

MUNICÍPIO DE GRÂNDOLA

RELATÓRIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO para a requalificação da EM1077 – Estrada de acesso à Praia de Melides



Maio de 2023

*Responsabilidade técnica
Prof. Doutor Fernando L. Ladeira*



DeltaTau – Sondagens e Estudos Geotécnicos, Lda
Rua Fernando Ribeiro, Armazém J
3810-011 Aveiro
Telef: 234 724 957/917 611 588
Email: deltatau lda@gmail.com

Estudo geológico-geotécnico para a requalificação da EM1077 – Estrada de acesso à Praia de Melides

Equipa técnica que desenvolveu este estudo geotécnico

Carminda Teixeira Sardo

Geóloga, Pós-graduada em Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica

Elísio Pereira dos Santos

Eng. de Minas, Técnico Superior de Higiene e Segurança no Trabalho, Eng. Sondador

Fernando Lage Ladeira

Geólogo, Especialista em Geotecnia,

Doutorado pela Universidade de Londres (Imperial College)

Ex-Professor das Universidades de Aveiro, Coimbra e Lisboa

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.....	11
3.1 LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS.....	11
3.2 SONDAGENS DPSH.....	12
3.3 NÍVEL DE ÁGUA	13
4. ESTRADA DE ACESSO À PRAIA	14
(DPSH S1)	14
4.1 LOCALIZAÇÃO DA S1.....	15
4.2 RESULTADOS DA S1.....	16
4.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DA S1	17
4.4 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	18
5. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA COMPACTA	20
(DPSH S2)	20
5.1 LOCALIZAÇÃO DA S2 (EE).....	21
5.2 RESULTADOS DA S2 (EE).....	22
5.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DA S2	24
5.4 FUNDAÇÕES DA EE	25
6. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EE1	27
(DPSH S3)	27
6.1 LOCALIZAÇÃO DA S3 (EE1).....	28
6.2 RESULTADOS DA S3 (EE1).....	29
6.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DA S3	30
6.4 FUNDAÇÕES DA EE1	31

7. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EE2	33
(DPSH S4)	33
7.1 LOCALIZAÇÃO DA S4 (EE2).....	34
7.2 RESULTADOS DA S4 (EE2).....	35
7.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DA S4	37
7.4 FUNDAÇÕES DA EE2	38
8. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA EE3	40
(DPSH S5)	40
8.1 LOCALIZAÇÃO DA S5 (EE3).....	41
8.2 RESULTADOS DA S5 (EE3).....	42
8.3 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DA S5	45
8.4 FUNDAÇÕES DA EE3	46
ANEXOS	

1. INTRODUÇÃO

Procedeu-se ao reconhecimento e estudo geotécnico do terreno na EM1077 – estrada de acesso à Praia de Melides com vista à sua requalificação e zonas de implantação de quatro estações elevatórias.

Para o estudo geotécnico foram realizados os seguintes trabalhos de campo no dia 18/04/2023:

- 5 sondagens penetrométricas dinâmicas super-pesadas (DPSH).



Figura 1 – Localização da EM1077 – Estrada de acesso à Praia de Melides em Grândola com indicação das zonas das estações elevatórias (sem escala).

No presente relatório, apresentam-se e comentam-se os resultados obtidos dos trabalhos de campo efectuados e tecem-se as considerações emergentes na perspectiva da implantação da obra em causa.

As sondagens penetrométricas dinâmicas super-pesadas (DPSH), foram realizadas com um equipamento da marca Pagani TG63-100; segundo a Norma Europeia EN ISO 22476-2, este penetrómetro é do tipo DPSH-B. Estas sondagens DPSH consistem na penetração de uma série de varas no terreno, no início das quais existe um cone com 50,5 mm de diâmetro e 90º de ângulo apical. A penetração ocorre pela acção da queda de um peso de 63,5 Kg, da altura de 0,75 m, de acordo com as normas do ISSMFE (Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações). O peso de cada vara é de 6 Kg. Para a apresentação do relatório seguiu-se a Norma Europeia EN ISO 22476-2.



Foto 1 – Máquina Pagani TG63-100 utilizada nas sondagens DPSH.

2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E TECTONO-SÍSMICO

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

A região de Melides - Grândola está englobada na Folha 42-A Grândola da Carta geológica de Portugal à escala 1/50000.

Na zona encontram-se terrenos plio-quaternários formando uma região aplanada com vários quilómetros de largura.

Encontram-se predominantemente depósitos superficiais de aluviões, terraços fluviais e areias eólicas sobre as formações pliocénicas constituídas por areias, cascalheiras, arenitos, argilitos e conglomerados. Estas formações pliocénicas têm apenas pequenos retalhos aflorantes na EM1077, tendo maior representatividade a Sul e Sudeste.

Genericamente, em termos litológicos encontram-se, nas zonas em estudo, areias finas a médias equigranulares, areias cascalhentas, argilosas com seixos e areias lodosas junto aos cursos de água. A profundidades variáveis encontram-se areias compactas, arenitos, argilitos e por vezes conglomerados.

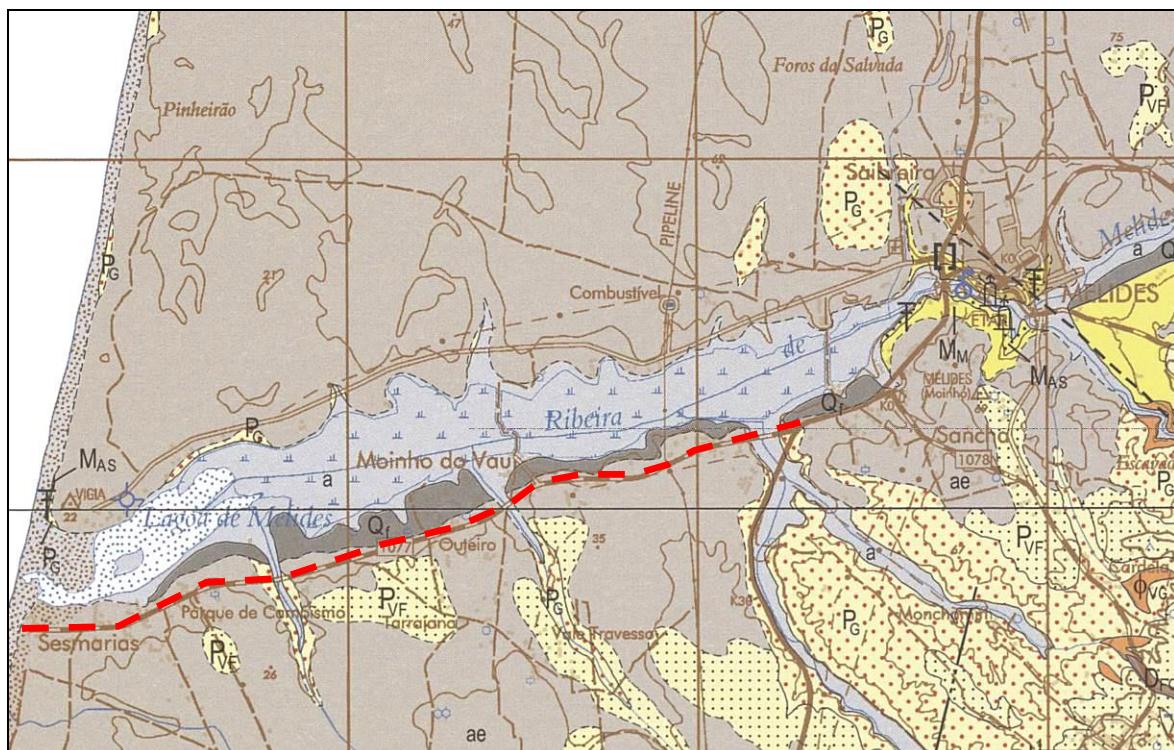


Figura 2 – Extrato da Folha 42-A Grândola da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000 com localização da EM1077 em estudo (S/E).

