

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



Caracterização Geológica e Geotécnica da área compreendida entre o Lumiar e o Olival Basto

Ana Mafalda Pinto da Silva

Projeto de Investigação
Mestrado em Geologia Aplicada
Especialização em Geologia de Engenharia

2015

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



Caracterização Geológica e Geotécnica da área compreendida entre o Lumiar e o Olival Basto

Ana Mafalda Pinto da Silva

Projeto de Investigação orientado pela
Prof^ª Doutora Isabel Maria Figueiredo Lopes
(Prof^ª Auxiliar Convidada do Departamento de Geologia, da Faculdade de Ciências da Universidade de
Lisboa)

Mestrado em Geologia Aplicada, Especialização em Geologia de Engenharia

2015

*“Unfortunately, soils are made by nature and not by man,
and the products of nature are always complex.”*

Karl von Terzaghi, em 1936

Resumo

Esta dissertação teve como objetivos, a caracterização geológica e geotécnica de unidades litostratigráficas de uma área no limite entre o Concelho de Lisboa e de Odivelas, na zona envolvente à Calçada de Carriche, entre o Lumiar e o Olival Basto e a caracterização geotécnica pormenorizada da Formação de Benfica.

Com base na interpretação da informação referente a 188 sondagens descritas nos Relatórios de Prospecção Geológica e Geotécnica (RG) selecionados para este trabalho, realizaram-se para a área de estudo, cortes geológicos, ajustamentos locais à cartografia geológica, o Mapa de Depósitos de Cobertura, o Modelo Geológico Tridimensional e a caracterização geotécnica das unidades litostratigráficas presentes na área de estudo.

O Modelo Geológico Tridimensional permitiu comprovar que, de uma forma geral, a Série Miocénica apresenta uma estrutura monoclinal, com direção geral SW-NE, inclinando ligeiramente para SE.

Com a análise dos resultados dos ensaios SPT verifica-se que a resistência dos materiais miocénicos e oligocénicos, é muito superior à dos materiais recentes, como esperado, destacando-se as unidades Argilas de Forno do Tijolo e Calcários de Entrecampos, como as mais resistentes.

Os materiais das unidades litostratigráficas analisados foram classificados como solos sobreconsolidados, compactos, superficialmente descomprimidos e rochas brandas.

Com base nas amostras de solo recolhidas da Formação de Benfica, posteriormente analisadas em laboratório, foi possível efetuar a caracterização geotécnica pormenorizada desta unidade litostratigráfica.

Segundo as classificações Unificada e AASTHO, os solos analisados, foram classificados como areias siltosas, areias silto-argilosas com seixos, apresentando um comportamento excelente a bom e materiais silto-argilosos, apresentando um comportamento medíocre a mau.

Nestes materiais as argilas foram classificadas como muito ativas devido à presença de esmectites e paligorskite e à existência de aglomerados de partículas argilosas na dimensão dos siltes.

Palavras-chave: Geologia urbana, Formação de Benfica, modelação geológica em 3D, ensaios SPT, caracterização geológica e geotécnica.

Abstract

This dissertation had as objectives, the geological and geotechnical characterization of the lithostratigraphic units of an area between Lisbon and Odivelas Municipality, more precisely in the Calçada de Carriche, between Lumiar and Olival Basto and a detailed geotechnical characterization of Formação de Benfica.

Based on the interpretation of data pertaining to 188 boreholes described in geotechnical reports, selected for this work, geologic cross-sections were performed, local geological mapping adjustments were made, a Map of Deposit Coverage was developed as well as a Geological 3D Model and geotechnical characterization of lithostratigraphic units of the study area.

The Geological 3D Model has revealed that, in general, the Miocene forms a monocline tilting slightly to SE, with general SW-NE direction.

With the analysis of the results of SPT test, it demonstrated there is a great difference on the geotechnical behavior of surficial soils and Miocene and Oligocene bedrock. The resistance of this last materials, is far superior to the surficial soils, highlighting the Miocene formations Argilas de Forno do Tijolo and Calcários de Entrecampos, as more resistant.

The materials of the lithostratigraphic units analyzed were classified as overconsolidated and compact soils, decompressed near the surface and soft rocks.

To perform the geotechnical characterization of the Formação de Benfica samples were collected and later laboratory analysis were performed.

According to Unified and AASTHO classification, the soils analyzed were classified as silty or clayey gravel and sand, with excellent to good behavior and silty-clay materials, with a fair to poor behavior.

In these materials the clays were classified as very active due to smectite and palygorskite presence and also and the existence of agglomerates of clay particles in the size of silts.

Keywords: Urban geology, Formação de Benfica, geological 3D modeling, SPT tests, geological and geotechnical characterization.

Agradecimentos

Uma montanha russa de emoções, uma viagem de aprendizagens, onde oscilei muitas vezes entre a depressão e a calma, entre a mediocridade e a procura da perfeição, mas no final superei-me, e como Portuguesa e Geóloga que sou ultrapassei as minhas tormentas.

Apesar do presente trabalho ter sido realizado individualmente, a sua realização não teria sido possível sem o precioso apoio, companheirismo, disponibilidade e amizade prestados, por isso aqui deixo os meus maiores agradecimentos às pessoas que de uma maneira ou de outra me ajudaram e fizeram parte desta odisséia.

Em primeiro lugar, quero agradecer à Prof^ª Doutora Isabel Lopes pela orientação, pela sugestão do tema e da área de trabalho, por todos os conhecimentos transmitidos, pelo apoio, disponibilidade, paciência ao longo da realização e revisão final desta dissertação. Agradeço todos os ensinamentos, a exigência sempre pelo melhor, a prontidão demonstrada para me ajudar na reta final deste trabalho e todos os momentos de partilha que contribuíram também para o meu crescimento.

Ao Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, por ter-me disponibilizado a utilização das instalações e do material.

Ao Projeto *GeoSIS_Lx* pela cedência de informação, na pessoa da Prof^ª Doutora Isabel Moitinho e da Doutora Cláudia Pinto.

À Técnica de Laboratório do Departamento de Geologia, Vera Lopes, por toda a partilha de conhecimentos, apoio e disponibilidade sempre que por mim solicitada para, esclarecimento de dúvidas, fornecimento de material, utilização de alguns meios informáticos e ajuda na interpretação dos difratogramas. A simpatia, amizade que sempre demonstrou e a vontade de ajudar nunca serão esquecidas, sem elas o trabalho realizado no Laboratório de Geotécnica não teria sido possível.

À Prof^ª Doutora Isabel Moitinho por todos os conhecimentos transmitidos, orientação e material bibliográfico fornecido.

Aos Professores Doutores Gabriel de Almeida, Catarina Silva, M^ª Conceição Freitas e César Andrade por todos os conhecimentos transmitidos e material bibliográfico fornecido.

Ao Prof. Doutor Rui Taborda pelo apoio e disponibilidade demonstrada sempre que por mim solicitado, para esclarecimento de dúvidas em relação ao *ArcGIS*[®] e por todos os conhecimentos transmitidos referentes aos Sistemas de Informação Geográficos.

Ao meu colega Mestre Manuel Vasconcelos por disponibilizar prontamente todos os materiais, os meios de análise de fotografias aéreas, partilha de conhecimentos e de dados desenvolvidos na sua dissertação.

Às minhas colegas e amigas Carolinas, queria agradecer pela disponibilidade em ajudar, pela partilha de conhecimentos e pela amizade.

Às minhas amigas, em especial à Sara Nunes e Ana Barreira, quero agradecer por todos os momentos de diversão e alegria que passámos juntas e no final da realização deste trabalho o apoio, incentivo e companheirismo prestado.

Aos meus colegas e amigos, Luciana Rodrigues e André Policarpo, com quem dividi angustias, partilhei desabafos e troquei conhecimentos, ambos na mesma situação mas sempre prontos a ajudar, queria agradecer pela duradoura amizade.

Pela paciência e apoio, quando as forças e o animo me faltavam, queria agradecer à Manela, pelas horas que passou a trabalhar comigo, porque mesmo não sendo do seu domínio o sentido crítico e a facilidade em discutir outros assuntos, foram preciosos para ter conseguido terminar esta dissertação.

Ao Pedro meu companheiro e amigo, muito obrigada pelo amor, pela paciência, pela amizade, por esperares por mim e por seres o meu porto de abrigo onde me refugiava para encontrar paz, sem ti não teria conseguido.

Last but not the least, quero agradecer do fundo do coração à minha Mãe e ao meu Pai por acreditarem em mim, por me terem dado asas para voar e ferramentas para tentar e ser sempre melhor, vocês são a minha força e o meu orgulho, obrigada.

Índice

1.	Introdução	1
2.	Cartografia Geológica e Geotécnica	5
2.1.	Definição	5
2.2.	Classificação	7
2.3.	Aquisição dos dados	8
2.4.	Representação de dados	10
2.4.1.	Cartografia SIG	11
2.5.	Principais marcos da evolução da Cartografia Geotécnica em Portugal	13
2.6.	Principais marcos da evolução da Cartografia Geológica em Lisboa	15
3.	Enquadramentos	19
3.1.	Cidade de Lisboa	19
3.1.1.	Geologia e Tectónica regional	19
3.1.2.	Geomorfologia regional	24
3.2.	Área de Estudo	27
3.2.1.	Localização geográfica	27
3.2.2.	Litostratigrafia	28
3.2.2.1.	Formação de Benfica (ϕ)	29
3.2.2.2.	Miocénico de Lisboa	30
3.2.2.3.	Aluviões (a)	37
3.2.2.4.	Aterros (A)	37
3.2.3.	Geomorfologia	38
3.2.4.	Hidrogeologia	41
4.	Metodologia	45
4.1.	Recolha de informação	45
4.2.	Reconhecimento Geológico de Superfície	46
4.2.1.	Localização da Amostragem	47
4.2.2.	Amostragem	48
4.3.	Reconhecimento Geológico e Geotécnico	48
4.3.1.	Cortes geológicos e ajustamentos locais à Cartografia Geológica	50
4.3.2.	Mapa de Depósitos de Cobertura	51
4.3.3.	Modelo Geológico Tridimensional	52
4.3.4.	Caracterização geotécnica das unidades litostratigráficas	53

4.3.4.1.	<i>Standard Penetration Test (SPT)</i>	53
4.3.4.2.	Correções do valor N do SPT	55
4.4.	Ensaios de laboratório.....	57
4.4.1.	Teor em Água (ω)	58
4.4.2.	Teor em Carbonatos.....	58
4.4.3.	pH	60
4.4.4.	Composição Granulométrica.....	61
4.4.5.	Composição Mineralógica	64
4.4.6.	Limites de Consistência	65
5.	Apresentação e Discussão dos Resultados	71
5.1.	Caracterização Geológica	71
5.1.1.	Cortes geológicos	73
5.1.2.	Ajustamentos locais à Cartografia Geológica.....	77
5.1.3.	Mapa de Depósitos de Cobertura	79
5.1.4.	Modelo Geológico Tridimensional	82
5.2.	Caracterização Geotécnica.....	91
5.2.1.	Aterros.....	92
5.2.1.1.	Ensaios SPT	93
5.2.2.	Areias com <i>Placuna miocénica</i>	99
5.2.2.1.	Ensaios SPT	99
5.2.3.	Areias de Quinta do Bacalhau	105
5.2.3.1.	Ensaios SPT	105
5.2.4.	Argilas de Forno do Tijolo.....	111
5.2.4.1.	Ensaios SPT	111
5.2.5.	Calcários de Entrecampos	117
5.2.5.1.	Ensaios SPT	117
5.2.6.	Areolas de Estefânia.....	122
5.2.6.1.	Ensaios SPT	123
5.2.7.	Argilas de Prazeres	129
5.2.7.1.	Ensaios SPT	129
5.2.8.	Formação de Benfica	135
5.2.8.1.	Ensaios SPT	136
5.2.8.2.	Ensaios de laboratório.....	141
6.	Considerações Finais	155
7.	Bibliografia	163

ANEXOS	169
Anexo 1- Documentação sobre a cartografia geotécnica desenvolvida em Portugal e antigos territórios portugueses, no período entre 1962 e 2014 (adaptado de Pinho, 2010).	170
Anexo 2- Excerto da BD com a informação referente às sondagens dos RG selecionados - PARÂMETROS OBTIDOS <i>IN SITU</i>	173
Anexo 3- Excerto da BD com a informação referente às sondagens dos RG selecionados - PARÂMETROS OBTIDOS EM ENSAIOS DE LABORATÓRIO.	174
Anexo 4- Descrição dos locais de amostragem e das amostras.....	175

Índice de Tabelas:

Tabela 1- Classificação de cartas geotécnicas em função do objetivo, conteúdo e escala (adaptado de Vallejo <i>et al.</i> , 2002).	8
Tabela 2- Síntese dos principais métodos de aquisição de dados para a execução da cartografia geotécnica (adaptado de Vallejo <i>et al.</i> , 2002).	10
Tabela 3- Comparação entre cartografia tradicional e cartografia SIG (Câmara <i>et al.</i> , 1996; <i>in</i> : Pinho, 2010).	12
Tabela 4- Classificação de solos incoerentes quando à compacidade, desenvolvida por Terzaghi & Peck (Terzaghi <i>et al.</i> , 1996), Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968).	54
Tabela 5- Classificação de solos coerentes quanto à consistência, desenvolvida por Terzaghi & Peck (Terzaghi <i>et al.</i> , 1996), Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968).	54
Tabela 6- Correções aproximadas para o valor de N medido (Skempton, 1986).	57
Tabela 7- Estimativa da massa de sedimento a utilizar na calcimetria.....	59
Tabela 8- Classificação dos sedimentos com base no teor em carbonato de cálcio segundo Baize (1988, <i>in</i> : Lopes, 2013).....	60
Tabela 9- Escala de Pratolongo de classificação de solos em função do pH (Costa, 1999).	61
Tabela 10- Limites dimensionais em (mm) das principais frações dos solos (Fernandes, 2011).	61
Tabela 11- Picos característicos e poderes refletantes para a amostra total (Dias, 1998).	65
Tabela 12- Picos característicos e poderes refletantes para agregados orientados glicolados da fração <2 µm (Dias, 1998).	65
Tabela 13- Classificação dos solos argilosos quanto à consistência (<i>in</i> : Fernandes, 2011).	69
Tabela 14- Classificação das argilas quanto à atividade (Skempton, 1953, <i>in</i> : Lopes, 2001).	70
Tabela 15- Atividade de alguns minerais constituintes dos solos (Salas & Alpañes, 1971, <i>in</i> : Lopes, 2001).	70
Tabela 16- Esquema de apresentação dos resultados.....	71
Tabela 17- Distribuição dos valores de N e N ₆₀ nos Aterros, segundo as classes de compacidade e consistência (ver 4.3.4.1.).	98
Tabela 18- Parâmetros estatísticos de N e N ₆₀ referentes aos Aterros, quanto à amostra total, solos incoerentes, solos coerentes e litologias indiferenciadas.	98
Tabela 19- Distribuição dos valores de N e N ₆₀ na unidade Areias com <i>Placuna miocenica</i> (M _{Va2}), segundo as classes de compacidade e consistência (ver 4.3.4.1.).	104
Tabela 20- Parâmetros estatísticos de N e N ₆₀ referentes à unidade Areias com <i>Placuna miocenica</i> (M _{Va2}), quanto à amostra total, solos incoerentes e solos coerentes.	104

Tabela 21- Distribuição dos valores de N e N_{60} na unidade Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}), segundo as classes de compacidade e consistência (ver 4.3.4.1.).....	110
Tabela 22- Parâmetros estatísticos de N e N_{60} referentes à unidade Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}), quanto à amostra total, solos incoerentes e solos coerentes.....	110
Tabela 23- Distribuição dos valores de N e N_{60} na unidade Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}), segundo as classes de compacidade e consistência (ver 4.3.4.1.).....	116
Tabela 24- Parâmetros estatísticos de N e N_{60} referentes à unidade Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}), quanto à amostra total, solos incoerentes, solos coerentes e rochas.....	116
Tabela 25- Distribuição dos valores de N e N_{60} na unidade Calcários de Entrecampos (M_{III}), segundo as classes de compacidade (ver 4.3.4.1.).....	122
Tabela 26- Parâmetros estatísticos de N e N_{60} referentes à unidade Calcários de Entrecampos (M_{III}), quanto à amostra total, solos incoerentes e rochas.....	122
Tabela 27- Distribuição dos valores de N e N_{60} na unidade Areolas de Estefânia (M_{II}), segundo as classes de compacidade e consistência (ver 4.3.4.1.).....	128
Tabela 28- Parâmetros estatísticos de N e N_{60} referentes à unidade Areolas de Estefânia (M_{II}), quanto à amostra total, solos incoerentes e solos coerentes.....	128
Tabela 29- Distribuição dos valores de N e N_{60} na unidade Argilas de Prazeres (M_I), segundo as classes de consistência (ver 4.3.4.1.).....	135
Tabela 30- Parâmetros estatísticos de N e N_{60} referentes à unidade Argilas de Prazeres (M_I), quanto à amostra total, solos coerentes e rochas.....	135
Tabela 31- Distribuição dos valores de N e N_{60} na unidade Formação de Benfica (ϕ), segundo as classes de consistência (ver 4.3.4.1.).....	141
Tabela 32- Parâmetros estatísticos de N e N_{60} referentes à unidade Formação de Benfica (ϕ), quanto à amostra total, solos coerentes e rochas.....	141
Tabela 33- Valor de pH das amostras de solo da Formação de Benfica.....	142
Tabela 34- Percentagem de carbonatos obtida pelo método da Diferença Ponderal e pelo método gasométrico, em calcímetro de Eijkelkamp, nas amostras de solo e nas amostras de rocha (valores a sombreado) da Formação de Benfica.....	144
Tabela 35- Valores do Diâmetro Efetivo, Coeficiente de Uniformidade e Coeficiente de Curvatura obtidos para as amostras de solo da Formação de Benfica.....	146
Tabela 36- Valores dos limites de consistência (W_L , W_P , W_S), dos índices de consistência (I_P , I_C , I_L), da percentagem de argilas ($\%<0.002$ mm) e da atividade das argilas (A_C), obtidos nas amostras de solo da Formação de Benfica.....	149

Índice de Figuras:

Figura 1- Fotografia do “Esquema da carta geológica da região eruptiva a Norte do Tejo” (Choffat, 1924).	16
Figura 2- Carta Geológica do Concelho de Lisboa, Folha 1 à escala 1:10 000, SGP (adaptada de Almeida, 1986).	21
Figura 3- Localização da área de estudo.	27
Figura 4- Carta geológica da área de estudo, adaptada da Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala 1:10 000 (Almeida, 1986) e da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000, Folha 34-B, Loures, (Manuppella <i>et al.</i> , 2011).	28
Figura 5- Miocénico da região de Lisboa. Litostratigrafia (adaptado de Antunes, 1979, <i>in</i> : Lopes, 2001).	32
Figura 6- Mapa hipsométrico da área de estudo.	39
Figura 7- Mapa de declives da área de estudo.	41
Figura 8- Localização das amostras recolhidas da Formação de Benfica.....	47
Figura 9- Classificação textural dos solos, Triângulo de Feret (Fernandes, 2011)	62
Figura 10- Classificação textural das rochas carbonatadas de acordo com a composição (Lindholm, 1987, <i>in</i> : Lopes, 2001).	62
Figura 11- Localização dos cortes geológicos.....	74
Figura 12- Legenda e Cortes geológicos realizados na área de estudo (fator de sobrelevação 5X). Cortes AA', BB' e CC'.	75
Figura 13- Cortes geológicos realizados na área de estudo (fator de sobrelevação 5X). Cortes DD', EE' e FF'.....	76
Figura 14- Carta Geológica atualizada da área de estudo [adaptada de (Almeida, 1986) e (Manuppella <i>et al.</i> , 2011)], evidenciando as alterações aos limites geológicos.....	77
Figura 15- Carta Geológica atualizada da área de estudo [adaptada de (Almeida, 1986) e (Manuppella <i>et al.</i> , 2011)], evidenciando os locais com maior quantidade de pontos de informação onde estão localizadas as alterações aos limites geológicos.....	78
Figura 16- Carta Geológica atualizada da área de estudo.....	78
Figura 17- Mapa de espessura dos depósitos de cobertura (aterro + aluvião) na área de estudo.	80
Figura 18- Sobreposição das áreas de alteração antrópica, inventariadas por Vasconcelos (2011), ao mapa de espessura dos depósitos de cobertura.	81
Figura 19- Sobreposição das manchas de aterros, inventariadas por Vasconcelos (2011), à Carta Geológica atualizada da área de estudo.	82

