

J. Agostinho Silva Engenharia, Lda

RELATÓRIO GEOTÉCNICO
para a ampliação da
Zona Industrial de Monte Cavalo
(Pólo de Ameixas)

Outubro de 2018

Responsabilidade técnica
Prof. Doutor Fernando L. Ladeira



DeltaTau – Sondagens e Estudos Geotécnicos, Lda
Rua Fernando Ribeiro, Armazém J
3810 Aveiro
Telef: 234 724 957
Email: deltatau.lida@gmail.com

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E TECTONO-SÍSMICO.....	3
2.1 GEOLOGIA REGIONAL	3
2.2 TECTÓNICA	5
2.3 SISMICIDADE.....	6
3. RESULTADOS DAS SONDAGENS	11
3.1 LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS NO POLO DE AMEIXAS	11
3.2 SONDAGENS ROTOPERCUSSIVAS.....	12
3.3 VALAS DE INSPEÇÃO.....	24
4. ZONAMENTO GEOLÓGICO	27
5. ESCAVABILIDADE	28
6. ATERROS.....	28
6.1 MATERIAIS PARA ATERROS	28
6.2 COMPACTAÇÃO E CONTROLO DOS ATERROS	29

As sondagens rotopercussivas foram realizadas com uma máquina rotopercussiva Furukawa, tendo sido realizados furos verticais com 60 mm de diâmetro.



Foto 1 – Máquina Furukawa usada na execução das sondagens rotopercussivas.

As valas de inspeção foram realizadas com máquina giratória e permitiram caracterizar litologicamente as formações existentes.



Foto 2 – Máquina giratória usada na execução das valas de inspeção e nos acessos aos locais das sondagens.

2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E TECTONO-SÍSMICO

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

Na zona em estudo (a cotas mais baixas) existem xistos e grauvaques do Complexo Xisto-grauváquico do Pré-câmbrico; estas rochas apresentam xistosidade subvertical que facilita o seu desmonte. Os xistos e grauvaques apresentam diversos graus de alteração, desde solos a rocha sã (W_2)

Na zona de cotas mais altas predominam formações graníticas hercínicas, são granitos de grão fino, porfiróides e leucocratas. Estes granitos encontram-se fraturados e alterados físico-quimicamente nos primeiros metros e deram origem a solos residuais areno-siltosos.

Existe uma camada superficial de terra vegetal com cerca de 0,7 m de espessura média.

Na Tabela I a seguir apresenta-se a descrição do maciço nos seus diferentes graus de alteração. Os parâmetros σ_c e E são respetivamente a tensão de rotura e o módulo de elasticidade das rochas.

Tabela I

Descrição do maciço, grau de alteração e propriedades -

Tipo de maciço	Grau de alteração	Descrição do maciço	σ_c MPa	E MPa
Solos residuais (maduros e jovens)	S	A textura original da rocha foi completamente destruída aparentando-se homogénea nos solos maduros e com alguma heterogeneidade nos solos jovens	0,15-0,5	< 30
Completamente alterado	W5	A rocha é completamente descolorida, decomposta e friável, preservando as estruturas da rocha original. A rocha pode ser escavada com os equipamentos usuais de terraplenagem e com picareta.	0,5-2,5	30-75
Muito alterado	W4	A alteração estende-se a todo o maciço e o material rocha é parcialmente friável. A rocha não tem brilho. Todo o material é descolorido, exceto o quartzo. A rocha pode ser escavada com os equipamentos usuais de terraplenagem.	2,5-15	75-100
Medianamente alterado	W3	A descoloração da rocha é estendida à maior parte do maciço rochoso. A rocha não é friável. As descontinuidades estão manchadas e/ou contêm preenchimentos de materiais neoformados (argilosos na maior parte dos casos). Os meios tradicionais de terraplenagem têm dificuldade em desmontar o maciço exceto quando as fraturas do maciço forem muito próximas. Algumas vezes o desmonte do maciço poderá ser feito com ripper e/ou martelo pneumático (raramente explosivos)	15-30	100-200
Ligeiramente alterado	W2	Alteração penetrante desenvolvida na superfície das descontinuidades abertas; alguns sinais de alteração na rocha. Resistência elevada ao impacto com o martelo. O desmonte do maciço só pode ser feito com explosivos ou outras técnicas tais como plasma-jet, jacto de água, maçarico oxiacetilénico, etc.	30- 50	200-350
São	W1	Não há sinais visíveis de alteração. O desmonte do maciço só pode ser feito com explosivos ou outras técnicas referidas em W2.	> 50	> 350

2.3 SISMICIDADE

Tendo em conta o “Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes” (RSA), o terreno em estudo enquadra-se na segunda zona de menor risco sísmico do território nacional, a designada Zona C.

Segundo o Eurocódigo 8, o local em estudo insere-se na zona 1.6 para o sismo afastado e 2.5 para o sismo próximo.