	Quaternário	Plistocénico	Holocénico	
			a	Aluviões
			ap ae	ap- Areias de praia ae- Areias eólicas
			Q _f	Depósitos de terraços fluviais
			P _{VF}	Areias e cascalheiras de Vale Figueira: argilitos, arenitos e conglomerados
CO			P _G P _U	P _G - Areias de Galé: arenitos e conglomerados, por vezes com níveis de diatomitos P _U - Formação de Ulme: arenitos, por vezes com seixos dispersos

Figura 3 – Extrato da legenda da Folha 42-A Grândola da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000 com as formações encontradas no local em estudo (S/E).

2.2 TECTÓNICA

A unidade Hercínica da Península Ibérica é caracterizada pela existência de várias Zonas Geotectónicas, com características paleogeográficas, tectónicas e lito-estratigráficas distintas, dispostas paralelamente às linhas estruturais da Cadeia (Julivert & col. 1974).

A área em estudo situa-se na denominada Orla Meso-Cenozóica (Orla Ocidental).

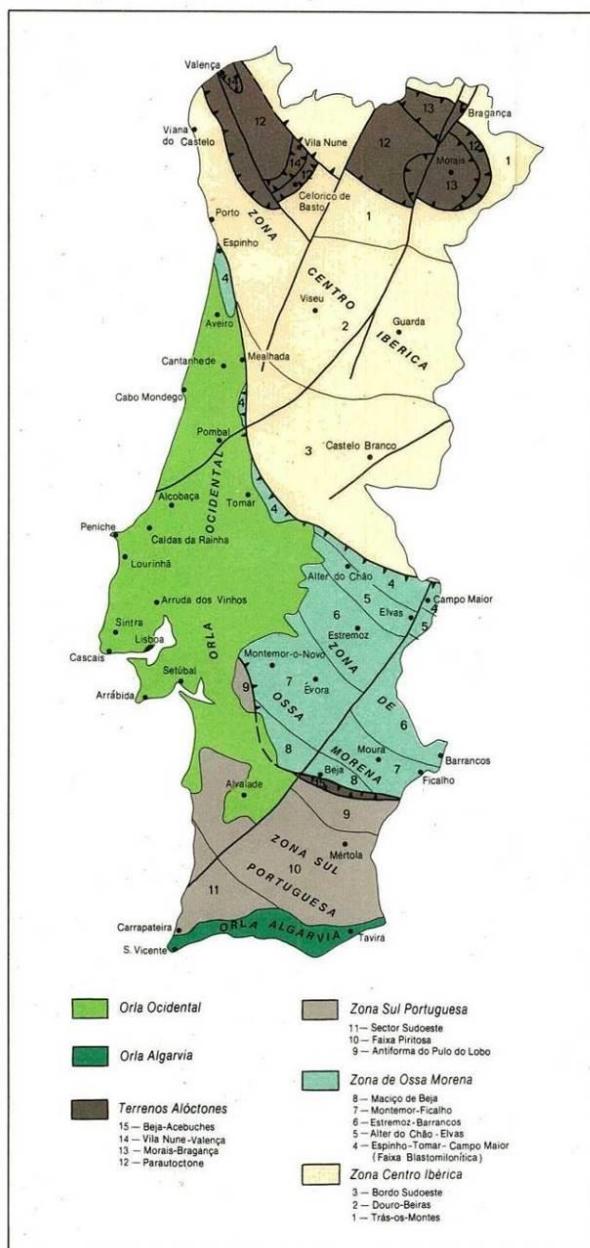


Figura 4 - Esquema tectono-estratigráfico.

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 maior risco sísmico do território nacional, a designada Zona A.

Segundo o Eurocódigo 8, o local em estudo insere-se na zona 1.3 para o sismo afastado e 2.3 para o sismo próximo.

ZONA	α
A	1,0
B	0,7
C	0,5
D	0,3



Figura 5 - Carta de zonamento do risco sísmico (RSA)

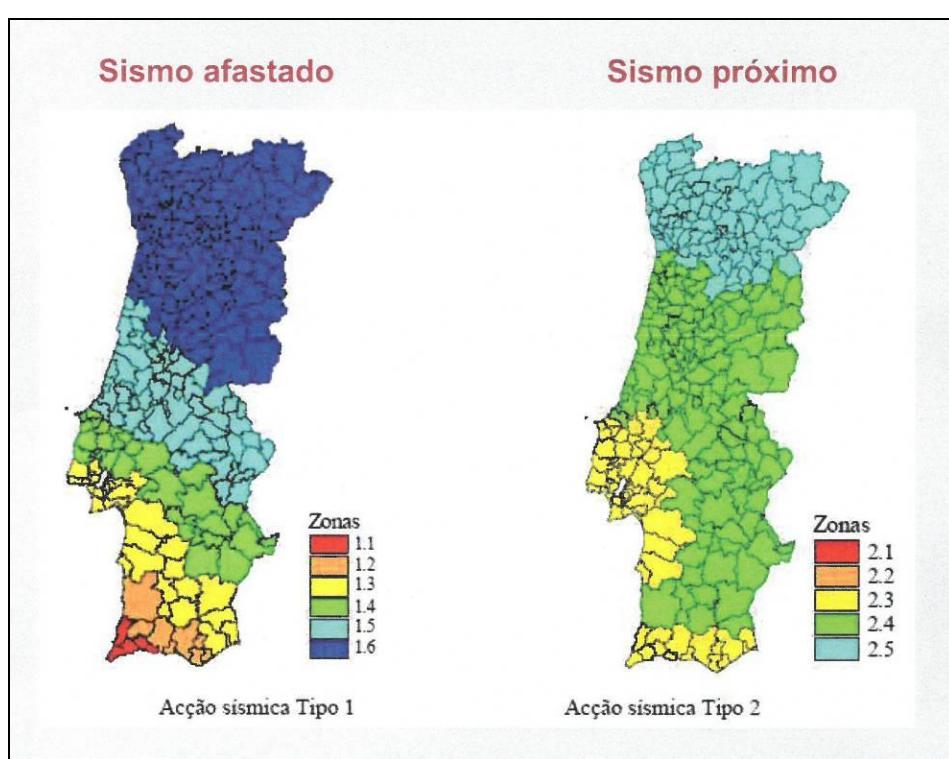


Figura 6 - Carta de zonamento do risco sísmico (EC8 - EN1998)

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	-

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

Os valores da a_{gR} em Grândola no sismo afastado (Tipo 1) é 1,5 m/s² e para o sismo próximo (Tipo 2) é 1,70 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} (pancadas/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 compacidade 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 liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A – E ou S_1			

No local ocorrem predominantemente terrenos do Tipo C e D.

A aceleração sísmica (horizontal ou superficial) num terreno do Tipo C/D 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 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 nos solos do Tipo C/D 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:

$K_h = (a_g/g).S/r$ sendo “r” um fator que depende do deslocamento admissível para as fundações e é dado por 2.0, se o deslocamento admissível for $dr = 300 a_g.S/g$ (mm), ou 1.5 se o deslocamento admissível for: $dr = 200 a_g.S/g$ (mm);

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

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

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 VII na escala de Mercalli e 6 a 7 na escala de Richter.

