



# **Cartografia Geológica e Geotécnica dos solos da cidade de Leiria**

Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cívicas

Sucena Maria Guarda Domingues Areia

Leiria, março de 2022



# **Cartografia Geológica e Geotécnica dos solos da cidade de Leiria**

Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cívicas

Sucena Maria Guarda Domingues Areia

Dissertação realizada sob a orientação do Professor Doutor João Paulo Veludo Vieira Pereira  
e da Professora Doutora Anabela Quintela Nunes Veiga

Leiria, março de 2022

# **Originalidade e Direitos de Autor**

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a/o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado/a o/a Autor/a e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual a/o mesma/o foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cívicas, no ano letivo 2019/2021, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

# **Dedicatória**

Ao meu marido e filha, Zé e Núria, a vós dedico este trabalho.

# **Agradecimentos**

Quero agradecer aos meus orientadores Professor Doutor João Paulo Veludo Vieira Pereira e Professora Doutora Anabela Quintela Nunes Veiga, pela dedicação e paciência que demonstraram ao longo destes meses no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à Professora Doutora Luísa Gonçalves pela orientação e colaboração na criação da base de dados.

Agradeço à minha família, filha, marido, sogra e pais, pelo apoio que me transmitiram ao longo desta minha caminhada.

# Resumo

Este trabalho pretende ser um contributo para a cartografia geotécnica da região de Leiria.

A caracterização geotécnica dos solos em zonas urbanas é cada vez mais relevante para a tomada de decisões em relação ao planeamento e utilização dos espaços e para uma correta avaliação das soluções de fundações a adotar e para o seu dimensionamento.

Com a entrada em vigor dos novos Eurocódigos estruturais, aumentou a exigência em relação ao dimensionamento estrutural. Neste contexto, o Eurocódigo 7 veio colmatar uma lacuna em relação ao projeto geotécnico e o Eurocódigo 8 é uma ferramenta fundamental em relação ao projeto em condições sísmicas.

Este trabalho teve como objetivo a caracterização geológica geotécnica dos terrenos no Concelho de Leiria. Com base na consulta de 43 relatórios geológico geotécnicos, municipais, realizados no Concelho de Leiria, procedeu-se à recolha dos resultados das campanhas de prospeção, que contemplam ensaios de campo e laboratoriais, por forma a criar uma base de dados, e com esses resultados, implementá-los no Sistema de Informação Geográfica. A consulta destes dados, permite obter uma caracterização geológico-geotécnica dos terrenos existentes, distribuída espacialmente e em profundidade, para obtenção de mapas temáticos com informações relevantes para o apoio ao projeto estrutural e execução das estruturas.

Verifica-se que o tipo de ensaios solicitados e a quantidade para a caracterização dos solos varia consoante o tipo e a dimensão da obra, e que em muitos relatórios a campanha de ensaios é limitada, com um reduzido número de ensaios e insuficientes para uma caracterização efetiva dos terrenos, face à área de implantação, situação esta, relacionada questões orçamentais e prazos de execução reduzidos. De realçar também que o ensaio mais executado para a caracterização dos terrenos é o ensaio SPT, ensaio fácil de executar e que permite direta ou indiretamente obter uma estimativa de parâmetros relevantes dos terrenos.

**Palavras-chave:** “Relatórios geológico-geotécnicos”, “Prospeção”, “Eurocódigo 7”, “SPT”, “SIG”

# Abstract

This work intends to be a contribution to the geotechnical cartography of the region of Leiria.

The geotechnical characterization of soils in urban areas is increasingly relevant for decision-making in relation to the planning and use of spaces and for a correct assessment of foundation solutions to be adopted and for their design.

With the use of the new structural Eurocodes, the demand for structural design has increased. In this context, Eurocode 7 came to fill a gap in relation to the geotechnical project and Eurocode 8 is a fundamental tool in relation to the project in seismic conditions.

The main goal of this investigation is the geological-geotechnical mapping of the ground in the Municipality of Leiria. Based on the analysis of 43 geological-geotechnical municipal reports, carried out in the Municipality of Leiria, the results of the prospecting campaigns were collected, which include field and laboratory tests, to create a database, and with these results, implement them in the Geographic Information System. The consultation of these database allows to obtain a geological-geotechnical characterization of the existing ground, the spatially and in-depth distribution, to obtain thematic maps with relevant information to support the structural design and execution of the structures.

It can be stated that type of tests requested and the amount for soil characterization varies depending on the type and size of the work, and that in many reports the testing campaign is limited, with a small number of tests being insufficient for an effective ground characterization, with respect of the area of implantation, a situation that is related to budgetary issues and reduced execution deadlines.

It should also be pointed that the most performed test for ground characterization is the SPT test, which is an easy test to perform, and which allows directly or indirectly an estimate of relevant parameters of the ground.

**Keywords:** "Geological-geotechnical reports", "Prospection", "Eurocode 7", "SPT", "GIS"

# Índice

<b>Originalidade e Direitos de Autor.....</b>	<b>iii</b>
<b>Dedicatória.....</b>	<b>iv</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>v</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Quadros .....</b>	<b>xiv</b>
<b>Lista de siglas e acrónimos .....</b>	<b>xviii</b>
<b>1 Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Enquadramento.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Metodologia.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Estrutura da dissertação.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Caracterização geotécnica .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Introdução.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Normalização Europeia (Eurocódigos) .....</b>	<b>6</b>
2.2.1Eurocódigo 7 .....	7
2.2.2Eurocódigo 8 .....	12
<b>2.3 Principais técnicas de prospeção geotécnica.....</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Investigação da subsuperfície.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Ensaio de campo .....</b>	<b>18</b>
2.5.1Ensaio SPT .....	21
2.5.2Ensaio DP.....	23

2.5.3	CPT e CPTu.....	26
2.5.4	Ensaio de permeabilidade - Ensaio de Lefranc .....	30
<b>2.6</b>	<b>Ensaaios laboratoriais .....</b>	<b>31</b>
2.6.1	Análise Granulométrica.....	31
2.6.2	Determinação do teor em água .....	32
2.6.3	Limites de Consistência.....	32
2.6.4	Densidade das partículas sólidas .....	32
2.6.5	Equivalente de areia.....	33
2.6.6	Azul de metileno.....	33
2.6.7	Ensaio de compactação Proctor.....	33
2.6.8	Ensaio CBR .....	33
2.6.9	Ensaaios de resistência .....	34
2.6.10	Ensaaios edométricos, ensaio de deformabilidade .....	36
<b>2.7</b>	<b>Resumo parâmetros avaliados com ensaios de campo e laboratoriais .....</b>	<b>36</b>
<b>2.8</b>	<b>Relatórios geológico-geotécnicos .....</b>	<b>40</b>
<b>2.9</b>	<b>Caracterização Geotécnica e Sistemas de Informação Geográfica.....</b>	<b>41</b>
<b>3</b>	<b>Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>Enquadramento Geológico da Região de Leiria.....</b>	<b>43</b>
<b>3.3</b>	<b>Base de dados e Métodos.....</b>	<b>46</b>
3.3.1	Dados .....	46
3.3.2	Métodos .....	49
<b>3.4</b>	<b>Relatórios analisados por freguesia .....</b>	<b>52</b>
3.4.1	Freguesia de Amor .....	52
3.4.2	Freguesia de Bidoeira .....	54
3.4.3	Freguesia de Bajouca.....	57
3.4.4	Freguesia de Caranguejeira .....	59
3.4.5	União de Freguesias de Colmeias e Memória .....	62
3.4.6	União de Freguesias de Marrazes e Barosa .....	64

3.4.7	União de Freguesias de Monte Real e Carvide .....	65
3.4.8	União de Freguesias de Parceiros e Azoia .....	66
3.4.9	União de Freguesias de Santa Eufémia e Boa Vista .....	67
3.4.10	União de Freguesias de Souto da Carpalhosa e Ortigosa.....	69
3.4.11	União de Freguesias de Leiria, Pousos, Barreira e Cortes .....	69
<b>3.5</b>	<b>Síntese.....</b>	<b>96</b>
<b>4</b>	<b>Distribuição espacial da informação geotécnica.....</b>	<b>99</b>
<b>4.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>99</b>
<b>4.2</b>	<b>Procedimento .....</b>	<b>101</b>
4.2.1	Freguesia de Amor .....	101
4.2.2	Freguesia de Bidoeira.....	103
4.2.3	Freguesia de Bajouca .....	104
4.2.4	Freguesia de Caranguejeira .....	105
4.2.5	União de Freguesias de Colmeias e Memória.....	106
4.2.6	União de Freguesias de Marrazes e Barosa.....	106
4.2.7	União de Freguesias de Monte Real e Carvide .....	108
4.2.8	União de Freguesias de Parceiros e Azoia .....	108
4.2.9	União de Freguesias de Santa Eufémia e Boa Vista .....	109
4.2.10	União de Freguesias de Souto da Carpalhosa e Ortigosa.....	111
4.2.11	União de Freguesias de Leiria, Pousos, Barreira e Cortes .....	111
<b>4.3</b>	<b>Condições de fundação/ implantação .....</b>	<b>126</b>
<b>4.4</b>	<b>Síntese.....</b>	<b>128</b>
<b>5</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>130</b>
<b>5.1</b>	<b>Considerações finais.....</b>	<b>130</b>
<b>5.2</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros.....</b>	<b>132</b>
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>134</b>

# Lista de Figuras

Figura 2-1 – Exemplo de um organograma de fluxo para a seleção de métodos de investigação do solo em diferentes fases (in EC7-3, 2000).....	10
Figura 2-2 – Zonamento sísmico em Portugal Continental (NP EN 1998-1 2010) .....	13
Figura 2-3 – Espectros de resposta recomendados para os diversos tipo de solos (NP EN 1998-1 2010) .....	14
Figura 2-4 - Ensaios de campo mais comuns para caracterização geotécnica dos solos. (in Mayne et al. 2002) .....	19
Figura 2-5 - Relevância dos ensaios in situ para diferentes tipos de solo (Mayne et al., 2002) .....	20
Figura 2-6 - Esquema do ensaio SPT (Mayne et al, 2002) .....	22
Figura 2-7 - Esquema da ponteira do ensaio DP (EC 7-3) .....	24
Figura 2-8 - Procedimentos e Componentes do CPT (in Mayne et al. 2002) .....	27
Figura 2-9 - Equipamento para ensaio do CPT .....	29
Figura 2-10 – Tipo de perfil obtido num ensaio CPTu .....	29
Figura 3-1 - Folha 23-C da Carta Geológica de Portugal (Teixeira <i>et al.</i> , 1968) .....	45
Figura 3-2 – Base de dados associada ao SIG Municipal de Leiria dos Relatórios Geológico-Geotécnicos (SIG, CML). .....	49
Figura 3-3 - Apresentação gráfica da investigação de subsuperfície e respetivos métodos de prospeção geotécnica, consultados no Concelho de Leiria .....	50
Figura 3-4 – Ensaios laboratoriais consultados no Concelho de Leiria .....	50
Figura 3-5 – Distribuição georreferenciada prospeção geológico-geotécnica (SIG, CML) sobre a carta geológica da região. ....	51
Figura 3-6 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na freguesia de Amor (SIG, CML). ....	53
Figura 3-7 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na freguesia de Bidoeira (SIG, CML) .....	55

Figura 3-8 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na freguesia de Bajouca (SIG, CML) .....	58
Figura 3-9 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na freguesia de Caranguejeira (SIG, CML) .....	59
Figura 3-10 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Colmeias e Memória (SIG, CML) .....	62
Figura 3-11 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Marrazes e Barosa (SIG, CML) .....	64
Figura 3-12 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Monte Real e Carvide (SIG, CML) .....	65
Figura 3-13 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Parceiros e Azoia (SIG, CML) .....	66
Figura 3-14 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Santa Eufémia e Boa Vista (SIG, CML) .....	67
Figura 3-15 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Souto da Carpalhosa e Ortigosa (SIG, CML) .....	69
Figura 3-16 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Leiria, Pousos, Barreira e Cortes (SIG, CML) .....	70
Figura 3-17 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica no lugar de Cortes (SIG, CML) .....	71
Figura 3-18 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, para reabilitação de dois arruamentos (SIG, CML) .....	72
Figura 3-19 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, para reabilitação de pontes (SIG, CML) .....	76
Figura 3-20 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, na zona envolvente ao Edifício dos Paços do Concelho (SIG, CML) .....	77
Figura 3-21 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, na zona destinada à construção de três parques subterrâneos (SIG, CML) .....	80
Figura 3-22 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, na zona destinada à Av. Heróis de Angola e Silo Auto (SIG, CML) .....	82

Figura 3-23 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, na zona destinada à envolvência dos Estádio e Encosta do Castelo (SIG, CML) .....	89
Figura 3-24 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, na zona Histórica de Leiria (SIG, CML) .....	94
Figura 4-1 – Pormenor da visualização da prospeção geológico-geotécnica (SIG, CML) .....	100

# Lista de Quadros

Quadro 2-1 – Tipos de terreno de acordo com a NP EN 1998-1 .....	10
Quadro 2-2 – Aceleração máxima de referência ( $a_{gR}$ ) nas várias zonas sísmicas (NP EN 1998-1 2010) .....	14
Quadro 2-3 – Número e profundidades das sondagens. (Ordem dos Engenheiros, 2020) .....	15
Quadro 2-4 - Aplicabilidade de alguns métodos de prospeção geotécnica (in Pereira (2014) .....	18
Quadro 2-5 – Vantagens e desvantagens dos ensaios de campo, comparativamente aos ensaios laboratoriais (Pinto, 2008 e Oliveira, 2017) .....	20
Quadro 2-6 – Vantagens e desvantagens do ensaio SPT (Adaptado Anabela Veiga, 2020) .....	22
Quadro 2-7 – Vantagens e desvantagens do ensaio DP (Adaptado Anabela Veiga, 2020) .....	24
Quadro 2-8 - Características dos diversos penetrómetros (EN ISO 22476-2) .....	25
Quadro 2-9 – Vantagens e desvantagens do ensaio CPT (Adaptado Anabela Veiga, 2020) .....	28
Quadro 2-10 – Grau de permeabilidade (Lambe & Whitmen, 1968) .....	30
Quadro 2-11 – Resumo dos ensaios de campo.....	37
Quadro 2-12 – Ensaio laboratoriais, resultados e utilização. ....	39
Quadro 2-13 – Principais parâmetros de caracterização geotécnica para os diferentes tipos de solos (in Pereira, 2014) .....	40
Quadro 3-1 – Relatórios consultados, localização, tipo de obra a que se destinam e ensaios realizados. ....	46
Quadro 3-2 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais no relatório ID3_2021 (Geoalgar, 2021) .....	54
Quadro 3-3 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas no relatório ID1_2011 (IPNlabgeo, 2011) .....	56

Quadro 3-4 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas no relatório ID2_2010 (IPNlabgeo, 2010b) .....	60
Quadro 3-5 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas do relatório ID8_2020 (IPNlabgeo, 2020d) .....	63
Quadro 3-6 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas do relatório ID4_2020 (Sondagens do Oeste, SA, 2020d) .....	74
Quadro 3-7 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas no relatório ID1_2010 (IPNlabgeo, 2010a) .....	79
Quadro 3-8 – Resultados do ensaio de compressão uniaxial, consultadas no relatório ID7_2001 (Tecnasol FGE, 2001f) .....	81
Quadro 3-9– Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas nos relatórios ID9_2016, ED2_2020, ID2_2015 e ID1_2020 (Sondagens do Oeste, SA, 2016i; Sondagens do Oeste, SA, 2020b; Sondagens do Oeste, SA, 2015 e Sondagens do Oeste, SA 2020a) .....	84
Quadro 3-10 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas nos relatórios ID1_2001, ID2_2019 e ID1_2017 (Tecnasol FGE, 2001a; Tecnasol FGE, 2019 e Sondagens do Oeste, SA, 2017) .....	90
Quadro 3-11 - Ensaio laboratoriais de identificação efetuados na Zona Histórica, consultados nos relatórios ID1_2009 e ID2_2021 (Sondagens do Oeste, SA, 2009; Sondagens do Oeste, SA, 2021) .....	94
Quadro 4-1 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na freguesia de Amor, com base nos valores de $N_{spt}$ . (adaptado Sondagens do Oeste, 2020c; Geoalgar, 2021) .....	102
Quadro 4-2 - Modelo Geológico-geotécnico com base nos valores de $q_d$ dos ensaios DPSH (IPNlabgeo, 2020a) .....	102
Quadro 4-3 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na freguesia de Bidoeira, com base nos valores de $N_{spt}$ (Sondagens do Oeste, SA, 2016e) .....	103
Quadro 4-4 - Modelo Geológico-geotécnico com base nos valores de $q_d$ dos ensaios DPSH (adaptado de IPNlabgeo. 2011 e IPNlabgeo, 2020b) .....	104

Quadro 4-5 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na freguesia de Bajouca, com base nos valores de $N_{spt}$ (adaptado de SOPER, 2011 e Sondagens do Oeste, SA, 2016d). .....	105
Quadro 4-6 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na união de freguesias de Marrazes e Barosa, com base nos valores de $N_{spt}$ (Adaptado Sondagens do Oeste, SA, 2016a e Sondagens do Oeste, SA, 2016h) .....	107
Quadro 4-7 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na união de freguesias de Monte Real e Carvide, com base nos valores de $N_{sp}$ (Sondagens do Oeste, SA, 2016b). .....	108
Quadro 4-8 - Modelo Geológico-geotécnico com base nos valores de $q_d$ dos ensaios DPSH (IPNlabgeo, 2020c) .....	109
Quadro 4-9 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na união de freguesias Santa Eufémia e Boa Vista, com base nos valores de $N_{spt}$ e DPSH ( $N_{20}$ ) (adaptado Sondagens do Oeste, SA, 2016f, Sondagens do Oeste, SA, 2016g e Instituto Politécnico da Guarda, 2021). .....	110
Quadro 4-10 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na freguesia de Souto da Carpalhosa e Ortigosa, com base nos valores de $N_{spt}$ (Sopecate, 2007). .....	111
Quadro 4-11 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na zona de Cortes, com base nos valores de $N_{spt}$ (Sondagens do Oeste, SA, 2016c). .....	113
Quadro 4-12 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na Rua D. José Alves Correia da Silva, com base nos valores de $N_{spt}$ (Sondagens do Oeste, SA, 2017) .....	114
Quadro 4-13- Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos ao longo do Rio Lis, com base nos valores de $N_{spt}$ (adaptado Tecnasol FGE, 2002 e Gabinete Serviços Geotécnicos, 2018) .....	115
Quadro 4-14 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na envolvimento do Edifício dos Paços do Concelho, com base nos valores de $N_{spt}$ (adaptado Teixeira Duarte, SA, 1999 e Sondagens do Oeste, SA, 2019) .....	117
Quadro 4-15 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos dos parques subterrâneos, com base nos valores de $N_{spt}$ (adaptado Tecnasol FGE, 2001d; Tecnasol FGE, 2001e e Tecnasol FGE, 2001f) .....	119

Quadro 4-16 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos da Av. Heróis de Angola, Mercado Municipal e Silo Auto, com base nos valores de $N_{spt}$ (adaptado Sondagens do Oeste, SA, 2016i; Sondagens do Oeste, SA, 2020b; Sondagens do Oeste, SA, 2015 e Sondagens do Oeste, SA, 2020a) .....	120
Quadro 4-17 – Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na zona envolvente ao Estádio Municipal, com base nos valores de $N_{spt}$ (adaptado Tecnasol FGE, 2001a; Tecnasol FGE, 2001b; Tecnasol FGE, 2001c; Delta Tau, 2017, Sondagens do Oeste, SA, 2017 e Tecnasol FGE, 2019) .....	123
Quadro 4-18 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos no Centro Cívico (Zona Histórica), com base nos valores de $N_{spt}$ (Sondagens do Oeste, SA, 2009) .....	125
Quadro 4-19 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na Rua Acácio Paiva, com base nos valores de $N_{spt}$ . (Sondagens do Oeste, SA, 2021) .....	126

## Lista de siglas e acrónimos

$\phi, \phi', \phi_{uu}$	Ângulo de atrito interno, ângulo de atrito interno em tensões efetivas e ângulo de atrito em termos de tensões totais
$\gamma$	Massa específica
$\gamma_d, \gamma_{dmax}$	Peso volúmico seco do solo, peso volúmico seco máximo
$\mu$	Pressão intersticial
$\sigma, \sigma'$	Tensão normal total, tensão normal efetiva
$\sigma'_p$	Tensão de pré-consolidação
$\tau_{max}$	Tensão de corte de pico (resistência ao cisalhamento)
$\nu, \nu', \nu_u$	Coefficiente de Poisson em condições drenadas, em condições não drenadas
$(N_1)_{60}$	Correção de N (SPT) para a profundidade (areias)
$(N_1)_{60CS}$	$(N_1)_{60}$ corrigido para areias limpas
$(V_{s1})_{cs}$	Valor equivalente para solos limpos não corrigido pela idade
$(V_{s1})_{csa1}$	Valor de $V_{s1}$ equivalente para solos recentes limpos
$a_v$	Coefficiente de compressibilidade
$C_c$	Índice de compressibilidade
$C_u$	Resistência ao corte não drenado
$C_h$	Coefficiente de consolidação na direção horizontal
$C_v$	Coefficiente de consolidação
CBR	Ensaio de Califórnia Bearing Ratio
$c, c', c_{uu}$	Coesão, coesão em termos de tensões efetivas, coesão em termos de tensões totais
$D_r$	Densidade relativa em areias
$E$	Módulo de Young
EA	Equivalente de areia
$E_{PMT}$	Módulo Pressiométrico
$e$	Índice de vazios
$F_c$	Força axial necessária à penetração do cone, ensaio CPT
$F_s$	Atrito lateral ou resistência lateral unitária, ensaio CPT
$F_a$	Atrito lateral
$G_o$	Modulo de distorção inicial
$I_p$	Índice de plasticidade

$K_0$	Coefficiente de impulso em repouso
$k$	Coefficiente de permeabilidade
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
$N, N_{SPT}$	Número de golpes (ensaio SPT)
$N_{60}$	Correção de $N$ (SPT)
$N_{10}$	Número de golpes para a cravação de 10 cm (ensaios DPL, DPM e DPH)
$N_{20}$	Número de golpes para a cravação de 20 cm (ensaio DPSH)
OCR	Coefficiente pré-consolidação
$P_F$	Pressão de fluência
$P_L$	Pressão limite
$q_d$	Resistência dinâmica de ponta, ensaio DPSH
$Q_c$	Resistência de ponta, ensaio CPT
$R_d$	Resistência de ponta, ensaio DPSH
$S_u$	Sensibilidade de um terreno coesivo saturado,
$S_s$	Sensibilidade para solos coesivos e saturados
$u$	Poropressão desenvolvida durante a cravação, ensaio CPT.
$w$	Teor em água
$w_{opt}$	Teor em água específico ótimo
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
CPT	Cone Penetration Test
CPTu	Piezocone Penetration Test
DMT	Flat Dynamic Test
DP	Dynamic Probing Test
DPH	Penetrómetro Dinâmico Pesado
DPL	Penetrómetro Dinâmico Ligeiro
DPM	Penetrómetro Dinâmico Médio
DPSH	Penetrómetro Dinâmico Superpesado (Dynamic Probing super Heavy)
EC7-1	Eurocodigo 7 - parte 1
EC7-2	Eurocodigo 7 - parte 2
EC7-3	Eurocodigo 7 - parte 3
FVT	Field Vane Test ou ensaio de corte rotativo
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NP	Norma Portuguesa

NF	Norma Francesa
PLT	Plate loading Test ou ensaio de carga em placa
PMT	Dilatómetro de Marchetti, Pressiómetro de Menard
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPT	Standard Penetration Test

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

O crescimento dos centros urbanos, leva à ocupação de áreas, cujo substrato é constituído por solos de menor qualidade. Verifica-se, deste modo, a insuficiência dos terrenos disponíveis para construção e conseqüente incremento dos custos. Esta situação tem contribuído para a necessidade de melhorar ou reforçar os solos sob estruturas já existentes, de forma a assegurar a estabilidade do conjunto, posta em causa por escavações adjacentes, abertura de tuneis, ações sísmicas, solicitações especiais, etc. Neste sentido, nas últimas décadas as técnicas de melhoramento e reforço de solos têm tido um grande desenvolvimento, (Antunes, 2016) e (Brito, 2020).

As investigações geotécnicas permitem identificar e analisar zonas, camadas, ou depósitos de terrenos menos competentes, possibilitando que medidas de engenharia possam ser tomadas para seu melhoramento e, dessa forma, permitir a execução de projetos de construção nesses locais.

A realização de qualquer obra, incide inicialmente no conhecimento profundo das características geotécnicas dos terrenos, análise do meio envolvente, presença de restrições construtivas, escolha da solução a utilizar, influência paisagística e impacto ambiental.

A caracterização geotécnica dos solos em zonas urbanas é cada vez mais relevante para as tomadas de decisão dos engenheiros projetistas e para uma correta avaliação das soluções de fundações a adotar.

Com base no conhecimento geológico e experiência em situações semelhantes adquiridas pelos projetistas, torna-se então possível prevenir e antecipar problemas de índole geológica e geotécnica que poderão ocorrer durante a construção das estruturas de fundação antecipando a utilização de medidas preventivas adequadas.

Uma parte significativa da cidade de Leiria está implantada sobre as camadas de aluviões do rio Liz. Qualquer construção na zona aluvionar, necessita de uma adequada caracterização geotécnica dos terrenos intersetados, o que tem obrigado à execução de grande número de sondagens de prospeção geológico-geotécnica. A variedade e natureza litológica, destes terrenos e dos terrenos envolventes, tem exigido a realização de inúmeros trabalhos de

prospecção a fim de dar apoio ao projeto de fundações e à construção que tem vindo a ser realizada na zona.

Neste contexto, torna-se necessário conhecer e ter uma adequada caracterização geotécnica dos terrenos, que permita obter as características geológicas relevantes obtidas através de uma prospeção que inclua ensaios de campo e de laboratório.

A entrada em vigor dos eurocódigos estruturais, nomeadamente o Eurocódigo 7 (EN 1997) e o Eurocódigo 8 (EN 1998) veio aumentar as exigências no dimensionamento de fundações e no projeto sísmico respetivamente.

Neste trabalho serão consultados os dados dos ensaios (*in situ* e laboratoriais) de diversas campanhas de prospeção executadas, não só na cidade de Leiria, mas também no Concelho, das quais resultaram 43 relatórios Geológico-Geotécnicos. Os relatórios foram adjudicados pela Câmara Municipal de Leiria a diversos prestadores de serviços da área de geotecnia, sendo que o formato, desenvolvimento e tratamento dos dados varia de prestador para prestador.

Dos relatórios constam ensaios *Standard Penetration Test* (SPT), ensaios *Piezcone Penetration Test* (CPTU), ensaios *Dynamic Probing* (DP), poços, valas e ensaios laboratoriais. Para a análise e interpretação da informação contida nos relatórios foram criadas tabelas e inseridos os elementos no Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Pretende-se efetuar a caracterização geológico geotécnica dos terrenos, tendo por base a informação recolhida nos relatórios, obtendo-se deste modo a litologia e a estrutura geológica das formações atravessadas, que permitem determinar as características e as propriedades dos solos e rochas atravessadas, e partir de métodos de investigação direta e indireta ou, ainda, mediante a aplicação de classificações geomecânicas, índices e correlações empíricas, que permitem obter dados quantitativos.

Foi realizada uma base de dados com os resultados dos ensaios recolhidos dos diversos relatórios e inseridas no Sistema de Informação Geográfica (SIG). Com base nesta informação da caracterização geológica e geotécnica, pretende-se prever comportamentos geotécnicos face ao tipo de ocupação, fazer algumas recomendações e propor algumas regras gerais para apoio à decisão no planeamento e gestão de espaços.

## **1.2Objetivos**

O objetivo principal deste trabalho é contribuir para um melhor conhecimento do comportamento geotécnico e geológico dos diferentes terrenos do concelho e em particular da cidade de Leiria, nomeadamente os terrenos aluvionares onde se pretende construir grandes obras de engenharia e os materiais que lhe estão subjacentes.

Para concretizar o objetivo proposto foram analisados 43 relatórios Geológico-Geotécnicos os dados dos ensaios de campo e laboratoriais, resultantes de diversas campanhas de prospeção executadas no Concelho de Leiria por solicitação da Câmara Municipal de Leiria.

Pretende-se efetuar a caracterização geológico geotécnica dos terrenos, tendo por base a informação recolhida nos relatórios, obtendo-se deste modo a litologia e a estrutura geológica das formações atravessadas, que permitem determinar as características e as propriedades dos solos e rochas atravessadas, e partir de métodos de investigação direta e indireta ou, ainda, mediante a aplicação de classificações geomecânicas, índices e correlações empíricas, que permitem obter dados quantitativos.

Com a informação relevante contida nos relatórios pretende-se criar tabelas a serem inseridas no Sistema de Informação Geográfica (SIG) da Câmara Municipal. Pretende-se compatibilizar as informações geotécnicas existentes, da zona em estudo, com a criação de banco de dados para análise das informações georreferenciadas, em ambiente SIG, elaboração do mapeamento geotécnico, onde serão incorporados os dados de ensaio de campo e dos ensaios laboratoriais.

## **1.3Metodologia**

A Engenharia Geotécnica desempenha um papel importante na definição da capacidade de suporte de materiais geológicos, na estabilidade de taludes, em obras de contenção, em barragens (estruturas de desvio, fundações, barragem propriamente dita e encontros), em fundações, estudos de erosão, contaminação de solos, etc.... (Rijo, 2016).

O engenheiro geotécnico, entre outros, é responsável pela aquisição e interpretação de dados de solo, rocha e fundação para a conceção e construção de vários tipos de estruturas. A correta execução deste papel requer uma compreensão aprofundada dos princípios e práticas da engenharia geotécnica, técnicas e princípios de investigação subterrâneas, procedimentos de conceção, métodos de construção e utilização de instalações planeadas, complementados

com um conhecimento de trabalho de geologia e hidrologia. O estudo deverá iniciar-se com o reconhecimento no gabinete, através de bibliografia adequada e posteriormente, recorrendo-se a um conjunto de ensaios de campo e laboratoriais (Mayne et Al, 2002).

Por esse motivo, verifica-se que a caracterização geotécnica torna-se cada vez mais relevante para a tomada de decisões dos engenheiros projetistas, para uma correta avaliação das soluções de fundações a adotar.

Esta situação, é um facto acrescido, com a entrada em vigor dos Eurocódigos estruturais, que englobam um conjunto de normas e regras sobre o projeto geotécnico de edificações e obras de engenharia civil, nomeadamente o Eurocódigo 7 (EC 7), onde são definidas as ações geotécnicas. Está dividido em três partes: Parte 1 - Regras gerais (EN 1997-1) onde são estabelecidos os princípios e requisitos aplicáveis aos aspetos geotécnicos do projeto de edifícios e de obras de engenharia civil; Parte 2 – Caracterização geotécnica – Prospeção e ensaios (EN 1997-2) destinado ao planeamento, requisitos e interpretação de resultados de ensaios utilizados no apoio ao projeto geotécnico; Parte 3 – Projeto geotécnico – ensaios de campo.

Foram consultados relatórios geotécnicos onde constam um conjunto de ensaios de campo, destes foram recolhidas amostras para a realização de ensaios laboratoriais. Procedeu-se à identificação, por ordem cronológica dos relatórios, realizados pelo Município, permitindo deste modo, atribuir um código a cada um. Posteriormente, foram identificadas as coordenadas geográficas dos locais onde foram realizados os ensaios de campo. Assim, em cada local, foi identificado a cota, profundidade da sondagem, tipo de ensaio, profundidade do nível freático, resultados dos ensaios.

Estes dados foram introduzidos no SIG – Sistema de Informação Geográfica, que pode ser consultado no SIG do Município de Leiria, que permitirão a consulta dos dados e a obtenção de mapas temáticos.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

No capítulo 1 é efetuado um enquadramento do trabalho, onde são apresentados os objetivos e a metodologia a adotar.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica, aos Eurocódigos, que são uma ferramenta essencial que fornecem regras comuns para cálculos do projeto estrutural e

geotécnico de edifícios e de outras obras de engenharia civil, bem como se faz referência a cada tipo de ensaio de campo e laboratório que constam nos relatórios geológico-geotécnicos consultados, bem como a normalização dos mesmos.

No capítulo 3, é efetuada uma referência aos diversos relatórios, e as implicações da geologia e hidrogeologia. Descreve-se o procedimento da formação da base de dados, criada em Excel e sua disponibilização do SIG. É efetuado um enquadramento dos terrenos estudados.

No capítulo 4, apresenta-se uma distribuição espacial da informação geotécnica, com base nos resultados obtidos dos diversos relatórios geológicos geotécnicos, recorrendo às diversas correlações necessárias para a obtenção dos dados de caracterização geomecânica, que permitem a identificação do parâmetro de deformabilidade, nas litologias/ formações geológicas atravessadas. Estes dados serão utilizados nas tomadas de decisão, nomeadamente, condições de escavação, aterro, fundações aconselhadas face ao tipo de solo intersetado.

No capítulo 5, referente às conclusões e recomendações futuras, é efetuada uma síntese dos capítulos anteriores, referindo-se ainda a continuidade de complementar a base de dados, inclusive com informação proveniente dos relatórios geológico-geotécnicos dos privados, obtendo-se uma informação e um reconhecimento dos terrenos numa área mais abrangente.

## **2 Caracterização geotécnica**

### **2.1 Introdução**

Para a conceção e dimensionamento das estruturas é fundamental o conhecimento das características dos terrenos de fundação, a sua aptidão para a construção prevista e a sua utilização como materiais de construção no caso de estruturas de redes de transportes.

Para avaliar as características dos terrenos é necessária uma identificação geológica geotécnica dos diversos estratos que compõem o terreno, identificação da profundidade do nível freático e a caracterização física, mecânica e de hidrologia dos vários tipos de solos existentes na área de implantação das construções. Para a caracterização geológica e geotécnica é necessária a realização de ensaios de campo e de recolha de amostras para ensaios laboratoriais que permitam a determinação das características físicas e mecânicas dos solos, parâmetros fundamentais para a escolha do tipo de fundação e o seu dimensionamento.

O planeamento dos ensaios a realizar deve ter em conta o tipo de construção, a área de implantação bem como as suas condicionantes. Constata-se que muitas patologias associadas a estruturas de fundações, decorrem de um mau planeamento e da ausência de um estudo geológico-geotécnico adequado do local.

Os dados recolhidos na fase de prospeção são apresentados e analisados num relatório, Relatório Geotécnico, que é um documento fundamental para a fase inicial do projeto e posteriormente para o dimensionamento das estruturas de fundação.

Nas secções seguintes será feita referência à normalização Europeia e suas prescrições, nomeadamente as normas Portuguesas e Europeias EN 1997 (Eurocódigo 7-Projecto Geotécnico) e EN 1998 (Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos) e apresentam-se as principais técnicas de prospeção dando preferencial atenção aos ensaios de campo e ensaios laboratoriais.

### **2.2 Normalização Europeia (Eurocódigos)**

Atualmente o Projeto geotécnico é realizado com base nas prescrições do Eurocódigo 7 que define as regras gerais para a caracterização dos terrenos e para o dimensionamento de estruturas das fundações. No entanto esta norma não apresenta requisitos de projeto relativo

à ação sísmica. A ação sísmica é definida no Eurocódigo 8 em função do tipo de terreno, da sismicidade local e do tipo de estrutura.

### **2.2.1 Eurocódigo 7**

O Eurocódigo 7 – Projeto Geotécnico (NP EN 1997-1:2010) é constituído por três partes:

- Parte 1 - Regras gerais (EN 1997-1) onde são estabelecidos os princípios e requisitos aplicáveis aos aspetos geotécnicos do projeto de edifícios e de obras de engenharia civil;
- Parte 2 – Caracterização geotécnica – Prospeção e ensaios (EN 1997-2) destinado ao planeamento, requisitos e interpretação de resultados de ensaios laboratoriais geotécnicos;
- Parte 3 – ensaios de campo tem por objetivo indicar os requisitos do equipamento e dos procedimentos de ensaio, os requisitos das informações e a apresentação dos resultados do ensaio e a interpretação dos resultados de campo.

No EC7 – parte 1 (EN 1997-1:2004, 2004) descreve:

- Princípios e requisitos para a segurança e funcionalidade da obra;
- As bases e verificações do projeto;
- As orientações sobre aspetos relacionados com a fiabilidade estrutural;

Os requisitos do projeto geotécnico dependem das características geotécnicas da estrutura. As ações geotécnicas devem ser consideradas de acordo com o disposto no EC7-parte 1 e quantificadas no estudo preliminar, podendo ser alterados durante sua realização do projeto.

No EC7-parte 1 são definidos três tipos de categorias geotécnicas:

- Categoria Geotécnica 1 – Estruturas pequenas e relativamente simples, para as quais a segurança é assegurada apenas por estudos qualitativos e na experiência dos técnicos. Este tipo de estrutura tem riscos desprezáveis para bens e vidas e onde é possível usar métodos de rotina no projeto.
- Categoria Geotécnica 2 – Nesta categoria são colocadas estruturas com métodos de construção e fundações convencionais, pois envolvem condições de terreno e de

carregamento ordinários. Requer a quantificação e análise dos dados geotécnicos e uma análise quantitativa que assegurem que são satisfeitos os requisitos fundamentais.

- Categoria Geotécnica 3 – Estruturas não abrangidas pelas categorias geotécnicas 1 e 2: estruturas de grande dimensão ou pouco comuns; riscos fora do comum; condições do terreno e de carregamento invulgares e estruturas em área de sismicidade elevada. Deve ser garantido que não é excedido nenhum estado limite, (EN 1997-1:2004, 2004).

A categoria deverá ser verificada em cada fase do processo de projeto e construção, e alterada se for necessário. O que significa que a identificação da complexidade de cada projeto geotécnico e os riscos que lhe estão associados, permite estabelecer os requisitos mínimos quanto à quantidade e qualidade dos estudos de caracterização geotécnica, dos cálculos e dos procedimentos de controlo da construção.

Devem ser considerados fatores de requisitos fundamentais para o projeto de estruturas geotécnicas, em função das Categorias Geotécnicas, definidos na seção 2 do EC7-1:

- Natureza e dimensão da estrutura e dos seus elementos;
- Condições relativas à vizinhança;
- Condições do terreno;
- Condições de ocorrência da água no terreno;
- Sismicidade regional;
- Influência do ambiente (hidrologia, águas superficiais, subsidência, Variações sazonais do teor em água do terreno).

São definidas três Abordagens de Cálculo que refletem a forma como são aplicados os coeficientes parciais de segurança: às ações, aos materiais ou às resistências. Em Portugal, as verificações respeitantes aos estados Limites Últimos de Rotura Estrutural e Rotura do Terreno, em situações persistentes ou transitórias, devem ser calculadas utilizando a Abordagem de Cálculo 1, onde os coeficientes parciais são aplicados às ações e aos parâmetros de resistência do terreno.

De acordo com o EC7-parte 1, as propriedades dos maciços de solo ou de rocha, quantificadas, para os cálculos de dimensionamento, através de parâmetros geotécnicos,

devem ser obtidas de resultados de ensaios de campo e de laboratório, seja diretamente, seja recorrendo a correlações, a teorias ou a formulações empíricas, ou de outros dados relevantes.

A determinação das propriedades dos terrenos é realizada de acordo com as prescrições da parte 2 do EC7 (NP EN 1997-2:2006), no caso de ensaios laboratoriais, e de acordo com as prescrições da parte 3 do EC7 (EN 1997-3:2000), no caso de ensaios de campo. São definidos os procedimentos a adotar para a realização de ensaios de laboratório e de campo:

- Planeamento dos estudos de caracterização geotécnica para apoio ao projeto de fundações (prospecção e ensaios);
- Requisitos gerais para os ensaios mais comuns de campo e de laboratório;
- Interpretação dos resultados dos ensaios tendo em vista a determinação de valores para os parâmetros geotécnicos pretendidos.

No anexo A do EC 7 – Parte 3, são descritos os métodos de investigação mais adequados para realizar o estudo geotécnico através de ensaios de campo. Na Figura 2-1, apresenta-se um organograma onde se pode observar as etapas para a realização de ensaios de campo de acordo com as características dos terrenos. O estudo de caracterização geotécnica, deve ser planeado de forma a assegurar que a informação e dados geotécnicos, sejam conhecidos nas várias fases do projeto geotécnico, assegurando que a informação seja adequada e permita a gestão de riscos e situações catastróficas.

De acordo com o organograma da Figura 2-1, um projeto geotécnico é efetuado, desde o reconhecimento até à sua concretização (ou para além desta), conduzindo a um refinamento progressivo da informação, são consideradas três fases de estudos, são eles o preliminar, projeto e controlo/monitorização. Deve considerar as ações, combinações e casos de carga, deve fornecer a informação geral do terreno, estabilidade, localização nível freático e possíveis movimentos do mesmo.

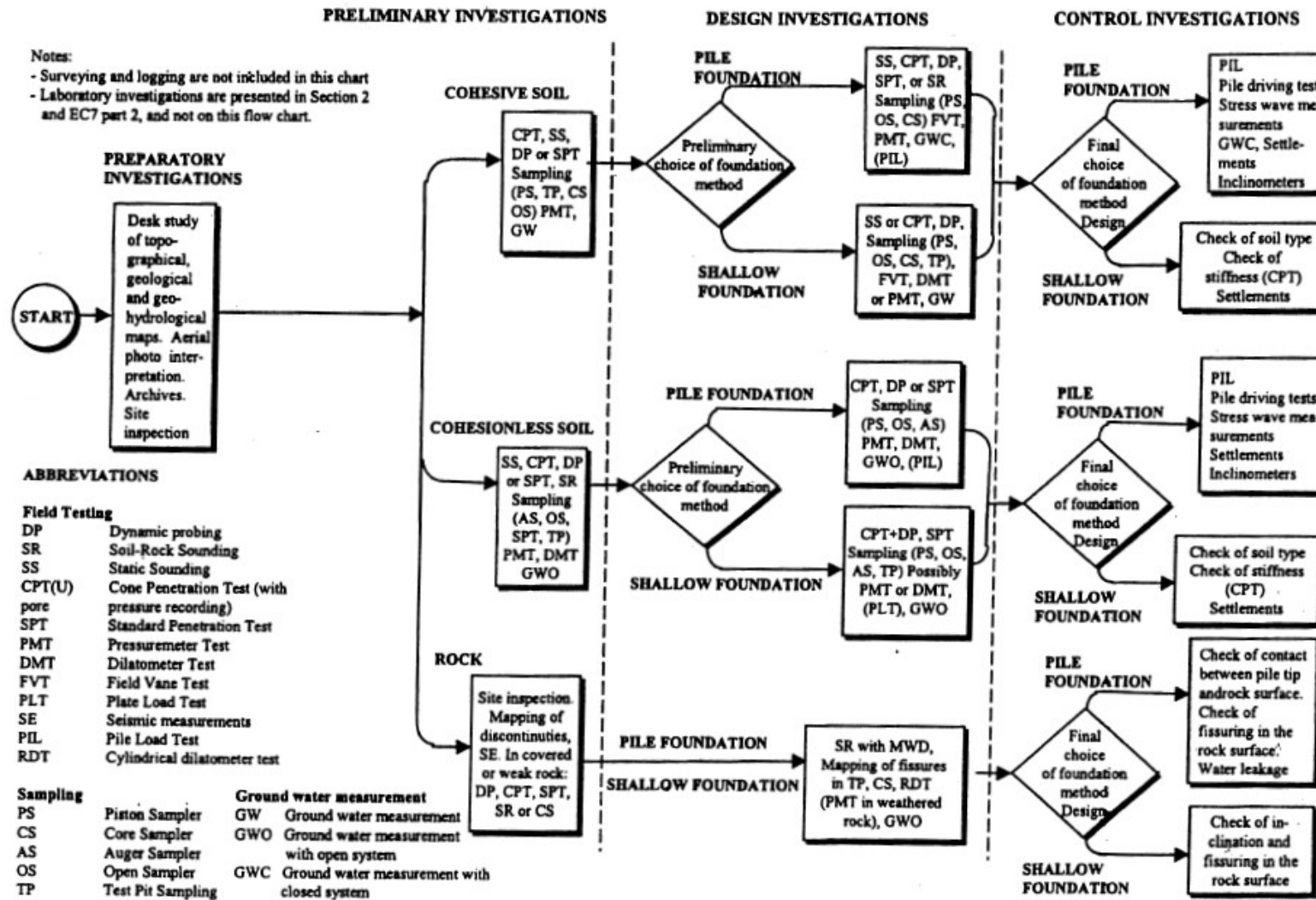


Figura 2-1 – Exemplo de um organograma de fluxo para a seleção de métodos de investigação do solo em diferentes fases (in EC7-3, 2000)

Toda a informação geológica deve ser reunida com vista à elaboração de um modelo para o maciço rochoso ou terroso estudado e, dentro dele, para cada uma das unidades homogêneas em que se divide, designadas por zonas geotécnicas. Estas zonas são determinadas com base no estudo de reconhecimento geotécnico, que através da utilização de várias técnicas aplicadas diretamente no terreno permite obter, um resultado numérico imediato. Quanto tal não é possível, o parâmetro pretendido, pode ser obtido por técnicas indiretas, através das correlações e métodos de cálculo. É na fase de projeto que o engenheiro geotécnico e o geólogo trabalham mais intimamente, designadamente com vista a estabelecer os parâmetros de resistência, deformabilidade e permeabilidade dos solos e das rochas em análise. Para o efeito, deverão ter em consideração os seguintes aspetos: parâmetros de cálculo para projetos de fundações, subestruturas ou escavações (análise da resistência e deformabilidade do terreno, fatores de segurança, tensões admissíveis, assentamentos propostos, cotas de apoio, coesão, ângulo de atrito interno, peso específico, densidade), características do terreno, tipologia e características específicas de fundação (tipo, dimensão e cargas admissíveis) e contenções.

Na parte 3 do EC7 adota-se o conceito de “valor derivado” para determinação dos parâmetros geotécnicos, podendo estes resultarem diretamente dos resultados dos ensaios de campo ou através de correlações.

Em conformidade com o tipo de estrutura que é pretendida para o local, são então definidos o tipo e número de ensaios de campo e de laboratório a efetuar para determinadas características e propriedades mecânicas e físicas dos solos.

Com efeito, face às características de resistência do solo de fundação obtidas na prospeção geotécnica, e do conhecimento da geologia regional, à existência ou não de nível freático, ao tipo de estrutura do edifício (n.º de pisos, modelação de pilares, etc....) é então possível definir o tipo de fundação mais conveniente, condições e métodos de escavação, estabilização de taludes, melhoramento de solos, definição de soluções, bem como adequar as o tipo de obra de engenharia face aos resultados obtidos. O dimensionamento do projeto geotécnico deve considerar a verificação dos estados limites de utilização e estados limites últimos.

### 2.2.2 Eurocódigo 8

No Eurocódigo 8 – Projeto de Estruturas para a resistência aos Sismos é definida a ação sísmica e os requisitos fundamentais para o dimensionamento de estruturas em regiões sísmicas e está dividido em 6 partes: Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios (EN1998-1); Parte 2: Pontes (EN1998-2); Parte 3: Avaliação e reforço de edifícios (EN1998-3); Parte 4: Silos, reservatórios e condutas enterradas (EN1998-4); Parte 5: Fundações, estruturas de contenção e aspetos geotécnicos (EN1998-5) e Parte 6: Torres, mastros e chaminés (EN1998-6). De acordo com o EC8-parte 1 o dimensionamento estrutural deve ser realizado considerando os estados limites últimos (ocorrência de não colapso) e a Limitação de Danos. A ação sísmica encontra-se definida pelos Anexos Nacionais de cada País. A ação sísmica é quantificada com base em espetros de resposta e depende da sismicidade local, das características dos terrenos, dos materiais de construção (amortecimento) e da importância da construção. Um dos parâmetros fundamentais para a quantificação da ação sísmica é o tipo de terreno. São definidos cinco tipos de terrenos com base na velocidade média das ondas de corte,  $v_{s,30}$ , e o valor de  $N_{SPT}$  e a coesão não drenada ( $c_u$ ). Os terrenos dos tipos A, B, C, D e E descritos por perfis estratigráficos e pelos parâmetros são apresentados no Quadro 2-1 e poderão ser utilizados para ter em conta a influência das condições locais do terreno na ação sísmica.

