



Universidade de Coimbra

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Ciências da Terra

Condições geológicas e geotécnicas da fundação para um edifício na Av. Fernão de Magalhães, em Coimbra

Geological and geotechnical conditions of the foundation for a building at Av. Fernão de Magalhães, Coimbra

António Barreto Calheiros

Mestrado em Geociências

Setembro, 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

**Condições geológicas e geotécnicas da fundação para
um edifício na Av. Fernão de Magalhães, em Coimbra**

Geological and geotechnical conditions of the foundation for a
building at Av. Fernão de Magalhães, Coimbra

António Barreto Calheiros

MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS

Orientador Científico:

Prof. Dr. Mário Quinta Ferreira*

*Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Setembro, 2017



**Condições geológicas e geotécnicas da fundação para um
edifício na Av. Fernão de Magalhães, em Coimbra**

António Barreto Calheiros

Resumo

Procura-se fazer a análise das condições geológicas e geotécnicas do local do futuro Centro de Saúde Fernão de Magalhães. Dividiu-se o trabalho em seis capítulos: o primeiro consiste numa introdução, na qual são descritos os objetivos do trabalho, bem como uma breve introdução histórica e um enquadramento geográfico e geológico; no segundo capítulo é descrito o enchimento aluvionar do Mondego tendo em conta as glaciações, a erosão e a ocupação humana da área em estudo; o terceiro capítulo é dedicado à descrição das técnicas de prospeção e a sua importância; no quarto capítulo descrevem-se os trabalhos de prospeção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães tendo em conta as sondagens realizadas, o zonamento geotécnico atribuído e a arqueologia; no quinto capítulo apresentam-se várias condicionantes à realização do projeto, nomeadamente a presença de património arqueológico ou a falta de condições geológicas e geotécnicas para a realização do projeto; o último capítulo diz respeito às conclusões do trabalho.

Reunindo as características geológicas e geotécnicas dos terrenos foi possível distinguir quatro unidades geotécnicas observadas. O zonamento geotécnico atribuído foi, unidade geotécnica UG1 – Aterro, UG2 – Aluvião, UG3 – Solo Argiloso e UG4 – Margas e Calcários. Deste zonamento geotécnico conclui-se que existem unidades geotécnicas que apresentam características não adequadas à construção de edifícios

De acordo com o relatório arqueológico, se a fundação for realizada acima do nível arqueológico deverá ser necessário acompanhamento arqueológico na fase de execução das fundações. Caso se opte por fundações mais profundas deverá ser necessário realizar previamente sondagens arqueológicas. As decisões vinculativas serão da responsabilidade da Direção Regional de Cultura do Centro.

Palavras – Chave:

- Geologia;
- Geotecnia;
- Prospeção *in situ*;
- Zonamento geotécnico;
- Fundações de edifícios.

Abstract

It is sought of this paper to provide an objective assessment of the geological and geotechnical conditions of the areas where will be the future Health Primary Care Center Fernão de Magalhães. The work was divided into six chapters: the first one is an introduction, in which the objectives of the work are listed, as well as a brief historical introduction and a geographic and geological framework; in the second chapter the river Mondego alluvial deposit is described taking into account the glaciations, erosion and human occupation of the area under study; the third chapter is dedicated to the explanation of prospecting techniques as well as their importance; in the fourth chapter the exploration works of the Fernão de Magalhães Health Center are described, taking into account the surveys carried out, the assigned geotechnical zoning and archeology itself; in the fifth chapter presents the several constraints to the realization of the project, such as the presence of archaeological heritage or the lack of geological and geotechnical conditions for the realization of the project as it is; finally the last one it's dedicate to the conclusions of the paper.

By combining the geological and geotechnical characteristics of the terrains, it was possible to distinguish four observed geotechnical units. The geotechnical zoning attributed was, geotechnical unit UG1 - Landfill, UG2 - Alluvium, UG3 – Clay Soil and UG4 - Marls and Limestone. From this geotechnical zoning it is concluded that there are geotechnical units that present characteristics that are not suitable for the construction of buildings.

According to the archaeological report, if the foundation is carried out above the archaeological level, archaeological accompaniment should be necessary in the execution phase of the foundations. In case of deeper foundations, archaeological surveys must be carried out. The binding decisions shall be responsibility of the Regional Directorate of Culture of the Center.

Keywords:

- Geology;
- Geotechnics;
- Site investigation;
- Geotechnical zoning;
- Building foundations.

Agradecimentos

O espaço limitado desta secção de agradecimentos, seguramente, não me permite agradecer, como devia, a todas as pessoas que me ajudaram, direta ou indiretamente, a cumprir os meus objetivos e a realizar mais esta etapa da minha formação académica. Desta forma, deixo apenas algumas palavras, poucas, mas um sentido e profundo sentimento de reconhecido agradecimento:

Ao Professor Doutor Mário Quinta Ferreira, pela sua orientação, apoio, disponibilidade, pelo saber que transmitiu, pelas opiniões e críticas, total colaboração no solucionar de dúvidas e problemas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho e por todas as palavras de incentivo.

Aos meus amigos, em especial ao Cristiano Pereira, Pedro Alves, Tiago Estêvão e Tiago Tavares, pela amizade, companhia, partilha de bons e maus momentos, por terem estado sempre presentes ao longo deste percurso académico.

À minha namorada, um agradecimento especial pelo apoio e carinho diários, pelos incentivos e pela transmissão de confiança e de força, em todos os momentos.

A toda a minha família, em especial aos Meus Pais e à Minha Irmã, um enorme obrigado por acreditarem sempre em mim e por me terem tornado no que sou hoje. Espero que esta etapa, que agora termino, possa, de alguma forma, retribuir e compensar todo o carinho, apoio e dedicação que, constantemente, me oferecem. A eles, dedico este trabalho.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos do trabalho.....	1
1.2. Breve introdução histórica do local de estudo (Antigo Hospital dos Lázaros)..	4
1.3. Enquadramento geográfico.....	7
1.4. Enquadramento geológico	8
2. Enchimento aluvionar do Mondego.....	12
2.1. Glaciações.....	12
2.2. Erosão	14
2.3. Ocupação humana	16
3. Técnicas de Prospeção	18
3.1. Métodos diretos (sondagens à percussão ou rotação, ensaios SPT).....	18
3.2. Métodos indiretos (prospeção geofísica)	20
4. Trabalhos de prospeção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães	25
4.1. Introdução	25
4.2. Sondagens	32
4.3. Zonamento geotécnico	38
4.4. Bloco-Diagrama.....	40
4.5. Arqueologia	43
5. Análise de Intervenção no Centro de Saúde Fernão de Magalhães.....	44
5.1. Objetivos	44
5.2. Metodologias	44
5.3. Condicionantes à realização do projeto	44
6. Conclusões.....	46
7. Referências bibliográficas.....	48
8. Anexos	51

Índice de ilustrações

Figura 1 - Excerto da Carta Coimbra Norte que mostra o local em que foi fundado o Hospital-Gafaria de São Lázaro ainda na idade média.	4
Figura 2 - Sobreposição da planta do edifício antigo edifício do Hospital dos Lázaros com uma imagem de satélite na atualidade.	5
Figura 3 - Ruínas do antigo Hospital dos Lázaros, hoje demolidas.	6
Figura 4 - Ruínas do antigo Hospital dos Lázaros, depois da demolição parcial de 2009.	6
Figura 5 - Local em estudo, Avenida Fernão de Magalhães numa imagem de satélite do Google Earth.	8
Figura 6 - Excerto da Carta Geológica de Portugal à escala 1:500 000, sobreposta numa imagem satélite do Google Earth.	9
Figura 7 - Extrato do Mapa Geológico da zona norte de Coimbra, retirado de Soares, et al. (1985).	10
Figura 8 - Proposta de curva de variação do nível médio relativo do mar, na margem continental portuguesa, desde o último máximo glaciário (segundo Dias, 1985, 1987, modificado).	13
Figura 9 - Em cima: ilustração da cidade de Coimbra em 1600. Em baixo: Vista da cidade de Coimbra na atualidade.	17
Figura 10 - Execução do ensaio SPT no local em estudo.	20
Figura 11 - Esquema da sísmica de refração, adaptado de Vallejo, 2002.	21
Figura 12 - Velocidade de propagação das ondas P para diferentes materiais, adaptado de Vallejo, 2002.	22
Figura 13 - Diversidade de técnicas dos métodos eletromagnéticos.	23
Figura 14 - Perfil geotécnico AB.	26
Figura 15 - Perfil geotécnico CD.	27
Figura 16 - Perfil geotécnico EF.	28
Figura 17 - Perfil geotécnico GH.	29
Figura 18 - Perfil geotécnico IJ.	30

Figura 19 - Perfil geotécnico LM.	31
Figura 20 - Planta das sondagens realizadas nos trabalhos de prospeção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães.	32
Figura 21 - Delimitação da área de trabalhos da sondagem S1.	33
Figura 22 - Trabalhos de perfuração na sondagem S1. De notar a produção de lamas.	33
Figura 23 - Equipamento utilizado na execução das sondagens (ELLETARI EK 200).	34
Figura 24 - Caixa de amostras recolhidas. Nos sacos estão as amostras dos ensaios SPT.	35
Figura 25 - Amostra recolhida durante o ensaio SPT na sondagem S1 aos 1,5m.	35
Figura 26 - Piezómetro S3(Pz), com tampa de proteção.	37
Figura 27 - Bloco-diagrama dos perfis geotécnicos.	41
Figura 28 - Bloco-diagrama dos perfis geotécnicos com o alinhamento e a localização real das sondagens.	42

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Profundidade do nível freático.	37
Tabela 2 - Síntese dos resultados obtidos com as sondagens para as unidades geotécnicas consideradas.	39

1. Introdução

1.1. Objetivos do trabalho

O estudo da Geologia é imprescindível na área da construção civil na medida em que, para se obter êxito, é necessário que engenheiros e geólogos trabalhem em conjunto. Cabe ainda salientar que o conhecimento das características físicas e geológicas de um determinado terreno garante a segurança na elaboração de projetos, resolvendo possíveis problemas que possam ser causados pela má utilização do ambiente.

A Geologia é a ciência que estuda a estrutura da Terra, a sua composição e os seus componentes, sendo uma das mais abrangentes ciências naturais, utilizada na engenharia civil como meio de conhecimento das propriedades físicas dos materiais e dos solos, que dependem do seu processo de formação.

Tendo em consideração que a maioria dos trabalhos realizados por um engenheiro civil envolvem elementos naturais do nosso planeta, é necessário que o mesmo possua um conhecimento abrangente nessa área para as diversas aplicações. A título de exemplo, podemos referir o facto de: (1) um projeto de estrutura de uma obra depender do tipo de solo no local para que assim seja escolhido o melhor tipo de fundação a ser utilizado; (2) uma construção de estradas em terrenos argilosos moles pode causar sérios problemas como abatimentos na sua fundação.

Deste modo, a Geologia tem aplicações relevantes quanto ao estudo da composição e relevo do local e também na descoberta e compreensão de efeitos naturais, como por exemplo, abalos sísmicos e ventos, que influenciam na escolha dos materiais apropriados à construção de acordo com os impactos que esta irá sofrer.

Para além destes, também o conhecimento em Geologia é útil na construção civil no que respeita à utilização de rochas e dos depósitos naturais de sedimentos como materiais de construção que são muito utilizados como agregados para confeção de cimentos, blocos para revestimento de fachadas de edifícios, proteção de taludes de barragens, etc.

O estudo geotécnico é o conjunto de atividades que permitem obter a informação geológica e geotécnica do terreno, necessária para a realização de um projeto de construção.

A Geotecnia é o ramo da engenharia que agrupa as disciplinas científicas que se ocupam da caracterização e comportamento dos terrenos: a Geologia de Engenharia, a Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas. A Geologia de Engenharia dedica-se a

explicar a génese dos terrenos, fazer a sua descrição qualitativa e a sua caracterização quantitativa (tanto quanto possível), tendo em conta os problemas de engenharia a resolver e os impactes ambientais por eles criados. A Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas dedica-se a tarefas de análise da estabilidade dos terrenos (respetivamente, terrosos e rochosos) e o projeto de estruturas que impeçam a sua instabilização ou garantam a sua estabilidade face às solicitações previsíveis (Oliveira, 1986).

Não é fácil fazer uma distinção clara entre estas disciplinas. De facto, é difícil traçar uma linha de separação entre a Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas, tal como se pode deduzir destes dois exemplos inter-relacionados (Rocha, 1981):

- São frequentes as situações de obra onde estão simultaneamente envolvidas rochas e solos.
- Existem formações geológicas cujo comportamento é intermediário entre rochas e solos (também designadas por “rochas de baixa resistência”).

No entanto, é possível definir o âmbito de cada uma destas disciplinas com alguma aproximação. A Geologia de Engenharia, na sua visão mais tradicional, ocupa-se da investigação da adequabilidade e características dos sítios, na medida em que eles afetam o projeto e construção dos trabalhos de engenharia civil e a segurança das construções vizinhas (Mc Lean & Gribble, 1992). De acordo com Goodman (1993), o projeto e construção em engenharia civil desenvolve-se por fases, à medida que a informação técnica e científica é obtida, e a geologia de engenharia vai adquirindo diferentes responsabilidades em cada uma dessas fases. Segundo o *British Standard Code of Practice for site investigations* (BS 5930: 1981) este trabalho envolve os seguintes procedimentos:

- Investigação preliminar (análise dos dados disponíveis);
- Reconhecimento geológico detalhado de superfície, incluindo estudo fotogeológico;
- Prospeção geofísica (obtenção de soft data do subsolo);
- Prospeção mecânica, incluindo sondagens (obtenção de hard data do subsolo);
- Ensaios de campo e laboratório para determinação das propriedades mecânicas dos solos e rochas (esta última fase em colaboração com a Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas).

A Mecânica das Rochas debruça-se sobre o conhecimento dos maciços rochosos (Rocha, 1981) em termos de:

- Deformabilidade, isto é, das relações entre forças (ou tensões) e deformações;
- Resistência, isto é, das condições que determinam a sua rotura;
- Estado de tensão inicial a que se encontra submetido;
- Dos estados de tensão que se desenvolvem em virtude das tensões aplicadas, incluindo as devidas à percolação da água subterrânea.

Por sua vez, a Mecânica dos Solos trata dos problemas (Mineiro, 1981):

- De equilíbrio dos maciços terrosos sob a ação de solicitações exteriores (como seja a capacidade de carga de fundações superficiais e profundas);
- De resistência ao corte dos solos submetidos a esforços tangenciais;
- De escoamento em meios porosos, da consolidação e compressibilidade dos solos;
- De impulsos de terras sobre suportes (rígidos ou flexíveis, como sejam as cortinas ancoradas ou revestimentos de túneis);
- Do cálculo de estabilidade de taludes naturais e de aterro;
- Do comportamento dos solos sob solicitações dinâmicas (sísmicas);
- Do melhoramento de terrenos através de numerosas técnicas (injeção, pré-carga, compactação dinâmica, vibroflutuação, etc...).

À luz da contextualização teórica acima apresentada, este trabalho tem como objetivo a análise das condições geológicas e geotécnicas do local do futuro Centro de Saúde Fernão de Magalhães.

Para o efeito, realizou-se um estudo da zona onde poderá vir a ser construído o CSFM, sendo também realizadas várias sondagens mecânicas à rotação.

Recolhidas as amostras, foram levadas para o Instituto Pedro Nunes – Laboratório de Geotecnia (IPNlabgeo) para serem observadas e caracterizadas. Durante as várias sondagens atravessaram-se várias unidades geotécnicas, nomeadamente aterros, aluviões, solos argilosos e margas e calcários, segundo a caracterização efetuada pelo IPNlabgeo.

1.2. Breve introdução histórica do local de estudo (Antigo Hospital dos Lázaros)

De acordo com os Documentos de D. Sancho I (1174-1211), vol. I, ed. de Rui de Azevedo, Avelino de Jesus da Costa e Marcelino Pereira, ainda na idade média, D. Sancho I deixa um testamento para a fundação de um hospital que pudesse dar assistência aos doentes leprosos. Deste modo foi fundado, em Coimbra, o Hospital-Gafaria de São Lázaro entre a Rua da Figueira da Foz e a Avenida Fernão de Magalhães.