Figura 20- MDT da área de estudo e pontos de informação [Sondagens cuja cota de base é a original (●) e Sondagens cuja cota de base foi interpretada utilizando os cortes geológicos em profundidade (●)].	84
Figura 21- Modelo Geológico Tridimensional da área de estudo, visto de três perspectivas: a) vista de S; b) vista de SE; c) vista de E.	84
Figura 22- Sobreposição das superfícies de interpolação obtidas para as várias unidades litostratigráficas à Carta Geológica atualizada da área de estudo (sem as manchas das aluviões).	85
Figura 23- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base das Argilas de Prazeres à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões). a) Zona de concordância entre os limites da superfície de interpolação e da unidade litostratigráfica.	86
Figura 24- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base das Areolas de Estefânia à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões). a) Zona de concordância entre os limites da superfície de interpolação e da unidade litostratigráfica.	87
Figura 25- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base dos Calcários de Entrecampos à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões).	87
Figura 26- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base das Areias com <i>Placuna miocenica</i> à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões). a) Zona de concordância entre os limites da superfície de interpolação e da unidade litostratigráfica.	88
Figura 27- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base dos Aterros à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões).	89
Figura 28- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base das Argilas de Forno do Tijolo à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões).	89
Figura 29- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base das Areias de Quinta do Bacalhau à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões).	90
Figura 30- Caracterização litológica dos Aterros na área de estudo.	93
Figura 31- Aterros. a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. (4) Litologias indiferenciadas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.	96
Figura 32- Aterros. a) Variação de N ₆₀ com a profundidade, em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de	

frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. (4) Litologias indiferenciadas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60}	97
Figura 33- Caracterização litológica da unidade Areias com <i>Placuna miocenica</i> (M_{Va2}) na área de estudo.....	99
Figura 34- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Areias com <i>Placuna miocenica</i> (M_{Va2}) para diferentes intervalos de profundidade e respetivas tabelas de frequência e percentagem.	101
Figura 35- Areias com <i>Placuna miocenica</i> (M_{Va2}). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.	102
Figura 36- Areias com <i>Placuna miocenica</i> (M_{Va2}). a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60}	103
Figura 37- Caracterização litológica da unidade Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}) na área de estudo.....	105
Figura 38- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}) para diferentes intervalos de profundidade e respetivas tabelas de frequência e percentagem	107
Figura 39- Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.	108
Figura 40- Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}). a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60}	109
Figura 41- Caracterização litológica da unidade Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}) na área de estudo.....	111

Figura 42- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}) para diferentes intervalos de profundidade e respectivas tabelas de frequência e percentagem. 113

Figura 43- Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. (4) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N. 114

Figura 44- Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}). a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. (4) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60} 115

Figura 45- Caracterização litológica da unidade Calcários de Entrecampos (M_{III}) na área de estudo. 117

Figura 46- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Calcários de Entrecampos (M_{III}) para diferentes intervalos de profundidade e respectivas tabelas de frequência e percentagem. 119

Figura 47- Calcários de Entrecampos (M_{III}). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N. 120

Figura 48- Calcários de Entrecampos (M_{III}). a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60} 121

Figura 49- Caracterização litológica da unidade Areolas de Estefânia (M_{II}) na área de estudo. 123

Figura 50- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Areolas de Estefânia (M_{II}) para diferentes intervalos de profundidade e respectivas tabelas de frequência e percentagem. 125

Figura 51- Areolas de Estefânia (M_{II}). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de

pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.....	126
Figura 52- Areolas de Estefânia (M _{II}). a) Variação de N ₆₀ com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N ₆₀ . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. (c) Tabelas de frequências e percentagem de N ₆₀	127
Figura 53- Caracterização litológica da unidade Argilas de Prazeres (M _I) na área de estudo. .	129
Figura 54- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Argilas de Prazeres (M _I) para diferentes intervalos de profundidade e respectivas tabelas de frequência e percentagem.	132
Figura 55- Argilas de Prazeres (M _I). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos coerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.....	133
Figura 56- Argilas de Prazeres (M _I). a) Variação de N ₆₀ com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N ₆₀ . (1) Total. (2) Solos coerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N ₆₀	134
Figura 57- Caracterização litológica da unidade Formação de Benfica (ϕ), na área de estudo.	136
Figura 58- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Formação de Benfica (ϕ), para diferentes intervalos de profundidade e respectivas tabelas de frequência e percentagem.	138
Figura 59- Formação de Benfica (ϕ). a) Variação de N com a profundidade em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos coerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.....	139
Figura 60- Formação de Benfica (ϕ). a) Variação de N ₆₀ com a profundidade, em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b)	

Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos coerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60}	140
Figura 61- Curvas granulométricas das amostras de solo da Formação de Benfica. (a) amostras de solos com carbonatos. (b) amostras de solos descarbonatados.....	147
Figura 62- Curva granulométrica das amostras de rocha da Formação de Benfica.	148
Figura 63- Classificação textural dos solos referentes às amostras da Formação de Benfica..	148
Figura 64- Classificação textural das rochas referentes às amostras da Formação de Benfica.	149
Figura 65- (a) Gráfico de Casagrande, com a projeção dos dados de plasticidade de 11 amostras de solo da Formação de Benfica. (b) Gráfico do I_p vs percentagem de argilas, de 11 amostras de solo da Formação de Benfica.	151
Figura 66- Mineralogia da amostra total das amostras de rocha da Formação de Benfica.	152
Figura 67- Mineralogia da fração argilosa das amostras de solo da Formação de Benfica.	152
Figura 68- Classificação Unificada e Classificação para Fins Rodoviários (AASHTO) das amostras de solo da Formação de Benfica.	153

1. Introdução

A cartografia geotécnica surgiu da necessidade de cooperação entre geólogos e engenheiros, para a realização de grandes obras de engenharia, tendo tido como base a cartografia geológica.

O trabalho de Choffat (1889) referente à construção do Túnel do Rossio foi provavelmente um dos primeiros exemplos portugueses dessa cooperação, mas sem qualquer semelhança com o atual conceito de Cartografia Geotécnica (Almeida & Almeida, 2002).

Com a expansão urbana verificada nas últimas décadas, nas grandes cidades como na de Lisboa, surgiu a necessidade de ocupar cada vez mais áreas cujo substrato é constituído por solos de menor qualidade de fundação. Esta situação levou à adoção de soluções que permitissem rentabilizar o espaço, nomeadamente através da execução de pisos em cave, que passou a exigir o reconhecimento das características geológicas e geotécnicas dos materiais de fundação (Almeida *et al.*, 2008).

Desta forma, as sondagens geotécnicas passaram a ser a metodologia adotada para se obter um conhecimento mais aprofundado dos materiais de fundação.

As sondagens geotécnicas apesar de facilitarem a caracterização do solo, apenas permitem retificações pontuais por se concentrarem em determinadas áreas. No entanto, a utilização sistemática desta metodologia, de forma a abranger cada vez mais áreas, tem permitido a progressiva atualização da carta geológica global (Lopes & Almeida, 2002) e avançar para o desenvolvimento da cartografia geotécnica da cidade de Lisboa.

No seguimento da caracterização geotécnica dos solos de Lisboa, efetuada por Almeida (1991), esta dissertação teve como objetivos:

1. Caracterização geológica e geotécnica de unidades litostratigráficas que constituem o substrato de uma área no limite entre o Concelho de Lisboa e o Concelho de Odivelas, na zona envolvente à Calçada de Carriche, entre o Lumiar e o Olival Basto;

2. Caracterização geotécnica pormenorizada da Formação de Benfica (unidade litostratigráfica com maior extensão na área de estudo e cujo conhecimento sobre o seu comportamento geotécnico é escasso).

As unidades litostratigráficas existentes na área de estudo estão englobadas em 3 grupos de materiais: de cobertura (Aterros e Aluviões), do Miocénico (Areias de Vale de Chelas, Calcários de Musgueira, Areias com *Placuna miocenica*, Calcários do Casal Vistoso, Areias de Quinta do Bacalhau, Argilas de Forno do Tijolo, Calcários de Entrecampos, Areolas de Estefânia, Argilas de Prazeres) e do Oligocénico (Formação de Benfica). Destas foram caracterizadas, do ponto de vista geotécnico, os Aterros, as Areias com *Placuna miocenica*, as Areias de Quinta do Bacalhau, as Argilas de Forno do Tijolo, os Calcários de Entrecampos, as Areolas de Estefânia, as Argilas de Prazeres e a Formação de Benfica, por inexistência de dados suficientes para caracterizar as restantes.

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho foi realizado em 4 fases: numa primeira fase efetuou-se a pesquisa e a recolha de informação pré-existente, numa segunda fase efetuou-se o reconhecimento geológico de superfície, numa terceira fase efetuou-se a caracterização geológica e geotécnica e numa quarta fase foram realizados ensaios laboratoriais em amostras da Formação de Benfica, recolhidas em afloramento e posterior tratamento dos dados obtidos.

Os Relatórios de Prospeção Geológica e Geotécnica [RG] constituem a principal fonte de informação desta dissertação e incluem quase exclusivamente dados de sondagens, como as descrições litológicas, os ensaios *in situ* e os ensaios de laboratório.

Com base em 188 pontos de informação (Sondagens), contidos nos RG analisados, e na sua interpretação, depois de se ter criada a base de dados, foi possível, realizar uma série de cortes geológicos em profundidade, efetuar ajustamentos locais à cartografia geológica, construir o Mapa de Depósitos de Cobertura, construir o Modelo Geológico da área de estudo em 3D e efetuar a caracterização geotécnica das unidades litostratigráficas presentes na área de estudo.

Tendo em vista a caracterização geotécnica pormenorizada da Formação de Benfica, foram recolhidas amostras em afloramentos, previamente identificados utilizando a Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala 1:10 000 (Almeida, 1986), as fotografias aéreas e o

Google Earth[®], que posteriormente foram ensaiadas em laboratório. O trabalho laboratorial desta dissertação foi realizado no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências, da Universidade de Lisboa.

Com este trabalho pretende-se contribuir com mais informação sobre a caracterização geotécnica dos solos de Lisboa, abrangendo uma área restrita, e fornecer parâmetros expeditos sobre a composição e características das unidades litostratigráficas estudadas. Esta informação ficará disponível para ser adicionada a outras bases de dados e futuramente contribuir para o desenvolvimento da Carta Geotécnica da Cidade de Lisboa.

2. Cartografia Geológica e Geotécnica

A cartografia geotécnica surgiu na década de 50 tendo a sua afirmação na década de 60, nos países Europeus e nos Estados Unidos da América (Zuquette, 1981). Surgiu da necessidade de cooperação entre geólogos e engenheiros, tendo em vista a realização de grandes obras de engenharia, constituindo um importante instrumento para o planeamento urbano. Assim, as cartas geológicas são a base para a elaboração das cartas geotécnicas, que orientadas consoante um determinado objetivo, podem ser agrupadas em cartas de fatores, como por exemplo cartas de unidades geotécnicas.

2.1. Definição

Inicialmente, as cartas geotécnicas eram essencialmente litostratigráficas e estruturais, muito semelhantes às cartas geológicas e não continham aspetos ligados às solicitações de engenharia.

Com o aumento da população mundial surgiu a necessidade de ocupar cada vez mais áreas cujo substrato é constituído por solos de menor qualidade de fundação, provocando a escassez dos terrenos disponíveis para construção e conseqüente incremento dos custos.

Esta situação levou à adoção de soluções que permitissem rentabilizar o espaço nomeadamente através da execução de pisos em cave, que passou a exigir o reconhecimento das características geológicas e geotécnicas dos terrenos de fundação. Provocou também a diminuição do número de afloramentos disponíveis, restringindo-se a observação direta dos materiais geológicos a escavações em curso (Lopes & Almeida, 2002).

Desta forma, foi necessário adotar metodologias específicas que conduzissem a um conhecimento mais aprofundado dos materiais de fundação, como as sondagens geotécnicas. A cartografia geológica passou então a contar com a informação geológica e geotécnica em profundidade.

Estas metodologias ao facilitarem a caracterização e a previsão de determinados comportamentos do solo, associados à aplicação de solicitações de engenharia, possibilitaram a redução dos custos e a otimização de novos projetos, constituindo um suporte fundamental ao nível do ordenamento, da manutenção e uso do solo (Almeida *et al.*, 2008). Com a adição de nova informação sobre as características do solo em profundidade, foram elaboradas cartas especialmente concebidas para ilustrar aspetos geológicos com uma interpretação geotécnica.

A UNESCO/IAEG ao publicar em 1976 o guia para a elaboração de cartas geotécnicas definiu os princípios gerais a seguir na elaboração destas cartas, nomeadamente (IAEG, 1976; Rocha, 1998):

- Conter informação objetiva necessária para avaliar as características geotécnicas de uma determinada área ou áreas, da qual é indispensável o conhecimento de três domínios: planeamento regional, planeamento na construção de obras de engenharia civil e planeamento na exploração mineira.
- Prever as modificações no meio geológico, que possam ser provocadas pelos trabalhos realizados e sugerir as necessárias mudanças preventivas.
- Apresentar informação que seja facilmente compreendida pelos profissionais que as utilizam e que, muitas vezes, não têm conhecimentos de geologia.

A carta geotécnica é um tipo de carta geológica que classifica e representa os componentes do meio geológico importantes para o ordenamento do território, para o projeto, para a construção e gestão de obras de engenharia civil, para exploração mineira e para a preservação do ambiente (IAEG, 1976).

Existem várias definições de carta geotécnica e todas elas se baseiam na metodologia utilizada pelos autores ou organizações para a realização das mesmas. No entanto, em todas estas, as cartas geotécnicas são definidas como uma representação gráfica de atributos do meio físico e interpretações dos mesmos, devendo ser aplicadas de forma direta no planeamento da ocupação do meio físico e ambiental, assim como nos trabalhos de engenharia (Pinho, 2010).

A cartografia geotécnica tem que ser um documento gráfico rigoroso e o menos subjetivo possível, que contenha a informação geológica e geotécnica necessária para o planeamento e gestão do território, de forma a apoiar os projetos de engenharia em termos

de aptidão geotécnica dos terrenos. Trata-se então de um trabalho multidisciplinar que deve envolver, entre outras áreas, a Geologia, a Geologia de Engenharia, a Pedologia, a Climatologia e a Hidrogeologia.

As cartas geotécnicas devem ser utilizadas como ferramentas de orientação para o apoio de decisão e previsão de possíveis condicionantes geológicos e geotécnicos e mesmo para a planificação *in situ* (Vallejo *et al.*, 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004). Para além disto, as cartas geotécnicas devem ser encaradas como documentos temporários relativamente ao número de dados, e suscetíveis de serem enriquecidas após a sua elaboração. Todos os documentos devem estar armazenados numa base de dados, para que posteriormente se possam utilizar para solucionar possíveis dúvidas, ou ainda, controlar a inserção de novos elementos (Zuquette & Gandolfi, 2004).

Os conteúdos, o detalhe da informação e o grau de complexidade na realização das cartas geotécnicas, são em função dos seguintes aspetos (Vallejo *et al.*, 2002):

- Da escala e extensão;
- Dos objetivos concretos que se pretendem alcançar;
- Da importância dos diferentes fatores geológico-geotécnicos e suas relações;
- Da informação disponível, dados e representatividade;
- Das técnicas de representação.

Segundo Vallejo *et al.* (2002) os elementos considerados em cada carta geotécnica dependem de região para região, havendo quatro que devem ser sempre contemplados:

- Classificação e descrição das propriedades físicas e mecânicas de solos e rochas, respetivas variações e distribuição espacial;
- Condições hidrogeológicas;
- Condições geomorfológicas;
- Processos geodinâmicos.

2.2. Classificação

A classificação das cartas geotécnicas é feita em função dos vários objetivos e finalidades específicas a que se propõem.

Desta forma as cartas geotécnicas podem ser classificadas, em função do objetivo (específico ou múltiplo), do conteúdo (temático ou analítico; integrado; auxiliar ou complementar) e da escala (grande, média ou pequena) que podem ser combinadas de várias formas, como ilustra a Tabela 1.

Tabela 1- Classificação de cartas geotécnicas em função do objetivo, conteúdo e escala (adaptado de Vallejo *et al.*, 2002).

CRITÉRIO	TIPOS DE CARTAS
Objetivo	- Específico: fornece informação sobre um aspeto particular ou para um objetivo concreto (Ex: local dos resíduos, traçados de vias férreas, condições do terreno para fundação, escavações subterrâneas, etc.). - Múltiplo: fornece informações referentes a diferentes aspetos, objetivos e usos geotécnicos.
Conteúdo	- Temático ou analítico: apresenta detalhes ou avalia um componente determinado do meio geológico (Ex: grau de alteração, grau de fraturação de maciços rochosos, processos sísmicos, expansibilidade dos solos, etc.). - Integrado: a) apresenta as condições geotécnicas descritivas de todos os principais componentes do meio geológico. b) apresenta o zonamento do território em unidades geotecnicamente homogéneas. - Auxiliares: apresenta dados concretos de algum aspeto geológico e/ou geotécnico. - Complementares: fornece informação básica sobre algum aspeto geológico, geomorfológico, hidrogeológico, etc.
Escala	- Grande: >1:10 000 (correspondem a cartas elaboradas para zonas preferencialmente urbanas, dada a necessidade de grande quantidade de informação geotécnica; os trabalhos a realizar incluem campanhas de prospeção geofísica e mecânica e ensaios a realizar <i>in situ</i> e em laboratório.) - Média: 1:10 000 a 1:100 000 (permite a observação regional de uma porção territorial e trata-se de um documento geral, mas completo, que inclui uma caracterização geológica-geotécnica das propriedades dos solos e das rochas, a partir da qual se fará a apreciação global da área; os trabalhos a realizar envolvem o reconhecimento de campo, podendo este ser completado com uma campanha de prospeção geofísica e mecânica.) - Pequena: <1:100 000 (permite a observação de grandes áreas, mostrando a distribuição aproximada do tipo de terrenos da uma zona muito extensa; os trabalhos a realizar envolvem uma pesquisa bibliográfica e/ou uma interpretação fotogeológica e eventualmente um levantamento de campo.)

2.3. Aquisição dos dados

A aquisição dos dados para a realização da cartografia geotécnica compreende várias fases e de uma maneira geral segue a seguinte metodologia:

- 1- Recolha de informação de carácter geológico-geotécnico disponível para a área interessada;
- 2- Interpretação de fotografias aéreas;
- 3- Reconhecimento geológico de superfície (investigação geológica-geotécnica específica);

- 4- Realização de prospeção geotécnica e de ensaios *in situ*;
- 5- Realização de ensaios de laboratório;
- 6- Análise e interpretação dos dados obtidos;
- 7- Caracterização geomecânica dos terrenos.

Antes do estudo propriamente dito dever-se-á recolher o máximo de informação sobre a área de estudo. Esta informação prévia permitirá definir o plano de trabalhos de caracterização e prospeção geotécnica.

O recurso às técnicas de deteção remota e de interpretação de fotografias aéreas é muito útil nas fases iniciais da caracterização cartográfica em áreas urbanas, e nos estudos prévios e de viabilidade.

Quanto à caracterização do subsolo dever-se-á proceder sempre a reconhecimentos geológicos de campo, realizando-se habitualmente em várias fases ao longo da preparação da carta.

Relativamente ao processo de amostragem, este deve sempre possibilitar obter uma quantidade de amostras de qualidade, que permita realizar os ensaios previstos.

A informação quantitativa contida na carta geotécnica deve ser fiável e representativa da unidade ou zona a que se refere. Desta forma, a seleção, a análise e a interpretação dos dados e o seu cruzamento dever-se-á realizar de forma rigorosa e objetiva. Quando se dispõe de dados suficientes sobre as propriedades geomecânicas dos materiais poder-se-ão realizar análises estatísticas.

As características e as propriedades dos solos e rochas avaliam-se, em regra, a partir de métodos de investigação direta e indireta ou, ainda, mediante a aplicação de classificações geomecânicas, índices e correlações empíricas, que permitem obter dados quantitativos. Na Tabela 2 apresentam-se os principais métodos de aquisição de dados para a execução da cartografia geotécnica.

Tabela 2- Síntese dos principais métodos de aquisição de dados para a execução da cartografia geotécnica (adaptado de Vallejo *et al.*, 2002).