Quadro 2-1 – Tipos de terreno de acordo com a NP EN 1998-1

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$v_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (puncadas/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 de 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 dimensionamento das estruturas em Portugal continental devem ser considerados dois tipos de Ação Sísmica, que decorrem do facto de haver dois cenários de geração dos sismos que podem afetar o país:

- Ação sísmica tipo 1, corresponde ao cenário designado de “afastado” referente, em geral, aos sismos com epicentro na região Atlântica. Neste cenário estamos perante sismos de alta magnitude,  $M > 5,5$ .
- Ação sísmicas tipo 2, corresponde ao cenário designado de “próximo” referente, em geral, aos sismos com epicentro no território continental, ou o arquipélago dos Açores. Neste cenário estamos perante sismos de baixa magnitude,  $M \leq 5,5$ .

No Anexo Nacional do EC 8, encontra-se definido o zonamento sísmico para Portugal Continental conforme ilustrado na Figura 2-2, onde se encontra assinalado o concelho Leiria.

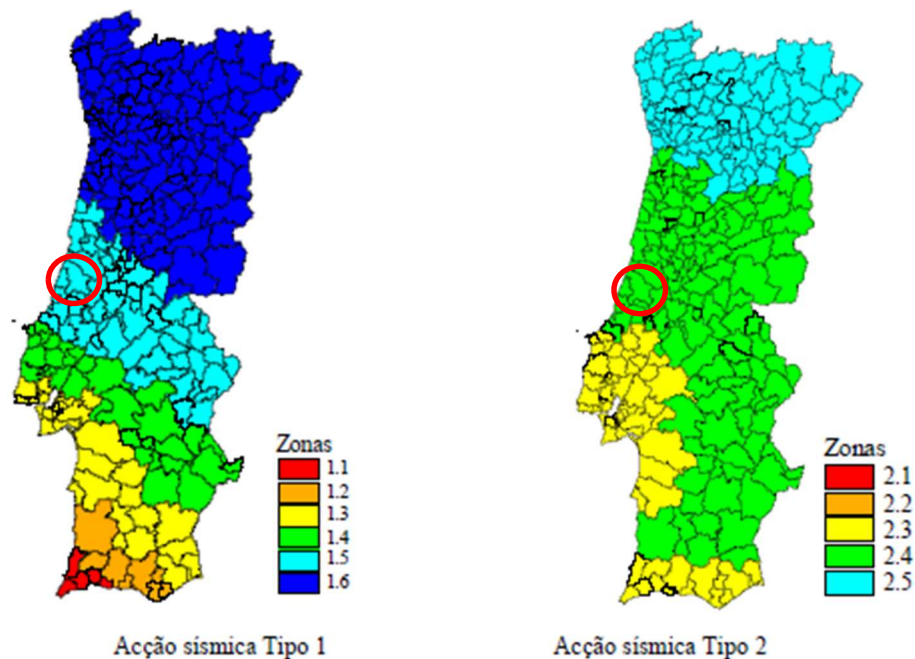


Figura 2-2 – Zonamento sísmico em Portugal Continental (NP EN 1998-1 2010).

De acordo com o Anexo Nacional (NA) do EC 8 - parte 1, os valores da aceleração máxima de referência  $a_{gR}$ , em Portugal, para as várias zonas sísmicas e para os dois tipos de ação sísmica, encontram-se indicados no Quadro 2-2. O Concelho de Leiria está inserido na zona 1.5 para a ação sísmica Tipo 1 ( $a_{gR}=0,6 \text{ m/s}^2$ ) e na zona 2.4 para a ação sísmica Tipo 2 ( $a_{gR}=1,1 \text{ m/s}^2$ ).

Quadro 2-2 – Aceleração máxima de referência ( $a_{gR}$ ) nas várias zonas sísmicas (NP EN 1998-1 2010).

Acção sísmica Tipo 1		Acção 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	2.2	2
1.3	1.5	2.3	1.7
1.4	1	2.4	1.1
1.5	0.6	2.5	0.8
1.6	0.35	-	-

Em Portugal as situações em que a  $a_{gR} \leq 0,98\text{m/s}^2$  para ambos os tipos de acção sísmica serão considerados de baixa sismicidade.

O valor da acção sísmica (em termos de aceleração ou deslocamento espectral) depende fortemente do tipo de terreno e das suas características como se pode observar na Figura 2-3. A identificação das características do terreno através da prospeção geotécnica, com a realização de ensaios de campo e laboratoriais, é assim fundamental para a classificação do terreno e para a quantificação da acção sísmica.

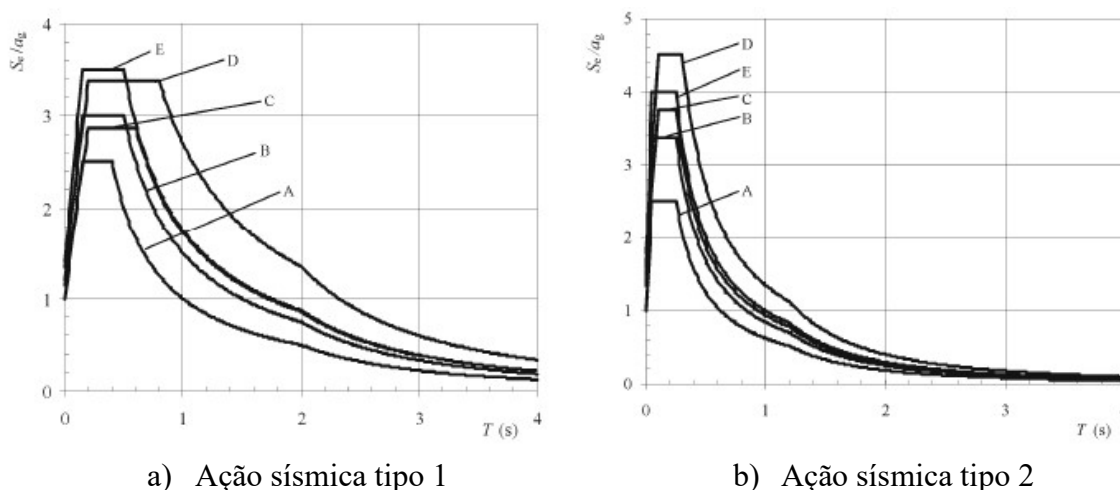


Figura 2-3 – Espectros de resposta recomendados para os diversos tipos de solos (NP EN 1998-1 2010)

### 2.3 Principais técnicas de prospeção geotécnica

A investigação *in situ* ou de campo, constitui uma parte essencial dos estudos geológico-geotécnicos imprescindíveis para a elaboração de projeto e construção de uma obra de engenharia (Vallejo, Ferrer, Ortuno, & Oteo, 2002).

Os estudos geológico-geotécnicos permitem determinar as condicionantes geológicas da zona de trabalho, conhecer os problemas geológicos que podem afetar a construção, quantificar os dados e parâmetros do terreno necessários para o projeto da obra e fornecer esses dados para o projeto.

O reconhecimento de campo deverá ter por base a revisão da informação e deverá permitir a recolha de dados geológicos, descrição geotécnica de solos, descrição de maciços rochosos, dados hidrogeológicos e hidrológicos, estabilidade do terreno, observação de patologias em estruturas e condições de acesso aos locais de investigação.

A informação recolhida pode ser obtida a partir da observação e descrição de afloramentos ou escavações, de ensaios realizados no campo e de ensaios laboratoriais.

A caracterização geotécnica torna-se cada vez mais relevante para a tomada de decisões dos engenheiros projetistas, para uma correta avaliação das soluções de fundações a adotar.

O estudo de caracterização geotécnica deve abranger as formações relevantes para o projeto, e que abaixo dessa cota não influencie o comportamento da estrutura. Com efeito, deve-se ter em atenção aos seguintes aspetos: meios de prospeção e de amostragem a utilizar, e distribuição espacial dos trabalhos (Benta, 2007).

Já em 1968, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil mostrava preocupação e definia um conjunto de normas/especificações (LNEC E 217-1968), relativamente à distribuição dos trabalhos geotécnicos a realizar em função do tipo de obra. No Quadro 2-3, apresentam-se as recomendações de quantidade e profundidades mínimas de sondagens, de acordo com A Ordem dos Engenheiros (2020) no documento de Recomendações na Área da Geotecnia.

**Quadro 2-3 – Número e profundidades das sondagens. (Ordem dos Engenheiros, 2020)**

NÚMERO MÍNIMO DE SONDAgens			
PROJEÇÃO HORIZONTAL DA ÁREA DE CONSTRUÇÃO			
Até 200m <sup>2</sup>	De 200 a 400m <sup>2</sup>	De 400 a 2400m <sup>2</sup>	Acima de 2400m <sup>2</sup>
2 furos de sondagem	3 furos de sondagem	3 furos de sondagem mais um furo adicional por cada 400m <sup>2</sup> excedendo os 400m <sup>2</sup>	A definir para cada caso particular
PROFUNDIDADE DAS SONDAgens			
Até à obtenção de 3-4 ensaios consecutivos com N (SPT) ≥ 50 a 60 pancadas e no mínimo 4 a 5 metros abaixo da última cave no caso do projeto de escavação e contenção periférica.			

A distância em planta entre os pontos de prospeção e ensaio e profundidade atingir, devem estar relacionados com a informação obtida da geologia local, condições do terreno, área envolvida e tipo de estrutura, devem assegurar uma densidade e distribuição de pontos de reconhecimento aceitáveis. É influenciado pela estrutura geológica existente, pela técnica de prospeção utilizada e profundidade de reconhecimento pretendida, bem como a localização e cota das fundações do projeto. A profundidade da sondagem, depende da localização do maciço rochoso, localização (cota) das fundações e seu desenvolvimento em termos de estado de tensão/ deformação, sendo aconselhável a cotas onde o solo não seja solicitado em termos de cargas da estrutura projetada e posição do nível freático. Deve atravessar todas as formações, até às mais antigas. No anexo B do EC7 parte 2, apresentam-se para consulta as profundidades e espaçamento, dependendo do tipo de obra a projetar.

Se a densidade de pontos de reconhecimento for adequada, a informação obtida através de cada perfil permitirá a interpolação dos dados de forma a obter perfis bidimensionais litológicos e geotécnicos representativos do terreno em estudo, deve revelar qualquer modificação importante na espessura, profundidade, estrutura ou propriedades das formações interessadas.

A colheita das amostras remexidas e intactas dos solos deve obedecer aos procedimentos gerais recomendados na Especificação LNEC, nº 218 “Prospecção Geotécnica de Terrenos – Colheita de Amostras”. A extração de uma amostra intacta exige cuidados especiais que deverão estender-se além do processo de recolha, à sua proteção e transporte para o laboratório. Estes cuidados permitem manter as características iniciais da amostra não as afetando, por forma a realizar os ensaios laboratoriais pretendidos.

O primeiro aspeto a ter em consideração durante a obtenção de uma amostra é que esta seja representativa do terreno ou unidade geológica a caracterizar. Um processo de amostragem adequado e representativo é essencial, tendo a mesma importância do que assegurar uma correta execução dos próprios ensaios, sendo um aspeto bastante importante, é aconselhável que o processo de amostragem seja efetuado por um profissional qualificado. A perturbação das amostras, de um modo geral, está associada a diferentes mecanismos como a variação do estado de tensão, as deformações mecânicas, as alterações do teor em água e do índice de vazios e as alterações químicas. A alteração do estado de tensão é um exemplo de um mecanismo perturbador das amostras inevitável, existindo outros que não sendo inevitáveis, podem ser minimizados ou até mesmo eliminados (Pereira, 2014). As perturbações que uma

amostra pode sofrer durante o processo de amostragem, até serem ensaiadas em laboratório, refletem-se na resistência ao corte. Rigidez e compressibilidade do solo.

## 2.4 Investigação da subsuperfície

A investigação da subsuperfície de um modo geral implica recorrer a escavações para observação direta (abertura de valas, poços e trincheiras) ou realização de perfurações (sondagens) com ou sem recuperação contínua ou ainda através de técnicas de geofísica.

O contacto com os materiais em escavações ou como resultado da recuperação em sondagens permitem a amostragem para ensaios laboratoriais. Os ensaios *in situ* ou de campo, podem ser realizados à superfície, em escavações ou em sondagens realizadas para o efeito (por exemplo o SPT).

Existem diferentes métodos de prospeção geotécnica que implicam a utilização de diferentes meios mecânicos e que se distinguem pelas suas características e aplicabilidade para determinado problema e/ou determinado terreno, resulta da necessidade de atravessar os maciços de forma a definir determinadas características importantes de acordo com o tipo de problema e terreno em estudo. Existem várias razões que podem justificar a realização de prospeção mecânica: determinação das características da fracturação de um maciço e do seu regime hidrogeológico, a localização de contactos, falhas, filões ou outros elementos estruturais, a colheita de amostras para a realização de ensaios de laboratório, a observação de superfícies de deslizamento, a deteção de zonas de subsidência, a determinação *in situ* de permeabilidade, resistência e deformabilidade do maciço, a execução do tratamento de terrenos, a observação do interior de maciços com endoscópios, máquinas fotográficas e câmaras de televisão e a determinação do seu estado de tensão, entre outras (Pereira, 2014).

No Quadro 2-4 apresentam-se alguns métodos de prospeção geotécnica e a sua respetiva aplicabilidade, em função do tipo de solo e profundidade.

Quadro 2-4 - Aplicabilidade de alguns métodos de prospeção geotécnica (in Pereira (2014))

Método	Aplicabilidade
Furos abertos com trado	Para uma rápida avaliação dos solos existentes; Frequente em estudos geotécnicos para estradas e caracterização de manchas de empréstimo para obras de terra; Trados manuais são utilizados para profundidade pequenas (< 10 m) e em terrenos consistentes (terrenos brandos), podendo necessitar de tubagem de revestimento; Trados mecânicos são mais eficientes em terrenos com seixo ou quando haja necessidade de realizar um grande número de furos podendo atingir profundidades que ultrapassam os 30 m.
Sondagens de furação	Percussão Solos ou rochas brandas; Pouco indicadas para cascalhos ou areias finas abaixo do nível freático devido ao arraste das partículas durante a perfuração; Sonda manual – para profundidades < 20 m; Sonda mecânica – para profundidades da ordem das centenas de metros.
	Rotação Podem perfurar qualquer tipo de solo ou rocha e atingir profundidades elevadas e distintas inclinações.
	Roto-percussão Indicados para deteção de vazios e cavidades.
Poços	Terrenos coesivos e/ou heterogêneos; Terrenos em que o nível freático se encontre abaixo do plano de investigação; Situações em que se pressuponha que se pode alcançar, em todos os pontos, o substrato rochoso ou terreno mais firme.
Galerias	Obras lineares Estudo de taludes (solos ou rochas) de maciços de encontro e fundação de barragens e túneis; Podem ser feitos a dezenas de metros de profundidade.
Valas e trincheiras	Utilizadas em solos ou rochas muito brandas e quando se pretende atingir pequenas profundidades; Indicadas para locais de barragem e canais ou estradas.

## 2.5 Ensaios de campo

Os ensaios de penetração são os mais utilizados em prospeção de solos, e a sua descrição e normalização encontra-se definida no EC7 – Parte 3.

Os ensaios de campo, têm como objetivo uma boa caracterização das condições dos terrenos, procurando envolver um volume representativo de material nas condições naturais, devendo este aspeto ser tido em consideração na interpretação e extrapolação de resultados. Estes ensaios deverão permitir a classificação dos materiais e a determinação das propriedades geotécnicas, incluindo os parâmetros característicos do comportamento dos terrenos, com base na litologia, fracturação, alteração, presença de água e resultados de ensaios de campo.

Os ensaios mais correntes são: ensaios de penetração dinâmica SPT (Standard Penetration Test) e DPSH (penetrómetro dinâmico super-pesado); ensaio de penetração estática CPT/CPTu, ensaios muito completos, permitem a realização de um conjunto de ensaios no

furo, inclusive ensaios sísmicos (SCPTu) e de dissipação de tensão neutra, o que possibilita uma boa caracterização geotécnica dos terrenos atravessados. Outros ensaios que podem ser utilizados, são Flat Dilatometer Test (DMT) ou Dilatômetro de Marchetti, Pressiómetro de Menard (PMT), o Field Vane Test (FVT) ou ensaio de corte rotativo e Plate loading Test (PLT) ou ensaio de carga em placa.

A Figura 2-4 retrata vários dispositivos e procedimentos simplificados da prospeção geotécnica na forma gráfica.

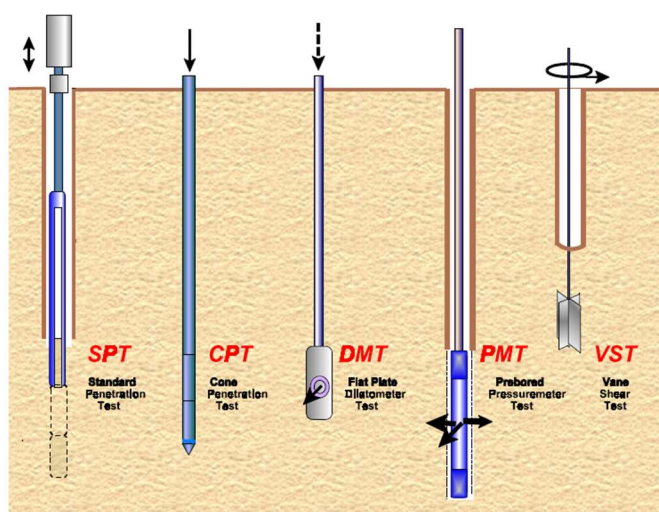


Figura 2-4 - Ensaios de campo mais comuns para caracterização geotécnica dos solos. (in Mayne et al. 2002)

Na Figura 2-5 apresenta-se a relevância dos ensaios de campo, em função o tipo de solo, segundo Mayne *et al.* (2002). De acordo com a Figura 2-4 constata-se que o SPT é o único tipo de ensaio de campo não aconselhado a utilizar em argilas, material muito fino, sendo que a geofísica é sugerida a sua utilização em todo o tipo de solos.

A seleção do tipo de ensaio de campo a utilizar na prospeção de um maciço deverá ter em atenção não só a sua adequação ao tipo de solo do maciço, mas também os parâmetros geotécnicos que se pretendem conhecer para o projeto.

Para atingir os objetivos pretendidos podem utilizar-se ensaios isoladamente ou combinações de ensaios.

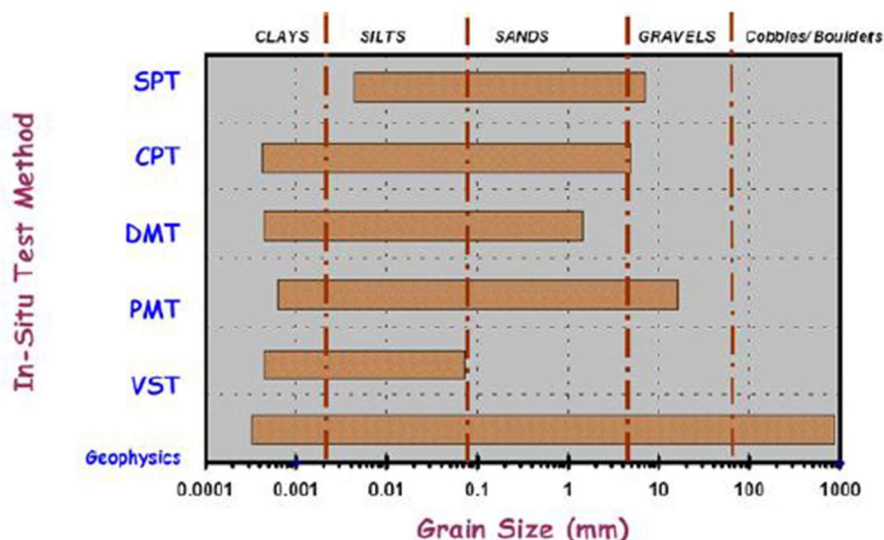


Figura 2-5- Relevância dos ensaios in situ para diferentes tipos de solo (Mayne et al., 2002)

Os ensaios de campo, permitem determinar os valores referentes da deformabilidade dos maciços terrosos in situ é, geralmente, efetuada através de relações empíricas, que combinam parâmetros físicos e de estado (peso volúmico ( $\gamma_s$ ), teor em água ( $w$ ), compactidade ou consistência, granulometria, coeficiente de pré-consolidação (OCR), coeficiente de impulso em repouso ( $K_0$ ), etc.) com resistências à penetração, obtidas em ensaios de penetração dinâmica SPT, DPL, DPH ou DPSH ou por ensaios de penetração estática do tipo CPT ou CPTu.

Os ensaios de campo apresentam vantagens e desvantagens comparativamente aos ensaios laboratoriais. No Quadro 2-5 (Pinto, 2008 e Oliveira, 2017) apresentam-se algumas.

Quadro 2-5 – Vantagens e desvantagens dos ensaios de campo, comparativamente aos ensaios laboratoriais (Pinto, 2008 e Oliveira, 2017)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite avaliar ao comportamento de todos os tipos de solo, a sua realização não está excluída em nenhum tipo de solo, nem todos os ensaios podem ser realizados em todos os tipos os tipos de solo;</li> <li>• Caracterizam, em geral, um grande número de pontos do maciço;</li> <li>• O solo é ensaiado no seu próprio meio, logo sem alterações do seu estado de tensão;</li> <li>• São ensaios de execução rápida e de custos reduzidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Na maioria dos casos, não se encontram claramente definidos o estado de tensão e o estado de deformação do solo ensaiado, podendo ocorrer a perturbação de determinadas zonas do maciço;</li> <li>• Os parâmetros mecânicos do maciço só são obtidos, por vezes, por correlações empíricas, o que torna a interpretação racional dos resultados do ensaio muito difícil;</li> <li>• À exceção do ensaio SPT, não permitem a identificação correta da natureza do solo ensaiado, já que não implicam a recolha de qualquer amostra do mesmo;</li> <li>• Solicitam o maciço de maneira diferente da que acontece durante a construção do edifício;</li> <li>• Impossível controlar as condições de drenagem, durante o ensaio.</li> </ul>

Os ensaios de campo, possuem uma grande vantagem relativamente aos ensaios laboratoriais, pois o ensaio é efetuado num grande volume de material, que está na sua condição natural. No entanto, como não alcançam todo o material, não sendo representativo do maciço em estudo, torna-se necessário ter em atenção esta situação para a interpretação e extrapolação dos resultados.

De seguida faz-se uma breve apresentação dos ensaios de campo que foram consultados nos relatórios.

### **2.5.1 Ensaio SPT**

O SPT é um ensaio de penetração dinâmica e o de utilização mais recorrente em quase todos os países do mundo. A norma atualmente em vigor é a EN ISO 22476-3 (2006). Na seção 5 da norma EN7-3, é descrito este ensaio e as prescrições para a interpretação dos resultados.

O ensaio permite a recolha de amostras e a determinação da resistência dos terrenos atravessados. Permite avaliar a compacidade dos solos incoerentes (arenosos), a consistência dos solos coerentes (argilosos) o que contribui para a definição de um possível zonamento geotécnico dos maciços terrosos em profundidade e pode também ser utilizado para avaliar o potencial de liquefação das areias.

Em contrapartida, no caso dos solos arenosos, a principal utilidade deste ensaio consiste na possibilidade de determinar as suas propriedades mecânicas. E, tal como se viu na Figura 2-5 não é adequado a solos argilosos embora seja frequentemente utilizado.

O ensaio consiste em cravar no fundo de um furo de sondagem um amostrador normalizado, por meio de pancadas de um pilão de 63,5 kgf de peso que cai de uma altura de 76 cm. Na Figura 2-6 está representada uma forma esquemática da realização do ensaio.

O ensaio SPT realiza-se em duas fases:

- Na 1ª fase conta-se o número de pancadas para fazer penetrar o amostrador 15 cm no terreno, este valor é desprezado (devido às perturbações impostas pela própria furação no terreno) mas convém ser registado;
- Na 2ª fase conta-se o número de pancadas para fazer o amostrador penetrar um total de 30 cm, sendo o número de pancadas correspondente,  $N$ , considerado o resultado do ensaio;

- Em alternativa suspende-se o ensaio quando se excedem as 60 pancadas e o tubo amostrador não tenha avançado os 30 cm (caso de terrenos muito resistentes em que a penetração é muito difícil), neste caso regista-se o comprimento de penetração do tubo para N igual a 60.

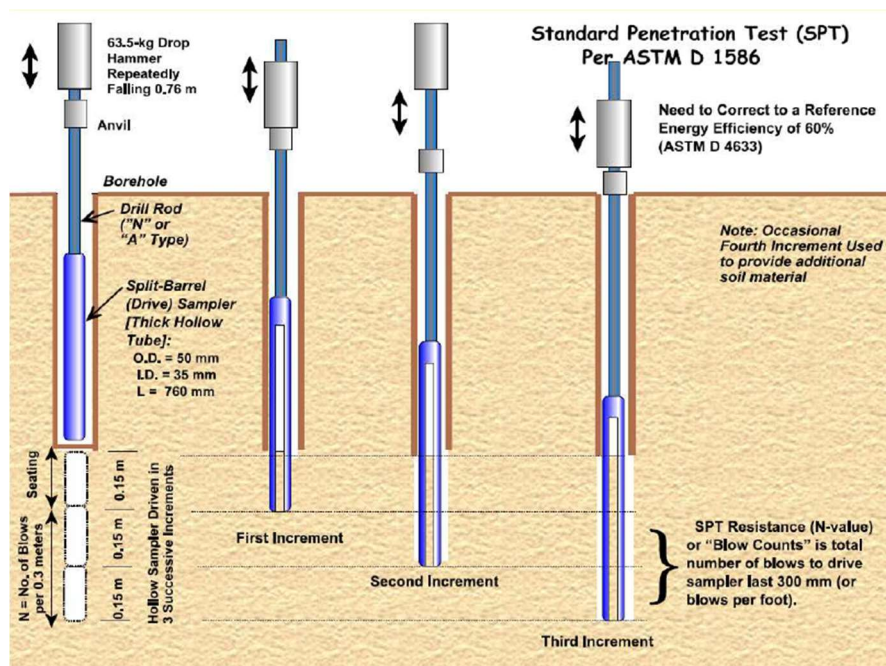


Figura 2-6 - Esquema do ensaio SPT (Mayne et al, 2002)

As vantagens e desvantagens do ensaio SPT encontram-se descritas no Quadro 2-6.

Quadro 2-6 – Vantagens e desvantagens do ensaio SPT (Adaptado Anabela Veiga, 2020)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite obter uma amostra e um valor N;                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo;</li> </ul> </li> <li>• Facilidade de execução (mesmo em locais de acesso difícil), simples e robusto;                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite uma amostragem contínua em profundidade;</li> </ul> </li> <li>• Possibilidade de recolha de amostra, ainda que seja perturbada, para realização de ensaios;</li> <li>• Adequado a muitos tipos de solo, inclusive em rochas fracas;                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• O valor do índice de resistência obtido é correlacionável com a compacidade e consistência do solo;</li> </ul> </li> <li>• Existência de múltiplas correlações relativamente aos resultados do NSPT;                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilita a determinação do nível freático.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amostra perturbada;</li> <li>• A recolha simultânea resulta em má qualidade, quer para a amostra como para o número;                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Número bruto/grosseiro para análise;</li> </ul> </li> <li>• Não aplicável em argilas, lodos macios ou siltes muito moles, devido à sua inexatidão na determinação da resistência ao corte de uma argila;                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilidade à técnica de operação e aos detalhes do equipamento;</li> </ul> </li> <li>• A não normalização internacional do equipamento utilizados;</li> <li>• A possibilidade de ocorrerem problemas quando se realiza o ensaio abaixo do nível freático (NF);</li> <li>• Ações relacionadas com o equipamento e técnica do operador que influenciam os valores o N;</li> <li>• Outros fatores que influenciam o valor de N do SPT são os relacionados com o tipo de terreno.</li> </ul>

Existe um conjunto de fatores que influenciam os resultados do SPT e que carecem de correção de modo a minimizar a sua influência. Destacam-se os seguintes fatores influenciadores (Oliveira, 2017), preparação e qualidade do furo (influência limpeza e estabilidade das paredes), comprimento e diâmetro do furo de sondagem (condiciona peso total do equipamento de ensaio), tipo de equipamento de queda utilizado (manual ou automático), estado do equipamento, tipo de solos utilizado.

Nesse sentido, no EC7– parte 3, recomenda-se um conjunto de correções ao valor N original do SPT. Só assim é que consegue determinar alguns parâmetros dos solos.

As correções ao valor de N do SPT, utilizadas, são as que estão relacionadas com a energia de disparo, o comprimento das hastes, o diâmetro do furo e o ajuste da cobertura ou profundidade (tensão efetiva no caso de areias).

A sua vasta utilização tem permitido estabelecer correlações com diferentes parâmetros geotécnicos, entre os quais:

- Densidade relativa em areias ( $D_r$ ), tendo em conta a influência da profundidade;
- Resistência à compressão simples em argilas
- $(N_1)_{60}$  e  $D_r$  em areias
- $N_{60}$  e a velocidade das ondas S ( $V_s$ );
- Ângulo de atrito em solos granulares ( $\phi$ ) em função da densidade em areias;
- Assentamentos em solos granulares

Este ensaio é utilizado para caracterização de solos arenosos, a avaliação das características mecânicas de solos argilosos é menos fiável. Por este motivo, os resultados do ensaio SPT, para solos arenosos, pode ser suficiente para o dimensionamento (Pereira, 2014).

### **2.5.2 Ensaio DP**

Os ensaios penetrométricos são ensaios de penetração dinâmica que permitem avaliar características geomecânicas dos terrenos em contínuo e em profundidade, permitindo determinar os valores de resistência de ponta ( $R_d$ ) e de resistência dinâmica de ponta ( $q_d$ ) de solos e rochas brandas.

Para realização deste ensaio, por princípio, segue-se a norma portuguesa NP EN ISO 22476-2 de 2008. Os ensaios encontram-se descrito na seção 6, do EC7 –3.

Trata-se de um ensaio em que a cravação continua de uma ponteira cônica que é feita à custa da queda de uma massa de uma altura definida, tendo-se em conta a área da ponteira de penetração e o comprimento de penetração. A ponteira possui o aspeto representado na Figura 2-7. Conta-se o número de pancadas, ( $N_i$ ), para que a ponteira penetre uma determinada distância ( $L$ ). É um ensaio correntemente utilizado em estudos geotécnicos para a fundação de estruturas em obras lineares e edifícios.

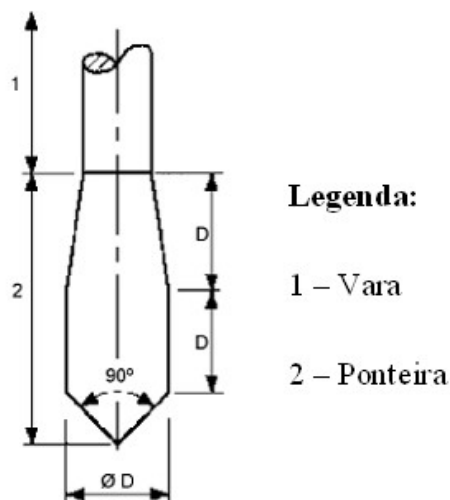


Figura 2-7 - Esquema da ponteira do ensaio DP (EC 7-3)

Este ensaio apresenta como principal vantagem a sua economia, sem desprezar a possibilidade, igualmente importante, de o penetrómetro poder operar em condições difíceis e em locais de difícil acesso.

No Quadro 2-7, apresentam-se as vantagens e desvantagens do ensaio DP, (adaptado Anabela Veiga, 2020).

Quadro 2-7 – Vantagens e desvantagens do ensaio DP (Adaptado Anabela Veiga, 2020)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensaio contínuo estabelecendo-se um perfil contínuo em profundidade da resistência do solo; <ul style="list-style-type: none"> <li>• É um ensaio de execução rápida;</li> </ul> </li> <li>• Resolve o problema de alívio de tensões, uma vez que não há recolha de amostras;</li> <li>• Resolve o problema de tensão lateral pois, como a ponteira é maior que no ensaio SPT, só obtemos resistência de ponta;</li> <li>• Ausência de necessidade de execução de um furo de sondagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não existe recolha de amostra;</li> <li>• Ensaio permite a medição de um parâmetro apenas (resistência de ponta);</li> <li>• Há maior perturbação do solo, através da cravação dinâmica;</li> <li>• Não mede deformações nem módulos de deformabilidade.</li> </ul>

De acordo com o EC7-3, existem quatro tipos de ensaios, caracterizados pela energia que necessitam por pancada. São subdivididos em penetrómetro dinâmico ligeiro (DPL) o penetrómetro dinâmico médio (DPM), o penetrómetro dinâmico pesado (DPH) e o penetrómetro dinâmico superpesado (DPSH). As suas características encontram-se descritas no Quadro 2-8.

**Quadro 2-8 - Características dos diversos penetrómetros (EN ISO 22476-2).**

<b>Características</b>	<b>DPL</b>	<b>DPM</b>	<b>DPH</b>	<b>DPSH</b>
M- Massa do pilão (kg)	10	30	50	63,5
H - Altura de queda (m)	0,5	0,5	0,5	0,75
A - Área da base do cone (cm <sup>2</sup> )	10	10	15	20
Angulo no vértice do cone (graus)	90	90	90	90
L - Comprimento da penetração (cm)	10	10	10	20
MgH/A - Energia específica por pancada (kJ/m <sup>2</sup> )	50	150	167	238
Profundidade do ensaio (m)	<8	8-20	20-25	>25

Para o DPL, DPM e DPH, a resistência à penetração é definida pelo número de pancadas necessárias para cravar o penetrómetro de 10 em 10 cm, o ensaio termina quando os 10 cm não são atingidos após 50 pancadas. Para o DPSH a resistência à penetração é definida pelo número de pancadas necessárias para cravar o penetrómetro de 20 em 20 cm. A informação fornecida é muito interessante do ponto de vista qualitativo.

A energia a utilizar nestes ensaios, deve ser apropriada ao tipo de terreno a ensaiar e à profundidade a atingir. Por exemplo, os penetrómetros dinâmicos ligeiros (DPL) só são apropriados para terrenos brandos e para profundidades até à dezena de metros. Usa-los em terrenos resistentes ou que incluam estratos com resistência apreciável, pode conduzir a situação, naturalmente indesejável, de se caracterizar o terreno até profundidade muito inferior aquela que uma caracterização adequada, e com resultados conclusivos para o projeto, deveria atingir.

O EC7-3 não apresenta correlações dos ensaios de penetração dinâmica com outros ensaios, no entanto os dados destes ensaios podem ser comparados com os dados do SPT e é possível estabelecer correlações entre ambos.

Resultados são uteis em solos homogêneos, com presença de material grosseiro, os quais apresentam dificuldades, ou mesmo impossibilidade, na realização de outros ensaios. A sua

utilização mais corrente é no dimensionamento de estacas cravadas, dado que o modo de penetração semelhante.

### **2.5.3 CPT e CPTu**

O CPT e o CPTu são ensaios de penetração ou de cravação estática, que medem a reação do solo perante a penetração contínua de uma ponteira cónica. Acompanhada da medição das tensões neutras, no caso do CPTu, permite uma boa caracterização geotécnica dos solos aluvionares pouco resistentes e muito deformáveis (Figura 2-8). Presentemente os ensaios realizam-se seguindo procedimentos internacionais (ENV 1997-3, 1999; ASTM D3441/86, entre outras recomendações). A sua descrição encontra-se na EC7- 3, seção 3.

O CPT consiste na cravação de um penetrómetro com instrumentação eletrónica no solo. A cravação é contínua e acionada por um sistema hidráulico ou mecânico, com varas de poucos centímetros de diâmetro nas quais é enroscada, na extremidade, uma ponteira cónica (com 10 cm<sup>2</sup> de área da base e 60° de ângulo de abertura).

Em função da metodologia do funcionamento (Veiga, 20011), o equipamento pode ser classificado em:

- Cone mecânico: a cravação da ponteira cónica faz-se à custa de uma transmissão mecânica por meio de varas cuja força é medida à superfície;
- Cone elétrico – consiste num dispositivo que integra células de carga instrumentadas internamente possibilitando a medição dos esforços necessários à cravação da ponteira cónica;
- Piezocone – apresenta o mesmo equipamento do cone elétrico, acrescido de uma célula de carga que permite a monitorização das pressões intersticiais que se desenvolvem durante a cravação.

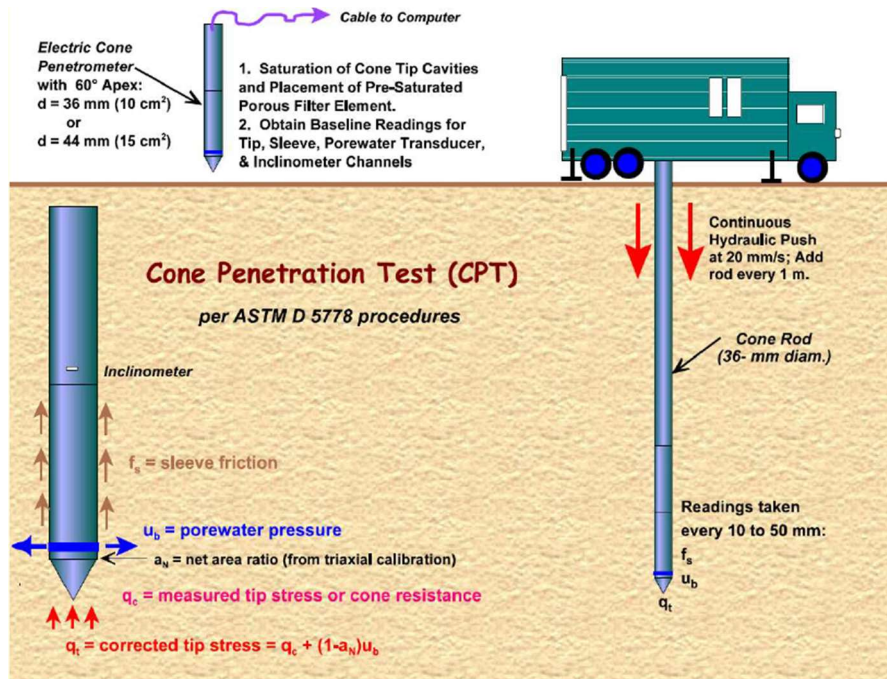


Figura 2-8 - Procedimentos e Componentes do CPT (in Mayne et al. 2002)

Durante a cravação e a intervalos de profundidade estabelecidos, procede-se à gravação recorrendo a transdutores dos seguintes parâmetros: resistência de ponta ( $Q_c$ ), atrito lateral ( $F_a$ ) e pressão intersticial ( $\mu$ ). A pressão intersticial ou neutra só é obtida no caso do CPTu. A medição da pressão intersticial assume particular importância em solos de grão fino na presença de água.

Durante a realização do ensaio (penetração ou extração), a cada metro de vara cravada há uma interrupção (para acrescentar ou remover a vara seguinte). Esta interrupção permite a realização de ensaios adicionais preferencialmente durante a extração do equipamento. Um dos ensaios é o da dissipação dos excessos de pressões intersticiais, gerados durante a cravação do piezocone no solo, e o seu decaimento no tempo. A interpretação destes valores permite obter parâmetros de percolação como o coeficiente de permeabilidade horizontal e o coeficiente de consolidação na direção horizontal ( $C_h$ ). Outro ensaio é o SCPTu, ensaio de sismicidade que permite a medição da velocidade de ondas de corte. Gera-se à superfície uma onda de cisalhamento que é detetada por um ou mais geofones no penetrómetro, permitindo obter perfis da velocidade de  $V_s$  com a profundidade. As ondas sísmicas ( $V_s$  e  $V_p$ ) permitem avaliar os módulos de deformabilidade confinado ( $M_o$ ) e distorsional ( $G_o$ ).

Os resultados do CPT e CPTu, permitem uma boa caracterização das condições do terreno, permitindo definir as camadas e os tipos de solos (estratificação), determinar o perfil do solo, bem como estimar parâmetros de resistência, de deformabilidade e de permeabilidade,

particularmente em depósitos de argilas moles e na previsão da capacidade de carga de fundações. Permitem ainda a escolha e dimensionamento dos tipos de fundação, tanto diretas como indiretas, pois permite determinar a capacidade de carga de fundações. A grande limitação deste ensaio é não permitir a recolha de amostra).

O CPT/CPTu pode ser utilizado em solos desde argilas muito moles até areias densas, em particular de siltes e argilas, não sendo adequado para cascalhos ou terreno rochoso. Como o ensaio fornece dados precisos e confiáveis para a análise, mesmo não permitindo a amostragem do solo, proporciona um excelente complemento ao ensaio SPT (Mayne *et al.*, 2002). No Quadro 2-9, encontram-se enumeradas as vantagens e desvantagens do CPT, (adaptado Anabela Veiga, 2020).

**Quadro 2-9 – Vantagens e desvantagens do ensaio CPT (Adaptado Anabela Veiga, 2020)**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidez de execução e baixo custo, a penetração estática do equipamento faz-se a 20mm/s o que permite fazer um ensaio num curto espaço de tempo e consecutivamente vários ensaios num dia.</li> <li>• Perfil estratigráfico contínuo, como resulta de uma penetração estática e como o ensaio está programado para a aquisição de dados continuamente, consegue-se obter uma elevada resolução vertical.</li> <li>• Não necessita de pré-furação (maioria das vezes).</li> <li>• Alta precisão, o equipamento usado é feito com os melhores materiais e com avançada tecnologia, possibilitando uma aquisição de dados com maior fidelidade.</li> <li>• Aquisição e processamento automático dos dados, os dados obtidos pelos sensores do equipamento SCPTu são automaticamente processados e apresentados em gráfico tabelas por um computador.             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa perturbação no solo.</li> </ul> </li> <li>• Possibilidade de execução por um operador, há veículos de sondagem com equipamento que permite a execução do ensaio por um único operador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impossibilidade de colheita de amostras, o equipamento não permite a amostragem do solo.             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de operador treinado, a complexidade do ensaio e do equipamento obriga a que o operador tenha uma formação algo avançada.</li> </ul> </li> <li>• Equipamento e suporte técnico complexo.</li> <li>• Capacidade de penetração limitada pela capacidade de carga.</li> <li>• Baixa resolução horizontal, dificuldade em manter a verticalidade para profundidades elevadas.             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos de equipamento elevados.</li> </ul> </li> <li>• Impróprio para depósitos de cascalho ou terrenos rochosos.</li> </ul>

Com os resultados destes ensaios é possível classificar os solos e estimar as propriedades geotécnicas por correlações avançadas e unificadas, bem como os índices diversos de risco geotécnico.

Na Figura 2-9 é ilustrado um equipamento tipo utilizado para a realização do ensaio.



Figura 2-9 - Equipamento para ensaio do CPT

Na Figura 2-10, apresenta-se os resultados de um ensaio CPTu.

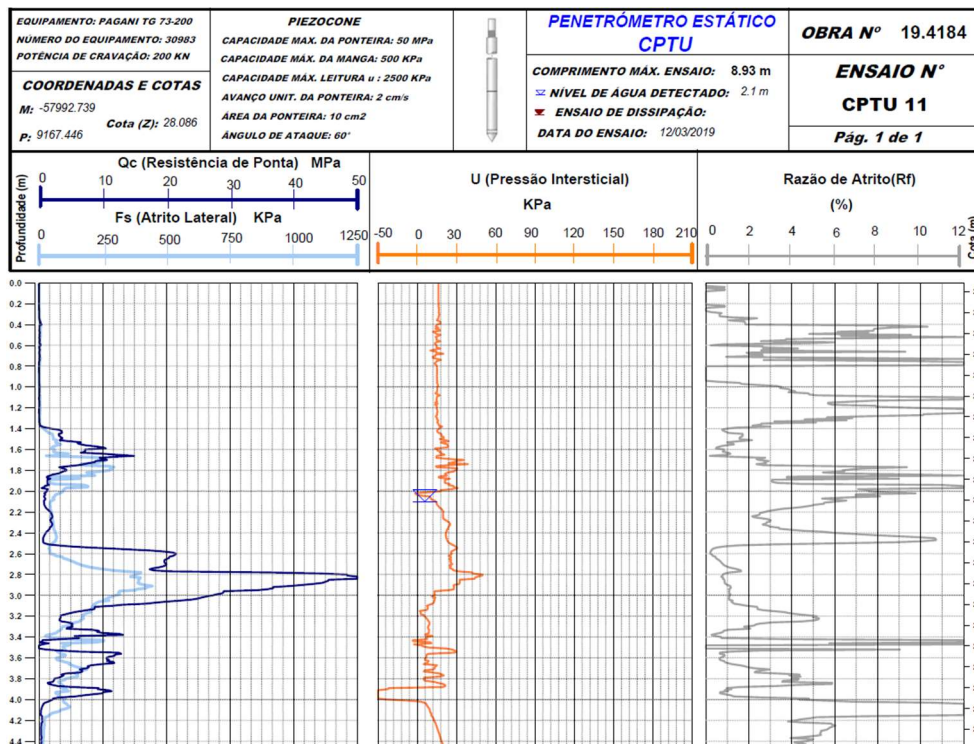


Figura 2-10 – Tipo de perfil obtido num ensaio CPTu

Os ensaios de penetração estática, CPTu, possibilitam uma avaliação detalhada do comportamento do subsolo, não só no que diz respeito à variedade de parâmetros com os quais apresentam correlações devido ao reconhecido potencial destes ensaios nos maciços sedimentares recentes, mas sobretudo pelo facto de possibilitarem leituras quase contínuas do comportamento dos diferentes estratos.

Como o ensaio é de grande precisão e apoiado em fundamentos teóricos sólidos permite a obtenção de inúmeros parâmetros geotécnicos. Existem um conjunto de expressões que permitem a obtenção e avaliação de parâmetros dos solos a partir dos resultados do CPTU, destacam-se os seguintes parâmetros: o coeficiente de impulso em repouso ( $K_0$ ), grau de sobreconsolidação (OCR) e tensão de pré-consolidação ( $\sigma'_p$ ), resistência não drenada ( $c_u$ ), ângulo de atrito ( $\phi'$ ), e parâmetros de deformabilidade (módulo de Young (E) e módulo distorcional ( $G_0$ )).

#### **2.5.4 Ensaio de permeabilidade - Ensaio de Lefranc**

Tendo em vista a caracterização da condutividade hidráulica do solo ( $k$ ), em maciços terrosos, podem ser realizados ensaios de permeabilidade Lefranc nos furos de sondagem. Coeficiente de permeabilidade em solos permeáveis ou semipermeáveis, de tipo granular, situados abaixo do nível freático.

O ensaio de Lefranc pode ser realizado a carga variável ou a carga constante. Como dos relatórios consultados apenas há referência a ensaios de carga constante de apenas se descreverá o procedimento deste tipo de ensaio.

Os ensaios Lefranc realizados a carga constante consistem na aplicação de uma carga hidráulica na zona do maciço ensaiado, neste caso, injetando-se água através do furo para o interior de uma cavidade executada pela perfuração, mantendo-se constante a vazão do furo para o solo, até que as condições de escoamento se estabilizem e a carga se torne constante. Nessas condições, em que se determina o tempo necessário para o solo absorver um volume conhecido de água, mantendo a carga hidráulica ( $h$ ) constante, medem-se o caudal ( $Q$ ) e a carga, para a aplicação da fórmula apropriada, ( $Q=kCh$ , em que  $C$  é o coeficiente característico da forma da cavidade). A geometria do furo, a carga hidráulica introduzida no terreno e o caudal necessário para a manter, permitem calcular a condutividade hidráulica do terreno no troço ensaiado.

A classificação do solo é efetuada em relação à permeabilidade de acordo com o Quadro 2.10, segundo Lambe e Whitman (1969).

Quadro 2-10 – Grau de permeabilidade (Lambe &amp; Whitmen, 1968)

Grau de permeabilidade	K (m/s)
Alto	$>10^{-3}$
Médio	$10^{-3}<10^{-5}$
Baixo	$10^{-5}$ a $10^{-7}$
Muito baixo	$10^{-7}$ a $10^{-9}$
Praticamente impermeável	$<10^{-9}$

## 2.6 Ensaios laboratoriais

Uma boa caracterização geológico-geotécnica de um solo, para além dos ensaios de campo, passa pela realização de ensaios laboratoriais, que complementam os primeiros. São claramente aqueles que melhor traduzem as características do material ensaiado, pois permitem determinar o comportamento do solo, sob condições bem controladas e conhecidas, esta é a grande vantagem dos ensaios laboratoriais quando comparados com os ensaios de campo.

A complexidade dos ensaios necessários para um determinado projeto pode ir desde a determinação de um teor de humidade até aos ensaios especializados de resistência e rigidez.

Em laboratório, a compactação, a humidade, e todos os parâmetros que influenciam as características da amostra são devidamente controlados.