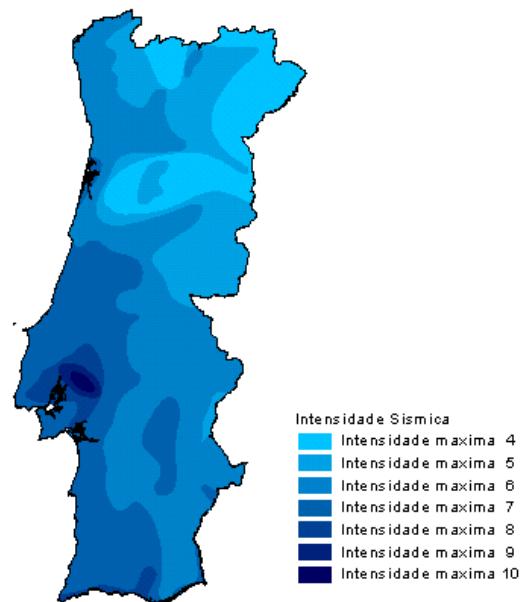


Figura 7 - Carta de intensidades sísmicas máximas, observadas em Portugal entre 1901 e 1972

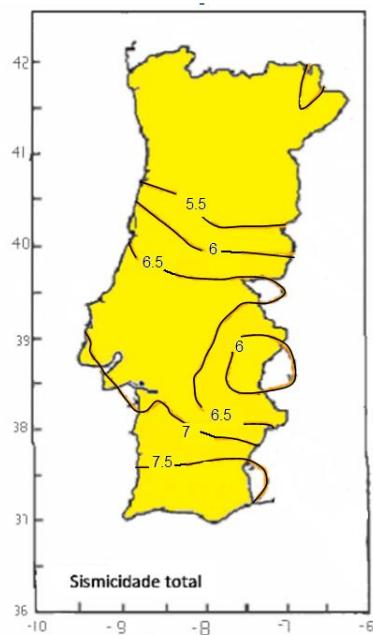
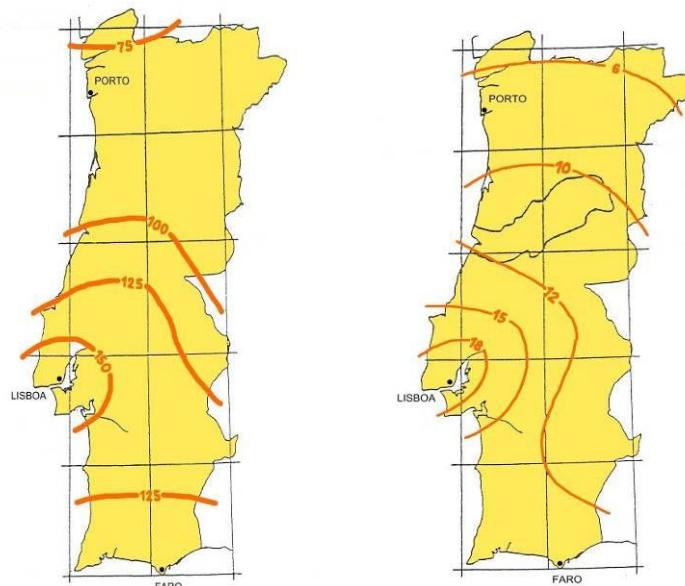


Figura 8 - Carta de isolinhas expectáveis de magnitudes sísmicas, para um período de retorno de 100 anos

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, 12 a 15 cm/s
- Aceleração sísmica, 125 a 150 cm/s²
- Deslocamento, 6 a 7 cm



Figuras 9 e 10 – 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)

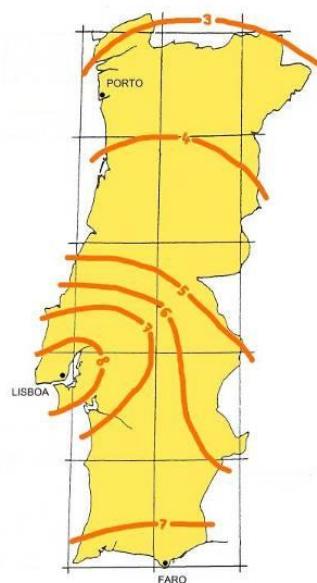


Figura 11 – Deslocamentos máximos para um período de retorno de 1000 anos (unidades em cm)

3. RESULTADOS

3.1 Localização das sondagens

Foram realizadas 5 sondagens DPSH sendo distribuídas da seguinte forma:

Arruamento de acesso à Praia de Melides – DPSH S1

EE Moinho do Vau (compacta) – DPSH S2

EE1 – DPSH S3

EE2 – DPSH S4

EE3 – DPSH S5.

Nas figuras seguintes apresenta-se a localização aproximada das sondagens assim como um acervo fotográfico.

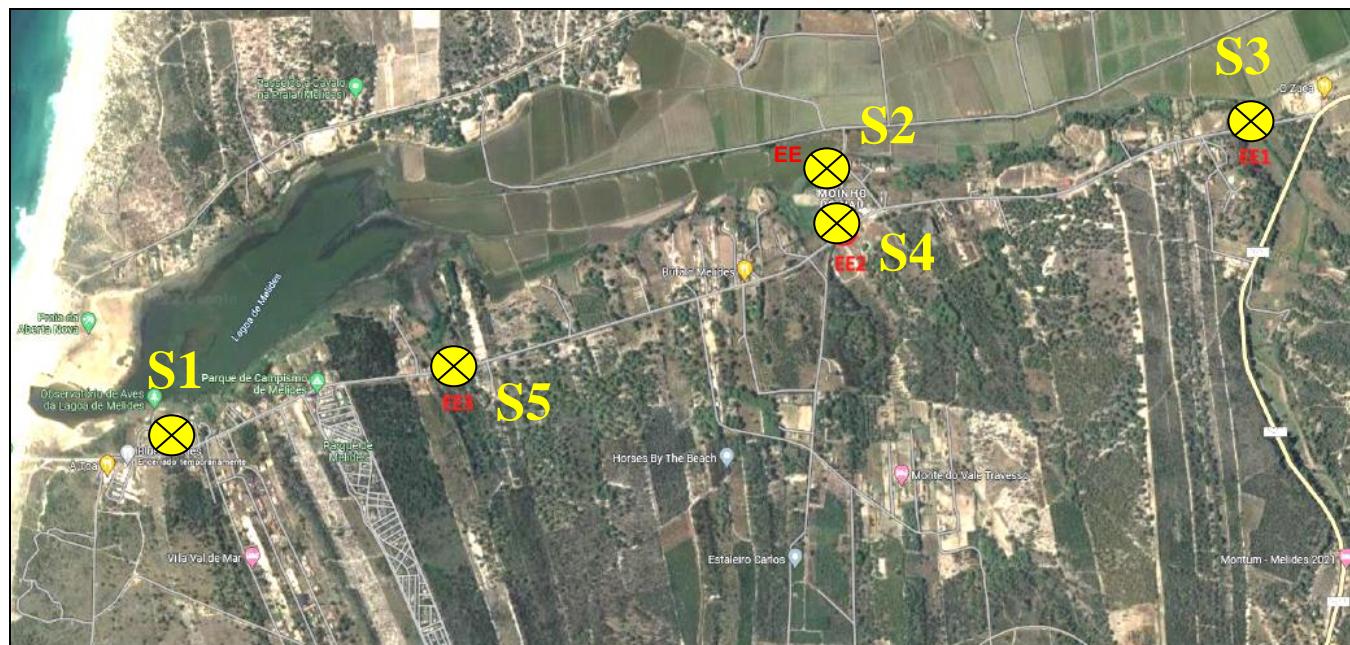


Figura 12 – Localização aproximada das sondagens DPSH (S1 a S5) na fotografia aérea com o traçado do arruamento EM1077 (S/E).