MÉTODO	DADOS
Fotointerpretação (fotogeologia, fotogeomorfologia) e deteção remota	<ul style="list-style-type: none"> - Cartografia de solos e rochas - Estruturas geológicas e tectónicas - Hidrologia e redes de drenagem - Processos morfodinâmicos
Reconhecimentos e recolha de dados de campo	<ul style="list-style-type: none"> - Detalhes geológicos e geomorfológicos - Caracterização geológico-geotécnica de campo
Métodos geofísicos e hidrogeofísicos	<p>Resistividade elétrica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Porosidade, fraturação, saturação e salinidade - Profundidade do nível freático - Profundidade do substrato rochoso <p>Sísmica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Densidade, módulos de deformação - Grau e profundidade de zonas alteradas - Profundidade do substrato rochoso <p>Sondagens e amostragem</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recolha de amostras representativas- Permitir a observação direta dos materiais - Propriedades físicas e características do terreno - Condições hidrogeológicas
Sondagens e amostragem	<ul style="list-style-type: none"> - Recolha de amostras representativas - Permitir a observação direta dos materiais - Propriedades físicas e características do terreno - Condições hidrogeológicas
Ensaio <i>in situ</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Propriedades resistentes e deformacionais - Tensões naturais - Permeabilidade, pressão da água - Dados de ensaios em sondagens
Ensaio de laboratório	<ul style="list-style-type: none"> - Propriedades físicas e mecânicas dos materiais

2.4. Representação de dados

Relativamente aos procedimentos de realização de cartas geotécnicas, aos dados representados nestas cartas e ao modo como são apresentados estes dados, têm sido apresentadas propostas, por diversas associações profissionais e sociedades científicas relacionadas com a geologia de engenharia (*).

Contudo, devido à complexidade e finalidade das cartas ainda não existe um procedimento padronizado mas sim uma série de recomendações (por exemplo IAEG, 1981a, b, 2005; Pinho, 2010).

(*) “Geological Society of London” (GSL) de Inglaterra, em particular o “Engineering Geology Group” da GSL, a “Association of Environmental and Engineering Geologists” (AEG) dos E.U.A, ou a “International Association for Engineering Geology” (IAEG).

As cartas geotécnicas devem representar a informação sobre as características e propriedades geotécnicas dos solos e rochas da seguinte forma (Vallejo *et al.*, 2002):

- Assinalando as propriedades geológicas-geotécnicas dos diferentes conjuntos litológicos ou unidades geotécnicas estabelecidas;
- Delimitando as unidades homogêneas a respeito de alguma propriedade (resistência, densidade, plasticidade, grau de fraturação, grau de alteração, etc.);
- Definindo o zonamento em unidades geotecnicamente homogêneas e assinalando, se possível, parâmetros quantitativos.

Segundo vários autores (Vallejo *et al.*, 2002; Zuquette & Gandolfi, 2004) uma carta geotécnica deve incluir também informações básicas sobre:

- Topografia, toponímia, rede hidrográfica e hidroclimatologia;
- Distribuição e descrição litológica das unidades geológicas;
- Espessura de solos, formações superficiais e grau de alteração;
- Grau de fraturação e dados geológico-estruturais dos maciços;
- Classificação geotécnica de solos e rochas;
- Condições hidrogeológicas;
- Condições geomorfológicas;
- Processos dinâmicos;
- Investigações geológico-geotécnicas prévias;
- Riscos geológicos e naturais (em termos de suscetibilidade, perigosidade e riscos propriamente ditos).

As cartas geotécnicas devem ser acompanhadas de uma memória descritiva ou notícia explicativa, de uma legenda onde se discrimine as simbologias adotadas, bem como os padrões ou cores utilizadas na carta e conter cortes geológicos, que permitam ao utilizador conhecer a disposição dos terrenos cartografados.

2.4.1. Cartografia SIG

O avanço das tecnologias de informação, nomeadamente os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), têm permitido grande desenvolvimento na execução de cartas geotécnicas.

Os SIG revolucionaram os métodos de armazenamento, de processamento e de visualização dos dados, permitindo a análise e modelação tridimensional das mais diversas situações. Aliados a sistemas de análise computacional e a dados obtidos no campo, pelos métodos tradicionais de cartografia, aplicados à cartografia geotécnica, facilitam a consulta de dados, devido à velocidade e eficácia no tratamento e interpretação dos mesmos. Permitem ainda a realização de análises a diferentes escalas, o acompanhamento das alterações do meio físico e a rápida atualização. Estes sistemas tornaram-se importantes instrumentos para as geociências, engenharias e para o planeamento territorial e urbano (Almeida *et al.*, 2003).

A utilização dos SIG nas representações cartográficas apresenta uma série de vantagens relativamente à cartografia tradicional (Pinho, 2010). Na Tabela 3 são apresentadas algumas comparações entre os dois tipos de cartas.

Tabela 3- Comparação entre cartografia tradicional e cartografia SIG (Câmara *et al.*, 1996; *in*: Pinho, 2010).

CARTOGRAFIA TRADICIONAL	CARTOGRAFIA SIG
Cartas limitadas a aspetos gráficos	Cartas com recursos multimédia e multifuncionais
Imagem estática	Imagem dinâmica
Documento único	Múltiplos documentos interligados
Carta destinada a um público grande	Carta destinada a necessidades individuais
Carta destinada a comunicar um conhecimento	Carta utilizada para descobrir novas informações usando mecanismos de visualização e exploração
Carta usada para leitura	Carta usada para comunicação interativa
Carta produzida por cartógrafo	Carta produzida por utilizador, não necessariamente cartógrafo

Atualmente estes programas encontram-se muito desenvolvidos e continuam em evolução de forma a poderem abranger cada vez mais funções e de forma mais simplificada. Já possuem uma infinidade de ferramentas cartográficas, de interpolação, de estimativa, de edição e de compatibilidade com as mais diversas extensões de arquivos, permitindo ainda, apesar das limitações, a programação em três dimensões (Zuquette & Gandolfi, 2004).

Nas últimas duas décadas, têm sido desenvolvidas técnicas sofisticadas de modelação geológica em 3D que permitem definir em detalhe condições geológicas em profundidade. No entanto a indústria geotécnica só começou a demonstrar interesse por esta metodologia quando se tornou possível realizá-la em computadores normais e a baixos custos (Kessler *et al.*, 2008).

2.5. Principais marcos da evolução da Cartografia Geotécnica em Portugal

A experiência portuguesa no desenvolvimento de cartas geotécnicas iniciou-se em 1962, com a colaboração entre a Câmara Municipal de Lisboa (CML) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), visando essencialmente o estudo das condições de execução dos pavimentos da cidade de Lisboa (Coelho, 1980).

A carta geotécnica da cidade de Lisboa, provisoriamente elaborada, consistiu numa carta litológica à escala 1:10 000, acompanhada de uma memória descritiva da litologia das diferentes unidades geológicas e de um quadro com os resultados de ensaios de laboratório (granulometrias, limites de consistência, ensaios Proctor, CBR), relativos a 17 amostras, consideradas representativas de alguns solos típicos (Coelho, 1980).

No entanto, Nascimento (1954) já havia classificado os terrenos de Lisboa, descrevendo a geologia, idades, espessuras e tensões de consolidação, apresentando também o conceito de separação entre a história geológica das formações e as propriedades geotécnicas das mesmas, tentando tirar conclusões sobre o comportamento destes terrenos em trabalhos de engenharia.

Seguidamente, foram desenvolvidos vários trabalhos de caracterização geotécnica de terrenos, com o objetivo de melhorar o planeamento regional e urbano e melhor servir as necessidades das populações, como foi o caso do plano urbanístico de Santiago (Aveiro) em 1972, e do Monte da Caparica (Almada) em 1973 (Pinho, 2010; Veiga, 2011).

Em 1974 foi elaborada a carta geotécnica da área de Sines, em 1976 a carta geotécnica do Plano Integrado de Setúbal e em 1979 a carta geotécnica da área do plano de urbanização da Brandoa-Falagueira (Lisboa) (Coelho, 1980).

A dissertação de doutoramento “Caraterísticas geotécnicas dos solos de Lisboa.” (Almeida, 1991) constituiu outro grande contributo na adição de conhecimento para o futuro desenvolvimento da cartografia geotécnica da cidade de Lisboa.

O trabalho de Oliveira *et al.* (1995) para a cidade do Porto, bem como a dissertação de doutoramento “Condicionantes geotécnicas à expansão do núcleo urbano da Covilhã.” (Cavaleiro, 2001; *in*: Almeida & Almeida, 2002) foram outros exemplos que contribuíram para aumentar o conhecimento quanto à caracterização geotécnica de terrenos em Portugal.

Com a expansão urbana verificada nas últimas décadas, nas grandes cidades como na de Lisboa, a cartografia geológica passou a contar com a informação geológica e geotécnica, obtida através de estudos específicos, como sondagens geotécnicas, que passaram a assumir um papel fundamental no conhecimento dos materiais de fundação. No entanto, a informação obtida não apresentando uma distribuição uniforme no espaço, concentrando-se em determinadas áreas, permite apenas retificações pontuais. Com a utilização sistemática desta metodologia, de forma a abranger cada vez mais áreas, tem sido possível a progressiva atualização da carta geológica global (Lopes & Almeida, 2002) e avançar para o desenvolvimento da cartografia geotécnica da cidade de Lisboa.

A aplicação dos SIG à geotecnia e à cartografia geotécnica surgiu em Portugal a partir da década de 90, com os trabalhos, de Silva (1990; *in*: Pinho, 2010) e de Dionísio (1998; *in*: Pinho, 2010) e ainda com os trabalhos desenvolvidos na Câmara Municipal de Lisboa (CMLisboa), relativos à constituição da base de dados geotécnicos.

O desenvolvimento da cartografia geotécnica implicou a utilização de grande volume de dados de trabalhos de prospeção, cujo armazenamento, atualização, consulta e tratamento justificou a utilização de bases de dados adequadas. O desenho destas e a estruturação das diversas ligações, teve de ter em conta o tipo de informação a integrar e o modo como se pretendia processar a informação (Almeida & Almeida, 2002).

Apesar de já existirem outros trabalhos com o objetivo de desenvolver uma base de dados para sondagens geotécnicas (Teles & Fernandes, 1994), o primeiro projeto para construir uma Base de Dados Geotécnicos para a cidade de Lisboa (BDG-CML), foi iniciado em 1999, numa colaboração entre a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e a Câmara Municipal de Lisboa. Em 2008, foi aprovado e financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, um novo projeto de investigação (*GeoSIS_Lx*), que visou gerir a informação previamente obtida, usando a carta geológica como base e a construção de uma nova base de dados geotécnicos. O objetivo principal deste projeto foi a modelação geológica e geotécnica em 3D, e o desenvolvimento de uma nova Base de Dados onde fosse possível uma atualização

constante e a validação cruzada do modelo dos dados (Almeida *et al.* 2003; Almeida *et al.* 2010).

Outros trabalhos, na maioria ligados a publicações científicas, a investigações de mestrado e doutoramento, relatórios de estágio, têm sido realizados na temática da cartografia geotécnica de solos e rochas em Portugal ou antigos territórios portugueses (Anexo 1).

É de destacar que atualmente existe um conhecimento cada vez mais aprofundado das características geotécnicas dos terrenos de Lisboa, não só devido a existir cada vez mais informação em profundidade, através das sondagens geotécnicas, cobrindo toda a área da cidade, utilizando técnicas cada vez mais normalizadas, como devido a haver uma maior quantidade de trabalhos e publicações científicas desenvolvidas nesta temática. As bases de dados desenvolvidas no âmbito destes trabalhos, permitem uma constante atualização tendo em vista futuras edições da cartografia geológica, com o objetivo final de se juntar toda a informação e desenvolver a Carta Geotécnica da Cidade de Lisboa.

2.6. Principais marcos da evolução da Cartografia Geológica em Lisboa

A cartografia geológica mais antiga da cidade de Lisboa data de 1841, em que se considerou não só a cidade de Lisboa, mas também as zonas vizinhas de Sintra, Loures e a Península de Setúbal (Almeida *et al.*, 2006)

As minutas de campo que deram origem às primeiras cartas geológicas da cidade de Lisboa, foram preparadas recorrendo a dados de superfície e a dados de obras em curso, sendo que a cidade se encontrava numa fase de expansão urbana. Como exemplo destes trabalhos, refere-se o trabalho realizado por Choffat (1889) para a construção do Túnel do Rossio. Uma das primeiras cartas publicadas da região de Lisboa foi o "*Esquisse de la carte des régions éruptives au nord du Tage.*" (Figura 1), à escala 1:96 000, (Choffat, 1924), que teve como base os levantamentos de campo realizados durante o século XIX e início do século XX, sob a orientação de B. Cotter e P. Choffat (Almeida & Almeida, 1997).

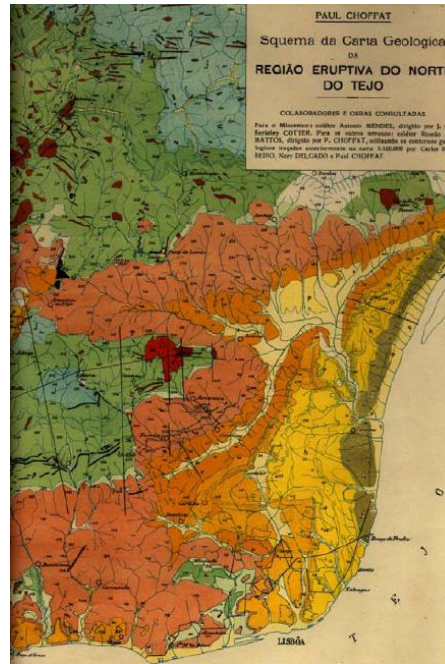


Figura 1- Fotografia do “Esquema da carta geológica da região eruptiva a Norte do Tejo” (Choffat, 1924).

Posteriormente foram publicadas pelos Serviços Geológicos de Portugal as seguintes cartas: em 1940 a Carta Geológica de Lisboa, à escala 1:20 000, com detalhe e rigor no levantamento cartográfico; em 1944 a Carta Geológica dos Arredores de Lisboa, Folha 2-Loures, à escala 1:50 000 e em 1950 a Carta Geológica dos Arredores de Lisboa, Folha 4-Lisboa, à escala 1:50 000. Nestas duas últimas cartas é comum a representação clássica dos levantamentos e cartografia geológica, com foco na datação e delimitações das diversas formações, a sucessão temporal e relação estrutural. Como é o caso dos terrenos miocénicos, em que são evidenciados aspetos litológicos com sustentação estratigráfica (Almeida *et al.* 2006).

Na Carta Geológica do Concelho de Lisboa (Almeida, 1986), publicada pelos serviços Geológicos de Portugal à escala 1:10 000, os dados cartográficos anteriores foram complementados pela análise de estudos geológicos e geotécnicos, incluindo dados de numerosas sondagens. A descrição da informação geológica, para além dos dados de superfície, passou a contar com elementos em profundidade, permitindo maior rigor na definição das estruturas geológicas presentes (Almeida & Almeida, 1997). Foram acrescentadas indicações no que respeita ao posicionamento das formações *in situ* subjacentes às coberturas aluvionares, e ainda indicações sobre as espessuras destes depósitos, permitindo retificar a localização de alguns limites geológicos cartografados e a realização de cortes geológicos (Lopes & Almeida, 2002).

Mais tarde, foram apresentadas algumas alterações a esta Cartografia Geológica do Concelho de Lisboa, à escala de 1:10 000 (Almeida, 1986) mas foram alterações pontuais (Almeida & Almeida, 1997).

Em 2006, o Departamento de Geologia do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação de Lisboa publicou a mais recente Carta Geológica de Portugal, folhas 34-A, 34-B, 34-C e 34-D, à escala 1:50 000, referentes a Sintra, Loures, Cascais e Lisboa respetivamente.

Atualmente a Unidade de Geologia e Cartografia Geológica do Laboratório Nacional de Energia e Geologia publicou em 2011 a Carta Geológica de Portugal, Folhas 34-A, 34-B, 34-C e 34-D, à escala de 1:50 000, referente a Sintra, Loures, Cascais e Lisboa, com algumas alterações e retificações.

3. Enquadramentos

3.1. Cidade de Lisboa

3.1.1. Geologia e Tectónica regional

Do ponto de vista geológico, a cidade de Lisboa localiza-se na Orla Meso-Cenozóica ocidental, nas bacias denominadas Bacia Lusitaniana e Bacia Cenozóica do Baixo Tejo e Sado.

Neste capítulo, apesar de se utilizar a Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala 1:10 000 (Almeida, 1986), a nomenclatura e o nome das várias unidades litostratigráficas utilizados, correspondem à nova nomenclatura definida na Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000, Folha 34-B, Loures, (Manuppella *et al.*, 2011).

A Bacia Lusitaniana encontra-se orientada segundo a direção NNE-SSW e tem aproximadamente 250 km de comprimento por 100 km de largura, com uma espessura máxima de sedimentos de cerca de 4 km (Leinfelder & Wilson, 1989, *in*: Lopes, 2001).

Estes sedimentos foram depositados em ambientes de transgressão e regressão, devido às oscilações do nível do mar durante o Mesozóico. Na área da cidade de Lisboa, destes sedimentos estão apenas representados os materiais do Cenomaniano e do Neocretácico. Destes materiais fazem parte o Complexo Carbonatado Cenomaniano e o Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL) (Figura 2).

O Cenomaniano encontra-se afetado por falhas e dobras, acompanhadas de intenso diaclasamento observável, por exemplo, no vale de Alcântara e na região de Monsanto. As unidades aflorantes são: **C²_{Cn} – Formação de Caneças**, calcários margosos e margas (“Belasiano”), do Cenomaniano médio, com espessura de cerca de 45 m; e **C³_{Bi} – Formação de Bica**, calcários cristalizados com rudistas e calcários apinhoados com *Neolobite vibrayeanus* (“Turoniano”), do Cenomaniano superior, com espessura que varia entre 40-50 m (Almeida, 1991).

Os basaltos do **β¹ – CVL**, assentam sobre os calcários cenomanianos e são, de uma forma geral, afetados pelas mesmas estruturas, embora em contato discordante, devido à

erosão e à carsificação dos calcários. Almeida (1991) refere também que há diferenças de espessura nestes materiais, que se devem não só à distância aos centros vulcânicos como também a ações tectónicas. Os materiais constituintes do CVL são maioritariamente lávicos, contendo formas intravulcânicas, como necks, filões, soleiras e chaminés. As escoadas têm espessuras máximas de cerca de 12 m, apresentando frequentemente níveis piroclásticos intercalados, no entanto estes produtos explosivos constituem uma pequena percentagem do total, na medida em que o vulcanismo é predominantemente efusivo (Serralheiro, 1979, Alves *et al.*, 1980).

Dentro da cidade de Lisboa, o CVL não ultrapassa os 100 m de espessura, no entanto na região circundante, pode atingir espessuras de 30 m (Odivelas) e 400 m (Carnaxide) (Almeida, 1991).

O conjunto do Complexo Carbonatado Cenomaniano e do CVL, apresentam um comportamento essencialmente frágil, encontrando-se muito fraturado, dando origem a estruturas dominantes, como é o caso do horst/anticlinal de Monsanto, com eixo WNW-ESE; e o horst/anticlinal da Ajuda, com eixo ENE-WSW. As famílias de falhas presentes nestes materiais são, de uma forma geral, desligamentos subverticais, com orientações aproximadas de NE-SW e NNE-SSW, cortadas por outra família de direção aproximada NNW-SSE.

Os restantes sedimentos foram depositados na Bacia Cenozóica do Baixo Tejo e Sado, que se encontra orientada segundo a direção NE-SW e cuja sua morfologia corresponde a uma depressão tectónica complexa que começou a desenvolver-se no soco varisco e em formações mesozoicas do bordo ocidental da Fossa Lusitaniana, durante o Paleogénico (Eocénico-Oligocénico) evoluindo de forma coesa, como um todo, ao longo do Terciário, onde está preservado um enchimento sedimentar Cenozóico predominantemente detrítico de origem continental (Carvalho *et al.*, 1983/85) (Figura 2).

Esta bacia sofreu subsidência ao longo de todo o Cenozóico, controlada essencialmente por movimentos de importantes acidentes tectónicos. A subsidência foi compensada pelo preenchimento com materiais do Paleogénico ao Quaternário, que de uma forma geral se apresentam um pouco deformados, subhorizontais, ou afetados por dobramentos com grande raio de curvatura, ou balançamentos suaves (Cabral, 1995).