Em seguida, faz-se uma breve descrição dos ensaios laboratoriais, que constam dos relatórios geológicos consultados. Estes ensaios subdividem-se, em ensaios de identificação (granulometria e limites de Atterberg), de determinação das grandezas físicas (teor em água, índice de vazios, peso volúmico) e ensaios mecânicos e hidráulicos para determinação da resistência (ensaios triaxiais, ensaio uniaxial ou de compressão simples e de deformação plana e ensaios de corte simples) e ensaios de deformabilidade (ensaios edométricos).

A determinação destas grandezas é fundamental para o dimensionamento de estruturas de fundações e a classificação de solos para a sua utilização como materiais de construção.

### 2.6.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica serve para determinar a distribuição ponderal das partículas de uma amostra de solo, segundo determinadas dimensões, uma vez que o tamanho e a distribuição

das partículas condicionam fortemente o comportamento do solo. Este ensaio é realizado através das seguintes especificações do LNEC:

- E 196-1966 – Análise granulométrica, destina-se a fixar o modo de determinar quantitativamente a distribuição por tamanho das partículas que constituem um solo.
- E 239 – 1970 - Análise granulométrica por peneiração húmida, neste caso, pretende-se fixar o modo de determinar quantitativamente a distribuição por tamanhos das partículas de um solo retido no peneiro de 0.074 mm (nº200) ASTM e a percentagem de material passada nesse peneiro.

### **2.6.2 Determinação do teor em água**

A determinação de teor em água de um provete de solo,  $w$ , é realizado através da norma NP – 84/1965.

O teor em água, consiste na relação, em percentagem, da massa da água que se evapora do provete entre 105°C e 110°C, pela massa do provete depois de seco.

### **2.6.3 Limites de Consistência**

Trata-se de ensaios de identificação essenciais na classificação e caracterização dos solos argilosos. O comportamento dos solos finos está fortemente dependente das relações entre a fase sólida, a fase líquida e a fase gasosa. As determinações dos limites de consistência estão definidas na NP-143-1969.

Os limites de consistência ou de Atterberg são uteis para caraterizar o comportamento das argilas e solos finos em função da variação do teor em água.

### **2.6.4 Densidade das partículas sólidas**

Para a determinação da densidade das partículas sólidas,  $\gamma_s$ , utiliza-se o procedimento descrito na norma Portuguesa NP 83-1965, utilizando-se apenas a fração de solo que passa no peneiro de malha quadrada de 4,76mm de abertura. A densidade das partículas de um solo, é o quociente da massa dum dado volume dessas partículas à temperatura do ensaio, pela massa de igual volume de água destilada a 20°C.

### **2.6.5 Equivalente de areia**

A determinação do equivalente de areia (EA) permite controlar a qualidade dos solos grossos relativamente à sua limpeza em termos de material argiloso. É um ensaio que pode ser determinado através da especificação do LNEC E 199-1967.

O equivalente de areia é característica que exprime convencionalmente a quantidade e a qualidade de elementos finos plásticos existentes num solo.

### **2.6.6 Azul de metileno**

O ensaio de azul de metileno, VBS, é realizado de acordo com a NF P 94-068:1993. O ensaio permite estimar a quantidade e tipo de argilas presentes na fração fina do solo, com base na capacidade de adsorção da molécula orgânica do azul de metileno, permitindo determinar a superfície específica da argila e caracterizar a mesma relativamente à sensibilidade à água.

### **2.6.7 Ensaio de compactação Proctor**

O ensaio de compactação mais comum realizado em laboratório é o ensaio de Proctor que está normalizado em Portugal na especificação do LNEC E-197-1966. Determina a relação entre o teor em água ( $w$ ) e a baridade seca dos solos ( $\gamma_d$ ). De igual forma, permite fixar um termo de comparação para o controle da baridade ( $\gamma$ ) e da humidade no campo.

O ensaio de Proctor destina-se a fornecer elementos para a caracterização da compactação de um solo. É realizado na construção de aterros para estradas, barragens de terra, muros, fundações e em muitas outras obras em que existem solos que carecem de ser compactados para aumentar a sua densidade. A compactação diminui a possibilidade de assentamentos e aumenta a estabilidade dos solos.

A medição da densidade do solo permite obter a baridade seca ( $\gamma_d$ ), em função do teor em água ( $w$ ) para ensaios de compactação realizados com energia de compactação constante.

### **2.6.8 Ensaio CBR**

O ensaio de CBR (Califórnia Bearing Ratio), foi concebido pelo Departamento de Estradas da Califórnia (EUA) para avaliar a resistência dos solos. Em Portugal está normalizado na especificação do LNEC E-198- 1967.

O CBR é um ensaio muito utilizado para estimar a capacidade de suporte de solos e materiais utilizados em pavimentos flexíveis de estradas e aeródromos. O ensaio é usado com o objetivo

de obter elementos para o dimensionamento de pavimentos (determinação das espessuras de pavimentos flexíveis ou determinar a capacidade de um rolamento da camada compactada do solo em condições controladas de humidade e densidade). Devem ser utilizadas condições de saturação para simular condições de campo a longo prazo. Embora seja normalmente executado em provetes compactados de amostras remexidas pode ser realizado sobre solos no campo (Mayne *et al.*, 2002).

Os resultados do ensaio são expressos em termos da razão ou índice de CBR. O valor do CBR de um solo depende principalmente do seu peso específico, do teor em água usado na compactação e do teor em água na altura em que se faz a penetração.

### **2.6.9 Ensaios de resistência**

Os ensaios de resistência, permitem determinar o ângulo de atrito interno ( $\phi$ ) e a coesão ( $c$ ) característicos de um solo, quer em termos de tensões totais quer em termos de tensões efetivas. Estes valores são importantes, pois são utilizados pelos projetistas para a determinação da capacidade de carga das fundações (dimensionamento de fundações superficiais e profundas, dimensionamento de estruturas de suporte, entre outros (Veiga, 2011). Para obter os parâmetros de corte os ensaios mais utilizados são os ensaios de corte direto e os ensaios triaxiais.

#### **Ensaio de corte direto**

O ensaio de corte direto é um dos ensaios de utilização mais frequente para a determinação dos parâmetros de resistência ao corte (ângulo de atrito interno  $\phi$  e a coesão  $c$ ), em solos predominantemente granulares de elevada permeabilidade, sendo apropriado para a análise de situações em que a rotura é localizada desenvolvendo-se em bandas de corte de espessura reduzida. O ensaio pode ser realizado em amostras deformadas ou indeformadas, saturadas ou secas. As normas mais utilizadas na sua execução são a T236 (AASHTO), D3080 (ASTM) e norma europeia CEN ISO/TS 17892-10:2004.

#### **Ensaio triaxial**

Os ensaios triaxiais são os ensaios laboratoriais mais utilizados para o estudo da resistência ao corte do solo, e estudo do comportamento tensões-deformações nos solos argilosos, de baixa permeabilidade, são os ensaios triaxiais consolidados não drenados e os ensaios triaxiais consolidados drenados, permitindo obter os parâmetros de corte em termos de

tensões efetivas ( $c'$  e  $\phi'$ ) e em termos de tensões totais (coesão não drenada  $c_u$ ). Os procedimentos encontram-se descritos na norma ASTM T 296.

O ensaio permite um controlo completo dos estados de tensão total e efetiva, da pressão neutra e do estado de deformação das amostras (Fernandes, 2006). De um modo geral os ensaios triaxiais podem realizar-se sob três modos distintos:

- ***Não consolidado não drenado (UU)*** - Este ensaio permite obter a resistência não drenada do solo, em termos de tensões totais,  $c_{uu}$  ou  $c_u$ .
- ***Consolidado não drenado (CU)*** - Este ensaio permite obter a envolvente em tensões totais e em tensões efetivas caracterizada pelos respetivos parâmetros  $c_{cu}$  e  $\phi_{cu}$ , e  $c'$  e  $\phi'$  respetivamente. Este ensaio é recomendado para a análise da estabilidade de um aterro passado algum tempo após a sua construção e também na análise da estabilidade de uma barragem face a um rebaixamento rápido da água no reservatório.
- ***Consolidado drenado (CD)*** - Este ensaio permite obter a envolvente em tensões efetivas caracterizada pelos parâmetros ( $c'_{cd}$  e  $\phi'_{cd}$ ). Os parâmetros de resistência obtidos no ensaio são,  $c_{cu}$ ;  $\phi_{cu}$ ;  $c'$  e  $\phi'$ . Recomendado para simulações em solos grosseiros.

### **Ensaio uniaxial ou compressão simples**

O ensaio de compressão uniaxial permite determinar em laboratório a resistência uniaxial não confinada, ou resistência à simples compressão,  $\sigma_c$ , classifica a rocha pela sua resistência, e suas constantes elásticas: o coeficiente Young (E) e coeficiente de Poisson ( $\nu$ ), classifica a rocha pela determinação da sua deformabilidade. No caso da compressão uniaxial, é determinada a tensão que provoca a rotura dos provetes quando submetidos a uma tensão de compressão dada pela prensa através de uma carga constante. A norma utilizada neste procedimento é a ASTM -D 2938-95.

O ensaio de compressão uniaxial é o meio mais direto de determinação da resistência e de deformabilidade da rocha. Os resultados são influenciados pelo teor de humidade das amostras, pelo que se deve observar o seu valor. A taxa de carga e o estado das extremidades da rocha, devem ser planas e paralelas, também afetarão os resultados finais.

### **2.6.10 Ensaios edométricos, ensaio de deformabilidade**

O ensaio simula o comportamento dos solos compressíveis quando carregados e permite determinar os parâmetros associados a este comportamento (índice de vazios ( $e$ ), índice de compressibilidade ( $c_c$ )), a partir dos quais é possível estimar a reação dos terrenos (assentamento) a uma dada solicitação (sobrecarga). A norma utilizada no procedimento é CEN ISO/TS 17892-5:2003.

Este ensaio consiste em determinar a grandeza da consolidação dos solos sujeitos a cargas crescentes, estando confinado lateralmente, isto é, simula o comportamento dos solos compressíveis quando carregados verticalmente ou em condições confinadas. Este ensaio permite prever os assentamentos que o solo sofrerá na sequência de saída de água por aplicação de determinados escalões de carga.

Num ensaio edométrico são obtidas as leituras da deformação vertical da amostra ao longo do tempo para cada escalão de carga, as quais permitem obter as características de compressibilidade, consolidação e expansão dos solos, determinada a partir dos valores do índice de compressibilidade ( $cc$ ) e do coeficiente de consolidação ( $C_v$ ). Permite determinar o valor do índice de vazios ( $e$ ), o coeficiente de compressibilidade ( $a_v$ ), o coeficiente de compressibilidade volumétrico ( $m_v$ ) e o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) e determinar a rigidez em termos do módulo de deformabilidade ( $E$ ) e a tensão de pré-consolidação ( $\sigma'_p$ ).

## **2.7 Resumo parâmetros avaliados com ensaios de campo e laboratoriais**

Os parâmetros geotécnicos que são geralmente objeto de estudo através dos ensaios de campo, são os relativos à caracterização da permeabilidade, da deformabilidade, de resistências e de avaliação do estado de tensão inicial, pois são elementos essenciais para o dimensionamento de estruturas de fundações e de obras geotécnicas.

A prospeção geológica e geotécnica deve constituir a base de qualquer projeto. De uma forma sucinta, pode ser definida como o conjunto de práticas que permitem recolher, no terreno, a informação que, sendo objeto de posterior interpretação, possibilitará determinar os parâmetros de resistência e de deformabilidade de um maciço, entre outras propriedades.

No Quadro 2-11, apresenta-se um resumo dos ensaios de campo. O Quadro 2-12 apresenta um resumo dos ensaios laboratoriais.

Quadro 2-11 – Resumo dos ensaios de campo

Ensaio	Propriedade geotécnica	Caraterísticas	Resultados	Recomendável	Não recomendável (impraticável)	Tipo de penetrómetro	Parâmetros geotécnicos (obtidos através de correlações)
SPT (ensaios em sondagens)	Resistência	Reconhecimento das condições do terreno. medição da resistência à cravação de um tubo amostrador permitindo obter um número, permite recolha de amostras.	Valor N de resistência à penetração que pode ser correlacionado com os parâmetros geotécnicos	Solos arenosos	Argilas, lodos macios ou siltes muito moles	Dinâmico	- $D_r$ , $V_s$ , $\phi$ - Resistência à compressão simples em argilas - Assentamentos em solos granulares
Penetração dinâmica (DPL e outros tipos) DPH	Resistência	Medição da resistência à penetração de um amostrador através de golpes com uma energia normalizada. Estabelece perfil contínuo. Valor N de resistência à penetração que pode ser correlacionado com os parâmetros geotécnicos. Pode-se relacionar com o SPT.	Resistência de ponta, $R_d$ Resistência dinâmica de ponta, $q_d$	Areias soltas a médias. Siltes arenosos soltos a médios.	Rochas, blocos, partículas de maiores dimensões, solos muito cimentados.	Dinâmico	Os ensaios DPSH servem fundamentalmente para avaliação da rigidez. Para o efeito, os resultados dos ensaios DPSH são primeiramente transformados em resultados de $N_{SPT}$ e depois aplicadas correlações correntes deste último com os ângulos de resistência ao corte e módulos de deformabilidade. Esta transformação de resultados é bastante fidedigna e habitualmente referida na bibliografia da especialidade, dada a semelhança entre os dois tipos de equipamentos, nomeadamente no que respeita ao método de cravação do equipamento, massa do pilão, altura de queda e secção transversal do amostrador (SPT) e do cone (DPSH), que geram idêntica energia potencial.
Penetração dinâmica (DPL e outros tipos) DPSH				Areias médias a muito compactas. Argilas pré-consolidadas sobre o NF Cascalhos argilosos e arenosos	Rochas, blocos.		
CPT (ensaio penetração estática)	Resistência	Ensaio de penetração estática. registo contínuo da resistência à penetração de um cone e um tubo através de pressão. Em solos granulares e coesivos brandos.	Resistência de ponta, $Q_c$ Atrito lateral, $F_a$ Pressões intersticiais, $\mu$	Argilas e siltes muito brandos Areias finas soltas a densas sem cascalhos.	Rochas, blocos, cascalhos, solos cimentados; Argilas muito compactas; Areias muito	Estático	- $K_0$ - OCR - $\sigma'_p$ - $C_u$ - $\phi$ - E - $G_0$

		Quando se instala um piezocone podem medir-se as pressões intersticiais. Não se obtêm amostras.			compactas. Solos muito pré-consolidados e/ou cimentados.	
Corte rotativo (molinete ou vane shear test) (ensaio em sondagens)	Resistência	Medição do momento de torque M necessário para cravar no solo uma cruzeta metálica, composta por 4 lâminas, normalmente perpendiculares entre si. Em matérias coesivos brandos saturados.	Resistência ao corte não drenado, $c_u$	Solos argilosos ou argilo-siltosos moles, sobretudo de argilas moles saturadas	Não são aplicáveis a solos insaturados ou em lodos não plásticos, areias, cascalho ou outros solos de alta permeabilidade.	- Su - Ss
Dilatómetros (DMT) (ensaio em sondagens)	Deformabilidade	Módulo de deformação dilatométrico. Medição da deformação do terreno ao ir aplicando ma serie de pressões controladas em rochas.	Pressão inicial da extensão da membrana ( $P_0$ ), a pressão final da expansão da membrana $P_1$ ) e a pressão final da descarga ( $P_2$ )	Solos finos, argilas, lamas e areias		- K0 - OCR - Cu (argilas)
Ensaio Lefranc (interior das sondagens)	Permeabilidade	Coefficiente de permeabilidade em solos permeáveis ou semipermeáveis, de tipo granular, situados abaixo do nível freático.	k			-

Quadro 2-12 – Ensaios laboratoriais, resultados e utilização.

Ensaio	Resultados	Utilização	Norma
Análise Granulométrica	Distribuição em percentagem ponderal das partículas do solo, segundo as suas dimensões	Classificação unificada de solos e outras, compatibilização com CE ex-JAE para utilização das bases e sub bases, caso vias.	E 196-1966 E 239-1970
Determinação do teor em água	Fixar o modo de efetuar a determinação do teor em água de um provete de solo	Compatibilização com CE ex-JAE para utilização das bases e sub bases, caso vias.	NP 84/1965
Limites de Consistência	LL, LP e IP	Classificação unificada de solos, compatibilização com CE ex-JAE para utilização das bases e sub bases, caso vias.	NP 143/1969
Densidade das partículas sólidas	É o quociente da massa dum dado volume de partículas à temperatura do ensaio, pela massa de igual volume de água	Compatibilização com CE ex-JAE para utilização das bases e sub bases, caso vias.	NP 83/1965
Equivalente de areia	Permite controlar a qualidade dos solos grossos, isto é, a sua limpeza em termos de material argiloso	Compatibilização com CE ex-JAE para utilização das bases e sub bases, caso vias.	E 199-1967
Azul de metileno	Permite estimar a quantidade e tipo de argilas presentes na fração fina	Compatibilização com CE ex-JAE para utilização das bases e sub bases, caso vias.	NF P 94-068:1993
Ensaio de compactação Proctor	$\gamma_d$ max e $W_{opt}$	Compatibilização com CE ex-JAE para utilização das bases e sub bases, caso vias.	E 197-1966
Ensaio CBR	Para avaliar a resistência dos solos. Índice de CBR	Compatibilização com CE ex-JAE para utilização das bases e sub bases, caso vias.	E 198-1967
Ensaio corte direto	Determinação dos parâmetros de resistência ao corte $\phi$ e $c$ (ângulo de atrito interno e coesão)	Ensaio de resistência, cujo resultado é utilizado para dimensionamento. Recomendável em solos predominantemente granulares de elevada permeabilidade	T236(AASHTO)D3080 (ASTM) CEN ISSO/TS 17892-10:2004
Ensaio triaxial	Determinação dos parâmetros de resistência ao corte $\phi$ e $c$ (em termos de tensões efetivas)	Ensaio de resistência, cujo resultado é utilizado para dimensionamento. Recomendável em solos argilosos, de baixa permeabilidade	ASTM T 296
Ensaio uniaxial ou compressão simples	Resistência uniaxial não confinada à rocha, ou resistência à simples compressão ( $\sigma_c$ ) e suas constantes elásticas ( $E$ , $\nu$ )	Ensaio de resistência, cujo resultado é utilizado para dimensionamento	ASTM-D 2938-95
Ensaos edométricos	Determinação dos parâmetros de compressibilidade $C_c$ , $C_v$ , $e$ , $av$ , $m_v$ , $K$ , $E$ e $\sigma'_p$ .	Ensaio de deformabilidade, cujo resultado é utilizado para dimensionamento. Recomendável para solos compressíveis	ISSO/TS 17892-5:2003

No Quadro 2-13, podem ser consultadas os principais parâmetros de caracterização geotécnica, dos diferentes tipos de solo ou rocha, de acordo com o tipo de fundação a executar.

**Quadro 2-13 – Principais parâmetros de caracterização geotécnica para os diferentes tipos de solos (in Pereira, 2014)**

<b>Tipo de terreno</b>	<b>Identificação</b>	<b>Estruturas de contenção e escavação</b>	<b>Fundações superficiais</b>	<b>Fundações profundas</b>
Solos arenosos	- Granulometria	- Massa específica, $\gamma$ - $\phi$ - K	- Compacidade <sup>1</sup> - Ângulo de resistência ao corte - Módulo de deformabilidade	- Compacidade - Ângulo de resistência ao corte - Módulo de deformabilidade
Solos argilosos	- Plasticidade - Mineralogia - Teor em água	- Massa específica - Resistência à compressão simples - Resistência ao corte - Expansibilidade <sup>2</sup>	- Resistência à compressão simples - Resistência ao corte - Deformabilidade <sup>3</sup> - Expansibilidade	- Resistência à compressão simples - Resistência ao corte - Deformabilidade - Expansibilidade
Solos de transição	- Granulometria - Plasticidade	Combinação da informação indicada para solos arenosos e argiloso, de acordo com a proporção relativa a cada um deles		
Rochas brandas	- Mineralogia - Identificação	- Alteração - Estrutura - Resistência ao corte - Ripalidade - Fracturação	- Resistência à compressão simples - Fracturação - Deformabilidade <sup>4</sup> (para grandes cargas) - Alteração - Expansibilidade	- Fracturação - Alteração - Resistência à compressão simples
Rochas duras	- Litologia - Estrutura	- Estrutura, em grandes escavações - Permeabilidade do maciço - Ripalidade	- Resistência à compressão simples	- Resistência à compressão simples

## 2.8 Relatórios geológico-geotécnicos

Um relatório geológico-geotécnico, deve conter os resultados dos estudos de caracterização geotécnica, e que de acordo com a secção 3.4 do EC7-parte 1, devem fazer parte do Relatório do Projeto Geotécnico e deve abranger os seguintes aspetos:

“(…) - na apresentação de toda a informação geotécnica disponível, incluindo aspetos geológicos e outros dados relevantes;

- na avaliação do ponto de vista geotécnico, da informação disponível, com indicação das hipóteses adotadas na interpretação dos resultados dos ensaios.”

<sup>1</sup> Classificação de solos incoerentes através do  $N_{SPT}$

<sup>2</sup> LNEC E 200:1967 Ensaio de expansibilidade

<sup>3</sup> Ensaio de deformabilidade em solos: Placa de carga e pressiómetros

<sup>4</sup> Ensaio de deformabilidade em rochas: dilatómetros (DMT), placa de carga e macaco plano

Os relatórios geotécnicos são uma ferramenta fundamental para a escolha de métodos de cálculo, dimensionamento e aptidão dos solos para determinado tipo de construção.

Os relatórios geotécnicos devem incluir uma descrição da obra, do local e da sua vizinhança, as propriedades do terreno, recomendações relativas ao tipo de fundações a adotar, capacidade resistentes dos solos e fatores de risco associados. Os relatórios baseiam-se na sua grande maioria em ensaios de campo e ensaios laboratoriais, devendo mencionar os procedimentos realizados em campo e em laboratório.

O relatório visa sistematizar toda a informação obtida durante a campanha, de modo a ser utilizada pelos diversos envolvidos (projetistas e Dono de Obra).

Deve conter informação adequada e deve possibilitar a gestão de eventuais riscos ou situações problemáticas que sejam à partida conhecidos, ou sejam previstos de ocorrer.

O relatório é composto pelas peças desenhadas onde constam a localização dos trabalhos de prospeção e respetivos perfis geológico-geotécnicos interpretativos, boletins das sondagens e outros ensaios de campo e boletins dos ensaios de laboratório.

A Portaria nº 701- H/2008, de 29 de julho define que o reconhecimento geológico e o estudo geotécnico devem ser fornecidos pelo Dono da Obra e, são elementos especiais do projeto de execução.

## **2.9 Caracterização Geotécnica e Sistemas de Informação Geográfica**

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema que permite a distribuição espacial de informação, ou seja, permite a criação de mapas de informação. Além da criação de mapas, permite analisar e interpretar dados para compreender relações entre os mesmos, padrões e tendências, tornando-se uma ferramenta de grande utilidade quando se tem grande quantidade de informação distribuída geograficamente.

O SIG funciona como uma base de dados com informação geográfica (dados alfanuméricos), e que se encontra associada a um ponto – localização, por um identificador (ID), inserido no mapa (os pontos estão georreferenciados), permite o armazenamento e compilação dos dados e resultados dos ensaios, com base na recolha de informação geotécnica retirada dos relatórios geológicos-geotécnicos, permitindo a consulta dos parâmetros isolados ou combinados, e a consulta do próprio relatório. A estes dados armazenados, podem ser

associadas outras bases de dados, incorporando diversos tipos de informações e organiza a informação, permitindo a visualização das informações em camadas, permitindo a construção de modelos geológico/geotécnicos tridimensionais, utilizados para a gestão e tomadas de decisões.

Esta metodologia assenta em softwares como o ESRI, que permitem armazenar, manipular, analisar e produzir Informação Geográfica. O programa utilizado pelo Município de Leiria é o ArcGIS Enterprise, que pode ser consultado no site do Município.

## **3 Caracterização da área de estudo**

### **3.1 Introdução**

Como referido no capítulo de introdução, o objetivo principal deste trabalho é contribuir para um melhor conhecimento do comportamento geotécnico e geológico dos diferentes terrenos do concelho, e em particular da cidade de Leiria. Foram analisados 43 relatórios geotécnicos realizados com base nos resultados dos ensaios realizados de campo e laboratoriais.

Neste trabalho pretende-se contribuir para um melhor conhecimento das características geotécnicas dos solos do Concelho de Leiria, realizar um mapeamento que permita ilustrar a distribuição geográfica desses solos do concelho, a sua variação em profundidade e as suas propriedades (físicas e mecânicas), bem como a definição das características geológico-geotécnicas e avaliação da resistência dos terrenos de fundação.

Pretende-se que esta informação possa contribuir para uma melhoria do planeamento urbano, para a seleção de locais para construção, tendo em conta os riscos associados, para avaliação de materiais de construção, para a construção de infraestruturas urbanas e rodoviárias e para apoio dos projetistas na definição de soluções estruturais mais adequadas, em especial o tipo de fundações a adotar.

Neste Capítulo são apresentados os dados de algumas campanhas de ensaios que constam nos relatórios avaliados, com especial relevo para o plano de ensaios, o tipo de ensaios realizados, as formações relevantes para cada projeto e os parâmetros do terreno que podem afetar o comportamento de uma dada estrutura.

### **3.2 Enquadramento Geológico da Região de Leiria**

A região de Leiria está localizada na região centro de Portugal Continental. Esta apresenta um clima temperado com características mediterrâneas e temperaturas médias entre os 9,5°C e os 19,4°C (CML, 2017). Segundo a Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas (EMAAC) o mês de maior precipitação média é janeiro e os de menor precipitação média são julho e agosto.

O relevo do concelho, de um modo geral é constituído por colinas arredondadas ou truncadas por superfícies mais ou menos planas, que se desenvolvem ligeiramente para noroeste. As

únicas exceções são os planaltos e serras das regiões sul, sudeste e este. Em termos de declives no concelho, predominam as classes de declives mais baixos, cerca de 80% da área do concelho apresenta declives inferiores a 15%, e desta 44,6% são inferiores a 5% (CML, 2014).

Do ponto de vista geológico a região faz parte da Bacia Ocidental Lusitaniana, com terrenos cenozoicos, predominantemente sedimentares e com algumas intrusões de natureza magmática de pequena extensão. As litologias das formações sedimentares são muito diversificadas e vão desde calcários mais ou menos cristalinos e mais ou menos margosos até areias soltas, passando por argilas sobreconsolidadas e arenitos fortemente sedimentados. A geologia da região é apresentada na Carta Geológica de Portugal, Folha 23-C, (Teixeira et al., 1968), do mapa geológico de Portugal, na escala 1/50000 e descrita na sua notícia explicativa.

A cidade de Leiria, encontra-se em parte instalada no vale tifónico Parceiros Leiria e é atravessada por dois rios. O núcleo do vale tifónico é constituído pelos materiais finos da Formação da Dagorda, por vezes coberto por materiais granulares do Pliocénico. Os limites no vale tifónico são constituídos por formações calcárias do Jurássico, pelo complexo gessoso do Cretácico e calcários do Cretácico. Em torno dos rios surgem materiais aluvionares estratificados e caracterizados da base para o topo, pela presença de cascalheiras, areias, siltes e argilas (Veiga & Quinta-Ferreira, 2008).

Na figura 3-1 pode-se visualizar a carta Geológica de Leiria.

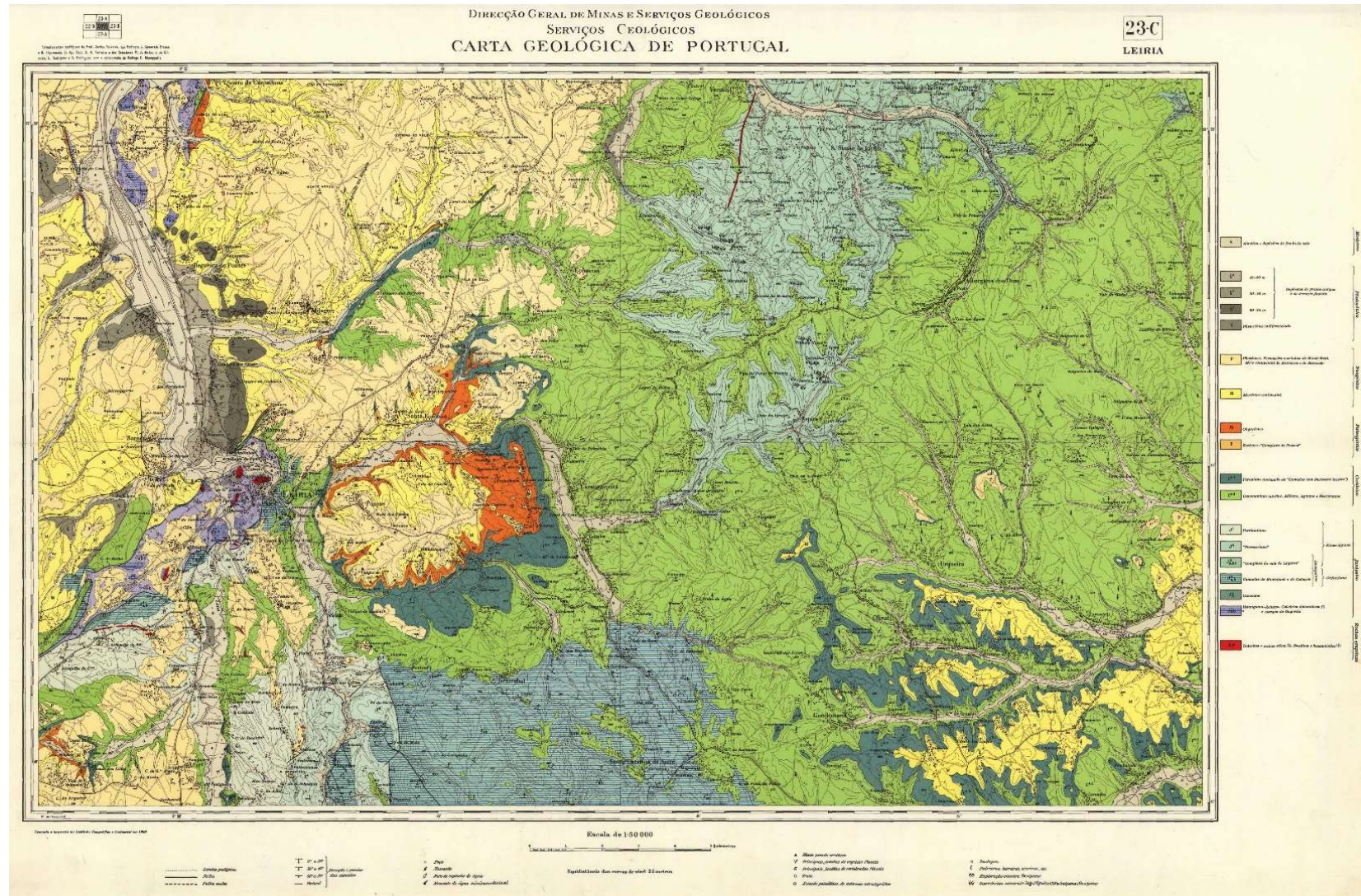


Figura 3-1 - Folha 23-C da Carta Geológica de Portugal (Teixeira *et al.*, 1968)

### 3.3 Base de dados e Métodos

#### 3.3.1 Dados

Foram compilados para a realização deste trabalho, 43 relatórios geológico-geotécnicos. Estes relatórios resultaram de solicitações feitas no âmbito de obras realizadas pelo município de Leiria entre 1997 e 2021. Os relatórios foram realizados por diversas empresas nacionais, verificando-se que o ensaio mais utilizado para a caracterização geotécnica dos terrenos é o ensaio SPT.

Numa primeira fase, os relatórios foram ordenados de forma cronológica, sendo posteriormente atribuído um ID (identificação), com ordenação sequencial por ano da realização do estudo. No Quadro 3-1 são identificados os relatórios analisados com informação do local, o tipo de obra, e os ensaios realizados (de campo e laboratoriais).

Quadro 3-1 – Relatórios consultados, localização, tipo de obra a que se destinam e ensaios realizados.

Código	Designação	Localização	Tipo de obra	Ensaios realizados
ID1_1997	Pavilhão Gimnodesportivo da Freguesia De Cortes	Cortes	Pavilhão Gimnodesportivo	SPT
ID1_1999	Logradouro do Edifício do Paços do Concelho	Leiria	Construção e Ampliação de Edifício	SPT
ID1_2001	Estádio Dr. Magalhães Pessoa	Leiria	Estádio	SPT, ECD <sup>5</sup> , ED <sup>6</sup> , AGS <sup>7</sup> , LsC <sup>8</sup> , VBS <sup>9</sup>
ID2_2001	Envolvente ao Estádio dr Magalhães Pessoa	Leiria	Ponte Rodoviária (Euro 2004)	SPT
ID3_2001	Muros de contenção dos parques e acessos	Leiria	Estrutura de Contenção	SPT
ID4_2001	Pavilhão Desportivo da Escola da Bajouca	Bajouca	Pavilhão Gimnodesportivo	SPT
ID5_2001	Parque de estacionamento subterrâneo da Fonte Quente	Leiria	Parque de Estacionamento Subterrâneo	SPT
ID6_2001	Parque de estacionamento subterrâneo Dr. Serafim Lopes Pereira	Leiria	Parque de Estacionamento Subterrâneo	SPT
ID7_2001	Parque de estacionamento subterrâneo no Largo Infanteria n.º 7	Leiria	Parque de Estacionamento Subterrâneo	SPT, ECU <sup>10</sup>
ID1_2002	PONTES POLIS - Ponte pedonal da Estrada das Cortes	Leiria	Ponte Pedonal	SPT
ID1_2007	Pavilhão Desportivo Souto da Carpalhosa	Souto da Carpalhosa	Pavilhão Gimnodesportivo	SPT

<sup>5</sup> ECD – ensaio de corte direto

<sup>6</sup> ED – ensaio edométrico

<sup>7</sup> AGS – análise granulométrica por sedimentação

<sup>8</sup> LsC – limites de consistência

<sup>9</sup> VBS – ensaio de azul de metileno

<sup>10</sup> ECU – ensaio de compressão uniaxial

ID1_2009	Centro Cívico do Centro Histórico de Leiria	Leiria	Centro Cívico	SPT, AG <sup>11</sup> , LsC, ECS <sup>12</sup> , ET <sup>13</sup>
ID1_2010	Variante de Capuchos e Via Distribuidora Local	Leiria	Projeto de Execução Rodoviário	SPT e DPSH. AG; LsC, VBS, EA <sup>14</sup> , Proctor, CBR
ID2_2010	Variante da Caranguejeira – 2ª Fase - Leiria	Caranguejeira	Projeto de Execução Rodoviário	DPSH AG; LsC, VBS, EA, Proctor, CBR
ID1_2011	Beneficiação do CM 1038, até ao limite do Concelho - Leiria	Bidoeira (Colmeias a Bajouca)	Projeto de Execução Rodoviário	DPSH AG;LsC, EA, Proctor, CBR
ID1_2015	Variante de Capuchos e Via Distribuidora Local - Leiria	Leiria	Estrutura de Contenção (parede de Berlim)	SPT
ID2_2015	Mercado Municipal de Leiria	Leiria	Mercado Municipal de Leiria	SPT e CPTu AG, LsC, densidade das partículas, ECD, ECS, ET, ED
ID1_2016	Centro Escolar de Marrazes	Marrazes	Centro Escolar	SPT
ID2_2016	Extensão de Saúde de Carvide e Monte Real	Carvide	Centro de Saúde	SPT
ID3_2016	Extensão de Saúde de Cortes	Cortes	Centro de Saúde	SPT
ID4_2016	Ampliação da Escola Básica de Bajouca	Bajouca	Escola	SPT
ID5_2016	Ampliação da Escola Básica de Bidoeira	Bidoeira	Ampliação da Escola Básica	SPT
ID6_2016	Ampliação da Escola Básica de Caxieira	Santa Eufémia	Ampliação da Escola Básica	SPT
ID7_2016	Ampliação Da Escola Básica De Machados	Machados - Boa Vista	Ampliação da Escola Básica	SPT
ID8_2016	Ponte Sobre o Rio Liz (Cabreira)	Marrazes	Remodelação da Ponte sobre o Rio Liz	SPT
ID9_2016	Av. Heróis Angola (PEDU)	Leiria	Arruamentos e Infraestruturas	SPT AG, LsC, VBS, Proctor, CBR
ID1_2017	Jardim da Almoinha Grande	Marrazes	Espaços Verdes	SPT AG; LsC, W
ID2_2017	Sistema Viário da Avenida Nossa Senhora de Fátima e Avenida Humberto Delgado (PEDU)	Leiria	Arruamentos e Infraestruturas	DPSH
ID3_2017	Acessos Mecânicos Zona Castelo	Leiria	Implantação de Elevadores	DPSH e Furos
ID1_2018	Construção de Ponte Pedonal	Leiria	Ponte Pedonal	SPT
ID1_2019	Requalificação/Reabilitação do Edifício Villa Portela	Leiria	Reabilitação de Edifício	SPT
ID2_2019	Centro de Atividades Municipal	Leiria	Pavilhão Gimnodesportivo e Centro de Atividades Municipal	SPT e CPTu ECS, ECD, AG; LsC; densidade das partículas, AGSW, ED, ET
ID1_2020	Construção de Silo Auto	Leiria	Silo-Auto	SPT AG, LsC, W, ECD
ID2_2020	Av. Heróis Angola (PEDU)	Leiria	Arruamentos e Infraestruturas	SPT e ensaios de permeabilidade AG, LsC, densidade das partículas, Proctor, ECD

<sup>11</sup> AG – análise granulométrica

<sup>12</sup> ECS – ensaio de compressão simples

<sup>13</sup> ET – ensaio triaxial

<sup>14</sup> EA – Equivalente de areia

ID3_2020	Pontão Barreiros	Amor	Requalificação de um Pontão.	SPT
ID4_2020	Rua D. José Alves Correia da Silva	Leiria	Arruamentos e Rotunda	SPT, poços e carotes AG, LsC, EA, Proctor, CBR
ID5_2020	Construção da Unidade de Saúde de Parceiros, Azóia e Barosa – Projeto C	Parceiros	Centro de Saúde	DPSH
ID6_2020	Construção da Unidade de Saúde de Amor – Projeto A	Amor	Centro de Saúde	DPSH
ID7_2020	Construção da Unidade de Saúde de Bidoeira – Projeto B	Bidoeira	Centro de Saúde	DPSH
ID8_2020	Caminho Paralelo ao IC2 entre o km 133+373 e o km 133+895, Leiria	Colmeias	Arruamento	DPSH AG, LsC, EA, Proctor, CBR
ID1_2021	Ponte da ribeira Sirol Santa Eufêmia - Leiria	Santa Eufêmia	Ponte	DPSH e SPT
ID2_2021	Reforço Parcial da Rua Acácio Paiva, Contíguo à Casa Dos Pintores	Leiria	Reforço de Fundações	SPT AG; LsC; W, ensaios em águas subterrâneas
ID3_2021	Terreno Destinado à Reabilitação de 6 Pontões na Freguesia de Amor	Amor	Apoio ao projeto de reabilitação de 6 pontões	SPT, W, LsC, AG, ED

Cada ID, correspondente a um relatório geológico-geotécnico, que foi subdividido e numerado, tendo em conta o número de prospeções realizadas. Por exemplo, o relatório ID3\_2021, contempla a realização de cinco sondagens com ensaios SPT, nesse sentido ao ID3\_2021, correspondem cinco pontos com a designação ID3\_2021\_1, até ID3\_2021\_5. Em cada ponto, foram recolhidas dos relatórios todas as informações relevantes dos ensaios, quer de campo, quer de laboratório. Todos os pontos foram localizados e georreferenciados através das coordenadas geográficas: Datum 73, e estes dados foram inseridos numa tabela de Excel, que serviu de base de dados para a implementação no SIG. Os campos com informação recolhida dos ensaios realizados, podem ser consultados na Figura 3-2. No campo “Anexo” (Figura 3-2), será disponibilizado o relatório do estudo geológico geotécnico. É importante ficar referido, que à presente data, a base de dados e SIG, ainda não se encontram disponíveis, encontrando-se em aperfeiçoamento a sua apresentação.

A informação estará disponível a todos os interessados, podendo ser consultada no Site do Município de Leiria.

Codigo_relatorio	Troço ensaiado (m)
Cd_sondagem	cota do ensaio (m)
Localização	Condutividade_hidráulica (K)_(m/s)
Empresa	Litologia
data	Unidade_Geotécnica
Sondagem	Grau de_permeabilidade
cota sup (Z) m	f'_(°)
Coordenada norte	C'_(kPa)
Coordenada este	Equivalente de areia (%)
Fim da sondagem(m)	Prof# (m)
Ensaio SPT	qd (MPa)
Profundidade NF(m)	Resistencia a compressão simples (Mpa)
Cota_Nivel freático (m)	Módulo deformabilidade (Mpa)
Tipo de solo_Amostra	Classificação ISRM, 1981
profundidade da colheita (m)	Descrição amostra
N4	Força de rotura (kn)
N10	Tensão de rotura (MPa)
N40	Cu (Kpa)
N220	f'_(°)1
LL	C'_(kPa)1
IP	e0
Teor em água (%)	s' (Kpa)
Densidade das particulas	cc
AASHTO	peso volumico, g, g/cm3
ASTM	av (m2/N)
Azul de metileno (g/100g)	Cv (m2/s)
Wop_(%)	mv (m2/N)
gdmáx (g/cm3)	K (m/s)
CR (%)	observações
CBR (%)	
Exp# (%)	Anexos:

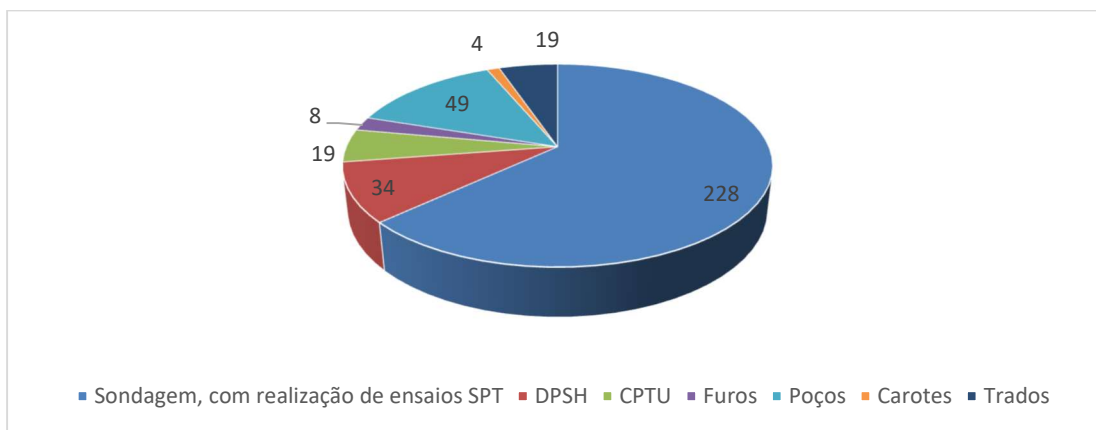
Figura 3-2 – Base de dados associada ao SIG Municipal de Leiria dos Relatórios Geológico-Geotécnicos (SIG, CML).

### 3.3.2 Métodos

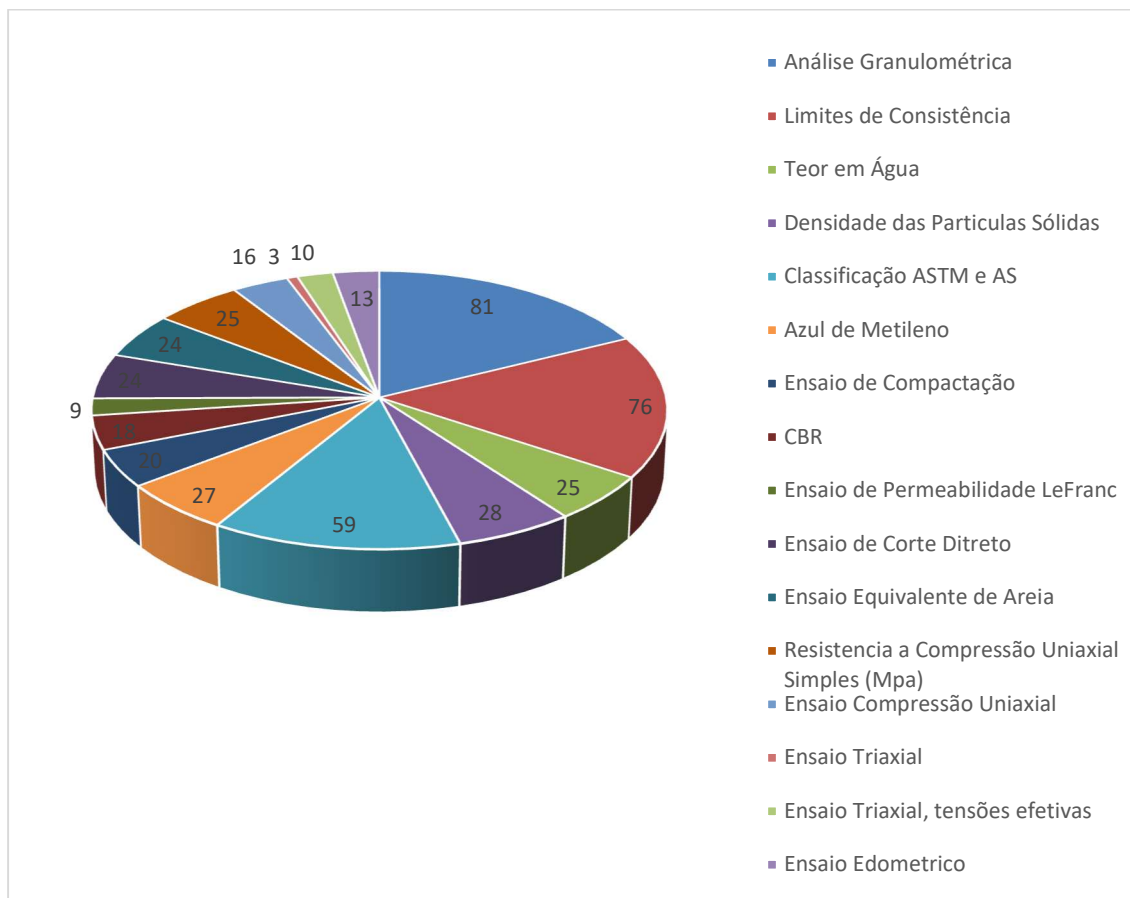
A informação é essencialmente localizada e distribuída em profundidade, permitindo zonamentos geológico-geotécnicos para as áreas em que foram realizados. Dos 43 relatórios geológico-geotécnicos consultados, 22 foram realizados no espaço urbano da cidade de Leiria e 21 no resto do concelho, distribuídos pelas freguesias de Amor, Caranguejeira, Santa Eufémia, Colmeias, Cortes, Parceiros, Marrazes, Bidoeira, Boa Vista, Bajouca, Carvide, Souto da Carpalhosa.

Os relatórios objeto deste estudo, são compostos por investigação de subsuperfície e respetivos métodos de prospeção geotécnica: 228 sondagens com 2009 ensaios SPT, 34

ensaios DPSH, 19 CPTu, 8 furos, 49 poços, 4 carotes e 19 trados. Os ensaios laboratoriais, que permitem identificar e caraterizar o solo de uma forma mais detalhada e em pormenor, e depende da especificidade e complexidade da obra projetada, e do pormenor o projetista. Nas Figuras 3-3 e 3-4, apresentam-se a distribuição quanto ao número total dos ensaios consultados, referente à investigação de subsuperfície e respetivos métodos de prospeção e ensaios laboratoriais, respetivamente.



**Figura 3-3 - Apresentação gráfica da investigação de subsuperfície e respetivos métodos de prospeção geotécnica, consultados no Concelho de Leiria**



**Figura 3-4 – Ensaios laboratoriais consultados no Concelho de Leiria**

Nesta secção é apresentada a distribuição dos relatórios consultados, que foram realizados no Concelho de Leiria, e em cada freguesia. A distribuição da prospeção geológico-geotécnica está representada no mapa da Figura 3-5.