Figura 1 - Excerto da Carta Coimbra Norte que mostra o local em que foi fundado o Hospital-Gafaria de São Lázaro ainda na idade média.



Figura 2 - Sobreposição da planta do edifício antigo edifício do Hospital dos Lázaros com uma imagem de satélite na atualidade.

Em 22 de Outubro de 1508 sobrevive à Carta Régia de D. Manuel I que extinguiu vários hospitais de Coimbra (por estarem desatualizados, serem pequenos e terem administrações indisciplinadas).

Em 1774 passou a ser administrado pela Universidade, no âmbito da Reforma da Universidade, proposto por Marquês de Pombal.

Em 1836 o Hospital de São Lázaro foi transferido para o Colégio São José dos Marianos, atualmente Hospital Militar de Coimbra. Sofre nova mudança, em 1851, para o Colégio de São Jerónimo. A sua última mudança seria dois anos depois quando os doentes leprosos tiveram de se mudar para o Colégio das Ordens Militares.

O Hospital dos Lázaros chega ao fim em 1961 quando foi destruído para a construção da cidade universitária, nascendo no seu lugar o edifício do Departamento de Matemática.



Figura 3 - Ruínas do antigo Hospital dos Lázaros, hoje demolidas.

A 14 de Fevereiro de 2009, o Gabinete de Proteção Civil, juntamente com a Câmara Municipal de Coimbra, procedeu à demolição parcial do antigo edifício do Hospital dos Lázaros (Fig.4).



Figura 4 - Ruínas do antigo Hospital dos Lázaros, depois da demolição parcial de 2009.

1.3. Enquadramento geográfico

O local em estudo fica situado na planície aluvionar do rio Mondego, na Avenida Fernão de Magalhães, na cidade de Coimbra, região Centro de Portugal (Fig.5).

O rio Mondego é o quinto maior rio português e o primeiro de todos os que têm o curso exclusivamente em território nacional, com um comprimento total de 258 quilómetros e uma bacia hidrográfica de 6644 quilómetros quadrados. Nasce na Serra da Estrela, no sítio de Corgo das Mós, ou “Mondeguinho”, a 1525 metros de altitude e tem a sua foz no Oceano Atlântico, na cidade da Figueira da Foz (Wikipédia, 2013).

O rio foi uma das principais vias de abastecimento da cidade, onde os barcos vinham do Atlântico até Coimbra. Com o progressivo assoreamento, esta via de comunicação passou a ser usada apenas por barcos de menor porte. Na década de 50 deixou mesmo de ser utilizada pois a navegação tornou-se muito difícil e também por causa da construção de estradas e, mais tarde, da linha de caminho-de-ferro entre a Figueira da Foz e Coimbra, inaugurada em 3 de Agosto de 1882, que se tornaram alternativas mais fáceis para o transporte de pessoas e mercadorias.

A preocupação do assoreamento do rio Mondego vem desde o século XIII. Calcula-se que nos últimos seiscentos anos o leito terá subido cerca de um centímetro por ano, ou seja um metro em cada século (Dinis e Cunha, 1995).

No século XVIII, o rio era instável e entrançado, com frequentes fenómenos de avulsão na planície aluvial, entre Coimbra e Montemor (Martins, 1940).

Desde 1781 até 1807, a situação dos campos do Mondego melhorou muito após a abertura de um novo leito. Mas a situação foi piorando, devido ao assoreamento do rio, chegando ao século XX numa situação insustentável. Na década de 1960, foi preparado o Plano Geral de Aproveitamento Hidráulico da Bacia do Mondego, um plano para a intervenção hidráulica que foi implementado nas décadas de 1970 e 1980.

O Mondego corre atualmente em canal artificial desde Coimbra até à Figueira da Foz. Além das duas grandes barragens foram construídos novos leitos aluvionares, incluindo 7,7 km de diques de defesa, uma dragagem de 16 hm³ e revestimentos com um volume de 0,5 hm³ (Martins e Costa, 2008).

1.4. Enquadramento geológico

O local em estudo fica localizado no parque de estacionamento do edifício da Segurança Social, na Avenida Fernão de Magalhães em Coimbra (Fig.5) onde se situava o antigo Hospital dos Lázaros de Coimbra.



Figura 5 - Local em estudo, Avenida Fernão de Magalhães numa imagem de satélite do Google Earth.

É importante referir que a área em estudo não possui Carta Geológica na escala 1:50 000, para a interpretação geológica do trabalho, pelo que se considerou a Carta Geológica de Portugal, na escala 1:500 000 (Fig.6) e o Mapa Geológico da zona norte de Coimbra, apresentado por Soares, *et al.* (1985) (Fig.7).



Legenda:

- Aluviões	- Dolomitos de Coimbra
- Terraços	- Grés de Silves s.s
- Formação de Águeda e Barracão	- Xistos, grauvaques, chertes negros vulcanitos ácidos e xistos porfiróide
- Formação de Bom Sucesso	- Zona em estudo
- Areias e argilas de Taveiro	
- Arenitos do Carrascal	

Figura 6 - Excerto da Carta Geológica de Portugal à escala 1:500 000, sobreposta numa imagem satélite do Google Earth.

Coimbra é uma cidade localizada na Bacia Lusitaniana. Esta é uma bacia sedimentar que se desenvolveu na Margem Ocidental Ibérica (MOI) durante parte do Mesozoico. Tem uma área maior do que 20 000 km² na parte central da MOI, alongando-se por aproximadamente 200 km para NNW-SSE e por mais de 100 km na direção perpendicular. Cerca de 2/3 aflora na área continental emersa e a restante área imersa na plataforma continental (Kullberg et al., 2006).

Os afloramentos da base do Mesozoico português assentam discordantemente sobre materiais do Maciço Hespérico e correspondem a depósitos detríticos que se encontram dispostos segundo uma faixa alongada (Aveiro-Tomar) situada na bordadura da Orla

Meso-Cenozoica Ocidental, ou no seio de formações mais recentes. Este grupo atinge o seu desenvolvimento máximo na periferia de Coimbra.



Legenda:



Figura 7 - Extrato do Mapa Geológico da zona norte de Coimbra, retirado de Soares, et al. (1985).

O local onde se pretende construir o edifício situa-se na planície aluvionar do Mondego, mas próximo do limite nascente do vale, junto à rua Figueira da Foz. A área envolvente a este local é caracterizada pelo confronto entre o Maciço Hespérico e os depósitos da Orla Meso-Cenozoica.

O confronto litostratigráfico aparece evidenciado pelo acidente estrutural meridiano que se integra na zona de fratura NNW-SSE, que corresponde à zona de cisalhamento Porto

- Tomar, ativa desde as fases precoces da orogenia Varisca o qual põe em contacto a Zona de Ossa Morena com a Zona Centro Ibérica. (Ribeiro et al., 2003).

O rio Mondego, no seu percurso inicial, atravessa formações metamórficas e rochas graníticas, formações xistosas e quartzíticas. O seu percurso final começa nas imediações de Coimbra e atravessa zonas aluvionares.

O vale do rio Mondego é preenchido por espessas camadas de aluviões, que correspondem a depósitos terrígenos com estruturação interna traduzindo a evolução do seu leito e são o resultado da acumulação de materiais associados à dinâmica fluvial. Estes depósitos aluvionares pertencem ao Quaternário (Holocénico).

Na zona da cidade de Coimbra, o vale está assente no firme rochoso constituído por calcários das Camadas de Coimbra, do Jurássico Inferior, arenitos da Formação de Castelo Viegas e pelitos da Formação dos Pereiros, do Triásico Superior.

A margem esquerda do rio é caracterizada por calcários das Camadas de Coimbra de natureza dolomítica constituídas por dolomitos e calcários dolomíticos e também aflora a Formação dos Pereiros, pertencente à sequência do Grés de Silves e a Camada de Castelo Viegas. De acordo com Choffat (1880, 1894, 1903), esta divide-se em três subunidades, calcários, pelitos e arenitos. Soares *et al.* (1985) subdividiram esta unidade em duas subunidades, na base, as Camadas de Coimbra, caracterizadas por dolomitos interestratificados com pelitos cinzentos a avermelhados e, no topo, as Camadas de S. Miguel, caracterizadas por calcários dolomíticos e calcários interestratificados com margas cinzentas.

A margem direita do rio é caracterizada por afloramentos de Areias Vermelhas do Estádio, calcários e arenitos. Os arenitos dividem-se em duas subunidades, essencialmente areno-conglomeráticas, constituídos na base por corpos de arcoses e conglomerados com quartzo, quartzito e xisto, de cor vermelha acastanhada e no topo, em descontinuidade, são constituídos por corpos areno-pelíticos e pelíticos, cinzentos violáceos, e fazem parte da Formação de Castelo Viegas, pertencente à sequência do Grés de Silves (Soares *et al.*, 1985, 2007).

2. Enchimento aluvionar do Mondego

2.1. Glaciações

As glaciações são fenómenos climáticos muito importantes que ocorrem ao longo da história do planeta Terra. Como o próprio nome sugere, são períodos de frio intenso, dentro de uma era do gelo, quando a temperatura média da Terra baixa, provocando o aumento dos glaciares nos polos e em zonas montanhosas.

Estes fenómenos climáticos estão relacionados com alterações nas correntes oceânicas e ainda com a existência de áreas emersas nas zonas polares, onde o gelo se possa acumular.

Durante os períodos glaciares, verificam-se períodos de avanço (arrefecimento climático) e de recuo dos gelos (aquecimento climático), como aconteceu durante o Quaternário no Hemisfério Norte, devido à variação da posição da Terra relativamente ao Sol e à consequente alteração na energia solar recebida.

A última glaciação é, logicamente, a melhor estudada, até porque ainda perdura no atual período interglaciário em que vivemos.

As previsões indicam que existem grandes probabilidades de nos próximos 2000 a 4000 anos acontecer o início de uma nova era glacial.

Com as glaciações vêm várias consequências:

- Arrefecimento climático global;
- Descida no nível do mar, podendo atingir cerca de 150m abaixo do nível atual;
- Aumento das zonas áridas;
- Extinção de várias espécies de animais e plantas que não se adaptam às condições climatéricas;
- Erosão dos vales onde os glaciares se deslocam e formação de depósitos constituídos pelos produtos da erosão glaciária (moreias, tilitos, blocos erráticos) que, quando os gelos se retiram, podem constituir barreiras nos vales, originando lagos;

A evolução do clima terá sido determinante na evolução humana, pelas mudanças provocadas na fauna e na vegetação, essenciais à alimentação, bem como pelas migrações das populações à procura de melhores condições de sobrevivência.

Em Portugal, a última fase glaciária (Würm, de 35 000 a 20 000 anos a.C.) deixou fortes vestígios na Serra da Estrela e no Gerês: rochas polidas e estriadas, moreias e lagos glaciares, blocos erráticos, vales em U.

De acordo com a curva de variação do nível médio relativo do mar em Portugal (Fig.8) proposta por Dias (1985, 1987) o nível do mar encontrar-se-ia a cotas de -120m a -140m no decurso do máximo glaciário, tendo subido lentamente até atingir aproximadamente os -100m há 16 mil anos atrás, altura em que estabilizou ou desceu ligeiramente. Há 13 mil anos atrás verificou-se um subida muito rápida do nível do mar, tendo atingido a cota de -40m entre 12 mil e 11 mil anos, após esta subida volta a descer rapidamente até aos -60m. Há 10 mil anos atrás verificou-se nova subida muito rápida do nível do mar, abrandando as taxas de subida por volta dos 8 mil anos quando o nível se encontrava por volta dos -30m. Desde então a subida foi mais lenta, tendo-se atingido aproximadamente o nível atual há cerca de 3 mil anos.



Figura 8 - Proposta de curva de variação do nível médio relativo do mar, na margem continental portuguesa, desde o último máximo glaciário (segundo Dias, 1985, 1987, modificado).

Durante as glaciações o nível do mar baixou e as linhas de água passaram a ter um nível de base muito baixo, promovendo-se a erosão. Quando, pós-glaciação, o nível do mar subiu, os vales, entretanto escavados, foram preenchidos por sedimentos fluviais (e marinhos, em posições mais litorais). Assim, se depositaram as aluviões do rio Mondego (Fig.6).

2.2. Erosão

O local em estudo está inserido na bacia hidrográfica do rio Mondego que, na sua maior parte, está instalada nas formações antigas do Maciço Hespérico na região que se designa por Planalto das Beiras, e desenvolve-se entre níveis topográficos dos 400, 300 e 200 m de altitude.

Geomorfologicamente, a superfície peniplanáltica estende-se entre os maciços montanhosos do noroeste, Caramulo e Leonil, e o maciço da Serra da Estrela a sudoeste. Desce suavemente desde o planalto da Neve e vai morrer de encontro ao Caramulo, debruando para sul as serras do Buçaco até a depressão de Mortágua.

Esta superfície peniplanada teve início nos fins do Cenozóico, e esteve sujeita a vários ciclos erosivos. Atravessa presentemente uma fase cíclica de atividade moderada, conservando pequenos retalhos de formações detríticas e lacustres, espalhados por toda a superfície, resíduos de uma cobertura mais vasta cujo material teria sido, na maior parte, erodido e transportado.

As formações geológicas que lhe são subjacentes, ou afloram, são a montante os granitos vestefalianos com variantes cristalinas de importância local, e que no descaimento do planalto para sul ao nível dos 200m, passam às formações metasedimentares que irão ocorrer até às vizinhanças de Coimbra.

No contato com a orla ceno-mesozoica, as formações aflorantes pertencem ao Jurássico (calcários e margas). Na sua superfície terminal, o escoamento lateral dos afluentes que percorram tais litologias convergem no chamado “baixo Mondego”, num extenso campo aluvionar do Quaternário recente.

O leito maior do rio orienta-se na direção estrutural e privilegiada NE-SW a partir de Celorico da Beira, (nível de altitude dos 400m) e num percurso de cerca de 120km, até a um nível de altitude modesta nas proximidades de Coimbra (Portela) que não ultrapassa a cota de 30m. Nesta zona, o rio inverte o seu percurso e o seu leito morfologicamente, refletindo um suporte litológico e estrutural subjacente para que o seu encaixe alinha em cerca de 5km de extensão (Polo II – Choupal) na direção dominante NW-SE rodando para NNW-SSE. No troço subjacente, leito senil, que corresponde ao percurso do Mondego até à sua foz, retoma, surpreendentemente, o alinhamento dominante do tramo maduro do rio, que é como se disse, NE-SW. Este alinhamento dominante “vê-se” ainda atualmente nos alinhamentos dos talwegues inscritos nos terrenos agrícolas dos campos após as grandes cheias do rio.

As aluviões da margem direita ocupam uma faixa relativamente estreita do vale, alargando representativamente centenas de metros a partir da Portagem de Coimbra até ao baixo Mondego. Sob o ponto de vista do escoamento há a considerar que a superfície da toalha freática teve uma modificação importante no corpo das aluviões. Antes da construção do Açude, ela ocorria entre os 4 e 10m de profundidade, e após o atual enchimento, os níveis piezométricos subiram para 1,5 a 2,5m. Situação que pode potencialmente alterar os terrenos da baixa de Coimbra, devido à variação da tensão neutra.

As vertentes do vale em toda a extensão da margem direita do rio mostram-se maduras entre a Boavista e Mata do jardim Botânico a jusante, na maioria da sua extensão são vigorosas ou até agressivas (desnível da Conchada). No que diz respeito ao corpo das aluviões instalado para além da margem esquerda, também se observa que tem largura estreita a montante da Quinta da Nora, o que do mesmo modo referido, para a margem direita torna o leito do vale do Mondego muito mais estreito. Para jusante, o vale alarga e mantém-se mais ou menos com a mesma largura até ao Almegue.

Há que referir que a acentuada intervenção antrópica, no vale do Mondego (de Celorico da Beira à Figueira da Foz) e que se apresenta mais visível com o encanamento artificial do rio a jusante de Coimbra com o projeto do padre Estevão Cabral em 1791 (Cabral, 1791), e com o plano geral do aproveitamento hidráulico e regularização do leito do Mondego (1962), tiveram forte incidência nas alterações geomorfológicas do vale, sobretudo nos locais de correção ou aproveitamento. Aspetos a ter em devida conta, tanto quanto a fenómenos de morfodinâmica e hidrodinâmica quanto à composição/formação dos corpos aluvionares e à circulação freática nesses corpos. De referir ainda, que com as glaciações o nível do mar sofreu alterações que estão impressas nas aluviões do Mondego, refletindo-se na sua morfologia.

