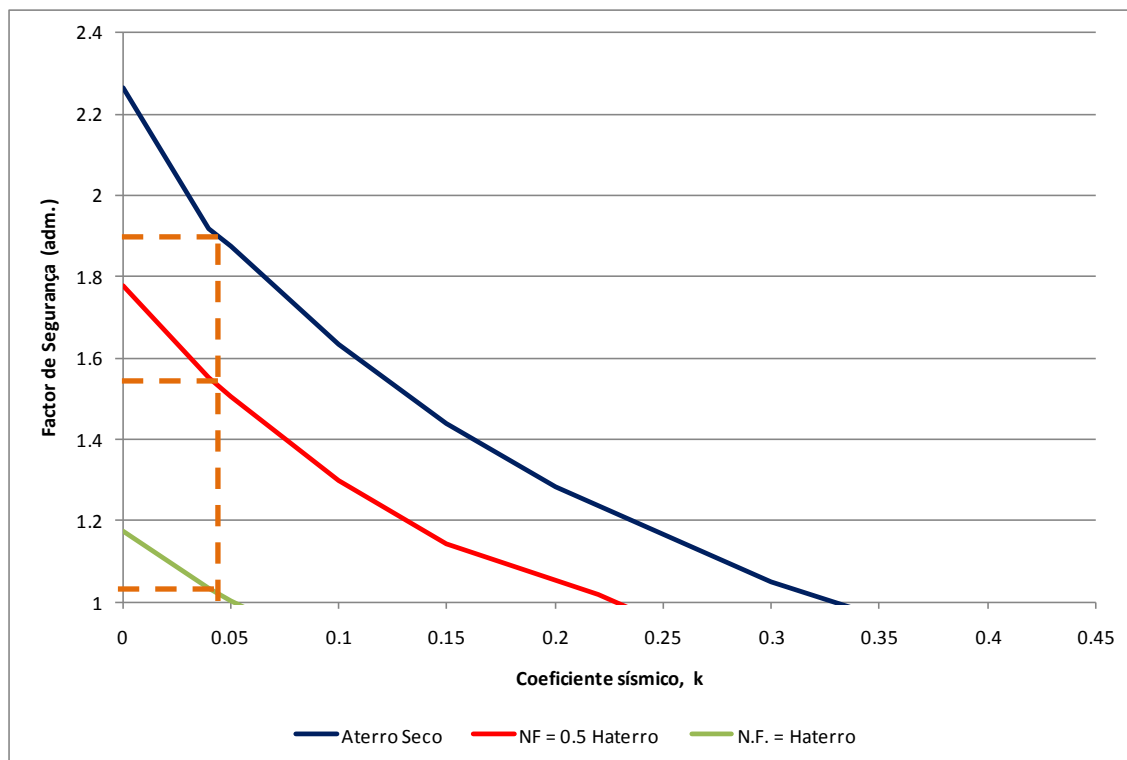


Figura 9 – Variação dos factores de segurança com o coeficiente sísmico para as três posições do nível freático (seco, a meia altura e total)

5 - Conclusões

Foram desenvolvidas variadas análises de estabilidade dinâmica necessárias à caracterização da segurança dos taludes SE do ASMC, de forma a cobrir uma vasta gama de situações que podem afectá-la, designadamente quando forem detonadas cargas explosivas nos terrenos limítrofes.

Com efeito, após a revisão dos conceitos associados a este tipo de estudo, procedeu-se à definição das propriedades físicas e geotécnicas mais prováveis do material que é depositado, foram aplicadas as principais metodologias de cálculo e obtiveram-se resultados que podem ser classificados como fiáveis.

Nas análises da estabilidade estática e dinâmica dos taludes fizeram-se variar os constrangimentos externos que sobre eles podem actuar, nomeadamente a altura de água infiltrada e a magnitude de vibrações provenientes de detonações de explosivos efectuadas nas proximidades e, até mesmo, abalos sísmicos que ocorram na região, uns e outros com intensidades vibratórias especificadas de acordo com os códigos legais existentes em Portugal: a Norma NP 2074 e o mapa de isossistas de Portugal Continental.