ZONA	α
A	1,0
B	0,7
C	0,5
D	0,3



Figura 3 - Carta de zonamento do risco sísmico (RSA)

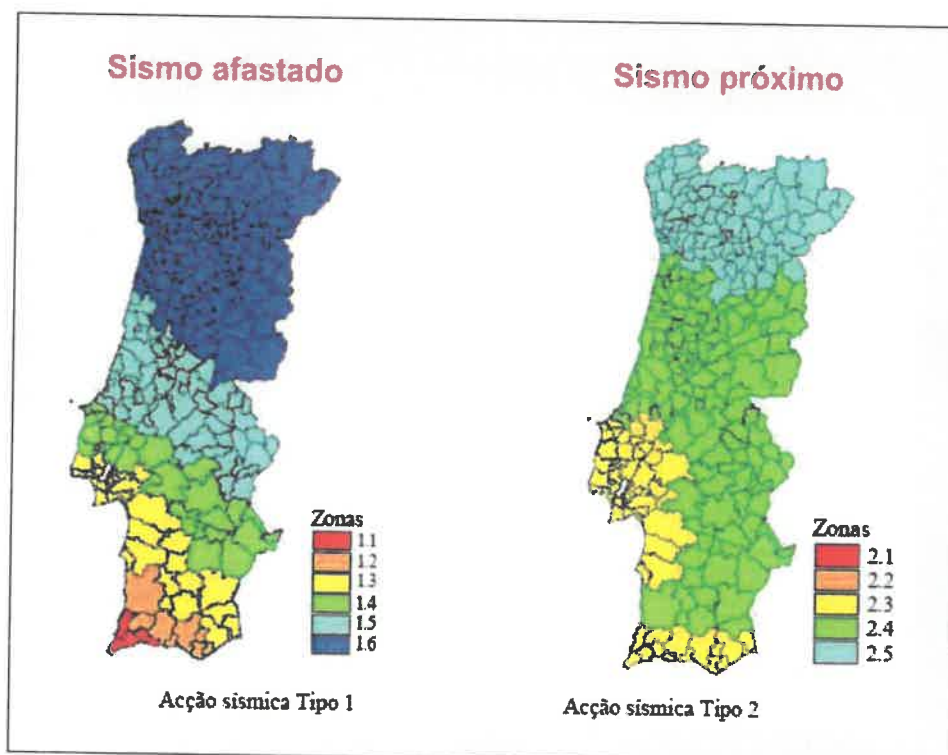


Figura 4 - Carta de zonamento do risco sísmico (EC8 - EN1998)

Aceleração máxima de referência

Zona	AS Tipo 1 a_{gR} (m/s ²)	AS Tipo 2 a_{gR} (m/s ²)
x.1	2,50	2,50
x.2	2,00	2,00
x.3	1,50	1,70
x.4	1,00	1,10
x.5	0,60	0,80
x.6	0,35	-

Figura 5 – Valores para a aceleração máxima de referência (a_{gR}) em m/s².

Os valores da a_{gR} em Vouzela no sismo afastado (Tipo 1) é 0,35 m/s² e para o sismo próximo (Tipo 2) é 0,8 m/s².

No quadro seguinte apresenta-se a classificação dos tipos de terreno de acordo com o EC8.

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (puncções/30 cm)	c_u (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície	> 800	-	-
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rija, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade	360 – 800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Depósitos de solos não coesivos de compactidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura	< 180	< 15	< 70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de v_s do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com $v_s > 800$ m/s			
S_1	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10 m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade ($PI > 40$) e um elevado teor em água	< 100 (indicativo)	-	10 - 20
S_2	Depósitos de solos com potencial de liquefacção, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A – E ou S_1			

No local ocorrem terrenos do Tipo A.

A aceleração sísmica (horizontal ou superficial) num terreno do Tipo A é:

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_1$$

sendo γ_1 o coeficiente de importância, cujo valor é obtido em função da classe de importância e do tipo de ação sísmica.

A classe de importância deverá ser do tipo III, o que significa que no caso das ações sísmicas do Tipo 1 é igual a 1,6 e do Tipo 2 é igual a 1,3.

A relação entre as acelerações sísmicas vertical (a_{vg}) e horizontal (a_g) será:

Ação sísmica	a_{vg}/a_g
Tipo 1	0,75
Tipo 2	0,95

A **aceleração sísmica superficial ou horizontal (a_g)** pode ser obtida a partir da aceleração sísmica na rocha (terreno do Tipo A) através da aplicação de um fator S que tem em conta a amplificação das acelerações dado por :

Valor do fator S do solo de fundação

Tipo terreno	Zona sísmica 1.1	Zona sísmica 1.2	Zona sísmica 1.3	Zona sísmica 1.4 a 1.6	Zona sísmica 2.1 a 2.3	Zona sísmica 2.4 a 2.5
A	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
B	1,2	1,2	1,2	1,3	1,35	1,35
C	1,3	1,4	1,5	1,6	1,5	1,6
D	1,4	1,6	1,8	2,0	1,8	2,0
E	1,4	1,5	1,7	1,8	1,6	1,8