Determinados aspetos da evolução recente das vertentes e determinadas características dos planos de inundação onde há material detrítico não totalmente fluvial, foram originados pela alternância de períodos frios e quentes no Quaternário (Rebelo, 1985).

2.3. Ocupação humana

Coimbra foi berço de nascimento de seis reis de Portugal, da Primeira Dinastia, assim como da primeira Universidade do País e uma das mais antigas da Europa.

Os Romanos chamaram à cidade, que se erguia pela colina sobre o rio Mondego, Emínio (em Latim, *Aeminium*). Mais tarde, em 589, com o aumento da sua importância passou a ser sede de Diocese, substituindo a cidade romana de Conímbriga, donde derivou o seu novo nome. Em 711 os mouros chegaram à Península Ibérica e a cidade passa a chamar-se Kulūmriyya, tornando-se num importante entreposto comercial entre o norte cristão e o sul árabe, com uma forte comunidade moçárabe. Em 871 torna-se Condado de Coimbra mas apenas em 1064 a cidade é definitivamente reconquistada por Fernando Magno de Leão.

Coimbra renasce e torna-se a cidade mais importante abaixo do rio Douro, capital de um vasto condado governado pelo moçárabe Sesnando. Com o Condado Portucalense, o conde D. Henrique e a rainha D. Teresa fazem dela a sua residência, e viria a ser na segurança das suas muralhas que iria nascer o primeiro rei de Portugal, D. Afonso Henriques, que faz dela a capital do condado, substituindo Guimarães em 1129.

No século XII, Coimbra apresentava já uma estrutura urbana, dividida entre a cidade alta, designada por Alta ou Almedina, onde viviam os aristocratas, os clérigos e, mais tarde, os estudantes, e a Baixa, do comércio, do artesanato e dos bairros ribeirinhos populares.

Desde meados do século XVI que a história da cidade passa a girar em torno da Universidade de Coimbra, sendo apenas já no século XIX que a cidade se começa a expandir para além do seu casco muralhado, que chega mesmo a desaparecer com as reformas levadas a cabo pelo Marquês de Pombal (Fig.9).

De acordo com os dados do Instituto Nacional de Estatísticas a população de Coimbra tem vindo a aumentar desde 1864 (ano dos primeiros dados). Nesse ano a população era de 40 681, em 2011 habitavam 143 396 habitantes.

A intervenção antrópica, no vale do Mondego (Do Celorico à Figueira da Foz) e que se apresenta mais visível com o encanamento artificial do rio a jusante de Coimbra com o projeto do padre Estevão Cabral em 1791 (Cabral, 1791), e com o plano geral do aproveitamento hidráulico e regularização do leito do Mondego (1962), tiveram forte incidência nas alterações geomorfológicas do vale, sobretudo nos locais de correção ou aproveitamento. Aspetos a ter em devida conta, tanto quanto a fenómenos de morfodinâmica e hidrodinâmica quanto à composição/formação dos corpos aluvionares

e à circulação freática nesses corpos. De referir ainda, que com as glaciações o nível do mar sofreu alterações que estão impressas nas aluviões do Mondego, refletindo-se na sua morfologia.

Determinados aspetos da evolução recente das vertentes e determinadas características dos planos de inundação onde há material detrítico não totalmente fluvial, foram originados pela alternância de períodos frios e quentes no Quaternário (Rebelo, 1985).



Figura 9 - Em cima: ilustração da cidade de Coimbra em 1600. Em baixo: Vista da cidade de Coimbra na atualidade.

3. Técnicas de Prospecção

As investigações *in situ* constituem uma parte essencial dos estudos geológicos e geotécnicos necessários para o projeto e construção de uma obra de engenharia. O objetivo geral destas investigações é conhecer e quantificar as condições do terreno que podem afetar a viabilidade, desenho e construção de uma obra ou estrutura.

Existem várias técnicas de prospecção que se dividem em dois grupos, prospecção por métodos diretos e por métodos indiretos. Nos diretos existem várias técnicas como a abertura de valas, galerias ou poços ou ainda técnicas de sondagens mecânicas que podem ser à rotação, a trado ou através de um penetrómetro dinâmico (DPL – Dynamic Probing Light e SPT – Standard Penetration Test) ou estático (CPT – Cone Penetration Test) por exemplo. Nos métodos indiretos temos diversas técnicas de prospecção geofísica, como por exemplo, o método da resistividade elétrica, os métodos sísmicos, de refração, direto e de reflexão, e o método do radar. Em casos especiais ou menos correntes, os métodos magnético e gravimétrico têm dado uma importante contribuição na resolução de problemas.

3.1. Métodos diretos (sondagens à percussão ou rotação, ensaios SPT)

As sondagens mecânicas de furação permitem a extração de material do terreno e podem ser de percussão ou rotação consoante o processo pelo qual se consegue o avanço. Na sondagem de percussão a ferramenta de furação avança por percussão (sondagem destrutiva) e na sondagem de rotação a ferramenta de furação avança por rotação (pode ser destrutiva ou com recuperação contínua de amostra).

As sondagens à percussão são utilizadas tanto em solos granulares como em solos coesos. Este tipo de sondagens pode alcançar profundidades desde 30m a 40m, se bem que as mais frequentes são de 15m a 20m. O sistema de perfuração consiste em fazer cair um peso de 120kg de uma altura de 1m em cima da vara de furação. Devem-se contar e anotar sistematicamente o número de pancadas necessário para cravar 20cm da vara, deste modo, é possível conhecer a dureza do solo atravessado. Os furos abertos nestas formações podem colher-se amostras com um amostrador adequado, mas deve ter-se presente que o terreno sofre uma certa perturbação, obtendo-se amostras piores do que as conseguidas por meio de poços, valas ou galerias.

As sondagens à rotação podem perfurar qualquer tipo de solo ou rocha até profundidades muito elevadas e com diversas inclinações. A profundidade habitual não excede os 100m, no entanto podem alcançar-se os 1000m. A extração de amostras é contínua e a sua percentagem de recuperação pode ser muito grande, dependendo do sistema de extração (Vallejo, 2002). Nas sondagens de furação à rotação com

recuperação contínua de amostra a ferramenta de furação é uma coroa. Esta coroa pode ser constituída por metais duros como o tungsténio ou com diamantes (nestas, conforme os tipos e finalidade, variam a densidade de diamantes impregnados e a sua granulometria de acordo com o tipo de terreno a furar). Para furar rochas menos duras, como calcários, utiliza-se uma coroa de prismas de tungsténio enquanto para rochas duras, como quartzitos e até granitos são, utilizam-se coroas diamantadas (o desgaste é muito grande e o avanço é lento).

A coroa de furação vai no extremo das varas que são hastes metálicas que se ligam umas às outras e que permitem no seu interior a circulação de fluídos cuja finalidade é simultaneamente arrefecer as peças de furação e trazer à superfície os respetivos detritos. Em trabalhos de geotecnia o fluído de circulação é, geralmente, água.

A utilização deste tipo de sondagens permite a obtenção de amostras de forma contínua e com elevada percentagem de recuperação em terrenos rochosos de boa qualidade a razoável. Para se obterem boas amostras deve utilizar-se amostrador de parede dupla, no qual o tubo que retém a amostra está desligado do movimento de rotação da coroa, o que minimiza os efeitos por desgaste devido à rotação e a fracturação das amostras.

Os ensaios SPT (Fig.10) consistem na cravação dinâmica de um amostrador padrão através de pancadas provocadas pela queda livre de um pilão com uma massa de 63,5kg de uma altura de 76cm. Os primeiros 15cm (1ª fase) não são tidos em consideração pela necessidade de se ultrapassar a zona perturbada no fundo do furo, resultante da ação do equipamento de furação. O número (N) de pancadas necessárias para cravar 30cm é registado (2ª e 3ª fases).

Considera-se a nega do ensaio quando são atingidas as 60 pancadas sem haver cravação dos 30cm (2ª e 3ª fases).



Figura 10 - Execução do ensaio SPT no local em estudo.

3.2. Métodos indiretos (prospecção geofísica)

A prospecção geofísica é o conjunto de técnicas que investiga o interior da Terra a partir das variações detetadas em parâmetros físicos significativos e da sua correlação com as características geológicas (Vallejo, 2002). São técnicas não destrutivas e de investigação extensa ou de grande cobertura, que complementam as investigações *in situ* e as técnicas de prospecção de sondagens mecânicas.

Os diferentes métodos geofísicos para o reconhecimento do subsolo dividem-se segundo o parâmetro físico investigado: gravimetria (densidade), mecânico (susceptibilidade magnética), elétricos (resistividade), eletromagnéticos (condutividade elétrica e permeabilidade magnética), sísmicos (velocidade de propagação de ondas sísmicas), radioativos (níveis de radiação natural ou induzida).

Os métodos elétricos estudam a resposta do terreno aquando da passagem de correntes elétricas contínuas. O parâmetro físico que se controla é a resistividade (ρ) e a interpretação final faz-se em função das características geológicas da zona em que se aplicam. Este tipo de métodos aplica-se frequentemente em engenharia geológica. A resistividade é uma propriedade intrínseca das rochas e depende da litologia, estrutura interna e, sobre tudo, da sua composição em água (Vallejo, 2002).

Os métodos sísmicos estudam a propagação de ondas sísmicas produzidas artificialmente no solo, estabelecendo a sua relação com a configuração geológica do subsolo. A velocidade de propagação depende das constantes elásticas e da densidade do terreno. O contacto entre diferentes tipos de corpos geológicos com diferentes velocidades de transmissão de ondas sísmicas definem superfícies de separação em que as ondas sofrem refração, reflexão e difração (lei de Snell). A sísmica de refração é o método mais usado em engenharia geológica, este método permite registar a energia que volta à superfície após ter sofrido refração no limite do subsolo.

A sísmica de refração consiste na realização de perfis longitudinais com recurso a geofones, estes devem estar espaçados com uma distância regular e conhecida. É necessário realizar um disparo inicial através de um martelo de 8Kg, este disparo vai dar origem a ondas sísmicas que vão ser registadas por um sísmógrafo. A distância longitudinal do perfil deve situar-se entre os 25m e os 100m, e a distância entre os geofones não deve exceder os 5m, para garantir uma determinada precisão (Fig.11).

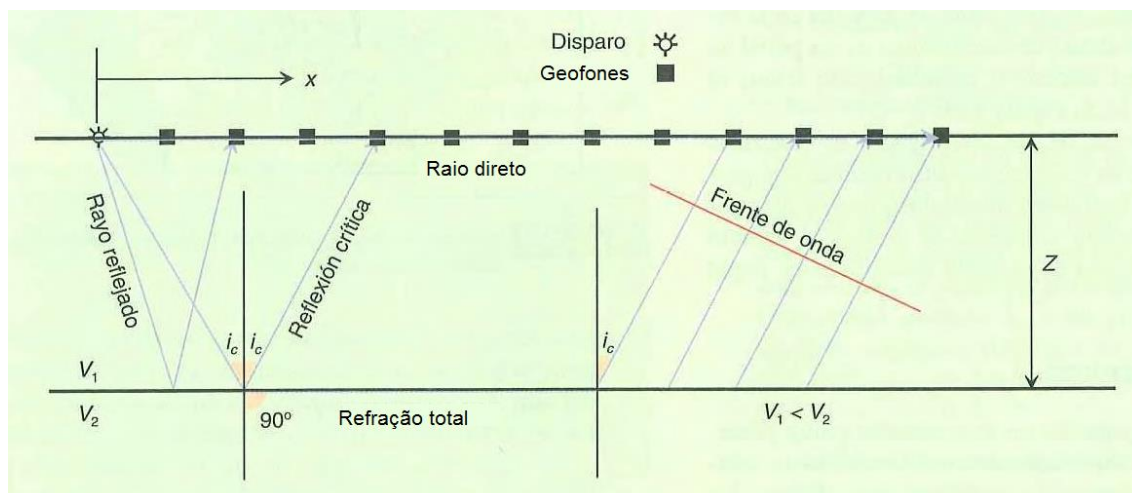


Figura 11 - Esquema da sísmica de refração, adaptado de Vallejo, 2002.

A velocidade de propagação das ondas elásticas é registada através do tempo que estas demoram a chegar aos geofones. É medido o tempo entre o momento do disparo e a chegada da primeira perturbação a cada geofone. As ondas diretas são as primeiras

a chegar, a partir da chamada distância crítica chegam as ondas refratadas que são as que se propagam pelo subsolo.

O registo do tempo de chegada da primeira onda em função da distância percorrida pela mesma resulta em uma função linear. Com estes dados é possível calcular a velocidade e profundidade que se encontra a superfície de refração.

O grau de alteração das rochas condiciona a velocidade de propagação das ondas sísmicas, assim como os diferentes tipos de materiais. Na Fig.12 estão representados alguns valores de velocidade de propagação das ondas sísmicas para diversos materiais.

Velocidad de ondas P en km/s							
	0	1	2	3	4	5	6
Ar	■						
Água		■					
Gelo				■	■		
Solo	■						
Areia		■	■				
Argila		■	■				
Xisto			■	■	■		
Arenito			■	■	■	■	
Calcário				■	■	■	■
Dolomite				■	■	■	■
Sal					■	■	■
Gesso				■	■	■	
Granito					■	■	■
Gneisse					■	■	■
Basalto						■	■

Figura 12 - Velocidade de propagação das ondas P para diferentes materiais, adaptado de Vallejo, 2002.

Os métodos eletromagnéticos são aqueles que estudam o comportamento dos solos quando se propagam através deles campos eletromagnéticos. A grande variedade de formas de geração ou deteção destes campos eletromagnéticos, assim como a diversidade das suas características, dão lugar a um maior número de técnicas de aplicação do que qual outro método geofísico. Em princípio, podem classificar-se em dois grupos, técnicas onde predominam as correntes de indução e técnicas onde predominam as correntes de deslocamento (Fig.13).

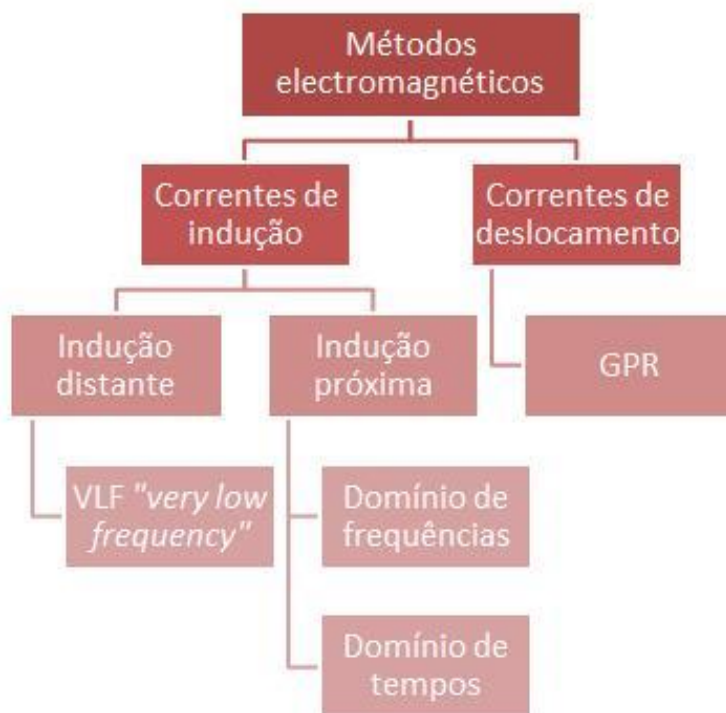


Figura 13 - Diversidade de técnicas dos métodos eletromagnéticos.

O método eletromagnético em domínio de frequências consiste na emissão de ondas eletromagnéticas de uma bobine emissora até uma recetora situada na superfície do terreno. A profundidade de penetração depende da frequência da bobine emissora que pode oscilar entre 100Hz e 10kHz, bem como da distância entre as bobines emissora e recetora. O método consiste em posicionar o emissor e recetor a uma certa distância (normalmente entre 5 a 50 metros) e indo deslocando-os em intervalos regulares ao longo de perfis. Em cada ponto de medida o resultado obtido refere-se ao ponto situado a meia distancia entre o emissor e recetor e a uma profundidade que depende da frequência usada, bem com da posição das bobines (horizontal ou vertical) (Vallejo, 2002).