3.2 Sondagens DPSH

Na **Tabela I**, apresentam-se as cotas aproximadas obtidas a partir do levantamento topográfico e as profundidades atingidas pelas sondagens DPSH.

As sondagens terminaram quando se obteve a “nega”, ou seja, número de pancadas igual ou superior a 60, correspondendo ao substrato firme de arenitos, areias muito compactas, argilitos ou conglomerados.

Tabela I
- Sondagens DPSH -

Local	DPSH	Cota aproximada da boca da sondagem (m)	Profundidade atingida (m)	Cota da “nega”; NP>60 (m)
Estrada acesso praia	S1	17,8	1,8	16,0
EE compacta (Moinho do Vau)	S2	9,2	11,6	-2,4
EE1	S3	17,0	3,0	14,0
EE2	S4	13,4	3,4	10,0
EE3	S5	12,0	14,2	-2,2

Os resultados das sondagens são apresentados sob a forma gráfica em **Anexo I** (gráficos N_{20} , r_d e q_d).

No gráfico N_{20} plotou-se o número de pancadas (NP) para penetrar cada 20 cm (em abscissas) versus profundidade (em ordenadas), assim como a litologia provável ao longo dos respectivos perfis.

3.3 Nível de água

Na altura de realização das sondagens o nível de água subterrânea não foi detetado nos furos das sondagens, estes encontravam-se secos ou colapsaram devido à existência de areias.

Tabela II

- Nível água subterrânea -

DPSH	Profundidade do nível água (m)
1	Seco
2	Colapsou a 2,1
3	Seco
4	Seco
5	Colapsou a 6,8

4. Estrada de acesso à praia (DPSH S1)

4.1 Localização da S1

A sondagem S1 foi realizada no pavimento betuminoso da EM1077 no acesso à Praia de Melides.

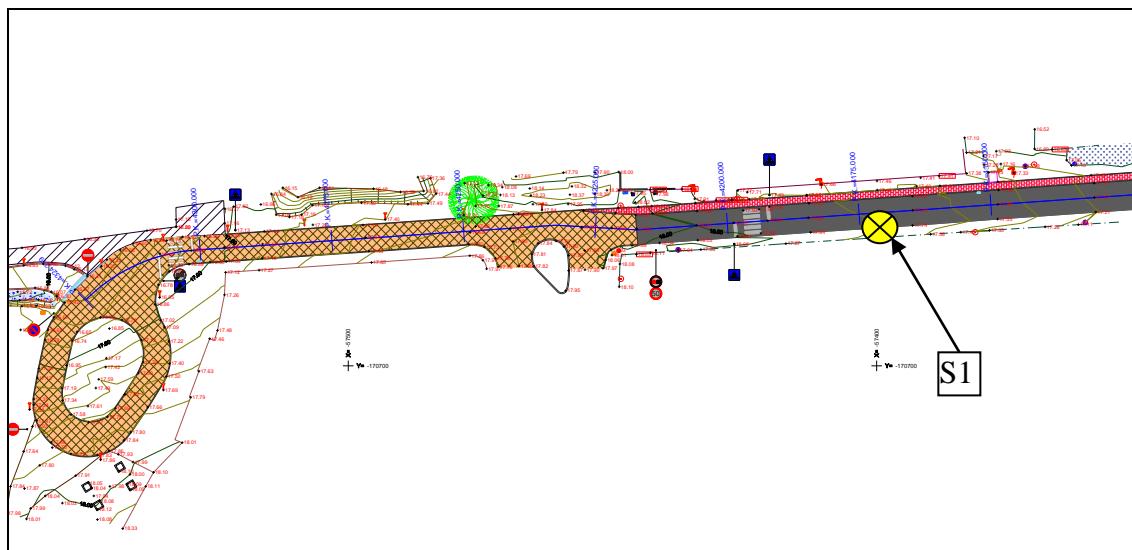


Foto 13 – Local de realização da sondagem DPSH S1 na EM1077.



Foto 2 – Local de realização da sondagem DPSH 1 na EM1077.

4.2 Resultados da S1

Tabela III

- Sondagem DPSH S1 -

Local	DPSH	Cota aproximada da boca da sondagem (m)	Profundidad e atingida (m)	Cota da “nega”; NP>60 (m)	Nível freático
Estrada acesso praia	1	17,8	1,8	16,0	Seco

Na tabela seguinte apresenta-se o número de pancadas, que deu origem ao primeiro gráfico, a Resistência Unitária de Ponta (r_d), a Resistência Dinâmica de Ponta (q_d) em cada 20 cm e a tensão média (KN/m^2) por cada metro.

Tabela IV

- N_{20} , r_d , q_d na sondagem DPSH 1-

Profundidade (m)	N20	rd (MPa)	qd (MPa)	Média qd (MPa)	Tensão média (KN/m ²)
0				33,1	662
0,2	58	67,72	61,87		
0,4	53	61,88	56,54		
0,6	30	35,03	29,46		
0,8	18	21,02	17,68		
1	17	19,85	16,69	34,3	686
1,2	22	25,69	21,60		
1,4	31	36,20	30,44		
1,6	53	61,88	48,22		
1,8	60	70,06	54,58		

4.3 Parâmetros geotécnicos da S1

Na tabela a seguir apresentam-se os parâmetros geotécnicos das formações litológicas intersetadas pela sondagem DPSH, a partir da superfície do terreno onde se realizou a sondagem S1, tendo em conta os valores do número de pancadas obtido a cada 0,2 m, após conversão do número de pancadas nos ensaios DPSH em SPT.

Os valores de CBR foram estimados através da seguinte fórmula proposta pela Shell em 1985 que relaciona o módulo de deformabilidade (Es) com o CBR:

$$Es \text{ (MPa)} = 10 \times CBR \text{ (\%)}$$

Tabela V

- Parâmetros geotécnicos – S1 –

Espessura (m)	NP_{SPT}	Parâmetros geotécnicos				
		γ KN/m³	C_{u'} KN/m²	ϕ' graus	Es MPa	CBR (%)
0,6	47	20	5	32	166,1	16,6
0,8	31	18,5	3	30	93,7	9,4
1,0	60	22	20	36	35	25,0

Sendo, ϕ' = ângulo de atrito efetivo; C_u' = coesão efetiva não drenada; γ = peso específico característico; Es = módulo de deformabilidade

4.4 Pavimentos flexíveis

Fez-se uma análise para os pavimentos flexíveis a colocar no arruamento, considerando os solos existentes abaixo da base do pavimento betuminoso atual.

O perfil geotécnico das formações litológicas existentes abaixo da camada de base do pavimento atual onde foi executada a sondagem S1, é apresentado na tabela a seguir.

A sondagem foi realizada na EM1077 na zona do pavimento sendo natural que os solos existentes se encontrem bem compactados, o que pode não acontecer nas bermas da estrada.

Tabela VI

-Perfil geotécnico da S1 (abaixo da base do pavimento)-

Litologia	Espessura (m)	NP _{SPT}	Módulo de elasticidade (MPa)
Areias muito compactas	<i>n</i>	31	93,7

Para os pavimentos flexíveis simularam-se situações de sobrecarga imposta pelas camadas de base e do pavimento e de carga imposta por tráfego ligeiro e pesado, de 50 e 70 KN/m².

Os resultados da análise de deformabilidade para as camadas de sub-base dos pavimentos flexíveis são apresentados na tabela seguinte, onde constam os assentamentos totais previstos para áreas uniformemente carregadas com dimensões de 4,0 x 4,0 m e 5,0 x 5,0 m e tensões de 50 e 70 KPa que tentam simular situações reais de carga nas camadas de sub-base do pavimento.