Assim para calcular os coeficientes sísmicos horizontal (K_h) e vertical (K_v) utilizam-se as expressões:

$K_h = (a_g/g) \cdot S/r$ sendo "r" um fator que depende do deslocamento admissível para as fundações e é dado por 2,0, se o deslocamento admissível for $dr = 300 a_g \cdot S/g$ (mm), ou 1,5 se o deslocamento admissível for: $dr = 200 a_g \cdot S/g$ (mm);

$$K_v = \pm 0,5 \cdot K_h \text{ se } a_{vg}/a_g > 0,6$$

$$K_v = \pm 0,33 \cdot K_h \text{ se } a_{vg}/a_g = 0,6$$

De acordo com a Carta de Intensidades máximas observadas em Portugal, entre 1901 e 1972 e a Carta de Magnitudes máximas expectáveis para um período de retorno de 100 anos, espera-se que estes valores sejam da ordem de VI na escala de Mercalli e 5 a 6 na escala de Richter.

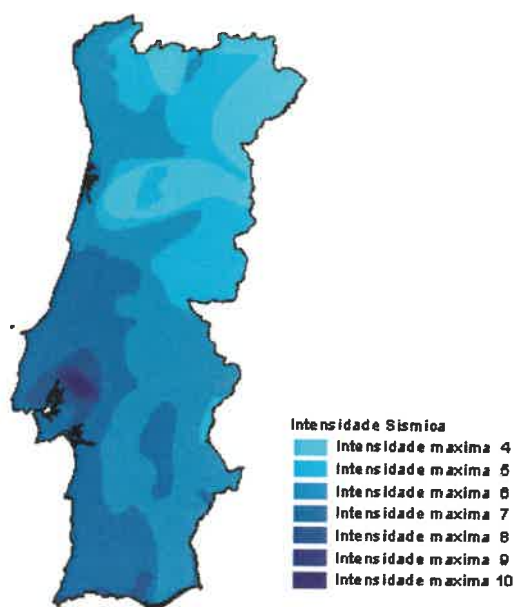


Figura 6 - Carta de intensidades sísmicas máximas, observadas em Portugal entre 1901 e 1972

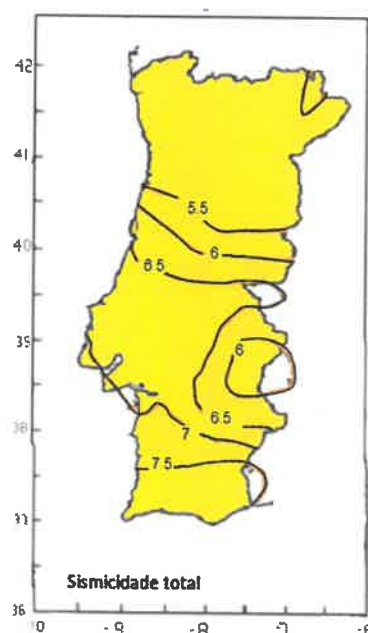
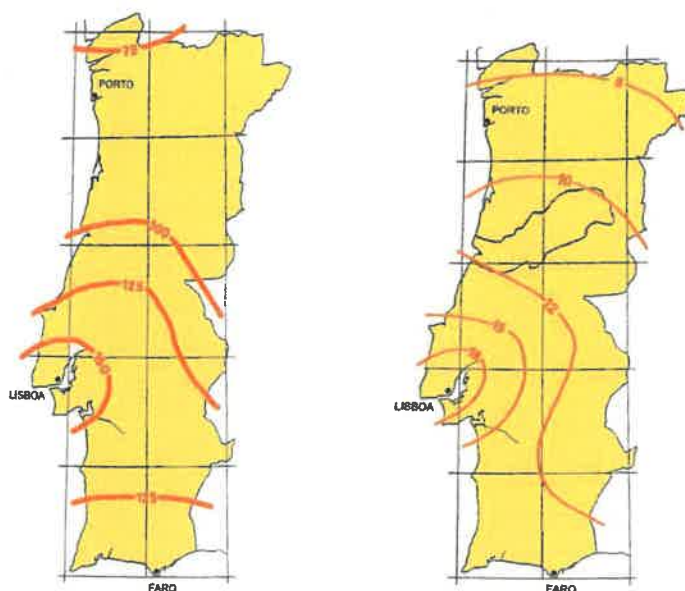


Figura 7 - Carta de isolinhas expectáveis de magnitudes sísmicas, para um período de retorno de 100 anos

Atendendo ao estudo levado a cabo por OLIVEIRA (1977) e para um período de retorno de 1000 anos, esperam-se aproximadamente os seguintes valores máximos, para os diversos parâmetros sísmicos:

- Velocidade de propagação, 10 a 12 cm/s
- Aceleração sísmica, 75 a 100 cm/s²
- Deslocamento, 4 a 5 cm



Figuras 8 e 9 – Acelerações máximas para um período de retorno de 1000 anos (unidades em cm.s⁻²) e velocidades máximas para um período de retorno de 1000 anos (unidades em cm/s)

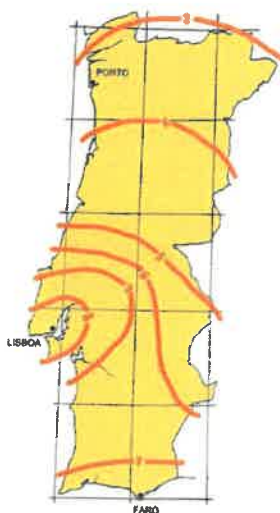
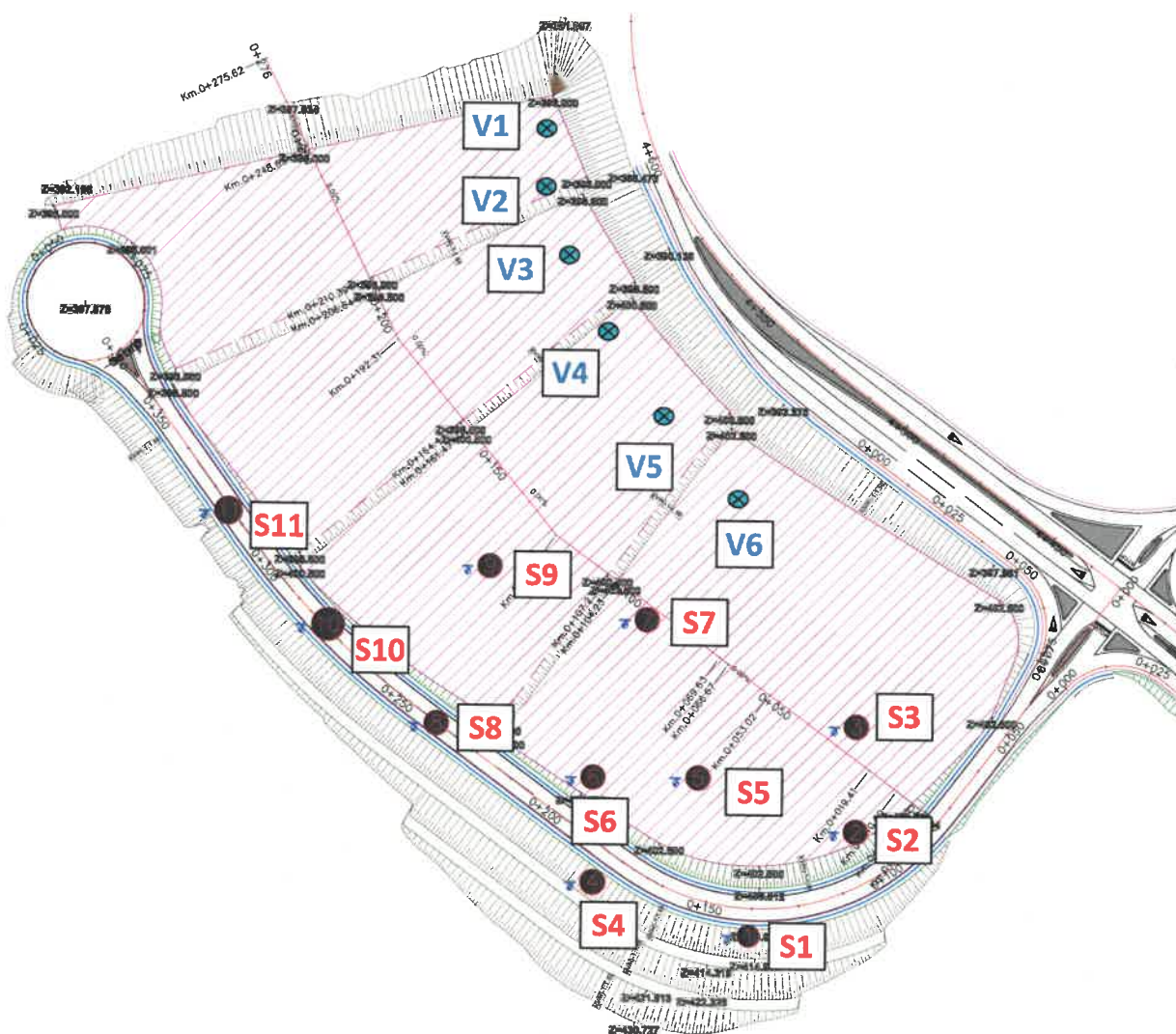


Figura 10 – Deslocamentos máximos para um período de retorno de 1000 anos (unidades em cm)

3. RESULTADOS DAS SONDAGENS

3.1 Localização das sondagens no Polo de Ameixas

Foram realizadas 11 sondagens rotopercussivas e 6 valas de inspeção localizadas de acordo com a figura seguinte.