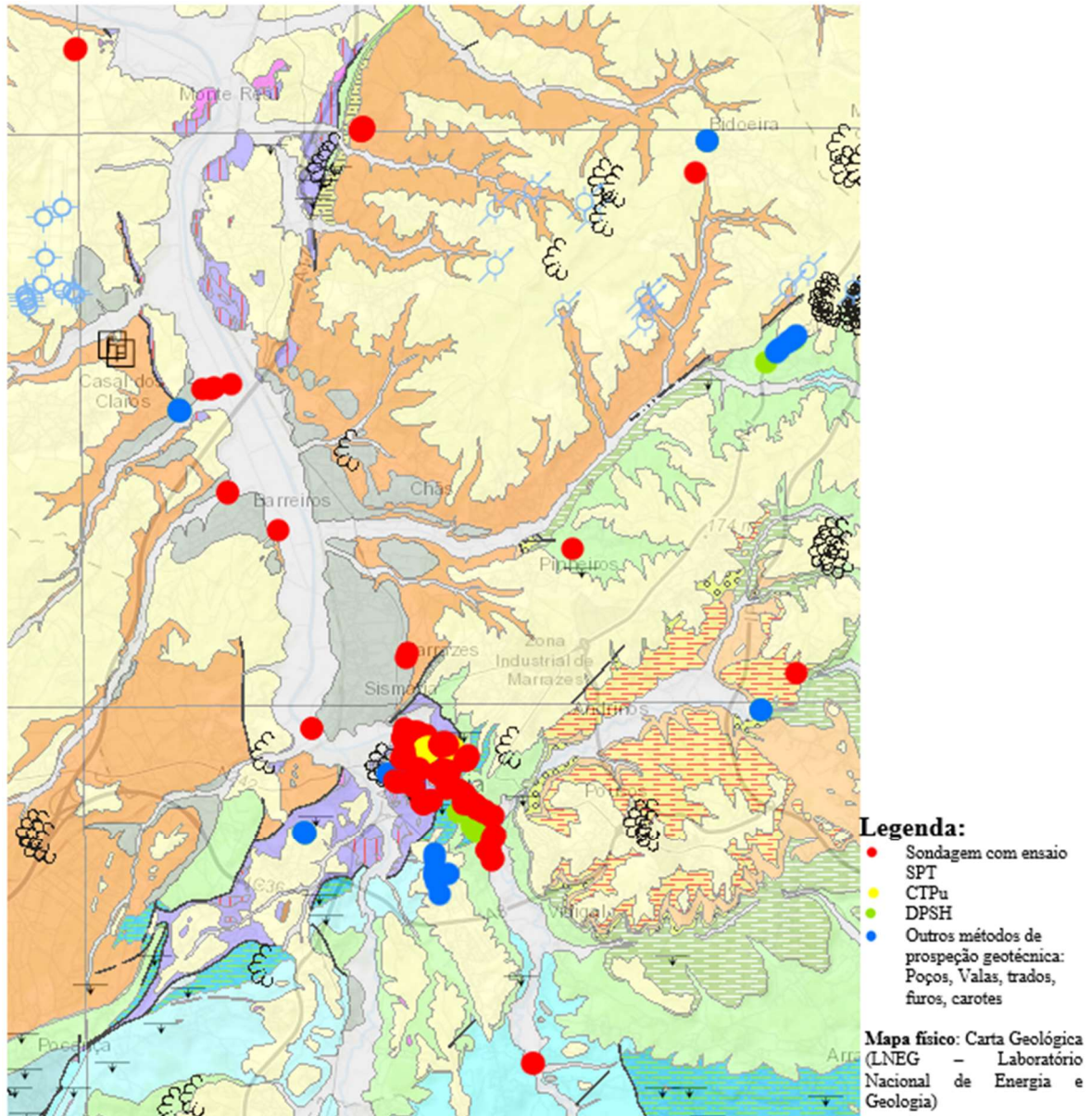


Figura 3-5 – Distribuição georreferenciada prospeção geológico-geotécnica (SIG, CML) sobre a carta geológica da região.

Da consulta do mapa, verifica-se que a maior incidência da prospeção é na cidade de Leiria e arredores. Realizados em terrenos que se encontram enquadrados essencialmente em depósitos modernos aluvionares. Subjacentes a estas, localizam-se as formações com maior capacidade resistente, aconselháveis para solos de fundação.

Tendo em conta a distribuição dos relatórios, ao longo do Concelho, optou-se por efetuar uma distribuição, cujo objetivo é caracterizar as zonas em estudo, por proximidade,

preferencialmente agrupar por freguesias. De seguida, faz-se uma referência aos relatórios geológicos-geotécnicos consultados, iniciando-se com a informação geotécnica com base na carta geológica do local, tipo de ensaios realizados e tipo de obra futura a que se destinam, bem como resultados dos ensaios laboratoriais quando existem.

### **3.4 Relatórios analisados por freguesia**

#### **3.4.1 Freguesia de Amor**

Em Amor, foram consultados três relatórios geológico-geotécnicos (ID3\_2020, ID3\_2021 e ID6\_2020). Os dois destinados ao alargamento de pontões e o último para construção de um edifício destinado ao centro de saúde.

Na Figura 3-6, encontram-se localizados os relatórios geológicos-geotécnicos. Os relatórios ID3\_2020 – Pontão Barreiros e ID3\_2021 - Terreno Destinado à Reabilitação de 6 Pontões, destinam-se à caracterização dos terrenos para alargamento de pontões. A prospeção geotécnica consistiu na realização de sete furos de sondagens com ensaios de SPT, foram colhidas três amostras que permitiram a realização de ensaios laboratoriais, w, LL, LP, análise granulométrica e ensaios edométricos.

Do relatório ID6\_2020, a prospeção geotécnica efetuada consistiu na realização de três poços de prospeção que permitiram a observação direta das litologias abaixo da superfície do terreno até à profundidade de 5,3 m, e três ensaios DPSH.

De acordo com a carta geológica, o local de implantação enquadra-se na formação Moderno, constituída por aluviões e depósitos de fundo de vale, representada na parte superior, por areias e argilas lodosas, e na base, por areias com burgaus, e na formação Pliocénica, constituída pelas formações marinhas de monte Real, representado por areias geralmente finas, argilas, às vezes com conchas e por arenitos argilosos, areias e cascalheiras, com algumas intercalações argilosas e lignitosas. (Teixeira *et al.*, 1968).

Para alargamento dos pontões, foram realizadas sete sondagens com realização de ensaios SPT. A profundidade das sondagens variou entre os 21,40 m os 31,93 m. Do ponto de vista estratigráfico as sondagens descrevem do topo para a base: um horizonte de aterro (de espessura de 2,75m); uma camada de solos arenosos lodosos e areias médias a grosseiras com seixos, de espessura a variar entre 10,00 m e 15,00 m, e na base, uma alternância de argilas e areias argilosas.

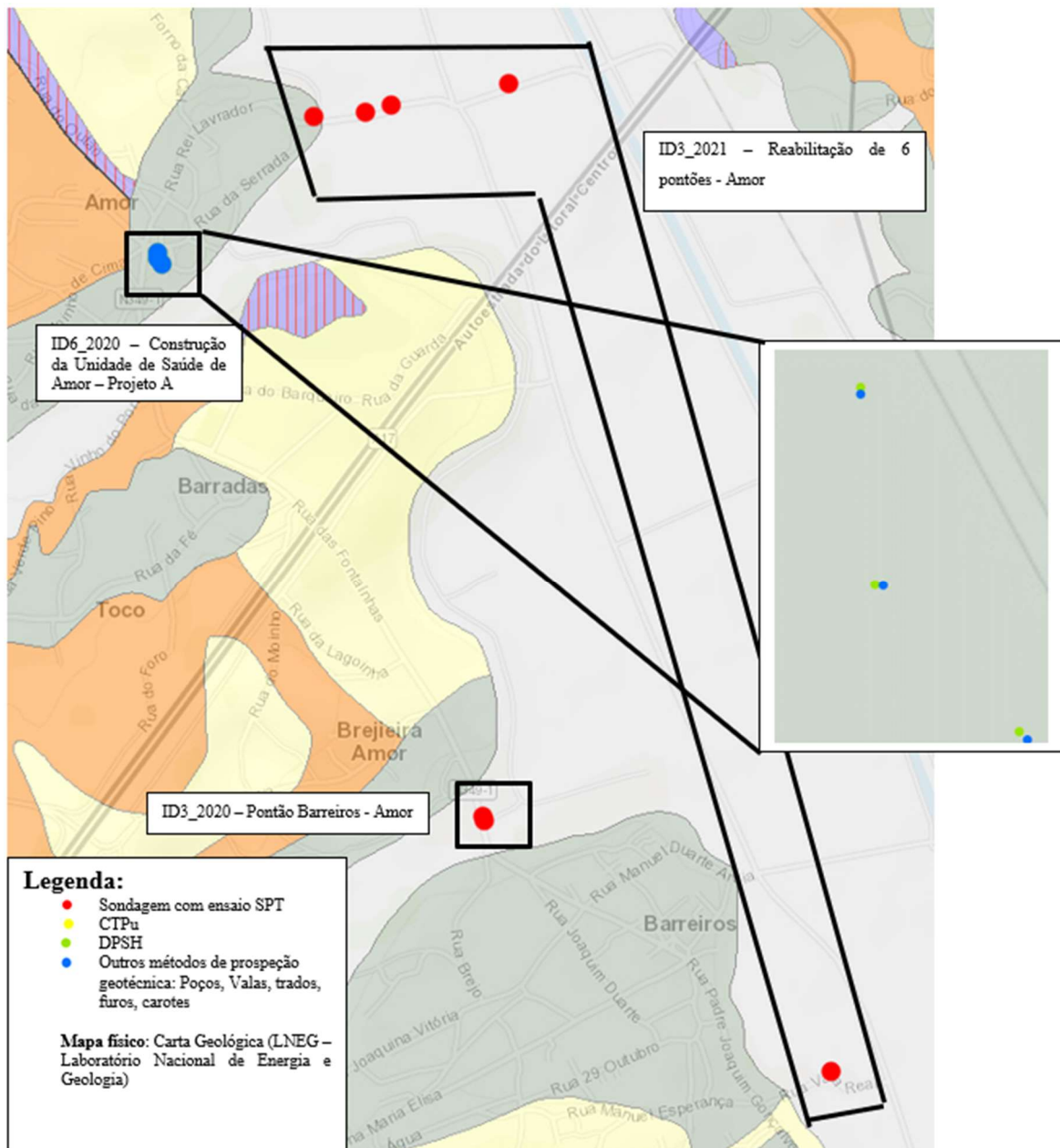


Figura 3-6 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na freguesia de Amor (SIG, CML).

As profundidades dos ensaios DPSH, foram variaram entre os 15,0 m e os 20,4 m. Os ensaios terminaram à profundidade a que foi atingida a nega do ensaio, ou seja, 100 pancadas sem haver cravação de 20 cm, em todos os ensaios.

No Quadro 3-2 apresentam-se os resultados dos ensaios laboratoriais, recolhido do relatório ID3\_2021.

Quadro 3-2 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais no relatório ID3\_2021 (Gealgar,2021)

Sondagem	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica por peneiração				Limites de Consistência (%)		Classificação	
		Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP	AASHTO	ASTM
S3	13,5-14,1	99,8	95,0	63,8	42,0	NP	NP	A-4 (1)	SM
S4	6-6,6	99,9	96,8	79,1	52,2	NP	NP	A-4 (3)	ML
S5	9-9,6	98,4	97,8	81,3	54,0	46	22	A-7-6 (9)	CL

Sondagem	Profundidade da colheita (m)	Peso volúmico, (g/cm <sup>3</sup> )	Ensaio Edométrico			
			a <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /N)	C <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /s)	m <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /N)	K (m/s)
S3	13,5-14,1	1,2	2,73X10 <sup>-8</sup>	8,06X10 <sup>-8</sup>	6,01X10 <sup>-7</sup>	5,11X10 <sup>-10</sup>
S4	6-6,6	2,1	2,45×10 <sup>-7</sup>	1,31×10 <sup>-7</sup>	1,59×10 <sup>-7</sup>	2,11×10 <sup>-10</sup>
S5	9-9,6	1,8	1,16×10 <sup>-8</sup>	4,48×10 <sup>-8</sup>	6,05×10 <sup>-7</sup>	3,15×10 <sup>-10</sup>

Da análise do Quadro 3-2, verifica-se que materiais ensaiados correspondem a solos com uma fração fina a variar entre os 42,0% a 54,0%. Duas das amostras apresentam comportamento não plástico, sendo que a outra, apresenta comportamento plástico, com LL de 46% e IP de 22%. As amostras foram classificadas nos grupos A-4 e A-7-6, segundo a classificação AASHTO, que correspondem a solos com comportamento regular a muito mau para aplicação da parte superior do aterro e camadas de leito de pavimento. No que diz respeito à Classificação Unificada, estamos perante solos do tipo SM (areia siltosa), CL (argila magra), e ML (silte).

Os resultados dos ensaios edométricos mostram solos com praticamente impermeáveis, com o coeficiente de compressibilidade volumétrica,  $m_v$ , entre  $1,59 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{N}$  e  $6,05 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{N}$  e  $C_v$  na ordem dos  $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ . Os valores apresentados permitem perceber a evolução dos assentamentos do terreno, pelos resultados verifica-se que o solo é pouco expansível, caraterístico dos solos ensaiados.

### 3.4.2 Freguesia de Bidoeira

Na Bidoeira, foram consultados três relatórios geológico-geotécnicos. Um realizado com o objetivo de caraterizar o terreno para reabilitação de um arruamento (ID1\_2011) e dois para a construção de edifícios (futuro centro de saúde e a ampliação de uma Escola, ID7\_2020 e ID5\_2016, respetivamente).

Na Figura 3-7, encontram-se localizados os relatórios geológicos-geotécnicos, e respetivas campanhas de prospeção.

Segundo a Carta Geológica de Leiria 23C, os terrenos onde foram realizados os trabalhos inserem-se na unidade do Pliocénico, ou Plio-Plistocénico indiferenciado, constituída, nesta zona, por arenitos argilosos, areias e cascalheiras, com algumas intercalações argilosas e lignitosas, de origem continental (Teixeira *et al.*, 1968).

O relatório ID5\_2016 reporta a realização de uma sondagem, que atingiu os 10,5 m de profundidade, com a execução de sete ensaios SPT.

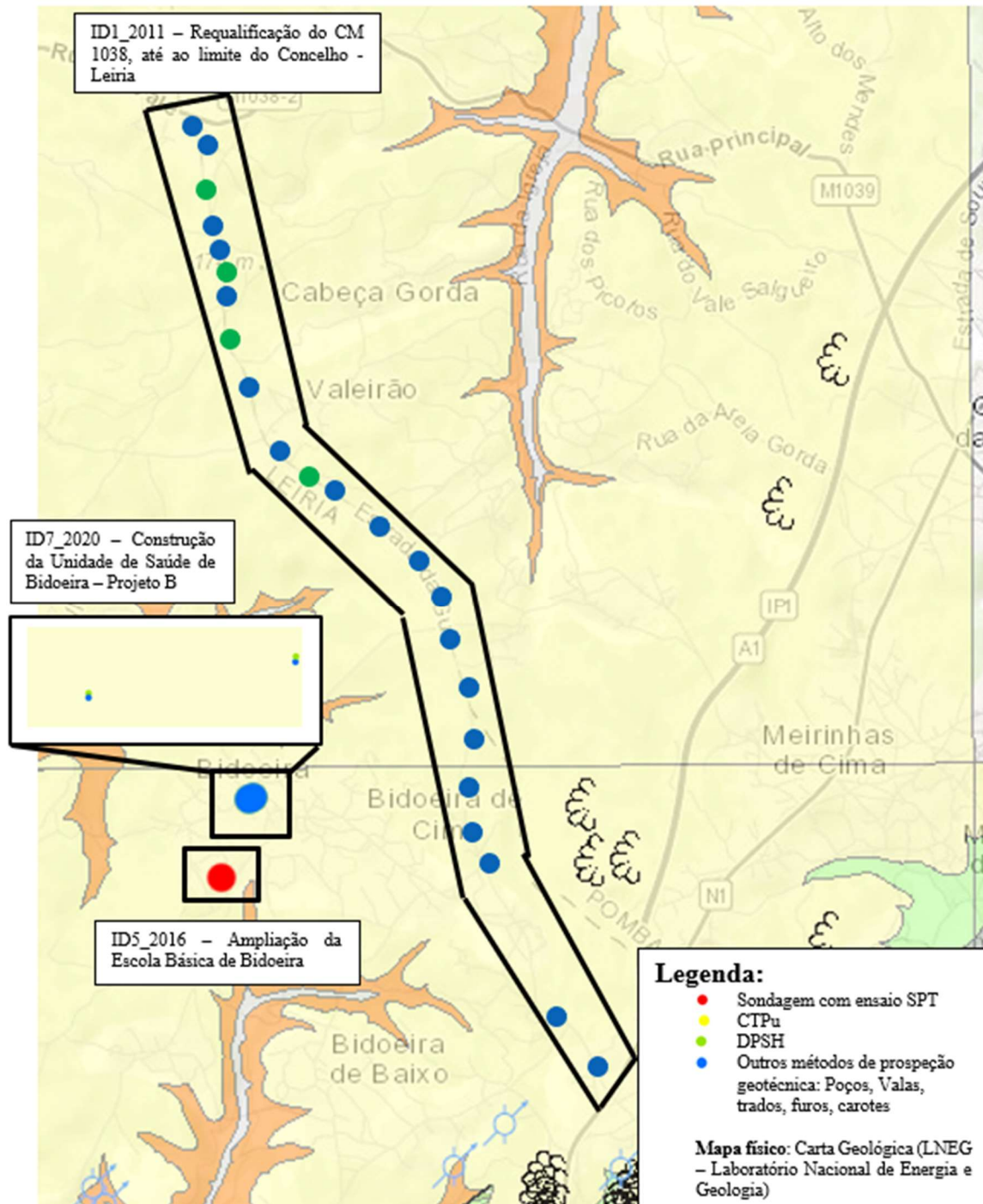


Figura 3-7 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na freguesia de Bidoeira (SIG, CML)

O relatório ID7\_2020 refere a execução de dois poços de prospeção que permitiram a observação direta das litologias até às profundidades de 4,2 m e 2,9 m; dois ensaios DPSH, com profundidades de 12,0 m e 7,2 m.

O relatório ID1\_2011 tem objetivo de análise e definição das condicionantes geológicas e geotécnicas com relevo para a execução do projeto de beneficiação do “CM 1038, até ao limite do Concelho”, numa extensão de 9,0 km. A prospeção geotécnica consistiu na execução de dezanove poços que permitiram a recolha de amostras para ensaios laboratoriais (análise granulométrica, determinação de LL e IP, ensaios de compactação, CBR e EA) e quatro ensaios DPSH de profundidade a variar entre 5,0 m e 7,0 m. As profundidades dos poços variam desde 1,5 m a 2,6 m.

Os resultados dos ensaios laboratoriais do relatório ID1\_2011, são apresentados no Quadro 3-3.

**Quadro 3-3 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas no relatório ID1\_2011 (IPNlabgeo, 2011)**

Sondagem	Tipo de solo/amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica por peneiração húmida				Limites de Consistência (%)		Classificação	
			Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP	AASHTO	ASTM
P2	Pliocénico areia argilo - siltosa	0,9 - 1,6	95,20	75,31	41,59	24,75	20	4	A-1-b (0)	SC-SM
P5	Pliocénico - silte arenoso	0,35 - 1,4	99,21	95,58	84,75	56,81	NP	NP	A-4 (4)	ML
P9	Pliocénico areia argilo - siltosa	0,30 - 1,5	85,50	76,08	55,88	30,70	20	5	A-2-4 (0)	SC-SM
P11	Pliocénico - silte arenoso	1,2 - 1,8	95,37	93,65	85,91	69,24	27	4	A-4 (7)	ML
P14	Pliocénico – areia mal graduada com argila	0,4 - 1,6	91,84	70,31	29,65	12,35	27	7	A-2-4 (0)	SP-SC
P19	Pliocénico - silte arenoso	0,6 - 1,8	93,82	85,42	66,46	53,81	30	2	A-4 (4)	ML

Sondagem	Tipo de solo/amostra	Profundidade da colheita (m)	Compactação		CBR		EA (%)
			Wopt (%)	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Exp. (%)	
P2	Pliocénico areia argilo - siltosa	0,9 - 1,6	6,8	21,02	0	2,258	17
P5	Pliocénico - silte arenoso	0,35 - 1,4					4
P9	Pliocénico areia argilo - siltosa	0,30 - 1,5	8,1	20,12	2	0,44	6
P11	Pliocénico - silte arenoso	1,2 - 1,8	11,9	18,41	0	-0,54	5

P14	Pliocénico – areia mal graduada com argila	0,4 - 1,6					17
P19	Pliocénico - silte arenoso	0,6 - 1,8	8	18,94	0	4,29	3

Pela análise do Quadro 3-3, verifica-se que os solos ensaiados correspondem essencialmente a solos arenoso com fração de finos a variar entre 12,35% a 69,24%. Uma amostras apresenta comportamento não plástico, e as restantes apresentam valores de LL entre, 20% e 30%, e IP a variar entre 2% a 7%.

Quanto à classificação AASHTO, uma amostra foi classificada no grupo A-1-b, duas no grupo A-2-4 e três no grupo A-4. Correspondem a solos com comportamento a variar entre excelente e regular para fins rodoviários. Relativamente à Classificação Unificada, estamos perante solos do tipo SC-SM (areias argilo-siltosas) correspondendo a duas amostras, ML (silte arenoso - três amostras) e SP-SC (areia mal graduada com argila – uma amostra).

Quanto aos ensaios de compactação e CBR verifica-se que o  $W_{opt}$  varia entre 6,8% e 11,9% e  $\gamma_{máx}$  entre 18,41 g/cm<sup>3</sup> e 21,02 g/cm<sup>3</sup>; os valores de CBR variam entre 0% e 2 % e a expansibilidade entre 0% e 4,29 %. O EA variou entre 3,0% e 17,0%. Estes resultados devem ser comparados e utilizados, conforme valores discriminados no Caderno de Encargos das IP – Infraestruturas de Portugal, que estabelecem um conjunto de critérios os quais os materiais têm que obedecer para serem utilizados nos aterros, consoante as zonas do projeto, e até mesmo no pavimento.

### 3.4.3 Freguesia de Bajouca

Na freguesia da Bajouca, foram consultados dois relatórios geológico-geotécnicos, um com o objetivo de caracterizar o terreno para construção de um pavilhão (ID4\_2001) e outro para a ampliação de uma escola (ID4\_2016).

Na Figura 3-8, apresenta-se a localização georreferenciada das campanhas de prospeção e respetivos relatórios.

Os terrenos em estudo enquadram-se no Plio-Plistocénico indiferenciado, constituído na base por areias argilosas e cascalheiras com elementos mal rolados. E no topo por areias com seixos bem rolados. Na parte do meio foram detetados arenitos com intercalações argilosas mais ou menos desenvolvidas (Teixeira *et al.*, 1968).

Nestes relatórios, apenas foram realizadas oito sondagens, com ensaios SPT. A profundidade das sondagens variou dos 7,75 m aos 10,5 m. Na zona destinada ao pavilhão, ID4\_2001, foi detetado aterro com espessura de 3,0 m a 8,0 m e aluvião até 6,0m de espessura, sobre argila com calhau (SOPER, 2001).

Para o estudo do terreno destinado à Ampliação da Escola da Bajouca, ID4\_2016, apenas se realizou uma sondagem a trado oco, que atingiu os 10,5 m de profundidade, com ensaios SPT. Estratigraficamente foram detetadas areias finas e médias a grosseiras com seixos, e entre os 2,3 m e 3,3 m, surge um horizonte argila (Sondagens do Oeste, SA, 2016d).

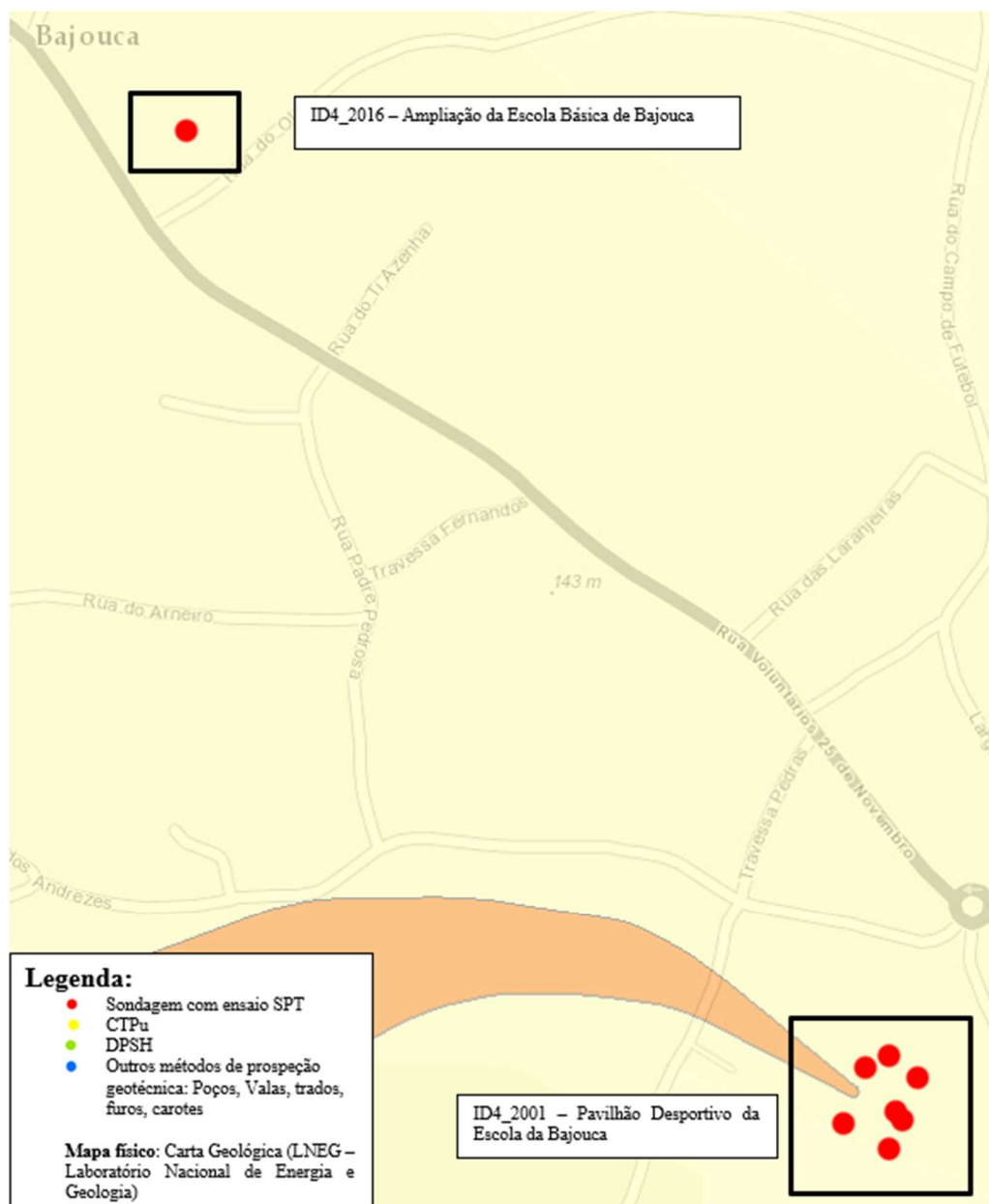


Figura 3-8 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na freguesia de Bajouca (SIG, CML)

### 3.4.4 Freguesia de Caranguejeira

Na freguesia da Caranguejeira foi apenas consultado um relatório destinado ao projeto de construção e beneficiação da “Variante da Caranguejeira – 2ª Fase”, (ID2\_2010), localizada no concelho de Leiria, que se desenvolve numa extensão de cerca de 2,5km.

A localização da campanha e prospeção pode ser consultada na Figura 3-9.

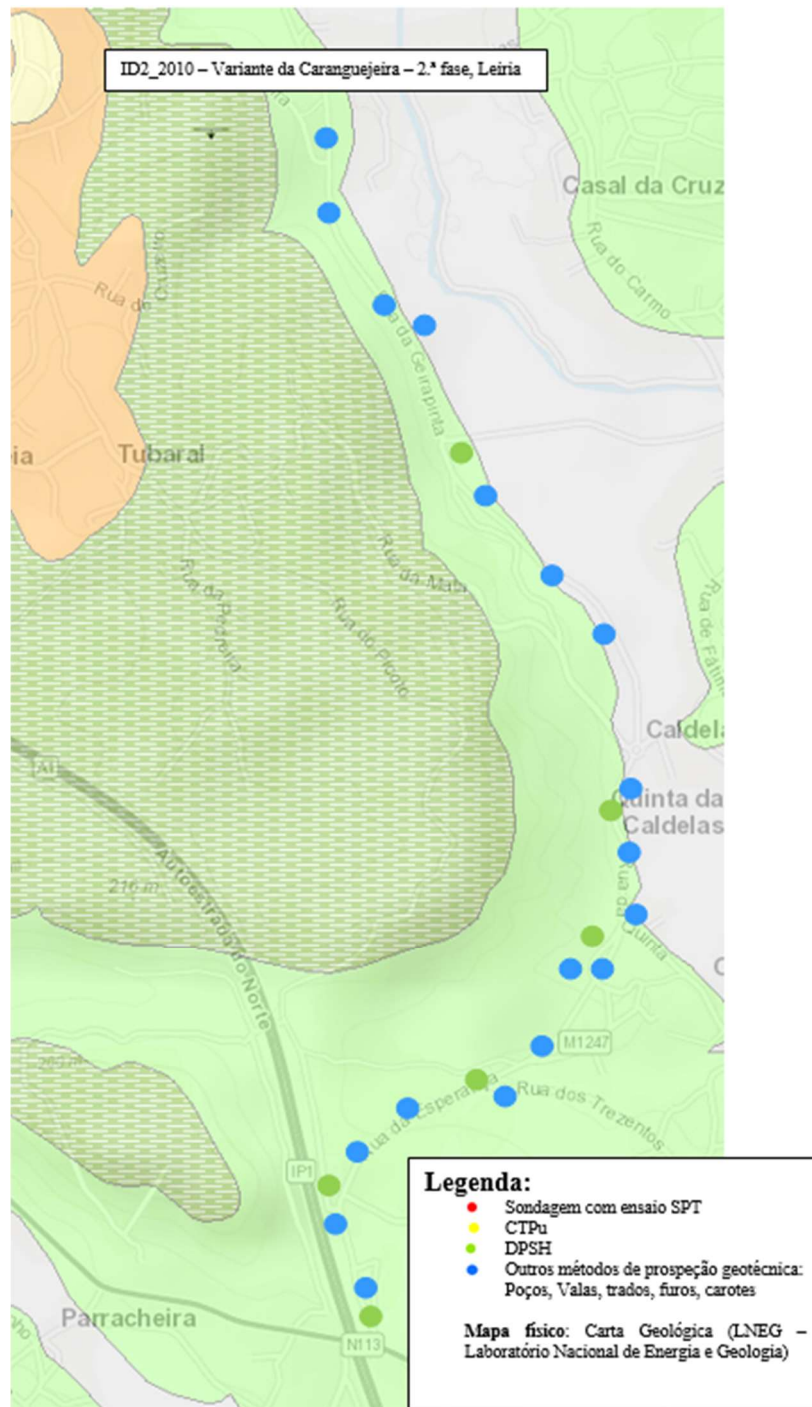


Figura 3-9 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na freguesia de Caranguejeira (SIG, CML)

O terreno em estudo, enquadra-se na totalidade na unidade do Cretácico Inferior, composta genericamente por um complexo litológico formado por conglomerados, arenitos pouco cimentados e grés. A litologia predominante é areia siltosa e areia argilosa (Teixeira *et al.*, 1968).

A prospeção geotécnica especial consistiu na realização de seis ensaios DPSH, cujas profundidades do ensaio variam dos 6,0 m aos 10,6 m. A prospeção geotécnica corrente, consistiu na execução de catorze poços de prospeção, onde se recolheram amostras para ensaios laboratoriais, e na realização de seis trados mecânicos para observação e descrição dos materiais, que atingiram 5m de profundidades, à exceção de dois, que foram aos 1,7 m e 4,0 m. Estes permitiram a identificação das seguintes litologias, aterros (betuminoso, tout-venat e terra vegetal), areia siltosa, areia argilosa, alternância de níveis de areia argilosa e siltosa (IPNlabgeo, 2010b).

Quanto aos ensaios laboratoriais, três amostras foram submetidas apenas a ensaios de identificação (análise granulométrica por peneiração húmida, limites de consistência, azul de metileno e equivalente de areia), e sobre as três restantes, para além dos ensaios de identificação, foram ainda efetuados ensaios de compactação (Proctor modificado) e a determinação do índice de CBR. Os resultados constam no Quadro 3-4.

**Quadro 3-4 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas no relatório ID2\_2010 (IPNlabgeo, 2010b)**

Sondagem	Tipo de solo/amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica por peneiração húmida				Limites de Consistência (%)		Classificação	
			Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP	AASHTO	ASTM
P3	Areia Siltosa Areia argilosa	1,0-2,0	92,25	76,50	25,40	2,35	NP	NP	A-1-b (0)	SW
P6	Colúvio- aluvião - areia bsiltosa	0,5-1,8	92,40	74,27	29,35	1,67	NP	NP	A-1-b (0)	SW
P9	Colúvio - areia mal graduada - areia siltosa	0,6-2,2	90,68	72,06	42,04	5,34	NP	NP	A-1-b (0)	SP-SM
P12	Complexo Conglomerático areno-gresoso - areia siltosa	1,0-2,0	90,44	70,16	27,01	12,54	NP	NP	A-1-b (0)	SM
P15	Complexo Conglomerático areno-gresoso - areia siltosa a areia mal	0,7-1,7	90,90	68,67	18,21	8,68	NP	NP	A-1-b (0)	SM-SC
P18	Complexo Conglomerático areno-gresoso	1,7-2,5	95,70	73,92	55,24	36,66	31	3	A-4 (0)	SM

Sondagem	Tipo de solo/amostra	Profundidade da colheita (m)	Azul de metileno (g/100g)	Compactação		CBR		EA (%)
				Wopt (%)	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Exp. (%)	
P3	Areia Siltosa Areia argilosa	1,0-2,0	0,2					33
P6	Colúvio- aluvião - areia bsiltosa	0,5-1,8	0,3	6,6	20,67	11	-0,29	30
P9	Colúvio - areia mal graduada - areia siltosa	0,6-2,2	0,2	6,5	20,75	30	-0,32	31
P12	Complexo Conglomerático areno-gresoso - areia siltosa	1,0-2,0	0,2					23
P15	Complexo Conglomerático areno-gresoso - areia siltosa a areia mal	0,7-1,7	0,1					36
P18	Complexo Conglomerático areno-gresoso	1,7-2,5	0,5	9,2	18,96	4	1,35	13

Pela análise do quadro, verifica-se que materiais ensaiados correspondem solos arenosos com fração fina a variar entre os 1,67% a 36,66%. Apenas umas das amostras apresenta comportamento plástico, com valor 31% para o LL e 37% para o IP.

Quanto à Classificação AASHTO apenas um dos solos amostrados enquadra-se no grupo A-4, possui comportamento mau para aplicação da parte superior do aterro e camadas de leito de pavimento, e os restantes são solos enquadrados nos grupos A-1-b, possuem bom comportamento para serem aplicados na parte superior do aterro. No que diz respeito à Classificação Unificada, estamos perante solos do tipo SM (areia siltosa) e SP-SM (areia mal graduada com silte).

No que diz respeito aos valores dos ensaios de compactação, o Wopt varia entre 6,5% e 9% e  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  entre 18,96 g/cm<sup>3</sup> e 20,50 g/cm<sup>3</sup>. Os valores do ensaio de CBR variam entre 4% e 30%, com expansibilidade até 1,35 %. O EA variou entre 13 e 36%. Estes resultados devem ser comparados e utilizados, conforme valores discriminados no Caderno de Encargos das IP – Infraestruturas de Portugal, que estabelecem um conjunto de critérios os quais os materiais têm que obedecer para serem utilizados nos aterros, consoante as zonas do projeto, e até mesmo no pavimento.

### 3.4.5 União de Freguesias de Colmeias e Memória

Em Colmeias foi apenas consultado um relatório destinado ao projeto de construção e beneficiação da “Caminho Paralelo ao IC2 entre o km 133+373 e o km 133+895”, ID8\_2020, que se desenvolve numa extensão de cerca de 780m. A localização da prospeção geológico-geotécnica, pode ser verificada na Figura 3-10.

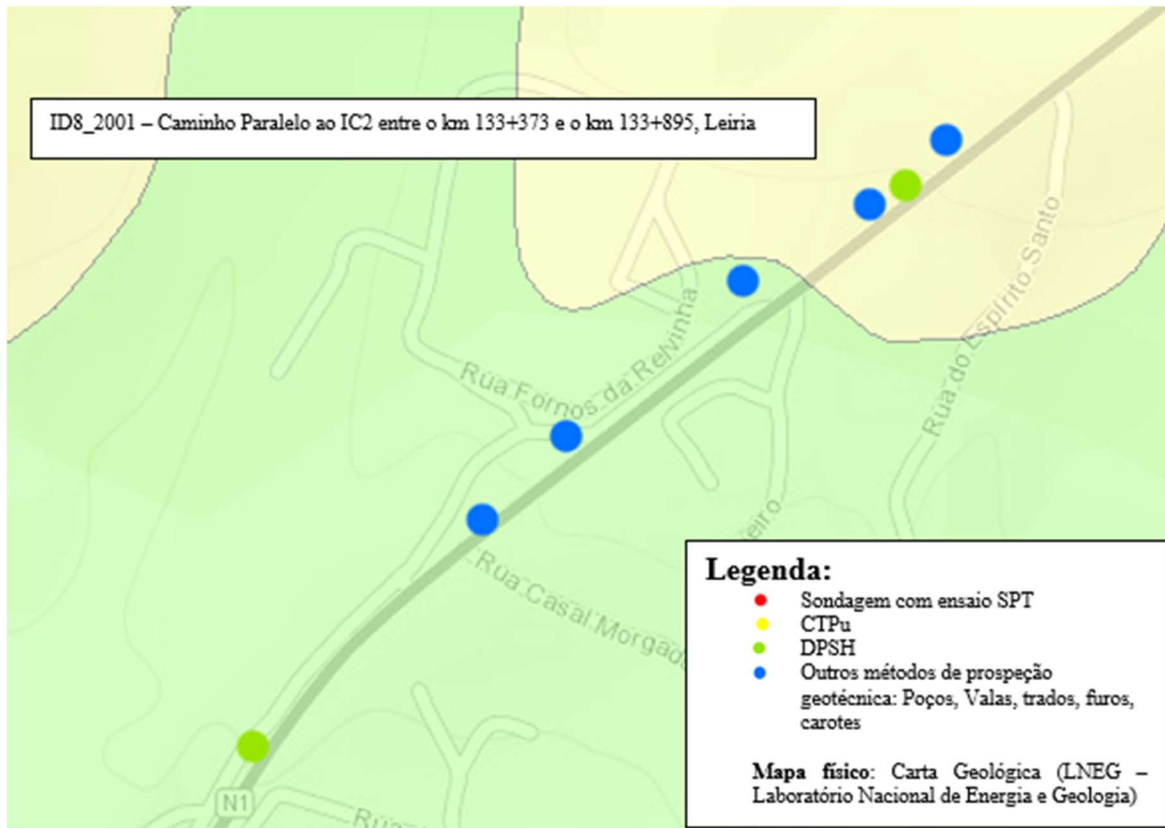


Figura 3-10 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Colmeias e Memória (SIG, CML)

O traçado insere-se em grande parte na unidade do Cretácico Inferior composta genericamente por um complexo litológico formado por conglomerados, arenitos pouco cimentados e grés e na unidade do Pliocénico composta por areias e argilas com intercalações lignitosas e em aluviões do Quaternário (Teixeira *et al.*, 1968).

A prospeção geotécnica especial englobou a execução de dois DPSH, cujas profundidades do ensaio foram aos 10,0 m e outro aos 8,0 m, e a prospeção geotécnica corrente, consistiu na execução de cinco trados mecânicos, com recolha de amostras para ensaios laboratoriais, e para observação e descrição dos materiais, que atingiram profundidades variáveis entre 0,20m e os 4,3m de profundidades, foram identificadas areias siltosas (IPNlabgeo, 2010b).

Quanto aos ensaios laboratoriais, três foram submetidas apenas a ensaios de identificação (análise granulométrica e limites de consistência) e em apenas uma, para além dos ensaios de identificação, foram ainda efetuados ensaios de compactação (Proctor modificado) e a determinação do índice de CBR. Os resultados constam no Quadro 3-5. Todas as amostras foram recolhidas na areia siltosa.

**Quadro 3-5 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas do relatório ID8\_2020 (IPNlabgeo, 2020d)**

Sondagem	Tipo de solo/amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica por peneiração húmida				Limites de Consistência (%)		Classificação	
			Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP	AASHTO	ASTM
T3	Areno-gresoso	0,3-2,0	94,71	90,40	70,28	44,69	17	4	A-4 (2)	SC-SM
T5	Pliocénico - silte	1,0-2,8	97,98	96,05	64,33	32,03	17	4	A-2-4 (0)	SC-SM
T7	Pliocénico - areia siltosa	0,3-2,0	91,14	82,36	77,69	21,57	NP	NP	A-2-4 (0)	SM

Sondagem	Tipo de solo/amostra	Profundidade da colheita (m)	Compactação		CBR	
			Wop (%)	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Exp. (%)
T3	Areno-gresoso	0,3-2,0	8,2	18,85	15	0,03

Pela análise do quadro, verifica-se que materiais ensaiados correspondem essencialmente a areias, com componente de finos a variar entre os 21,57% a 44,69%. Apenas uma das amostras apresenta comportamento não plástico, e as outras duas apresentam comportamento plástico, ambas com valor de 17% para o LL e 4% para o IP.

Quanto à Classificação AASHTO apenas um dos solos amostrados enquadra-se no grupo A-4, possuem comportamento mau para aplicação da parte superior do aterro e camadas de leito de pavimento, e as outras restantes são solos enquadrados nos grupos A-2-4, possuem bom comportamento para serem aplicados na parte superior do aterro. No que diz respeito à Classificação Unificada, estamos perante solos do tipo SC-SM (areia argilosa com silte) e SM (areia siltosa).

Quanto ao ensaio de compactação verifica-se que o  $W_{opt}$  é de 8,2 % e  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  de 18,85 g/cm<sup>3</sup>, o resultado do CBR foi de 15% e expansibilidade de 0,03%. Estes valores devem ser comparados e utilizados, conforme valores discriminados no Caderno de Encargos das IP – Infraestruturas de Portugal, que estabelecem um conjunto de critérios os quais os materiais têm que obedecer para serem utilizados nos aterros, consoante as zonas do projeto, e até mesmo no pavimento.

### 3.4.6 União de Freguesias de Marrazes e Barosa

Em Marrazes, foram consultados dois relatórios geológico-geotécnicos. Um teve como objetivo a caracterização do terreno para construção de um Centro Escolar, ID1\_2016, para definir as condições de fundação, e outro para a remodelação de uma ponte sobre o rio, ID8\_2016. A distribuição da prospeção geológico-geotécnica está representada na Figura 3-11.

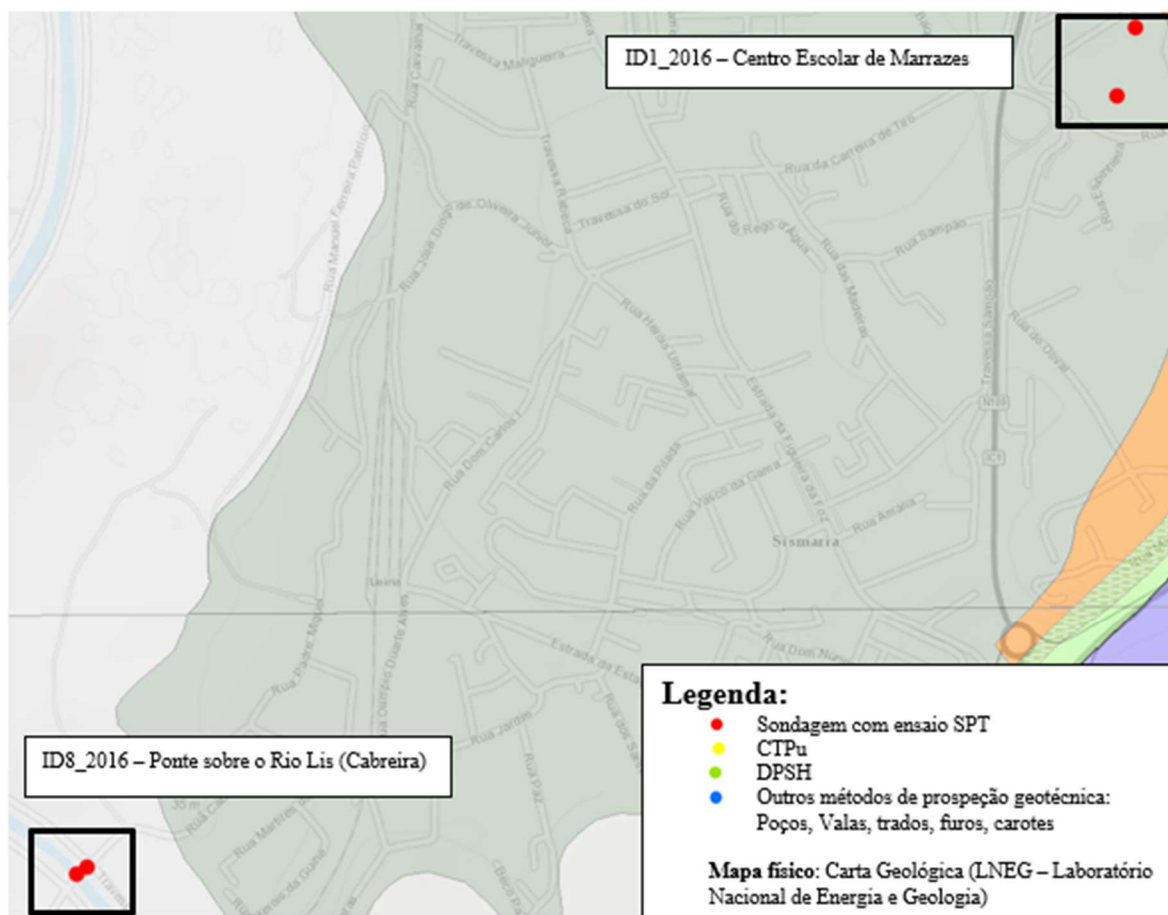


Figura 3-11 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Marrazes e Barosa (SIG, CML)

No local do futuro Centro Escolar, ID1\_2016, o terreno em estudo enquadra-se nos depósitos de praias antigas e de terraços fluviais, pertencentes ao Plistocénico. Estes terraços são constituídos por areias com seixos e por argilas. A granulometria das areias vai de fina a grosseira (Teixeira *et al.*, 1968). No terreno do Centro escolar dos Marrazes, foram identificadas formação constituída por areias com seixos, e o nível freático foi detetado entre os 5,5 m e 6,8 m de profundidade (Sondagens do Oeste SA; 2016a).

No caso da ponte, ID8\_2016, o terreno em estudo é constituído por Aluviões e pelo Miocénico Continental. As aluviões têm uma espessura entre 8 a 10m, são representadas, na

parte superior, por argilas lodosas e, na base, por areias com burgaus. O Miocénico Continental é constituído por arenitos argilosos ou siliciosos, mais ou menos grosseiros. Nas sondagens realizadas foram detetadas as aluviões constituídas por argilas algo lodosas e areias com seixos. Sob estes surge o complexo Miocénico, constituído por areias argilosas, O nível freático foi detetado aos 4m de profundidade (Teixeira *et al.*, 1968 e Sondagens do Oeste, SA; 2016h). Nestas duas campanhas, apenas foram realizadas quatro sondagens, com ensaios SPT.

### 3.4.7 União de Freguesias de Monte Real e Carvide

Em Carvide foi consultado um relatório geológico-geotécnico, para caraterizar o terreno para construção extensão de Saúde de Carvide-Monte Real, ID2\_2016, com o objetivo principal de definir as condições de fundação. A localização da prospeção encontra-se na Figura 3-12.

