



**ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO:**

**AMPLIAÇÃO DA ERPI**

**FORNOS DO PINHAL, VALPAÇOS**

**19 DE JANEIRO DE 2022**



A REDACÇÃO DESTE DOCUMENTO SEGUE A ORTOGRAFIA ANTERIOR AO «NOVO ACORDO ORTOGRÁFICO»

## Conteúdo

1	Introdução .....	4
2	Enquadramento Geológico .....	5
2.1	Litoestratigrafia.....	5
2.1.1	Geologia local.....	6
2.2	Tectónica.....	6
2.3	Geomorfologia e Hidrogeologia.....	7
2.4	Sismicidade .....	9
3	Trabalhos Realizados .....	11
3.1	Sondagens Mecânicas.....	11
3.2	Instalação de Piezómetros.....	13
4	Condições Geológicas e Geotécnicas.....	15
4.1	Modelo Geotécnico .....	15
4.2	Análise Estatística .....	18
4.3	Condições de fundação.....	18
4.4	Escavabilidade e Contenção .....	20
	Referências Bibliográficas.....	22
	Anexos .....	24
	ANEXO I – Boletins de Sondagens .....	25
	ANEXO II – Perfis Interpretativos e Planta de Localização dos Trabalhos .....	26

## 1 Introdução

O presente estudo foi realizado por solicitação da Câmara Municipal de Valpaços, e visa a avaliação das características geológicas e geotécnicas de um terreno adjacente às instalações da ERPI no qual se prevê a construção de dois edifícios correspondentes à ampliação do existente, na localidade de Fornos do Pinhal, no município de Valpaços. A localização do referido terreno encontra-se aproximadamente assinalada pelo polígono vermelho na Figura I.



Figura I – Localização da área em estudo em imagem aérea (Google Earth™).

Neste documento apresentam-se e interpretam-se os resultados dos trabalhos de prospecção e investigação efectuados, bem como a informação obtida da consulta de elementos bibliográficos da especialidade existentes sobre o local. Descrevem-se os dados geológicos e geotécnicos relevantes, definem-se as zonas geotécnicas e tecem-se considerações acerca das condições de fundação, contenção e escavabilidade das formações ocorrentes.

## 2 Enquadramento Geológico

### 2.1 Litoestratigrafia

De acordo com a Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000, na área em estudo aflora a unidade designada por “Maciço de Valpaços -  $\gamma_4^1$ ” sendo considerados como tardi a pós-tectónicos relativamente à fase D3 da orogenia varisca.

O Maciço de Valpaços ou Granitos de Valpaços trata-se de um maciço granítico de grão grosseiro, porfiróide, de duas micas e essencialmente biotítico. A sua geometria é aproximadamente circular e localização na grande mancha granítica de Valpaços-Murçós-Chaves, onde aflora uma grande variedade de fácies graníticas de diferentes idades.

Segundo Ferreira *et al.* (1987) in Corrêa-Ribeiro *et. al* (2010) o granito de Valpaços é constituído por granitos de duas micas com mais ou menos biotite, por vezes restites, apresentando características de granitos tipo S, podendo conter cordierite e silimanite (minerais de metamorfismo) e carácter peraluminoso.

A Figura II mostra a localização aproximada da área em estudo assinalada por uma circunferência amarela, em extracto da Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000 e extracto da respectiva legenda.