3.2 Sondagens rotoperçussivas

Na **Tabela II**, apresentam-se as coordenadas, as cotas aproximadas e as profundidades atingidas pelas sondagens rotoperçussivas.

Tabela II
- Sondagens rotoperçussivas – Polo de Ameixas-

Furo	Coordenadas M/P		Cota aprox. (m)	Profundidade atingida (m)
	P	M		
S1	116828.1824	14.1421	421,5	11,5
S2	116856.4667	42.4264	411,8	9,0
S3	116884.7509	42.4264	410,5	9,0
S4	116842.3245	-282843	423,5	10,5
S5	116870.6088	0,0000	415,5	12,0
S6	116870.6088	-28.2843	416,2	11,0
S7	116913.0352	-14.1421	410,2	8,0
S8	116884.7509	-70.7107	412,5	10,0
S9	116927.1773	-56.5685	408,7	8,5
S10	116910.9589	-101.0712	409,8	8,5
S11	116941.3195	-127.2792	405,8	4,0

A caracterização litológica obtida em profundidade em cada sondagem apresenta-se nas tabelas a seguir.

Tabela III
- Sondagem rotopercussiva S1 -

Sondagem	Profundidade (m)	Grau de alteração	Escavabilidade
S1	0 – 5,0	Blocos de granito (W3)	difícil
	5,0 – 11,5	W3	



Tabela IV
- Sondagem rotopercussiva S2 -

Sondagem	Profundidade (m)	Grau de alteração	Escavabilidade
S2	0 – 6,0	W5/S	fácil
	6,0 – 9,0	W5/W4	



Tabela V

- Sondagem rotopercussiva S3 -

Sondagem	Profundidade (m)	Grau de alteração	Escavabilidade
S3	0 – 3,0	S/W5	fácil
	3,0 – 6,0	W5	
	6,0 – 9,0	W4/W5	



Tabela VI
- Sondagem rotopercussiva S4 -

Sondagem	Profundidade (m)	Grau de alteração	Escavabilidade
S4	0 – 3,0	W4/W3	fácil
	3,0 – 10,5	W3	difícil



Tabela VII
- Sondagem rotopercussiva S5 -

Sondagem	Profundidade (m)	Grau de alteração	Escavabilidade
S5	0 – 3,0	Blocos de granito (W3)	difícil
	3,0 – 12,0	W3	



Tabela VIII
- Sondagem rotopercussiva S6 -

Sondagem	Profundidade (m)	Grau de alteração	Escavabilidade
S6	0 – 5,5	Solo e blocos de granito (W3)	fácil
	5,5 – 11,0	W3	difícil



Tabela IX
- Sondagem rotoperfussiva S7 -

Sondagem	Profundidade (m)	Grau de alteração	Escavabilidade
S7	0 – 2,5	W5/W4	fácil
	2,5 – 5,5	W5 com blocos de granito (W3)	
	5,5 – 8,0	W4	



Tabela X
- Sondagem rotoperçussiva S8 -

Sondagem	Profundidade (m)	Grau de alteração	Escavabilidade
S8	0 – 3,0	Solo com blocos de granito (W3)	fácil
	3,0 – 6,0	W5	
	6,0 – 10,0	W5/W4	



Tabela XI
- Sondagem rotopercussiva S9 -

Sondagem	Profundidade (m)	Grau de alteração	Escavabilidade
S9	0 – 6,0	S/W5	fácil
	6,0 – 8,5	W4	