O método eletromagnético em domínio de tempos consiste no registo das variações ao longo do tempo do campo magnético secundário gerado, enquanto o transmissor não emite. Isto evita ruídos e permite utilizar a bobine emissora como recetora.

O método eletromagnético de fonte de indução distante (VLF – "very low frequency") diferencia-se dos anteriores devido a fonte emissora ser uma estação distante. O campo primário é gerado por antenas de rádio distantes (centenas ou milhares de quilómetros) de muita baixa frequência.

A grande vantagem destes sistemas, independentemente da sua precisão é evitar o transporte para o campo de equipamentos pesados que possam gerar um campo eletromagnético primário, utilizando apenas bobines que captem o campo resultante. As ondas eletromagnéticas emitidas encontram-se entre 3 a 30 kHz, e cada emissora tem uma frequência específica (Vallejo, 2002).

O GPR (Ground Penetrating Radar), ou georadar, é um método geofísico de superfície (não destrutivo) que utiliza ondas eletromagnéticas de alta frequência (normalmente entre 10 e 2500 MHz) com o objetivo de mapear estruturas, diferenças litológicas subsuperficiais, cavidades ou objetos enterrados. Este é o método eletromagnético mais utilizado na área da geotecnia.

O método gravimétrico mede as variações do campo gravitacional terrestre provocadas por corpos rochosos dentro da crosta até poucos quilómetros de profundidade. Estas variações são influenciadas pelas diferentes densidades das rochas, tendo as mais densas, maior campo gravitacional. Um mesmo corpo (massa constante) mostrará pesos diferentes para diferentes locais, se as rochas subjacentes tiverem densidades diferentes, o que normalmente acontecerá. Entretanto, estas variações são de uma magnitude muito pequena, podendo apenas serem quantificadas por aparelhos especiais, denominados gravímetros. Em engenharia geológica tem grande aplicação a microgravimetria, útil para investigar anomalias gravimétricas de pequena escala (Vallejo, 2002).

Os métodos magnéticos consistem no estudo das variações locais do campo magnético terrestre, obtendo medidas absolutas da componente vertical do campo magnético. As anomalias devem-se a diferenças na suscetibilidade magnética dos solos e rochas, e a presença de minerais permanentemente magnetizados. Em engenharia geológica as principais aplicações são a localização de contactos litológicos, corpos metálicos enterrados, falhas, diques, massas mineralizadas, etc., sendo a sua utilidade muito limitada (Vallejo, 2002). A principal vantagem da magnetometria é que se trata de um método rápido e económico, levando menos de 30 segundos na leitura de cada estação. Os trabalhos de campo podem ser seriamente afetados pela presença de linhas elétricas, caminhos-de-ferro, veículos em movimento ou se o terreno for muito heterogéneo.

4. Trabalhos de prospeção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães

4.1. Introdução

A pedido da ARS – Administração Regional de Saúde do Centro, procedeu-se à execução de um estudo geológico e geotécnico no âmbito do projeto “construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães, Coimbra”.

Este estudo tem como principal objetivo a identificação e caracterização das condições geológicas e geotécnicas dos terrenos interessados ao projeto. Pretende-se, através da interpretação dos trabalhos realizados, avaliar as características e distribuição espacial dos terrenos existentes no local e estimar os parâmetros e condicionantes geotécnicas a adotar no projeto.

Foram executadas cinco sondagens (representadas em anexo) à rotação com o caroteiro de 86 mm, e tubo de revestimento de 89/98 mm, com realização de ensaios SPT (Standard Penetration Test) a cada 1,5 m de profundidade.

As litologias encontradas nos locais onde foi feita a prospeção e a interpretação da sua distribuição são representadas nos perfis geotécnicos AB, CD, EF, GH, IJ e LM (Fig.14,15,16,17,18 e 19, respetivamente), realizados pelo IPNlabgeo.

A interpretação dos perfis geotécnicos resultou na elaboração de um bloco-diagrama.

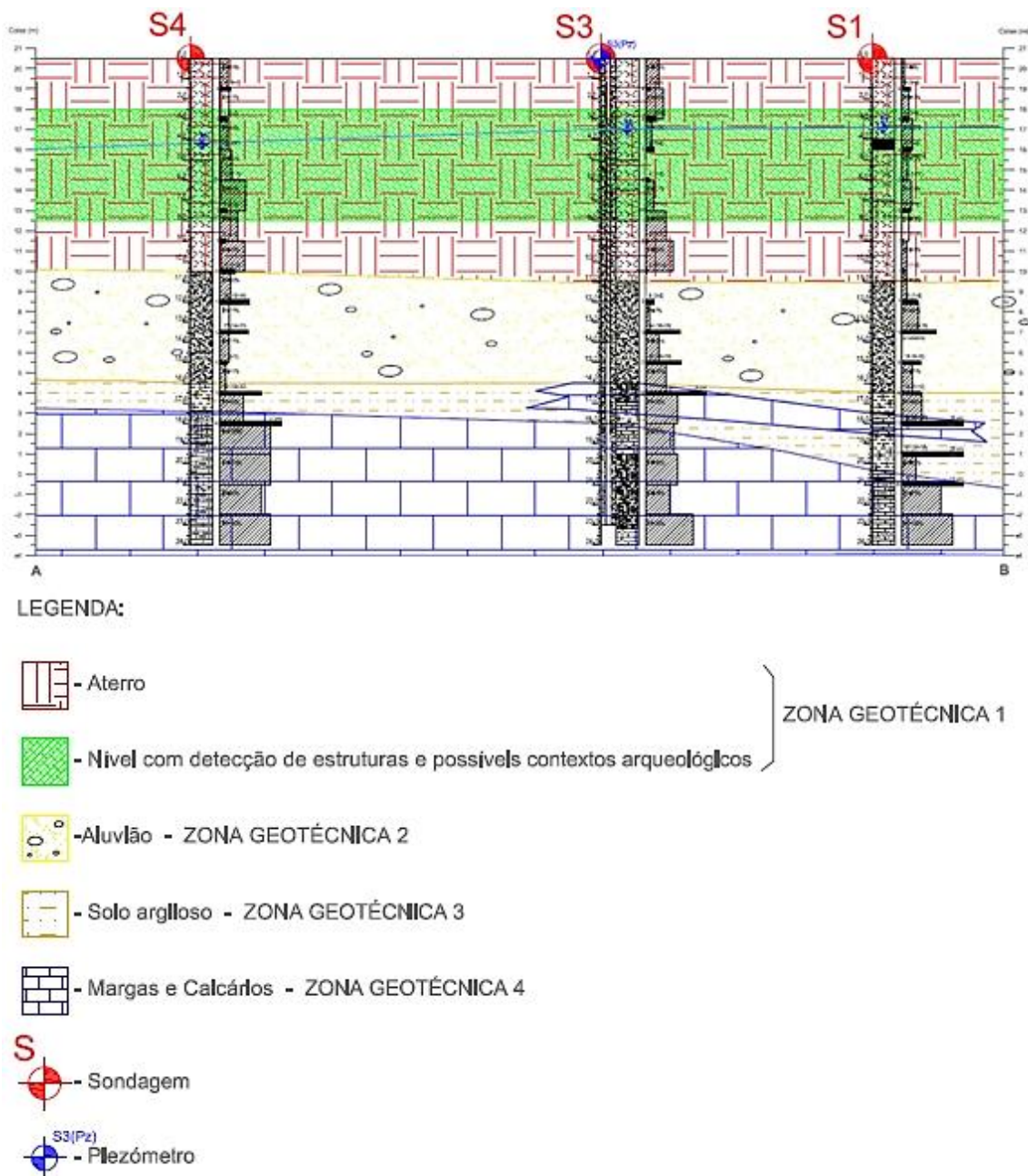
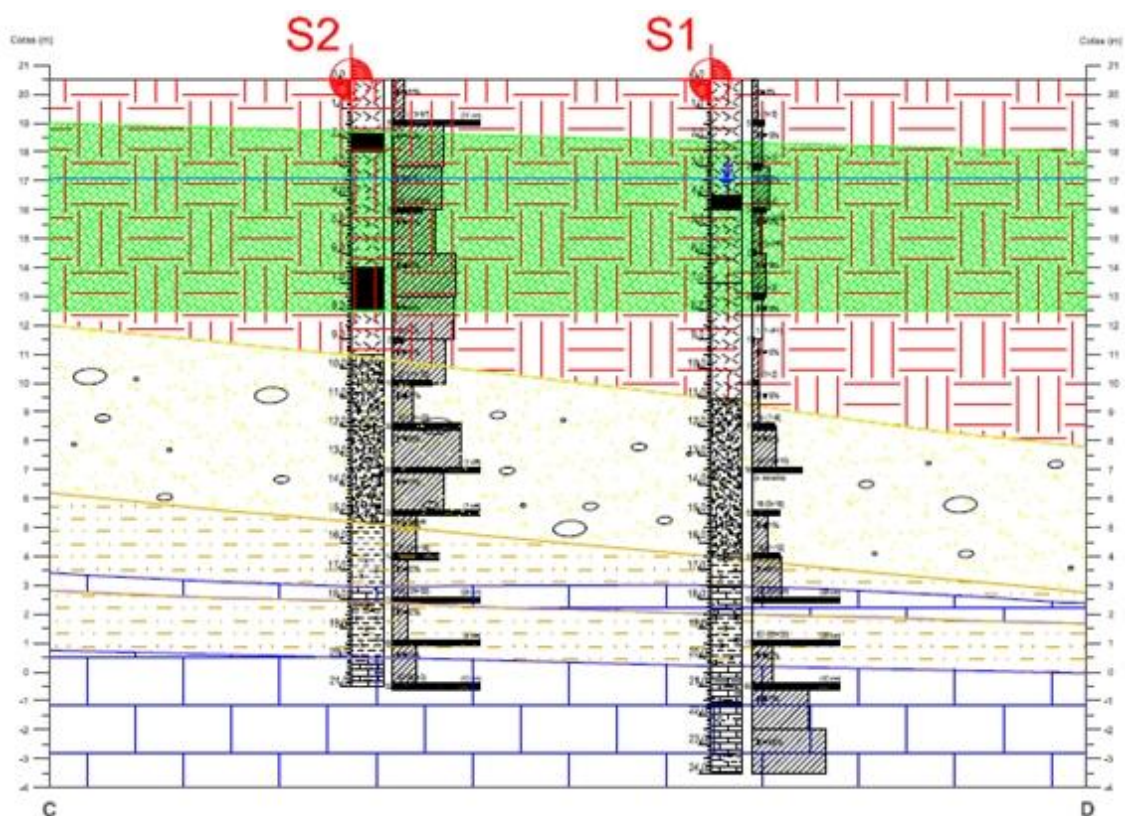


Figura 14 - Perfil geotécnico AB.



LEGENDA:








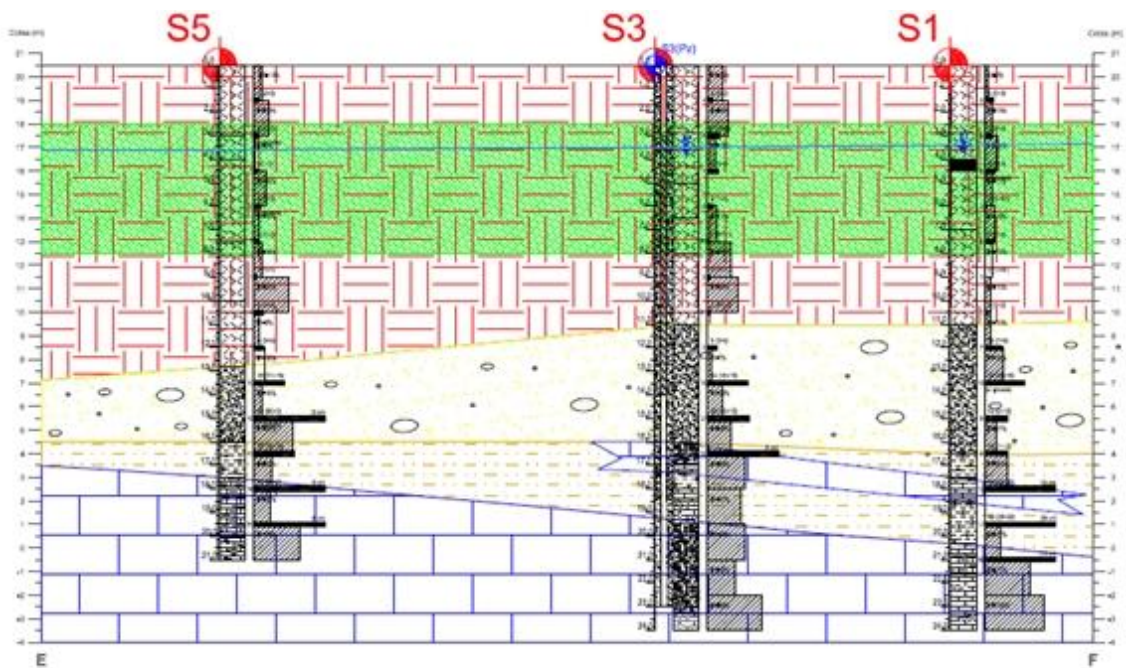
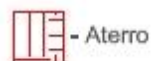
-  - Aterro
-  - Nível com detecção de estruturas e possíveis contextos arqueológicos
-  - Aluvião - ZONA GEOTÉCNICA 2
-  - Solo argiloso - ZONA GEOTÉCNICA 3
-  - Margas e Calcários - ZONA GEOTÉCNICA 4
-  - Sondagem
-  - Pez (Pz)

Figura 15 - Perfil geotécnico CD.



LEGENDA:



- Aterro



- Nível com detecção de estruturas e possíveis contextos arqueológicos



- Aluvião - ZONA GEOTÉCNICA 2



- Solo argiloso - ZONA GEOTÉCNICA 3



- Margas e Calcários - ZONA GEOTÉCNICA 4



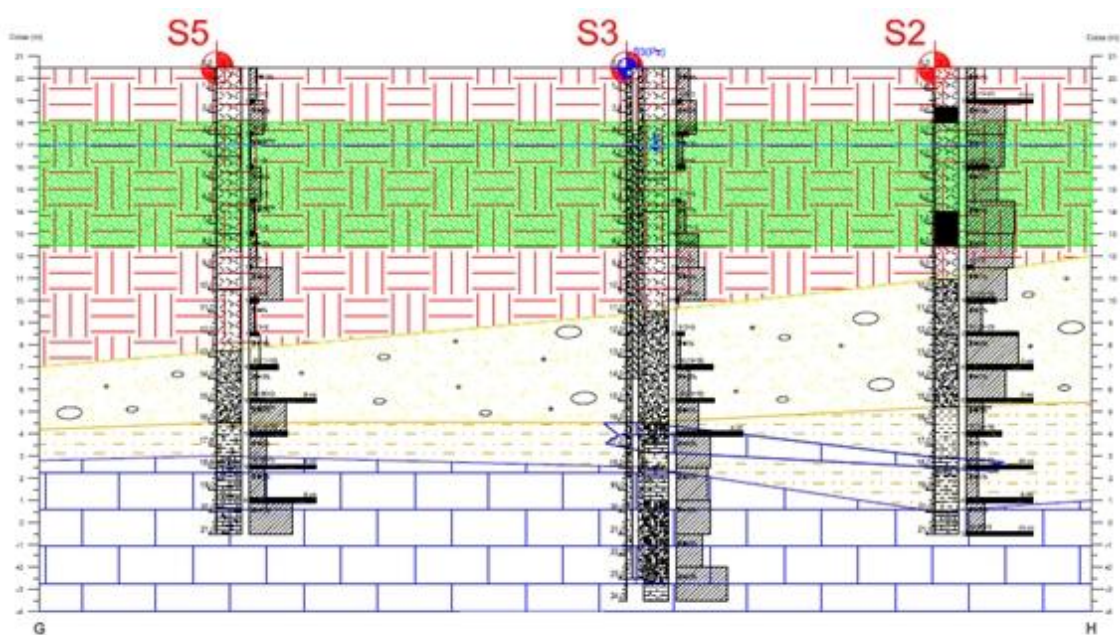
- Sondagem



- Piezômetro

ZONA GEOTÉCNICA 1

Figura 16 - Perfil geotécnico EF.