Embora a fração arenosa seja predominante, por segurança apresentam-se os assentamentos totais, correspondentes ao somatório dos imediatos com os de consolidação primária, tendo em conta a fração fina argilosa.

Tabela VII

- Assentamentos nas camadas de sub-base dos pavimentos--

Tensão aplicada (KPa)	Assentamentos em função das áreas (mm)	
	Área 1 4,0 m x 4,0 m	Área 2 5,0 m x 5,0 m
50	4,27	5,30
70	5,98	7,42

Os assentamentos totais expectáveis que ocorrerão nas camadas de terreno natural são admissíveis para os pavimentos flexíveis a colocar.

Os cálculos dos assentamentos apresentam-se em **Anexo II**.

5. Estação Elevatória Compacta

Moinho do Vau (DPSH S2)

5.1 Localização da S2 (EE)

A sondagem S2 foi realizada no Moinho do Vau na zona de implantação da Estação Elevatória compacta (EE).

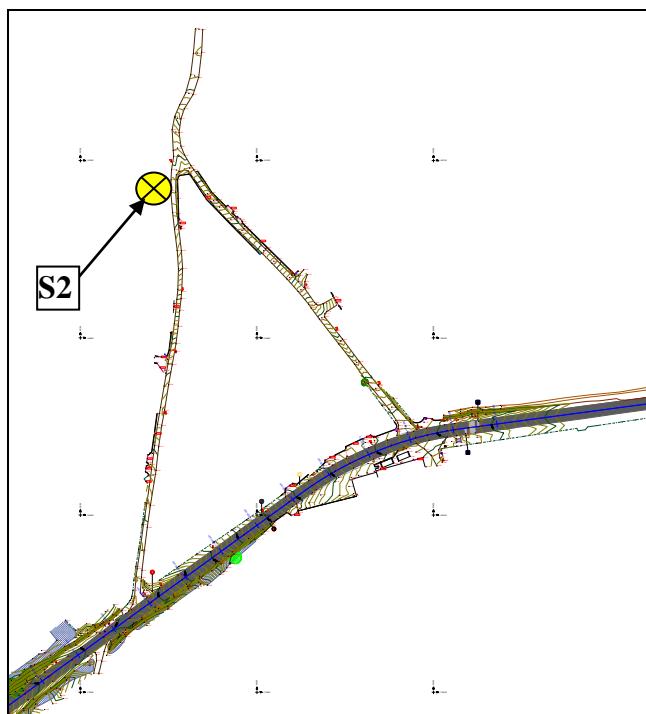


Figura 14 – Local de realização da sondagem DPSH S2 no Moinho do Vau para a implantação da EE.



Foto 3 – Local de realização da sondagem DPSH S2 no Moinho do Vau na zona de implantação da EE.

5.2 Resultados da S2 (EE)

Tabela VIII
- Sondagem DPSH S2 -

Local	DPSH	Cota aproximada da boca da sondagem (m)	Profundidad e atingida (m)	Cota da “nega”; NP>60 (m)	Nível freático (m)
EE compacta (Moinho do Vau)	2	9,2	11,6	-2,4	Colapsou a 2,1

Na tabela seguinte apresenta-se o número de pancadas, que deu origem ao primeiro gráfico, a Resistência Unitária de Ponta (r_d), a Resistência Dinâmica de Ponta (q_d) em cada 20 cm e a tensão média (KN/m^2) por cada metro. A amarelo/vermelho assinala-se a camada superficial de solos muito deformáveis (espessura 1,4 m) e que têm muito baixa capacidade de carga e fracos parâmetros geotécnicos.

Tabela IX
- N_{20} , r_d , q_d na sondagem DPSH 2-

Profundidade (m)	N_{20}	r_d (MPa)	q_d (MPa)	Média q_d (MPa)	Tensão média (KN/m^2)
0				3,9	78
0,2	2	2,34	2,13		
0,4	9	10,51	9,60		
0,6	5	5,84	4,91		
0,8	3	3,50	2,95		
1	3	3,50	2,95	8,2	164
1,2	3	3,50	2,95		
1,4	6	7,01	5,89		
1,6	14	16,35	12,74		
1,8	18	21,02	16,38		
2	19	22,18	17,28	16,6	333
2,2	21	24,52	19,10		
2,4	17	19,85	15,47		
2,6	26	30,36	22,03		
2,8	11	12,84	9,32		
3	13	15,18	11,02	10,1	201
3,2	10	11,68	8,47		
3,4	12	14,01	10,17		

3,6	13	15,18	10,31		
3,8	13	15,18	10,31		
4	23	26,85	18,24	17,1	343
4,2	21	24,52	16,65		
4,4	19	22,18	15,07		
4,6	23	26,85	17,14		
4,8	25	29,19	18,63		
5	10	11,68	7,45	14,5	289
5,2	14	16,35	10,43		
5,4	23	26,85	17,14		
5,6	25	29,19	17,57		
5,8	28	32,69	19,68		
6	17	19,85	11,95	12,1	243
6,2	10	11,68	7,03		
6,4	14	16,35	9,84		
6,6	25	29,19	16,62		
6,8	23	26,85	15,29		
7	15	17,51	9,97	15,2	305
7,2	23	26,85	15,29		
7,4	14	16,35	9,31		
7,6	34	39,70	21,45		
7,8	32	37,36	20,19		
8	18	21,02	11,36	17,1	341
8,2	26	30,36	16,41		
8,4	35	40,87	22,09		
8,6	25	29,19	15,01		
8,8	34	39,70	20,41		
9	40	46,70	24,01	14,5	290
9,2	32	37,36	19,21		
9,4	21	24,52	12,61		
9,6	18	21,02	10,31		
9,8	11	12,84	6,30		
10	37	43,20	21,18	22,1	442
10,2	33	38,53	18,89		
10,4	37	43,20	21,18		
10,6	49	57,21	26,81		
10,8	41	47,87	22,43		
11	38	44,37	20,79	24,3	487
11,2	40	46,70	21,89		
11,4	40	46,70	21,89		
11,6	60	70,06	32,83		

5.3 Parâmetros geotécnicos da S2

Na tabela a seguir apresentam-se os parâmetros geotécnicos das formações litológicas intersetadas pelas sondagens DPSH, a partir da superfície do terreno onde se realizou a sondagem S2, tendo em conta os valores do número de pancadas obtido a cada 0,2 m, após conversão do número de pancadas nos ensaios DPSH em SPT.

Tabela X
- Parâmetros geotécnicos S2 – EE compacta-

Espessura (m)	NP _{SPT}	Parâmetros geotécnicos			
		γ KN/m ³	C_u' KN/m ²	ϕ' graus	Es MPa
1,4	5	13	0	29	7,6
3,0	22	16	5	32	58,7
1,0	25	17	8	33	69,7
2,0	28	17,5	10	33,5	81,4
1,0	33	19	15	34	102,4
1,0	46	20	50	35	166,1
1,0	33	19	15	34	102,4
1,0	56	21	70	35,5	224,0
<i>n</i>	>60	22	80	36	250,0

Sendo, ϕ' = ângulo de atrito efetivo; C_u' = coesão efetiva não drenada; γ = peso específico característico; Es = módulo de deformabilidade

5.4 Fundações da EE

A partir da sondagem S2 realizada no local de implantação da EE no Moinho do Vau estudou-se a viabilidade da seguinte solução para as suas fundações:

- **fundação direta por sapata implantada a 3,5 m de profundidade sobre terreno natural.**

A S2 tem cota de boca 9,2 m, ou seja, a cota de implantação será aproximadamente 5,7 m (conforme projeto). Na sondagem foi detetada uma camada superficial mais deformável com espessura 1,4 m, esta camada será totalmente eliminada pois a EE será implantada a 3,5 metros de profundidade. Segundo os dados da S2, a esta cota já se encontram formações adequadas para a implantação de fundações diretas.