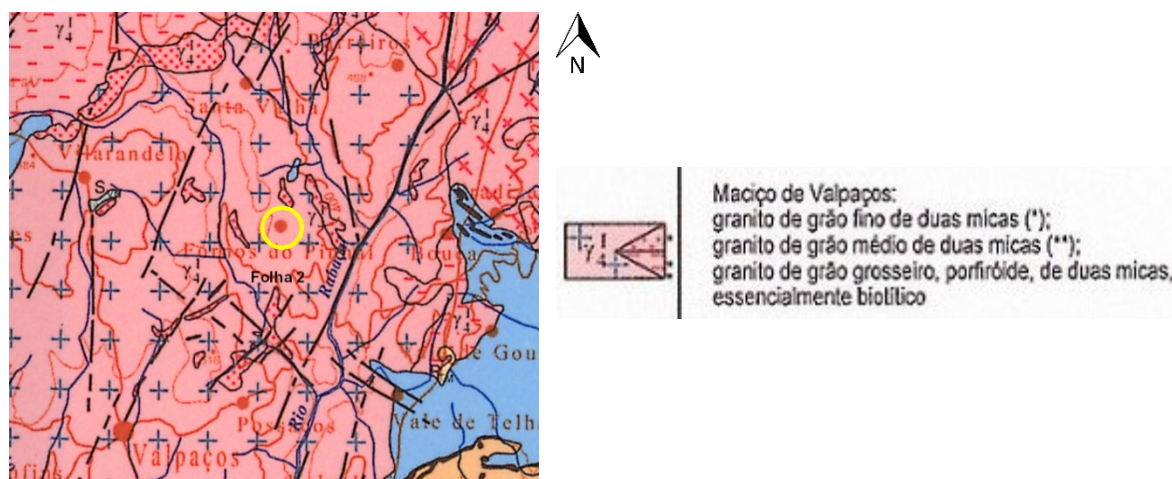


Figura II – Localização aproximada da área em estudo assinalada por uma circunferência amarela, em extracto da Carta Geológica de Portugal, Folha 2, à escala 1:200 000 e extracto da respectiva legenda (sem escala).

### 2.1.1 Geologia local

De acordo com os trabalhos de prospecção efectuados na área em estudo ocorre a seguinte sequência litoestratigráfica do topo para a base:

- Solos de cobertura de constituição granítica de granulometria arenosa fina, de tonalidades pretas a cinzentas escuras, por vezes com fragmentos graníticos incorporados da granulometria do calhau;
- Saibro granítico de granulometria arenosa a areno-siltosa de tonalidades cinzentas e castanhas;
- Saibro granítico de granulometria areno-siltosa, de cor amarelada, com fragmentos graníticos incorporados da granulometria do calhau ao bloco.

## 2.2 Tectónica

O maciço granítico de Valpaços, no qual se localiza a zona de estudo, possui um contorno mais ou menos circular e localização na mancha granítica de Valpaços-Murços-Chaves caracterizada por uma extensa variedade de fácies graníticas e idades distintas. Em termos geotectónicos, os granitos de Valpaços pertencem à designada Zona Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM) enquadrados como terrenos Parautóctones.

A tectónica da cadeia hercínica apresenta um carácter polifásico que se manifesta da ZGTM por estruturas que resultam da actuação de três fases de deformação dúctil ( $D_1$ ,  $D_2$  e  $D_3$ ) e por uma fase de deformação frágil ( $D_4$ ).

A fase  $D_1$  terá gerado dobras com orientações e vergências diferentes, mas com orientação predominante NW-SE, com plano axial vertical em terrenos autóctones e vergentes em parautóctones.

A fase  $D_2$ , representada sobretudo em terrenos alóctones e parautóctones, decorre da fase  $D_1$  com relativa proximidade de estilo e de cronologia acentuando-se a vergência para S2, com formação de dobras deitadas de flanco inverso e muito curto.

A fase D<sub>3</sub>, abrange todos os terrenos autóctones, parautóctones e alóctones de modo idêntico, originando dobramento largo e de pequena amplitude, de plano axial vertical e de direcção geral N120° a N130° às quais se associa uma clivagem de crenulação.

Ao período pós-colisional, correspondem às fases D<sub>3</sub> e D<sub>4</sub>, desde o Carbónico Médio ao Pérmico, sendo durante a fase D<sub>3</sub> que ocorre a instalação da maioria dos granitoides da Zona Centro-Ibérica (ZCI) designados por sin-téctónicos (sinD<sub>3</sub>).

O período pós-D<sub>3</sub>, ter-se-á iniciado no Carbónico Superior e terá continuado até ao Pérmico. Arthaud e Matte (1975) *in* Corrêa-Ribeiro *et. al* (2010, situam as fases tardi-hercínicas entre os 300 Ma e os 270 Ma.

Os granitos de Valpaços, são considerados na Folha 2 da Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000 como tardi a pós-tectónicos relativamente à fase D<sub>3</sub> da orogenia varisca, possuindo fácies e mineralogia idênticas às dos granitos de duas micas sintectónicos.

### 2.3 Geomorfologia e Hidrogeologia

Com base na cartografia topográfica disponível, a zona onde se insere a área em estudo encontra-se numa zona relativamente plana, as cotas na carta topográfica deverão estar em torno dos 445-450 m. Nota-se que as referências altimétricas do levantamento topográfico fornecido pelo cliente andam em torno da cota 90 a 95 o que leva a crer que foi tomada outra referência que não o nível médio das águas do mar.