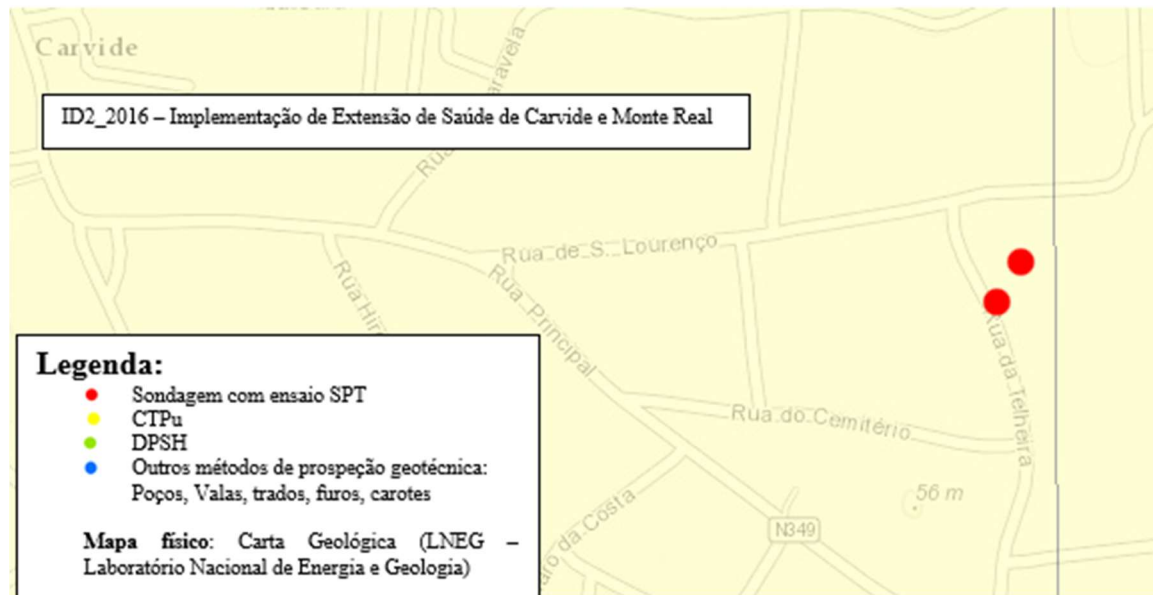


Figura 3-12 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Monte Real e Carvide (SIG, CML)

O terreno em estudo enquadra-se nos depósitos do Plio-Plistocénico indiferenciado. Estes são constituídos por areias, de grão médio a muito fino, com fração siltosa e/ou fração argilosa e por vezes com seixos de dimensão variada disseminados; no seio de horizontes essencialmente arenosos, surgem níveis argilosos com bastante significado em termos de espessura (Teixeira *et al.*, 1968).

As sondagens realizadas revelaram solos arenosos finos, siltosos, por vezes com pequenos seixos dispersos (Sondagens do Oeste, SA; 2016b).

Nesta campanha de ensaio, apenas foram realizadas duas sondagens, com ensaios SPT. A profundidade atingida nas duas sondagens, foi aos 9,0 m, e o nível freático surgiu aos 8,5 m de profundidade (Sondagens do Oeste, SA; 2016b).

### 3.4.8 União de Freguesias de Parceiros e Azoia

Na freguesia dos Parceiros foi consultado um relatório geológico-geotécnico, realizado para caraterizar o terreno para a construção da “Unidade de Saúde de Parceiros, Azóia e Barosa – Projeto C”, em Leiria, ID5\_2020, com o objetivo principal de análise e definição das características geológicas e geotécnicas com relevo para a execução do projeto. Pretende-se, através da interpretação dos trabalhos realizados, avaliar as características e distribuição espacial dos terrenos existentes no local, assim como avaliar a resistência dos terrenos de fundação. A localização da prospeção encontra-se na Figura 3-13.

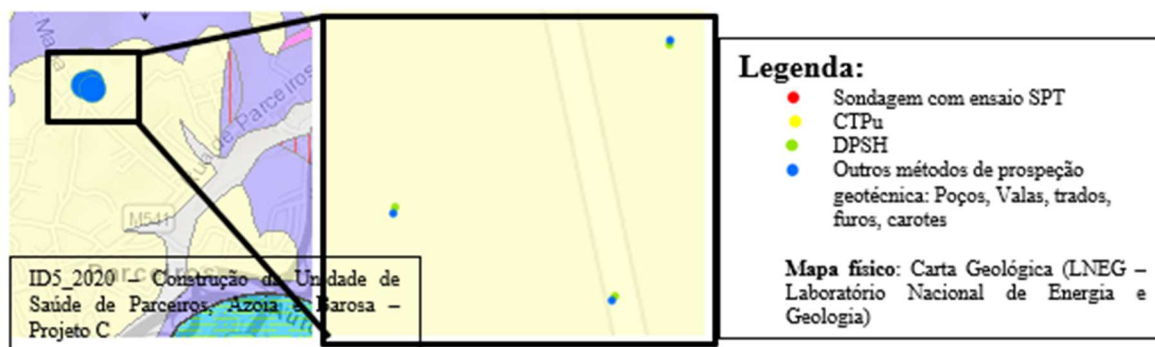


Figura 3-13 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Parceiros e Azoia (SIG, CML)

Verifica-se que no terreno em estudo predominam litologias do Pliocénico, essencialmente areias com seixos e arenitos. O terreno encontra-se coberto por vegetação e não existem afloramentos nos quais seja possível identificar as unidades litológicas. Apenas é possível observar a camada de terra vegetal, de natureza arenosa, com pequenas variações de tonalidade (Teixeira *et al.*, 1968).

Nestes relatórios, apenas foram realizados ensaios de campo, com a realização de três ensaios de DPSH e três poços de prospeção, para observação das litologias, com recurso a trado. Estes últimos permitiram a observação direta das litologias presentes. As profundidades atingidas nos primeiros vão do 1,8 m aos 5,8 m de profundidade, e os trados do 1,8 m aos 5,4 m, consoante as litologias atravessadas. Foram identificadas camada de terra vegetal, com espessura de 0,1 m, sobre solo arenoso de granulometria fina a média, com seixos rolados de quartzo leitoso (IPNlabgeo, 2020c).

### 3.4.9 União de Freguesias de Santa Eufémia e Boa Vista

Em relação à freguesia de Santa Eufémia foram consultados três relatórios geológico-geotécnicos. Dois deles, destinados para caracterizar o terreno para a ampliação de Escolas Básicas, ID6\_2016 e ID7\_2016, com o objetivo principal para definição das condições de fundação das estruturas, e o terceiro destinado à construção de um pontão, para avaliar as características geológicas e geotécnicas com relevo para a execução do projeto de forma a selecionar a tipologia de fundação e proceder ao seu dimensionamento. A distribuição da prospeção geotécnica e relatórios, estão exemplificados na Figura 3-14.

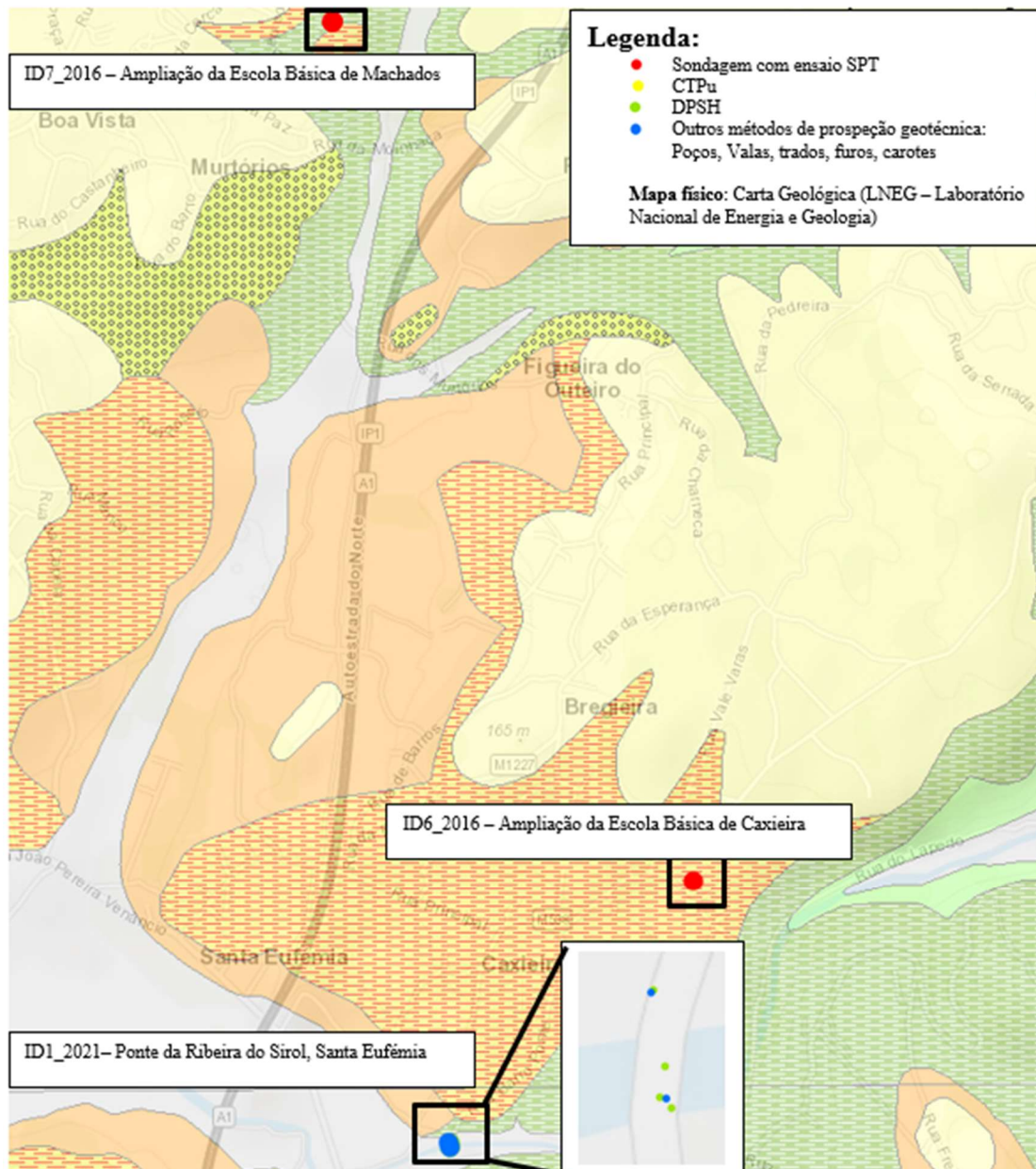


Figura 3-14 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Santa Eufémia e Boa Vista (SIG, CML)

Os terrenos das Escolas, enquadra-se no Pliocénico e no Miocénico. O Pliocénico está representado por dois tipos de afloramentos: Pliocénico marinho e Pliocénico de fácies continental. O primeiro é constituído por areias geralmente finas e por argilas, por vezes com conchas. A fácies continental é representada por arenitos argilosos, areias e cascalheiras, com algumas intercalações argilosas. Sob o Pliocénico, assenta o Miocénico, onde predominam as argilas, as margas com concreções calcárias e os arenitos argilosos (Teixeira *et al.*, 1968).

Os materiais geológicos que ocupam o local do pontão, ID1\_2021, dizem respeito a aterros de cobertura e aluviões que recobrem os calcários apinhoados, calcários subcristalinos e margosos Cretácicos, do Turoniano. No local em estudo surgem superficialmente aterros de materiais granulares com seixos de natureza calcária e matriz fina e pequena espessura. As aluviões apresentam na base uma cascalheira que faz a transição para os calcários apinhoados, calcários subcristalinos e margosos Cretácicos, do Turoniano. Surgem ainda nas imediações do local, materiais conglomeráticos de elementos calcários, brechas e arenitos, do Oligocénico e arenitos, argilas e margas com concreções calcárias, do Miocénico (Teixeira *et al.*, 1968).

A prospeção efetuada no terreno da Escola da Caxieira, ID6\_2016, consistiu apenas numa sondagem que atingiu 10,5 m de profundidade e sete ensaios de SPT. Aos 2,0 m foram detetadas argilas de consistência dura. O nível freático foi detetado aos 6,7 m (Sondagens do Oeste, SA; 2016f).

A campanha de prospeção no terreno da Escola de Machados, ID7\_2016, também consistiu na realização de uma sondagem que atingiu os 9,0 m de profundidade, realizando-se ensaios SPT. A partir dos 5,6 m de profundidade detetou-se areias e siltes pouco a medianamente compactas (Sondagens do Oeste, SA; 2016g).

Para o estudo do pontão sobre a ribeira Sirol (ID1\_2021), foram realizados quatro ensaios de DPSH, e duas sondagens com ensaio SPT para confirmação da litologia do terreno e da resistência à penetração, cujas profundidade foi de 1,5 m e outra de 2,4 m. A profundidade dos ensaios DPSH, variaram dos 2,4 m aos 6,8 m (Instituto Politécnico da Guarda, 2021).

### 3.4.10 União de Freguesias de Souto da Carpalhosa e Ortigosa

Nesta união de freguesias, foi consultado um relatório geológico-geotécnico, destinado para caracterizar o terreno para a execução de um pavilhão desportivo, ID1\_2007. A campanha de prospeção pode ser visualizada na Figura 3-15.

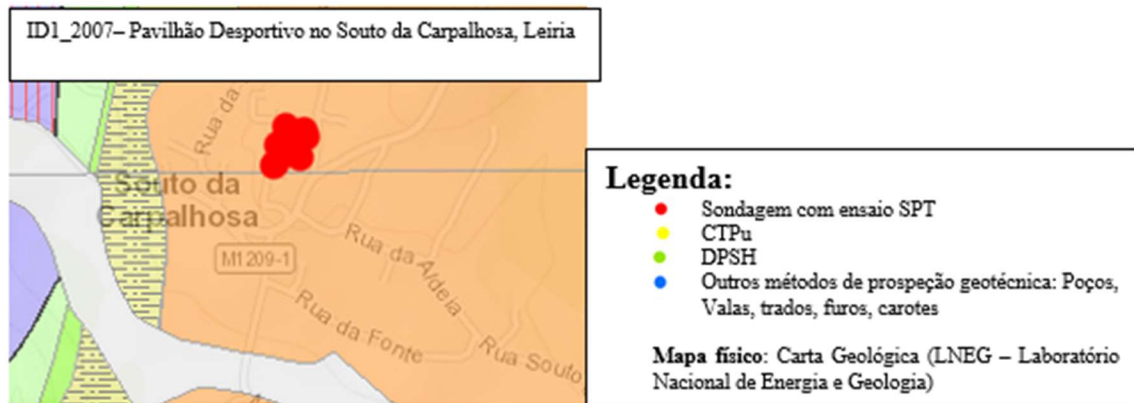


Figura 3-15 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Souto da Carpalhosa e Ortigosa (SIG, CML)

O terreno em estudo enquadra-se em formações Miocénicas, constituídos por níveis argilo-margosos e argilas arenosos e por níveis areníticos e arenosos. Sobreposta a esta formação foram detetadas uma formação constituída por depósitos de aterro, de natureza essencialmente argilo-arenosa (Teixeira *et al.*, 1968).

Apenas foram realizados ensaios de campo, com a realização de nove sondagens, com realização de ensaios SPT. A profundidade atingida, ocorreram entre os 6,0 m e 9,0 m de profundidade, sendo que o nível freático foi detetado em apenas três sondagens, ocorrendo entre os 0,30 m e 3,35 m (Sopecate, 2007).

### 3.4.11 União de Freguesias de Leiria, Pousos, Barreira e Cortes

A maior parte dos relatórios Geotécnicos consultados foram realizados na cidade de Leiria. Só nesta união de freguesias, temos 25 dos 43 relatórios, efetuados desde 1997 a 2021.

Na Figura 3-16, pode-se observar a “mancha” de pontos da prospeção realizada.

A maior parte das campanhas realizadas, incluem investigação de subsuperfície e ensaios laboratoriais para caracterização dos solos. Para melhor leitura da distribuição da prospeção, optou-se por dividir o mapa em zonas próximas, com enquadramento geológico semelhante, e cujas campanhas se destinam a obra com características semelhantes, consideraram-se oito zonas.

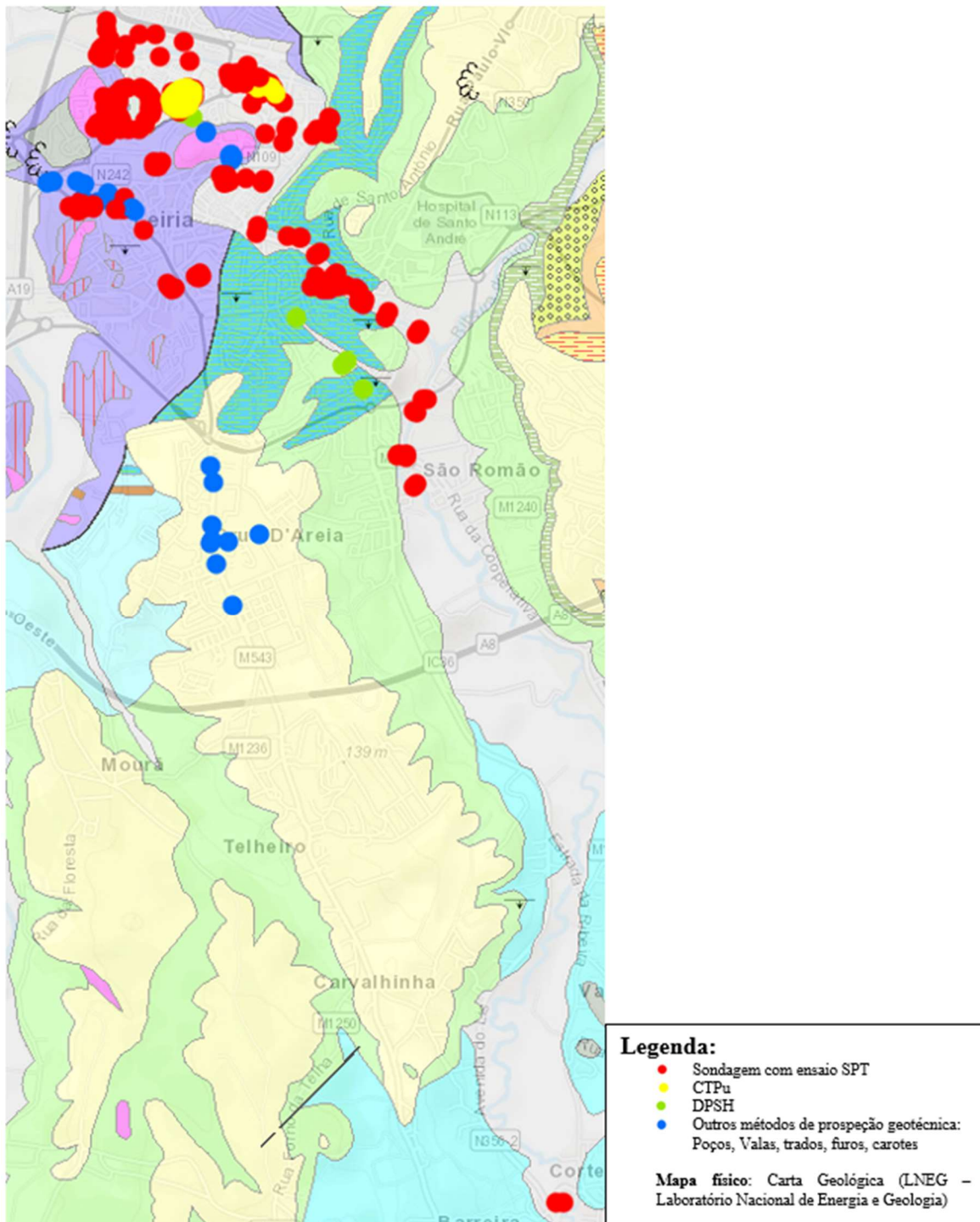


Figura 3-16– Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica na união de freguesias de Leiria, Pousos, Barreira e Cortes (SIG, CML)

- **Primeira zona** - lugar de Cortes, localizado a sul do Concelho de Leiria

Neste local, foram objeto de consulta dois relatórios geológico-geotécnicos realizados para a Implantação da Extensão de Saúde, ID3\_2016 e a construção de um Pavilhão Gimnodesportivo das Cortes, ID1\_1997, cuja distribuição da campanha de prospeção pode ser consultada na Figura 3-17.

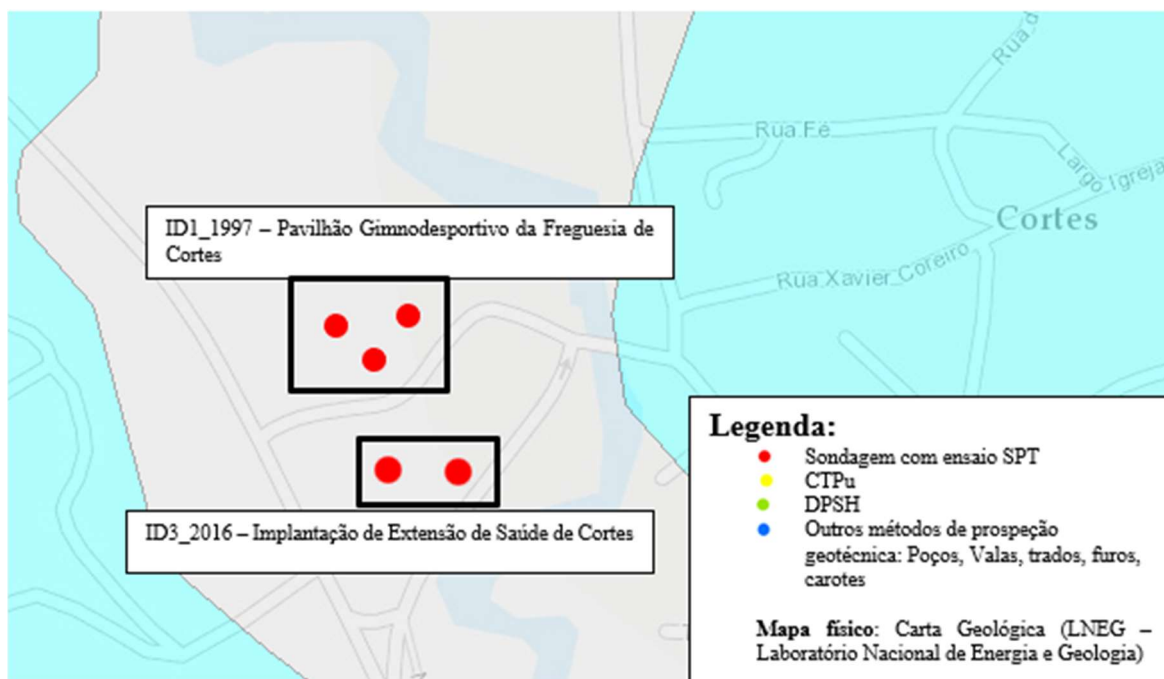


Figura 3-17 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica no lugar de Cortes (SIG, CML)

O local de implantação enquadra-se nos depósitos aluvionares e na formação jurássica, sendo que as primeiras são argilosas e as segundas pertencem ao Jurássico Superior constituído por arenitos argilosos e margosos (Teixeira *et al.*, 1968).

Para a elaboração destes relatórios foram realizadas cinco sondagens, e realização de ensaios SPT. As profundidades das sondagens variaram dos 9,00 m aos 12,44 m, e o nível freático foi detetado entre 2,25 m aos 4,30 m de profundidade. Litologicamente foram identificadas as seguintes formações, no topo, formações mais recentes, constituídas por aterros arenosos com espessura média de 1,5 m, e por depósitos aluvionares (essencialmente argilas), com espessura que variam entre 6,0 m e 7,0 m. As formações do Jurássico constituídas por arenitos finos margosos (Belbetões, 1997 e Sondagens do Oeste, SA, 2016c).

#### - Segunda zona – Centro de Leiria – reabilitação de dois arruamentos

No centro da cidade de Leiria foram consultados dois estudos elaborados para a reabilitação de dois arruamentos. O primeiro estudo, destinado ao projeto do Sistema Viário da Av. Nossa Senhora de Fátima e Av. General Humberto Delgado, ID2\_2017, pretendendo-se no essencial avaliar a resistência de fundação dos terrenos. O outro, realizado mais a sul, destina-se à caracterização da estrutura de pavimento existente da Rua D. José Alves Correia da Silva, ID4\_2020, para verificação das suas condições de fundação, para posterior

reabilitação do pavimento. A Figura 3-18 apresenta a distribuição da campanha geotécnica realizada.

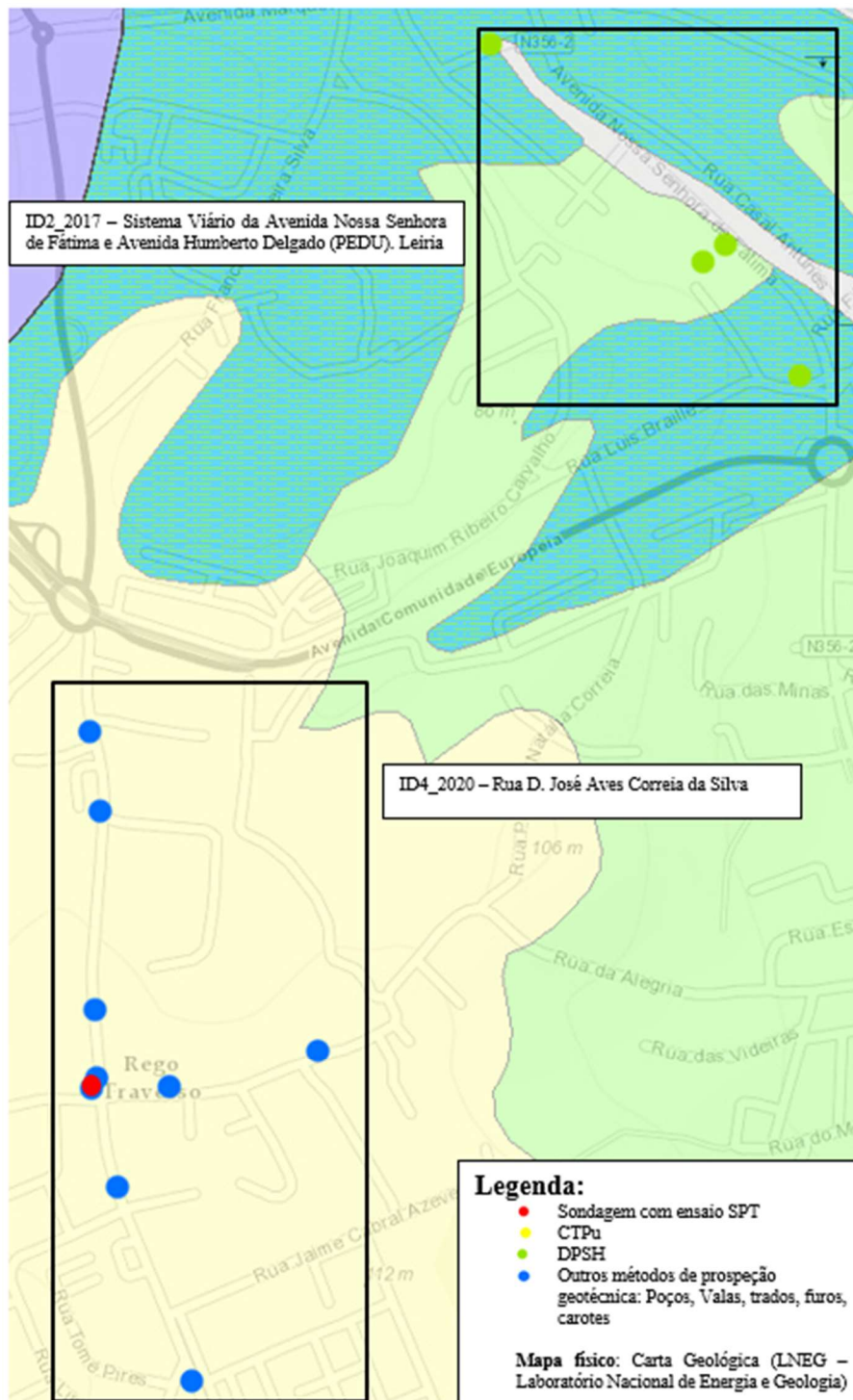


Figura 3-18 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, para reabilitação de dois arruamentos (SIG, CML)

O local da implantação do ID2\_2017, enquadra-se no substrato rochoso da zona analisada e é constituído por arenitos, com algumas intercalações argilosas, do Cretácico inferior e por um complexo calcário margoso, do Lusitaniano inferior (Oxfordiano) (Teixeira *et al.*, 1968).

No caso do ID4\_2020, enquadra-se na formação Pliocénica, representado por areias geralmente finas, argilas, às vezes com conchas e por arenitos argilosos, areias e cascalheiras, com algumas intercalações argilosas e lignitosas (Teixeira *et al.*, 1968).

Os trabalhos de prospeção executados no ID2\_2017, consistiram em quatro ensaios DPSH, cuja profundidade varia dos 0,6 m aos 4,2 m. O reconhecimento geológico foi realizado com base na cartografia e do reconhecimento de superfície, onde foram detetados materiais de aterro, constituído essencialmente por solo arenoso, de granulometria média a fina (IPNlabgeo, 2017).

A prospeção geotécnica realizada no ID4\_2020, compreendeu a realização de uma sondagem à rotação com ensaios SPT, quatro poços (para aferição das diferentes camadas constituintes do pavimento) e quatro carotes (para avaliação adicional das espessuras das camadas betuminosas). Os poços, revelam a presença do solo de fundação do pavimento entre as profundidades 0,35 m e 0,80 m, sendo constituído por solos essencialmente arenoso com a presença de algum material fino (siltoso ou argiloso), apenas num dos poços foi detetado a presença de algum cascalho. Os carotes revelam que as espessuras da camada betuminosa na estrada principal apresentam valor médio de 13,5 cm, enquanto o carote realizado na rua transversal, apresenta valor de 9,0 cm para espessura das camadas betuminosas. (Sondagens do Oeste, SA; 2020d).

Quanto aos ensaios de laboratório, estes foram realizados em amostras recolhidas dos poços, e consistiram na análise granulométrica, limites de consistência, equivalente de areia, ensaio de compactação e ensaio CBR.

O ensaio de sondagem, atingiu a profundidade dos 9,0 m e o nível freático foi detetado aos 4,5 m de profundidade. A sondagem revelou uma camada de areia com seixos de espessura 2,5 m, a que se sobrepõem à camada de siltes com areia (Sondagens do Oeste, SA; 2020d).

No Quadro 3-6, apresenta-se resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais dos solos de fundação, do relatório consultado.

**Quadro 3-6 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas do relatório ID4\_2020 (Sondagens do Oeste, SA, 2020d)**

Sondagem	Tipo de solo/amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica por peneiração húmida				Limites de Consistência (%)		Classificação	
			Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP	AASHTO	ASTM
P1	Pliocénico: areias,		80,2	71,2	55,2	21,9	NP	NP	A-2-4 (0)	SM
P2	argilas,	0,7	98,1	94,8	65,3	25,6	NP	NP	A-2-4 (0)	SM
P3	arenitos argilosos, areias e cascalheiras,	0,7	97,1	94,5	70,7	15,4	NP	NP	A-2-4 (0)	SM
P4	com algumas intercalações argilosas e lignitosas.	0,7	95,5	92,8	33,5	15,3	NP	NP	A-1-b (0)	SM

Sondagem	Tipo de solo/amostra	Profundidade da colheita (m)	Compactação		CBR	EA (%)
			Wopt (%)	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	
P1	Pliocénico: areias,	0,7	8,8	2,09	5	17
P2	argilas,	0,7				20
P3	arenitos argilosos, areias e cascalheiras,	0,7	10,6	1,94	9	22
P4	com algumas intercalações argilosas e lignitosas.	0,7	9,4	2,02	11	24

Da análise do quadro anterior, verifica-se que os materiais ensaiados correspondem essencialmente a areias, com componente de finos a variar entre os 15,3% a 25,6%. São amostras com comportamento não plástico.

Quanto à Classificação AASHTO, apenas um dos solos amostrados enquadra-se no grupo A-1-b, os restantes enquadram-se no grupo A-2-4, solos que possuem bom comportamento para serem aplicados na parte superior do aterro. No que diz respeito à Classificação Unificada, estamos perante solos do tipo SM (areia siltosa).

No que diz respeito aos valores dos ensaios de compactação, o Wopt varia entre 8,8% e 10,6% e  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  entre 1,94 g/cm<sup>3</sup> e 2,09 g/cm<sup>3</sup>. Os valores do ensaio de CBR variam entre 5% e 11. O EA variou entre 17% e 24%. Estes resultados devem ser comparados e utilizados, conforme valores discriminados no Caderno de Encargos das IP – Infraestruturas de Portugal, que estabelecem um conjunto de critérios os quais os materiais têm que obedecer para serem utilizados nos aterros, consoante as zonas do projeto, e até mesmo no pavimento.

- **Terceira zona** – ao longo do rio lis, entre Pousos e Leiria para execução de pontes e de reformulação de outras existentes.

Aquando do programa PolisLeiria<sup>15</sup>, ID1\_2002 – Pontes Polis foram à data, realizados uma companhia de sondagens ao longo das margens do rio, com execução de ensaios SPT, com vista à definição das características geológico-geotécnicas dos terrenos ocorrentes. Em 2018, foi intenção a construção de uma outra ponte pedonal, cujo estudo, poe ser consultado em ID1\_2018 – Construção da Ponte Pedonal, Leiria. A distribuição da campanha geológico-geotécnica pode ser consultada na Figura 3-19.

Os terrenos que foram objeto de estudo, ID1\_2002, enquadram-se em formações de Aluviões, constituídas por argilas, areias, seixos, (espessura variável entre os 0,5 m e 9.0 m) que se sobrepõem aos terrenos do Cretácico, constituídas por argilas, siltes, areias, arenitos e argilitos (espessura entre 1,0 e 24,0 m). Os terrenos do Jurássico, são caracterizadas por duas formações diferentes: às denominadas Camadas de Montejunto e Cabaços (mais a sul) e, ao *Diapiro de Leiria* (parte mais a norte), as primeiras são constituídas por calcários margosos e margas e as segundas por argilas e argilas margosas, por vezes com veios e massas de gesso dispersas (Teixeira *et al.*, 1968 e Tecnasol FGE, 2002).

O terreno em estudo, do ID1\_2018, situa-se sobre aluviões e depósitos de fundo de vale. São representadas, na parte superior, por argilas lodosas, até profundidade 3,5 m, e na base, por areias com burgaus, surgem entre as profundidades 3,25 m e 6,0 m. Sob estas assenta a formação jurássica hetangiana-raciana, formada por calcários mais ou menos dolomíticos e margas com gesso, surgem a partir dos 5,5 m de profundidade (Teixeira *et al.*, 1968 e Gabinete de Serviços Geotécnicos, Lda; 2018).

---

<sup>15</sup> Programa PolisLeiria teve como objetivo a requalificação e valorização do rio Lis, visando essencialmente a articulação do espaço urbano com o rio, através da criação de uma estrutura verde contínua que incluía percursos ciclo/pedonais nas suas margens, com a integração paisagística e na implementação de espaços de estadia e de equipamentos de recreio e lazer junto ao rio. Este projeto iniciado em 2000, e os trabalhos foram concluídos em 2007.

Foram executadas trinta e cinco sondagens cujas profundidades variam dos 8,0 m aos 32,6 m, com execução de ensaios SPT. O nível freático está relacionado com o nível de água do rio Lis.

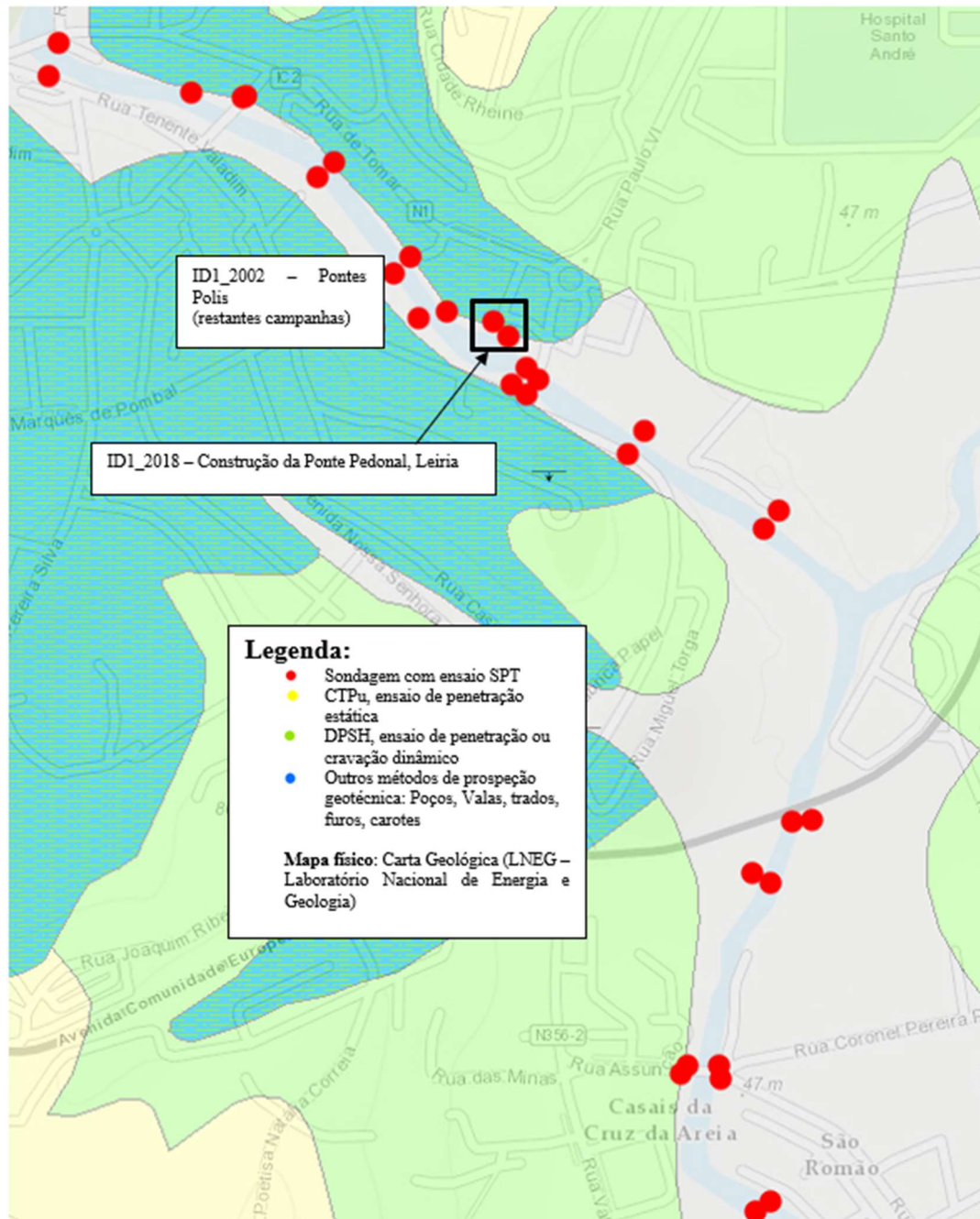


Figura 3-19 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, para reabilitação de pontes (SIG, CML)

- **Quarta Zona** – na envolvente ao Edifício dos Paços do Concelho, onde foram consultados quatro estudos. A distribuição dos estudos e prospeção geológica do local, pode ser consultada na Figura 3-20.

O primeiro estudo, realizado em 1999, ID1\_1999 – Logradouro do Edifício dos Paços do Concelho, Leiria, destinou-se ao estudo das características dos terrenos ocorrentes no logradouro do edifício dos Paços do Concelho, onde se pretendia construir um edifício com dois pisos e duas caves para estacionamento. Dois estudos, ID1\_2010 – Variante dos Capuchos e Via Distribuidora Local, Leiria e ID1\_2015 – Variante dos Capuchos e Via Distribuidora Local, Leiria, foram destinados à execução da Variante dos Capuchos, e o último, ID1\_2019 – Requalificação/ Reabilitação do Edifício Villa Portela, Leiria.

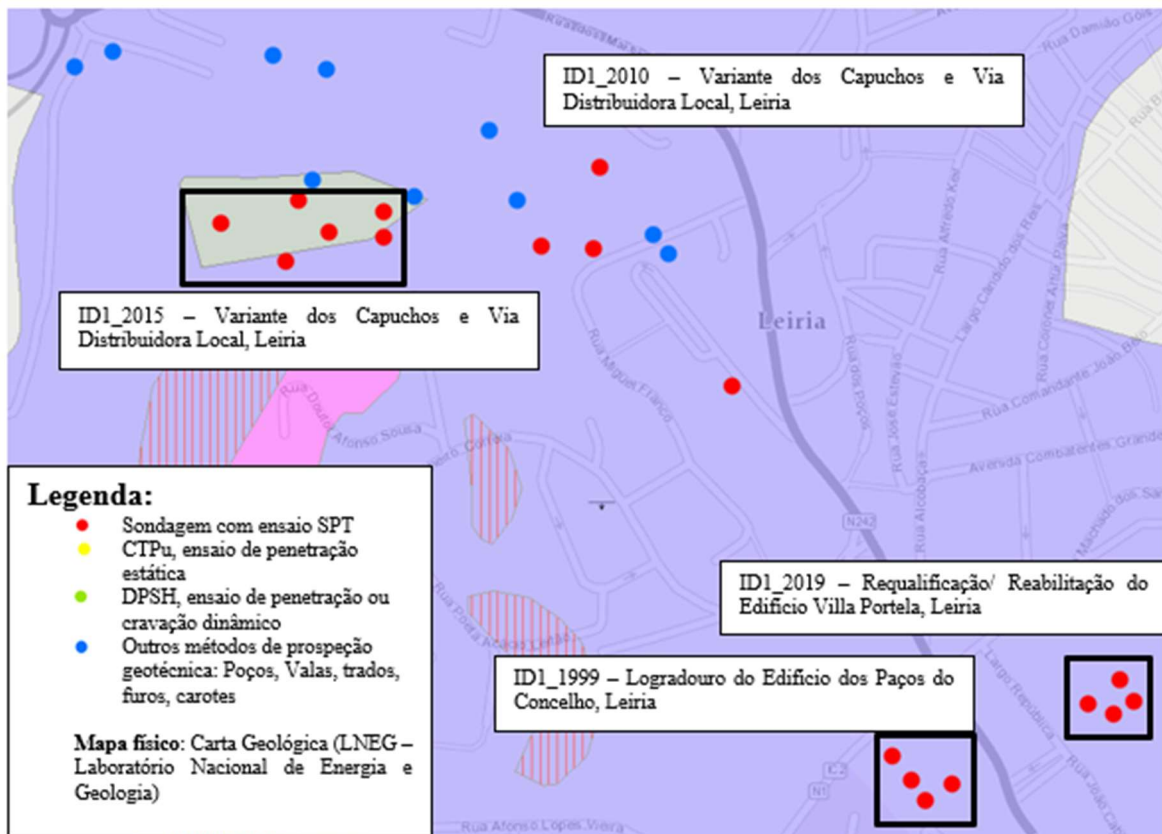


Figura 3-20 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, na zona envolvente ao Edifício dos Paços do Concelho (SIG, CML)

Os terrenos em estudo enquadram-se no atual e recente, correspondendo a aterros argilosos, subjacente à formação Jurássica, constituídas por argilas e argilas margosas, calcários mais ou menos dolomíticos e margas com gesso, designada por Margas da Dagorda (Teixeira *et al.*, 1968).

Nos quatro estudos foram realizadas sondagens com a realização de ensaios SPT, cuja profundidade vai dos 9,0 m aos 34,5 m, o nível freático foi detetado à profundidade que varia entre os 0,1 m e os 25,2 m.

No ID1\_2010, a prospeção geotécnica corrente, constou na execução de doze poços, para identificação da litologia e da recolha de amostras para a realização de ensaios de laboratório. As dimensões dos poços variam dos 3,0 m de comprimento por 0,8 m de largura e profundidades dos 2,6 m aos 6,0 m, onde foram identificadas argilas, areia siltosa, marga calcária. A prospeção geotécnica especial consistiu na realização de quatro sondagens com a realização de ensaios SPT e de quatro ensaios DPSH. A profundidade dos ensaios DPSH, variam entre 1,8 m e 17,2 m, e na realização de ensaios SPT. Foram identificadas as seguintes litologias: aterro/ terra vegetal, argila siltosa argila, marga calcária. (IPNlabgeo, 2010a).

Estas litologias foram confirmadas pela realização do relatório ID1\_2015, estratigraficamente constituída por terra vegetal e aterro, de espessuras a variar entre zona superficial e 1,4 m, a formação Jurássica (Complexo das Margas da Dagorda), constituídas por argilas e argilas margosas, com espessuras entre 0,5 m e 18,0 m, e por vezes por fragmentos de calcário e calcários e por rochas eruptivas (Tecnasol FGE, 2015).

Do relatório ID1\_1999, verifica-se que do ponto de vista estratigráfico, as camadas do topo para a base, são constituídas por aterros com espessura variável dos 3,5 m aos 5,0 m, que se sobrepõem às camadas do Jurássico, formadas por argilas margosas, que surgem entre 11,0 m e os 13,0 m de profundidade e às argilas mais ou menos margosas muito rijas (Teixeira Duarte, SA; 1999).

Nas sondagens consultadas do relatório ID1\_2019, (profundidade máxima dos 6,0 m aos 13,5 m), foi detetado formação jurássica, constituída essencialmente por argilas calcárias (Sondagens do Oeste, SA; 2019).

No Quadro 3-7, apresenta-se resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais do relatório consultado, ID1\_2010.

Pela análise do quadro, verifica-se que materiais ensaiados correspondem essencialmente a margas e areias siltsosas, com fração fina a variar entre os 14,11% a 95,45%. São amostras com comportamento plástico, com LL a variar entre 15% e 36% e o IP entre 1% e 14%.

Quanto à Classificação AASHTO, apenas um dos solos amostrados se enquadra no grupo A-2-4, possuem bom comportamento para serem aplicados na parte superior do aterro, e nos grupos A-4 e A-6, solos cujo comportamento é sofrível a mau para aplicação na parte superior do aterro e leito do pavimento. No que diz respeito à Classificação Unificada,

estamos perante solos do tipo SM (areia siltosa) CL-ML (argilo silto-arenosa), CL (argila magra) e SC-SM (areia argilosa com silte).

**Quadro 3-7 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas no relatório ID1\_2010 (IPNlabgeo, 2010a)**

Sondagem	Tipo de solo/amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica por peneiração húmida				Limites de Consistência (%)		Classificação	
			Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP	AASHTO	ASTM
P1	Margas (argila)	1,5-2,5	99,92	99,5	97,62	90,45	36	14	A-6 (10)	CL
P3	Areia siltosa	1,5-1,8	82,65	62,35	46,08	25,54	25	5	A-2-4 (0)	SC-SM
P5	Margas (argila)	1,5-2,5	98,73	95,96	91,02	72,99	30	8	A-4 (8)	CL
P9	Dolerito alterado	0,8-1,8	79,09	56,22	34,47	19,92	32	7	A-2-4 (0)	SM
P10	Margas (argila)	0,6-1,6	98,10	94,72	91,28	61,25	24	6	A-4 (5)	CL-ML
P11	Areia siltosa	1,7-2,5	99,71	97,51	88,41	14,11	15	1	A-2-4 (0)	SM

Sondagem	Tipo de solo/amostra	Profundidade da colheita (m)	Azul de metileno (g/100g)	Compactação		CBR		EA (%)
				Wopt (%)	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Exp. (%)	
P1	Margas (argila)	1,5-2,5	4,4	11,10	17,60	0	5,04	4
P3	Areia siltosa	1,5-1,8	0,6					5
P5	Margas (argila)	1,5-2,5	0,7	13,50	17,05	0	4,53	4
P9	Dolerito alterado	0,8-1,8	0,6					26
P10	Margas (argila)	0,6-1,6	0,9	13,00	18,05	1	1,46	1
P11	Areia siltosa	1,7-2,5	0,2					12

No que diz respeito aos valores dos ensaios de compactação, o  $W_{opt}$  varia entre 11,1% e 13,0% e  $\gamma_{dm\acute{a}x}$  entre 17,05 g/cm<sup>3</sup> e 18,05 g/cm<sup>3</sup>. Os valores do ensaio de CBR variam entre 0% e 1%, com expansibilidade a variar de 1,46% a 5,04%. O EA variou entre 1% a 26%. Estes resultados devem ser comparados e utilizados, conforme valores discriminados no Caderno de Encargos das IP – Infraestruturas de Portugal, que estabelecem um conjunto de critérios os quais os materiais têm que obedecer para serem utilizados nos aterros, consoante as zonas do projeto, e até mesmo no pavimento.

- **Quinta Zona** - destinada à construção de três parques de estacionamento subterrâneos, cujas designações e distribuição podem ser consultadas na Figura 3-21.