O perfil geotécnico das formações litológicas existentes no terreno onde foi executada a sondagem S2, a partir de 3,5 m de profundidade onde será implantada a EE, é apresentado na tabela a seguir.

Tabela XI

-Perfil geotécnico S2 a partir de -3,5 m – EE compacta – Moinho do Vau-

Espessura (m)	NP _{SPT}	Módulo de elasticidade (MPa)
1,0	22	58,7
1,0	25	69,7
2,0	28	81,4
1,0	33	102,4
1,0	46	166,1
1,0	33	102,4
1,2	56	224,0
<i>n</i>	60	250,0

Fez-se uma análise dos assentamentos totais para sapatas com várias dimensões e com tensões aplicadas de 100 e de 200 KN/m², assentes a 3,5 metros de profundidade, ou seja, à cota 5,7 m, sobre terreno natural.

Tabela XII
- Sapata a 3,5 m profundidade - EE -

Fundações EE	Dimensões (m)	Tensão aplicada (KPa)	Assentamentos totais (mm)
Sapata assente sobre terreno natural a 3,5 m de profundidade (cota 5,7 m)	2,0 x 2,0	100	3,66
		200	7,32
	3,0 x 3,0	100	5,12
		200	10,25
	5,0 x 5,0	100	7,48
		200	14,97

Os assentamentos totais obtidos são aceitáveis para o tipo de estrutura a implantar para as tensões indicadas.

Para tensões ou dimensões intermédias, os assentamentos poderão obter-se através de uma regra de três composta.

O Módulo de Winkler, à cota de fundação 5,7 m (3,5 m de profundidade) para uma placa de 0,3 x 0,3 metros é de 150000 KN/m³.

A escavação com cerca de 3,5 m para implantação da EE será realizada inteiramente em solos pouco ou medianamente compactos, sendo facilmente realizada com os meios tradicionais de terraplenagem.

Os cálculos dos assentamentos apresentam-se em **Anexo II**.

6. Estação Elevatória EE1 (DPSH S3)

6.1 Localização da S3 (EE1)

A sondagem S3 foi realizada na zona de implantação da Estação Elevatória (EE1).



Figura 15 – Local aproximado de realização da sondagem DPSH S3 para a implantação da EE1.

6.2 Resultados da S3 (EE1)

Tabela XIII
- Sondagem DPSH S3 -

Local	DPSH	Cota aproximada da boca da sondagem (m)	Profundidade atingida (m)	Cota da "nega"; NP>60 (m)	Nível freático (m)
EE1	3	17,0	3,0	14,0	Seco

Na tabela seguinte apresenta-se o número de pancadas, que deu origem ao primeiro gráfico, a Resistência Unitária de Ponta (r_d), a Resistência Dinâmica de Ponta (q_d) em cada 20 cm e a tensão média (KN/m^2) por cada metro. A amarelo/vermelho assinala-se a camada superficial de solos muito deformáveis (espessura 1,8 m) e que têm muito baixa capacidade de carga e fracos parâmetros geotécnicos.

Tabela XIV
- N_{20} , r_d , q_d na sondagem DPSH 3-

Profundidade (m)	N_{20}	r_d (MPa)	q_d (MPa)	Média q_d (MPa)	Tensão média (KN/m^2)
0				1,2	24
0,2	1	1,17	1,07		
0,4	1	1,17	1,07		
0,6	2	2,34	1,96		
0,8	2	2,34	1,96		
1	3	3,50	2,95	3,2	64
1,2	2	2,34	1,96		
1,4	2	2,34	1,96		
1,6	4	4,67	3,64		
1,8	6	7,01	5,46		
2	11	12,84	10,01	26,6	532
2,2	13	15,18	11,83		
2,4	29	33,86	26,38		
2,6	46	53,71	38,98		
2,8	54	63,05	45,76		
3	60	70,06	50,84	50,8	1017

6.3 Parâmetros geotécnicos da S3

Na tabela a seguir apresentam-se os parâmetros geotécnicos das formações litológicas intersetadas pela sondagem DPSH, a partir da superfície do terreno onde se realizou a sondagem S3, tendo em conta os valores do número de pancadas obtido a cada 0,2 m, após conversão do número de pancadas nos ensaios DPSH em SPT.

Tabela XV
- Parâmetros geotécnicos S3 – EE1 –

Espessura (m)	NP _{SPT}	Parâmetros geotécnicos			
		γ KN/m ³	C_u' KN/m ²	ϕ' graus	Es MPa
1,8	3	12	0	28	4,3
0,6	24	16,5	7	32,5	66,0
0,4	50	20	60	35	188,3
<i>n</i>	>60	22	80	36	250,0

Sendo, ϕ' = ângulo de atrito efetivo; C_u' = coesão efetiva não drenada; γ = peso específico característico; Es = módulo de deformabilidade

6.4 Fundações da EE1

A partir da sondagem S3 realizada no local de implantação da EE1 estudou-se a viabilidade da seguinte solução para as suas fundações:

- **fundação direta por sapata implantada a 5,0 m de profundidade sobre terreno natural.**

A S3 tem cota de boca aproximada de 17,0 m, ou seja, a cota de implantação será aproximadamente 12,0 m (conforme projeto). Na sondagem foi detetada uma camada superficial mais deformável com espessura 1,8 m, esta camada será totalmente eliminada pois a EE1 será implantada a 5 metros de profundidade.

Segundo os dados da S3, a esta cota já se encontram formações adequadas para a implantação de fundações diretas.

O perfil geotécnico das formações litológicas existentes no terreno onde foi executada a sondagem S3, a partir de 5,0 m de profundidade onde será implantada a EE1, é apresentado na tabela a seguir.

Tabela XVI

-Perfil geotécnico S3 a partir de 5,0 m – EE1-

Espessura (m)	NP _{SPT}	Módulo de elasticidade (MPa)
n	60	250,0

Fez-se uma análise dos assentamentos totais para sapatas com várias dimensões e com tensões aplicadas de 100 e de 200 KN/m², assentes a 5,0 metros de profundidade, ou seja, à cota 12,0 m, sobre terreno natural.

Tabela XVII
- Sapata a 5,0 m profundidade – EE1 -

Fundações EE1	Dimensões (m)	Tensão aplicada (KPa)	Assentamentos totais (mm)
Sapata assente sobre terreno natural a 5,0 m de profundidade (cota 12,0 m)	2,0 x 2,0	100	1,43
		200	2,87
	3,0 x 3,0	100	2,19
		200	4,39
	5,0 x 5,0	100	3,56
		200	7,11

Os assentamentos totais obtidos são aceitáveis para o tipo de estrutura a implantar para as tensões indicadas.

Para tensões ou dimensões intermédias, os assentamentos poderão obter-se através de uma regra de três composta.

O Módulo de Winkler, à cota de fundação 12,0 m (5,0 m de profundidade) para uma placa de 0,3 x 0,3 metros é de 200000 KN/m³.

A escavação com cerca de 5,0 m para implantação da EE1 será realizada em solos pouco ou medianamente compactos até aos 3,0 m, sendo facilmente realizada com os meios tradicionais de terraplenagem, a partir dessa profundidade encontram-se areias muito compactas e/ou arenitos mais resistentes que poderão oferecer alguma resistência mas pode-se recorrer-se a máquina giratório e eventualmente martelo pneumático.

Os cálculos dos assentamentos apresentam-se em **Anexo II**.

7. Estação Elevatória EE2 (DPSH S4)

7.1 Localização da S4 (EE2)

A sondagem S4 foi realizada na zona de implantação da Estação Elevatória EE2.