A localização da área em estudo encontra-se representada na Figura III sob a forma de uma circunferência vermelha inserida num excerto da carta topográfica nº 48, Vilarandelo (Valpaços), à escala 1:25 000 do IGeoE.

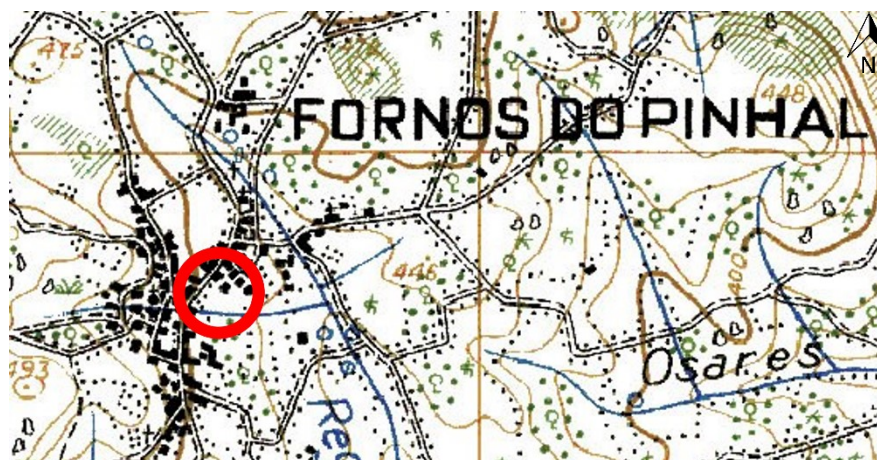


Figura III – Extracto da carta topográfica nº 48, Vilarandelo (Valpaços), à escala 1:25 000, do IGeoE (sem escala)

As condições hidrogeológicas de uma dada região resultam de uma complexa interacção entre a litologia, estrutura geológica e tectónica, que permite ou impede a circulação de água. Contudo este equilíbrio sensível do meio hidrogeológico poderá ser afectado por intervenções antrópicas que levem a uma modificação das características hidrogeológicas e estruturais dos meios envolventes.

Na área em estudo ocorrem essencialmente saibros graníticos que se encontram cobertos por solos de cobertura, também eles de composição granítica. Sendo a sua constituição granulométrica essencialmente arenosa, este horizonte deverá funcionar como um aquífero livre poroso, derivado da alteração da rocha. A sua permeabilidade irá variar com o seu estado de alteração e granulometria. Assim, é possível que existam níveis de água nas formações de carácter mais arenoso. Estes níveis podem ocorrer sobre a forma de níveis suspensos, caso se verifique a presença de lenticulas arenosas entre camadas de granulometrias mais finas (siltes e/ou argilas), ou aquíferos livres se as formações arenosas ocorrerem à superfície.

Durante os trabalhos de campo foram instalados dois piezómetros, um na sondagem S1\_Pz e outro na sondagem S4\_Pz, conforme se verá adiante no ponto 3.2.

A Figura IV mostra uma tabela de valores típicos de permeabilidade para diferentes tipos de materiais.

Material type	Hydraulic conductivity (m/s)										
	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-11</sup>
	V high		High	Moderate			Low			V Low	
	Gravel		Sands	Fine sands, silts, glacial till			Homogenous clays				
Soil	←			←			←			←	
Shale	←			←			←			←	
Sandstone	←			←			←			←	
Limestone and dolomite	←			←			←			←	
Basalt	←			←			←			←	
Volcanics	←			←			←			←	
Metamorphics	←			←			←			←	
Intrusives	←			←			←			←	

Figura IV - Valores típicos de permeabilidade para diferentes tipos de materiais. Isherwood, (1979) in Price, (2016)

## 2.4 Sismicidade

No anexo nacional da NP EN 1998-1\_2010 – “Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios” são definidas dois tipos de acções sísmicas, designadamente Acção sísmica do Tipo 1 (sismicidade afastada) e Acção sísmica do Tipo 2 (sismicidade próxima). De acordo com estes dois tipos de acções sísmicas e os valores de aceleração máxima de referência calculadas foi efectuado o zonamento sísmico de Portugal continental.