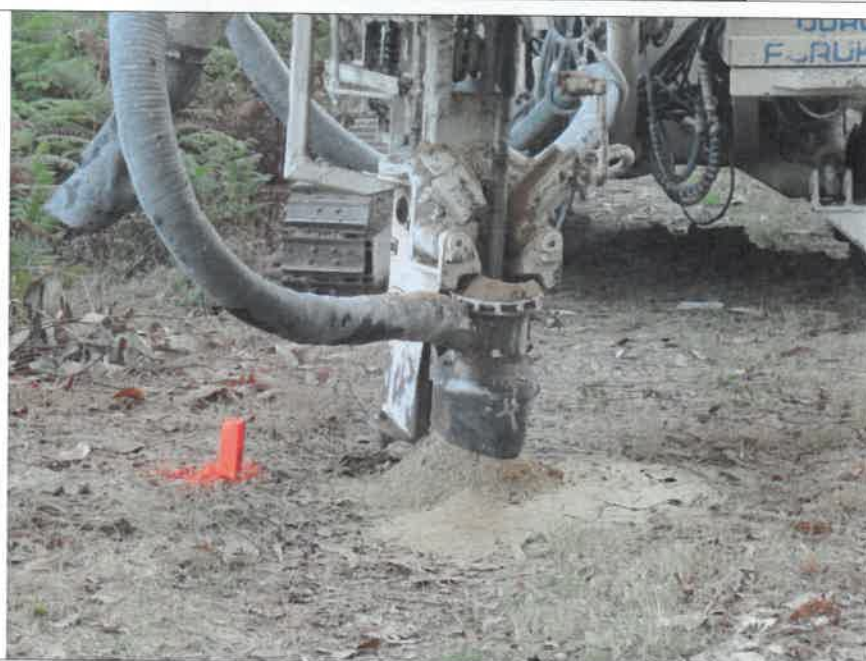


Tabela XII

- Sondagem rotopercussiva S10 -

Sondagem	Profundidade (m)	Grau de alteração	Escavabilidade
S10	0 – 3,0	S/W5	fácil
	3,0 – 8,5	W5/W4	



Tabela XIII
 - Sondagem rotoperfussiva S11 -

Sondagem	Profundidade (m)	Grau de alteração	Escavabilidade
S11	0 – 4,0	S/W5	fácil



3.3 Valas de inspeção

Na **Tabela XIV**, apresentam-se as cotas aproximadas e as profundidades atingidas pelas valas de inspeção. As valas foram realizadas na parte mais baixa do terreno onde serão colocados aterros.

Tabela XIV
- Valas de inspeção – Polo de Ameixas -

Vala	Cota aprox. (m)	Profundidade atingida (m)
1	389,0	0,3
2	390,0	0,4
3	391,0	0,5
4	392,0	1,2
5	393,0	0,4
6	393,5	1,5

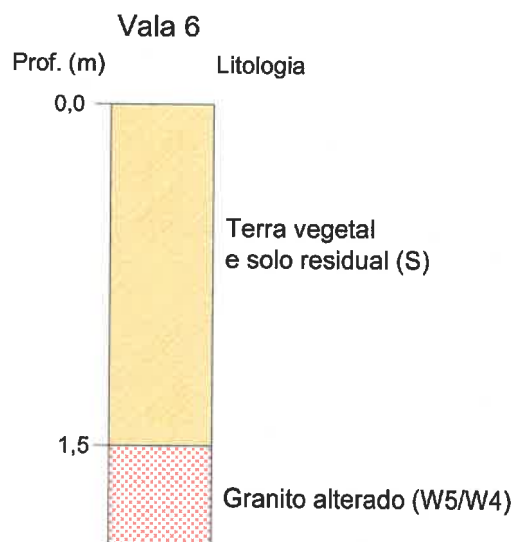
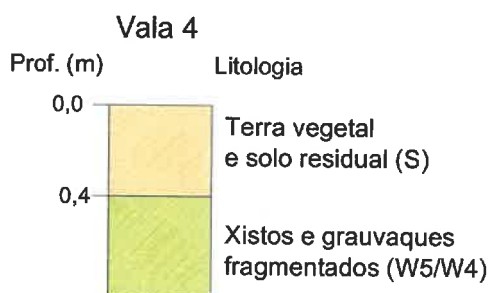
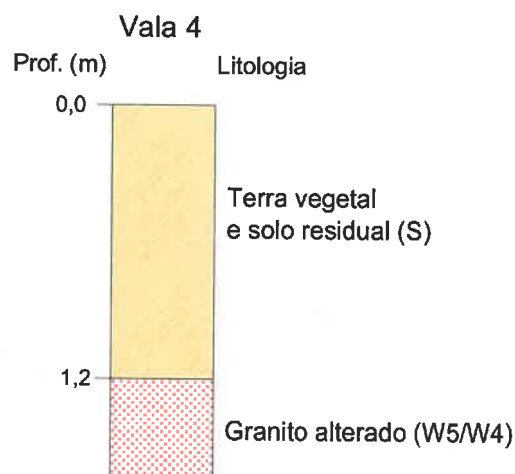
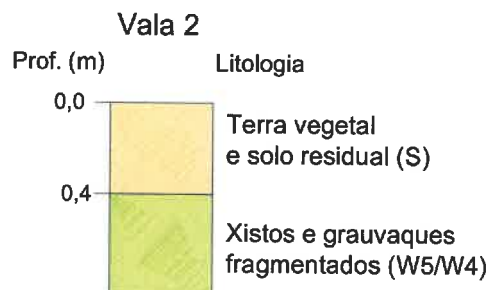
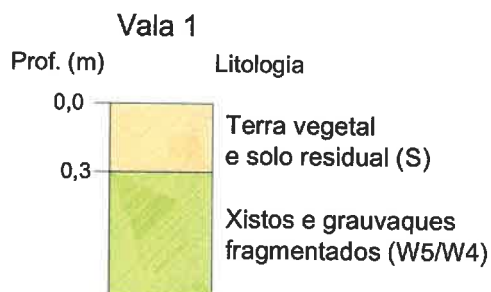


Foto 3 – Solos residuais e xistos e grauvaques fragmentados encontrados nas valas 1, 2, 3 e 5.