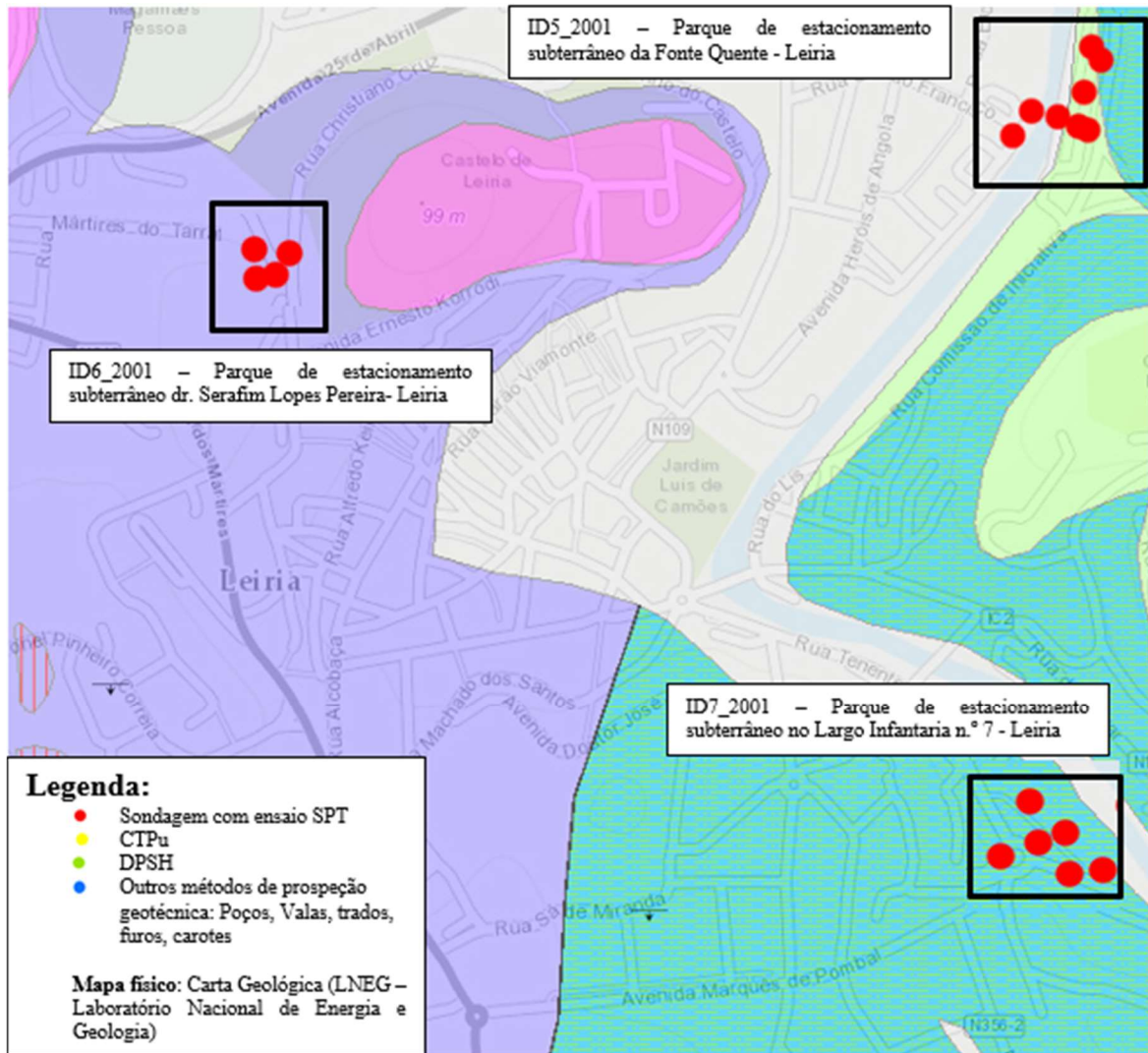


Figura 3-21– Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, na zona destinada à construção de três parques subterrâneos (SIG, CML)

Os terrenos do ID5\_2001 e do ID7\_2001, enquadram-se em formações Aluvionares, pertencentes ao rio Lis, constituídas por areias por vezes argilosas, argilas por vezes com seixos e calhaus rolados, argilas silteosas, siltes, areias silteosas, lodosas, por vezes com seixos e cascalheiras, de espessura de 11,0 m. Que se sobrepõem às formações jurássico (Hetangiano-Retiniano), constituídas por argilas e argilas margosas, margas com gesso, brechas carbonatadas, calcários, de espessura variável entre 2,0 m e 7,5 m, e calcários margosos, surgem a partir dos 5,0 m (Tecnasol FGE, 2001d e Tecnasol FGE, 2001f).

Os terrenos em estudo no ID6\_2001, situam-se sobre uma formação do Hetangiano-Retiano, pertencentes ao *Diapiro de Leiria*, caracterizada, na zona prospetada por argilas e argilas margosas e margas com gesso (Teixeira *et al.*, 1968).

Foram executadas quinze sondagens, com execução de ensaios SPT, cujas profundidades variam dos 7,50 m aos 20,85 m, o nível freático não foi determinado em todas as sondagens, sendo que varia entre 1,63 m e os 7,65 m de profundidade. Foram detetados aterros com espessura de 5,5 m, argilas que surgem entre 1,0 m e os 11,0 m de profundidade, as argilas margosas, detetadas à profundidade entre 4,5 m e 17,5 m que se sobrepõem às margas que surgem a partir os 12,5 m (Tecnasol FGE, 2001e).

Relativamente à obra do Parque de estacionamento subterrâneo no Largo Infantaria n.º 7 – Leiria, ID7\_2001, o estudo contempla a realização de ensaios laboratoriais, para determinação da tensão de rotura, através da realização de ensaios de compressão uniaxial. Os resultados encontram-se apresentados no Quadro 3-8.

**Quadro 3-8 – Resultados do ensaio de compressão uniaxial, consultadas no relatório ID7\_2001 (Tecnasol FGE, 2001f)**

Sondagem	Tipo de solo/ Amostra	Profundidade da colheita	Ensaio de Compressão Uniaxial	
			Força de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)
S1	Calcário margoso	5,15-5,45	164,3	41,1
S3		6,4-6,6	317,1	81,3

- **Sexta zona** - engloba os estudos de caracterização geológico-geotécnica da Av. Heróis de Angola, (ID9\_2016 e ID2\_2020), Mercado de Municipal de Leiria (ID2\_2015) e Construção de um Silo Auto (ID1\_2020). A distribuição da prospeção geológico-geotécnica desta zona, pode ser consultada na Figura 3-22.

Os terrenos que foram objeto destes estudos, enquadram-se em formações Aluvionares, constituídas por argilas lodosas (parte superior) e na base por areias com burgaus, e em formações do Jurássico, constituídas por calcários mais ou menos dolomíticos e por margas com gesso (Teixeira *et al.*, 1968).

Estratigraficamente, pela consulta dos relatórios ID9\_2016 e ID2\_2020, temos aluviões e depósitos de fundo de vale, na parte superior constituídas por argilas lodosas, e na base, por areias com burgaus. Assentam sobre a formação jurássica hetangiana-raciana, formada por calcários mais ou menos dolomíticos e margas com gesso, esta formação surge a partir dos 6,5 m de profundidade, mas as camadas mais resistentes ocorrem a profundidades superiores a 10,0 m (Sondagens do Oeste, SA; 2016i, Sondagens do Oeste, SA; 2020b, Sondagens do Oeste, SA; 2015 e Sondagens do Oeste, SA; 2020a).

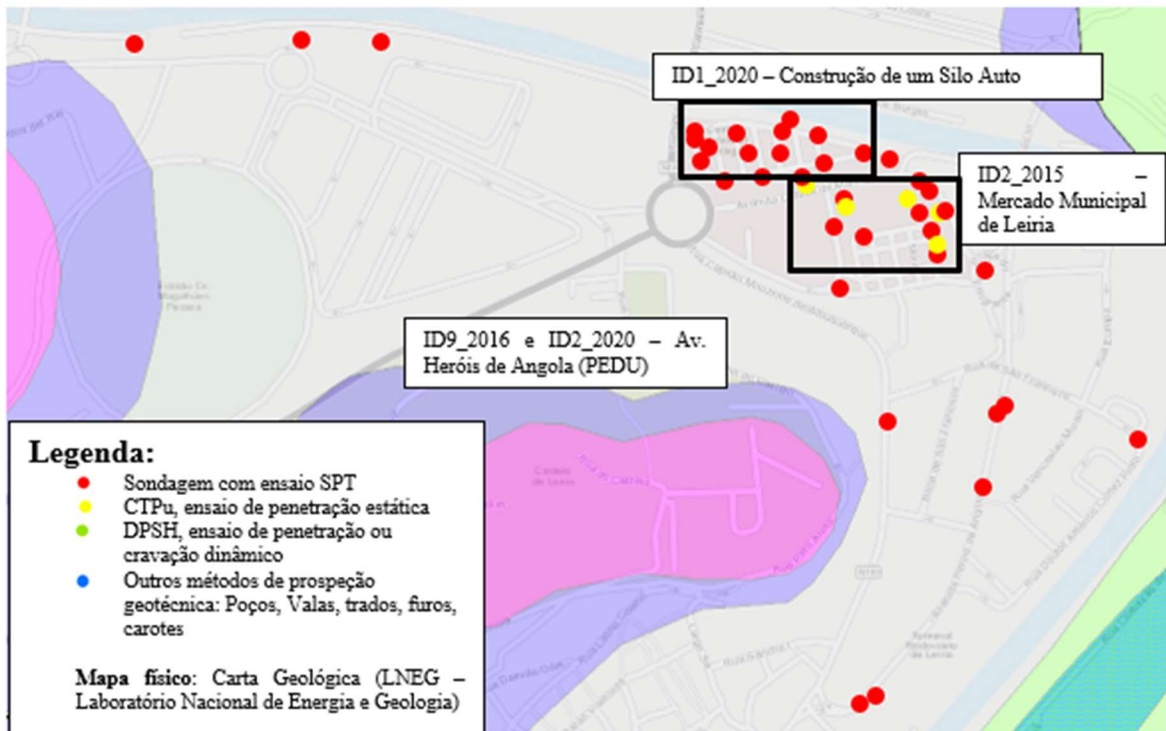


Figura 3-22 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, na zona destinada à Av. Heróis de Angola e Silo Auto (SIG, CML)

Na Av. Heróis de Angola, (ID9\_2016 e ID2\_2020), cujo objetivo é o estudo das condições de implantação de uma conduta e as condições de fundação de futuras estruturas, foram consultados os dois estudos geológico-geotécnicos. Estes contemplavam a realização de catorze sondagens com ensaios SPT, nove ensaios de permeabilidade e ensaios laboratoriais (análise granulométrica por peneiração, limites de consistência, densidade das partículas, azul de metileno, ensaio de Proctor, CBR e corte direto).

Com o objetivo de estudar o terreno para implantação do Mercado Municipal de Leiria (ID2\_2015), foi efetuado o estudo geológico-geotécnico do terreno, cuja campanha de prospeção incluiu a realização de doze sondagens, com realização de ensaios SPT, cinco ensaios de penetração estática (CPTu) e ensaios laboratoriais (análise granulométrica, limites de consistência, densidade das partículas, corte direto, compressão simples, ensaios triaxiais e consolidação).

Foi intenção do Município de Leiria em proceder à implantação de um Silo-Auto (ID1\_2020), a Norte do Mercado e a Sul do rio Lis, para o efeito na altura, foi executado o estudo geológico-geotécnico do local, com a realização de onze sondagens com ensaios SPT e ensaios laboratoriais (análise granulométrica por peneiração húmida, limites de consistência, teor em água e corte direto).

Ao todo, os relatórios apresentam trinta e sete sondagens com a realização de ensaios SPT, com profundidade a variar dos 12,00 m aos 37,50 m, o nível freático foi detetado entre os 2,2 m e os 5,3 m de profundidade. Foram realizados cinco ensaios de penetração estática (CPTu), cuja profundidade foi dos 8,15 m aos 9,89 m.

No Quadro 3-9, apresenta-se o resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais dos relatórios consultados.

Pela análise do quadro, verifica-se que materiais ensaiados correspondem essencialmente a argilas lodosas e siltosas, areias argilosas, areias, argila margosa, areia argilo siltosa, com componente de finos a variar entre os 9,8% a 86,7%. Apenas uma das amostras ensaiadas possui comportamento não plástico, sendo que as restantes possuem LL entre os 17% e os 32%, e valores de IP entre 3% e os 17%.

Quanto à Classificação AASHTO, os solos amostrados enquadram-se nos grupos A-4 e A-6, possuem comportamento mau para aplicação da parte superior do aterro e camadas de leito de pavimento, e no grupo A-2-4, A-2-6 e A-1-b, possuem comportamento excelente a bom, para aplicação da parte superior do aterro e camadas de leito do pavimento. No que diz respeito à Classificação Unificada, estamos perante solos do tipo: CL (argila magra), SC (areia argilosa), SC-SM (areia argilo siltosa), GC (cascalho argiloso), CL-ML (Argila silto arenosa), SM (areia siltosa), SW-SM (Areia com silte).

No que diz respeito aos valores dos ensaios de compactação, o  $W_{opt}$  varia entre 4,6% e 10,6% e  $\gamma_{dmax}$  entre 1,94 g/cm<sup>3</sup> e 2,24 g/cm<sup>3</sup>. Os valores do ensaio de CBR variam entre 4% e 12, com expansibilidade a variar entre 0,0% e 1,3%. O W varia entre 2,1% e 32%, valor duas vezes superior ao teor ótimo, o que não confere competência para serem utilizados como aterros. A densidade varia entre 2,53 e 2,77. O valor de azul de metileno varia entre 0,8 g/100g e 1,8 g/100g. Estes resultados devem ser comparados e utilizados, conforme valores discriminados no Caderno de Encargos das IP – Infraestruturas de Portugal, que estabelecem um conjunto de critérios os quais os materiais têm que obedecer para serem utilizados nos aterros, consoante as zonas do projeto, e até mesmo no pavimento.

**Quadro 3-9– Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas nos relatórios ID9\_2016, ED2\_2020, ID2\_2015 e ID1\_2020 (Sondagens do Oeste, SA, 2016i; Sondagens do Oeste, SA, 2020b; Sondagens do Oeste, SA, 2015 e Sondagens do Oeste, SA 2020a)**

<b>Leiria - AV. Heróis Angola (PEDU) (Sondagens do Oeste, SA, 2016i e Sondagens do Oeste, SA, 2020b)</b>																		
Sondagem	Tipo de solo/ amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica				Limites de consistência (%)		Classificação		Teor em água (%)	Densidade das partículas	Azul de metileno (g/100g)	Compactação		CBR		
			Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP	AASHTO	ASTM				Wotp (%)	$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	CR (%)	CBR (%)	Exp (%)
S2	Argila siltosa lodosa	1 a 3	99,00	96,60	85,30	58,80	22	9	A-6 (6)	CL	20,4	1,4	10,6	1,94	91	7	0,5	
															95	10	0,4	
															97	11	0,2	
S5	Areia com argila lodosa	3-4,5	98,70	94,20	72,10	45,60	27	11	A-6 (2)	SC	21,2	1,5	9,1	2,02	93	7	0,4	
															97	10	0,2	
															98	11	0,1	
S6	Argila siltosa lodosa	1 a 3	100,00	100,00	99,30	86,70	29	11	A-6 (8)	CL	22,2	1,8	8,6	1,94	90	4	1,3	
															94	7	1,2	
															99	12	0,8	
S7	Areia argilosa com nível lodoso	1 a 3	98,00	89,60	70,70	32,2	20	6	A-2-4 (0)	SC-SM	12,4	0,8	6,9	2,11	93	6	0,0	
															96	8	0,1	
															97	9	0,1	
S12	Areia fina a média com seixos	3-4,5	60,70	44,88	24,12	13,83	22	12	A-2-6 (0)	GC		2,68	4,9	2,24				
S12	Argila algo margosa	11-11,6																
S14 (pz)	Areia muito fina com argila	3,4-4,1																
S15 (pz)	Areia fina argilosa com	1-4	91,99	86,29	69,36	32,21	21	8	A-2-4 (0)	SC			8,5	2,12				

alguns  
seixos

Sondagem	Tipo de solo/ amostra	Profundidade da colheita (m)	Ensaio de permeabilidade "LeFranc"					Ensaio de corte direto		
			Troço ensaiado (m)	cota do ensaio (m)	Condutividade hidráulica (K) (m/s)	Litologia	Unidade Geotécnica	Grau de permeabilidade	$\phi'$ (°)	C' (KPa)
S8(pz)			3,5-4	25,65-25,15	1,03 E-4	Areia fina com seixos	UN2A	Médio		
S8(pz)			7,5-8	21,65-21,15	2,45 E-6	Argila algo lodosa	UN3	Baixo		
S9(pz)			6-7	23,53-22,53	3,28 E-5	Argilito margoso	UN1A	Baixo		
S10(pz)			6-5	23,96-23,46	5,09 E-5	Areia argilosa com seixos	UN2A	Baixo		
S11(pz)			6-7	24,20-23,20	1,67 E-6	Argila arenosa lodosa	UN3	Baixo		
S12			8,3-8,8	23,15 - 22,65	6,92 E-6	Seixos com níveis lodosos	UN2A	Baixo		
S12	Argila algo margosa	11-11,6							38,7	51,2
S13			6-7	22,70 - 21,70	3,31 E-6	Areia com seixos e níveis lodoso	UN2A	Baixo		
S14(pz)	Areia muito fina com argila	3,5-4,1	7,5-8,5	20,70 - 19,70	1,57 E-5	Argila algo lodosa/Areia com seixos	UN3/UN2A	Baixo	36,1	6,1
S15(pz)			4,5 - 5,5	23,67 - 22,67	1,91 E-5	Areia fina argilosa	UN2B	Baixo		

**MERCADO MUNICIPAL DE LEIRIA (Sondagens do Oeste, SA, 2015)**

Sondagem	Tipo de solo/ amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica				Limites de consistência (%)		Classificação		Teor em água (%)	Densidade das partículas
			Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP	AASHTO	ASTM		
S1	Areia lodosa	3,5-4,1	88,7	80,6	57,1	26,6	13	3	A-2-6 (0)	SM	2,666	
	Argila lodosa com areia	6,5-7,1	99,9	99,0	92,9	71,7	32	17	A-6 (10)	CL	2,643	

S2(PZ)	Areia argilosa	5-5,6	99,2	89,6	35,5	9,8	NP	NP	A-1-b (0)	SM-SW		
S8	Areia com seixos											
S8	Argila arenosa algo lodosa	5,2-5,8	99,7	99,1	97,9	67,9	23	8	A-4 (7)	CL	23-27	2,643
S10(pz)	Argila algo lodosa com areia	5,2-5,8	100,0	99,7	97,2	57,0	21	6	A-4 (4)	CL-ML	22,2	2,62
S12	Argila algo lodosa com areia	6,5-7,1	96,4	95,7	92,6	67,9	28	12	A-6 (7)	CL	25,1	2,53
S12	Argila margosa com fragmentos	13,5-15	86,5	70,4	48,1	26,8	21	5	A-2-4 (0)	SC-SM	2,1	2,772
S14	Argila lodosa com areia	6,6-7,2	99,6	99,0	94,0	59,0	25	12	A-6 (6)	CL	24,4	2,499
S14	Argila margosa com fragmentos	11-11,6	83,7	64,1	43,3	28,9	20	4	A-2-4 (0)	SC-CM	15,4	
Sondagem	Tipo de solo/ amostra	Profundidade da colheita (m)	Ensaio de corte direto		Ensaio triaxial		Ensaio compressão uniaxial		Ensaio edométrico			
			$\phi'$ (°)	C' (KPa)	$\phi'$ (°)	C' (KPa)	Resistência à compressão simples (KPa)	$e_0$	$\sigma'_p$ (KPa)	Cc		
S1	Areia lodosa	3,4-4,1	29,1	6,7								
S1	Argila lodosa com areia	6,5-7,1			37,7	2,4			0,907	124,5	0,225	
S2	Areia argilosa	5-5,6			37,5	1,9			0,840	63,1	0,194	
S2	Argila margosa com fragmentos	9,5-10,1	31,5	3,9								
S3	Areia argilosa	8-8,6			35,1	5,9						

S8	Argila arenosa algo lodosa	5,2-5,8		35,1	2,4		0,626	113,2	0,161
S8	Areia lodosa	8-8,6	35	0,2					
S10	Argila algo lodosa com areia	5,2-5,8						48	
S10	Argila margosa com fragmentos margosos	22,5-24	27,9	90,9				1155	
S12	Argila algo lodosa com areia	6,5-7,1	24,6	50,5				32	
S12	Argila margosa com fragmentos	11-11,3	32,2	58,7				50	
S12		13,5-15						766	
S12	Areia argilosa algo lodosa	6,5-7,1						19	0,465
S14	Argila lodosa com areia	6,6-7,2	23,2	45,8				52	
S14	Argila margosa com fragmentos	11-11,6						127	

**CONSTRUÇÃO DE UM SILO AUTO – LEIRIA (Sondagens do Oeste, SA, 2020a)**

Sondagem	Tipo solo/ amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica				Limites de consistência (%)		Classificação		Teor em água (%)	Ensaio de corte direto	
			Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP	AASHTO	ASTM		$\phi'$ (°)	C' (KPa)
S1(pz)	Areia argilo-	10,9-11,5	92,51	76,25	57,97	38,93	22	6	A-4 (1)	SC-SM	14,4	43,2	74,5
S3	siltosa com cascalho	15,5-16,1	93,38	75,23	49,76	33,01	23	6	A-2-4 (0)	SC-SM	20	36,1	97,3

Os resultados do ensaio de permeabilidade, indicam que os solos possuem um grau de permeabilidade baixa, com valores de condutividade inferiores a  $1,03E^{-4}$ . Os valores de resistência, de acordo com os ensaios de corte direto, temos  $\phi'$  entre  $29,1^\circ$  e  $43,2^\circ$  e  $c'$  entre 6,1KPa e 97,3KPa, de acordo com os ensaios triaxiais, os resultados variam entre  $35,1^\circ$  e  $37,7^\circ$  e 1,9KPa e 5,9Kpa, para  $\phi'$  e  $c'$ , respetivamente. Já os resultados do ensaio de compressão uniaxial, fornecem valores entre 19KPa e 1152KPa, sendo a maior incidência com resultados inferiores a 127KPa. Quanto aos resultados dos ensaios edométricos, mostram solos com praticamente impermeáveis, com  $C_c$  entre 0,130 e 0,225;  $e_0$  entre 0,465 e 0,907 e  $\sigma'_p$  entre 63,1KPa e 191,1KPa. Estes valores apresentados permitem perceber a evolução dos assentamentos do terreno, que indicam que se tratam de solos expansíveis. O resultado da amostra S12, que é menos compressível, pode estar influenciada pelo teor de água. As amostras com  $e_0$ , inferiores, serão constituídas (maior quantidade de partículas sólidas) sofrem menores assentamento ao longo dos carregamentos.

- **Sétima zona** – Corresponde à envolvente ao Estádio Municipal de Leiria, Dr. Magalhães Pessoa, foram consultados um conjunto de relatórios, destinados à construção do Estádio Dr. Magalhães Pessoa (ID1\_2001), execução de muros de contenção dos parques e acessos (ID3\_2001), Envolvente ao Estádio Dr. Magalhães Pessoa (ID2\_2001), Centro de Atividades Municipal (ID2\_2019), Jardim da Almuinha Grande (ID1\_2017) e Acessos Mecânicos para acesso ao Castelo de Leiria (ID3\_2017), cuja distribuição da prospeção está representada na Figura 3-23.

Os terrenos destinados à execução do Estádio, (ID1\_2001), na envolvente (ID2\_2001), e Jardim Almuinha (ID1\_2017), enquadram-se sobre aluviões, representadas por argilas lodosas, areias com burgaus, até profundidades da ordem dos 8,0 m aos 14,5 m, e em formações do Jurássico Inferior (Hetangiano-Retiano), denominada “Diapiro de Leiria”, representadas por margas, calcários dolomíticos e calcários margosos. Nas proximidades do rio (ID2\_2001), as aluviões são caracterizadas por argilas siltosas, siltes argilosos, areias silto-argilosas, por vezes com seixos e cascalheiras, até aos 13,5 m de profundidade e dos terrenos do Jurássico caracterizado por margas com gesso, calcários margosos, argilas e siltes margosos, formação de *Margas Dagorda* (Teixeira *et al.*, 1968, Tecnasol FGE, 2001a, Tecnasol FGE, 2001b e Sondagens do Oeste, SA; 2017).

Os terrenos da área destinada à execução dos muros de contenção dos parque e acessos (ID3\_2001), situam-se Jurássico Inferior (Hetangiano-Retiano), denominada “Diapiro de

Leiria”, nesta zona constituída por argilas e argilas margosas e margas com gesso, surgem logo após aterro de espessura 1,5 m (Teixeira *et al.*, 1968 e Tecnasol FGE, 2001c).

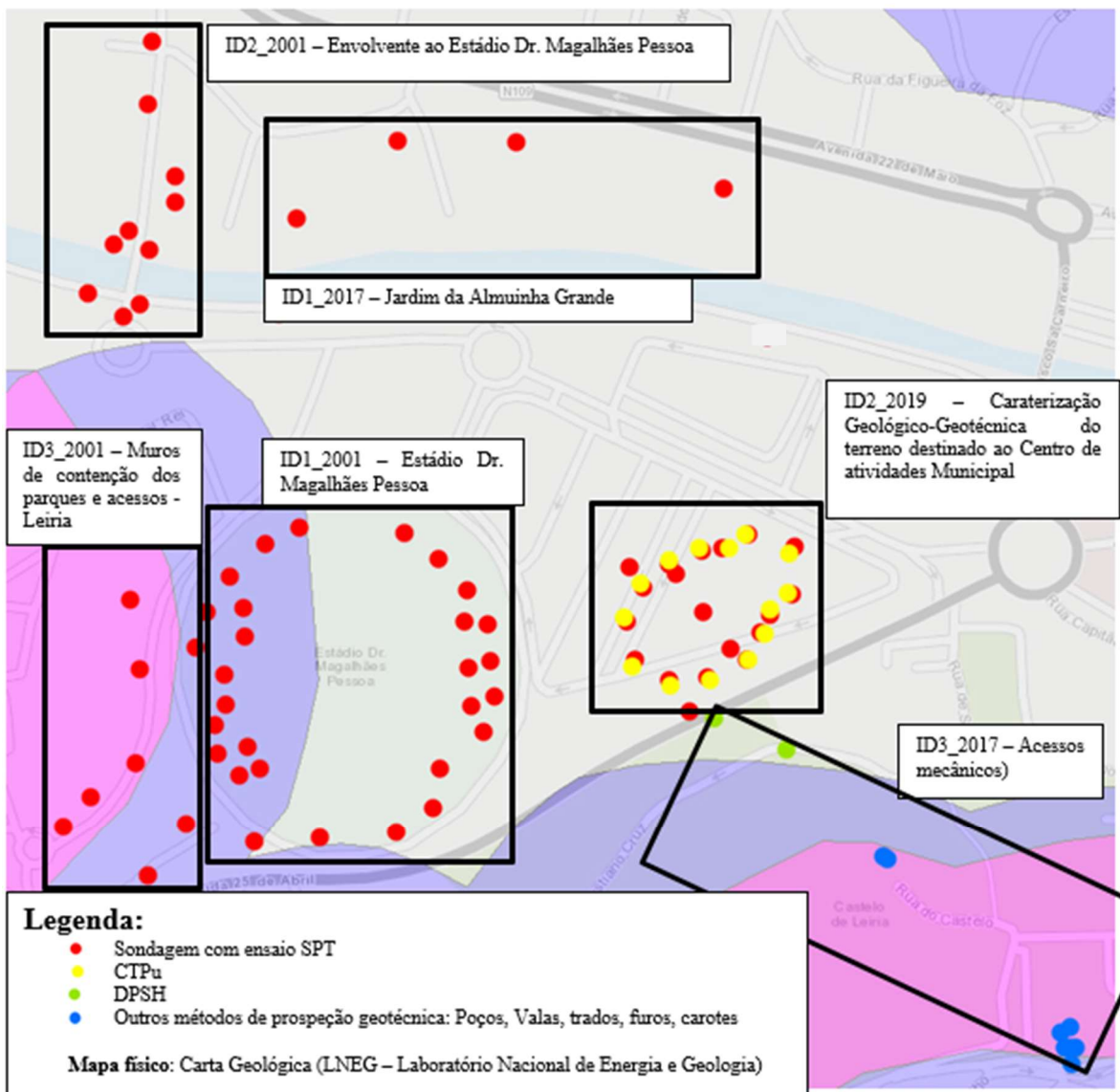


Figura 3-23 – Distribuição georreferenciada da prospeção geológico-geotécnica em Leiria, na zona destinada à envolvente dos Estádio e Encosta do Castelo (SIG, CML)

Na zona do Castelo (ID3\_2017), predominam rochas eruptivas doleríticas alteradas. Na zona envolvente ao Estádio, enquadra-se em formações Aluvionares, constituídas por argilas por vezes arenosas, ligeiramente siltosas, micáceas e areias por vezes argilosas, e em formações do Jurássico, constituídas por argilas margosas e margas (Teixeira *et al.*, 1968).

A campanha de prospeção, incluiu a realização de dois ensaios DPSH e oito furos, com profundidade máxima de 11,4 m e 7,0 m, respetivamente na zona dos acessos mecânicos (ID3\_2017). Na área do futuro Centro de atividades Municipal (ID2\_2019), foram executados catorze ensaios de penetração estática (CPTu), cuja profundidade foi dos 4,47 m

aos 16,72 m. À exceção do estudo referente aos Acessos mecânicos, (ID3\_2017), foram realizadas setenta sondagens com a realização de ensaios SPT, com profundidade a variar dos 9,0 m aos 31,5 m. O nível freático foi detetado entre os 0,8 m e os 15,0 m de profundidade, e um foi artesiano. Sobre as amostras recolhidas, dos estudos referentes à prospeção geológico-geotécnica dos terrenos destinados ao ID1\_2001, ID1\_2017 e ID2\_2019, foram realizados os seguintes ensaios laboratoriais: análise granulométrica, limites de consistência, densidade das partículas sólidas, determinação do teor em água, azul de metileno, ensaios edométricos, compressão simples, ensaios de compressão uniaxial, corte direto e ensaios triaxiais. Cujo resumo dos mesmos são apresentados no Quadro 3-10.

**Quadro 3-10 – Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais consultadas nos relatórios ID1\_2001, ID2\_2019 e ID1\_2017 (Tecnasol FGE, 2001a; Tecnasol FGE, 2019 e Sondagens do Oeste, SA, 2017)**

<b>ESTÁDIO DR. MAGALHÃES PESSOA – LEIRIA (Tecnasol FGE, 2001a)</b>										
Sondagem	Tipo de solo/ amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica				Limites de consistência (%)		Densidade das partículas	Azul de metileno (g/100g)
			Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		
S13	Argila margosa	8,5-8,7	98,13	95,11	90,93	99,23	33	15	2,76	2,4
S14	Argila margosa	9,45-10,5	91,04	77,03	60,45	48,70	30	9	2,79	2,1
S15	Argila margosa	10,3-12,5	92,80	79,48	65,59	46,05	35	16	2,73	2,8
S16	Argila margosa	9,45-10,5	90,51	80,31	65,61	45,02	32	16	2,72	2,9
S17	Argila margosa	7,2-7,5	93,00	83,54	67,30	37,61	27	11	2,73	2,8
S18	Margas	10,5-10,61	93,92	81,67	60,45	36,35	29	10	2,83	1,5
S21	Argila margosa	9-9,41	94,02	80,92	62,57	43,72	36	16	2,78	2,6
S24	Argila margosa	Não explicita	96,63	89,96	74,53	45,41	33	14	2,85	2,8
S27	Não explicita	Não explicita	73,66	68,27	58,55	31,51	28	NP	2,95	2,6
S28	Não explicita	Não explicita	76,19	67,91	57,53	37,53	25	8	2,65	1,3
S29	Não explicita	Não explicita					45	21		2,4

Sondagem	Tipo de solo/ amostra	Profundidade da colheita (m)	Ensaio Compressão Uniaxial	
			Força de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)
S1			15	3,8
			26,3	6,7
S2			85,3	21,3
			85,2	21,4
S4			71,2	18,1
S5	Margas	15,7-16	5,9	1,5

		15,7-16	8,7	2,2
		19,25-19,6	2,9	1,4
		19,25-19,6	3	0,8
S6	Margas	14,65-15,05	6,1	1,6
		14,65-15,05	5,7	1,4
		14,65-15,05	3,8	1,0
S8			7,9	2,0
			9,6	2,5

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DO TERRENO  
DESTINADO AO CENTRO DE ATIVIDADES MUNICIPAL – LEIRIA (Tecnasol  
FGE, 2019)**

Sondagem	Tipo de solo/ amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica			Limites de consistência (%)		Densidade das partículas	Teor em água (%)
			Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		
S1	Argila	6,9-7,5	84,30	65,90	51,8	26	9	2,51	22,8
S2	Argila	2,4-3	71,03	69,59	61,83	30	15	2,50	31,5
S3	Argila	3-3,6	79,40	73,59	62,24				
S6	Silte arenoso	2,4-3	99,84	96,34	87,68	30	19	2,60	31,0
S7	Argila	6,9-7,5	73,30	70,40	63,10				
S8	Argila siltosa	2,4-3	100,00	81,09	37,38			2,53	17,6
S9	Argila	2,4-3	64,88	44,07	31,78				
S11	Argila ligeiramente arenosa	6,9-7,5	99,98	92,33	82,70	55	37	2,61	
S13	Argila arenosa	5,4-6	73,90	57,30	35,40			2,45	22,2
S14	Argila argilosa	2,4-3	97,19	92,62	85,86	39	23		
S15	Argila	2,4-3	80,80	74,50	62,60	33	17	2,44	27,7
S17	Argila ligeiramente arenosa	3,5-4,1	367,74	57,93	49,91			2,39	29,9

Sondagem	Tipo de solo/ amostra	Profundidade da colheita (m)	Ensaio de corte direto		Ensaio triaxial		Resistência à compressão simples (KPa)	Ensaio edométrico  Cc
			$\phi'$ (°)	Cu' (KPa)	$\phi'$ (°)	Cu' (kN/m2)		
S1	Argila com pequenas margas	12,9-13,5					117	0,0664
S2	Argila	12-12,6	30	67				
S3	Argila	11,6-12			38,9	20,4	50	
S4	Argila	9,9-10,5	34	22				0,2113
S5	Argila arenosa	3-3,6	32	0				
	Argila	12-12,6	14	143				

S6	Silte arenoso			40,1	4,1
	Argila	11,4-12	36	43	
S7	Argila	6,9-7,5	16	74	
		11,4-12	34	44	
S8	Argila siltosa	2,4-3	33	54	
	Argilo silto - argilosa	9-9,6		28,4	20
S9	Argila	2,4-3			276 0,862
S11	Argila ligeiramente arenosa	6,9-7,5	21	80	
S12	Areia argilosa	2,4-3		53	3,7
S13	Argila arenosa/areia argilosa	5,4-6	40	0	
S14	Areia argilosa	2,4-3		27,5	16,8
S15	Argila	2,4-3			174 0,2212
		6,9-7,5	41	32	
S16	Argila	5-5-6	29	42	
		7-5-8	31	25	
S17	Argila ligeiramente arenosa	3,5-4,1			38 0,2177
S18	Areia	2,4-3	14	48	
	Argila siltosa	12-12,6		28,9	29
S19	Areia	3-3,4			165 0,4259

**JARDIM DA ALMOINHA GRANDE – LEIRIA (Sondagens do Oeste, SA, 2017)**

Sondagem	Tipo de solo/amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica por peneiração húmida				Limites de Consistência (%)		Classificação		Teor em água (%)
			Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP	AASHTO	ASTM	
S2	Argila magra	3-6	99,9	98,8	88,1	54,5	25	10	A-4 (4)	CL	22,8
S3	Areia bem graduada	3-6	72,3	51,3	12,6	3,0	NP	NP	A-1-b (0)	SW	11,9

Pela análise do quadro, verifica-se que os materiais ensaiados correspondem essencialmente a areias, pertencentes ao “Diapiro de Leiria”, profundidade entre 7,20 m e 10,61 m (no ID1\_2001), no ID2\_2019, pertencem às aluviões, assim como aos solos do ID1\_2017, com fração fina a variar entre os 31,51% a 94,23%. %. O comportamento plástico varia entre 25% e 55% para o LL e 8% a 37% para o IP. Apenas duas amostras apresentam comportamento não plástico.

Quanto à Classificação AASHTO, foi apenas realizado para o caso do Jardim de Almuinha Grande, um dos solos amostrados enquadra-se no grupo A-1-b, possuem bom comportamento para serem aplicados na parte superior do aterro, o outro enquadra-se no grupo A-4, que apresentam comportamento sofrível a mau para aplicação na parte superior do aterro e leito de pavimento. No que diz respeito à Classificação Unificada, estamos perante solos do tipo CL (argila magra) e SW (areia bem graduada).

No que diz respeito aos valores do W, estes oscilam entre 11,9% e 31,5%. A densidade varia entre 2,39 e 2,95. O valor de azul de metileno varia entre 1,3 g/100g e 2,9 g/100g. Estes resultados devem ser comparados e utilizados, conforme valores discriminados no Caderno de Encargos das IP – Infraestruturas de Portugal, que estabelecem um conjunto de critérios os quais os materiais têm que obedecer para serem utilizados nos aterros, consoante as zonas do projeto, e até mesmo no pavimento.

Os valores de resistência, de acordo com os ensaios de corte direto, temos  $\phi'$  entre 14° e 41° e  $c'$  entre 0 KPa e 143KPa, de acordo com os ensaios triaxiais, os resultados variam entre 27,5° e 53.0° e 3,9KN/m<sup>2</sup> e 29,0KN/m<sup>2</sup>, para  $\phi'$  e  $c'$ , respetivamente. Já os resultados do ensaio de compressão uniaxial, fornecem valores para a força de rotura de entre 3,0 KN e 85,3KN e uma tensão de rotura, entre 1,0 MPa e 21,4MPa. Já os resultados para compressão simples, oscilam entre 38KPa e 276KPa Quanto aos resultados dos ensaios edométricos, os valores de CC variam entre 0,0664 e 0862. Estes ensaios foram realizados em solos pertencentes ao Jurássico.

- **Oitava zona** – zona histórica de Leiria, onde foram realizados dois relatórios Geotécnicos, destinados ao estudo geológico-geotécnico do terreno, onde se pretendia implantar o Centro Cívico do Centro Histórico de Leiria, ID1\_2009. E outro para reforço Parcial da Rua Acácio Paiva, contíguo à Casa dos Pintores, ID2\_2021. A distribuição da prospeção geológico-geotécnica está representada na Figura 3-24.



	Areia fina argilosa	6	98,58	88,21	42,73	22	10	A-4 (0)	SC
S3	Silte arenoso	1,5-3	81,39	64,05	35,90	23	8	A-4 (0)	SC
	Areia fina argilosa	6	98,58	88,21	42,73	22	10	A-4 (0)	SC
S6	Argila arenosa	1,5-3	91,73	85,30	59,63	30	13	A-6 (0)	CL
	Silte arenoso		81,39	64,05	35,90	23	8	A-4 (0)	SC

Sondagem	Tipo de solo/ amostra	Profundidade da colheita (m)	Ensaio Compressão Uniaxial				Ensaio triaxial
			Resistência à compressão simples (MPa)	Módulo de deformabilidade (MPa)	Classificação ISRM, 1981	Descrição amostra	Cu (KPa)
S2	Marga cinzenta	7,5-9	0,8	45,6	Solo	Marga cinzenta	
	Marga calcária	9-10,5	-	-		Marga calcária cinzenta	
	Marga calcária	10-5-12	2,8	143,9	Muito branda	Marga calcária cinzenta	
S4	Marga	13,5-15	1,5	66,6	Muito branda	Marga cinzenta avermelhada com gesso	
	Calcário margoso	15-16,5	19,4	-	Branda	Calcário margoso cinzento	
S5	Marga dolomítica	9-10,5	2,5	140,9	Muito branda	Marga dolomítica cinzenta avermelhada com gesso	
	Marga	10,5-12	2,5	114,3	Muito branda	Marga cinzenta avermelhada com gesso	150,7
	Marga com gesso	13,5-15					164,96
S6	Marga	9-10,5	1,0	113,7	Muito branda	Marga cinzenta com gesso	874,33
		13,5-15	-	-	-	Marga cinzenta com gesso	

**REFORÇO PARCIAL DA RUA ACÁCIO PAIVA, CONTÍGUO À CASA DOS PINTORES (Sondagens do Oeste, 2021)**

Sondagem	Tipo de solo/ amostra	Profundidade da colheita (m)	Análise granulométrica	Limites de consistência (%)	Classificação	Teor em
----------	-----------------------	------------------------------	------------------------	-----------------------------	---------------	---------

			Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP	AAHTO	ASTM	água (%)
S2(pz)	Argila plástica com areia	4,5	96,9	94,9	88,8	58,9	32	14	A-6 (6)	CL	27,9
S3(pz)	Areia mal graduada com silte e cascalho	7,5	69,0	55,6	24,6	6,2	NP	NP	A-1-b (0)	SP-SM	11,2
S5	Silte elástico com cascalho	10,5	84,5	80,0	73,0	69,0	52	19	A-7-5 (12)	MH	23,1

Os ensaios de caracterização mecânica em solos, foram efetuados nas argilas arenosas, argilas plásticas, silte arenoso e silte elástico com areia, areia fina e areia mal graduada. Em amostras recolhidas entre 1,5 m e 6,0 m de profundidade, no Centro Cívico e aos 4,5 m, 7,5 m e 10,5 m na Rua Acácio Paiva. A percentagem de finos varia entre 6,20% e 69%. O comportamento plástico varia entre 22% e 52% para o LL e 8% a 19% para o IP. Apenas uma amostra apresenta comportamento não plástico.

Em termos de Classificação AASHO, os solos ensaiados enquadram-se nos grupos A-1-b, A-4, A-6 e A-7. Apenas uma amostra recolhida na Rua Acácio Paiva apresenta um comportamento excelente a bom para aplicação na parte superior do aterro e leito de pavimento, estão enquadrados nos grupos A-1-b, as restantes, estão incluídos nos grupos A-4, A-6 e A-7, que apresentam comportamento sofrível a mau para aplicação na parte superior do aterro e leito de pavimento.

No que diz respeito aos valores do W, estes oscilam entre 11,2% a 27,9%. Para determinação do valor de resistência, foram realizados ensaios de compressão simples, em amostras recolhidas entre 7,5 m e 16,5 m de profundidade e triaxiais, realizados em amostras recolhidas entre 9,0 m e 15,0 m de profundidade. Os resultados do primeiro, indicam amostras com valores de resistência à compressão simples de 0,8MPa a 19,4MPa e módulos de deformabilidade entre 45,6MPa e 143,9MPa, indicadores de solos essencialmente muito brandos. De acordo com os ensaios triaxiais, obtêm-se valores de 150,7KPa a 874,33KPa.

### 3.5 Síntese

Do apresentado acima, pode-se constatar que os terrenos em estudo se enquadram maioritariamente em aterros, formações mais recentes, aluviões, e por fim camadas mais

antigas Jurássico e Cretácico. Já fora da zona urbana de Leiria, assenta maioritariamente em formações pertencentes ao atual, moderno, Pliocénico, Plistocénico, Plio-plistocénico, por vezes atingindo formações mais antigas.

Relativamente às profundidades das unidades geológicas com maior capacidade resistente, que correspondem a formações mais antigas e de uma maneira em geral, localizam-se a maiores profundidades, pertencentes ao Jurássico e Cretácico, nomeadamente, argilas, argilas margosas e margas, calcários e calcários margosos. Estas camadas normalmente encontram-se subjacentes aos aluviões e materiais recentes e atuais de fraca resistência.

Quanto ao tipo e quantidade de ensaios, constata-se que fora da união de freguesias de Leiria, Pousos, Barreira e Cortes, foram escassos, quer a nível de investigação de subsuperfície quer em ensaios laboratoriais. Em alguns estudos, apenas se realizou uma sondagem com ensaios SPT.

Verifica-se que cada vez mais detrimento dos ensaios laboratoriais para caracterização mecânica dos solos, estes não dão informação mais detalhada do comportamento tensão-deformação dos solos, o que contribui para um dimensionamento mais confiável das obras geotécnicas. Esta situação prende-se com a morosidade dos ensaios, não compatível com o ritmo quer das obras quer da entrega do projeto de execução.

Os ensaios laboratoriais que devem proceder à caracterização física dos materiais nomeadamente: análise granulométrica, determinação dos limites de consistência e do teor em água natural (solos finos), ensaios de compactação e determinação da densidade das partículas sólidas. Os resultados destes ensaios permitem a obtenção de parâmetros índice que identificam não só a natureza do solo e podem ser relacionadas com as propriedades mecânicas.

No caso de solos granulares (areias e cascalhos) é recorrente determinar o índice de vazios, para determinação da sua compactidade. No caso deste tipo de solos, efetua-se esta determinação através dos ensaios de campo (SPT).

Em relação aos relatórios consultados, verifica-se que na maior parte dos mesmos, apenas foram realizados ensaios de campo, que fornecem resultados imediatos quanto às características de resistência e deformabilidade dos terrenos, após correlação. O mais utilizado é o SPT, permite atingir grandes profundidades e recolha de amostra. Os ensaios

CPTu, não permite recolha de amostra e o ensaio DPSH não atinge grandes profundidades. Os parâmetros são obtidos através de correlações.

No caso dos solos argilosos (saturados) a determinação do teor em água é bastante importante. Pois é recorrente relacionar o teor em água natural em relação ao LL e LP.

A caracterização mecânica é efetuada através de ensaios de corte direto e ensaios triaxiais. Na primeira situação, a interpretação dos resultados permite, e possibilitam os projetistas a traçar as envolventes em termos de estado de pico ou estado de rotura do solo. O segundo permite caracterizar adequadamente o estado de tensão no solo e por conseguinte, avaliar adequadamente a resistência do solo.

No próximo capítulo, com base nos parâmetros geotécnicos recolhidos dos relatórios consultados, é efetuada referencia a condições de escavação, aterro e fundações aconselhadas face ao tipo de solo intersetado e resultados obtidos, tendo em conta as recomendações e orientações do EC7.

## 4 Distribuição espacial da informação geotécnica

### 4.1 Introdução

Após a consulta dos relatórios geológicos-geotécnicos, procedeu-se à recolha de informação relevante para a construção de uma base de dados, com os atributos que se consideram pertinentes para o mapeamento geotécnico do concelho de Leiria. Nos ensaios de campo, indica-se, o tipo de ensaio utilizado, profundidade, cota nível freático e respetivo resultado.

Estes dados foram introduzidos no Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permitirão a consulta dos dados e a obtenção de mapas temáticos e poderá ser consultada no SIG do Município de Leiria.

Como já referido no capítulo anterior, a base de dados dos relatórios geotécnicos consultados, na qual foi estabelecida uma identificação, por ordem cronológica, conforme se atesta na imagem da Figura 4-1. Nesta figura, pode-se observar o extrato da informação contida no SIG. A informação é vasta e não é visível no quadro dos atributos. Ao último atributo, está relacionado o respetivo relatório.

Os dados recolhidos, dizem respeito a um conjunto de resultados de ensaios, quer de campo quer laboratoriais, que podem ser utilizados. No caso dos ensaios de campo, é necessário efetuar as correlações, nos ensaios laboratoriais, que são de utilização direta e que permitem determinar e calcular o dimensionamento das fundações mais adequadas, bem como determinar a liquefação dos solos aluvionares. Estes resultados, permitem obter parâmetros geotécnicos e definição do zonamento geológico-geotécnicos dos terrenos em estudo.