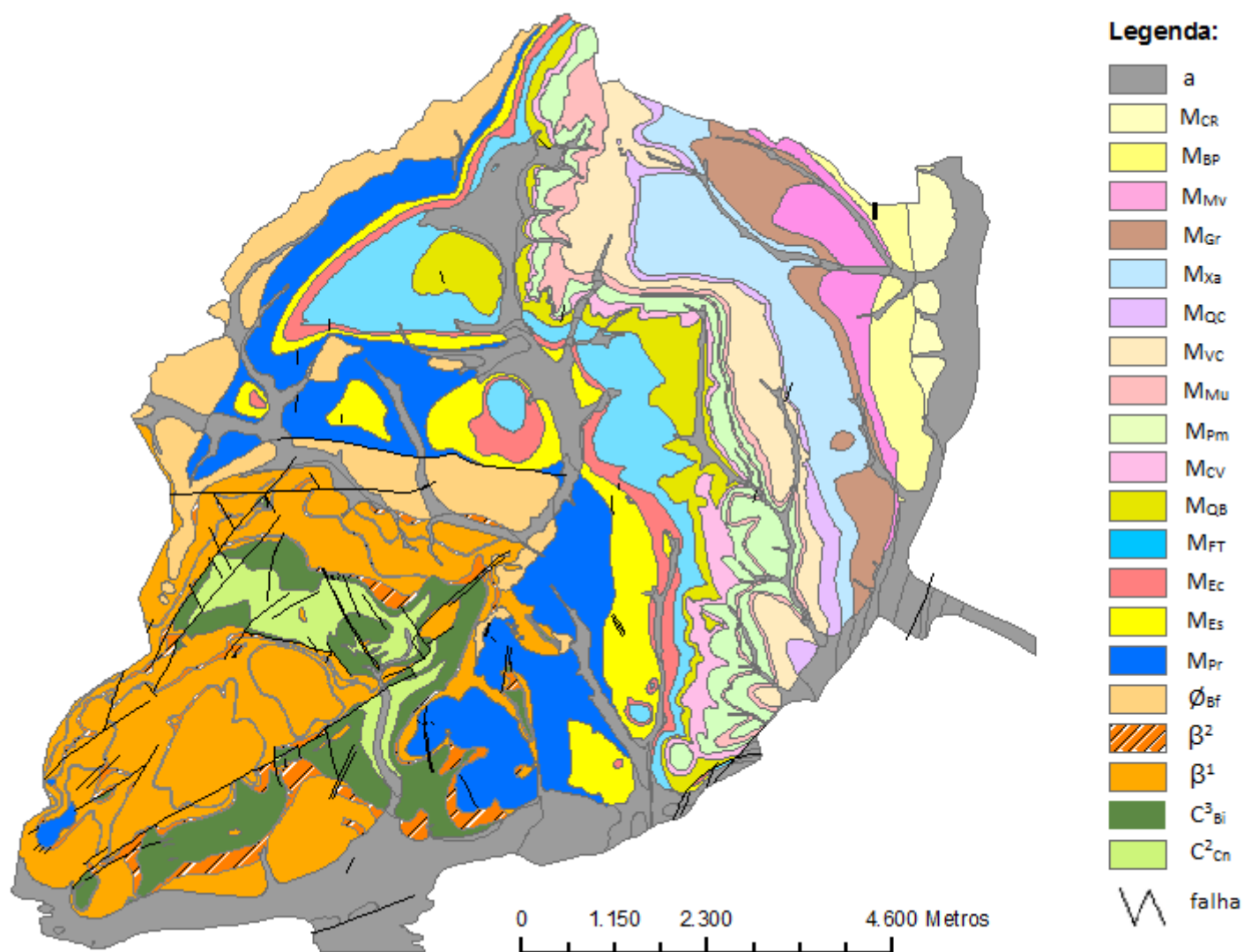


Figura 2- Carta Geológica do Concelho de Lisboa, Folha 1 à escala 1:10 000, SGP (adaptada de Almeida, 1986).

Destes materiais fazem parte a Formação de Benfica (Paleogénico) constituída por depósitos continentais detríticos, a Série Miocénica e os depósitos do Quaternário.

A \emptyset_{Bf} – **Formação de Benfica** tal como o CVL, apresenta espessuras muito irregulares. Almeida (1991) refere que a fraturação contemporânea pode ter originado localmente subsidência mais intensa, em alguns locais. A norte do anticlinal de Monsanto, no contato entre a Formação de Benfica e o Miocénico, observa-se a presença de falhas de direção E-W, que podem ir desde Benfica, passando pela Cruz de Pedra, até a zona do Apeadeiro de Entrecampos, e apresentam movimento de componente inversa com rejeito apreciável.

Esta unidade é composta essencialmente por rochas detríticas de granularidade variável, que vão desde formações conglomeráticas a pelíticas; as rochas não detríticas são raras, no entanto são encontrados calcários, com diferentes compacidades e percentagens de areia e argila e níveis argilosos no seio das rochas detríticas (Carvalho & Romariz, 1972). Segundo Almeida (1991) a espessura máxima desta unidade varia entre os 400 e os 450 m, mas em Lisboa o desenvolvimento da sequência não é tão grande.

O Miocénico sofreu uma deformação mais dúctil, predominando os dobramentos suaves e poucas falhas. De uma forma geral, apresenta uma estrutura em monoclinal inclinando suavemente para E ou SE. No entanto, é possível encontrarem-se ao longo de toda a série pequenos dobramentos que alteram localmente a direção e inclinação dos materiais. Estas estruturas são mais pronunciadas a N de Monsanto, onde juntamente com os materiais da Formação de Benfica, formam suaves anticlinais e sinclinais, prolongando para N a estrutura do anticlinal de Monsanto (Lopes, 2001).

A presença de falhas na Série Miocénica é mais limitada, sendo as existentes de pequena dimensão, e direção aproximada N-S. Com exceção do conjunto de falhas de Alfama, de direções variáveis entre NE-SW e E-W, responsáveis pelas nascentes termais e pelo levantamento da base da Série Miocénica através da falha no leito do Tejo, na zona do Beato. Outra falha importante, é a falha do Gargalo do Tejo (detetada durante a prospeção para a ponte sobre o Tejo) que se trata de um desligamento direito, de orientação E-W.

A Série Miocénica, que assenta na maioria dos casos, sobre a Formação de Benfica, mas também sobre o CVL, corresponde no seu conjunto, à sedimentação ativa continua, acompanhada por constante subsidência, ocorrida na zona vestibular do Tejo, e atinge no total

cerca de 300 m de espessura. Esta é constituída por uma alternância de areias, areolas, argilas e calcários, em porções variáveis, contendo importantes fósseis de animais e plantas, que permitem caracterizar a idade dos materiais e o ambiente em que estes se depositaram.

A divisão desta série em unidades litostratigráficas, proposta por Cotter (1956), apresenta sete “assentadas” subdivididas em quinze unidades, da base para o topo, que atualmente apresentam a seguinte nomenclatura (Manuppella *et al.*, 2011):

M_{Pr} – Argilas de Prazeres

M_{Es} – Areolas de Estefânia

M_{Ec} – Calcários de Entrecampos (“Banco Real”)

M_{FT} – Argilas de Forno do Tijolo

M_{QB} – Areias de Quinta do Bacalhau

M_{CV} – Calcários de Casal Vistoso

M_{Pm} – Areias com *Placuna miocenica*

M_{Mu} – Calcários de Musgueira

M_{VC} – Areias de Vale de Chelas

M_{QC} – Calcários de Quinta das Conchas

M_{Xa} – Argilas de Xabregas

M_{Gr} – Grés de Grilos

M_{Mv} – Calcários de Marvila

M_{BP} – Areolas de Baço de Prata

M_{CR} – Areolas de Cabo Ruivo

Posteriormente às camadas da Série Miocénica existe uma lacuna durante quase todo o Miocénico superior e esta lacuna termina com as camadas do Pliocénico, que não se encontram representadas na área de cidade de Lisboa (Lopes, 2001).

O Quaternário é caracterizado, de uma forma geral, por um movimento regressivo não contínuo, com paragens, avanços e recuos sucessivos do mar, que deram origem à deposição de materiais a cotas cada vez mais baixas. Durante estas oscilações, ocorreu a regressão grimaldiana que colocou o nível do mar bastante mais baixo que o atual e escavou a foz dos rios. Seguiu-se-lhe a transgressão flandriana, que colocou o nível do mar onde se encontra atualmente (Teixeira & Gonçalves, 1980).

Na cidade de Lisboa os depósitos do Quaternário (Holocénico) estão representados pelos depósitos de cobertura, os **A – Aterros** e as **a – Aluviões**.

Os depósitos aluvionares incluem depósitos diretamente associados ao leito principal do rio Tejo e a todas as ribeiras e linhas de água afluentes da margem direita do rio Tejo.

As aluviões do Tejo são compostas essencialmente por lodos, ricos em matéria orgânica ou por areias mais lavadas. Ocorrem também alternâncias lenticulares de fácies, com importantes variações de composição, consistência e compacidade, sendo a presença de conchas ou fragmentos destas uma constante (Almeida, 1991).

As aluviões das ribeiras secundárias de forma geral são mais arenosas, que as aluviões do Tejo, mas podem igualmente conter elevado teor em matéria orgânica (Lopes, 2001).

A espessura destes materiais é muito variável e pode ir desde valores inferiores a 1 m, para as aluviões das ribeiras secundárias, a valores superiores a 40 m, para as aluviões do Tejo.

Os Aterros são constituídos por depósitos de materiais muito heterogéneos, predominantemente argilosos, arenosos ou argilo-arenosos, que podem conter blocos de grandes dimensões e, frequentemente, vestígios de atividade humana (pedaços de vidro ou cerâmica, materiais carbonizados).

3.1.2. Geomorfologia regional

Segundo Almeida (1991) a cidade de Lisboa, conhecida como a cidade das sete colinas (São Vicente, Santo André, Castelo, Santana, São Roque, Chagas e Santa Catarina), ocupa uma área de 84 km² e tem a forma aproximada de um setor circular no Terreiro do Paço. O rio Tejo infletindo neste ponto de NNE para WSW, constitui o limite natural deste setor.

Na área ocupada pelo concelho de Lisboa é possível distinguir, duas unidades geomorfológicas (Almeida, 1991):

Unidade A – incluída na Orla Ocidental Meso-Cenozóica Portuguesa

Unidade B – incluída na Bacia Cenozóica Tejo-Sado

A Unidade A localiza-se no Setor Ocidental de Lisboa, mais especificamente a SW, e é constituída pelos terrenos pertencentes à Bacia Lusitaniana.

Esta inclui os relevos e estruturas mais importantes da zona de Lisboa: a Serra de Monsanto e a Colina da Ajuda, integrando o Anticlinal de Monsanto e o Anticlinal da Ajuda. Grande parte desta área está localizada acima dos 100 m, e na região do Planalto de Monsanto acima dos 200 m, apresentando declives superiores a 5% com predomínio dos declives intermédios (5-10%) recortados pelos retalhos alongados de declives superiores (10-15% e 15-25%) das vertentes das principais linhas de água, mais encaixadas. Nos interflúvios os declives são mais suaves, incluindo algumas pequenas áreas aplanadas com declives entre 2 a 5%.

Esta unidade compreende essencialmente as rochas do Complexo Carbonatado Cenomaniano (“calcários”) e do Complexo Vulcânico de Lisboa (“basaltos”), podendo individualizar-se duas sub-unidades devido às diferenças de comportamento entre os calcários e os basaltos. Nos calcários a rede de drenagem, é dendrítica, por vezes condicionada pela fraturação, enquanto nos basaltos é mal definida e ocasionalmente imposta pelos calcários adjacentes (Almeida, 1991).

A Unidade B ocupa toda a zona oriental e setentrional do concelho de Lisboa onde, contrastando com a unidade A, apenas uma pequena parte se encontra a cotas superiores a 100 m, os relevos são bastante suaves com extensas áreas de topos aplanados.

Os declives mais baixos (<2% e 2-5%) são predominantes nas zonas elevadas, destacando-se os planaltos do Aeroporto, de Carnide – Lumiar e do Campo Grande – Saldanha. Na faixa circundante o relevo assume a forma que caracterizou esta cidade, com numerosas colinas suaves. Aqui os declives baixos são predominantes, recortados por retalhos alongados de maior declive, correspondentes aos vales das linhas de água mais encaixadas: Vale de Chelas, Vale Escuro, Ribeira de Arroios, Vale do Pereiro, Ribeira de Odivelas, etc..

A Formação de Benfica, que aflora na zona de Benfica, ocupa uma zona deprimida no sopé da Serra de Monsanto. Os relevos mais importantes estão, neste caso, associados à falha do Alto dos Moinhos (Jardim Zoológico). No extremo NW do concelho, a Ribeira de Odivelas, muito encaixada na Formação de Benfica, dá origem a declives acentuados, onde os arenitos argilosos se encontram por vezes muito ravinados.

Esta unidade “...prolonga-se para nordeste, em direção a Loures; aflorando entre Pontinha, Alfovelos, Odivelas, Póvoa de Santo Adrião, Frielas e Loures. As camadas inclinam para sudeste; no vale de Odivelas, as camadas mais profundas baixas ocupam o flanco noroeste deste vale, enquanto as superiores, em conjunto com o Miocénico, formam um flanco sudeste, muito inclinado; o vale é, portanto, assimétrico com relevo em costeira.” (sic. Teixeira & Gonçalves, 1980).

Na Série Miocénica, as intercalações calcárias apesar da sua espessura relativamente pequena, condicionam as principais formas de relevo. A drenagem instalou-se nas formações menos resistentes, evoluindo para vales assimétricos e as intercalações calcárias originaram zonas de planalto e alinhamentos de cornijas (Almeida, 1991).

3.2. Área de Estudo

3.2.1. Localização geográfica

A área de estudo localiza-se em Portugal continental, na área metropolitana de Lisboa, abrangendo parte dos concelhos de Lisboa e de Odivelas, na zona envolvente à Calçada de Carriche, entre o Lumiar e Olival Basto (Figura 3). Constituí uma zona com algum declive, com cotas que se situam dos 7 aos 160 m.

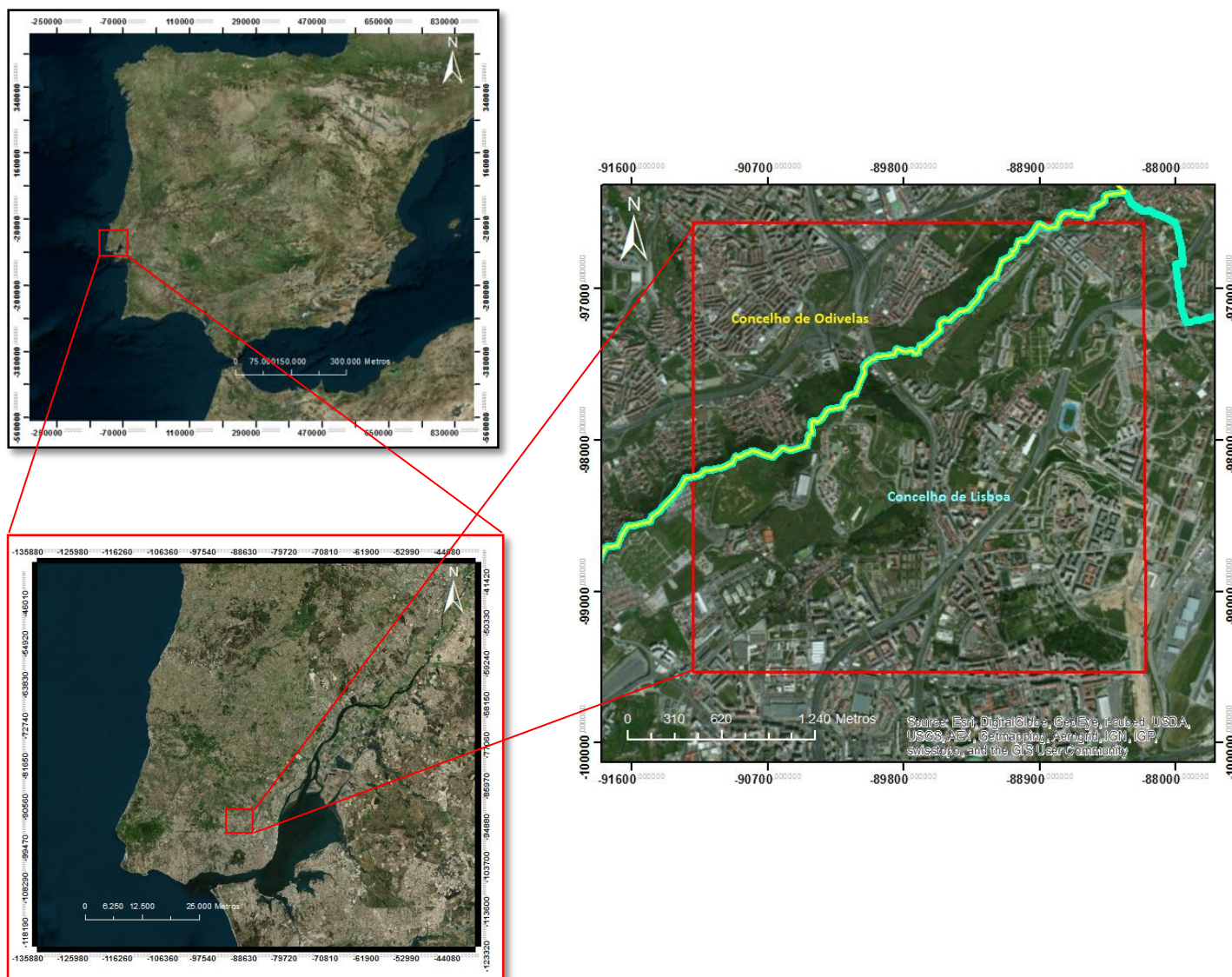


Figura 3- Localização da área de estudo.

3.2.2. Litostratigrafia

De acordo com a Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala 1:10 000 (Almeida, 1986), na área de estudo ocorrem as formações do Holocénico, do Miocénico, do Eocénico e do Oligocénico, constituídas por (Figura 4): Aterros (A); Aluviões (a); “Areias de Vale de Chelas” ($M_{Va3} \approx M_{VC}$); “Calcários de Musgueira” ($M_{Va3} \approx M_{Mu}$); “Areias com *Placuna miocenica*” ($M_{Va2} \approx M_{Pm}$); “Calcários de Casal Vistoso” ($M_{Va1} \approx M_{CV}$); “Areias de Quinta do Bacalhau” ($M_{IVb} \approx M_{QB}$); “Argilas de Forno do Tijolo” ($M_{IVa} \approx M_{FT}$); “Calcários de Entrecampos” ($M_{III} \approx M_{Ec}$); “Areolas de Estefânia” ($M_{II} \approx M_{Es}$); “Argilas de Prazeres” ($M_I \approx M_{Pr}$) e “Formação de Benfica” ($\phi \approx \phi_{Bf}$).

No entanto, é necessário ter em conta que as unidades litostratigráficas, que ocorrem na área de estudo, por se encontrarem no limite da Bacia Lusitaniana, podem apresentar espessuras diferentes do que as descritas na bibliografia.

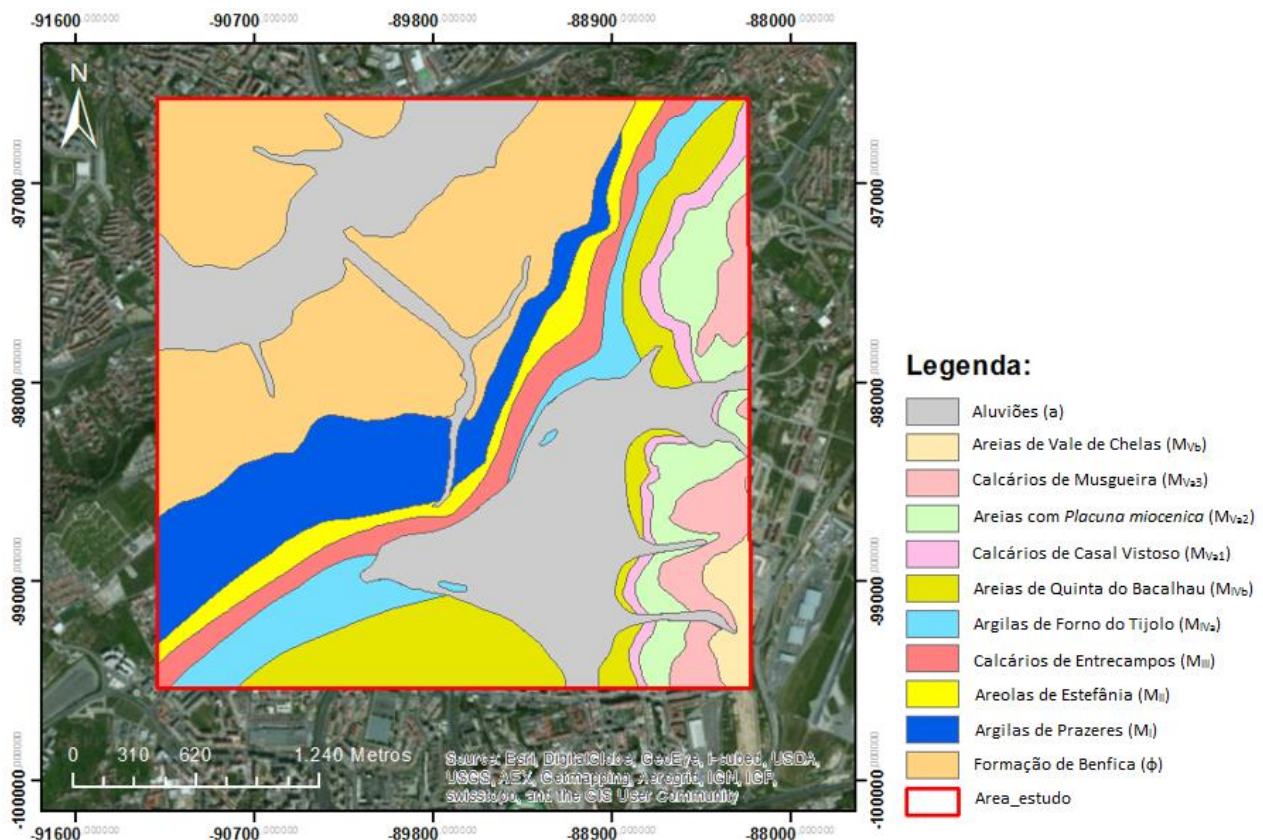


Figura 4- Carta geológica da área de estudo, adaptada da Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala 1:10 000 (Almeida, 1986) e da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000, Folha 34-B, Loures, (Manuppella *et al.*, 2011).