Foto 4 – Solo residual e granitos muito alterados encontrados nas valas 4 e 6.

Apresentam-se a seguir os perfis das valas de inspeção (V1 a V6) realizadas no Polo de Ameixas.



4. ZONAMENTO GEOLÓGICO

Com base nas sondagens realizadas e na observação dos afloramentos rochosos fez-se um zonamento que evidencia a zona onde a rocha W3 aparece a partir de 3,0 metros de profundidade e onde também aparecem blocos de granito à superfície, oferecendo mais resistência à escavação.

Na figura a seguir apresenta-se o zonamento geológico, com indicação a azul, da zona onde o granito W3 aparece em bloco a partir da superfície ou em maciço a partir de 3 metros de profundidade.

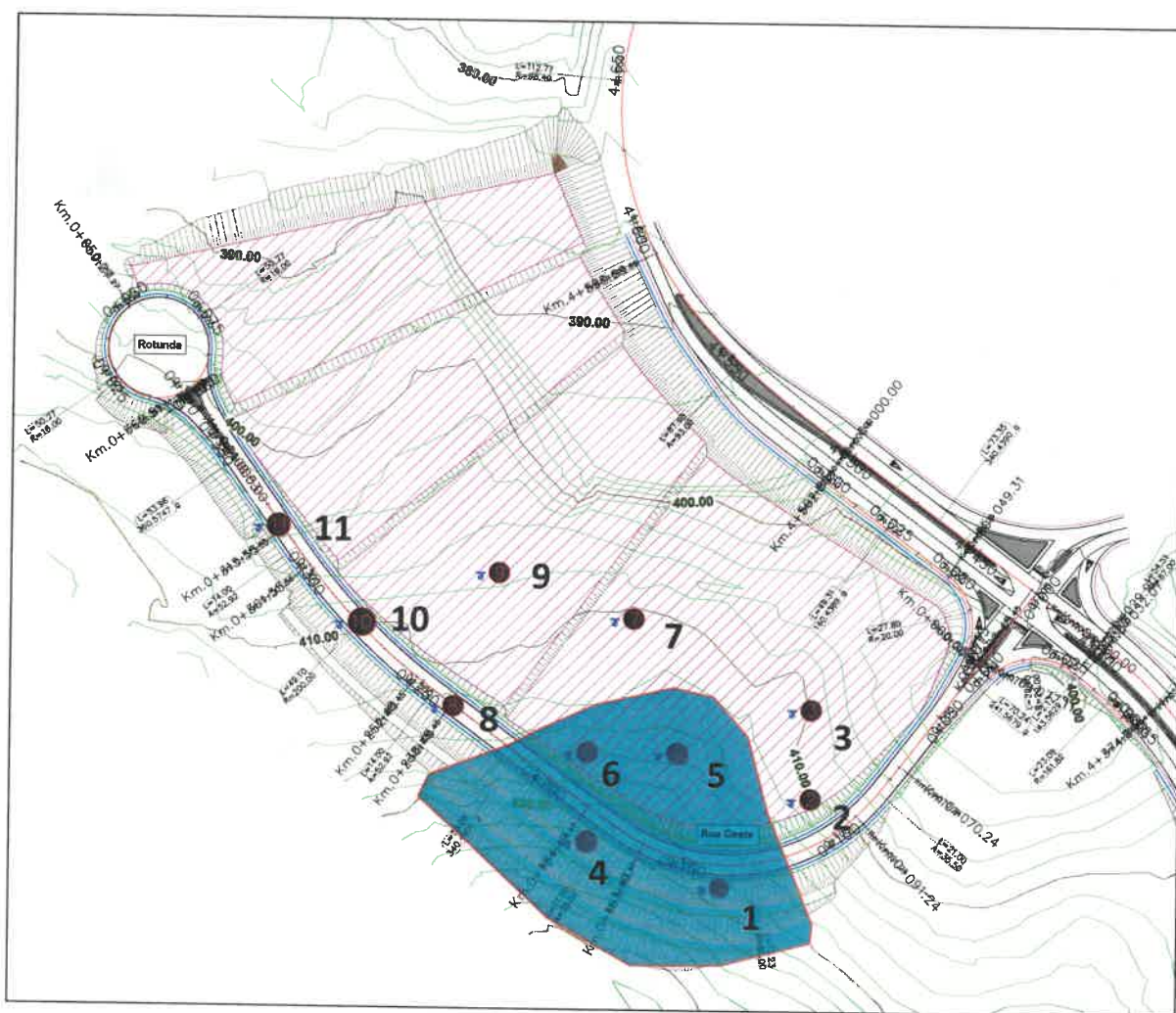


Figura 12 – Zonamento geológico com indicação da zona onde o granito W3 aparece em bloco a partir da superfície ou a menos de 3 metros de profundidade (S/E).