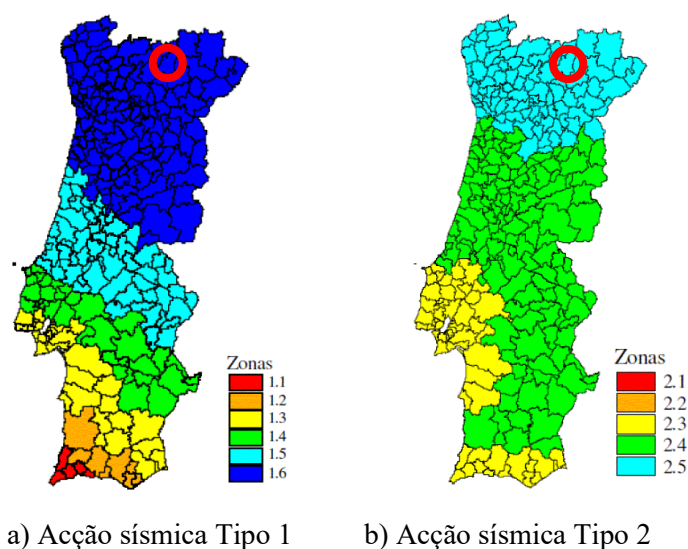


Figura V – Zonamento sísmico em Portugal continental (sismo afastado (a) e sismo próximo (b))

Os valores da aceleração máxima de referência para cada uma das zonas sísmicas em função dos dois tipos de actividade sísmica a considerar são os apresentados no Quadro I.

**Quadro I – Aceleração máxima de referência –  $a_{gR}$ , nas várias regiões sísmicas**

Ação sísmica Tipo 1		Ação sísmica Tipo 2	
Zona Sísmica	$a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )	Zona Sísmica	$a_{gR}$ (m/s <sup>2</sup> )
1.1	2,5	2.1	2,5
1.2	2,0	2.2	2,0
1.3	1,5	2.3	1,7
1.4	1,0	2.4	1,1
1.5	0,6	2.5	0,8
1.6	0,35	–	–

**Quadro II – Descrição dos vários tipos de solo de acordo com EC8**

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$v_{s,30}$ (m/s)	NSPT (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 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			
S1	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10 m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade ( $IP > 40$ ) e um elevado teor em água	<100 (indicativo)	-	10 - 20
S2	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A – E ou S1			

A área em estudo localiza-se nas Zonas Sísmicas 1.6 e 2.5 respectivamente para as acções sísmicas do Tipo 1 e Tipo 2.

Quanto ao tipo de solo, segundo a classificação do EC8, os terrenos em estudo deverão ser considerados como sendo do tipo A.

## 3 Trabalhos Realizados

### 3.1 Sondagens Mecânicas

Foram realizadas no local 4 sondagens verticais (Figura VI) acompanhadas de ensaios de penetração dinâmica normalizada (SPT - Standard Penetration Test) espaçados de 1,5m. Os procedimentos e metodologias seguiram as recomendações da EN ISO 22476-3 – “*Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part3: Standard Penetration test*” e da norma ASTM D1586 – “*Standard Method For Penetration Test and Split Barrel Sampling of Soils*”.

Na execução das sondagens foi utilizada uma sonda da marca Fraste, modelo Multidrill SL, accionada por motor a diesel e com mobilização autónoma sobre chassis de lagartas (Figura VI). A perfuração das sondagens foi efectuada à rotação e rotary recorrendo-se, respectivamente, a uma coroa diamantada/tungsténio acoplada a um amostrador do tipo T2 com 86 mm de diâmetro e a trialeta de 86 mm.



Figura VI – Sonda utilizada (Fraste multidrill SL)

No Quadro III é apresentado um resumo dos principais atributos das sondagens realizadas. A sua localização aproximada em planta é apresentada no Anexo II.

Quadro III – Resumo das Sondagens

Sondagem	Comprimento (m)	Ensaios SPT	Piezómetro
S1_Pz	6	4	Sim
S2	7,5	5	-
S3	6	4	-
S4_Pz	7,5	5	Sim

Os registos individuais das sondagens, com a descrição visual dos terrenos atravessados, as profundidades atingidas, a simbologia, a estratigrafia e os resultados dos ensaios SPT são apresentados no Anexo I.

As amostras recuperadas foram dispostas por ordem, em caixas devidamente compartimentadas e referenciadas. Todas as informações relevantes estão registadas nos boletins de sondagem incluídos no Anexo I.