LEGENDA:








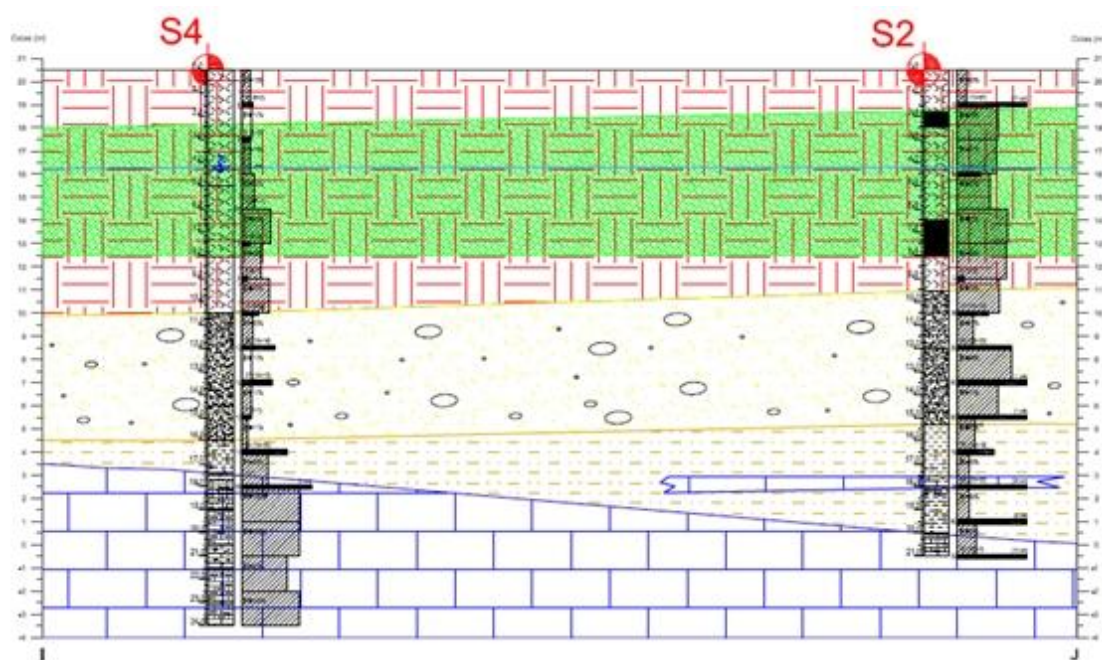
-  - Aterro
 -  - Nivel com detecção de estruturas e possíveis contextos arqueológicos
 -  - Aluvião - ZONA GEOTÉCNICA 2
 -  - Solo argiloso - ZONA GEOTÉCNICA 3
 -  - Margas e Calcários - ZONA GEOTÉCNICA 4
 -  - Sondagem
 -  - Piezómetro
- } ZONA GEOTÉCNICA 1

Figura 17 - Perfil geotécnico GH.



LEGENDA:








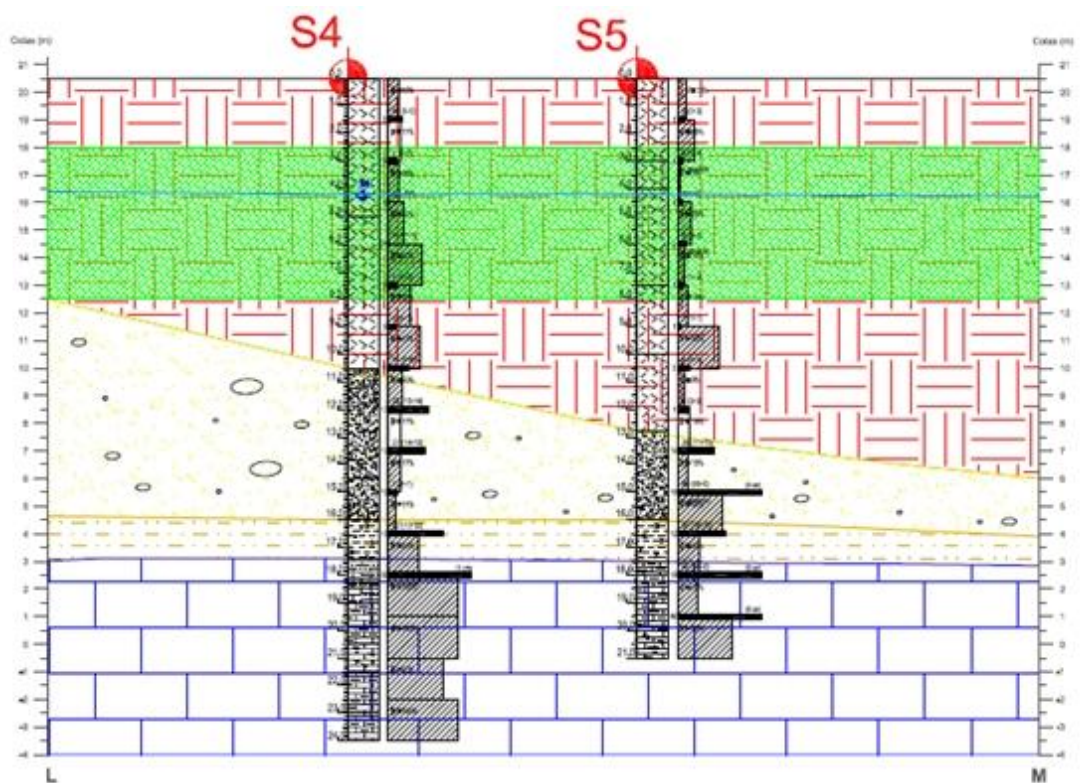
-  - Aterro
-  - Nível com deteção de estruturas e possíveis contextos arqueológicos
-  - Aluvião - ZONA GEOTÉCNICA 2
-  - Solo argiloso - ZONA GEOTÉCNICA 3
-  - Margas e Calcários - ZONA GEOTÉCNICA 4
-  - Sondagem
-  - Piezómetro

Figura 18 - Perfil geotécnico IJ.



LEGENDA:








-  - Aterro
-  - Nível com deteção de estruturas e possíveis contextos arqueológicos
-  - Aluvião - ZONA GEOTÉCNICA 2
-  - Solo argiloso - ZONA GEOTÉCNICA 3
-  - Margas e Calcários - ZONA GEOTÉCNICA 4
-  - Sondagem
-  - Piezómetro

Figura 19 - Perfil geotécnico LM.

4.2. Sondagens

No dia 5 de Dezembro de 2016 iniciaram-se os trabalhos de prospeção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães que decorreram até ao dia 23 de Dezembro. Estes trabalhos caracterizam-se pela realização de cinco sondagens (Fig. 20) dentro do parque de estacionamento do edifício da Segurança Social de Coimbra, tendo sido por isso necessário tomar medidas de segurança para que o parque de estacionamento continuasse em funcionamento em paralelo com a realização dos trabalhos de prospeção.

Foram realizadas cinco sondagens (representadas em anexo) mecânicas à rotação, designadas por sondagens S1 a S5, que atingiram 21,0m (S2 e S5) e 24,0m (S1, S3 e S4), e também ensaios SPT a cada 1,5m de profundidade.



Figura 20 - Planta das sondagens realizadas nos trabalhos de prospeção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães.

Numa fase inicial delimitou-se uma área de segurança, com recurso a grades e fitas sinalizadoras, para que os trabalhos ocorressem sem percalços (Fig.21). Tendo em conta que as sondagens necessitam de grandes quantidades de água, foi necessária a requisição de um contador de água ligado a uma boca-de-incêndio que se encontra no local. O local e a ordem das sondagens tiveram de ser considerados em função da possibilidade de risco de produção de lamas, uma vez que este é um dos problemas associados a este tipo de trabalhos (Fig.22).

As sondagens foram realizadas pelo Gabinete de Serviços Geotécnicos, Lda.



Figura 21 - Delimitação da área de trabalhos da sondagem S1.

A delimitação da área de trabalhos foi efetuada sempre que se mudava de sondagem. Depois de instalados todos os equipamentos necessários dá-se início a furação das sondagens (Fig.22).



Figura 22 - Trabalhos de perfuração na sondagem S1. De notar a produção de lamas.

Todas as sondagens foram executadas com um equipamento ELLETARI EK 200 (Fig.23), utilizando-se para a furação o caroteiro do tipo T2 de 86 mm, com tubo de revestimento de 89/98 mm de diâmetro externo/interno respetivamente. A utilização destes materiais permitiu obter estabilidade no furo e também a execução dos ensaios SPT.



Figura 23 - Equipamento utilizado na execução das sondagens (ELLETARI EK 200).

Os materiais recolhidos ao longo da furação foram acondicionados em caixas próprias, com o registo do número da sondagem e a profundidade de recolha (Fig.24).



Figura 24 - Caixa de amostras recolhidas. Nos sacos estão as amostras dos ensaios SPT.

As amostras recolhidas durante os ensaios SPT foram acondicionadas em sacos de plástico e colocadas nas caixas de amostragem (Fig.25).



Figura 25 - Amostra recolhida durante o ensaio SPT na sondagem S1 aos 1,5m.

Para as zonas de constituição rochosa foi considerada a percentagem de recuperação simples (IR), e RQD (Rock Quality Designation), que consiste numa percentagem de recuperação modificada, contabilizando-se apenas os comprimentos de tarolos com mais de 10 cm de comprimento.

As cinco sondagens intercetam terrenos artificiais (aterro), com espessuras que variam entre os 9,5m e os 12,8m. Esta camada inicial é heterogénea e é caracterizada por areias de granulometria extensa, por vezes de natureza argilosa, com fragmentos rochosos e, em alguns locais, resíduos de construção e demolição. Nas sondagens S1, S2 e S5, entre os 1,8m e os 8m, encontram-se fragmentos de estruturas arqueológicas que admitimos estarem relacionadas com o antigo Hospital dos Lázaros.

Percebeu-se que, em todas as sondagens, aparecia uma zona de granulometria mais grosseira a profundidades que variam entre os 9,5m e os 16,5m. Esta zona é caracterizada por aluviões de composição predominantemente arenosa com intercalações argilosas, passando em profundidade a cascalheira, seixos de várias dimensões, blocos quartzíticos e areia.

Entre os 15,3m e os 18,0m intercetou-se solo argiloso, maioritariamente de cor castanha com fragmentos de calcário. Esta unidade não foi detetada na sondagem S5.

Sob o solo argiloso e até ao fim de todas as sondagens, são detetadas intercalações de calcário carsificado com margas, de cor cinza e castanha. O calcário apresenta-se, desde pouco carsificado a muito carsificado com preenchementos argilosos.

Na sondagem S3 foi colocado um piezómetro para a monitorização dos níveis de água, designado por S3(Pz). Este é constituído por um tubo de PVC, ranhurado na zona produtiva e envolvido por areão. As cabeças dos tubos foram seladas com betão, para evitar infiltrações de águas de superfície e o entupimento a partir da boca, e foi colocada uma tampa de proteção (Fig.26).



Figura 26 - Piezómetro S3(Pz), com tampa de proteção.

As profundidades a que foi detetado o nível freático, medido após a conclusão das sondagens, são apresentadas a seguir (Tabela 1):

Sondagem	S1	S2	S3	S4	S5
Nível Freático (m)	3,4	-	3,5	4,2	-

Tabela 1 - Profundidade do nível freático.

4.3. Zonamento geotécnico

Tendo em conta a informação disponível, interpretou-se a distribuição e as características geológicas e geotécnicas dos terrenos presentes no local previsto para a implantação do projeto em estudo e definiu-se o seu zonamento em profundidade.

Com base nos elementos recolhidos e nos resultados da prospeção foram definidas quatro unidades geotécnicas: aterro, aluvião, solo argiloso e margas e calcários.

O aterro é constituído por solos superficiais caracterizados por areia com argila e, por vezes, argila lodosa, fragmentos rochosos de calcário com argamassa e resíduos de construção. O ensaio SPT permitiu obter valores muito variáveis, entre 1 e 20 pancadas, traduzindo um aterro mal compactado e heterogéneo. Os valores da percentagem de recuperação variam entre 0% (sem recuperação) e os 87%. Nesta unidade geotécnica foram detetadas estruturas e possíveis contextos arqueológicos entre os 1,8 m e os 8,0 m de profundidade, nas sondagens S1, S2, S3 e S5, tendo sido considerados pelo arqueólogo que acompanhou a execução das sondagens, como importantes para aferir a realidade arqueológica e patrimonial do sítio.

Na unidade subjacente, a aluvião, de natureza essencialmente arenosa e, por vezes, areno-argilosa, que ocorre com uma espessura que varia entre os 3,2 m e os 7,5 m. É possível distinguir areias de granulometria fina a média, por vezes com zonas argilosas a muito argilosas, de cor acastanhada, com seixos de dimensões variadas e blocos quartzíticos. Os valores de SPT obtidos nesta unidade variam entre as 7 pancadas e a nega do ensaio (60 pancadas). É importante salientar que os valores de SPT mais elevados poderão ser devido à presença de seixos ou de blocos rochosos, pelo que poderão não corresponder à real capacidade resistente da unidade como um todo. A percentagem de recuperação simples (IR) varia entre 0% e os 93%.

A unidade seguinte é caracterizada como solo argiloso. Esta zona está presente em todas as sondagens, apresentando espessuras variáveis, de cerca de 0,6 m na sondagem S4 e chegando a atingir os 4,7 m na sondagem S2. Os valores obtidos com ensaio SPT são variáveis, entre as 19 pancadas e a nega do ensaio (60 pancadas) e apresenta uma percentagem de recuperação simples entre os 0% e os 63%.

Por último aparece a unidade geotécnica de margas e calcários, por vezes muito carsificados com preenchimentos argilosos. Todas as sondagens realizadas terminaram nesta unidade geológica, sendo interstetada a profundidades entre os 16,5 m e os 17,0 m, terminando aos 21,0 m nas sondagens S2 e S5 e aos 24,0 m nas sondagens S1, S3 e S4. Os valores do SPT, tanto nas margas como nos calcários atingem sempre a nega

(60 pancadas), tendo percentagens de recuperação simples elevadas, chegando aos 100% nas sondagens S1 e S4.

Na tabela 2 observa-se a síntese dos resultados obtidos com as sondagens para as unidades geotécnicas consideradas.

Unidade Geotécnica (UG)	Descrição	SPT (nº de pancadas)	IR (%)	RQD (%)
UG1 - Aterro	- Solos remexidos de areia com argila e, por vezes, argila lodosa, fragmentos rochosos de calcário com argamassa e resíduos de construção; - Estruturas e possíveis contextos arqueológicos.	1-20	0-87	-
UG2 - Aluvião	- Areias, por vezes com zonas argilosas a muito argilosas, com seixos de dimensões variadas e blocos quartzíticos.	7-60	0-93	-
UG3 - Solo argiloso	- Solo margoso, por vezes com fragmentos de calcário.	19-60	0-63	-
UG4 - Margas e calcários	- Marga de cor cinza; - Calcário carsificado, por vezes muito carsificado com preenchimentos argilosos.	60	33-100	-

Tabela 2 - Síntese dos resultados obtidos com as sondagens para as unidades geotécnicas consideradas.