3.2.2.1. Formação de Benfica (ϕ)

A Formação de Benfica é constituída por uma sucessão de depósitos continentais, resultantes de diferentes regimes de sedimentação, podendo atingir 400 m de espessura. Na base, desta unidade litostratigráfica, parece dominar o regime torrencial de deposição, interrompido por um pequeno período de acalmia favorável à sedimentação lacustre; aproximadamente a meio da sequência encontram-se materiais compatíveis com um regime de drenagem mais organizado, do tipo fluvial e no topo, encontram-se alternâncias entre grandes enxurradas e períodos de estagnação (Carvalho & Romariz, 1972).

Segundo Zbyszewski (1963, 1964) é possível reconhecer a seguinte sucessão de baixo para cima:

- Arenitos e margas avermelhadas siliciclásticas (90 m);
- Calcários de Alfoanelos, cobertos com um banco de conglomerados (15 m);
- Margas avermelhadas (200 m);
- Conglomerados com clastos calcários (60 m);
- Margas e argilas avermelhadas ou alaranjadas (60 m).

Os tipos petrográficos predominantes são os conglomerados, os arenitos, os siltitos e os argilitos, os calcários e as margas (Carvalho & Romariz, 1972):

- Conglomerados com fração clástica grosseira a fina, matriz arenítico-argilosa e cimento predominantemente margoso, raramente calcários;
- Arenitos de grão fino a grosseiro, por vezes, muito grosseiro, essencialmente quartzosos, por vezes na base do complexo arcócos, com matriz argilosa, cimento margoso a calcário e impregnações de óxidos de ferro e manganês;
- Siltitos e argilitos vermelho-alaranjados devido à presença de óxidos de ferro, por vezes com carácter margoso. No topo os argilitos tornam-se mais esbranquiçados, com impregnações negras de manganês e apresentando manchas branco-esverdeadas devido à existência de malaquite;
- Calcários brancos, compactos, com grãos de quartzo, correspondendo aos Calcários de Alfoanelos, muito importantes pelo conteúdo fossilífero, sendo considerado um nível de referência.
- Margas com componente detrítica variável, podendo ir desde margas muito argilosas a calcários pouco margosos.

A fração argilosa é rica em paligorsquite (característica dos níveis calcários e argilosos), esmectites (neste caso montmorilonites, que estão associadas aos níveis mais grosseiros) e ilites em proporções variáveis e por vezes alguma caulinite. Carvalho *et al.* (1972) identificaram ainda a presença de alunite.

Em termos estratigráficos a “Formação de Benfica” assenta em descontinuidade sobre o Complexo Vulcânico de Lisboa, e nalguns locais, contacta diretamente com o Cenomaniano. Estes depósitos continentais são limitados superiormente por uma descontinuidade sobre a qual assentam os primeiros níveis marinhos do Miocénico Inferior (Argilas dos Prazeres).

Na área de estudo a Formação de Benfica constitui uma banda larga com orientação SW-NE, inclinado para SE.

Esta unidade é de difícil datação devido à ausência de elementos fossilíferos (Antunes, 1979a), no entanto é-lhe atribuída idade paleogénica (Eocénico a Oligocénico) (Manuppella *et al.*, 2011).

Do ponto de vista geotécnico, esta unidade é caracterizada pela presença de solos fortemente sobreconsolidados e rochas brandas. Superficialmente apresentam-se geralmente descomprimidas, com diminuição das características de resistência.

3.2.2.2. Miocénico de Lisboa

O Miocénico de Lisboa corresponde a uma sequência sedimentar com alternância de influência marinha e continental, constituída por calcários, margas, argilas, areias e areolas, bastante fossilíferas, ricas em fósseis de animais e plantas, que apresenta grandes variações verticais e laterias de fácies e atinge uma espessura de aproximadamente 300 m.

A série miocénica corresponde então à sedimentação, quase constante, ocorrida durante cerca de 16 M.a., no estuário da Bacia Cenozoica do Tejo-Sado. A subsidência muito intensa foi compensada por sedimentação ativa, de elementos terrígenos, transportados pelos rios, que chegavam em grande quantidade, sobretudo durante as fases orogénicas mais antigas (Antunes, 1979b; Antunes & Pais, 1993).

Os detritos do Miocénico de Lisboa são de granularidade média a fina, apresentando comportamentos no domínio de solos sobreconsolidados, com intercalações mais resistentes de rochas brandas, em geral superficialmente descomprimidas, com diminuição das características de resistência. Apresentam também grandes quantidades de grãos de quartzo e biotite (Carvalho, 1968; *in*: Lopes, 2001). Quanto à composição mineralógica das argilas, a fração argilosa é essencialmente constituída por esmectites, ilites, seguidas das caulinites que estão associadas às clorites e glauconites (Carvalho, 1968; Haguenaer, 1973; Pais, 1981, *in*: Guedes, 1997).

A divisão da série miocénica em unidades litostratigráficas, foi definida e descrita por Cotter (1956), dividindo o Miocénico de Lisboa em quinze unidades litostratigráficas, e agrupando-as em sete “assentadas”.

Apesar da coluna estratigráfica proposta por Cotter (1956), ser considerada como clássica, continua a ser bastante utilizada e é nela que se baseia a cartografia atual de Lisboa, a Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala de 1:10 000 (Almeida, 1986) e a Carta Geológica de Portugal, Folha 34-D, à escala 1:50 000 (Manuppella *et al.*, 2011).

Antunes (1979b) reconhece, na Série Miocénica de Lisboa, sete ciclos sedimentares, do C₀ ao C₆, em que a cada ciclo sedimentar corresponde uma transgressão seguida de uma regressão do nível do mar. Este facto é evidenciado pela presença de ambientes de maior ou menor influência marinha, acompanhados de grandes variações verticais e horizontais de fácies.

As unidades definidas por Cotter (1956) não coincidem com os ciclos sedimentares propostos por Antunes (1979b). Na Figura 5 pode observar-se a correspondência entre as divisões propostas pelos dois autores.

ÉPOCAS	m.a.	ANDARES	LITOLOGIA	ESPESURA (m)	ANDARES CLÁSSICOS	DIVISÕES COTTER	CICLOS SEDI-MENTARES	FASES TECTÓNICAS
MIOCÉNICO	superior	TORTON.	[Litostratigrafia]	8-10	Tortoniano	VII b	C6	V V
						VII a		
	médio	SERRAVAL	[Litostratigrafia]	8-10	Helveciano	VI c	R5	V V V
						VI b		
						VI a		
		LANG.	[Litostratigrafia]	10-15	Helveciano	V c	R4	^ ^ ^ Fase neocastelhana Forte instabilidade
						V b		
						V a1		
	inferior	BURDIGAL.	[Litostratigrafia]	15-28	Burdigaliano	V a2	R3	^ ^ ^
						V a3		
		AQUITANIANO	[Litostratigrafia]	25-30	Burdigaliano	IV b	R2	V V V
						IV a		
Aquitano sup. Burdigaliano inf.	[Litostratigrafia]	30-24	Aquitano sup. Burdigaliano inf.	Aquitano sup. Burdigaliano inf.	III	R1	V V V	
					II			
						I	C1	^ ^ ?
						RU	C0	

Figura 5- Miocénico da região de Lisboa. Litostratigrafia (adaptado de Antunes, 1979, in: Lopes, 2001).

De seguida são descritas da base para o topo, as diversas unidades litostratigráficas do Miocénico, presentes na área de estudo. A nomenclatura e os nomes utilizados para as várias unidades, correspondem aos definidos na Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000, Folha 34-B, Loures (Manuppella *et al.*, 2011). No entanto, devido a ter-se recorrido à cartografia de maior pormenor, a nomenclatura entre parêntesis corresponde à definida na Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala 1:10 000 (Almeida, 1986). É apresentada uma síntese das características de cada uma das unidades e algumas informações sobre os seus ambientes de deposição.

❖ M_{Pr} - Argilas de Prazeres (M_i)

Esta unidade é constituída por argilitos, argilitos siltsos, argilitos margosos, margas e calcários.

Cotter (1956) divide esta unidade, em cinco zonas principais, da base para o topo:

- 1ª – Zona de margas e grés com *Achelous Delgadoi*;
- 2ª – Zona de calcário margoso (1º nível de *Venus Ribeiroi*);
- 3ª – Zona de argilas e margas anegradas, esverdeadas e amareladas com *Ostrea Granensis* e restos de vegetais;

4ª – Zona margo-calcária (2º nível de *Venus Ribeiroi*);

5ª – Zona de argilas e margas com *Ostrea Aginensis* e restos de vertebrados.

Nos níveis mais argilosos existem, frequentemente, vegetais incarbonizados, cristais de marcassite e gesso.

Na área de estudo a unidade das Argilas de Prazeres constitui uma faixa com orientação SW-NE, reduzindo-se significativamente a N do Lumiar.

Esta unidade, atribuída ao *Aquitano* (Zbyszewski, 1963, 1964) é descrita por Choffat (1950) e Cotter (1956) como tendo possança variável entre os 30 e os 36 m. Manupella *et al.* (2010) atribuem esta unidade do *Aquitano* ao *Burdigaliano*, apresentando cerca de 45 m de espessura máxima.

As Argilas de Prazeres marcam o início da transgressão, já que o Oligocénico é efetivamente de carácter continental. Dá-se então, durante a primeira ingressão do mar (C₀), a formação de um golfo pouco profundo, seguindo-se durante C₁, uma expansão deste golfo até à região de Almeirim, deixando a região de Lisboa submersa (Antunes & Pais, 1993).

Antunes & Pais (1993) consideram que durante a deposição deste horizonte, se passou de um clima tropical, que permitia o crescimento de grandes florestas, a um clima subtropical.

❖ **M_{Es} - Areolas de Estefânia (M_{II})**

Esta unidade é constituída por areias finas, siltosas, micáceas (areolas), de cores vivas, argilas silto-arenosas e arenitos mais ou menos consolidados.

Cotter (1956) divide esta unidade, em três níveis principais, da base para o topo:

1º – Areias e grés argiloso, de cor clara, com *Ostrea Aginensis*, restos de vegetais e vertebrados marinhos;

2º – Areolas micáceas, de cores vivas com *Pecten Pseudo-Pandorae*;

3º – Grés calcário com fósseis espáticos e quartzitos rolados.

O conjunto inclina para SE e assenta em desconformidade sobre os depósitos das Argilas de Prazeres.

A sua espessura total varia entre os 25 e os 36 m (Cotter, 1956). No entanto, Choffat (1950) salienta o carácter lenticular desta unidade, referindo que estas areias não formam uma bancada regular mas sim lentículas intercaladas nas argilas.

Antunes (1971) atribui esta unidade a uma oscilação regressiva, que evidencia grande proximidade marinha, que se torna prevalecente. São então observados depósitos de areias finas, misturadas com fósseis marinhos (mais ou menos rolados), alguns indicativos de fácies salobra, vertebrados e vegetais terrestres. Com base nestes elementos, o autor refere, que estes indicam a permanência de um clima quente e húmido.

Na bibliografia, a cronostratigrafia atribuída a esta unidade difere de autor para autor, no entanto segundo Manuppella *et al.* (2011), esta unidade é atribuída ao *Burdigaliano*.

❖ **M_{Ec} - Calcários de Entrecampos (“Banco Real”) (M_{III})**

Esta unidade é constituída por uma acumulação de conchas e moldes, ligados por cimento carbonatado. Incluem também calcarenitos finos margosos e arenitos micáceos pouco carbonatados evidenciando a presença de grandes variações horizontais e laterais (Almeida, 1991).

No topo, os calcários são menos compactos e mais arenosos, passando progressivamente às “Argilas de Forno de Tijolo”.

Cotter (1956) divide esta unidade, com espessuras da ordem dos 5 a 17 m, em duas zonas distintas, da base para o topo:

- 1 – “molasso” calcário, muito fossilífero, de mediana rizeja;
- 2 – “grés” com areia siltosa e “molasso” mais brando.

Esta unidade é o resultado de nova e importante subida do nível do mar, evidenciada pela presença de calcários bioacumulados e bioedificados, resultado de sedimentação em profundidades variadas, maioritariamente profundidades pequenas, em águas quentes, agitadas e bem oxigenadas (Antunes, 1971; Antunes & Pais, 1983).

Segundo Manuppella *et al.* (2011) esta unidade é atribuída ao *Burdigaliano*.

❖ M_{FT} - Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa})

Esta unidade é constituída por camadas de argilas, de margas e de grés fino argiloso, micáceo de cores escuras. Apresentam algumas intercalações de estratos de forma tabular, mais compactos de rocha molássica muito fossilífera, de cores mais claras. Apesar das últimas não se encontrarem em grande quantidade e igualmente distribuídas em toda a espessura da unidade, desempenham um papel de suporte (Cotter, 1956).

A espessura desta unidade é bastante variável, sendo que Choffat (1950), Cotter (1956) e Zbyszewski (1963, 1964) referem uma espessura de 30 m para esta unidade na margem Norte do rio Tejo, Almeida (1991) refere uma sondagem realizada na zona de Olivais Norte, onde esta unidade apresenta mais de 40 m e Manupella *et al.* (2011) referem uma espessura de cerca de 11 m, inclinando 10° para SE.

Esta unidade corresponde à maior transgressão do *Burdigaliano* (C₂) iniciada na unidade anterior, que acompanhada por intensa subsidência levou à formação de ambientes variados. Representa a deposição em bacias marinhas com fraca circulação, em ambiente redutor, em que o conteúdo fossilífero evidencia ainda a deposição em águas quentes (Antunes, 1971; Antunes & Pais, 1983).

❖ M_{QB} - Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb})

Esta unidade é constituída por “(...) uma série de bancadas formadas de areia em parte ferruginosas, de cores avermelhadas, açaforada, amarelada e esbranquiçada, (...); secundariamente por alguns leitos de argila mole, cinzenta-clara e amarelada, micácea, de espessura irregular que se mostram principalmente no terço inferior da série, contendo alguns moldes de moluscos mormente de acéfalos e impressões mais ou menos abundantes de vegetais terrestres em sofrível estado de conservação; por três a quatro camadas argilo-areosas de forma lenticular, nenhuma das quais excedendo metro e meio de espessura, mostrando-se a mais de terço da altura da formação, intercaladas nas grossas bancadas de areia contendo *Ostrea crassissima* e *Ostrea gingensis*; e por areias de cor esbranquiçada mais homogéneas, formando em parte um grés ou molasso de cimento calcário com moldes de gastrópodes e de acéfalos passando ao calcário mais ou menos compacto e muito fossilífero da assentada imediatamente superior. São frequentes nas bancadas de areias as concreções ferruginosas.” (sic. Cotter, 1956).

Com a descrição anterior é possível concluir que esta unidade é bastante heterogénea onde a cor predominante é o amarelo, sendo constituída, na base por argilas e areias, de fácies salobra e fluvial, que correspondem a um episódio regressivo importante, às quais se seguem as camadas argilosas e lignitosas com vegetais; e no topo por areias esbranquiçadas pouco fossilíferas, relacionadas com uma nova transgressão marinha (C₃) (Antunes, 1971).

Esta unidade apresenta uma espessura total de cerca de 40 m e segundo Manuppella *et al.* (2011) é atribuída ao *Burdigaliano*. Os níveis de areia correspondentes a esta unidade foram intensamente explorados como matéria-prima em Lisboa.

❖ **Areias e Calcários de Casal Vistoso e de Musgueira (M_{Va})**

Este conjunto de níveis “(...) inclui rochas predominantemente calcareníticas muito fossilíferas e rochas mais arenosas. Os calcários e calcarenitos são mais abundantes no topo e na base do complexo, enquanto na zona intermédia predominam areias mais ou menos argilosas com intercalações de argilas, por vezes lenticulares, por vezes contendo vegetais.” (sic. Almeida, 1991).

M_{Cv} – Calcários de Casal Vistoso (M_{Va1}), composto por calcários fossilíferos arenosos e grés compactos com *Chlamys scabrella* (Zbyszewski, 1947);

M_{Pm} – Areias com *Placuna miocenica* (M_{Va2}), composto por argilas, grés e molasso calcário com *Placuna miocenica*, e por areias com *Ostrea crassissima* (Cotter, 1956);

M_{Mu} – Calcários de Musgueira (M_{Va3}), composto por calcários brancos compactos e grés calcários com *Chlamys scabriuscula var. camaratensis* (Zbyszewsky, 1947).

A espessura total deste complexo varia entre 25 e 35 m e é atribuído ao *Burdigaliano final/Langliano inicial*, correspondendo no total a dois episódios transgressivos, separados por um episódio regressivo, durante o qual se instalou um grande rio, e houve deposição de areias fluviais, num clima quente e húmido, tipicamente tropical (Antunes & Pais, 1983; 1993).

❖ **M_{Vc} - Areias de Vale de Chelas (M_{Vb})**

Esta unidade é constituída por areias feldspáticas e fluviais incoerentes ou fracamente cimentadas, às vezes grosseiras e compactas, com estratificações entrecruzadas e intercalações argilo-margosas. Estas areias contêm importante fauna de vertebrados, restos de

vegetais, conchas de moluscos, etc.. No entanto são os ostreídeos (*Ostrea crassissima*) em abundância, que caracterizam esta unidade, chegando a formar níveis lumachélicos, de grandes dimensões, que podem atingir os 50 cm.

Esta unidade apresenta geralmente 25 a 35 m de espessura, corresponde a um episódio regressivo (Antunes & Torquato, 1969; *in*: Manuppella *et al.*, 2011) e é atribuída ao *Langliano*.

3.2.2.3. Aluviões (a)

As aluviões do Concelho de Lisboa, do *Holocénico*, incluem depósitos diretamente associados ao leito principal do rio Tejo e a todas as ribeiras e linhas de água afluentes do Tejo, na sua margem direita.

Na área de estudo encontram-se apenas as aluviões associadas à escorrência superficial na antiga Ribeira do Lumiar e na Ribeira de Odivelas.

A constituição destas é por vezes mais difícil de definir, devido à atividade antrópica e porque depende em muitos casos das litologias erodidas. De forma geral são mais arenosas, que as aluviões do Tejo, mas podem igualmente conter elevado teor em matéria orgânica (Lopes, 2001).

3.2.2.4. Aterros (A)

Os aterros, do *Holocénico*, são constituídos por depósitos de materiais muito heterogéneos, predominantemente argilosos, arenosos ou argilo-arenosos, que podem conter blocos de grandes dimensões e, frequentemente, vestígios de atividade humana (pedaços de vidro ou cerâmica, materiais carbonizados). Devido à crescente ocupação da cidade de Lisboa e às catástrofes naturais que ocorreram, como por exemplo sismos e instabilidade de vertentes ao longo de toda a cidade, extensas áreas ficaram destruídas e foi sobre esses escombros e depósitos que a cidade foi reconstruída. Por esta razão os aterros encontram-se quase sempre presentes em zonas urbanizadas, apresentando diferentes espessuras e materiais.

Segundo Almeida (1991) em 1808 sondagens consultadas, referentes a 283 relatórios de estudos geológicos e geotécnicos, os aterros estão presentes em mais de 90% dos casos. A análise desta informação sobre a distribuição das espessuras dos aterros, permite evidenciar duas situações principais:

1ª - A espessura da cobertura geral de aterros é, em média, de 3 m, sendo, em mais de 50% dos casos inferior a 2 m.