No decurso das sondagens, na ocorrência de maciço terroso, foram realizados ensaios SPT de 1,5 m em 1,5 m. Estes ensaios forneceram valores de resistência dos materiais intersectados. O ensaio consiste na cravação de um amostrador normalizado (amostrador de Terzaghi), sob o impacto de um pilão com uma massa de 63,5 kg e uma altura de queda de 76 cm. Os valores de resistência foram obtidos pelo número de pancadas necessárias à cravação do amostrador em 45 cm. Cada ensaio realizou-se em três fases, cada uma delas correspondendo a uma penetração de 15 cm, e registou-se o número de pancadas referentes a cada uma das fases de ensaio. O valor dos primeiros 15 cm é meramente informativo, pois poderá estar alterado pela furação realizada. O número de pancadas ( $N_{SPT}$ ) dos últimos 30 cm é somado e utilizado como referência da resistência do material. Nos casos em que não ocorreu a cravação total do amostrador de Terzaghi, o ensaio foi dado por terminado ao fim de 60 pancadas, anotando-se o valor da respectiva penetração.

As amostras de solo obtidas através da sondagem foram caracterizadas quanto à sua natureza, textura, cor e consistência/compacidade<sup>1</sup> baseadas nos valores obtidos dos ensaios SPT (Quadro IV e Quadro V).

**Quadro IV – Classificação das areias quanto à compacidade de acordo com os resultados obtidos em ensaio SPT**

<b>N<sub>SPT</sub></b>	<b>Compacidade</b>
<4	Muito solta
4 -10	Solta
10 - 30	Medianamente compacta
30 -50	Compacta
>50	Muito compacta

**Quadro V – Classificação das argilas quanto à consistência de acordo com os resultados obtidos em ensaios SPT**

<b>N<sub>SPT</sub></b>	<b>Consistência</b>
<2	Muito Mole
2 - 4	Mole
4 - 8	Consistência média
8 - 15	Dura
15 - 30	Muito Dura
>30	Rija

No Anexo II podem ser observados os perfil-geológicos-geotécnicos interpretativos realizados com base nos resultados obtidos nas sondagens.

## 3.2 Instalação de Piezómetros

Durante a execução dos trabalhos de campo foram instalados dois piezómetros, um na Sondagem S1\_Pz e outro na Sondagem S4\_Pz, até à profundidade final de cada uma. Os piezómetros foram construídos utilizando tubos de PVC devidamente ligados, lisos e crepinados com profundidades de crepinação que se indicam no Quadro VI.

<sup>1</sup> K. Therzaghi & R. Peck (1948)

A medição de nível de água efectuada é apresentada no Quadro VII.

#### Quadro VI – Profundidades de crepinação

Sondagem	Prof. Crepinação [m]
S1_Pz	1,5 – 5,8
S4_Pz	0,8 – 7,0

#### Quadro VII – Leituras de nível de água

Dia	S1_Pz	S4_Pz
12/Jan/22	3,20	3,40

O valor apresentado está em metros (m)

Para além dos níveis de água medidos nos piezómetros instalados foi ainda medido o nível de água instalado, à profundidade de 1,90 m, na Nora existente no terreno.

## 4 Condições Geológicas e Geotécnicas

### 4.1 Modelo Geotécnico

**ZG1 – Solos de cobertura graníticos arenosos, finos, de cor preta a cinzenta escura.**

$$5 \leq N_{SPT} \leq 10$$

$$\phi: 22^\circ; E: 8 \text{ MPa}; \sigma_{adm}: 100 \text{ kPa}$$

Zona constituída por solos de cobertura de constituição granítica de granulometria arenosa fina, de tonalidades pretas a cinzentas escuras, por vezes com fragmentos graníticos incorporados da granulometria do calhau.

Os materiais aqui presentes e intersectados pelos ensaios de penetração dinâmica caracterizam-se por valores de  $N_{SPT}$  compreendidos entre 5 e 10 pancadas que, aliados à sua natureza e estado descomprimido, traduz-se em baixas resistências e deformabilidades apresentam-se como pouco adequados para utilização como terrenos de fundação.

Estes materiais, embora nem sempre intersectados pelos ensaios de penetração dinâmica é expectável que ocorram em toda a parte superficial da área prospectada, tendo, na sua espessura máxima detectada, sido identificados desde a superfície até à profundidade de 3 metros na zona de influência das sondagens S1\_Pz e S3; Na zona das sondagens S2 e S4\_Pz, toma uma espessura inferior a 1,5m.