5. ESCAVABILIDADE

Para a escavabilidade do maciço, utilizou-se como informação, o reconhecimento geológico de superfície, as valas de inspeção e os furos feitos com máquina rotoperfussiva.

As zonas de fácil escavação, incluem as de maior alteração físico-química dos granitos, denominada de S (solos), W5 (rocha completamente alterada) e W4 (rocha muito alterada). A escavação deste tipo de maciço pode ser executada por quaisquer equipamentos tradicionais de terraplenagem. A espessura desta zona é muito variável consoante o local (ver sondagens no item 3.1). Devido à existência de alguns blocos de rocha (W3) dever-se-á usar um *ripper* que resolve o problema da escavação, associado aos equipamentos tradicionais de terraplenagem.

As zonas de difícil escavação, incluem as zonas de alteração W3 (em maciço) e exige a utilização de explosivos, associados a *ripper* e a martelo pneumático muitas vezes.

6. ATERROS

6.1 Materiais para aterros

Para se atingir a cota final dos vários lotes será necessário colocar vários metros de aterros na zona mais baixa do terreno; a espessura de aterros pode atingir 9 metros.

Os materiais pedregosos e areno-siltosos provenientes da zona de escavação poderão ser utilizados como empréstimo para a zona de aterros. A terra vegetal e os solos residuais argilosos da zona a aterrar terão que ser saneados integralmente. Também poderão ser utilizados materiais granulares de granulometria extensa (areias e toutvenant).

6.2 Compactação e controlo dos aterros

Estes aterros deverão ser compactados e controlados com ensaios de carga com placa.

O controlo da compactação dos aterros, deve obedecer a certas normas que visam o seu rigor e exatidão; este controlo é feito através de **ensaios de carga com placa**, sendo as deformações medidas com a **Viga Benkelman**. Este ensaio sendo sensível à deformação sofrida pelo solo devido à existência de vazios preenchidos com água ou não, permite-nos controlar qualquer solo, independentemente da sua composição mineralógica ou granulométrica, sem necessidade de realizar ensaios laboratoriais.

Os parâmetros que se indicam a seguir obrigam a uma regular a boa compactação e permitem definir para cada tipo de solo e equipamento usado o número de passagens. Considera-se o melhor ensaio de controlo de compactação de solos, com vantagem de controlar profundidades até cerca de 2 vezes o diâmetro da placa utilizada.

Os resultados deverão satisfazer as boas condições de compactação de tal forma que as deformações totais sejam compatíveis com o tipo de obra a implantar. Se tal não ocorrer, dever-se-á proceder à remoção do aterro e voltar a compactá-lo em toda a zona ou nas zonas que apresentarem deficiências de compactação.

EQUIPAMENTO UTILIZADO NO ENSAIO DE CARGA COM PLACA

O ensaio de carga com placa, consiste na aplicação de esforços de compressão ao terreno, através de uma placa distribuidora de pressões.

O esforço é transmitido por meio de um macaco que possui um manómetro acoplado que serve para medir as cargas que se aplicam, sendo a reacção conseguida com recurso a equipamento pesado e as deformações do aterro medidas com a Viga Benkelman.

A placa utilizada nestes ensaios é constituída por uma peça circular de aço com diâmetro de 600 mm.

EXECUÇÃO DO ENSAIO

Para a execução deste ensaio será necessário fazer uma pré-consolidação com pressão de 0,03 MPa, durante cerca de 1 minuto, para que haja um ajuste da placa ao aterro; depois faz-se a descarga e seguidamente procede-se ao carregamento em dois ciclos, sendo que no 1º ciclo se aplica uma carga de 0,25 MPa e no 2º ciclo 0,2 MPa, para obter os respetivos módulos de elasticidade no 1º Ciclo (E_{v1}) e no 2º Ciclo (E_{v2}).

A razão dos módulos ($K = E_{v2} / E_{v1}$) dará igualmente indicações precisas sobre o estado de compactação do aterro.

O controlo da compactação deverá ser feito pelos valores de E_{v1} , E_{v2} , e K .

Para cada tipo de solo e de acordo com o tipo de obra é possível atribuir valores mínimos para o E_{v2} e K .

Nesta obra os valores dos parâmetros de compactação a exigir deverão ser os seguintes:

$$E_{v2} \geq 50 \text{ MPa}$$

e

$$1,4 \leq K \leq 2,0$$

Para colocar estes materiais nas zonas de aterros dever-se-á fazer a decapagem e retirar toda a terra vegetal existente.

Aveiro, outubro de 2018

A Equipa Técnica



Prof. Doutor Fernando Lage Ladeira
(Especialista em Geotecnia)



Carminda Sardo
(Geóloga, Especialista em Mecânica
dos Solos e Engenharia Geotécnica)