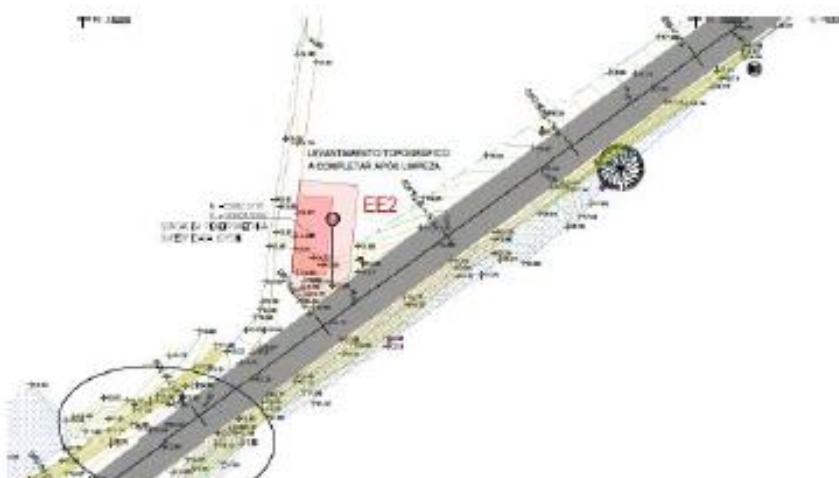


Figura 16 – Local de realização da sondagem DPSH S4 para a implantação da EE2.

7.2 Resultados da S4 (EE2)

Tabela XVIII
- Sondagem DPSH S4 -

Local	DPSH	Cota aproximada da boca da sondagem (m)	Profundidad e atingida (m)	Cota da “nega”; NP>60 (m)	Nível freático (m)
EE2	4	13,4	3,4	10,0	Seco



Foto 4 – Local de realização da sondagem S4 na zona de implantação da EE2.

Na tabela seguinte apresenta-se o número de pancadas, que deu origem ao primeiro gráfico, a Resistência Unitária de Ponta (r_d), a Resistência Dinâmica de Ponta (q_d) em cada 20 cm e a tensão média (KN/m^2) por cada metro. A amarelo/vermelho assinala-se a camada superficial de solos muito deformáveis (espessura 2,2 m) e que têm muito baixa capacidade de carga e fracos parâmetros geotécnicos.

Tabela XIX
- N_{20} , r_d , q_d na sondagem DPSH 4-

Profundidade (m)	N_{20}	r_d (MPa)	q_d (MPa)	Média q_d (MPa)	Tensão média (KN/m ²)
0				2,7	53
0,2	4	4,67	4,27		
0,4	3	3,50	3,20		
0,6	3	3,50	2,95		
0,8	3	3,50	2,95		
1	2	2,34	1,96	3,8	76
1,2	3	3,50	2,95		
1,4	5	5,84	4,91		
1,6	4	4,67	3,64		
1,8	6	7,01	5,46		
2	7	8,17	6,37	17,5	351
2,2	9	10,51	8,19		
2,4	18	21,02	16,38		
2,6	28	32,69	23,73		
2,8	39	45,54	33,05		
3	41	47,87	34,74	41,8	836
3,2	47	54,88	39,83		
3,4	60	70,06	50,84		

7.3 Parâmetros geotécnicos da S4

Na tabela a seguir apresentam-se os parâmetros geotécnicos das formações litológicas intersetadas pela sondagem DPSH, a partir da superfície do terreno onde se realizou a sondagem S4, tendo em conta os valores do número de pancadas obtido a cada 0,2 m, após conversão do número de pancadas nos ensaios DPSH em SPT.

Tabela XX
- Parâmetros geotécnicos S4 – EE2 –

Espessura (m)	NP _{SPT}	Parâmetros geotécnicos			
		γ KN/m ³	C _{u'} KN/m ²	ϕ' graus	E _s MPa
2,2	3	12	0	28	7,6
0,4	25	17	8	33	69,7
0,6	56	21	70	35,5	224,0
<i>n</i>	>60	22	80	36	250,0

Sendo, ϕ' = ângulo de atrito efetivo; C_{u'} = coesão efetiva não drenada; γ = peso específico característico; E_s = módulo de deformabilidade

7.4 Fundações da EE2

A partir da sondagem S4 realizada no local de implantação da EE2 estudou-se a viabilidade da seguinte solução para as suas fundações:

- **fundação direta por sapata implantada a 5,0 m de profundidade sobre terreno natural.**

A S4 tem cota de boca 13,4 m, ou seja, a cota de implantação será aproximadamente 8,4 m (conforme projeto). Na sondagem foi detetada uma camada superficial mais deformável com espessura 2,2 m, esta camada será totalmente eliminada pois a EE2 será implantada a 5 metros de profundidade.

Segundo os dados da S4, a esta cota já se encontram formações adequadas para a implantação de fundações diretas.

O perfil geotécnico das formações litológicas existentes no terreno onde foi executada a sondagem S4, a partir de 5,0 m de profundidade onde será implantada a EE2, é apresentado na tabela a seguir.

Tabela XXI

-Perfil geotécnico S4 a partir de 5,0 m – EE2-

Espessura (m)	NP _{SPT}	Módulo de elasticidade (MPa)
<i>n</i>	60	250,0

Fez-se uma análise dos assentamentos totais para sapatas com várias dimensões e com tensões aplicadas de 100 e de 200 KN/m², assentes a 5,0 metros de profundidade, ou seja, à cota 8,4 m, sobre terreno natural.

Tabela XXII
- Sapata a 5,0 m profundidade – EE2 -

Fundações EE1	Dimensões (m)	Tensão aplicada (KPa)	Assentamentos totais (mm)
Sapata assente sobre terreno natural a 5,0 m de profundidade (cota 8,4 m)	2,0 x 2,0	100	1,43
		200	2,87
	3,0 x 3,0	100	2,19
		200	4,39
	5,0 x 5,0	100	3,56
		200	7,11

Os assentamentos totais obtidos são aceitáveis para o tipo de estrutura a implantar para as tensões indicadas.

Para tensões ou dimensões intermédias, os assentamentos poderão obter-se através de uma regra de três composta.

O Módulo de Winkler, à cota de fundação 8,4 m (5,0 m de profundidade) para uma placa de 0,3 x 0,3 metros é de 200000 KN/m³.

A escavação com cerca de 5,0 m para implantação da EE2 será realizada em solos pouco ou medianamente compactos até aos 3,4 m, sendo facilmente realizada com os meios tradicionais de terraplenagem, a partir dessa profundidade encontram-se areias muito compactas e/ou arenitos mais resistentes que poderão oferecer alguma resistência mas pode-se recorrer-se a máquina giratório e eventualmente martelo pneumático.

8. Estação Elevatória EE3 (DPSH S5)

8.1 Localização da S5 (EE3)

A sondagem S5 foi realizada próximo da zona de implantação da Estação Elevatória EE3, no pavimento da EM1077.



Figura 17 – Local de implantação da EE3, a sondagem S5 foi realizada no pavimento.

8.2 Resultados da S5 (EE3)

Tabela XXIII
- Sondagem DPSH S5 -

Local	DPSH	Cota aproximada da boca da sondagem (m)	Profundidad e atingida (m)	Cota da “nega”; NP>60 (m)	Nível freático (m)
EE3	5	12,0	14,2	-2,2	Colapsou a 6,8



Foto 5 – Local de realização da sondagem S5 próximo à zona de implantação da EE3.