4.4. Bloco-Diagrama

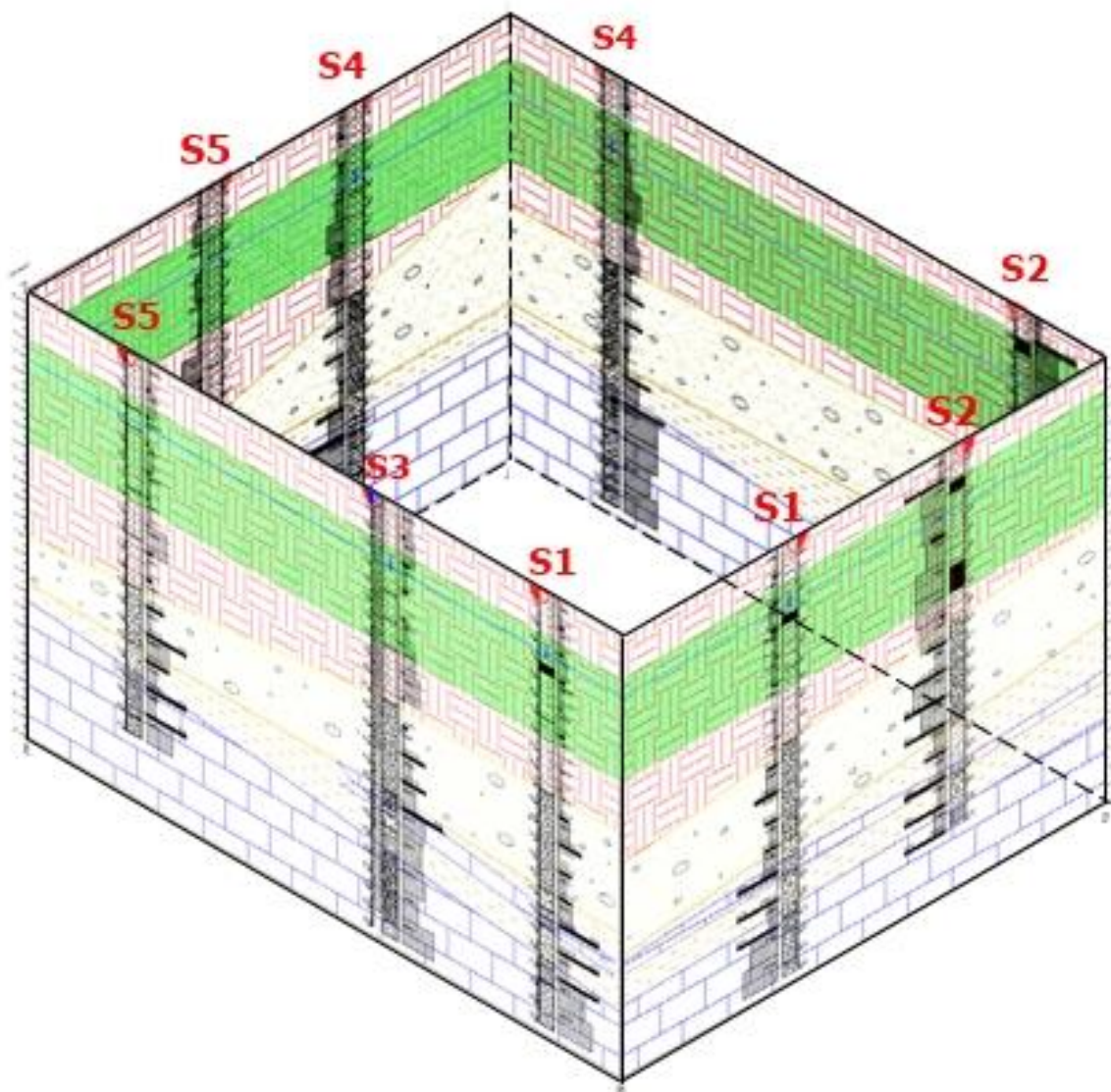
É uma representação gráfica de uma determinada área da crosta terrestre baseada em mapas e fotografias.

O bloco-diagrama é, na verdade, uma imagem bidimensional composta de recursos geométricos e variação tonal para criar a sensação de tridimensionalidade. É o que se chama de terceira dimensão virtual.

Neste caso, foram utilizados os perfis geotécnicos anteriormente apresentados para a elaboração do bloco-diagrama (Fig.27). Este processo consistiu nas seguintes etapas:

1. Desenhar um paralelepípedo com recurso ao programa informático PowerPoint;
2. Editar os perfis geotécnicos de modo a enquadrarem nas diferentes faces do paralelepípedo. Assim, as duas faces maiores foram distorcidas -25° na horizontal, enquanto as menores sofreram uma distorção de 23° na horizontal;
3. Substituir as faces do paralelepípedo pelos diferentes perfis tendo em conta a sua orientação espacial.

De maneira a ser possível observar a localização real das sondagens, foi necessário desenhar os alinhamentos dos perfis geotécnicos (Fig.28), tendo em conta a planta de localização da prospeção apresentada em anexo.



- Aterro



- Nível com deteção de estruturas e possíveis contextos geológicos



- Aluvião – ZONA GEOTÉCNICA 2



- Solo argiloso – ZONA GEOTÉCNICA 3



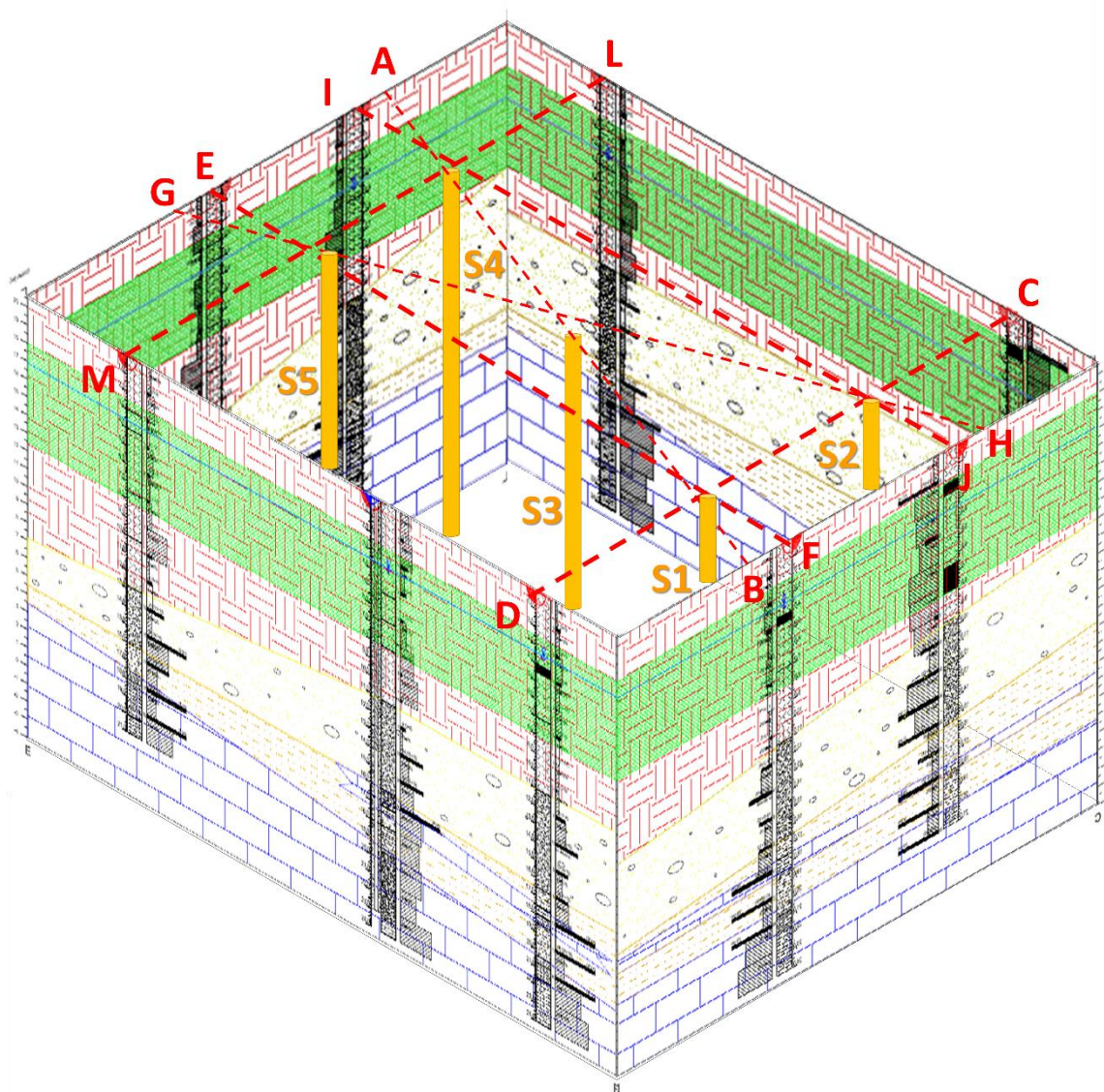
- Margas e calcários – ZONA GEOTÉCNICA 4



- Sondagem

ZONA GEOTÉCNICA 1

Figura 27 - Bloco-diagrama dos perfis geotécnicos.










-  - Aterro
 -  - Nível com deteção de estruturas e possíveis contextos geológicos
 -  - Aluvião – ZONA GEOTÉCNICA 2
 -  - Solo argiloso – ZONA GEOTÉCNICA 3
 -  - Margas e calcários – ZONA GEOTÉCNICA 4
 -  - Sondagem
 -  - Alinhamento dos perfis geotécnicos
- } ZONA GEOTÉCNICA 1

Figura 28 - Bloco-diagrama dos perfis geotécnicos com o alinhamento e a localização real das sondagens.

4.5. Arqueologia

Todos os trabalhos de prospeção realizados foram acompanhados por um arqueólogo. A arqueologia é a ciência que estuda as culturas e os modos de vida do passado a partir de vestígios materiais, sejam estes móveis — como por exemplo um objeto de arte — ou objetos imóveis — como é o caso das estruturas arquitetónicas. Deste modo é de grande importância a presença de um arqueólogo durante este tipo de trabalhos para determinar se existem vestígios materiais de interesse arqueológico.

Deste modo, e a pedido do IPN, foi realizado um relatório de acompanhamento arqueológico. De acordo com o descrito no relatório “...será de importância cabal a realização de sondagens arqueológicas prévias à fase de obra, cujo número e área sejam suficientemente capazes de aferir com o devido rigor científico a realidade arqueológica e patrimonial do sítio.”

De acordo com Roquinho (2016), “Pela importância do antigo Hospital dos Lázaros de Coimbra para a história da cidade e da Medicina em Portugal, entende, ainda, o arqueólogo responsável, que tanto os projetistas como o dono de obra sejam devidamente acautelados pelas entidades que tutelam o património dos constrangimentos que possam advir de eventuais trabalhos de movimentação de terras neste local.”

No relatório realizado pelo arqueólogo, percebe-se que, durante as sondagens, identificaram-se vestígios arqueológicos como fragmentos de muros pertencentes ao antigo Hospital dos Lázaros ou ainda vários fragmentos de cerâmica.

Tendo em conta o relatório arqueológico conclui-se que para a realização de obras no local em questão é necessário haver um estudo prévio e pormenorizado dos solos e de todos os vestígios com interesse arqueológico.

5. Análise de Intervenção no Centro de Saúde Fernão de Magalhães

5.1. Objetivos

A construção de um novo centro de saúde implica muitas condicionantes que têm de ser estudadas e analisadas previamente. Esta análise teve como principal objetivo determinar se existem condições favoráveis, no que diz respeito à geologia, geotecnia e arqueologia, para a construção do novo Centro de Saúde Fernão de Magalhães.

5.2. Metodologias

Para se atingirem os objetivos traçados é necessário realizar estudos no local em causa. Neste projeto foram realizadas sondagens e, posteriormente, relatórios que descrevessem os dados recolhidos durante as sondagens.

Deste modo, foram realizadas cinco sondagens mecânicas à rotação, designadas por sondagens S1 a S5, que atingiram 21,0m (S2 e S5) e 24,0m (S1, S3 e S4), e também ensaios SPT a cada 1,5m de profundidade.

A realização das sondagens foi acompanhada por um arqueólogo que, à medida que as amostras iam sendo recolhidas, ia documentando e analisando as mesmas. No fim de todas as sondagens serem concluídas, o mesmo arqueólogo elaborou um relatório arqueológico onde descreveu todos os aspetos que considerou importantes e relevantes para a construção de edifícios na área em estudo.

Os trabalhos de prospeção foram também acompanhados por geólogos que, durante, as sondagens analisaram as amostras que iam sendo recolhidas. Deste modo foi possível elaborar um relatório arqueológico onde se descreveu as características do solo prospetado de maneira a concluir sobre as condicionantes associadas à construção do novo centro de saúde naquele lugar.

5.3. Condicionantes à realização do projeto

Depois de concluídos todos os estudos necessários é possível encontrar algumas condicionantes à realização do projeto em causa. Tendo em consideração o zonamento geotécnico referido anteriormente, conclui-se que existem unidades geotécnicas que apresentam características não adequadas à construção de edifícios. Com efeito, a UG1 apresenta uma composição heterogénea, composta essencialmente por materiais de aterro, o que lhe confere um comportamento não uniforme e difícil de prever. Também a UG3 é uma zona de alteração entre o maciço calcário e os depósitos aluvionares, por

ser uma zona de transição constituída por solos argilosos, deve ser evitada como terreno de fundação.

Outra das condicionantes encontradas é o facto de existir património arqueológico no terreno. Trata-se de uma zona onde já existiu o antigo Hospital dos Lázaros, sendo por isso muito provável que durante as escavações surjam vestígios arqueológicos como fragmentos de muros pertencentes ao antigo Hospital dos Lázaros ou ainda vários fragmentos de cerâmica.

Tendo em conta o relatório arqueológico conclui-se que para a realização de obras no local em questão é necessário haver um estudo prévio e pormenorizado dos solos e de todos os vestígios com interesse arqueológico.

Para além destas condicionantes, importa ainda referir que se trata de uma zona bastante urbanizada o que trará bastantes complicações na fase de construção de edifícios na área em estudo.

É de salientar finalmente que todas estas condicionantes à concretização do projeto não só terão repercussões em termos de tempo de execução atrasando o plano previsto), como também ao nível de custos (igualmente mais elevados).

6. Conclusões

No terreno em estudo foi possível encontrar terrenos superficiais de aterro, constituídos por solos remexidos de areia com argila; fragmentos rochosos de calcário e resíduos de construção, que constituem a unidade geotécnica 1 (UG1); aluvião com seixos de dimensões variadas, por vezes com blocos quartzíticos, que constituem a unidade geotécnica 2 (UG2); solo argiloso, que constitui a unidade geotécnica 3 (UG3); e margas e calcário carsificado, por vezes muito carsificado, que constitui a unidade geotécnica 4 (UG4).

Nos perfis geotécnicos apresentados anteriormente, é feita uma estimativa genérica da distribuição das unidades geotécnicas, com base nas sondagens efetuadas e no conhecimento deste tipo de terrenos. O zonamento geotécnico constitui uma síntese e interpretação dos dados recolhidos neste estudo, podendo no entanto ocorrer variações que não foram detetadas, pois a obtenção de informação pontual conseguida nas sondagens e a distribuição por vezes imprevisível das unidades geológicas, pode levar a interpretações afastadas da realidade dos terrenos.

A unidade geotécnica 1, que tem uma composição heterogénea, tratando-se sobretudo de materiais de aterro, apresentará um comportamento não uniforme e difícil de prever, pelo que se considera não ser a mais adequada como terreno de fundação.

A unidade geotécnica 2 já apresenta melhores características, embora os valores do ensaio SPT sejam muito variáveis, entre 7 pancadas e 60 pancadas, verificando-se uma tendência para valores de maior resistência a profundidades próximas do maciço calcário.

A unidade geotécnica 3, que é uma zona de alteração entre o maciço calcário e os depósitos aluvionares, apresenta melhores características que a unidade geotécnica 2, mas por ser uma zona de transição constituída por solos argilosos, deve ser evitada como terreno de fundação.

A unidade geotécnica 4 corresponde ao firme rochoso menos alterado, interstada a profundidades entre os 16,5 m e os 17,0 m, pelo que apresenta uma boa capacidade de suporte como terreno de fundação, atingindo-se a nega (60 pancadas) no ensaio SPT. Deve-se ter em consideração a possível ocorrência de zonas de alteração variáveis, podendo existir preenchimentos argilosos menos resistentes, disseminados na zona menos alterada dos calcários.

Todas as zonas geotécnicas serão desmontáveis com recurso a meios mecânicos (pás mecânicas e/ou baldes de escavadoras). No entanto, a possível ocorrência de zonas

menos alteradas poderá obrigar à utilização pontual de martelos hidráulicos de elevada energia, uma vez que a localização da área a escavar não aconselha a utilização de explosivos.

Dependendo da profundidade das fundações a executar haverá que contar com a presença indesejável da água pois, como referido anteriormente, o nível freático foi detetado nas sondagens S1, S3 e S4 aos 3,4 m, 3,5 m e 4,2 m de profundidade, respetivamente, embora não tendo sido intersetado nas sondagens S2 e S5. As operações de escavação e preparação das fundações para as cotas que se situem abaixo do nível freático deverão, de preferência, ser realizadas em período seco, minimizando-se assim os problemas resultantes da água nas fundações ou os requisitos de rebaixamento.