2ª - As sondagens que intersectaram aterros com mais de 10 m de espessura podem ser consideradas como exceções. Porque correspondem, na maioria, a entulhamento de antigas explorações (pedreiras, areiros e barreiros).

3.2.3. Geomorfologia

Segundo as divisões geomorfológicas definidas anteriormente por Almeida (1991), a área de estudo é composta por terrenos pertencentes à Bacia Cenozóica Tejo-Sado, encontrando-se então na Unidade B, com altitude a variar entre os 7 e 160 m.

Para melhor demonstrar os contornos geomorfológicos desta área, preparam-se os mapas, hipsométrico (Figura 6) e de declives (Figura 7). No entanto, é necessário ter em atenção que para a realização de ambos os mapas foi necessário primeiro criar o Modelo Digital do Terreno (MDT) da área de estudo, através das curvas de nível. Como a área de estudo engloba a zona limítrofe entre os concelhos de Lisboa e de Odivelas, e não tendo acesso às curvas de nível detalhadas do concelho de Odivelas, existem diferenças na qualidade da representação dos mapas resultantes. Para o concelho de Odivelas, foi utilizado o MDT de Portugal, com equidistância de 30 m, daí algumas zonas entre o limite de ambos os concelhos apresentarem resultados que não representam a realidade. Para o concelho de Lisboa, foram utilizadas as curvas de nível, cedidas por Vasconcelos (2011), com equidistância de 1 m

O mapa hipsométrico tem como objetivo mostrar como se desenvolve o relevo numa determinada região. Para a realização desse mapa, dividiram-se as altitudes em nove classes, dando “menor importância” às zonas mais aplanadas, sendo as altitudes mais altas divididas em intervalos mais curtos.

Da observação do mapa (Figura 6) é possível verificar que as zonas com altitudes mais elevadas se situam a E e a SW da imagem, com o intervalo de altitudes situado entre os 108 m e 159 m, e que na zona da Ribeira de Odivelas, a altitude é muito baixa (7 m) enquanto nas suas ramificações a altitude encontra-se entre os 24 e os 58 m. As zonas mais altas encontram-se associadas a zonas de interflúvio e a zonas urbanizadas, de grande atividade antrópica, sendo comum a ocorrência de aterros de espessuras elevadas associados à regularização da morfologia da zona.

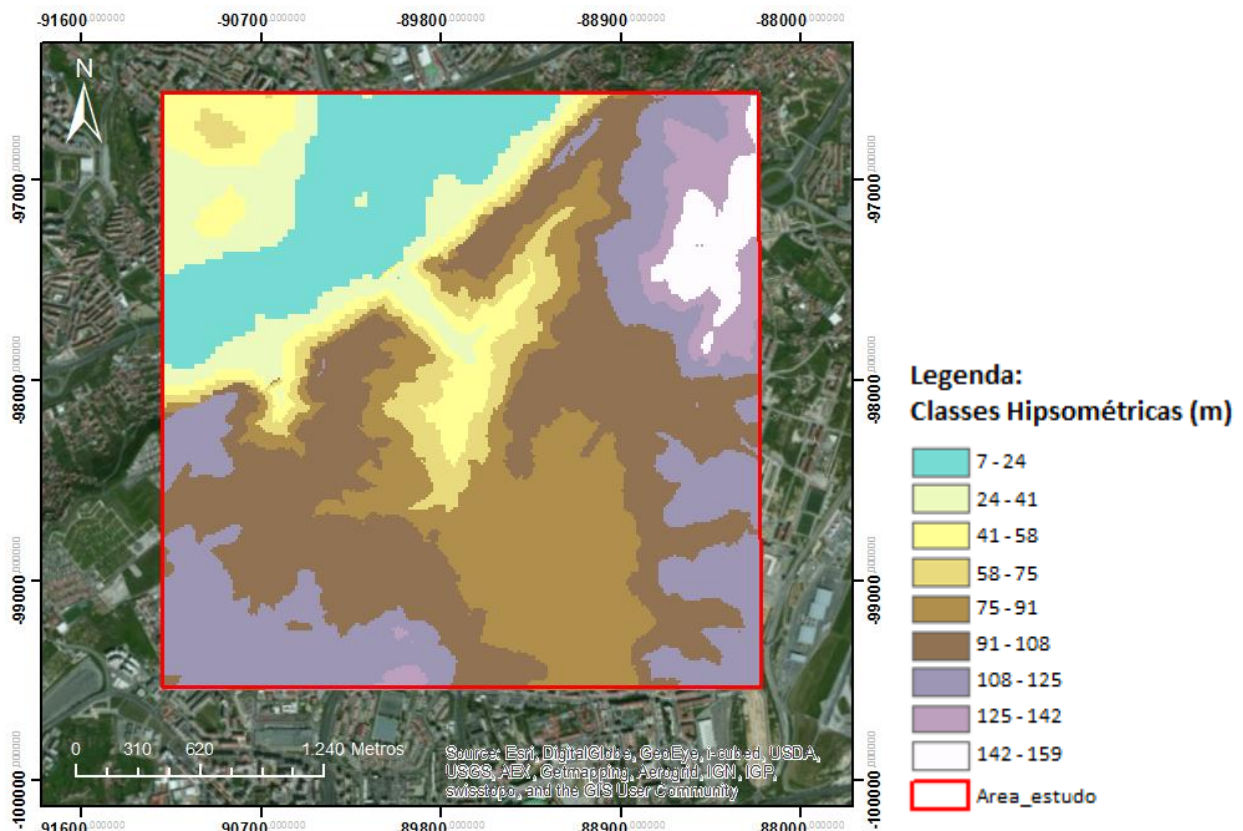


Figura 6- Mapa hipsométrico da área de estudo.

Por sua vez, o mapa de declives é realizado de forma a representar a morfologia do território e neste caso a escolha das classes de declive depende do objetivo do mapa.

A importância da análise dos declives resulta do facto de diversas atividades humanas de ocupação do terreno dependerem em grande parte deles (Veiga & Quinta Ferreira, 2002). Atendendo às limitações impostas pelo declive à ocupação de superfície e, de acordo com os intervalos de declives ótimos para vários tipos de construção e atividades urbanas, consideram-se as seguintes classes de declives (<2%, 2-5%, 5-15%, 15-25%, >45%), em que as zonas com declive menor permitem a construção de edifícios e vias de comunicação em

condições normais e, as zonas de maior declive podem obrigar ao recurso a técnicas que tornam o custo das obras mais elevado (Oliveira *et al.*, 1995).

Segundo Coelho (1980) as classes de declives mais frequentes usadas no âmbito da cartografia geotécnica (em função das limitações que se impõem ao uso dos solos) são: 0-2%; 2-5%; 5-15%; e >15%. No entanto, neste trabalho utilizaram-se as divisões propostas por Coelho (1980), mas com uma alteração proposta por Almeida (1991), que consiste em subdividir a classe >15%, em duas (15-25% e >25%), com o objetivo de realçar as zonas mais acidentadas.

Da observação do mapa de declives (Figura 7), realizado para a área de estudo, verifica-se que existem zonas com maior declive (15-25%, >25%) que correspondem, à zona SE do vale de Odivelas, onde as camadas superiores da Formação de Benfica em conjunto com as do Miocénico, formam o flanco sudeste muito acidentado, dando origem a um vale assimétrico com relevo em costeira (Teixeira & Gonçalves, 1980). As zonas de relevo quase nulo (0-2%) correspondem às regiões das bases das ribeiras, de Odivelas e do Lumiar. As restantes classes de declive encontram-se disseminadas pela área.

Na Figura 7, é possível observar o relevo em costeira interrompido por uma ramificação da Ribeira de Odivelas, na zona da Calçada de Carriche, onde são observados declives igualmente elevados.

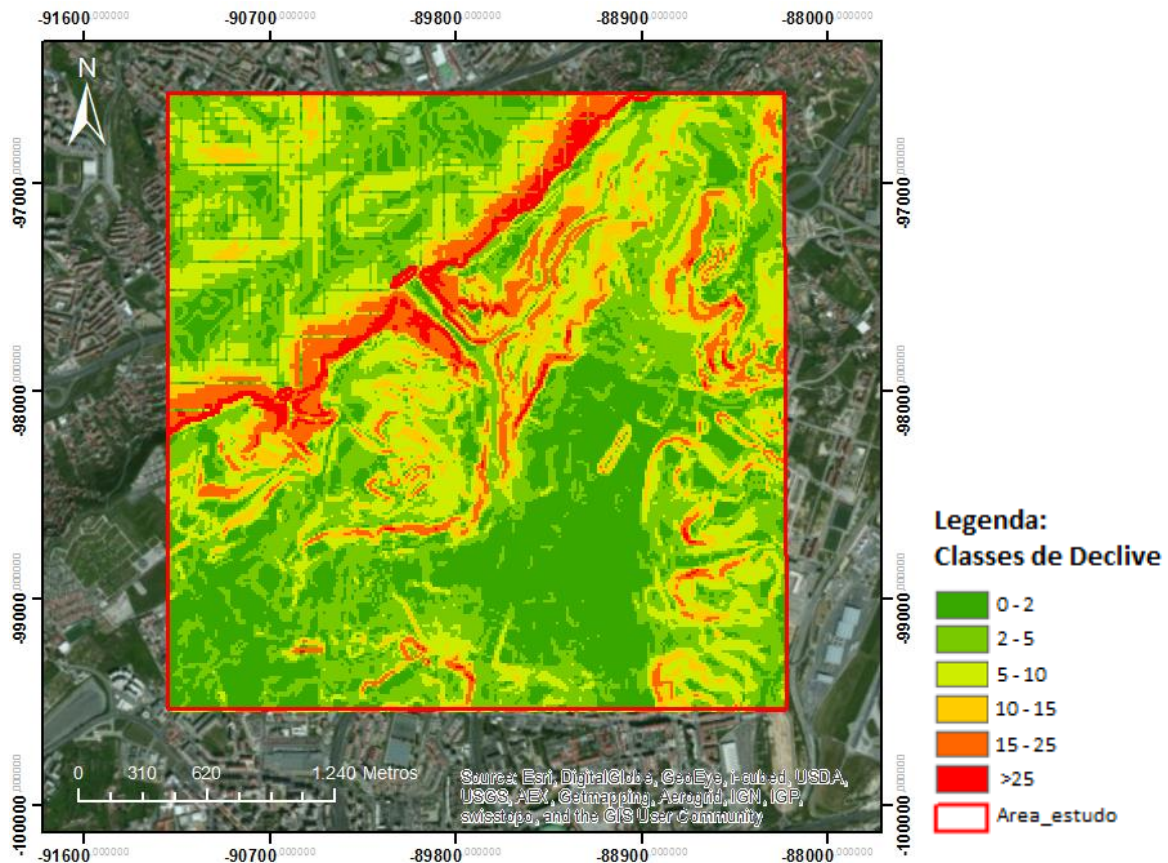


Figura 7- Mapa de declives da área de estudo.

As formas de relevo são condicionadas pelas formações geológicas em que se desenvolvem, devido à sua maior ou menor resistência à erosão.

Comparando o mapa de declives (Figura 7) com o carta geológica, apresentado na Figura 4, verifica-se que as zonas mais declivosas, correspondem maioritariamente à Formação de Benfica, composta por materiais mais resistentes que as camadas superiores do Miocénico, e que as zonas de declive muito baixo correspondem às regiões cobertas pelas aluviões das ribeiras.

3.2.4. Hidrogeologia

O regime hidrogeológico é largamente influenciado pelas condições estruturais, topográficas e litológicas das formações atravessadas.

Na área de estudo, apesar da densa urbanização, a localização da antiga rede de drenagem é indicada pela presença de talvegues onde se encontra o escoamento superficial resultante da precipitação (Silva *et al.*, 2007).

Devido a complexidade litológica das formações sedimentares, a caracterização hidrogeológica e a definição de sistemas aquíferos é uma tarefa complexa.

Para isso considerou-se que um aquífero corresponde a uma formação que apresenta uma certa homogeneidade litológica, a que correspondem determinados comportamentos hidrogeológicos (aquífero, aquífero, aquífero, aquífero, etc.) (Pinto, 2003).

Para a área de estudo, Pinto (2003) define três formações hidrogeológicas distintas:

- Sistema Aluvionar

Associado aos depósitos superficiais, mais precisamente às formações aluvionares, composto por argilas, areias e cascalheiras, sendo que a Norte, da área de estudo, estão associadas às Ribeiras de Odivelas e da Póvoa e a Sul, da área de estudo, estão associadas à antiga Ribeira do Lumiar.

As aluviões, são materiais não consolidados de natureza heterogénea, que apresentam permeabilidade média a alta, consoante a componente argilosa presente. Estes, em geral, encontram-se saturados, sofrendo variações no nível freático devido ao escoamento superficial resultante da precipitação.

- Sistema Aquífero Multicamada Miocénico

Este sistema é constituído por várias camadas, de permeabilidade variável, confinadas ou semiconfinadas, com frequentes variações laterais e verticais, responsáveis por mudanças significativas nas condições hidrogeológicas.

Na área de estudo apenas foram definidos quatro subsistemas hidrogeológicos que apresentam grande variabilidade no que respeita à produtividade e qualidade da água.

Nestes subsistemas o comportamento hidrogeológico depende essencialmente da natureza das formações.

- ✓ **Complexo Calco-arenítico Miocénico:** corresponde à unidade litostratigráfica Calcários de Musgueira (M_{Va3}). Apresenta um comportamento hidrogeológico típico de aquífero, com permeabilidade média a alta e produtividade média a alta, com recarga por infiltração direta de águas pluviais. Apresenta espessuras que variam desde 95 até aos 107 m.

- ✓ **Argilas de Forno do Tijolo:** corresponde à unidade estratigráfica com a mesma designação e comporta-se do ponto de vista hidrogeológico como um aquífero com permeabilidade reduzida, cuja espessura varia de 15 m na zona das Galinheiras até 40 m na zona dos Olivais N.

- ✓ **Complexo Miocénico Inferior:** corresponde ao conjunto litológico Calcários de Entrecampos (M_{III}) e as Areolas de Estefânia (M_{II}). Este complexo apresenta permeabilidade média a alta, comportando-se como um aquífero com produtividades médias a altas. A sua espessura varia entre 36 e 53 m.

- ✓ **Argilas e Calcários de Prazeres:** funcionam do ponto de vista hidrogeológico como um aquífero, com permeabilidades baixas. A sua espessura total é da ordem dos 30 aos 35 m.

- Complexo Oligocénico

Corresponde a um complexo detrítico, muito heterogéneo, constituído essencialmente por conglomerados, arenitos, siltitos e argilitos, calcários e margas, comportando-se geralmente como um aquífero, mas podendo no entanto apresentar alguns níveis de aquífero.

Globalmente apresenta baixa permeabilidade devido à sua componente argilosa e produtividades muito baixas.

4. Metodologia

A metodologia para a realização desta dissertação seguiu, em linhas gerais, a metodologia usada na caracterização geológico-geotécnica de uma área urbana (Coelho, 1980), segundo quatro vertentes:

- Numa primeira fase, efetuou-se a pesquisa, a recolha, a análise e o tratamento da informação pré-existente: de trabalhos publicados, cartas geológicas, fotografias aéreas e Relatórios de Prospeção Geológica e Geotécnica (RG) realizados na área de estudo, desde 1967 a 2010, recolhidos no âmbito do Projeto *GeoSIS_Lx*.
- Numa segunda fase, referente ao trabalho de campo, efetuou-se um reconhecimento de superfície, com auxílio das cartas geológicas, das fotografias aéreas e do *Google Earth*[®], de forma a localizar e catalogar possíveis afloramentos, para posterior recolha de amostras da Formação de Benfica, e de modo a observar a geologia definida na Carta Geologia do Concelho de Lisboa, à escala 1:10 000, dos Serviços Geológicos de Portugal.
- Numa terceira fase, referente ao trabalho de gabinete, efetuou-se a análise geológica e geotécnica utilizando os RG selecionados, para a construção de uma base de dados (BD) em *Excel*[®] através da qual foi possível realizar a caracterização geológica e geotécnica das unidades litostratigráficas presentes na área de estudo.
- Numa quarta fase, referente ao trabalho de laboratório, foram realizados ensaios laboratoriais em amostras da Formação de Benfica recolhidas em afloramento e posterior tratamento dos dados obtidos.

4.1. Recolha de informação

Foi utilizado o seguinte conjunto de dados pré-existentes:

- Dados Bibliográficos: trabalhos publicados no âmbito da geologia aplicada e da geologia da engenharia.

- Dados Cartográficos: cartas geológicas (Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala de 1:10 000, SGP (1986); Carta Geológica de Portugal, da folha 34-D, Lisboa, à escala 1:50 000, INETI (2006); Carta Geológica de Portugal, da folha 34-B, Loures, à escala 1:50 000, LNEG (2011)), *shapefiles* (com informação da geologia, das curvas de nível, do edificado e vias públicas do Concelho de Lisboa, fornecidas pela Câmara Municipal de Lisboa, no âmbito do Projeto *GeoSIS_LX*) e fotografias aéreas com cobertura estereoscópica da cidade de Lisboa das datas correspondentes a 1947, 1958, 1967, 1977-1978, 1987 e 2004 (Vasconcelos, 2011).
- Dados Geotécnicos: referentes a sondagens, ensaios *in situ* e ensaios de laboratório, realizados na área de estudo, apresentados em Relatórios de Prospeção Geológica e Geotécnica (RG) facultados por empresas no âmbito do Projeto *GeoSIS_Lx*.

4.2. Reconhecimento Geológico de Superfície

O reconhecimento geológico tem como objetivo identificar e caracterizar as diferentes unidades litostratigráficas e obter a sua delimitação cartográfica.

Para isso antes de iniciar quer o trabalho de campo, quer o trabalho de gabinete, realizou-se um reconhecimento prévio da área de estudo, utilizando a Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala de 1:10 000; as fotografias aéreas da cidade de Lisboa e o *Google Earth*[®] ou o *Basemap Imagery* (ferramenta do *ArcGIS 10.1*[®]), de forma a identificar em zonas urbanizadas a ocorrência de afloramentos ou obras a decorrerem na zona, para facilitar a escolha dos locais de interesse a visitar.

Na área de estudo, apesar de ser uma zona urbana, ainda existem bastantes afloramentos com relativamente bons acessos que permitiram efetuar a recolha de amostras.

O trabalho de campo foi efetuado tendo como objetivo principal a colheita de amostras remexidas da Formação de Benfica, para posteriormente serem sujeitas a ensaios de laboratório. No entanto, também permitiu verificar e completar os dados obtidos na fotointerpretação em termos litológicos, estruturais e geomorfológicos; identificar as unidades cartografáveis e a sua estrutura a partir da observação direta de afloramentos; e efetuar a avaliação, em termos qualitativos ou semiquantitativos, das propriedades dos solos e das rochas através da observação direta ou através de ensaios expeditos.

4.2.1. Localização da Amostragem

Para tal, foi elaborado um plano de amostragem de forma a proceder à colheita de amostras remexidas da Formação de Benfica representativas de toda a área de estudo, tendo em conta o reconhecimento prévio.

Inicialmente foram identificados catorze locais passíveis de serem amostrados na zona envolvente à Calçada de Carriche, no limite entre o concelho de Lisboa e de Odivelas. No entanto, só foram recolhidas amostras em sete (Local 1, Local 3, Local 4, Local 8, Local 9, Local 11, Local 12, Local 13, Local 14) devido a estes se encontrarem muito próximos uns dos outros e apresentarem litologias semelhantes (Figura 8).

A georreferenciação das quinze amostras recolhidas, foi efetuada no *Google Earth*[®] e posteriormente no *ArcGIS*[®], com base na Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala de 1:10 000.