**ZG2 – Saibro granítico arenoso e areno-siltoso de cor cinzenta e castanha clara.**

$$14 \leq N_{SPT} \leq 26$$

$$\phi: 26^\circ; E: 16,5 \text{ MPa}; \sigma_{adm}: 300 \text{ kPa}$$

Zona constituída por materiais de alteração graníticos, de granulometria arenosa e areno-siltosa de tonalidades cinzentas e castanhas claras.

Os materiais presentes nesta ZG caracterizam-se assim por uma gama de valores de  $N_{SPT}$  entre 14 e 26 pancadas. Dada a profundidade a que ocorrem podem ser solicitados através de métodos directos na forma de ensoleiramento geral, sapatas ou pegões, cumprindo, em todo o caso os valores de tensões indicados.

A ZG2 foi identificada em todas as sondagens realizadas, ocorrendo à profundidade de 1,5 m com espessura mínima identificada, na zona de influência da sondagem S2 e S4\_Pz, e máxima identificada de 3 m na zona de influência da S1\_Pz e S3.

### **ZG3 – Saibro granítico arenoso e areno-siltoso de cor cinzenta, castanha clara e amarelada.**

**$N_{SPT} \geq 60$**

**$\phi: 33^\circ$ ;  $E: 37 \text{ MPa}$ ;  $\sigma_{adm}: 900 \text{ kPa}$**

Zona constituída por materiais de alteração graníticos, de granulometria arenosa e areno-siltosa de tonalidade cinzenta, castanha clara e amarelada, por vezes com fragmentos graníticos incorporados da granulometria do calhau ao bloco.

Estes materiais são caracterizados por valores de  $N_{SPT}$  de 60 pancadas (nega) o que, aliado a uma estrutura mais imbricada dos fragmentos, se traduz em tensões admissíveis inferiores ou iguais a 900 kPa.

Dada as características resistentes e a profundidade a que ocorre pode ser solicitada, no caso de se recorrer a escavações, como terreno de fundação por métodos directos na forma de sapatas ou pegões, ou, caso não se preveja escavações, através de métodos indirectos na forma de estacas ou microestacas.

Esta ZG foi intersectada em todas as sondagens realizadas ocorrendo à profundidade de 4,5 m, tendo como referência a cota de execução dos trabalhos.

O Quadro VIII apresenta os parâmetros geotécnicos para cada uma das ZG's definidas que, dado o carácter essencialmente arenoso considerou-se que os materiais nelas presentes tomam um comportamento drenado.

Quadro VIII – Parâmetros Geotécnicos para cada uma das ZGs

Zona Geotécnica	N <sub>SPT</sub>	Peso Volúmico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Ângulo de atrito interno $\phi$ (°)	Coesão C <sub>u</sub> (kPa)	Módulo de deformabilidade E (MPa)	Tensões Admissíveis $\sigma$ (kPa)	Descrição
ZG1	5 – 10	15	22	-	8	< 100	Solos de cobertura graníticos arenosos, finos, de cor preta a cinzenta escura.
ZG2	14 – 26	16	26	-	16,5	300	Saibro granítico arenoso e areno-siltoso de cor cinzenta e castanha clara.
ZG3	≥ 60	18	33	-	37	900	Saibro granítico arenoso e areno-siltoso de cor cinzenta, castanha clara e amarelada.

## 4.2 Análise Estatística

A partir dos valores de  $N_{SPT}$  obtidos nos trabalhos de prospecção, com o objectivo de melhor compreender singularidades no comportamento geológico e geotécnico das diferentes zonas geotécnicas realizou-se a análise estatística do presente capítulo.

O Quadro IX apresenta os parâmetros estatísticos referentes aos valores de  $N_{SPT}$ .

Quadro IX – Parâmetros estatísticos,  $N_{SPT}$ , para cada uma das ZGs

	<b><math>N_{SPT}</math> medido</b>		
	<b>ZG1</b>	<b>ZG2</b>	<b>ZG3</b>
<b>Amostra, N [Un.]</b>	2	6	10
<b>Média, <math>X_m</math></b>	8	20	60
<b>Coeficiente de variação, <math>C_v</math></b>	0,33	0,22	0,00
<b><math>X_{ci} = X_m (1 - 0,5C_v)</math></b>	6	18	60
<b><math>X_{cs} = X_m (1 + 0,5C_v)</math></b>	9	22	60

$N$  – nº de dados obtidos/utilizados;  $X_m$  – Média de  $N_{SPT}$ ;  $C_v$  – Coeficiente de variação (DesvioPadrão/ $X_m$ );  $X_{ci}$  – Valor característico inferior de  $N_{SPT}$ ;  $X_{cs}$  – Valor característico superior de  $N_{SPT}$

## 4.3 Condições de fundação

A avaliação da capacidade de carga foi realizada, considerando:

- Fundações directas: sapatas quadradas com 2,0 x 2,0 m até aos 3,0 m de profundidade e pegões quadrados com 1,5 m x 1,5 m a partir dessa profundidade;
- Cargas verticais e centradas.