É ainda de realçar o acompanhamento arqueológico do Arqueólogo Pedro Roquinho, que no relatório final conclui o seguinte:

- “Havendo vontade do dono de obra em construir em cota negativa neste local, será de importância cabal a realização de sondagens arqueológicas prévias à fase de obra, cujo número e área sejam suficientemente capazes de aferir com o devido rigor científico a realidade arqueológica e patrimonial do sítio.”
- “Pela importância do antigo Hospital dos Lázarus de Coimbra para a história da cidade e da Medicina em Portugal, entende, ainda, o arqueólogo responsável, que tanto os projetistas como o dono de obra sejam devidamente acautelados pelas entidades que tutelam o património dos constrangimentos que possam advir de eventuais trabalhos de movimentação de terras neste local.”

Desta forma, é apresentado nos perfis geotécnicos, entre os 1,8 m e os 8,0 m de profundidade, um nível com deteção de estruturas e possíveis contextos arqueológicos.

De acordo com as informações transmitidas pelo Arqueólogo Pedro Roquinho, se a fundação for realizada acima do nível arqueológico deverá ser necessário acompanhamento arqueológico na fase de execução das fundações. Caso se opte por fundações mais profundas deverá ser necessário realizar previamente sondagens arqueológicas. As decisões vinculativas serão da responsabilidade da Direção Regional de Cultura do Centro.

Para fundações para além dos 2,5 m de profundidade, as alternativas são várias, desde paredes moldadas a estacas, micro estacas, *jet grouting*, sendo aconselhado que as tensões sejam levadas ao firme calcário para garantir um comportamento uniforme da fundação. Na opção de construir a fundação acima dos 2,5 m de profundidade, poderão ser utilizados elementos de fundação tais como sapatas ou ensoleiramento geral.

Consideramos ainda conveniente ressaltar que nos níveis de aterro acima do nível arqueológico foram encontrados blocos de calcário que, sem qualquer dúvida, pertenceram a estruturas construídas e demolidas, pelo que no decorrer das escavações para fundações superficiais serão encontrados mais elementos que poderão apresentar interesse arqueológico. Acresce ainda a heterogeneidade do aterro que aconselha a utilizar tensões moderadas, e soluções que não sejam afetadas pelas deformações diferenciais em resultado das cargas que a estrutura irá transmitir ao terreno. Consideramos como solução preferencial para uma fundação superficial a escolha de ensoleiramento geral pois é a solução que menores acréscimos de tensão transmite ao terreno e a que melhor irá resistir às deformações diferenciais que possam resultar da heterogeneidade dos aterros e mesmo das aluviões subjacentes.

7. Referências bibliográficas

ADAMS, J. M. & FAURE, H. (1997) - Review and Atlas of Palaeovegetation: Preliminary land ecosystem maps of the world since the Last Glacial Maximum. Oak Ridge National Laboratory, TN, USA.

ALARCÃO, J. (2012) – As Pontes que se afogaram no Rio, Coimbra.

DANIELSEN, R. & CASTILHO, A. M. & DINIS, P. A. & ALMEIDA, A. C. & CALLAPEZ, P. M. (2011) – Holocene interplay between a dune field and coastal lakes in the Quiaios-Tocha region, central littoral Portugal.

DAVEAU, S. (1972) – La glaciation de la Serra da Estrela, Finisterra.

Departamento de geologia, Lisboa.

DIAS, J. M. A. & BOSKI, T. & RODRIGUES, A. & MAGALHÃES, F. (2000) - Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present – A synthesis. Marine Geology 170: 177–186.

GOODMAN, R. E. (1993) – Engineering Geology: Rock in Engineering Construction.

<http://amanrp.blogspot.pt/2015/10/hospital-de-s-lazaro-coimbra.html>

<http://bloguecentelha.blogspot.pt/2007/11/o-hospital-de-s-lzaro-primeiro-hospital.html>

<http://conccepar.grupointegrado.br/resumo/importancia-da-geologia-na-engenharia-civil/480/924>

http://geo.web.ua.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=165:metodos-sismicos&catid=36:metodos-geofisicos&Itemid=60

<http://home.fa.utl.pt/~miarq4p5/2010->

[11/2_SupportElements/1_TownHall_Elements/1_County_REVISAO%20PDM%202%AA%20Reuniao%20Plenaria/Estudos%20de%20Caracteriza%E7%E3o/Estudos_Tematicos/REDE_INVEST/Patrim%F3nio%20Biol%F3gico%20Geol%F3gico/Monografia_Geo_F1.pdf](http://home.fa.utl.pt/~miarq4p5/2010-11/2_SupportElements/1_TownHall_Elements/1_County_REVISAO%20PDM%202%AA%20Reuniao%20Plenaria/Estudos%20de%20Caracteriza%E7%E3o/Estudos_Tematicos/REDE_INVEST/Patrim%F3nio%20Biol%F3gico%20Geol%F3gico/Monografia_Geo_F1.pdf)

<http://portalclubedeengenharia.org.br/info/a-importancia-de-estudos-geologicos-geotecnicos-para-obras-civis>

http://snirh.apambiente.pt/snirh/download/aquiferos_PortugalCont/Ficha_O6.pdf

<http://www.avph.com.br/glaciacao.php>

<http://www.geopor.pt/gne/campo/coimbra/coimbra.html>

<http://www.infoescola.com/clima/glaciacoes/>

<http://www.lneg.pt/download/1521>

http://www2.dec.fct.unl.pt/seccoes/S_Geotecnia/Fundamentos_Geotecnia/2_introducao.pdf

https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/18530/1/TESE_CD_Ana%20Rita%20Rocha.pdf

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143446410/Tese.pdf>

<https://geotecnia.online/cursos/investigaciones-in-situ/>

[https://run.unl.pt/bitstream/10362/1487/1/Bacia_Lusitana%20\(VIICNG\).pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/1487/1/Bacia_Lusitana%20(VIICNG).pdf)

<https://www.cm-coimbra.pt/index.php/servicos/documentacao-geral/menu-area-de-ficheiros/urbanismo/arqueologia/intervencao-arqueologica-artigos/fichas/6260-acompanhamento-arqueologico-7/file>

https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes

[https://www.infopedia.pt/\\$periodos-de-glaciacao-da-terra](https://www.infopedia.pt/$periodos-de-glaciacao-da-terra)

KRYNINE, D. P. & JUDD, W. R. (1961) – Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros, Ediciones Omega, S.A., Barcelona.

LEGGET, R. F (1950) – Geología para Ingenieros, Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona.

MARQUES, R. (2004) – Coimbra através dos tempos, Coimbra.

MCLEAN, A. C. & GRIBBLE, C. D. (1992) – Geology for Civil Engineers, Second Edition.

MINEIRO, A. (1981) – Mecânica dos Solos e Fundações, Vol.1.

OLIVEIRA, R. (1986) – Geologia de Engenharia e Mecânica das Rochas. Conceitos fundamentais. Metodologia de estudo dos maciços rochosos.

OLIVEIRA, R. (2000) – Geotechnics, development and environment.

Portugal, escala 1/50.000. Notícia explicativa da folha 19-D (Coimbra-Lousã), INETI,

QUINTA-FERREIRA, M. et al, (2011) – Estudo da Estabilidade das Margens do Mondego, entre o Parque Manuel Braga e o Açude-Ponte, Coimbra.

QUINTA-FERREIRA, M. et al, (2012) – Caracterização geotécnica de zonas degradadas nas margens do Rio Mondego em Coimbra – Para desenvolver a Terra, GeoCPLP, Universidade de Coimbra.

ROCHA, M. (1981) – Mecânica das Rochas

SERAFINO, J. F. C. (1960) – Notas sobre o Rio Mondego, Memorandum int. da D.S.R.H.M., Hidráulica do Mondego, passado, presente e futuro.

SOARES, A. F. & MARQUES, J. F. & ROCHA, R. B. (1985) – Contribuição para o Conhecimento Geológico de Coimbra. Memórias e Notícias nº100, Publicação do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra.

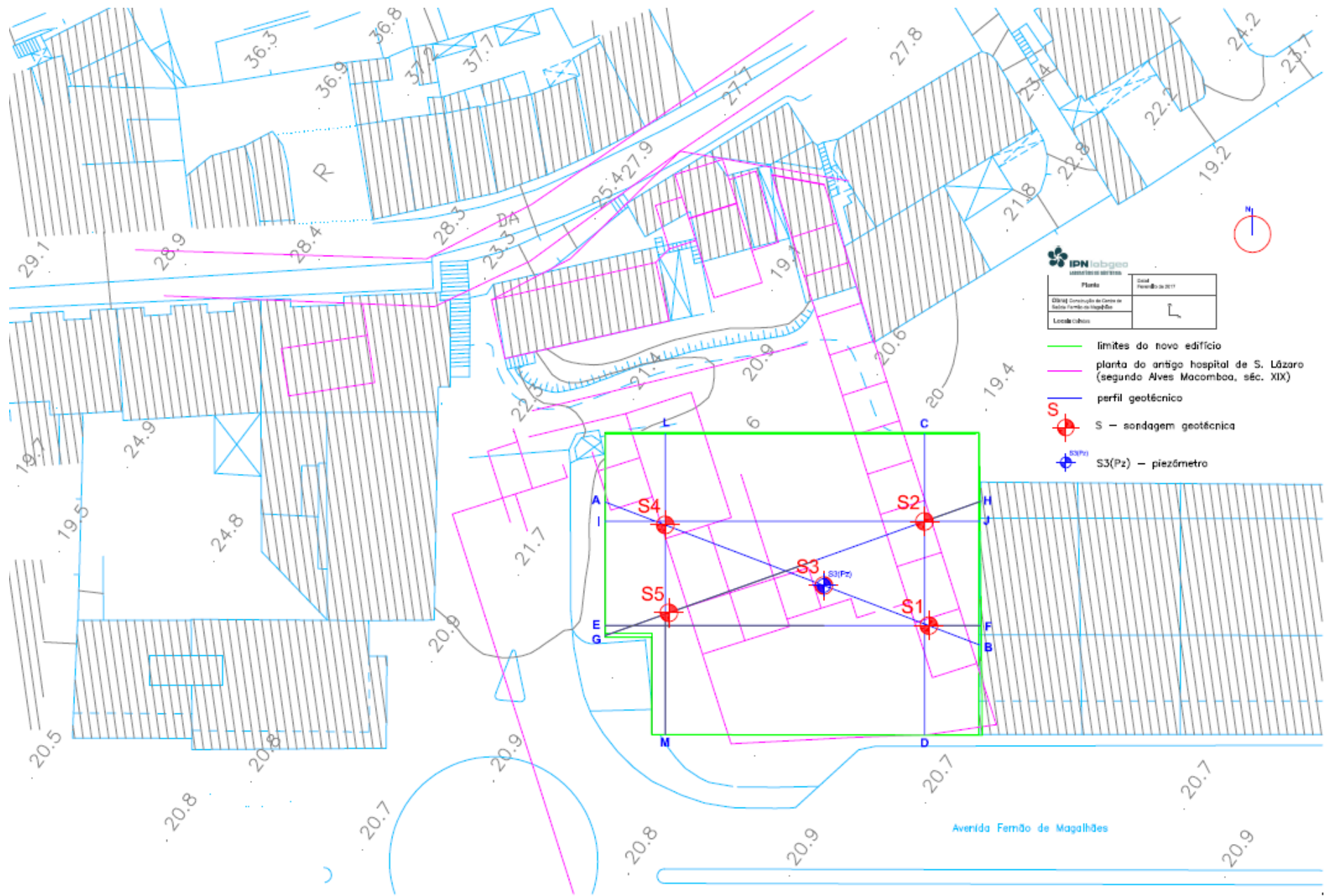
SOARES, A. F. & MARQUES, J. F. & SEQUEIRA, A. J. D. (2007) - Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000. Notícia explicativa da folha 19-D (Coimbra-Lousã), INETI, Departamento de geologia, Lisboa.

VALLEJO, L. I. G. (2004) – Ingeniería Geológica. Pearson Educación, S.A., Madrid.

8. Anexos

Planta da Localização da Prospecção

Condições geológicas e geotécnicas da fundação para um edifício na Av. Fernão de Magalhães, em Coimbra



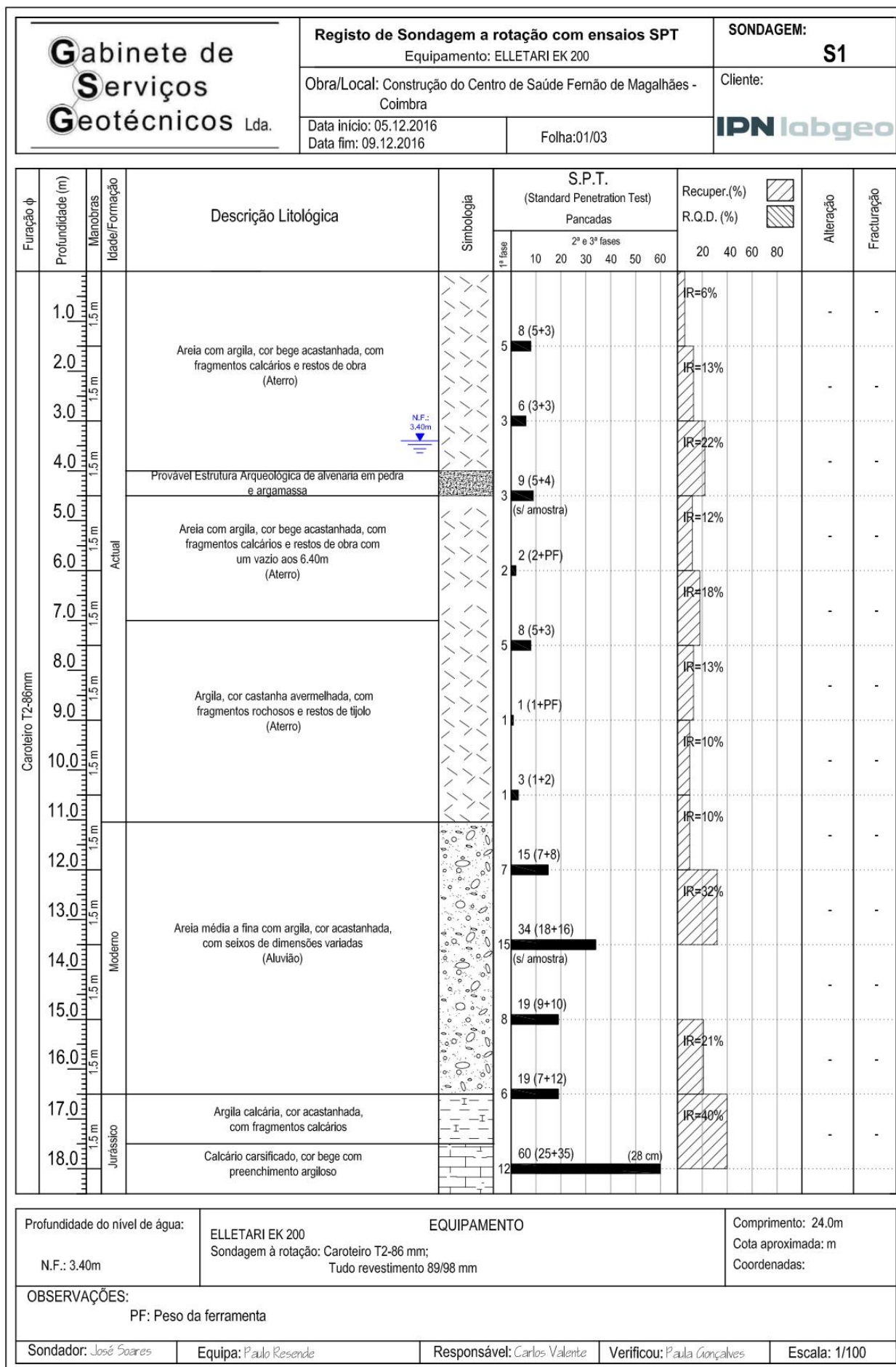
IPN labgeo
LABORATÓRIO DE GEOTÉCNICA

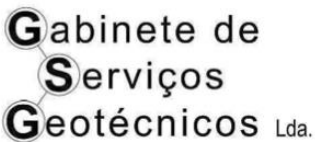

Planta	Data
03/04/2017	16/05/2017
Localização	

- limites do novo edifício
- planta do antigo hospital de S. Lázaro (segundo Alves Macombos, séc. XIX)
- perfil geotécnico
- S - sondagem geotécnica
- S3(Pz) - piezómetro