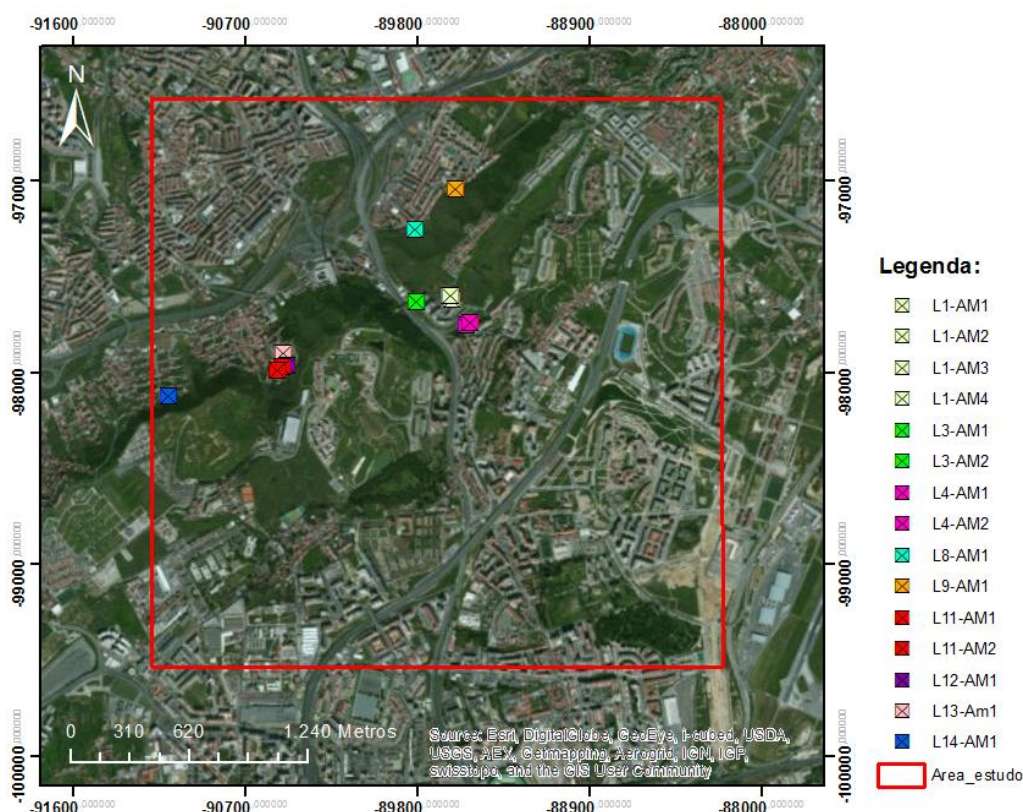


Figura 8- Localização das amostras recolhidas da Formação de Benfica.

4.2.2. Amostragem

A recolha das amostras foi executada com o auxílio de uma pá, depois do afloramento estar limpo de material de alteração ou de escorregamento. Dependendo das características do material, foram recolhidas quantidades necessárias à realização dos ensaios de identificação.

Foram recolhidas 15 amostras remexidas da Formação de Benfica (Figura 8/Anexo 4), com diferentes características granulométricas. Todas foram descritas e referenciadas com o número da amostra e o local de onde foram extraídas, sendo depois acondicionadas em sacos de plástico, devidamente selados.

A descrição das amostras recolhidas foi realizada segundo um conjunto de características (Anexo 4), de modo a que a comparação e interpretação dos dados obtidos no trabalho de campo cumprissem o objetivo pretendido. Sendo assim, na caracterização e descrição das amostras, ao nível do reconhecimento geológico de superfície, foram descritas as seguintes características:

- tipo de rocha ou solo;
- textura (tamanho do grão, grau de arredondamento, esfericidade, distribuição e composição mineralógica);
- cor;
- estado de alteração (descoloração, decomposição e desintegração);
- presença de água;
- idade geológica (por exemplo, Holocénico, Eocénico).

Como nem sempre foi possível transportar imediatamente as amostras para o laboratório, nem proceder imediatamente aos ensaios, os sacos devidamente selados, foram acondicionados em local fresco.

4.3. Reconhecimento Geológico e Geotécnico

Utilizando os RG selecionados para este trabalho, iniciou-se o tratamento da informação recolhida, localizando as sondagens, na Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala 1:10 000, utilizando o *software ArcGIS 10.1*®.

Esta localização foi realizada segundo dois métodos:

- Com os RG que possuíam coordenadas, criou-se um documento em *Excel*[®] com todas as coordenadas das sondagens no mesmo sistema (*Datum_73_Hayford_Gauss_IPCC*) que de seguida foram projetadas no *ArcGIS 10.1*[®];
- Com os RG que não possuíam coordenadas, digitalizou-se a planta de localização e efetuou-se a sua georreferenciação utilizando o *Bing Maps Aerial* e o edificado no *ArcGIS 10.1*[®].

A partir dos RG selecionados construiu-se uma base de dados (BD) em *Excel*[®] organizada em colunas de acordo com a informação referente às várias sondagens (Anexos 2, 3), para posterior análise e tratamento dos dados. Nos Anexos 2 e 3, pode observar-se um excerto da BD, pois esta não pode ser apresentada na totalidade, não só devido à sua extensão, como também porque, o acesso aos RG é restrito e confidencial, podendo apenas publicar-se o resultado do tratamento e interpretação dos dados contidos nestes.

A informação referente às descrições litológicas e a parâmetros obtidos em ensaios *in situ*, contida nos RG, foi transcrita para uma tabela (Anexo 2), organizada em várias colunas, sendo elas: Referência e nome do RG; Tipo de sondagem; Nº da sondagem; Coordenadas (M, P e Z); posição do Nível Freático (quando existente); Unidade Geológica (Litostratigrafia); Profundidades (Inicial, Final); Litologia Principal (areia, argila, marga, silte, calcário, etc.); Litologia Secundária (arenosa/o, argilosa/o, siltosa/o, etc.); Observações complementares (cor dominante, fósseis, etc.); Ensaio SPT (1ª Fase – Profundidade Inicial; 2ª Fase – Profundidade Inicial e Profundidade Final, N1 e N2+3); % RQD; % Recuperação e Alteração/Fraturação.

A informação referente a parâmetros obtidos em ensaios de laboratório realizados em amostras intactas e amostras remexidas, contida nos RG, foi transcrita para uma tabela (Anexo 3), organizada em várias colunas, sendo elas: Limites de Consistência de Atterberg [LL (%), IP (%), LR (%)]; Teor em água [w (%)]; Análise Granulométrica [<0.42mm (%), <0.2mm (%), <0.074mm (%), <0.002mm (%)]; Peso volúmico natural [γ (g/cm³)]; Peso volúmico seco [γ_d (g/cm³)]; Peso volúmico das partículas sólidas [γ_s (g/cm³)]; Grau de saturação [Sr (%)]; Densidade das partículas [Gs]; Resistência à Compressão Simples [q_u (kPa)]; Ensaio Edométrico [C_c , C_v]; Ensaio Triaxial consolidado não drenado [C_u (kPa), E (kPa), σ_3 (kPa), σ_1 (kPa), C (kPa), C' (kPa), ϕ (°), ϕ' (°)]; Ensaio Proctor Modificado [w_{op} (%), γ_d max. (g/cm³)]; Índice CBR [CBR

(%), Dev. wop. (%), Expansibilidade (%)); e classificação geotécnica dos terrenos ensaiados com base nas classificações Unificada e AASTHO.

Quanto à posição do nível freático, nos RG analisados, foram encontradas três situações possíveis: o nível de água foi detetado a uma determinada profundidade; o nível de água não foi detetado até ao fim da sondagem e não há qualquer registo sobre o nível de água

A escolha da informação e o modo de organização da mesma, para a realização da BD teve como base a informação contida nos RG analisados.

Através da análise e interpretação de toda a informação contida na BD referente às sondagens, foi possível realizar um conjunto de cortes geológicos em profundidade, efetuar ajustamentos locais à cartografia geológica, construir o Mapa de Depósitos de Cobertura, construir o Modelo Geológico da área de estudo em 3D e efetuar a caracterização geotécnica das unidades litostratigráficas presentes na área de estudo.

Para tal procedeu-se à análise e reinterpretação da sequência litostratigráfica das sondagens contidas na BD, de forma a individualizar as diferentes unidades litostratigráficas e profundidades a que estas se encontram.

Esta reinterpretação foi efetuada recorrendo à Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal, da folha 34-B, Loures, à escala 1:50 000, e da folha 34-D, Lisboa, à escala 1:50 000, ao trabalho desenvolvido por Cotter (1956) sobre o Miocénico Marinho de Lisboa e a critérios litogenéticos, que consiste em identificar numa região classes e terrenos com a mesma génese e idêntica história geológica (Coelho, 1980), de modo a retificar as cotas de base das várias unidades litológicas alcançadas nas várias sondagens.

Por vezes também se recorreu à identificação de níveis geológicos de referência, que permitem definir a estrutura da zona e facilitam a interpretação da sequência local.

4.3.1. Cortes geológicos e ajustamentos locais à Cartografia Geológica

Para realizar os cortes geológicos foram utilizados dois *softwares*, o *ArcGIS 10.1*[®] e o *CorelDRAW X7*[®], bem como a informação descrita na Notícia Explicativa da Carta Geológica de

Portugal, à escala 1:50 000, folha 34-D, Loures, (Manuppella *et al.*, 2011) e a informação sobre as unidades litostratigráficas descritas nos gráficos de sondagem, previamente reinterpretados, como já foi referido no ponto anterior.

No *ArcGIS 10.1*[®] utilizando a ferramenta *3D Effects* tendo como base o MDT, realizaram-se os vários perfis topográficos.

Utilizando os perfis topográficos anteriormente realizados, desenhou-se à mão os cortes geológicos, adicionando a informação em profundidade relativa às várias unidades litostratigráficas, contida nas sondagens atravessadas.

Por último, utilizou-se o *CoreDRAW X7*[®], para redesenhar em formato digital os cortes geológicos desenhados à mão.

A realização dos cortes geológicos, juntamente com a reinterpretação das unidades litostratigráficas descritas nos gráficos de sondagens, permitiu a realização de ajustamentos locais à Cartografia Geológica.

Para tal foram desenhados novos polígonos, referentes aos novos limites das unidades litostratigráficas à superfície, utilizando a ferramenta *Draw* no *ArcGIS 10.1*[®].

4.3.2. Mapa de Depósitos de Cobertura

O mapa de espessura dos depósitos de cobertura, foi construído utilizando no *software ArcGIS 10.1*[®] a informação referente a 188 pontos de informação, contidos nos RG analisados. Para tal foi necessário efetuar um tratamento prévio em *Excel*[®], que consistiu em anular todos os pontos de informação em que não era alcançada a base dos depósitos de cobertura e por conseguinte o substrato miocénico e oligocénico.

Para efetuar a realização do Mapa de Depósitos de Cobertura, inicialmente foram realizadas várias tentativas utilizando métodos de interpolação distintos, no sentido a encontrar o que melhor se ajustaria à realidade dos dados e o que produzisse menor erro.

Assim sendo, o método de interpolação escolhido para realizar o Mapa de Depósitos de Cobertura foi o *Inverse Distance Weighted* (IDW) – Inverso do Quadrado da Distância, no *software ArcGIS 10.1®*, de forma a ser possível extrapolar a informação pontual a toda a área de estudo e obter uma superfície de interpolação dos depósitos de cobertura. Este método foi também o escolhido em outros trabalhos com temas semelhantes, como por exemplo (Almeida *et al.*, 2008).

4.3.3. Modelo Geológico Tridimensional

O modelo geológico da área de estudo em 3D, foi construído utilizando no *software ArcGIS 10.1®*, as *shapefiles*, referentes à geologia e às curvas de nível (informação cedida no âmbito do Projeto *GeoSIS_Lx* e por Vasconcelos, 2011) e a informação referente a 188 pontos de sondagem, contidos nos RG analisados.

A primeira etapa para a realização do modelo tridimensional, consistiu na obtenção e ajuste dos valores das cotas da boca das sondagens (cota Z) e na transformação das espessuras das várias unidades litostratigráficas, atravessadas pelas sondagens, em cotas da base das mesmas, a segunda etapa correspondeu efetivamente à representação tridimensional (Almeida *et al.*, 2008).

Para obter e ajustar as cotas Z dos vários furos de sondagem, foi necessário primeiro construir o Modelo Digital do Terreno (MDT) utilizando as curvas de nível da área de estudo e de seguida construir o Mapa de Declives ou *Slope*, no *software ArcGIS 10.1®*, ambos apresentados nos enquadramentos (ver 3.2.3.). A partir do Mapa de Declives foi possível atribuir a cota da superfície topográfica (cota Z) aos furos de sondagem que não a apresentavam e retificar as cotas Z dos que apresentavam, que por serem RG antigos (alguns desde 1967) poderiam apresentar cotas desatualizadas.

Para transformar as espessuras das várias unidades litostratigráficas em cotas da base, foi necessário subtrair às cotas Z as respetivas espessuras das diferentes unidades litostratigráficas alcançadas pela sondagem. Para além desta transformação, realizou-se a interpretação das sondagens, utilizadas nos cortes geológicos (Figura 12 e 13), quanto à cota da base das unidades litostratigráficas subjacentes às apresentadas no gráfico de sondagem original, adicionando informação em profundidade obtida com a realização destes cortes.

A representação tridimensional foi realizada utilizando no *ArcGIS 10.1*[®], o *Geostatistical Wizard*, escolhendo o método de interpolação *Krigagem* normal ou ordinária, com tendência de 1ª ordem (Matildes *et al.*, 2010). Utilizando este método, interpolou-se as cotas da base das várias unidades litostratigráficas existentes na área de estudo. As várias superfícies de interpolação obtidas, foram depois transformadas em *Raster*, de modo a poderem ser visualizados a três dimensões no *ArcScene*.

No *ArcScene*, para ser possível visualizar em três dimensões os vários *Raster's* obtidos, foi necessário corrigir as suas elevações utilizando no separador *Layer Properties > Base Heights* o *Floating on a custom surface* (neste caso o MDT), permitindo a conversão para a mesma referência topográfica (Almeida *et al.*, 2008).

Por último foi necessário editar as superfícies de interpolação obtidas, apagando as células dos *Raster's* que se encontravam projetadas acima da superfície topográfica (MDT), utilizando a função *Con* no *Raster Calculator*, que efetua a avaliação condicional (if/else) em cada célula, ficando apenas representada no modelo as superfícies relativas a cada unidade litostratigráfica.

4.3.4. Caracterização geotécnica das unidades litostratigráficas

Para o tratamento e interpretação dos dados referentes aos ensaios SPT, foram efetuadas correções ao valor de N (ver 4.3.4.2.) e utilizados gráficos, histogramas e a análise estatística em *Excel*[®].

4.3.4.1. Standard Penetration Test (SPT)

O ensaio *Standard Penetration Test* (SPT) foi utilizado pela primeira vez em Portugal em 1953 e tem sido desde então considerado a maior fonte de informação sobre as características geotécnicas *in situ* dos solos de Lisboa (Almeida, 1991). A norma atualmente em vigor é a EN ISO 22476-3 (2006).

É um ensaio de rápida execução e com preço acessível, que possibilita um grande número de correlações, dos seus números com propriedades geotécnicas (Terzaghi *et al.*, 1996), e para além de permitir estabelecer uma análise semiquantitativa da resistência à

penetração das formações atravessadas, permite a colheita de amostras não remexidas representativas dos terrenos atravessados, de razoável qualidade para ensaios de identificação e caracterização geotécnica em laboratório.

Este ensaio permite avaliar a compacidade dos solos incoerentes (arenosos), a consistência dos solos coerentes (argilosos) (Tabelas 4 e 5), o que contribui para a definição de um possível zonamento geotécnico dos maciços terrosos em profundidade e pode também ser utilizado para avaliar o potencial de liquefação das areias.

Tabela 4- Classificação de solos incoerentes quanto à compacidade, desenvolvida por Terzaghi & Peck (Terzaghi et al., 1996), Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968).

SPT (nº de pancadas)	Compacidade dos Solos
<4	Muito soltos
4-10	Soltos
10-30	Medianamente Compactos
30-50	Compactos
>50	Muito compactos

Tabela 5- Classificação de solos coerentes quanto à consistência, desenvolvida por Terzaghi & Peck (Terzaghi et al., 1996), Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968).

SPT (nº de pancadas)	Consistência dos Solos
<2	Muito Moles
2-4	Moles
4-8	Consistência Média
8-15	Duros
15-30	Muito Duros
>30	Rijos

O ensaio SPT consiste na cravação de um amostrador com comprimento, altura e peso normalizados, que desce pelo interior do furo de sondagem até à profundidade atingida pela furação, e cuja cravação é realizada por um pilão com peso e altura normalizadas. Este realiza-se em duas fases, na primeira fase é registado o número de pancadas necessárias para o amostrador penetrar 15 cm de terreno, sendo um valor informativo, normalmente desprezado devido às perturbações sofridas pelo maciço durante a furação. Nas segundas e terceiras fases

é registado o número de pancadas necessárias para o amostrador penetrar 30 cm (15 cm+15 cm), sendo este o resultado final do N, indicativo da resistência do maciço *in situ*.

Segundo a norma EN ISO 22476-3 (2006) o ensaio termina sempre que se atinja as 50 pancadas, ou as 100 pancadas em rochas brandas, registando-se o valor de N e o valor da penetração. Caso a penetração seja muito difícil o operador dá por terminado o ensaio, mesmo que não se tenham conseguido atingir as 50 pancadas.

De acordo com a prática implementada pelas empresas da especialidade em Portugal, não se segue o critério definido pela norma ISO e o ensaio termina sempre que se atinja 60 pancadas ou caso a penetração seja muito difícil o operador dá por terminado o ensaio, mesmo que não se tenham conseguido atingir as 60 pancadas e os 30 cm de penetração, registando-se o valor de N e o valor da penetração. Ainda neste caso pode-se obter o valor de N para a penetração de 30 cm por meio de uma simples extrapolação.

Os intervalos de profundidade entre os ensaios são definidos no caderno de encargos, mas são habitualmente realizados em intervalos de 1,5 m e quando se verifica mudança de litologia.

Neste trabalho, por uma questão de utilização de dados, nos casos em que não se atinge os 30 cm de penetração, extrapolou-se o valor de N para esses 30 cm.

4.3.4.2. Correções do valor N do SPT

O valor N é influenciado por vários fatores, daí a necessidade de minimizar esta influência de forma a poder uniformizar este valor e torná-lo comparável mundialmente.

A norma EN ISO 22476-3 (2006), recomenda um conjunto de correções ao valor N do SPT. As correções efetuadas neste trabalho são as referentes à energia de disparo, ao comprimento das varas e ao diâmetro do furo.

Quanto à energia de disparo, Skempton (1986) refere que mesmo havendo um bom controlo da execução do ensaio, as primeiras variáveis que controlam a energia transferida ao trem de varas (ER_r) são o método de queda do pilão e o tipo de coxim.

Os métodos de queda do pilão podem ser realizados de duas formas: os de disparo automático, em que a queda do martelo ocorre praticamente em queda livre, apresentando uma eficiência da ordem dos 60%; e os acionados manualmente, que é necessário elevar o martelo através de um dispositivo de corda e roldana, provocando perdas de energia bastante grandes e diminuição da eficiência para valores da ordem dos 45%, sendo que estes últimos caíram em desuso a partir de 1990 em Portugal.

Em relação ao coxim, a libertação de energia será tanto maior quanto maior for o seu peso (Skempton, 1986).

De forma a normalizar estes fatores, o N para um valor de $ER_r=60\%$, foi calculado através da seguinte expressão em que (Skempton, 1986):

$$N_{60} = N \frac{ER_r}{60}$$

em que, N_{60} é um valor normalizado, N o número de pancadas e ER_r a energia transmitida ao trem de varas.

Atualmente em Portugal, os sistemas usados pela generalidade das empresas são os de disparo automático (Lopes, 2001). Nestes casos ER_r é próximo de 60%, (Skempton, 1986) logo utilizou-se:

$$N_{60} = N$$

No entanto, para sondagens realizadas antes de 1990, os ensaios realizados manualmente, foram corrigidos utilizando a seguinte expressão (Folque, 1996, *in*: Lopes, 2011):

$$N_{60} = 0.75N$$

A correção da energia de disparo é uma aproximação à realidade visto que não há medições de energia transmitida e não há forma de as obter.

Quanto ao comprimento das varas, vários estudos demonstram que a energia transmitida pelas varas ao amostrador só é total quando o peso do trem de varas é maior ou igual ao do pilão (Fernandes, 2011).

Para corrigir o valor de N_{60} relativamente ao comprimento das varas foram utilizados os fatores de correção descritos na Tabela 6 e o fator de correção 0.75 para comprimentos de varas inferiores a 3 m, de acordo com Seed *et al.* (1983, *in*: Lopes, 2001).

Quanto ao diâmetro do furo foi necessário corrigi-lo utilizando os fatores de correção descritos na Tabela 6, uma vez que este foi concebido para utilização em diâmetros de 100 mm e em Portugal são utilizados frequentemente diâmetros de 200 mm.

Também é importante ter em conta que, quanto maior o diâmetro maior a perturbação que ocorre abaixo do furo. No entanto existem RG sem informação sobre o diâmetro utilizado na prospeção e outros que apresentam dois diâmetros de furação mas não fazem referência da profundidade a que foi efetuada a mudança, assim sendo nestes casos corrige-se o valor de N para a situação mais desfavorável.

Tabela 6- Correções aproximadas para o valor de N medido (Skempton, 1986).