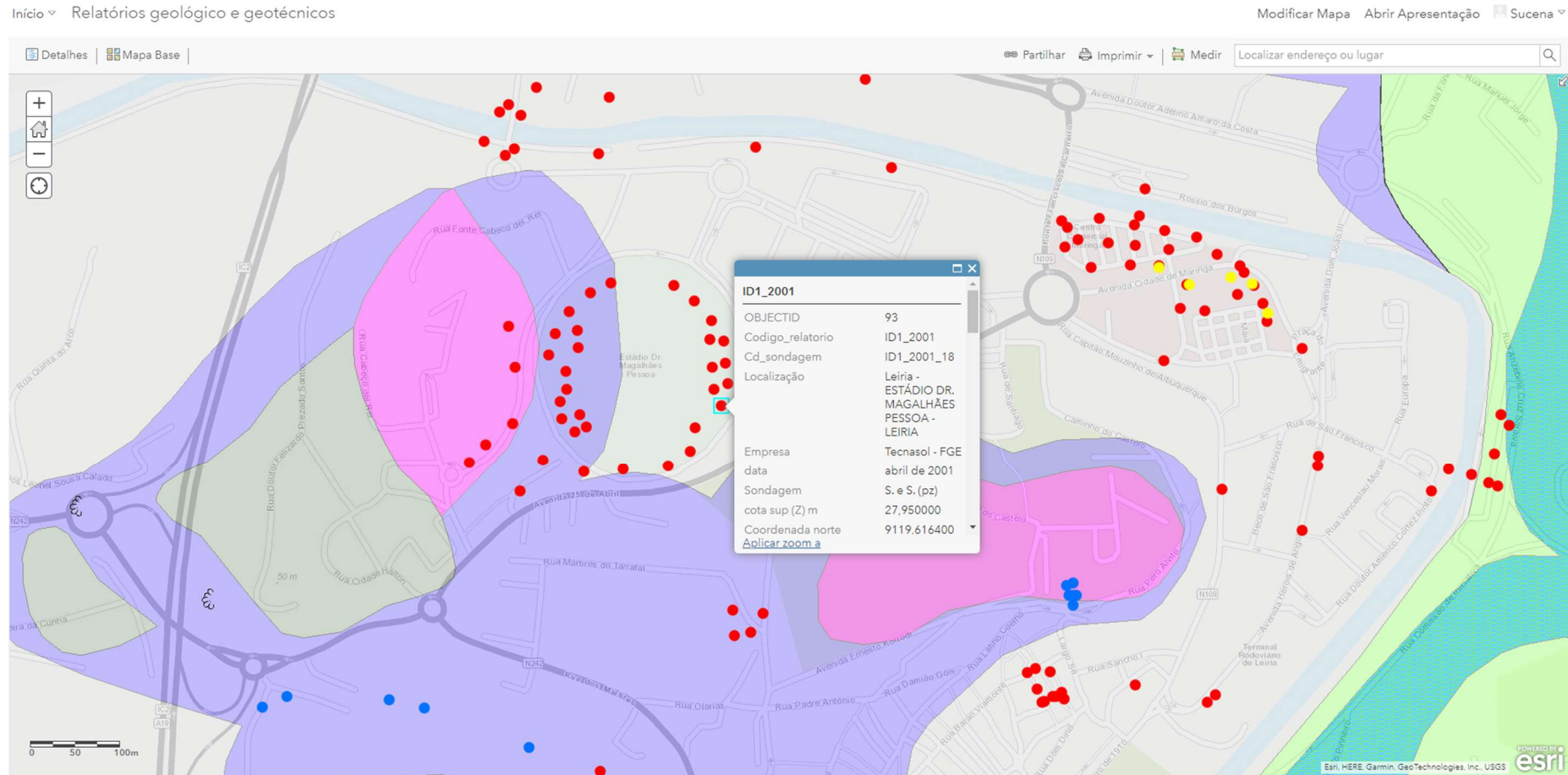


Figura 4-1 – Pormenor da visualização da prospeção geológico-geotécnica (SIG, CML).

## **4.2 Procedimento**

Os parâmetros que serviram de base à definição do zonamento geológico-geotécnico do concelho de Leiria, foram a caracterização macroscópica da amostragem recolhida com a execução das sondagens e os ensaios SPT. Através de correlações aplicadas aos valores de  $N_{SPT}$ , obtém-se a caracterização do subsolo em termos litológicos e geotécnicos, no que diz respeito à resistência, deformabilidade e consistência/compacidade, permitindo a elaboração de um modelo geológico-geotécnico, com indicação dos valores de massa específica, coesão, ângulo de atrito e módulo de deformabilidade.

Quanto aos ensaios de campo de DPSH, o zonamento geotécnico é efetuado com base nos valores de resistência de ponta, sendo definidas áreas de maior e menor resistência, definindo-se o seu zonamento em profundidade. A realização dos poços de prospeção, permitiu a observação direta das litologias intersetadas, contribuindo deste modo para a caracterização geológica na zona de prospeção. Esta consideração verificou-se nos relatórios mais recentes, nos mais antigos apenas eram apresentados os valores de resistência de ponta dinâmica. A prospeção nestes casos, era acompanhada com a realização de poços nos quais eram identificadas as litologias.

Nos relatórios, cujo método de prospeção geotécnica foi baseada na realização de sondagens com execução de ensaios SPT, os resultados dos parâmetros geotécnicos, são apresentados em quadros síntese. Nos quadros das secções seguintes, apresenta-se um modelo síntese, Geológico-geotécnico proposto e respetiva parametrização geotécnica, para zonas distintas do Concelho, que foram definidas no capítulo anterior.

### **4.2.1 Freguesia de Amor**

Na freguesia de Amor, foram consultados dois relatórios, ID3\_2020 – Pontão Barreiros e ID3\_2021 - Terreno Destinado à Reabilitação de 6 Pontões na Freguesia de Amor, destinam-se à caracterização dos terrenos para alargamento de pontões, com realização de sondagens e ensaios SPT. No Quadro 4-1, apresenta-se o modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados.

Da consulta destes dois relatórios, verifica-se que face às litologias de fraca qualidade até aos 10,0 de profundidade, a solução mais adequada será fundações indiretas, que devem

solicitar a unidade geotécnica mais competente, que surge a partir dos 23,5 m de profundidade (Sondagens do Oeste, 2020c e Geoalgar, 2021).

**Quadro 4-1 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na freguesia de Amor, com base nos valores de  $N_{spt}$ . (adaptado Sondagens do Oeste, 2020c; Geoalgar, 2021)**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/ consistência/ Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica ( $kN/m^3$ )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito (°)	Modulo de deformabilidade (MPa)
Atual	ZG4	1-20	Soltos e moles	Unidade correspondente a solos de aterro constituídos por areia argilosa e argila arenosa, com fragmentos rochosos.	Aterro	17-18	-	-	-
	ZG3B	2-7	Muito solta a solta	Horizonte arenoso por vezes com algum com conteúdo lodoso e pequenos seixos dispersos	Areia algo lodosa	14-15	0-5	26-28	2-8
Moderno	ZG3B	16	Medianamente compacta	Areia de granulometria média a grosseira, com seixos	Areia com seixos	17-18	-	30-32	20-30
	ZG2	20-38	Muito dura a rija	Argila por vezes com alguma areia	Argila com areia	18	30-50	22-24	20-40
	ZG1B	29-54	Compacta a muito compacta	Areia média a fina em matriz argilosa, detetada dos 13,5m aos 22,5m	Areia em matriz argilosa	18-20	5-15	34-36	40-60
Pliocénico	ZG1A	$\geq 60$	Muito compacta	Areia média a fina cimentada em matriz argilosa, surge aos 24m.	Areia cimentada em matriz argilosa	20-22	15-30	36-38	>60

Foi consultado um outro relatório, ID6\_2020 – Construção da Unidade de Saúde de Amor. Neste a prospeção geotécnica consistiu na realização de ensaios DPSH, no qual foram detetadas 3 zonas geotécnicas, com base na observação das litologias nos poços e com base nos valores de resistência de ponta mecânica, representados no Quadro 4-2.

**Quadro 4-2 - Modelo Geológico-geotécnico com base nos valores de  $q_d$  dos ensaios DPSH (IPNlabgeo, 2020a)**

Unidade geotécnica	Descrição litológica	$q_d$ (MPa)
ZG1	Unidade constituída essencialmente por aterro e solo arenoso, espessura de 3,2m	-
ZG2	Unidade constituída por solo arenoso, com espessura máxima de 10,6m	5-12,5
ZG3	Unidade constituída por solo arenoso, com espessura de 7,7 e 11m.	<5
ZG4	Unidade constituída por solo arenoso, surge a partir dos 11,2m	>12,5

Da consulta do relatório ID6\_2020, e face ao projeto apresentado para o local, a camada constituída por solo arenoso, pertencente à unidade Geotécnica ZG2, com valores de resistência de ponta dinâmica entre 5,0 MPa e 12,5 MPa, pode ser utilizada como solo de fundação. Esta unidade surge a partir dos 0,3 m de profundidade (IPNlabgeo, 2020a).

#### 4.2.2 Freguesia de Bidoeira

Na freguesia de Bidoeira, foram consultados três relatórios geológico-geotécnicos. A campanha de prospeção inclui realização de sondagens com ensaios de SPT, e ensaios DPSH. Nesse sentido temos modelos Geológico-Geotécnico distintos.

O modelo Geológico-geotécnico e parâmetros geotécnicos, obtidos com base nos valores de  $N_{SPT}$ , diz respeito ID5\_2016 – Ampliação da Escola Básica de Bidoeira. E encontra-se apresentado no Quadro 4-3.

Da consulta do relatório, constatou-se que a campanha de prospeção, apenas consistiu na execução de uma sondagem, com a realização de ensaios SPT. Com base na litologia identificada, areias finas medianamente compactas a compactas, são recomendadas fundações diretas, assente no terreno natural. O valor da tensão admissível, é determinado tendo em conta os valores de  $N_{SPT}$  em função da largura das sapatas (Sondagens do Oeste, SA, 2016e).

**Quadro 4-3 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na freguesia de Bidoeira, com base nos valores de  $N_{spt}$  (Sondagens do Oeste, SA, 2016e)**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/ consistência/ Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito (°)	Modulo de deformabilidade (MPa)
Atual	ZG2	1-20	-	Horizonte superior constituído por solo arenoso orgânico.	Solo orgânico	-	-	-	-
Plio- miocén	ZG1	15-35	Medianamente compactas a compactas	Unidade constituída por areias finas, surge aos 0,5m.	Areia fina	18-20	-	30-34	20-45

Os outros relatórios consultados, ID1\_2011 – Requalificação do CM1038, até ao limite do Concelho e ID7\_2020 – Construção da Unidade de Saúde de Bidoeira, onde a análise e definição das condicionantes geológicas e geotécnicas, se basearam na execução de ensaios

DPSH, e realização de poços para identificação de litologias e recolha de amostra para ensaios laboratoriais, obtém-se o modelo Geológico – Geotécnico constante no Quadro 4-4.

**Quadro 4-4 - Modelo Geológico-geotécnico com base nos valores de qd dos ensaios DPSH (adaptado de IPNlabgeo, 2011 e IPNlabgeo, 2020b)**

Unidade geotécnica	Descrição litológica	qd (MPa)
ZG1	Unidade constituída por solo arenoso, com espessura de 7,2 a 7,6m e surge à profundidade de 1,6m	1,6-6,0
ZG2	Unidade constituída por solo arenoso, surge a profundidade superior a 7,0 m	>6,0

Considerando o objetivo do relatório ID1\_2011, reabilitação de um arruamento, as considerações efetuadas no relatório, dizem respeito às condições de terraplenagens, recomendações a nível da escavação e características do leito de pavimento, tendo em conta os valores estipulados no Caderno de Encargos da EP<sup>16</sup>, bem como a possibilidade de reutilização dos materiais escavados em função dos ensaios. E disposições sobre a drenagem pluvial a executar (IPNlabgeo, 2011).

Quanto à consulta do relatório ID7\_2020, verifica-se que a unidade Geotécnica ZG1, solo arenoso surge até à profundidade dos 7,0 m, e a partir desta, aparecem a unidade geotécnica constituída por solo arenoso, com valores de resistência de ponta dinâmica elevados, a que corresponde a uma camada de maior resistência (IPNlabgeo, 2020b).

#### 4.2.3 Freguesia de Bajouca

Na freguesia da Bajouca, foram consultados dois relatórios, ID4\_2001– Pavilhão Desportivo da Escola da Bajouca e ID4\_2016 – Ampliação da Escola Básica de Bajouca, com a realização de sondagens e ensaios SPT, no Quadro 4-5, apresenta-se o modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados.

Da consulta do relatório ID1\_2001, verificou-se que as sondagens atingiram as negas, e foram detetados aluviões e aterros com espessuras da ordem dos 6,0 aos 10,0m. considerando este panorama, são recomendadas fundações indiretas (mico-estacas ou estacas) (SOPER, 2011).

<sup>16</sup> Agora Infraestruturas de Portugal

**Quadro 4-5 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na freguesia de Bajouca, com base nos valores de  $N_{spt}$  (adaptado de SOPER, 2011 e Sondagens do Oeste, SA, 2016d).**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/consistência/Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito (°)	Modulo de deformabilidade (MPa)
Atual	ZG3	-	-	Horizonte superior constituído por solo arenoso orgânico.	Solo orgânico	-	-	-	-
Plio-plistocénico	ZG2	33	Rija	Horizonte constituído por argila	Argila	19-20	80-100	-	30-40
	ZG1	33-60	Compacta a muito compacta	Unidade constituída por areias com seixos. Surge aos 3m de profundidade.	Areias com seixos	20-22	0-5	32-36	40-80

Da consulta do relatório, ID4\_2016, constatou-se que a campanha de prospeção, apenas consistiu na execução de uma sondagem, com a realização de ensaios SPT. Com base na litologia identificada, areias com seixos compactas a muito compactas e argilas de consistência rija, são recomendadas fundações diretas, assente no terreno natural. Foi detetado nível freático aos 3,0m, pelo que é recomendável o recurso de métodos para o rebaixamento temporário (Sondagens do Oeste, SA, 2016d).

#### 4.2.4 Freguesia de Caranguejeira

Na freguesia da Caranguejeira foi apenas consultado um relatório destinado à análise e definição das condicionantes geológicas e geotécnicas do projeto de construção e beneficiação da “Variante da Caranguejeira – 2ª Fase”, localizada no concelho de Leiria, que se desenvolve numa extensão de cerca de 2,5km (ID2\_2010).

A prospeção geotécnica corrente e especial consistiu na execução de poços de prospeção e ensaios DPSH, respetivamente. Dos poços foram recolhidas as amostras e realizados ensaios laboratoriais.

Considerando que o intuito do relatório, se destinou à caracterização de estudo geológico e geotécnico para a execução de um projeto rodoviário, não foi apresentado um Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos em profundidade. Com base nos resultados apurados, foram dadas considerações quanto às terraplenagens (com base na cota da rasante necessário procedera escavações ou aterro e remoção da terra vegetal), escavações (com base

nos valores da dos ensaios DPSH, necessário ou não recurso de maíores mecânicos e necessidade de contenção periférica). Quanto aos aterros, fundação e leito do pavimento, estes devem ter em atenção aos resultados dos ensaios laboratoriais, que devem ser compatibilizados com os valores de referência discriminados no Caderno de Encargos das IP – Infraestruturas de Portugal, que estabelecem um conjunto de critérios que os materiais têm que obedecer para serem utilizados nos aterros, fundação e leito do pavimento (IPNlabgeo, 2010b).

#### **4.2.5 União de Freguesias de Colmeias e Memória**

Em Colmeias foi apenas consultado um relatório destinado à análise e definição das condicionantes geológicas e geotécnicas do projeto de construção e beneficiação da “Caminho Paralelo ao IC2 entre o km 133+373 e o km 133+895, que se desenvolve numa extensão de cerca de 780m (ID8\_2020).

A prospeção geotécnica corrente e especial consistiu na execução de poços de prospeção e ensaios DPSH, respetivamente. Dos poços foram recolhidas as amostras e realizados ensaios laboratoriais. As considerações do relatório são idênticas ao item anterior (IPNlabgeo, 2020).

#### **4.2.6 União de Freguesias de Marrazes e Barosa**

Na União de freguesias de Marrazes e Barosa, foram consultados dois relatórios, ID1\_2016 Centro Escolar de Marrazes e ID8\_2016 – Ponte sobre o Rio Lis, com a realização de sondagens e ensaios SPT. No Quadro 4-6, apresenta-se o modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados.

Da consulta do relatório, ID1\_2016, não é mencionado o motivo pelo qual se terminaram as sondagens sem atingir as três negas consecutivas. Com base na litologia identificada, areias com seixo medianamente compacto, e que as cotas de implantação são próximas da atual superfície do terreno, são recomendadas fundações diretas, assente no terreno natural. Sendo aconselhável remoção do terreno superficial. Por outro lado, os solos arenosos, devidamente compactos, garantem boas condições de fundação (Sondagens do Oeste, SA, 2016a).

**Quadro 4-6 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na união de freguesias de Marrazes e Barosa, com base nos valores de  $N_{spt}$  (Adaptado Sondagens do Oeste, SA, 2016a e Sondagens do Oeste, SA, 2016h)**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/consistência/Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica ( $kN/m^3$ )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito (°)	Modulo de deformabilidade (MPa)
Atual	ZG5	7-11	-	Horizonte superior constituído por aterros.	Aterro	15-16	-	-	-
Moderno	ZG4B	4-9	Pouco compactas	Horizonte arenoso, constituído por areias finas, por vezes argilosas e algo lodosas	Areia fina p/v argilosa	16-17	0-5	27-30	5-10
	ZG5B	2-3	Mole	Unidade constituída por argila lodosa.	Argila lodosa	12-15	10-35	22-24	1-3
Pliocénico	ZG3	15	Dura	Representa o horizonte argiloso com areia	Argila com areia	18-19	20-40	26-28	10-20
	ZG2B	15-33	Medianament e compacta	Corresponde a areias finas a médias e médias a finas com seixos de dimensões variadas. Detetada a profundidades superiores a 1,5	Areia com seixos	18-20	-	30-32	20-40
	ZG2A	34-50	Compacta	Corresponde a areias finas a médias e médias a finas com seixos de dimensões variadas. Detetada a profundidades superiores a 6,0m.	Areia com seixos	20-22	0-5	32-34	40-60
Miocénico	ZG1A	$\geq 60$	Muito compactas	Horizonte constituído por areias cimentadas em matriz argilosa. Detetada a profundidade entre 9,5m e 12,5m.	Areia cimentada em matriz argilosa	21-23	10-30	34-36	>80

Relativamente ao relatório ID8\_2016, as unidades geotécnicas apropriadas para a implantação das fundações, correspondentes ao horizonte de areias cimentadas em matriz argilosa muito compactas, que ocorre identificadas a partir dos 9,5m e dos 12,5m de profundidade. Sendo o mais aconselhável a fundação indireta por estacas ou micro-estacas (Sondagens do Oeste, SA, 2016h).

#### 4.2.7 União de Freguesias de Monte Real e Carvide

Na União de freguesias de Monte Real e Carvide, foi consultado um relatório, ID2\_2016 – Implementação de Extensão de Saúde de Carvide e Monte Real com a realização de sondagens e ensaios SPT. No Quadro 4-7, apresenta-se o modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados.

Com base na litologia identificada, areias compactas, e que as cotas de implantação são próximas da atual superfície do terreno, são recomendadas fundações diretas, assente no terreno natural. Sendo aconselhável remoção do terreno superficial. Por outro lado, os solos arenosos, devidamente compactos, garantem boas condições de fundação (Sondagens do Oeste, SA, 2016b).

**Quadro 4-7 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na união de freguesias de Monte Real e Carvide, com base nos valores de  $N_{spt}$  (Sondagens do Oeste, SA, 2016b).**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/consistência/Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica ( $kN/m^3$ )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito ( $^\circ$ )	Modulo de deformabilidade (MPa)
Plio-plistocénico	ZG1B	16-24	Medianamente compactas	Esta unidade corresponde ao horizonte constituído por areia de granulometria muito fina, siltosa, foi detectado nas camadas inferiores, a partir dos 3.5m de profundidade.	Areia fina siltosa	18-19	0-5-	30-32	15-40
	ZG1A	28-52	compactas	Unidade constituído por areias finas a médias, por vezes siltosas e com pequenos seixos dispersos, detetada a partir dos 3,5m.	Areia fina a média, p/v siltosas com seixos	19-21	5-10	32-34	30-80

#### 4.2.8 União de Freguesias de Parceiros e Azoia

Na união de freguesias de Parceiros e Azoia, foi consultado um relatório, ID5-2020 – Construção da Unidade de Saúde de Parceiros, Azoia e Barosa, Projeto C, com a realização

de ensaios DPSH e poços para caracterização litológica, com base nos resultados foram definidas duas zonas geotécnicas, podem ser consultadas no Quadro 4-8.

Das considerações do relatório, constata-se que é recomendável a utilização das camadas com  $q_d > 30$  MPa. O terreno é caracterizado por possuir elevada resistência, logo apresenta um bom comportamento mecânico (IPNlabgeo, 2020c).

**Quadro 4-8 - Modelo Geológico-geotécnico com base nos valores de  $q_d$  dos ensaios DPSH (IPNlabgeo, 2020c)**

Unidade geotécnica	Descrição litológica	$q_d$ (MPa)
ZG1	Unidade constituída por solo arenoso, com espessura máxima de 1,6 m	>3,0
ZG2	Unidade constituída por solo arenoso, surge à profundidade entre 0,6m e 1,6 e a espessura varia entre 1,0m e 1,4m.	4-30
ZG3	Unidade constituída por solo arenoso, surge à profundidade 1,6m.	>30,0

#### 4.2.9 União de Freguesias de Santa Eufémia e Boa Vista

Na União de freguesias de Santa Eufémia e Boa Vista, foram consultados três relatórios. A campanha de prospeção inclui realização de sondagens com ensaios de SPT, e ensaios DPSH.

O modelo Geológico-geotécnico e parâmetros geotécnicos, representados no quadro 4-9, foram obtidos com base nos valores de  $N_{SPT}$ , diz respeito ao ID6\_2016 – Ampliação da Escola Básica de Caxieira e ID7\_2016 – Ampliação da Escola Básica de Machados. Para a caracterização dos terrenos destinados ao pontão do Sirol, ID1\_2021, foram realizados ensaios DPSH. Para confirmação da litologia dos materiais atravessados pelos ensaios DPSH, foram realizados dois furos de sondagem. Neste último caso, o prestador utilizou as correlações, o valor de resistência média à penetração do PDSH ( $N_{20}$ ).

Da consulta do relatório, ID6\_2016, constatou-se que a campanha de prospeção, apenas consistiu na execução de uma sondagem, com a realização de ensaios SPT. No relatório não é mencionado o motivo pelo qual se terminou a sondagem sem atingir as três negas consecutivas. É referido que as condições de fundações mencionadas são meramente indicativas, aconselham a confirmação com a realização de um estudo complementar. Apesar desta recomendação, com base na litologia identificada, argilas de consistência dura a muito dura, são recomendadas fundações diretas, assente no terreno natural, a partir dos 2,0m (Sondagens do Oeste, SA, 2016f).

**Quadro 4-9 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na união de freguesias Santa Eufémia e Boa Vista, com base nos valores de  $N_{spt}$  e DPSH ( $N_{20}$ ) (adaptado Sondagens do Oeste, SA, 2016f, Sondagens do Oeste, SA, 2016g e Instituto Politécnico da Guarda, 2021).**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/ consistência/ Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica ( $kN/m^3$ )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito ( $^\circ$ )	Modulo de deformabilidade (MPa)
Atual	ZG4	-	-	Horizonte superior constituído por aterro e solo orgânico. Não foram realizados ensaios SPT neste horizonte	Aterro/ solo orgânico	-	-	-	-
Pliocénico	ZG3	4-13	Pouco compactas a medianamente compactas	Unidade constituída por silte e areia com argila, com seixos. Detetada à profundidade de 1,0m.	Silte/ areia com argila	18-19	0-5	28-30	10-40
	ZG2B	10-27	Dura a muito dura	Unidade constituída por argila.	Argila	18-20	50-80	-	10-30
Miocénico	ZG2A	43-60	Compactas a muito compactas	Unidade constituída por areias médias a finas, por vezes com argila. Detetada à profundidade de 6,0m.	Areia média a fina	20-22	0-5	34-36	50-80
Cretácico	ZG1B	45	Rijas	Horizonte constituído por argila calcária. Detetada à profundidade de 9,75m	Argila calcária	20-21	>100	24-26	40-50
	ZG1A	$\geq 60$	-	Unidade constituída por calcário decomposto a muito alterado (fragmentos calcários). Detetada à profundidade de 5,5m.	Fragmento calcário	21-23	-	33-36	50-100

Quanto ao relatório, ID7\_2016, constatou-se que a campanha de prospeção, apenas consistiu na execução de uma sondagem, com a realização de ensaios SPT. Com base na litologia identificada, areias e siltes, pouco a medianamente compactos até aos 5,6m de profundidade, são recomendadas fundações indiretas, com recurso a estacas ou microestacas. Em alternativa, pode ser adaptada ensoleiramento geral (Sondagens do Oeste, SA, 2016g).

Da consulta do relatório da Ponte do Sirol, ID1\_2021, é recomendado que os elementos de fundação indireta, por estacas, devem ser colocados em formações do Cretácico, profundidades superiores a 5,8m e 7,0m, as quais deverão ser encastradas nos materiais calcários, pelo menos três diâmetros (Politécnico da Guarda, 2021).

#### 4.2.10 União de Freguesias de Souto da Carpalhosa e Ortigosa

Nesta união de freguesias, foi consultado um relatório geológico-geotécnico, destinado para caracterizar o terreno para a execução de um Pavilhão Desportivo (ID1\_2007), com o objetivo principal definir as condições de fundação das estruturas. O modelo Geológico-geotécnico, podem ser consultados no Quadro 4-10.

**Quadro 4-10 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na freguesia de Souto da Carpalhosa e Ortigosa, com base nos valores de  $N_{spt}$  (Sopecate, 2007).**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/ consistência/ Alteração	Descrição litológica	Litologia
Atual	ZG2	6-8	Consistência média a muito dura	Constituída por depósitos de aterro, de natureza argilo-arenosa, com espessura variável, entre 2,8m e 4,5m	Aterro
Miocénico	ZG1B	22-60	Consistência muito dura a rija	Formação constituída por níveis argilo-margosos e argilo-arenosos e níveis areníticos e arenosos. Espessura 3,2m e 6,0	Argila-margosa e argilo-arenoso
	ZG1A	>60	Muito compactos	Formação constituída por arenito argiloso muito alterado e por areia fina a média algo argilosa e ou areia argilosa.	Arenitos a areia

A conclusão do relatório, com base nos valores dos  $N_{SPT}$  permitiam concluir a execução de fundações diretas, nas formações miocénicas, aconselhando a remoção dos depósitos de aterro. Se tal não for possível, a remoção destes depósitos, face às espessuras das mesmas e face aos taludes existentes nas proximidades, o mais aconselhável será a realização de fundações semi indiretas ou indiretas. Quanto à contenção dos taludes, recomendável a realização de trabalhos de contenção (Sopecate, 2007).

#### 4.2.11 União de Freguesias de Leiria, Pousos, Barreira e Cortes

Na união de freguesias de Leiria, Pousos, Barreira e Cortes, foi o local onde foram consultados mais estudos e realizadas mais campanhas de prospeção geotécnica.

Destacando-se SPT; ensaios DPSH, onde apenas indicam os registos contínuos em profundidade da resistência do material e a realização de ensaios CPTu.

No outro relatório, no Centro de Atividades Municipal, ID1\_2019, o prestador apenas apresentou os perfis contínuos dos ensaios de CPTu.

Nos quadros seguintes, apresentam-se diversos modelos Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados, com base apenas nos resultados dos ensaios de SPT, consoante as zonas anteriormente delimitadas.

Considerando as zonas definidas no capítulo anterior, temos obtemos os mais variados modelos Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados.

**- Primeira Zona** - lugar de Cortes, localizado a sul do Concelho de Leiria

Neste local, foram objeto de consulta dois relatórios geológico-geotécnicos realizados para a Implantação da Extensão da Extensão de Saúde, ID3\_2016 e a construção de um Pavilhão Gimnodesportivo das Cortes, ID1\_1997. O modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados, podem ser consultados no Quadro 4-11.

Da consulta do relatório, ID3\_2016, constatou-se a existência de solos de aterros de consistência dura até aos 2m de profundidade e de solos aluvionares de baixa consistência até aos 5,5m. Perante este cenário, e tendo em conta a cota de implantação do edifício (nível do terreno), pode-se optar por duas alternativas: remoção solo orgânico e ensoleiramento geral ou a execução de fundações indiretas, por estacas ou mio-estacas que deverão atingir a formação Jurássica.

Para os solos de pavimentos, após a remoção do solo orgânico, e considerando a baixa capacidade de suporte dos aterros, é necessário a execução de pelo menos duas camadas de leito de pavimento (Belbetões, 1997 e Sondagens do Oeste, SA, 2016c).

**Quadro 4-11 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na zona de Cortes, com base nos valores de  $N_{spt}$  (Sondagens do Oeste, SA, 2016c).**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/ consistência/ Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica ( $kN/m^3$ )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito ( $^{\circ}$ )	Modulo de deformabilidade (MPa)
Atual	ZG3	14-15	Dura	Horizonte de solos de aterros, constituídos por argilas	Aterro	18-19	20-30	22-24	10-20
	ZG2B	2-10	Mole a média	Representa o horizonte aluvionar argiloso por vezes com areia, com seixos e níveis areno-argilosos e lodoso.	Argila por vezes arenosa	16-18	5-20	26-28	2-10
Pleistocénico	ZG2A	33-60		Representa o horizonte aluvionar arenoso, constituído por areias médias a grosseiras com seixos e por seixos e cascalheiras calcárias com areia. Detetada à profundidade de 5,5m.	Areia com seixos/ Seixos cascalheira	19-22	0-5	32-36	20-60
	ZG1	$\geq 60$	Muito rija	Unidade constituída por por arenitos argiloso e siltitos arenosos Detetada à profundidade de 6,6m.	Arenito argiloso/ Silito argiloso	18-20	5-10	33-35	>60

### - Segunda Zona – Centro de Leiria – reabilitação de dois arruamentos

No centro da cidade de Leiria foram consultados dois estudos elaborados para a reabilitação de dois arruamentos. O primeiro estudo, destinado ao projeto do Sistema Viário da Av. Nossa Senhora de Fátima e Av. General Humberto Delgado, ID2\_2017, tem como principal objetivo a análise e definição das características geológicas e geotécnicas com relevo para a execução do projeto, pretendendo-se no essencial avaliar a resistência de fundação dos terrenos, neste caso a campanha de prospeção consistiu na realização de ensaios DPSH. O outro, realizado mais a sul, destina-se à caracterização da estrutura de pavimento existente da Rua D. José Alves Correia da Silva, ID4\_2020, para verificação das suas condições de

fundação, para posterior reabilitação do pavimento, a campanha de prospeção englobou a realização de uma sondagem à rotação com ensaios SPT, poços (para aferição das diferentes camadas constituintes do pavimento), carotes (para avaliação adicional das espessuras das camadas betuminosas) e ensaios de laboratório (recolhidas das amostras dos poços).

No relatório ID2\_2017, com base nos resultados dos DPSH, identificam o aumento da resistência em profundidade, sendo detetável material rochoso. A camada superficial, até cerca do 2,0m de profundidade corresponde às camadas de aterro/ solos de cobertura, sendo desmontáveis com recurso a meio mecânico (IPNlabgeo, 2017).

Da consulta do relatório, ID4\_2020, na zona destinada ao estudo da requalificação do arruamento Rua D. José Alves Correia da Silva, que prevê a execução de uma rotunda, nesse local foi executada apenas uma sondagem com ensaio de SPT. O modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados, podem ser consultados no Quadro 4-12.

**Quadro 4-12 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na Rua D. José Alves Correia da Silva, com base nos valores de  $N_{spt}$  (Sondagens do Oeste, SA, 2017)**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/ consistência/ Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica ( $kN/m^3$ )	Coesão (kPa)	Angulo de atrito ( $^{\circ}$ )	Modulo de deformabilidade (MPa)
Pliocénico	ZG1B	8	Solta	Horizonte superficial de areia fina.	Areia fina	15-16	-	28-30	10-15
	ZG1A	28-45	Medianamente compacta a compacta	Silte com areia, por vezes com seixos. Detetada a partir dos 3,0m.	Silte com argila	19-20	0-5	32-36	40-50

Considerando que o intuito do relatório, se destinou à caracterização de estudo geológico e geotécnico para a execução de um projeto rodoviário, não foi apresentado um Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos em profundidade. Com base nos resultados apurados, foram dadas considerações quanto às terraplenagens (com base na cota da rasante necessário procedera escavações ou aterro e remoção da terra vegetal), escavações (com base nos valores da dos ensaios DPSH, necessário ou não recurso de maiois mecânicos e necessidade de contenção periférica). Quanto aos aterros, fundação e leito do pavimento, estes devem ter em atenção aos resultados dos ensaios laboratoriais, que devem ser compatibilizados com os valores de referência discriminados no Caderno de Encargos das

IP – Infraestruturas de Portugal, que estabelecem um conjunto de critérios que os materiais têm que obedecer para serem utilizados nos aterros, fundação e leito do pavimento (IPLlabgeo, 2017 e Sondagens do Oeste, 2020d).

- **Terceira zona** – ao longo do rio lis, entre Pousos e Leiria para execução de pontes e de reformulação de outras existentes.

Aquando do programa PolisLeiria, ID1\_2002 – Pontes Polis e para a construção de uma outra ponte pedonal, cujo estudo, poe ser consultado em ID1\_2018 – Construção da Ponte Pedonal, Leiria, foram realizados uma companhia de sondagens ao longo das margens do rio, com execução de ensaios SPT, com vista à definição das características geológico-geotécnicas dos terrenos ocorrentes. O modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados, pode ser consultado no Quadro 4-13.

**Quadro 4-13 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos ao longo do Rio Lis, com base nos valores de  $N_{spt}$  (adaptado Tecnasol FGE, 2002 e Gabinete Serviços Geotécnicos, 2018)**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Descrição litológica	Litologia	Massa específica (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito (°)	Modulo de deformabilidade (MPa)
Atual	ZG4	2>60	Horizonte correspondente aos depósitos de aterro constituídos por areias argilosas, com fragmentos calcários e aluviões. Esta zona apresenta uma espessura compreendida entre 1,4 m e 7 m. Valores dos ensaios SPT efetuados nesta zona apresentam valores de 60, embora este valor esteja francamente majorado devido à presença de seixos nos locais onde se efetuaram os ensaios.	Aterro e aluviões	17-20	-	25-28	10
Moderno	ZG3	5-60	Horizonte aluvionar constituído por seixos calcários com areia. Os valores de NSPT mais elevados estão influenciados pela dimensão dos seixos existentes neste horizonte.	Seixo com areias	17-22	-	30-36	5-50
Cretácico	ZG2B	27 e ≥60	Caraterizada pelas argilas e areias do topo do substrato cretácico, e pelas areias da base das aluviões, entre os 2.0 e 6.0 m de profundidade. com espessuras de 24.5 e 25.5 m.	Argilas e areias	20	10-20	28-32	15-40
	ZG2A	≥50	É caracterizada pelos terrenos do Cretácico constituídos por argilas, siltes e areias em camadas que podem	Argilas/argilitos, siltes e areias	20-21	25-50	32-38	25-60

			apresentar espessuras individuais compreendidas entre 1.5 m e, pelo menos, 3.0 m. Desenvolve-se a partir dos 4,0 m de profundidade aos 9m.					
Jurássico	ZG1B	>60	É caracterizada pela areia/arenito desagregável da base e pelo arenito e argila arenosa. Desenvolve-se a partir das profundidades de 10.5 m e 13.5 m. A sua espessura é de 4,5m a 5.7 m..	Areia/arenito desagregável, arenito e argila arenosa	20	10-15	35-38	25-40
			Caraterizada pela argila margosa do topo do substracto jurássico e pela zona superior muito fracturada (F5) de calcário margoso. A percentagem de recuperação varia de 30% e 70%.	Argila Margosa, argilito e calcários margoso	20-21	40-50	32-35	50-60
	ZG1A	-	É caracterizada por marga e calcário margoso, por vezes com intercalações argilosas, muito (F5) a medianamente fracturado (F3), em que a percentagem de recuperação varia entre 70% e 100% e o índice de qualidade R.Q.D., quando existente, varia entre 30% e 100%, estando os valores mais frequentes compreendidos entre 50% e 90%.	Margas e calcários margosos	22-24	50-200	35-45	1E2-10E3

As recomendações previstas nos relatórios, engloba sugestões a nível das escavações de grande relevância, que deverão ser alvo de medidas de contenção adequadas, devido às más características dos terrenos superficiais e ocorrência de água. O tipo de fundação mais adequado será através de métodos indirectos, estacas ou microestacas, devendo solicitar as formações do Jurássico (Tecnasol FGE, 2002 e Gabinete Serviços Geotécnicos, 2018).

- **Quarta Zona** – na envolvente ao Edifício dos Paços do Concelho, onde foram consultados quatro estudos.

O primeiro estudo, realizado em 1999, ID1\_1999 – Logradouro do Edifício dos Paços do Concelho, Leiria, destinou-se ao estudo das características dos terrenos ocorrentes no logradouro do edifício dos Paços do Concelho, onde se pretendia construir um edifício com dois pisos e duas caves para estacionamento. Dois estudos, ID1\_2010 – Variante dos Capuchos e Via Distribuidora Local, Leiria e ID1\_2015 – Variante dos Capuchos e Via

Distribuidora Local, Leiria, foram destinados à execução da Variante dos Capuchos, e o último, ID1\_2019 – Requalificação/ Reabilitação do Edifício Villa Portela, Leiria.

Na proximidade e envolvência do Edifício dos Paços do Concelho (Município de Leiria), o modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados, retirados apenas dos relatórios ID1\_1999 e ID2\_2019, podem ser consultados no Quadro 4-14.

**Quadro 4-14 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na envolvência do Edifício dos Paços do Concelho, com base nos valores de  $N_{spt}$  (adaptado Teixeira Duarte, SA, 1999 e Sondagens do Oeste, SA, 2019)**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/ consistência/ Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito (°)	Modulo de deformabilidade (MPa)
Jurássico	ZG1B	11-49	Dura a rija	Corresponde ao horizonte de argilas calcárias. Apresenta um índice de recuperação a variar entre 9 e 82%.	Argila calcária	18-20	20-50	-	15-45
	ZG1A	>60	Rija	Corresponde ao horizonte de argila calcária rija e argilito margoso, com “negas” nos ensaios SPT. Inclui-se nesta unidade o pequeno horizonte de calcário intercetado no final da sondagem S1. Apresenta um índice de recuperação a variar entre 7 e 90%	Argila calcária/ Argilito margoso/ Calcário	21-22	80-150	-	>60

As condições de implantação mencionadas no relatório ID1\_1999, aconselha a execução das fundações nas formações mais rijas. O estudo foi realizado para estudo das características dos terrenos no logradouro do edifício dos Paços do Concelho, para a execução de caves para estacionamento e execução de um novo edifício. O terreno superficial, constituído por depósitos de aterro têm espessura desde 3,5m aos 5,0m. Na zona do estacionamento a escavação necessária para o efeito não atingirá as formações mais rijas, sendo aconselhável ensoleiramento geral, em alternativa às fundações diretas, pois estas teriam dimensão considerável. Para a zona destinada ao novo edifício, e por forma a solicitar as formações rijas do Jurássico, é aconselhável a realização de microestacas. Dadas as fracas características dos terrenos, é aconselhável a realização de contenção periférica (Teixeira Duarte, SA, 1999).

A campanha de prospeção consultada no relatório ID1\_2015, serviu como um estudo complementar para aferição das condições previstas na prospeção anterior.

No relatório ID1\_2010, a campanha de prospeção geotécnica corrente e especial, consistiu na execução de 12 poços, na realização de sondagens com execução de ensaios SPT e ensaios DPSH. Bem como a realização de ensaios laboratoriais sobre as amostras recolhidas dos poços. Esta campanha permitiu a consideração de diversos aspetos relacionados com a execução de um projeto rodoviário, não foi apresentado um Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos em profundidade. Com base nos resultados apurados, foram dadas considerações quanto às terraplenagens (com base na cota da rasante necessário procedera escavações ou aterro e remoção da terra vegetal), escavações (com base nos valores da dos ensaios DPSH, necessário ou não recurso de maíos mecânicos e necessidade de contenção periférica). Quanto aos aterros, fundação e leito do pavimento, estes devem ter em atenção aos resultados dos ensaios laboratoriais, que devem ser compatibilizados com os valores de referência discriminados no Caderno de Encargos das IP – Infraestruturas de Portugal, que estabelecem um conjunto de critérios que os materiais têm que obedecer para serem utilizados nos aterros, fundação e leito do pavimento (IPNlabgeo, 2010a).

Quanto ao relatório ID1\_2019, face aos dados do projeto e dado a presença de argilas calcárias duras a rijas, admitem-se fundações por sapatas à cota de projeto, assentes no terreno natural. A presença do nível freático á profundidade entre 1,0 e 2,0m, indica a necessidade de prever dispositivos de rebaixamento temporário de água, durante a obra (Sondagens do Oeste, SA, 2019).

- **Quinta Zona** - destinada à construção de três parques de estacionamento subterrâneos, do ID5\_2001 – Parque de estacionamento subterrâneo da Fonte Quente – Leiria, ID6\_2001 – Parque de estacionamento subterrâneo dr. Serafim Lopes Pereira- Leiria, e do ID7\_2001 – Parque de estacionamento subterrâneo no Largo Infancia n.º 7 - Leiria,

O modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados dos parques subterrâneos, o mesmo é apresentado no Quadro 4-15.

Pela consulta dos três relatórios, verifica-se que não foram efetuadas nenhuma considerações quanto ao tipo de fundações aconselháveis. Muito provavelmente a zona de implantação dos parques coincidirá com as formações da zona aluvionar, que possui fracas características, provavelmente aconselhável a execução de fundações indiretas, que penetram

os terrenos Jurássicos mais competentes. Deverá ter-se especial atenção a realização de contenção periférica, bem como à necessidade de dispositivos permanentes para rebaixamento do nível freático.

**Quadro 4-15 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos dos parques subterrâneos, com base nos valores de  $N_{spt}$  (adaptado Tecnasol FGE, 2001d; Tecnasol FGE, 2001e e Tecnasol FGE, 2001f)**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Descrição litológica	Litologia	Massa específica (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito (°)	Modulo de deformabilidade (MPa)
Atual	ZG3	$12 \geq 60$	É a zona superficial, representada pelos aterros de natureza arenosa, de grão médio a grosseiro, siltosa, e pavimentos betuminosos com brita calcária ( $D_{max}=10cm$ ). Espessura de 2,5m	Aterros e pavimentos betuminosos	18	-	25-28	5-10
	ZG2B	$\leq 30$	É caracterizada pelos materiais das aluviões, argilas e argilas margosas do substrato jurássico. Profundidade 1,5 aos 12m. caraterizada por areias de grão média a grosseiro, por vezes silto-argilosas, de cor castanha, com seixos subrolados ( $d_{max}=8cm$ )	Aluviões, argilas, argilas margosas, margas e fragmentos de marga	20	15-20	28-30	15-25
Jurássico	ZG2A	30-60	É caracterizada pelos materiais das aluviões, argilas e argilas margosas do substrato jurássico. Profundidade 1,5 aos 12m.	Aluviões, argilas e argilas margosas, margas e fragmentos de marga	20	20-30	30-32	25-40
	ZG1B	$\geq 60$	É caracterizada pelos terrenos do Jurássico constituídos por argilas margosas, margas e brecha carbonatada. No seio das margas observam-se por vezes veios e massas de gesso. Profundidade que surge 7 aos 24m.	Argilas margosas, margas e brecha carbonatada	21	40-50	32-35	50-60
	ZG1A	-	É caracterizada calcários margosos de cor cinzenta, medianamente a pouco alterado (w3-2) e com fraturas desde muito próximas (F5) a afastadas (F2). Profundidade de 5m a 7,5m.	Calcários margosos	22-24	100-200	40-45	1E3-10E3

- **Sexta zona** - engloba os estudos de caracterização geológico-geotécnica da Av. Heróis de Angola, (ID9\_2016 e ID2\_2020), Mercado de Municipal de Leiria (ID2\_2015) e Construção de um Silo Auto (ID1\_2020).

No caso do estudo na zona do Mercado Municipal (ID2\_2015), foram realizados ensaios de penetração estática CPTu, que possibilitaram uma avaliação detalhada do comportamento do subsolo. A avaliação é efetuada quer no que diz respeito à variedade dos parâmetros, aos quais através de correlações e permitem leituras contínuas do comportamento dos diferentes estratos atravessados. Os parâmetros geotécnicos adicionais que resultaram das aplicações de fórmulas da especialidade são: densidade relativa (%), módulo edométrico (MPa) e módulo de distorção inicial (MPa). Entre outras avaliações efetuadas com base em bibliografia especializada.

O modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados à Av. Heróis de Angola, Mercado Municipal e Silo Auto, encontra-se apresentado no Quadro 4-16.

**Quadro 4-16 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos da Av. Heróis de Angola, Mercado Municipal e Silo Auto, com base nos valores de  $N_{spt}$  (adaptado Sondagens do Oeste, SA, 2016i; Sondagens do Oeste, SA, 2020b; Sondagens do Oeste, SA, 2015 e Sondagens do Oeste, SA, 2020a)**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/consistência/Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito (°)	Modulo de deformabilidade (MPa)
Atual	ZG4	6-37	-	Aterros constituídos por areias argilosas com conteúdo orgânico, e por areia silto-argilosa, com fragmentos rochosos, e restos de raízes.	Aterro	14-20	-	25-28	-
	ZG3	0-18	Muito pouco a medianamente compacta	Depósitos aluvionares argilo-siltosos lodosos, e Areia de granulometria geralmente fina, argilosa	Argila siltosa lodosa e areia argilosa	12-18	0-40	20-23	1-20
		9-60	Pouco compacta a medianamente compacta		Seixos com areia e areia com seixos	17-22	-	28-34	10-40
Aluvião	ZG2B	0-24	Muito pouco compacta	Horizonte de areia algo lodosa, e depósitos aluvionares argilosos e argilo-arenosos, lodoso e areia de granulometria geralmente fina, por vezes lodosa e silte argiloso.	Areia algo lodosa e silte argiloso	12-16	0-45	10-45	2-30
	ZG2A	5-49	Medianamente compacta a compacta	Depósitos aluvionares arenosos de granulometria	Areia com seixos, silte argiloso e	17-19	20-40	24-40	8-60

				fina a grosseira com seixos, e silte argiloso e argila por vezes com areia	argila siltosa				
Jurássico	ZG1C	2	Mole	Argila com areia	Argila	15-16	20-40	20-22	2-4
	ZG1B	11-46	Dura a rijia	Argila margosa. Profundidade mim 8 e max 19,5	Argila margosa	18-20	10-40	24-28	10-50
	ZG1A	>51	rijia	Horizonte de argila margosa rijia / argilito margoso. O índice de recuperação, varia entre 13% e 59%. Profundidades desde 6m aos 31,5m.	Argila algo margosa /Argilito margoso	21-22	40-48	25-30	20-100

As considerações sobre as condições de fundação efetuadas nos relatórios, da Av. Heróis de Angola, ID9\_2016 e ID2\_2020, tendo em conta os resultados obtidos, aterros e aluviões, de fracas características geotécnicas, e presença do nível de água a pequenas profundidades, é aconselhável escavação com recurso a escavações, estabilização da base com rachão sobre geotêxtil e fundações indiretas, por estacas que deverão atingir as margas (níveis mais competentes) (Sondagens do Oeste, SA, 2016i e Sondagens do Oeste, SA, 2020b).

Quanto ao relatório do Mercado Municipal, ID2\_2015, tendo em conta os resultados obtidos, aterros e aluviões, de fracas características geotécnicas, e presença do nível de água a pequenas profundidades, a opção mais adequada é a execução de fundações indiretas, penetrando os terrenos do Jurássico. As escavações caso não seja possível realizar taludes com inclinação de 1V:1,5H, deverá ser prevista contenção. Deverão ser considerados dispositivos de rebaixamento do nível freático. Os taludes definitivos devem ter inclinação máxima de 1H:2V. a fundação deverá prever camada de rachão envolvida em geotêxtil e camada de material britado de granulometria extensa (Sondagens do Oeste, SA, 2015).

Do relatório do Silo Auto, ID1\_2020, mesmas recomendações das condições de implantação do que o do relatório ID2\_2015 (Sondagens do Oeste, SA, 2020a).

- **Sétima zona** – Corresponde à envolvente ao Estádio Municipal de Leiria, Dr. Magalhães Pessoa, foram consultados um conjunto de relatórios, destinados à construção do Estádio Dr. Magalhães Pessoa (ID1\_2001), execução de muros de contenção dos parques e acessos (ID3\_2001), Envolvente ao Estádio Dr. Magalhães Pessoa (ID2\_2001), Centro de

Atividades Municipal (ID2\_2019), Jardim da Almuinha Grande (ID1\_2017) e Acessos Mecânicos para acesso ao Castelo de Leiria (ID3\_2017), onde foram consultados cinco relatórios geológicos geotécnicos. O modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados a esta zona, encontra-se apresentado no Quadro 4-17.