Tais constrangimentos permitiram equacionar as situações mais desfavoráveis que poderão ocorrer. Constatou-se que o talude que é objecto do estudo apresenta factores de segurança estáticos relativamente elevados, principalmente quando se encontra seco. À medida que sobe a posição do nível freático verifica-se a diminuição desses factores, principalmente quando se associam vibrações no terreno subjacente. Não obstante, o factor de segurança dinâmico para as condições mais críticas do nível freático situa-se acima da unidade.

Tais circunstâncias compostas são caracterizadas por baixas probabilidades de ocorrência, uma vez que as condições de drenagem vigentes no ASMC asseguram um escoamento eficaz e permanente.

Em suma, de acordo com as análises de estabilidade estática e dinâmica efectuadas sobre os taludes da região Sudeste do ASMC, estes ofereceram bons comportamentos perante as várias situações estudadas, particularmente aquando da existência em simultâneo de níveis freáticos e fenómenos sísmicos, indo ao encontro do historial de estabilidade de todo o depósito.

Lisboa, 23 de Maio de 2011

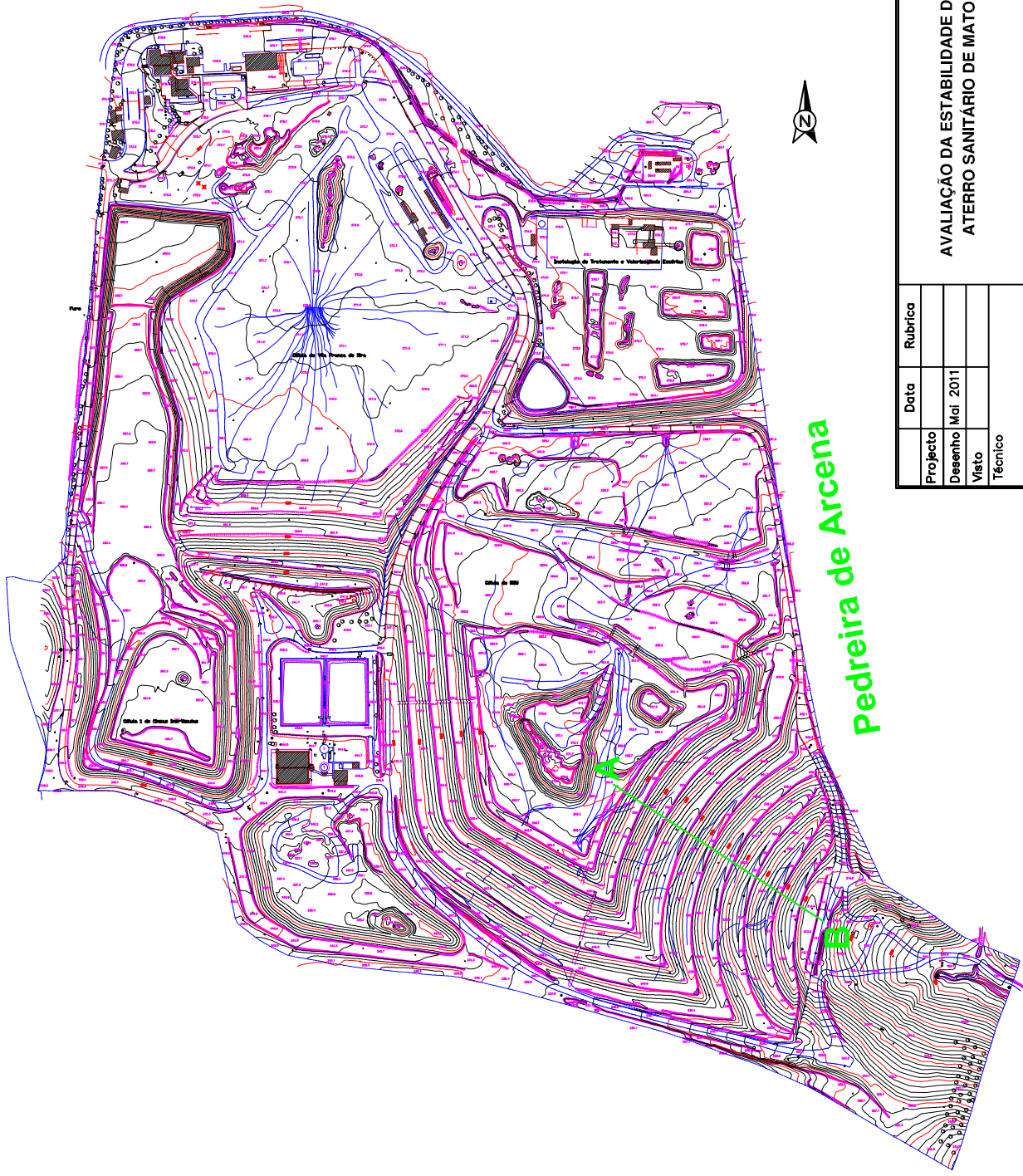
O Responsável do Laboratório de Geomecânica do IST,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Dinis da Gama', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a large initial 'C'.