Na tabela seguinte apresenta-se o número de pancadas, que deu origem ao primeiro gráfico, a Resistência Unitária de Ponta (r_d), a Resistência Dinâmica de Ponta (q_d) em cada 20 cm e a tensão média (KN/m^2) por cada metro.

A amarelo/vermelho assinala-se a camada superficial de solos muito deformáveis (espessura de 3,0 m, abaixo da camada de base do pavimento) e que têm muito baixa capacidade de carga e fracos parâmetros geotécnicos. A cerca de 6 metros de profundidade aparece também uma camada menos resistente com $\text{NP}<10$.

Tabela XXIV
- N_{20} , r_d , q_d na sondagem DPSH 5-

Profundidade (m)	N_{20}	r_d (MPa)	q_d (MPa)	Média q_d (MPa)	Tensão média (KN/m ²)
0				14,8	296
0,2	25	29,19	26,67		
0,4	25	29,19	26,67		
0,6	14	16,35	13,75		
0,8	7	8,17	6,87		
1	4	4,67	3,93	3,8	76
1,2	4	4,67	3,93		
1,4	4	4,67	3,93		
1,6	4	4,67	3,64		
1,8	4	4,67	3,64		
2	4	4,67	3,64	4,6	92
2,2	4	4,67	3,64		
2,4	6	7,01	5,46		
2,6	6	7,01	5,08		
2,8	6	7,01	5,08		
3	5	5,84	4,24	6,2	124
3,2	5	5,84	4,24		
3,4	6	7,01	5,08		
3,6	6	7,01	4,76		
3,8	16	18,68	12,69		
4	17	19,85	13,48	11,0	220
4,2	18	21,02	14,27		
4,4	11	12,84	8,72		
4,6	12	14,01	8,94		
4,8	13	15,18	9,69		
5	10	11,68	7,45	8,4	168
5,2	10	11,68	7,45		
5,4	11	12,84	8,20		
5,6	10	11,68	7,03		
5,8	17	19,85	11,95		
6	8	9,34	5,62	3,7	75
6,2	5	5,84	3,51		
6,4	6	7,01	4,22		
6,6	4	4,67	2,66		
6,8	4	4,67	2,66		
7	4	4,67	2,66	8,0	160

7,2	11	12,84	7,31		
7,4	14	16,35	9,31		
7,6	15	17,51	9,47		
7,8	18	21,02	11,36		
8	17	19,85	10,73	9,3	186
8,2	18	21,02	11,36		
8,4	16	18,68	10,10		
8,6	12	14,01	7,20		
8,8	12	14,01	7,20		
9	16	18,68	9,61	10,7	214
9,2	18	21,02	10,81		
9,4	20	23,35	12,01		
9,6	19	22,18	10,88		
9,8	18	21,02	10,31		
10	22	25,69	12,60	18,3	366
10,2	34	39,70	19,47		
10,4	36	42,03	20,61		
10,6	39	45,54	21,34		
10,8	32	37,36	17,51		
11	27	31,53	14,77	15,0	300
11,2	29	33,86	15,87		
11,4	27	31,53	14,77		
11,6	28	32,69	15,32		
11,8	27	31,53	14,15		
12	28	32,69	14,67	13,4	268
12,2	25	29,19	13,10		
12,4	26	30,36	13,62		
12,6	26	30,36	13,62		
12,8	24	28,02	12,06		
13	21	24,52	10,56	12,7	255
13,2	22	25,69	11,06		
13,4	23	26,85	11,56		
13,6	30	35,03	15,08		
13,8	32	37,36	15,46		
14	50	58,38	24,15	26,6	531
14,2	60	70,06	28,98		

8.3 Parâmetros geotécnicos da S5

Na tabela a seguir apresentam-se os parâmetros geotécnicos das formações litológicas intersetadas pela sondagem DPSH, a partir da superfície do terreno onde se realizou a sondagem S5, tendo em conta os valores do número de pancadas obtido a cada 0,2 m, após conversão do número de pancadas nos ensaios DPSH em SPT.

Tabela XXV
- Parâmetros geotécnicos S5 – EE3 –

Espessura (m)	NP _{SPT}	Parâmetros geotécnicos				Es MPa
		γ KN/m ³	C_u' KN/m ²	ϕ' graus		
0,6 (pavimento e base)	29	-	-	-		85,4
3,0	5	13	0	29		7,6
1,2	19	15	4	31		48,5
1,2	15	14,5	3	30		35,9
1,0	5	13	0	29		7,6
2,8	22	16	5	32		58,7
4,2	38	19,5	20	34,5		125,3
<i>n</i>	>60	22	80	36		250,0

Sendo, ϕ' = ângulo de atrito efetivo; C_u' = coesão efetiva não drenada; γ = peso específico característico; Es = módulo de deformabilidade

8.4 Fundações da EE3

A partir da sondagem S5 realizada próximo ao local de implantação da EE3 estudou-se a viabilidade da seguinte solução para as suas fundações:

- **fundação direta por sapata implantada a 5,0 m de profundidade sobre terreno natural.**

A S5 tem cota de boca 12,0 m, mas como a sondagem foi realizada na estrada e está mais baixa cerca de 0,4 m relativamente à cota do terreno da EE3, a cota de implantação será aproximadamente 7,4 m (conforme projeto). Na sondagem foi detetada uma camada mais deformável com espessura 3,0 m, abaixo da base do pavimento, esta camada será totalmente eliminada pois a EE3 será implantada a 5 metros de profundidade.

Segundo os dados da S5, a esta cota já se encontram formações adequadas para a implantação de fundações diretas.

O perfil geotécnico das formações litológicas existentes no terreno onde foi executada a sondagem S5, a partir de 5,0 m de profundidade onde será implantada a EE3, é apresentado na tabela a seguir.

Tabela XXVI
-Perfil geotécnico S5 a partir de 5,0 m – EE3-

Espessura (m)	NP _{SPT}	Módulo de elasticidade (MPa)
1,6	15	35,9
1,0	5	7,6
2,8	22	58,7
4,2	38	125,3
<i>n</i>	60	250,0

Fez-se uma análise dos assentamentos totais para sapatas com várias dimensões e com tensões aplicadas de 100 e de 200 KN/m², assentes a 5,0 metros de profundidade, ou seja, à cota 7,4 m, sobre terreno natural.

Tabela XXVII
- Sapata a 5,0 m profundidade – EE3 -

Fundações EE1	Dimensões (m)	Tensão aplicada (KPa)	Assentamentos totais (mm)
Sapata assente sobre terreno natural a 5,0 m de profundidade (cota 7,4 m)	2,0 x 2,0	100	9,19
		200	18,39
	3,0 x 3,0	100	13,65
		200	27,29
	5,0 x 5,0	100	19,74
		200	39,47

Perante os assentamentos totais obtidos o projetista, segundo os dados de projeto (dimensões da sapata e cargas impostas) terá que verificar se os assentamentos são aceitáveis para o tipo de estrutura a implantar.

Para tensões ou dimensões intermédias, os assentamentos poderão obter-se através de uma regra de três composta.

O Módulo de Winkler, à cota de fundação 7,4 m (5,0 m de profundidade) para uma placa de 0,3 x 0,3 metros é de 120000 KN/m³.

A escavação com cerca de 5,0 m para implantação da EE3 será realizada em solos pouco ou medianamente compactos até aos 3,0 m, sendo facilmente realizada com os meios tradicionais de terraplenagem, a partir dessa profundidade encontram-se areias muito compactas e/ou arenitos mais resistentes que poderão oferecer alguma resistência mas pode-se recorrer-se a máquina giratória e eventualmente martelo pneumático.

Aveiro, 08 de maio de 2023

A Equipa Técnica


Prof. Doutor Fernando Lage Ladeira
(Especialista em Geotecnia)


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