O valor da tensão de segurança à rotura obtido pelo cálculo foi aplicado na avaliação do assentamento imediato decorrente da solicitação do terreno.

O cálculo da tensão de segurança à rotura,  $q_{ult}$ , foi realizado com base na formulação de Meyerhof (1963), exposta por Bowles (1988).

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma$$

em que:

c – valor de cálculo da coesão;

q – valor de cálculo da tensão efectiva imediatamente acima da cota de fundação;

B – largura da fundação;

$\gamma$  – peso volúmico efectivo do solo;

$N_c, N_q, N_\gamma$  – factores de capacidade de carga, função do valor do ângulo de atrito,  $\phi$ ;

$s_c, s_q, s_\gamma$  – factores empíricos, adimensionais, dependentes da geometria do órgão de fundação;

$d_c, d_q, d_\gamma$  – factores empíricos, adimensionais, dependentes da relação profundidade/dimensão do órgão de fundação.

O valor assim obtido é testado em relação à deformabilidade. Para tal foi usada a fórmula proposta por Timoshenko&Goodier (1951), a partir da Teoria da Elasticidade, para assentamento imediato:

$$\Delta H = q \cdot B \cdot (1 - \mu^2) / E_s \cdot I_s \cdot I_F$$

em que,

$\Delta H$  – assentamento;

q – tensão aplicada;

B – largura da fundação;

$\mu$  – coeficiente de Poisson;

$E_s$  – módulo de deformabilidade;

$I_s, I_F$  – factores que dependem da geometria da sapata, espessura do estrato compressível, coeficiente de Poisson e profundidade de fundação.

Para a ZG1, dada a natureza e estado descomprimidos dos materiais nela presentes, os mesmos apresentam-se como pouco adequadas para utilização como terrenos de fundação. Em todo o caso, a avaliação dos assentamentos à profundidade de 1,5 m, para uma tensão admissível de 100 kPa, resulta em assentamentos na ordem dos 7 mm.

Para a ZG2, a tensão admissível calculada é de 300 kPa. Para as tensões determinadas e a uma profundidade de cálculo de 3 m, a avaliação dos assentamentos conduz a valores na ordem dos 8 mm. Pode ser solicitada por métodos directos na forma de ensoleiramento geral, sapatas ou pegões, cumprindo, em todo o caso os valores de tensões indicados.

Para a zona ZG3, a tensão admissível calculada é da ordem dos 900 kPa. Tendo em conta profundidade de cálculo de 4,5 m, a avaliação dos assentamentos conduz a valores na ordem dos 5 - 6 mm. À semelhança da anterior, pode ser solicitada como terreno de fundação tanto por métodos directos na forma de sapatas ou pegões, como por métodos indirectos na forma de estacas ou microestacas.

As tensões calculadas só são válidas para as condições de confinamento actuais e tendo em conta os pressupostos geométricos assumidos neste relatório, que deverão ser considerados como exemplificativos. Assim, os valores de tensão admissível e deformação dados referem-se às condições da camada em questão e não entram em linha de conta com variações dos parâmetros em profundidade, que, quando contidas no bolbo de tensões gerados pelos órgãos de fundação a projectar, devem, em sede de projecto, ser tidas em conta, na proporção da sua influência nesses mesmos bolbos.

Os terrenos em estudo quando expostos às condições de escavação durante períodos de tempo prolongados poderão sofrer uma descompressão que irá conduzir a uma perda de resistência.

Durante a obra, o acompanhamento dos trabalhos de fundação por um técnico de geotecnia é recomendável, particularmente no que se refere à análise das singularidades que poderão naturalmente surgir durante a intervenção.

#### 4.4 Escavabilidade e Contenção

Os resultados da campanha de prospecção efectuada permitem obter uma caracterização aproximada da escavabilidade dos materiais. A selecção do método de escavação depende essencialmente da escavabilidade e do rendimento da maquinaria utilizada.