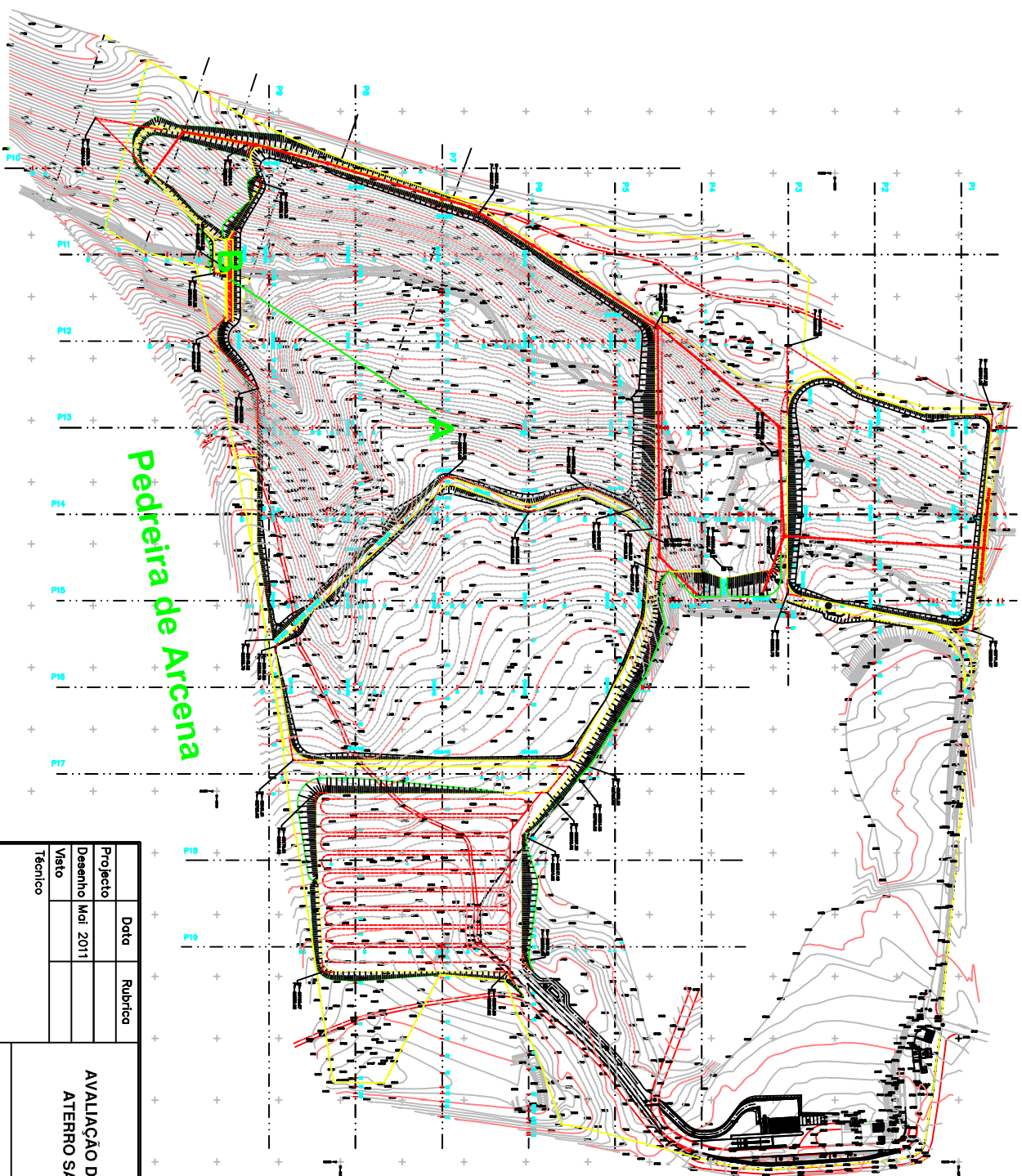
Prof. Cat. C. Dinis da Gama

ANEXO

Peças Desenhadas

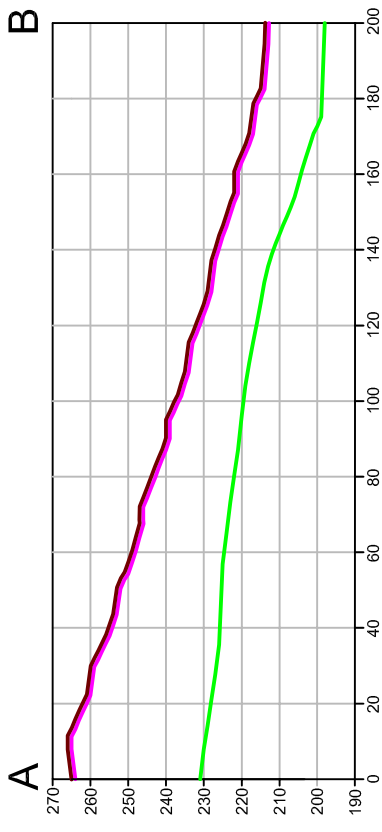


						LABGEO-IST					
Projecto		Data		Rubrica		AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DINÂMICA DO ATERRO SANITARIO DE MATO DA CRUZ					
Desenho		Mai 2011									
Visto											
Técnico											
Escala 1: 5.000 Maio de 2011						Topografia actual do Aterro de Mato da Cruz	Des. n.º 000001				
						Subs. des.	Subs. por:				



			AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DINÂMICA DO ATERRO SANITÁRIO DE MATO DA CRUZ	LABGEO-IST