Da consulta ao relatório ID1\_2001, constata-se que os terrenos com maior capacidade resistente, são os do Jurássico, que sendo o horizonte mais próprio e aconselhável para as fundações. Como há necessidade de proceder a escavações estas, colocam em determinadas zonas as camadas do Jurássico à superfície pelo que nesses locais é possível executar fundações diretas, noutros locais, é necessário recorrer a fundações indiretas (Tecnasol FGE, 2001a).

Da consulta ao relatório envolvente, ID2\_2001 e do relatório dos parques e muros de contenção, ID3\_2001, verifica-se pelas litologias atravessadas a camada mais resistente e maior compacidade, encontram-se a grandes profundidades pelo que é fundação mais aconselhável é a indireta, que deverá solicitar as camadas do Jurássico (adaptado Tecnasol FGE, 2001b e Tecnasol FGE, 2001c).

Quanto ao ID1\_2019, face às litologias atravessadas, pavimentos e toutvenant com espessuras entre 0,8 e 3,1m aluviões com espessura variável, entre 1,5 m e 5,7 m, assentes em camadas do jurássico, de maior capacidade resistente, é aconselhável escavação com meios mecânicos e nas zonas de maior capacidade resistente o eventual recurso ao martelo pneumático, necessário recorrer a medidas de contenção adequadas e métodos de rebaixamento do nível freático. Fundação mais adequada fundação indireta (Tecnasol FGE, 2019).

As condições de fundação referidas no relatório do Jardim de almuinha, ID1\_2017, dado à presença da formação aluvionar, constituídos por materiais de baixa resistência e /ou reduzida compacidade, o que indicam que os solos são deformáveis e com baixa capacidade de carga, mas considerando que estão previstas construções ligeiras, podem ser admitidas fundações diretas do tipo ensoleiramento geral. Para construção dos muros, admite-se aterro reforçado, e estacas de madeira ou microestacas, com reforço da fundação com colunas de brita (Sondagens do Oeste, SA, 2017).

**Quadro 4-17 – Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na zona envolvente ao Estádio Municipal, com base nos valores de  $N_{spt}$  (adaptado Tecnasol FGE, 2001a; Tecnasol FGE, 2001b; Tecnasol FGE, 2001c; Delta Tau, 2017, Sondagens do Oeste, SA, 2017 e Tecnasol FGE, 2019)**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/consistência/Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito (°)	Modulo de deformabilidade (MPa)
Atual	ZG3	2-60	Mole a rijo	É a zona superficial, representada por aterros e aluviões, de natureza essencialmente argilosa e/ou arenosa com seixos ( $D_{max}=10cm$ ) e de cascalheira, e pavimentos betuminosos e coluviões, de natureza essencialmente argili-siltosa e arenosa, com brita calcária ( $D_{max}=6cm$ ) e fragmentos de tijolo, restos de vegetais nos níveis mais superficiais. Esta zona apresenta uma espessura máxima de 12,0m.	Aterro e aluviões	17-19	-	25-28	5-10
	ZG2B	$\leq 30$	Mole a muito duro	É caracterizada pelas argilas, argilas margosas (por vezes arenosas ou com seixos associados), areias argilosas, margas e fragmentos e blocos de material carbonatado. De uma maneira geral ocorrem também fragmentos e nódulos margosos, passagens de calcário margoso, passagens carbonatadas, veios e massas de gesso. Profundidade de 0,5m aos 9m..	Argilas margosas, margas, siltes margosos e argilas	19-20	15-20	28-30	15-25
Moderno	ZG2A	30-60	Muito duro a rijo	De uma maneira geral ocorrem também fragmentos e nódulos margosos, passagens de calcário margoso, passagens carbonatadas, veios e massas de gesso. Profundidade de 0,5m aos 9m..	Brechas carbonatadas, calcários margosos, argilas margosas, siltes margosos, margas e argilas	20-22	20-30	30-32	35-80
	ZG1B	5-31	Média a muito dura	É caracterizada pelos terrenos do Jurássico constituídos por margas, argilas margosas (por vezes arenosas), areias finas e fragmentos e blocos de material margoso, e Argila com areia. No seio destes terrenos observam-se veios e massas de gesso, passagens argilosas, arenosas, carbonatadas e litificadas, nódulos margosos e blocos de calcário margoso. No seio das margas observam-se por vezes veios e massas de gesso. profundidade 3m aos 28,5m	Argila margosa	17-19	10-20	24-28	5-40
Jurássico	ZG1A	$\geq 60$	Rija	É caracterizada pelos terrenos do Jurássico constituídos por margas, argilas margosas (por vezes arenosas), areias finas e fragmentos e blocos de material margoso, e Argila com areia. No seio destes terrenos observam-se veios e massas de gesso, passagens argilosas, arenosas, carbonatadas e litificadas, nódulos margosos e blocos de calcário margoso. No seio das margas observam-se por vezes veios e massas de gesso. profundidade 3m aos 28,5m	Argila algo margosa /Argilito margoso	21-23	40-80	28-35	60-100

Da prospeção realizada da encosta do Castelo, ID3\_2017, terrenos de doleríticos e formação Jurássica calcária e margosas, a solução será escavar até ao duro (jurássico) para implantação das sapatas.

- **Oitava zona** – zona histórica de Leiria, onde foram realizados dois relatórios Geotécnicos, destinados ao estudo geológico-geotécnico do terreno, onde se pretendia implantar o Centro Cívico do Centro Histórico de Leiria, ID1\_2009. E outro para reforço Parcial da Rua Acácio Paiva, contíguo à Casa dos Pintores, ID2\_2021. Os modelos Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos associados a esta zona, encontra-se apresentado nos Quadros 4-18 e 4-19, respetivamente. Neste caso, optou-se por apresentar os dois modelos, dado à proximidade da localização das sondagens e atravessarem litologias diferentes, logo resultados diferentes.

Da consulta do relatório Centro Cívico, ID1\_2009, constata-se que as unidades do Holocénico não devem ser consideradas com fundação, pois possuem fraca resistência.

A unidade pertencente ao Jurássico, apresenta heterogeneidade em relação à sua resistência, e tendo em conta a presença do nível freático, a solução mais adequada é recurso a fundações indiretas, solicitando as camadas mais resistentes. Para a escavação, em função do tipo de solo precário, posição da água e proximidade de edifícios, é necessária contenção periférica (Sondagens do Oeste, SA, 2009).

Da consulta do relatório ID2\_2021, constata-se que face à presença de terrenos aluvionares de fracas características, é recomendado a adoção de fundações indiretas (Sondagens do Oeste, SA, 2021).

Quadro 4-18 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos no Centro Cívico (Zona Histórica), com base nos valores de  $N_{spt}$  (Sondagens do Oeste, SA, 2009)

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/ consistência/ Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito (°)	Modulo de deformabilidade (MPa)
Holocénico	ZG5	2-8	Mole a média	Camada superficial de aterro, constituída por argila orgânica com areia, com fragmentos calcários, restos cerâmicos, por vezes blocos calcários e restos de madeira. A espessura desta unidade é variável entre 2.4 m a 5.7 m.	Aterro	-	-	-	-
	ZG4	3-10	Média a dura	Horizonte constituído por argila siltosa com contaminação orgânica e por vezes com alguma fracção arenosa fina; surge de forma descontínua no subsolo e com espessuras variáveis entre 0.9 m a 1.7 m.	Argila siltosa orgânica por vezes com fracção arenosa fina	16-17	14-50	-	2-6
	ZG3	4-5	Mole a média	Corresponde a um nível de argila arenosa carbonatada, por vezes siltosa, com fragmentos e seixos calcários. Este horizonte surge de forma descontínua no subsolo e com espessuras modestas, variáveis entre 1.3 m a 1.8 m..	Argila arenosa carbonatada com seixos e fragmentos calcários	17	20-30	-	2-3
	ZG2B	2	Muito mole	Corresponde a um horizonte aluvionar constituído por um nível de argila lodosa com alguma fracção arenosa, com fragmentos de conchas, com uma espessura de 1.6 m para estes materiais.	Argila lodosa, com alguma fracção arenosa e conchas	15-16	10-15	-	<2
	ZG2A	5-28	Pouco compacta a medianamente compacta	Corresponde a um horizonte aluvionar, constituído por um horizonte arenoso composto por níveis de areia fina siltosa e de areia grosseira com seixos e cascalho passando em profundidade para um nível de cascalheira, com espessuras variáveis entre 2.1 m a 5.4 m.	Areias finas e grosseiras com nível de cascalheira	17-18	-	28-34	10-30
Jurássico	ZG1C	3-31	Mole	Corresponde ao substrato rochoso local, constituído por marga cinzenta, com gesso, com variações de composição entre a marga dolomítica e a marga calcária, menos frequentemente aparecem níveis de calcário margoso cinzento. Por vezes surge argila arenosa ou siltosa, carbonatada, à mistura com fragmentos rochosos carbonatados e nível constituído por areias e siltes carbonatados, com fragmentos rochosos calcários.	Argila, por vezes arenosa, carbonatada	16-18	14-150	-	3-25
	ZG1B	40-60	Dura a rijá		Marga, por vezes com gesso	18-19	140-180	-	30-50
	ZG1A	>60	Rijá		Marga, por vezes com gesso, e nível de calcário margoso	19-20	>200	-	50-140

No Quadro 4-19, apresenta-se o modelo geológico-geotécnico da Rua Acácio Paiva.

**Quadro 4-19 - Modelo Geológico-geotécnico e os parâmetros geotécnicos na Rua Acácio Paiva, com base nos valores de  $N_{spt}$ . (Sondagens do Oeste, SA, 2021)**

Formação	Unidade geotécnica	$N_{spt}$	Compacidade/consistência/Alteração	Descrição litológica	Litologia	Massa específica (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (KPa)	Angulo de atrito (°)	Modulo de deformabilidade (MPa)
Atual	ZG4	5-16	-	Aterro detetado em todas as sondagens, constituído por areia argilosa, com seixos e fragmentos rochosos.	Aterro	15-17	-	-	-
	ZG3	0-18	Muito mole a mediana	Argila algo lodosa. Detetada a partir dos 3 m de profundidade.	Argila algo lodosa	12-16	10-45	22-24	1-8
Moderno	ZG2B	2-9	Muito solta a solta	Horizonte de areia fina a média por vezes com seixos e cascalheira, detetada numa sondagem, entre os 6.5m e os 9.5m de profundidade.	Areia fina a média p/v com seixos e cascalheira	17-17	0-5	24-28	2-15
	ZG2A	17-49	Medianamente compacta a compacta	Areia média a grosseira de coloração acastanhada, com seixos e cascalheira de dimensão variada.	Areia média a grosseira com seixos e cascalheira	18-21	5-10	30-36	30-60
Jurássico	ZG1B	23-49	Muito dura a rija	Argila algo margosa, detetada a partir dos 7,5m de profundidade.	Argila algo margosa	19-21	15-45	22-24	20-50
	ZG1A	> 60	Decomposto W5	Marga calcária, de coloração acinzentada, com gesso. Apresenta um índice de recuperação entre os 16 e 73%. Detetada a partir dos 9m de profundidade.	Marga calcária com gesso	21-22	40-80	25-30	60-80

### 4.3 Condições de fundação/ implantação

Dos relatórios consultados, constata-se, que as recomendações a nível das condições de implantação, as fundações solicitem solos da unidade geotécnica mais competente, que apresentem bom comportamento mecânico, caracterizados por valores de  $N_{SPT}$  mais elevados,

que normalmente ocorrem a profundidades superiores a 7m. Nestas situações, recomenda-se a adoção de fundações indiretas, com recurso a estacas ou microestacas. As microestacas podem ser seladas em estratos com  $N_{SPT}$  superior a 40.

Em alternativa, podem ser adoptadas fundações diretas, que solicitam solos de capacidade resistente mais fraca, mediante a execução de uma laje de fundação contínua – ensoleiramento geral – que permita distribuir tensões e minimizar assentamentos; fundação semi-direta (pegões).

Em locais constituídos por sedimentos de baixa consistência e/ou reduzida compacidade, ou seja, deformáveis e com baixa capacidade de carga, são pouco favoráveis à execução de fundações diretas. No entanto, podem ser admitidas a execução de fundações diretas, apenas em situações envolvendo solicitações muito pequenas, com execução de lajes de fundação contínuas (ensoleiramento geral).

Por outro lado, em algumas zonas o local em estudo, nas camadas superficiais, é constituído por litologias medianamente compactas a compactas e litologias rijas. Nestes casos, podem ser adotadas fundações diretas, assentes no terreno natural. Devendo admitir-se tensão de contato, que garantam a segurança à rotura e assentamentos reduzidos para as sapatas de dimensão corrente (até 3 m de largura) admissível, obtida pelo valor  $N_{SPT}$  em função da largura da sapata. Por norma, os projetistas relacionam os valores de tensão de segurança à rotura, de acordo com a Especificação LNEC E217-1968, “Fundações Diretas Correntes – Recomendações”, e considerando a resistência e os valores mais característicos das unidades mais competentes e de maior capacidade resistente, e admitem um coeficiente de segurança mínimo de 2.

Normalmente, a zona superficial da área em estudo é constituída por aterros, terrenos aluvionares, não apresentam condições nem características adequadas para suportarem as fundações, pelo que é recomendável a sua remoção. Dado que a espessura destas formações é variável, e por vezes bastante espessas, os relatórios recomendam a sua escavação com recurso a meios mecânicos (pás mecânicas e ou baldes de escavadoras). Havendo necessidade de proceder a escavações em zonas que apresentam elevada resistência à escavação, poderá ser necessário recorrer ao recurso de martelos hidráulicos de elevada energia para executar o desmonte.

Contudo, face às litologias menos competentes, a escavação necessitará de contenção periférica adequada ao nível de segurança exigível em obras deste tipo que minimizem as interferências com arruamentos, infraestruturas, serviços ou edifícios existentes no perímetro da obra, nomeadamente contenções tipo “Munique”, constituídas por perfis metálicos cravados no terreno na vertical, sendo o espaço entre eles preenchido de forma contínua com betão armado. É recomendável a inclinação para os taludes de escavação, de modo a proporcionar condições de estabilidade.

Quando à necessidade de remover e nivelar o terreno de modo a criar condições homogéneas de fundação, recomendam a execução de camada de leito de pavimento contínua, a espessura varia consoante as litologias e dos terrenos atravessados, podendo em alguns casos a colocação de rachão e geotextil. Esta camada deverá ser realizada em material granular compactado, com características de leito de pavimento – material britado de granulometria extensa (tout-venant), materiais arenosos ou solos do grupo A-1 AASHTO, devendo proceder-se ao controlo de compactação normal, o que contribui para boa condição de fundação. Solos com teor em água cerca de duas vezes superior ao teor óptimo, não é aconselhável a sua reutilização em aterro.

Uma das preocupações e recomendações, é a posição do nível freático, quando este se encontra muito superficial e interfira na construção, é recomendável a instalação de dispositivos drenantes (geodrenos), que para além de procederem ao rebaixamento do nível freático, minimizam a ocorrência de fenómenos de instabilização.

#### **4.4 Síntese**

No presente capítulo, procedeu-se à apresentação e análise dos resultados obtidos dos diversos relatórios geológicos geotécnicos consultados. Face à escassez de ensaios laboratoriais, os parâmetros geotécnicos foram determinados, recorrendo às diversas correlações necessárias para a obtenção dos dados de caracterização geomecânica. A maior parte dos mesmos, não apresenta a bibliografia utilizada. Quanto à investigação de superfície e respetivos métodos de prospeção geotécnica utilizado, verifica-se que o mais corrente é o STP. Os resultados destes ensaios permitem a obtenção de um modelo Geológico-Geotécnico e respetivos parâmetros geotécnicos, através das correlações.

Estes resultados, permitem obter parâmetros geotécnicos e definição do zonamento geológico-geotécnicos dos terrenos em estudo.

Quanto aos ensaios laboratoriais, poderiam ser realizados mais ensaios para determinação da resistência e deformabilidade, ensaios de corte e triaxiais e edométricos.

De uma forma genérica, considera-se que os elementos apresentados em cada relatório e as recomendações apresentadas são utilizadas nas tomadas de decisão, nomeadamente quanto ao tipo e modo de escavação, fundações a adotar e a capacidade de carga dos terrenos, são aceitáveis, podendo ser melhoradas. Poderiam apresentar conclusões, que relacionassem os resultados entre si, pois uns influenciam os outros. Fornecem valores básicos que permitem o dimensionamento das estruturas de fundações nomeadamente a capacidade resistente do terreno ao carregamento e a avaliação de assentamentos.

## 5 Conclusões

### 5.1 Considerações finais

De acordo com os objetivos definidos inicialmente foram recolhidos e analisados quarenta e três (43) relatórios geotécnicos resultantes de ensaios de prospeção realizados para a construção de edifícios e infraestruturas no concelho de Leiria, obras essas a cargo do município.

Os relatórios apresentavam informação de natureza geológica (litologia e estratigrafia) e resultados de ensaios geotécnicos (de campo e laboratoriais) que foram reunidos para criar uma base de dados. A base de dados permite obter uma distribuição espacial, e em profundidade, de toda a informação contida nos relatórios, natureza dos materiais, as suas características físicas e mecânicas. Esta distribuição espacial da informação geológica e geotécnica vai permitir uma análise conjunta com as condicionantes existentes e sirva de apoio a tomadas de decisão sobre a ocupação do espaço e de apoio ao projeto e execução de estruturas de fundação e da utilização dos solos como materiais de construção.

Da análise dos relatórios, verificou-se que a recolha de informação é dificultada principalmente no que se refere aos ensaios laboratoriais, onde são apresentados apenas os resultados, quando poderiam ser efetuadas as referidas conclusões, que relacionassem os resultados entre si, pois uns influenciam os outros.

Por outro lado, constata-se que as conclusões apresentadas nos relatórios, são pouco objetivas em relação aos valores propostos para a capacidade de carga dos terrenos de fundações, cuidados a ter na execução da escavação e outras condicionantes que podem ser relevantes para a tomada de decisão dos projetistas.

A maior parte das conclusões das fundações, indicam que as mesmas solicitem solos da unidade geotécnica mais competente, que apresentam um bom comportamento mecânico, com valores de  $N_{SPT}$  superiores a 40, e que se encontram a profundidades elevadas, sendo aconselhável a execução de fundações profundas.

O modelo geológico-geotécnico é definido com base nos resultados obtidos dos ensaios, conjugada com a observação macroscópica. Este encontra-se em conformidade com o enquadramento dos terrenos que foram objeto de estudo, correspondem, de unidade

geotécnica menos competente para a mais competente, ao que corresponde às camadas de aterros, formações mais recentes, aluviões, que se sobrepõem a camadas mais antigas do Jurássico e Cretácico, permitindo obter um zonamento geotécnico em profundidade.

De uma forma geral as campanhas de ensaios realizadas, contemplam ensaios de campo e ensaios laboratoriais. O tipo de ensaios solicitado e a quantidade para a caracterização dos solos varia consoante o tipo e a dimensão da obra. Verifica-se que em muitos relatórios a campanha de ensaios é limitada, com um número de ensaios (campo e laboratoriais) insuficientes, considerando a área de implantação das construções, provavelmente por questões orçamentais e de prazos de execução apertados para prospeção.

Da análise dos relatórios consta-se que os ensaios de campo são os ensaios mais solicitados. Os ensaios de campo mais requeridos são os ensaios SPT e DPSH. Já os ensaios CPTu são quase residuais por serem mais dispendiosos e utilizarem tecnologia mais avançada. Nos ensaios de laboratório, os mais solicitados são os ensaios de análise granulométrica, limites de consistência, densidade seca, teor em água, azul de metileno, equivalente de areia e o ensaio CBR.

O ensaio de campo mais solicitado é o ensaio SPT, ensaio amplamente divulgado e de fácil execução. O valor do  $N_{SPT}$  pode igualmente ser utilizado para a estimativa de diversos parâmetros dos solos, através de várias correlações amplamente testadas, essenciais para o dimensionamento das estruturas de fundações.

Os ensaios DPSH também são muito requeridos, são ensaios rápidos e de fácil execução, e são solicitados para avaliar a resistência dos terrenos de fundação, nomeadamente para a execução de estradas. No entanto, estes ensaios são limitados por não permitirem a recolha de amostras, nem a observação e descrição dos materiais, sendo preteridos pelos ensaios SPT, ou auxiliados pela execução de poços.

Verifica-se que os ensaios laboratoriais de identificação, são mais solicitados para obras rodoviárias tendo em vista a classificação para a sua utilização como materiais de construção. Quanto aos ensaios laboratoriais, ensaios de corte, triaxiais e edométricos, que permitem a determinação das características mecânicas dos solos (ângulo de atrito interno, coesão e coesão não drenada, módulo de deformabilidade), propriedades fundamentais para avaliação da sua capacidade resistente e a deformabilidade dos solos, estes, poderiam ser realizados em maior quantidade.

Realça-se que a maior parte dos dados constantes nos relatórios, devem ser devidamente interpretados e tratados por técnicos da especialidade, para posteriores tomadas de decisões. Alerta-se que os dados de caracterização geotécnica não devem ser extrapolados, para solos vizinhos, pois os aspetos relevantes na caracterização de um determinado tipo de construção podem não o ser para outro tipo de obra. Estes devem servir para orientação, não dispensando a realização de um estudo geológico-geotécnico complementar, e no local exato onde vai ser realizada a obra e adequado a cada tipo de construção.

As figuras e quadros apresentados no terceiro capítulo, são alguns exemplos da informação disponível, do seu modo de visualização e que podem ser consultadas no SIG do Município.

Com base na investigação desenvolvida foi possível iniciar uma base de dados utilizando o sistema de Informação Geográfica da Câmara Municipal de Leiria. Esta base de dados atualmente contempla os todos os dados referentes aos relatórios aqui analisados e permite a inclusão de novos dados.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Com a informação recolhida, trabalhada e inserida no SIG da Câmara, será possível permitir desenvolver modelos Geológicos 3D e 2D das áreas estudadas, possibilitando a visualização das diversas litologias, reconhecimento do subsolo, de modo a permitir no futuro desenvolver capacitação para a integração do subsolo como parte das transformações urbanas necessárias à adaptação às mudanças climáticas e a criação de cartografia geotécnica do concelho, obtenção de mapas temáticos que seriam completados com outras informações relevantes para as tomadas de decisões.

É fundamental continuar a alargar esta base de dados e a informação sobre a caracterização geológica-geotécnica dos solos do concelho, com a inclusão de prospeções geotécnicas solicitadas pelo setor privado, sendo que deste modo, obter-se-ia uma informação e um reconhecimento dos terrenos numa área mais abrangente.

No futuro será importante que a informação agora introduzida no SIG do Município, seja compatibilizada com dados referentes às outras infraestruturas urbanas, existentes no subsolo, e no futuro poderem ser disponibilizadas e integradas nos modelos 2D e 3D, contribuindo para o desenvolvimento de metodologias de integração da informação, análise dos dados nomeadamente das diversas litologias, formas de visualização e comunicação da

informação de apoio à decisão, recomendações, testar ferramentas de visualização que permitam uma fácil compreensão da informação, para que os técnicos das Câmaras e Projetistas a possam utilizar nos seus projetos e nas ações de planeamento.

## Referências Bibliográficas

Amado, C; Velho, J; Veiga, A.; Quinta Ferreira, M. (2004). A acção antrópica e os riscos naturais/impactes ambientais: alguns exemplos na zona urbana de Leiria. 8.<sup>a</sup> Conferência de Ambiente, Tema Planeamento Ambiental e Ordenamento do Território, UTAD, Vila Real 10 páginas.

Antunes, A.I.A; Andrade, P.S.; Quinta-Ferreira, M.(2013). Caracterização Geotécnica de uma Área Carbonatada na Zona Urbana de Coimbra. 14<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, In CD de Anais, 14<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Rio de Janeiro.

Antunes, P. N. N. (2016). Técnicas de melhoramento de solos e metodologia de seleção. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Dissertação de mestrado.

Barroso, M.C.P.; Quinta-Ferreira, M.; Lemos, L.J.L. (1995). Considerações geológico-geotécnicas acerca dos aterros sanitários. 5<sup>o</sup> Congresso Nacional de Geotecnia, In Actas do 5<sup>o</sup> Congresso Nacional de Geotecnia, Coimbra.

Benta, A. A. R. C. e Almeida da (2007). Aspectos do Comportamento Geomecânico da Formação “Argilas de Aveiro”. Tese de doutoramento. Universidade de Aveiro, Aveiro.

Bowles, J.E. (1996). Foundations analysis and design, Fifth Edition, McGraw Hill International Editions, pp. 1175.

Brito, J. (2002). Técnicas de melhoramento de solos. Instituto Superior Técnico. DOI:[10.13140/RG.2.1.4648.4966](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4648.4966)

Cândido, M. A. F. (2010). Contributo para a Gestão do Risco Geotécnico na Construção de Túneis Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Carvalho, Ana Teresa (2018). Projeto e construção de estruturas de contenção associadas ao empreendimento de despoluição do rio Tamisa. Ciclo de Conferências Obras de Engenharia Geotécnica Portuguesa no Mundo Ordem dos Engenheiros Lisboa, 29 de janeiro de 2018, Disponível em:

[https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/despoluicaotamisa\\_anacarvalho\\_2018\\_01\\_29.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/despoluicaotamisa_anacarvalho_2018_01_29.pdf) Acesso em: 5 out 2020.

Correia, A. A. S. (2003). Métodos de Dimensionamento de Muros de Alvenaria de Tijolo Reforçados com Geossintéticos Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Correia, A. A. S. (2011). Aplicabilidade da técnica de deep mixing aos solos moles do Baixo Mondego”. Coimbra: [s.n.], tese de doutoramento. Universidade de Coimbra

Cruz, M. .L. S. (2004). Novas Tecnologias da Aplicação de Solo-Cimento. Dissertação de mestrado. Universidade do Minho, Braga.

Cruz, Nuno (2017). As pontes do Zambeze e as rotas do carvão. Ciclo de Conferências Obras de Engenharia Geotécnica Portuguesa no Mundo - Infraestruturas de transportes. Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 23 de maio de 2017. Disponível em: [https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/nuno\\_cruz.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/nuno_cruz.pdf) Acesso em: 5 out 2020.

Dias, E. B., Coutinho, M. A., Lopes, H. (2015). Quatro Décadas de Obras Geotécnicas no Porto de Leixões. 2º seminário Geotecnia Portuária, 23 de novembro de 2015. Disponível em:

[https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier\\_artigo/s5\\_6\\_hugolopesapresentacao\\_1953\\_9101056742f5e7896f.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/s5_6_hugolopesapresentacao_1953_9101056742f5e7896f.pdf), Acesso em: 5 out 2020.

F. Cerqueira, J. Neves (2014). Caracterização geológica e geotécnica da fundação da enscadeira da tomada de água do futuro reforço de potência do escalão de montante do aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor. LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP, Porto. Versão online: <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185>

Fernandes, Manuel de Matos (1995). Mecânica dos Solos – Vol. 2. Edições, FEUP, Porto

Fernandes, Manuel de Matos, (2006). “Mecânica dos Solos - Conceitos e Princípios Fundamentais - Volume 1,” Edições, FEUP, Porto

GEG (2017) Desafios geotécnicos na Cidade do México , AUSN – Autopista Urbana Siervo de la Nación Ciclo de Conferências Obras de Engenharia Geotécnica Portuguesa no Mundo - Infraestruturas de transportes. Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 23 de maio de 2017.

Disponível em: <https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/geg.pdf> Acesso em: 5 out 2020.

INE (2021). Resultados provisórios Censos 2021 – Contámos com todos. Disponível em [https://www.ine.pt/scripts/db\\_censos\\_2021.html](https://www.ine.pt/scripts/db_censos_2021.html), Acesso em: 21 jan 2022

Lapa, J., Cardoso, C., Figueiredo, A. (2017). Sistemas Geotérmicos no Campus da Universidade de Aveiro. Ação de Divulgação: Sistemas Geotérmicos Superficiais Aplicações em Edifícios e Infraestruturas. Ordem dos Engenheiros. Aveiro, 30 de março de 2017 Disponível em: [https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/2017\\_03\\_29\\_sgs\\_aei\\_joselapa.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/2017_03_29_sgs_aei_joselapa.pdf) Acesso em: 5 out 2020.

Lei n.º 30/2021, de 21 maio - Aprovação de medidas especiais de contratação pública e alteração ao Código dos Contratos Públicos. Diário da República n.º 99/2021, Série I de 2021-05-21, páginas 2 - 39

LNEG (2020-2022) Geoportal Energia e Geologia. Base de dados de sondagens – sondabase. Disponível em: <https://geoportal.lneg.pt/pt/bds/sondabase> Acesso em: 5 out 2020.

Loehr, J. E.; Lutenegger, A.; Rosenbland, B. & Boeckmann, A., (2016). Geotechnical Site Characterization - GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO.5. National Highway Institute. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration, Washington, D.C.

Lopes, I. M. F. (2005). Caracterização Geotécnica de solos no domínio das pequenas deformações. Aplicação do Método das ondas superficiais. Tese de Doutoramento. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.

Mallmann, A. M. (2020). Análise de solo modificado com cinza volante e cal para dimensionamento de pavimentos granítica. .Dissertação de Mestrado. Politécnico de Leiria, Leiria.

Mayne, P., Christopher, B. & DeJong, J. (2002). Subsurface Investigation – Geotechnical Site Characterization. Reference Manual. National Highway Institute. Department of Transportation Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation Washington, D.C..

Melâneo, Frederico (2017). Novas extensões do metro de Argel (Argélia). Ciclo de Conferências Obras de Engenharia Geotécnica Portuguesa no Mundo - Infraestruturas de transportes. Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 23 de maio de 2017. Disponível em: <https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/fredericomelaneo.pdf> Acesso em: 5 out 2020.

Melo, M. S. I. (2020). Correção de teor de umidade em solos para terraplenagem com adição de cal viva e pó de pedra granítica. Dissertação de Mestrado. Politécnico de Leiria, Leiria.

Moreira, M. M. P. (2011). Capacidade de Carga em Fundações Superficiais. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Município de Leiria (2014), Plano Diretor Municipal -Lugar do Plano, gestão do território e cultura – Quadro Estratégico Municipal – Hipóteses de atuação. Leiria.

Nunes, A.S.; Quinta-Ferreira, M. (1998). Os estudos geológicos e geotécnicos na beneficiação de estradas e pontes, Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro 84, Fasc. 2: 114 - 117.

Oliveira, R. , Gomes, C. & Guimarães, S. (2006). Engineering geological map of Oporto: A municipal tool for planning and awareness of urban geoscience. The Geological Society of London. IAEG2006 Paper number 615

Oliveira, S. X. C. (2017). Ensaio In Situ e Laboratoriais no estudo geológico e geotécnico de solos. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Ordem dos Engenheiros (2020). Manual de recomendações de geotecnia. Disponível em: [https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/noticias/manual\\_recomendacoes\\_na\\_area\\_da\\_geotecnia.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/noticias/manual_recomendacoes_na_area_da_geotecnia.pdf) Acesso em: 5 out 2020.

Pereira, Gustavo (2018). Desafios geotécnicos do sistema de transportes Grand Paris Express. Ciclo de Conferências Obras de Engenharia Geotécnica Portuguesa no Mundo Ordem dos Engenheiros Lisboa, 29 de janeiro de 2018, Disponível em: [https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/grandparis\\_gustavopereira\\_2018\\_01\\_29.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/grandparis_gustavopereira_2018_01_29.pdf) Acesso em: 5 out 2020.

Pereira, S. F. M. H. P. (2014). Atividades de Controlo do Risco Geotécnico em Edifícios: Campanha de Reconhecimento Geotécnico. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Pinto, A., Neves, M., Pita, X. (2015). Soluções Geotécnicas Aplicadas no Edifício do Terminal de Cruzeiros de Leixões. 2º seminário Geotecnia Portuária, 23 de novembro de 2015. Disponível em: [https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier\\_artigo/s2\\_3\\_xavierpitaapresentacao\\_98259207956742b84a18d7.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/s2_3_xavierpitaapresentacao_98259207956742b84a18d7.pdf), Acesso em: 5 out 2020.

Pinto, A. (2018). Desafios geotécnicos associados aos projetos de escavação e contenção periférica na baixa de Luanda. Ciclo de Conferências Obras de Engenharia Geotécnica Portuguesa no Mundo Ordem dos Engenheiros Lisboa, 29 de janeiro de 2018, Disponível em: [https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/baixaluanda\\_alexandreppinto\\_2018\\_01\\_29.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/baixaluanda_alexandreppinto_2018_01_29.pdf) Acesso em: 5 out 2020.

Pinto, R. N. M. G. (2008). Sistemas Construtivos de Estruturas de Contenção Multi-Apoiadas em Edifícios Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Portaria n.º 701-H/2008, de 29 de julho - Aprova o conteúdo obrigatório do programa e do projecto de execução, bem como os procedimentos e normas a adoptar na elaboração e faseamento de projectos de obras públicas, designados «Instruções para a elaboração de projectos de obras», e a classificação de obras por categorias. Diário da República n.º 145/2008, 1º Suplemento, Série I de 2008-07-29, páginas 37 - 80

Quinta-Ferreira, M.; Henriques, J. P.; Carvalho, J. (2014). Importância do estudo geológico de superfície para a estabilização do talude de Lapa dos Dinheiros, Seia IX CNG/2º CoGePLiP, Porto 2014 ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X

Ribeiro, A. L. S. (2010). Técnica de tratamento de solos – Jet Grouting - Acompanhamento de um caso real de estudo – Cais de Santa Apolónia e Jardim do Tabaco. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Rijo, M. (2016). Mecânica dos Solos E Fundações – Universidade de Évora, Évora

Rodrigues, A. R. (2019). Caracterização geológico-geotécnica de solos para aplicação em obra de reabilitação de via ferroviária. Relatório de Estágio Curricular de Mestrado. Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.

Rodrigues, A. R. D. (2018). Técnicas de Injeção. Jet Grouting, Aplicações e Regras de Dimensionamento. Dissertação de Mestrado. Politécnico de Leiria, Leiria.

Rodrigues, D. M. P. (2015). Caracterização da Fundação de Pavimentos com os Resultados do Ensaio com o Penetrometro Dinâmico Ligeiro. Relatório Final de Projeto de Mestrado. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.

Rosário, R. N. B. (2015). Subsídências na Mina do Espadanal em Rio Maior. Dissertação de Mestrado. Politécnico de Leiria, Leiria.

Silva, A. M. P. (2015). Caracterização Geológica e Geotécnica da Área compreendida entre o Lumiar e o Olival Basto. Relatório Final de Projeto de Mestrado. Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências - Departamento de Geologia, Lisboa.

Sousa Cruz, J. (2017). Projecto estruturante do eixo de integração rodoviária dos vales de Tuy, no estado de Miranda, Venezuela. Ciclo de Conferências Obras de Engenharia Geotécnica Portuguesa no Mundo - Infraestruturas de transportes. Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 23 de maio de 2017. Disponível em: [https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/sousa\\_cruz.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/sousa_cruz.pdf) Acesso em: 5 out 2020.

Tavares, C. B. F. T. (2010). Estudo geotécnico dos solos do vale do Leça no âmbito de uma obra de requalificação portuária. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto - Departamento de Engenharia Geotécnica do Instituto Politécnico do Porto, Porto.

Teacnasol (2018). Estabilização de talude – Barragem da Laúca. Ciclo de Conferências Obras de Engenharia Geotécnica Portuguesa no Mundo Ordem dos Engenheiros Lisboa, 29 de janeiro de 2018, Disponível em: [https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/taludelauca\\_joaofalcao\\_2018\\_01\\_29.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/taludelauca_joaofalcao_2018_01_29.pdf) Acesso em: 5 out 2020.

Teixeira, C., Zbyszewski, G., Torre de assunção, C., Manuppella, G.(1968). Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000. Notícia explicativa da folha 23-C (Leiria). Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal, 1968.

Thiesen, S. (2016). Aplicação de ferramenta SIG para mapeamento geotécnico e cartas de aptidão para fundação a partir de ensaios SPT: um estudo de caso em Blumenau/SC. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Vallejo L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002). *Ingenieria Geológica*. Pearson Educación. Madrid, 744 p.

Vaz, J. (2015). Casos de obra: terminal de cruzeiros de leixões. Projeto estrutural. 2º seminário Geotecnia Portuária, 23 de novembro de 2015. Disponível em: [https://www.ordemengenhadores.pt/fotos/dossier\\_artigo/s2\\_2\\_joaovazapresentacao\\_105051821856742b0c99435.pdf](https://www.ordemengenhadores.pt/fotos/dossier_artigo/s2_2_joaovazapresentacao_105051821856742b0c99435.pdf) Acesso em: 5 out 2020.

Veiga, A. Q. N. (2011). Caracterização Geotécnica dos Terrenos do Vale Tifónico Parceiros-Leiria (Tese de Doutoramento não editada). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra.

Veiga, A., “Estruturas de Suporte e Melhoramento de Solos, Apontamentos da unidade curricular de Estruturas de Suporte e Melhoramento de solos.” 2021.

Veiga, A.; Quinta-Ferreira, M (2010). Caracterização geotécnica das aluviões do rio Liz em Leiria, com base em ensaios “in situ”. 12º Congresso Nacional de Geotecnia: Prospecção e Caracterização Geotécnica.

Veludo, João, “Estruturas de Suporte e Melhoramento de Solos, Apontamentos da unidade curricular de Estruturas de Suporte e Melhoramento de solos.” 2021.

Versão online: <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185> Comunicações Geológicas (2014) 101, Especial III, 1147-1150

Vieira, A., Maranhã, J. (2017). Princípio de funcionamento de geoestruturas termoativas: a importância da interação solo-estrutura. Ação de Divulgação: Sistemas Geotérmicos Superficiais Aplicações em Edifícios e Infraestruturas. Ordem dos Engenheiros. Aveiro, 30 de março de 2017 Disponível em: [https://www.ordemengenhadores.pt/fotos/editor2/2017\\_03\\_29\\_sgs\\_aei\\_anavieira.pdf](https://www.ordemengenhadores.pt/fotos/editor2/2017_03_29_sgs_aei_anavieira.pdf) Acesso em: 5 out 2020.

## **Especificações e Normas**

ASTM D 2487-11 1996 – Classification of soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

ASTM D 2938 – 95, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of intact Rock Core Specimens

EN 1997-3:2000, Eurocode 7: Geotechnical design. Part 3: Design assisted by fieldtesting

LNEC (1970). E 240. Solos – Classificação para fins Rodoviários

LNEC. (1966). E 196. Solos – Análise Granulométrica.

LNEC. (1966). E 197. SOLOS – Ensaio de Compactação.

LNEC. (1967). E 198. SOLOS – Determinação do CBR.

LNEC. (1967). E 199. Solos – Ensaio de equivalente de areia.

LNEC. (1968). E 218. PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA DE TERRENOS – Colheita de Amostras.

LNEC. (1968). E 219. PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA DE TERRENOS – Vocabulário

LNEC. (1968). E217. Fundações Diretas Correntes. Recomendações “Especificação do LNEC, Lisboa.

LNEC. (1970). E 239. Solos – Análise Granulométrica por peneiração húmida.

NF. (1998). NF P94-068. SOLS: reconnaissance et essais – Mesure de la capacité d’absorption de bleu de méthylène d’un sol ou d’un matériau rocheux – Détermination de la valeur de bleu de méthylène d’un sol ou d’un matériau rocheux par l’essai à la tache.

NP ENV 1997-1:2010, Eurocódigo 7: Projecto geotécnico. Parte 1: Regras gerais, Termo de Homologação nº 52/2010, de 11 de março, Instituto Português da Qualidade.

NP ENV 1997-2:2010, Eurocódigo 7: Projecto geotécnico. Parte 2: Projeto assistido por ensaios, Termo de Homologação nº 199/2006, de 7 de dezembro, Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1998-5:2010, Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 5: Fundações, estruturas de suporte e aspectos geotécnicos, Termo de Homologação nº 64/2010, de 17 de março, Instituto Português da Qualidade

NP. (1965). NP-83-1965. SOLOS – Determinação da densidade das partículas sólidas.

NP. (1965). NP-84. SOLOS - Determinação do teor em água.

NP. (1969). NP-143-1969. SOLOS – Determinação dos limites de Consistência

### **Relatórios geológicos e geotécnicos consultados**

Belbetões – Fundações e Betões Especiais, Lda (1997). Pavilhão Gimnodesportivo da Freguesia de Cortes – Leiria – Relatório de Reconhecimento Geotécnico. A Encosta – Sociedade de Construções, Lda. Dezembro 1997.

DeltaTau – Sondagens e Estudos Geotécnicos, Lda (2017). Acessos mecânicos ao Castelo de Leiria - Relatório Geotécnico. AMVC Arquitetos. Maio 2017.

Gabinete de Serviços Geotécnicos, Lda (2018). CONSTRUÇÃO DE PONTE PEDONAL – LEIRIA – Relatório Geotécnico. RIORTICO, Engenharia. Agosto 2018.

Geoalgar - Consultoria em Geotecnia, Hidrogeologia e Ambiente (2021). Terreno destinado à reabilitação de 6 pontões na freguesia de Amor – estudo Geológico-Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Agosto 2021.

Instituto Politécnico da Guarda – Laboratório de Geotecnia (2021). Ponte da ribeira Sirol Santa Eufémia – Leiria – Estudo Geotécnico. COVIENG, Engenharia. Março 2021.

IPNlabgeo - Instituto Pedro Nunes – UC (2010a). Variante de Capuchos e Via Distribuidora Local – Leiria – Estudo Geológico Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Julho 2010.

IPNlabgeo - Instituto Pedro Nunes – UC (2010b). Variante da Caranguejeira – 2ª Fase – Leiria – Estudo Geológico Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Setembro 2010.

IPNlabgeo - Instituto Pedro Nunes – UC (2011). Beneficiação do CM 1038, até ao limite do Concelho – Leiria - – Estudo Geológico Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Março 2011.

IPNlabgeo - Instituto Pedro Nunes – UC (2017). Sistema Viário da Avenida Nossa Senhora de Fátima e Avenida Humberto Delgado (PEDU), Leiria – Estudo Geológico Geotécnico Central Projetos, Lda. Abril 2017.

IPNlabgeo - Instituto Pedro Nunes – UC (2020a). Construção da Unidade de Saúde de Amor – Projeto A – Estudo Geológico Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Novembro 2020.

IPNlabgeo - Instituto Pedro Nunes – UC (2020b). Construção da Unidade de Saúde de Bidoeira – Projeto B – Estudo Geológico Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Novembro 2020.

IPNlabgeo - Instituto Pedro Nunes – UC (2020c). Construção da Unidade de Saúde de Parceiros, Azóia e Barosa – Projeto C – Estudo Geológico Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Novembro 2020.

IPNlabgeo - Instituto Pedro Nunes – UC (2020d). Caminho Paralelo ao IC2 entre o km 133+373 e o km 133+895, Leiria - – Estudo Geológico Geotécnico. Aquavia, Lda. Novembro 2020.

Sondagens do Oeste, SA (2009). Centro Cívico do Centro Histórico de Leiria – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Setembro 2009.

Sondagens do Oeste, SA (2015). MERCADO MUNICIPAL DE LEIRIA – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Outubro 2015.

Sondagens do Oeste, SA (2016a). CENTRO ESCOLAR DE MARRAZES – Relatório Geotécnico. Ciratecna – Gabinete de Estudos e Projetos, Lda. Março 2016.

Sondagens do Oeste, SA (2016b). IMPLANTAÇÃO DE EXTENSÃO DE SAÚDE DE CARVIDE E MONTE REAL – LEIRIA – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Abril 2016.

Sondagens do Oeste, SA (2016c). IMPLANTAÇÃO DE EXTENSÃO DE SAÚDE DE CORTES – LEIRIA – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Abril 2016.

Sondagens do Oeste, SA (2016d). AMPLIAÇÃO DA ESCOLA BÁSICA DE BAJOUCA – LEIRIA – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Julho 2016.

Sondagens do Oeste, SA (2016e). AMPLIAÇÃO DA ESCOLA BÁSICA DE BIDOEIRA – LEIRIA – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Julho 2016.

Sondagens do Oeste, SA (2016f). AMPLIAÇÃO DA ESCOLA BÁSICA DE CAXIEIRA – LEIRIA – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Julho 2016.

Sondagens do Oeste, SA (2016g). AMPLIAÇÃO DA ESCOLA BÁSICA DE MACHADOS – LEIRIA – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Julho 2016.

Sondagens do Oeste, SA (2016h). PONTE SOBRE O RIO LIZ – LEIRIA – Relatório Geotécnico. COVIENG, Engenharia. Setembro 2016.

Sondagens do Oeste, SA (2016i). SISTEMA URBANO DO EIXO COMERCIAL DA AV. HEROIS DE ANGOLA (PEDU) – ELABORAÇÃO DOS PROJECTOS DE EXECUÇÃO DE INFRAESTRUTURAS LEIRIA – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Outubro 2016.

Sondagens do Oeste, SA (2017). JARDIM DA ALMOINHA GRANDE – LEIRIA – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Março 2017.

Sondagens do Oeste, SA (2019). REQUALIFICAÇÃO/REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO VILLA PORTELA – Leiria – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Maio 2019.

Sondagens do Oeste, SA (2020a). CONSTRUÇÃO DE UM SILO AUTO – LEIRIA – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Março 2020.

Sondagens do Oeste, SA (2020b). SISTEMA URBANO DO EIXO COMERCIAL E ENVOLVENTE DA AV. HEROIS DE ANGOLA (PEDU) LEIRIA – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Maio 2020.

Sondagens do Oeste, SA (2020c). Requalificação de um Pontão – Amor – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Setembro 2020.

Sondagens do Oeste, SA (2020d). EIXO COMERCIAL E ENVOLVENTE DA RUA D. JOSÉ ALVES CORREIA DA SILVA REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS E CONSTRUÇÃO DE ROTUNDA LEIRIA - RELATÓRIO GEOTÉCNICO. Câmara Municipal de Leiria. Outubro 2020.

Sondagens do Oeste, SA (2021). REFORÇO PARCIAL DA RUA ACÁCIO PAIVA, CONTÍGUO À CASA DOS PINTORES - Relatório Geotécnico. LENA - Engenharia e Construções S.A.. Julho 2021.

Sopecate (2007). Pavilhão Desportivo no Souto da Carpalhosa – Leiria – Relatório Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Março 2007.

SOPER - Sociedade Luso-Italiana de Perfurações e Fundações, Lda (2001). Pavilhão Desportivo da Escola da Bajouca – Leiria – Reconhecimento Geológico e Geotécnico. A Encosta, S.A.. Agosto 2001.

Tecnasol FGE (2001a). Estádio Dr. Magalhães Pessoa – Leiria. Relatório prospecção geológico-geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Abril 2001.

Tecnasol FGE (2001b). Envolvente ao Estádio Dr. Magalhães Pessoa – Leiria – Leiria. Relatório prospecção geológico-geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Maio 2001.

Tecnasol FGE (2001c). Muros de contenção dos parques e acessos - Leiria. Relatório prospecção geológico-geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Agosto 2001.

Tecnasol FGE (2001d). Parque de estacionamento subterrâneo da Fonte Quente – Leiria – Leiria. Relatório prospecção geológico-geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Setembro 2001.

Tecnasol FGE (2001e). Parque de estacionamento subterrâneo dr. Serafim Lopes Pereira-Leiria. Relatório prospecção geológico-geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Setembro 2001.

Tecnasol FGE (2001f). Parque de estacionamento subterrâneo no Largo Infância n.º 7 - Leiria. Relatório prospecção geológico-geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Outubro 2001.

Tecnasol FGE (2002). Sondagens para o Programa Polis em Leiria – 2<sup>a</sup> Fase. LeiriaPolis – Sociedade para o Desenvolvimento do Programa Polis em Leiria. Junho 2002

Tecnasol FGE (2015). Variante de Capuchos - Leiria. Relatório prospecção geológico-geotécnico. Oliveiras – Engenharia e Construção S.A.. Fevereiro 2015.

Tecnasol FGE (2019). CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DO TERRENO DESTINADO AO CENTRO DE ATIVIDADES MUNICIPAL - LEIRIA. Relatório prospecção geológico-geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Outubro 2019.

Teixeira Duarte, SA (1999). Remodelação e Restauração do Edifício do Paços do Concelho – Leiria – Relatório do Reconhecimento Geotécnico. Câmara Municipal de Leiria. Dezembro 1999.