De acordo com os materiais ocorrentes nas sondagens, a sua escavação deverá ocorrer com normalidade com máquinas pesadas do tipo giratória. No entanto, alerta-se que a ocorrência de

zonas graníticas menos alteradas, principalmente no que à ZG3 diz respeito, poderá impor dificuldade à sua remoção, devendo para isso ser previsto, maquinarias equipadas com martelo ou rippers.

No que concerne a contenções, para escavações verticais e superiores a 1,2 metros, recomenda-se a utilização de entivações simples ou, em alternativa, e caso a envolvente o permita a execução de taludes com inclinação de 45º limitados a profundidades de 3 m. No caso de escavação a profundidades superiores deverá recorrer-se a métodos activos de contenção, como por exemplo “muro de Berlim” (no caso necessariamente condicionado pelo afluxo de água à escavação e capacidade do sistema de bombagem) ou cortina de estacas, de preferência secantes.

Dada a proximidade aos edifícios vizinhos deverá, durante a escavação/construção, ser previsto um sistema de monitorização adaptado às condições do local. Para tal, recomenda-se o estabelecimento de um dispositivo conjugado de fissurómetros e alvos topográficos aplicados aos edifícios vizinhos, na medida em que uma vistoria prévia aos mesmos assim o determine. Em caso da necessidade de recurso a escavação com martelo deverá o plano de monitorização ter em conta a norma NP 2074 «Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares».

O nível de água registado ronda os 3,20 m para o piezómetro da S1\_Pz, 3,40 m para o piezómetro da sondagem S4\_Pz e, foi ainda medido à profundidade de 1,90 m na Nora existente no terreno. Assim, para escavações próximas daqueles níveis, é de prever ocorrência de água. Assim, e em função dos eventuais caudais e das circunstâncias em que se manifestem, deverão ser tomadas medidas de protecção, tais como:

- Aplicação de geodrenos em ressurgências localizadas de caudal significativo;
- Bombagem da água afluyente à fundação;
- Protecção de taludes provisórios com filtros, geotêxtil.

Pela Synege, 19 de Janeiro de 2022

André Costa  
Engº Geólogo

Jónatas Rodrigues  
Engº Geólogo

## Referências Bibliográficas

- Arthaud, F., Matte, P. (1975). Les décrochement tardy- hercyniens du soud-ouest de l'Europe, Géometrie et essai de réconstrução de conditions de la déformation. Tectonophysics, 25, 139-171;
- “Carta Topográfica de Vilarandelo (Valpaços)” - Escala 1:25 000, Nº 48. Serviço Cartográfico do Exército, (2013);
- Coduto, D. (1994), “Foundation Design – Principles and Practices”. Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey;
- Corrêa-Ribeiro, H., Martins, H., Sant’ovaia, H. (2010) – Estudo multidisciplinary no plutão granítico de Valpaços. In: GEOTIC – Sociedade Geológica de Portugal. VIII Congresso Nacional de Geologia;
- Duncan, C.W. (1999), “Foundations on rock”. E e FN SPON;
- Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M.L. (1987) - Granitóides da Zona Centro Ibérica e o seu enquadramento geodinâmico. In: F. Bea, A. Carnicero, J.Gonzalo, M. Lopez Plaza & M. Rodriguez Alonso, Eds, Geología de los Granitoides y Rocas Asociadas del Macizo Hesperico. Editorial Rueda, Madrid. (Libro de Homenaje a L.C. García de Figuerola), pp. 37-51;
- Look, B.; “Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables”. Taylor&Francis, 2007;
- Matos Fernandes, M. (2011), “Mecânica dos Solos – Introdução à Engenharia Geotécnica”. FEUP edições, Porto;
- NP EN 1998-1:2010, Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios, Instituto Português da Qualidade;
- Pereira, E. (2002). Carta Geológica de Portugal, Folha 2, escala 1:200 000. Serviços Geológicos de Portugal;

- Price, Jeff (2016) – Implications Of Groundwater Behaviour On The Geomechanics Of Rock Slope Stability, Srk consulting;

## Anexos

## ANEXO I - Boletins de Sondagens <sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> O presente anexo foi anexado e enviado como PDF

## ANEXO II – Perfis Interpretativos e Planta de Localização dos Trabalhos <sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> O presente anexo foi anexado e enviado como PDF