Projecto	Data	Rubrica		
Desenho	Mai 2011			
Visto				
Técnico				
Escala			Topografia Inicial do Aterro de Mato da Cruz	Des. n.º
1:5.000				
Maio de 2011				

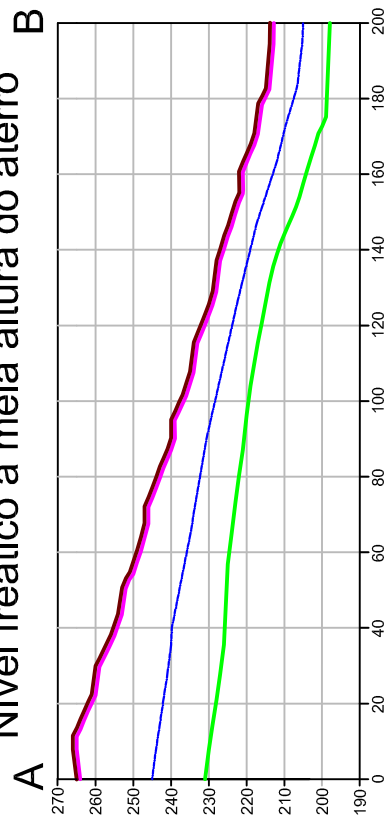
Aterro seco



LEGENDA:

- Topografia inicial
- Topografia actual
- Selagem do aterro
- Nível freático

Nível freático a meia altura do aterro



Data	Rubrica	ANÁLISE DE ESTABILIDADE DINÂMICA DO ATERRO DE MATO DA CRUZ	LABGEO-IST
Mai 2011			
1:2000		Cortes topográficos contemplando duas situações: aterro seco e aterro com nível freático a meia altura	Des. n° 000003
Maio de 2011			Subs. des. Subs. por.