Sondagens Mecânicas

(S1 a S5)



		Registo de Sondagem a rotação com ensaios SPT Equipamento: ELLETARI EK 200				SONDAGEM: S1				
		Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães - Coimbra				Cliente:				
		Data início: 05.12.2016 Data fim: 09.12.2016		Folha:03/03						
Furação φ Profundidade (m) Manobras Idade/Formação	Caroteiro T2-86mm 19.0 20.0 21.0 22.0 23.0 24.0 25.0 26.0 27.0 28.0 29.0 30.0 31.0 32.0 33.0 34.0 35.0 36.0	Jurássico	Descrição Litológica Calcário carsificado, cor bege com preenchimento argiloso	Simbologia	S.P.T. (Standard Penetration Test) Pancadas 2ª e 3ª fases 1ª fase 10 20 30 40 50 60				Recuper.(%) R.Q.D. (%)	Alteração Fracturação
			Argila calcária, cor acastanhada, com fragmentos calcários		60 (25+35) (26 cm)	IR=27%	W4-W3 F5			
			Calcário, cor bege acinzentada		60 (10 cm)	IR=77%				
			Marga calcária, cor cinza			IR=100%				
			Calcário por vezes carsificado, cor bege com zonas argilosas							
FIM DE SONDAGEM										
Profundidade do nível de água: N.F.: 3.40m		EQUIPAMENTO ELLETARI EK 200 Sondagem à rotação: Caroteiro T2-86 mm; Tudo revestimento 89/98 mm				Comprimento: 24.0m Cota aproximada: m Coordenadas:				
OBSERVAÇÕES:										
Sondador: José Soares		Equipa: Paulo Resende		Responsável: Carlos Valente		Verificou: Paula Gonçalves				
Escala: 1/100										

**Gabinete de
Serviços
Geotécnicos** Lda.

REGISTO FOTOGRÁFICO DA AMOSTRA

SONDAGEM:
S1

Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães -
Coimbra

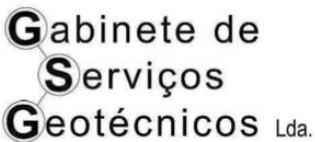



Cliente:

Data início: 05.12.2016
Data fim: 09.12.2016

Folha:03/03

IPN labgeo



		Registo de Sondagem a rotação com ensaios SPT Equipamento: ELLETARI EK 200				SONDAGEM: S2									
		Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães - Coimbra				Cliente:									
		Data início: 16.12.2016 Data fim: 22.12.2016		Folha:03/03											
Furação φ	Profundidade (m)	Manobras Idade/Formação	Descrição Litológica	Simbologia	S.P.T. (Standard Penetration Test)						Recuper.(%) R.Q.D. (%)	Alteração	Fracturação		
					Pancadas									20 40 60 80	
					2ª e 3ª fases										
					1ª fase	10	20	30	40	50	60				
Caroteiro T2-86mm	19.0	Jurássico	Argila calcária, cor acastanhada, com fragmentos calcários		60 (8 cm)						IR=20%	-	-		
	20.0		Marga calcária, cor cinza			60 (60+0) (10 cm)						IR=33%	-	-	
	21.0		FIM DE SONDAGEM		32										
	22.0														
	23.0														
	24.0														
	25.0														
	26.0														
	27.0														
	28.0														
	29.0														
	30.0														
	31.0														
	32.0														
	33.0														
	34.0														
	35.0														
	36.0														
Profundidade do nível de água:		EQUIPAMENTO				Comprimento: 21.0m									
N.F.:		ELLETARI EK 200 Sondagem à rotação: Caroteiro T2-86 mm; Tudo revestimento 89/98 mm				Cota aproximada: m									
						Coordenadas:									
OBSERVAÇÕES:															
Sondador: José Soares		Equipa: Paulo Resende		Responsável: Carlos Valente		Verificou: Paula Gonçalves		Escala: 1/100							

**Gabinete de
Serviços
Geotécnicos** Lda.

REGISTO FOTOGRÁFICO DA AMOSTRA

SONDAGEM: **S2**

Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães -
Coimbra

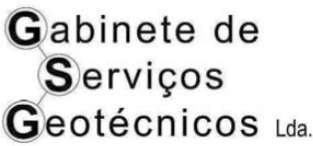

Cliente:






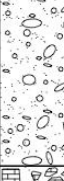

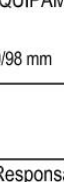
Data início: 16.12.2016
Data fim: 22.12.2016

Folha:03/03

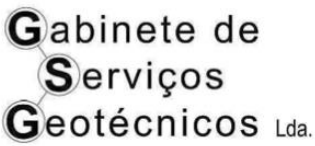




IPN labgeo



		Registo de Sondagem a rotação com ensaios SPT Equipamento: ELLETARI EK 200				SONDAGEM: S3	
		Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães - Coimbra				Cliente:	
		Data início: 14.12.2016 Data fim: 16.12.2016		Folha:01/03			

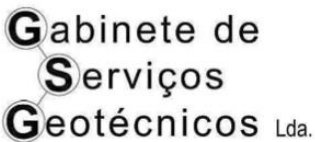

Furação φ	Profundidade (m)	Piezômetro	Manobras Idade/Formação	Descrição Litológica	Simbologia	S.P.T. (Standard Penetration Test)						Recuper. (%)				Alteração	Fracturação			
						Pancadas						R.Q.D. (%)								
						1ª fase	2ª e 3ª fases					20	40	60	80					
	1.0			Areia argilosa, cor castanha e bege, com fragmentos calcários e restos de obra (Aterro)																
	2.0					5 (3+2)														
	3.0					11 (3+8)														
	4.0			Argila com areia, cor acastanhada (Provável Aterro)																
	5.0					9 (5+4)														
	6.0			Areia muito argilosa, cor castanha avermelhada (Provável Aterro)																
	7.0					4 (1+3)														
	8.0			Argila, cor castanha avermelhada, com fragmentos calcários (Provável Aterro)																
	9.0					1 (PF+1)														
	10.0			Areia fina a média, cor bege acastanhada, com seixos de dimensões variadas (Aluvião)																
	11.0					2 (1+1)														
	12.0			Fragmentos e blocos calcários, cor bege acinzentada																
	13.0					2 (PF+2)														
	14.0					8 (3+5)														
	15.0			Alternância de calcário, cor bege acinzentada e argila margosa, cor castanha com fragmentos calcários																
	16.0					34 (16+18)														
	17.0			Jurássico																
	18.0					35 (16+19)														

Profundidade do nível de água: N.F.: 3.50m (23/12/2016)	EQUIPAMENTO ELLETARI EK 200 Sondagem à rotação: Caroteiro T2-86 mm; Tudo revestimento 89/98 mm	Comprimento: 24.0m Cota aproximada: m Coordenadas:
OBSERVAÇÕES: PF: Peso da ferramenta		
Sondador: José Soares	Equipa: Carlos Valente	Responsável: Carlos Valente
Verificou: Paula Gonçalves	Escala: 1/100	

		Registo de Sondagem a rotação com ensaios SPT Equipamento: ELLETARI EK 200				SONDAGEM: S3											
		Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães - Coimbra				Cliente:											
		Data início: 14.12.2016 Data fim: 16.12.2016		Folha:03/03													
Furação φ	Profundidade (m)	Piezômetro	Manobras Idade/Formação	Descrição Litológica	Simbologia	S.P.T. (Standard Penetration Test)						Recuper.(%) R.Q.D. (%)	Alteração	Fracturação			
						Pancadas											
						1ª fase	2ª e 3ª fases										
						10	20	30	40	50	60	20	40	60	80		
Caroteiro T2-86mm	19.0		1.5 m	Calcário carsificado, cor bege com preenchimento argiloso								IR=57%		-	-		
	20.0		1.5 m	Calcário muito carsificado, cor bege com preenchimento argiloso (Fragmentos)								IR=63%		-	-		
	21.0		1.5 m										IR=48%		-	-	
	22.0		1.5 m									IR=93%		-	-		
23.0		1.5 m	Calcário carsificado, cor bege com preenchimento argiloso										-	-			
	24.0			FIM DE SONDAGEM													
	25.0																
	26.0																
	27.0																
	28.0																
	29.0																
	30.0																
	31.0																
	32.0																
	33.0																
	34.0																
	35.0																
	36.0																
Profundidade do nível de água: N.F.: 3.50m (23/12/2016)		EQUIPAMENTO ELLETARI EK 200 Sondagem à rotação: Caroteiro T2-86 mm; Tudo revestimento 89/98 mm				Comprimento: 24.0m Cota aproximada: m Coordenadas:											
OBSERVAÇÕES:																	
Sondador: José Soares		Equipa: Carlos Valente		Responsável: Carlos Valente		Verificou: Paula Gonçalves		Escala: 1/100									

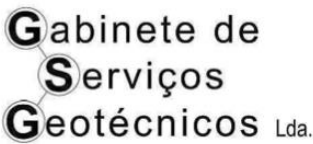

	REGISTO FOTOGRÁFICO DA AMOSTRA		SONDAGEM: S3
	Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães - Coimbra		Cliente:
	Data início: 14.12.2016 Data fim: 16.12.2016	Folha:03/03	IPN labgeo






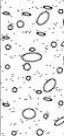
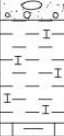



		Registo de Sondagem a rotação com ensaios SPT Equipamento: ELLETARI EK 200				SONDAGEM: S4					
		Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães - Coimbra				Cliente:					
		Data início: 12.12.2016 Data fim: 13.12.2016		Folha:03/03							
Furação φ Profundidade (m) Manobras Idade/Formação	Caroteiro T2-86mm 19.0 20.0 21.0 22.0 23.0 24.0 25.0 26.0 27.0 28.0 29.0 30.0 31.0 32.0 33.0 34.0 35.0 36.0	Jurássico	Rocha calcária muito fracturada em matriz argilosa	Simbologia	S.P.T. (Standard Penetration Test) Pancadas 2ª e 3ª fases 1ª fase				Recuper. (%) R.Q.D. (%)	Alteração	Fracturação
			Marga calcária, cor cinza com fragmentos calcários		10 20 30 40 50 60	20 40 60 80	IR=100%				
			Calcário carsificado, cor bege com preenchimento argiloso				IR=100%				
			Marga calcária, cor cinza e acastanhada				IR=80%				
			Alternância de calcário, cor bege acinzentada e marga calcária, cor cinza				IR=100%				
			FIM DE SONDAGEM								
Profundidade do nível de água: N.F.: 4.20m		EQUIPAMENTO ELLETARI EK 200 Sondagem à rotação: Caroteiro T2-86 mm; Tudo revestimento 89/98 mm				Comprimento: 24.0m Cota aproximada: m Coordenadas:					
OBSERVAÇÕES:											
Sondador: José Soares		Equipa: Carlos Valente		Responsável: Carlos Valente		Verificou: Paula Gonçalves		Escala: 1/100			

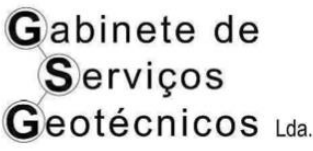

	REGISTO FOTOGRÁFICO DA AMOSTRA		SONDAGEM: S4
	Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães - Coimbra		Cliente:
	Data início: 12.12.2016 Data fim: 13.12.2016	Folha:03/03	







		Registo de Sondagem a rotação com ensaios SPT Equipamento: ELLETARI EK 200				SONDAGEM: S5	
		Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães - Coimbra				Cliente:	
		Data início: 22.12.2016 Data fim: 23.12.2016		Folha:01/03			

Furação φ	Profundidade (m)	Manobras	Idade/Formação	Descrição Litológica	Simbologia	S.P.T. (Standard Penetration Test)						Recuper. (%)		Alteração	Fracturação	
						Pancadas						R.Q.D. (%)				
						1ª fase	2ª e 3ª fases					20	40 60 80			
	1.0	1.5 m	Actual	Areia argilosa, cor castanha, com fragmentos calcários e restos de obra (Aterro)		5 (2+3)							IR=13%	-	-	
	2.0	1.5 m												IR=25%	-	-
	3.0	1.5 m		Areia argilosa, cor castanha, com fragmentos calcários (Aterro) e vestígios de provável Estrutura Arqueológica		3 (1+2)								IR=3%	-	-
	4.0	1.5 m												IR=3%	-	-
	5.0	1.5 m		Alternância de areia-argilosa e argila com areia, cor castanha avermelhada, com alguns pequenos fragmentos rochosos (Provável Aterro)		3(1+2)								IR=20%	-	-
	6.0	1.5 m												IR=20%	-	-
	7.0	1.5 m												IR=10%	-	-
	8.0	1.5 m		Argila, cor castanha com aspecto lodoso (Provável Aterro)		6 (3+3)								IR=10%	-	-
	9.0	1.5 m												IR=15%	-	-
	10.0	1.5 m												IR=60%	-	-
	11.0	1.5 m	Argila com alguma areia, cor castanha avermelhada (Provável Aterro)		3 (1+2)								IR=15%	-	-	
	12.0	1.5 m											IR=9%	-	-	
	13.0	1.5 m											IR=18%	-	-	
	14.0	1.5 m	Moderno	Areia com seixos (Aluvião)		8 (4+4)							IR=9%	-	-	
	15.0	1.5 m												IR=15%	-	-
	16.0	1.5 m												IR=65%	-	-
	17.0	1.5 m	Jurássico	Argila margosa, cor acastanhada		8 (3+5)							IR=18%	-	-	
	18.0	1.5 m		Marga calcária, cor acastanhada		26 (11+15)								IR=15%	-	-
						60 (60+0)							IR=65%	-	-	
						34 (18+16)							IR=30%	-	-	
						60 (60+0)							IR=30%	-	-	

Profundidade do nível de água:	ELLETARI EK 200	EQUIPAMENTO	Comprimento: 21.0m
N.F.:	Sondagem à rotação: Caroteiro T2-86 mm;	Tudo revestimento 89/98 mm	Cota aproximada: m
OBSERVAÇÕES:			
Sondador: José Soares	Equipa: Carlos Valente	Responsável: Carlos Valente	Verificou: Paula Gonçalves
Escala: 1/100			

		Registo de Sondagem a rotação com ensaios SPT Equipamento: ELLETARI EK 200				SONDAGEM: S5	
		Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães - Coimbra				Cliente:	
		Data início: 22.12.2016 Data fim: 23.12.2016		Folha:03/03			

Furação φ	Profundidade (m)	Manobras Idade/Formação	Descrição Litológica	Simbologia	S.P.T. (Standard Penetration Test)					Recuper.(%) R.Q.D. (%)	Alteração	Fracturação				
					Pancadas											
					1ª fase	2ª e 3ª fases										
					10	20	30	40	50	60	20	40	60	80		
Caroteiro T2-86mm	19.0	Jurássico	Marga calcária, cor acastanhada		60						IR=28%					
	20.0		Calcário carsificado, cor bege com preenchimento argiloso											IR=78%		
	21.0		FIM DE SONDAGEM													
	22.0															
	23.0															
	24.0															
	25.0															
	26.0															
	27.0															
	28.0															
	29.0															
	30.0															
	31.0															
	32.0															
	33.0															
	34.0															
	35.0															
	36.0															

Profundidade do nível de água:	ELLETARI EK 200	EQUIPAMENTO	Comprimento: 21.0m
N.F.:	Sondagem à rotação: Caroteiro T2-86 mm;	Tudo revestimento 89/98 mm	Cota aproximada: m
OBSERVAÇÕES:			
Sondador: José Soares	Equipa: Carlos Valente	Responsável: Carlos Valente	Verificou: Paula Gonçalves
			Escala: 1/100

	REGISTO FOTOGRÁFICO DA AMOSTRA		SONDAGEM: S5
	Obra/Local: Construção do Centro de Saúde Fernão de Magalhães - Coimbra		Cliente:
	Data início: 22.12.2016 Data fim: 23.12.2016	Folha:03/03	IPN labgeo