Comprimento das varas	Fator de Correção
>10m	1.0
6-10m	0.95
4-6m	0.85
3-4m	0.75
Diâmetro do furo	Fator de Correção
65-115mm	1.0
150mm	1.05
200mm	1.15

4.4. Ensaios de laboratório

Os ensaios de laboratório são fundamentais para a caracterização geotécnica dos materiais geológicos, pois permitem a determinação de propriedades índice, possibilitando eventuais correlações e aperfeiçoamento do modelo geológico e permitem ainda a obtenção de parâmetros de engenharia usados na análise e projeto de fundações e de taludes.

Os ensaios de laboratório são realizados em função do tipo de terreno e do objetivo a que se destina o estudo. Podem ser de três tipos: identificação, avaliação das características de resistência (propriedades físicas e mecânicas) e obtenção dos parâmetros de deformabilidade.

De seguida apresenta-se uma breve descrição dos ensaios de identificação realizados neste trabalho.

4.4.1. Teor em Água (ω)

O teor em água consiste na razão, em percentagem, entre o peso da água (W_w) e o peso das partículas sólidas (W_s) existentes numa mesma massa de solo.

$$\omega(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Sempre que as amostras não foram imediatamente transportadas para o laboratório foram acondicionadas em lugar fresco para garantir que não havia perdas de água e efetuou-se a sua determinação após a chegada ao laboratório, de modo a evitar ao máximo as perdas de água.

Este parâmetro foi determinado segundo a Norma Portuguesa NP-84 (1965), que consiste em secar na estufa a uma temperatura de 105°C durante 24h, uma amostra de solo num gobelé de tara conhecida, para que toda a água existente nos vazios evapore e se possa calcular o peso da amostra depois de seca.

4.4.2. Teor em Carbonatos

O teor em carbonatos consiste na razão, em percentagem, entre o peso de carbonatos (W_{CaCO_3}) e o peso inicial da amostra.

$$CaCO_3(\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Uma vez que as amostras correspondem à Formação de Benfica, e apresentam alternância de arenitos e margas com clastos de calcário, optou-se por determinar a percentagem de carbonatos em todas as amostras.

A determinação deste parâmetro foi efetuada segundo dois métodos: diferença ponderal, antes e após reação com ácido clorídrico (HCl) diluído a 10% e método gasométrico, em calcímetro de Eijkelkamp, de acordo com a norma fornecida pelo fabricante (M1-08.53.E, 2012).

No primeiro método foram efetuadas sucessivas reações com HCl diluído a 10%, para tal, pesou-se aproximadamente 100 g de amostra devidamente desagregada e seca dentro de um gobelé de vidro tarado, onde se adicionou HCl diluído a 10% até cobrir completamente a amostra. Agitou-se a amostra com uma vareta até esta deixar de fazer reação e lavou-se a amostra com sucessivas decantações de água, até o papel indicador de pH indicar neutralidade da solução. Por último, secou-se a amostra na estufa a 105°C, pesou-se e registou-se o peso final da amostra.

No segundo método foi necessário primeiro testar a amostra, de modo a estimar a massa de sedimento a utilizar na calcimetria, avaliada pela intensidade e tempo de efervescência consoante o descrito na Tabela 7. Para tal colocou-se 1 g de amostra num vidro de relógio, depois de devidamente desagregada, e adicionou-se 1 mL de HCl.

Tabela 7- Estimativa da massa de sedimento a utilizar na calcimetria.

Intensidade efervescência	% Carbonato aproximada	Massa da amostra a analisar (g)
Pouco / Nada	< 2	10
Clara (pouco tempo)	2- 10	5
Forte (muito tempo)	10 – 20	2.5
Muito intensa (muito tempo)	> 20	< 1

Este ensaio numa primeira fase é realizado com dois Brancos [20 mL de água destilada e 7 mL de HCl (4 mol/L)] e com três soluções padrão em que se adicionou três quantidades de CaCO₃ (0.2 g, 0.3 g, 0.4 g) e numa segunda fase o ensaio é realizado com a amostra de solo a estudar.

As amostras de solo foram classificadas com base no teor em CaCO₃ (Tabela 8) (Baize, 1988, *in*: Lopes, 2013).

Tabela 8- Classificação dos sedimentos com base no teor em carbonato de cálcio segundo Baize (1988, in: Lopes, 2013).

% CaCO ₃	Classificação
< 5	Nada ou pouco carbonatado
5-15	Pouco carbonatado
15-40	Carbonatado
> 40	Muito carbonatado

4.4.3. pH

Este parâmetro permite avaliar a acidez dos materiais ensaiados e é definido como:

$$pH = -\log_{10} a_{H^+}$$

Para determinar este parâmetro seguiu-se a Especificação LNEC E 203-1967, que consiste em pesar-se 30 g de solo num gobelé e juntar 75 cm³ de água destilada fervida. Agitou-se cuidadosamente durante alguns minutos e deixou-se a repousar várias horas de preferência durante a noite. Imediatamente antes da determinação do pH, calibrou-se o aparelho com as soluções tampão, segundo o processo recomendado pelo fabricante e procedeu-se à leitura. Fizeram-se duas ou três leituras do pH da suspensão do solo com breve agitação entre cada leitura. De acordo com a Especificação LNEC E 203-1967, as leituras não devem diferir mais de 0.05 unidade de pH e devem atingir um valor constante em cerca de 1 min. Depois de realizar as leituras o valor final do pH corresponde a uma média aritmética entre as três medições.

As amostras foram classificadas relativamente ao seu valor de pH de acordo com escala de Pratolongo (Costa, 1999) (Tabela 9).

Tabela 9- Escala de Pratolongo de classificação de solos em função do pH (Costa, 1999).

Valor pH	Classificação
≥9.5	Hiperálcalino
8.6-9.5	Alcalino
7.6-8.5	Subalcalino
6.6-7.5	Neutro
5.6-6.5	Subácido
4.6-5.5	Ácido
≤4.5	Hiperácido

4.4.4. Composição Granulométrica

A análise granulométrica serviu para determinar a distribuição ponderal das partículas de uma amostra de solo, segundo determinadas dimensões, uma vez que o tamanho e a distribuição das partículas condicionam fortemente o comportamento do solo.

De acordo com Fernandes (2011), foram propostos os seguintes limites dimensionais para classificar as diferentes classes granulométricas (Tabela 10).

Tabela 10- Limites dimensionais em (mm) das principais frações dos solos (Fernandes, 2011).

Classe Granulométrica	Sub-divisão	Dimensão das partículas (mm)
Pedra		>200
Calhau		60-200
Seixo	grosso	20-60
	médio	6-20
	fino	2-6
Areia	grossa	0.6-2
	média	0.2-0.6
	fina	0.06-0.2
Silte	grosso	0.02-0.06
	médio	0.006-0.02
	fino	0.002-0.006
Argila		<0.002

A classificação textural dos solos foi realizada após a determinação da respectiva curva granulométrica, utilizando as relações entre areias, siltes e argilas e projetando os valores obtidos no gráfico triangular, chamado Triângulo de Feret (Fernandes, 2011) (Figura 9). A classificação textural das rochas foi realizada após a determinação da respectiva curva granulométrica e do teor em carbonatos, projetando todos os valores obtidos num gráfico triangular proposto por Lindholm (1987, *in*: Lopes, 2001) (Figura 10).

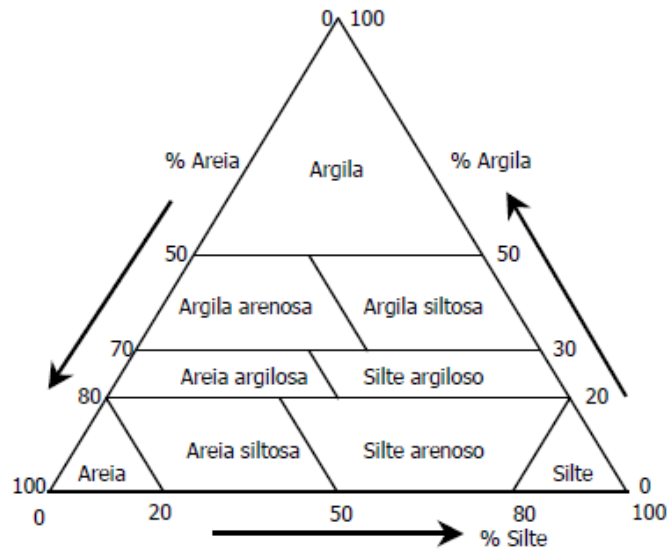
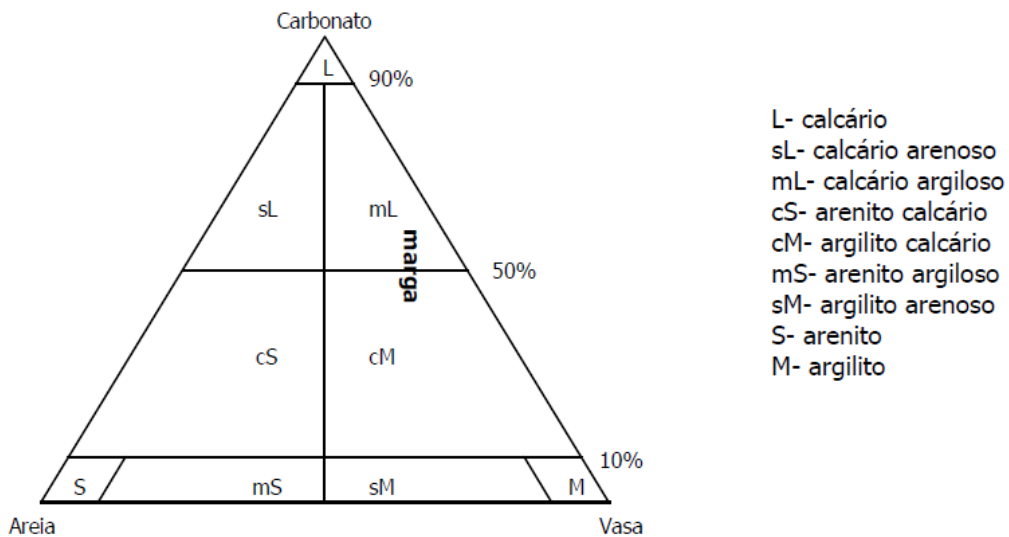


Figura 9- Classificação textural dos solos, Triângulo de Feret (Fernandes, 2011)



- L- calcário
- sL- calcário arenoso
- mL- calcário argiloso
- cS- arenito calcário
- cM- argilito calcário
- mS- arenito argiloso
- sM- argilito arenoso
- S- arenito
- M- argilito

Figura 10- Classificação textural das rochas carbonatadas de acordo com a composição (Lindholm, 1987, *in*: Lopes, 2001).

Para determinar a distribuição granulométrica das amostras foi realizada uma adaptação à Especificação do LNEC E 196-1966. Após serem secas as amostras na estufa a 60°C, para não destruir as argilas, a fração grosseira foi separada da fração fina (de dimensões

inferiores a 0.062 mm) por via húmida. Para isso, adicionou-se água destilada à amostra, até a cobrir, agitando-a com auxílio de uma vareta. De seguida deitaram-se os finos em suspensão para o crivo 4 ϕ (63 μ m). Repetiu-se este procedimento até a água ficar límpida, ou seja, até todos os finos serem removidos. O material retido no crivo foi adicionado ao restante e colocado na estufa no mínimo durante 48h à temperatura de 105°C, para retirar a água das partículas. Depois de seca, voltou-se a pesar a amostra, tendo esta ficado pronta para efetuar a granulometria.

Para a realização da granulometria utilizou-se uma série de crivos de malha quadrada a ASTM, com dimensões compreendidas entre 64 mm (-5.5 ϕ), no topo, e 0.062 mm (4 ϕ), na base.

A amostra de solo seco (fração grosseira) previamente pesada, foi colocada na série de crivos e este conjunto foi agitado durante cerca de 15 minutos, de modo a que ficasse retida em cada crivo, a porção correspondente à classe dimensional. Todas as partículas retidas em cada crivo foram pesadas e calculadas as frequências simples, acumuladas e as percentagens de material que passaram em cada peneiro.

A fração fina foi analisada por difração a laser, com a utilização do sedimentígrafo, *Malvern Instruments* – modelo *Masterziser*[®].

Os resultados obtidos foram projetados num gráfico semi-logarítmico, em que no eixo das ordenadas foram projetadas as percentagens do material que passou em cada crivo e no eixo das abcissas o diâmetro das partículas em mm, obtendo assim a curva granulométrica da amostra.

A análise destas curvas granulométricas permitiu avaliar o tipo de solo e obter os três coeficientes para o conhecimento da graduação de um solo: diâmetro efetivo (D_{10}), coeficiente de uniformidade ($C_U = D_{60}/D_{10}$) e coeficiente de curvatura ($C_C = D_{30}^2/D_{10} * D_{60}$). Estes parâmetros são utilizados na Classificação Unificada dos solos para propósitos de engenharia (Norma ASTM D2487-06).

Uma curvatura quase vertical indica que o solo é uniforme e mal graduado, pelo contrário, se a curva se estende ao longo do gráfico na horizontal o solo é bem graduado.

A composição granulométrica foi determinada para todas as amostras de solos com e sem carbonatos e nas amostras de rocha depois da descarbonatação.

4.4.5. Composição Mineralógica

O método utilizado para realizar a análise mineralógica foi a difratometria de raios X (DRX), pois permitiu a identificação, classificação, caracterização, e semiquantificação dos minerais. No presente trabalho, este tipo de análise foi efetuado para a amostra total (nas amostras rochosas) e para a fração argilosa <0.002 mm (nas restantes amostras).

Os difratogramas foram obtidos utilizando o aparelho de difração de raios X, Philips analytical X-Ray B.V. composto pelos seguintes componentes: controlador PW 3710 mpd/00 e gerador PW 1830, P, utilizando uma ampola de cobre (Cu) como fonte de radiação (gerada com 40kV e 30mA).

Na determinação da mineralogia da amostra total (agregado não orientado) cada amostra foi moída num almofariz de ágata até apresentar uma textura semelhante ao pó de talco. O referido pó foi colocado num porta amostra metálico. Recorreu-se a uma lâmina de vidro com uma face não polida virada para a parte côncava do porta amostra de modo a ser possível introduzir a amostra entre a cavidade do porta amostras e a lâmina, e obter-se uma superfície lisa mas sem orientação dos minerais. Após a preparação das amostras a difração de RX foi efetuada utilizando um varrimento contínuo com velocidade de cerca de 1° por minuto durante uma hora.

Na preparação do agregado orientado seguiu-se a adaptação da metodologia descrita em Almeida (1991) e Lopes (2001). A fração inferior a 63 µm de cada amostra foi centrifugada a 4000 rpm durante 15 minutos numa centrifugadora Megafuge 10 Heraeus Sepatech, de forma a separar os siltes das argilas. Depois de centrifugada o líquido (água + amostra), retirou-se com o auxílio de uma espátula, uma pequena porção da parte superior de sedimento que ficou alojado nos tubos da centrifugadora (que corresponde ao material inferior a 2 µm, argilas) e colocou-se numa lâmina delgada previamente referenciada. Com o auxílio de uma segunda lâmina, procedeu-se a um esfregaço das argilas, obtendo-se no final duas lâminas por cada amostra. Por último as lâminas foram deixadas a secar ao ar. Após a preparação das lâminas de argilas orientadas realizou-se a difração de RX amostra natural e

glicolada (onde o material é sujeito a um tratamento químico com etileno glicol durante 24h) com o objetivo de identificar os minerais expansivos.

A identificação dos minerais na amostra total e no agregado orientado foi feita tendo em atenção os picos de difração típicos, referenciados na vasta bibliografia existente para o efeito (Thorez, 1976), (Brindley & Brown, 1980, *in*: Dias, 1998).

Foi ainda efetuada a análise semiquantitativa dos difratogramas resultantes do agregado não orientado da amostra total e do agregado orientado glicolado da fração argilosa, dividindo as áreas dos picos (para espaçamentos máximos de difração caraterísticos de cada mineral) pelos respetivos poderes refletantes (Schultz, 1964; Biscaye, 1965; Martin Pozas, 1968; Galan, não publicado, *in*: Dias, 1998) (Tabelas 11 e 12).

Tabela 11- Picos característicos e poderes refletantes para a amostra total (Dias, 1998).

Mineral	Espaçamento (em Å do máximo de difração caraterístico)	Poder Refletante (aparelho DRX com fenda fixa não automática)
Filossilicatos	4.46	0.1
Quartzo	3.33	1.5
Feldspatos	3.23-3.18	1
Calcite	3.03	1
Dolomite	2.89	1

Tabela 12- Picos característicos e poderes refletantes para agregados orientados glicolados da fração <2 µm (Dias, 1998).

Mineral	Espaçamento (em Å do máximo de difração caraterístico)	Poder Refletante (aparelho DRX com fenda fixa não automática)
Esmectite	17	2
Paligorsquite	10.4	1.75
Ilite	10	0.5
Caulinite	7	1

4.4.6. Limites de Consistência

O comportamento dos solos está fortemente dependente das relações entre a fase sólida, a fase líquida e a fase gasosa. Dado que os vários estados físicos apresentam diferentes comportamentos é necessário definir as fronteiras correspondentes.

A determinação dos limites, só se aplica a solos com cerca de 30% ou mais, de partículas de dimensões inferiores a 0.05 mm. São excluídos então, os solos predominantemente arenosos, para os quais o ensaio mesmo quando possível, perde o seu significado (NP-143, 1969).

Os limites de consistência foram propostos por Atterberg em 1911 e posteriormente desenvolvidos por Casagrande (1931, 1948, *in*: Rocha, 1998), em que passaram a ser constituídos como parâmetros essenciais na classificação e caracterização dos solos argilosos.

Os limites de consistência ou de Atterberg, são os teores de água correspondentes às fronteiras entre os diferentes estados de um solo.

O limite de liquidez (W_L) corresponde à fronteira entre o comportamento líquido e o comportamento plástico, em que o solo sofre perda de água e ocorre um ajuste estrutural e volumétrico, passando a ter alguma resistência ao corte; o limite de plasticidade (W_P) corresponde à fronteira entre comportamento plástico e comportamento semissólido, em que o espaço entre partículas fica cada vez mais reduzido provocando a diminuição de água livre nos espaços intersticiais; e o limite de retração (W_S) corresponde à fronteira entre o comportamento semissólido e o comportamento sólido, em que a partir deste estágio deixa de haver diminuição do volume sendo possível apenas a redução do teor em humidade.

Segundo Almeida (1991) apesar de insuficientemente justificado, os limites de consistência, estão intimamente relacionados com os principais parâmetros responsáveis pelo comportamento dos solos argilosos, como por exemplo a superfície específica, o índice de vazios, a capacidade de troca iónica, a composição mineralógica, a composição granulométrica e a história geológica.

Em função destes limites, calcularam-se os índices de plasticidade (I_P), de liquidez (I_L), de consistência (I_C), e a atividade das argilas (A_C).

- **Limite de Liquidez (W_L):**

É possível determinar o limite de liquidez de um solo através de dois métodos: o método da concha de Casagrande e o método do cone penetrométrico.

Neste trabalho efetuou-se o método de concha de Casagrande seguindo os procedimentos indicados na Norma Portuguesa NP-143 (1969). Este consistiu em calcular o teor em água correspondente a, com 25 golpes, fechar um sulco praticado numa pasta (solo + água) contida na concha de Casagrande. Para tal, é necessário adicionar água destilada à amostra de solo argiloso, que foi homogeneizada com auxílio de uma espátula até ficar numa pasta. De seguida colocou-se e modelou-se a pasta na concha de Casagrande e com o cinzel foi feita uma ranhura a meio da concha. Posteriormente, girou-se a manivela a uma velocidade constante (2 golpes por segundo) e foram contados os números das pancadas até a ranhura se fechar. Com a espátula retirou-se uma pequena quantidade do material no local onde os bordos da ranhura se tocaram e colocou-se numa cápsula devidamente pesada, que por fim foi à estufa no mínimo 48h e depois de arrefecer foi de novo devidamente pesada. Na prática o procedimento comum é a determinação de dois teores de humidade acima das 25 pancadas e outros dois abaixo. A projeção em gráfico semi-logarítmico do número de pancadas em função dos teores de humidade permite a definição de uma reta de correlação. Com ela pode-se saber qual o teor de água correspondente às 25 pancadas.

- **Limite de Plasticidade (W_p):**

O limite de plasticidade é o teor em água limite entre o estado plástico e o estado semissólido, isto é, o teor de água mínimo para o qual um cilindro de solo com 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento se fissura, ou seja, o solo perde a capacidade de ser moldado, deixando de ser plástico.

O procedimento para determinar o limite de plasticidade, encontra-se descrito na Norma Portuguesa NP-143 (1969). Para o ensaio foi adicionada água à amostra inicial de solo argiloso e a amostra foi homogeneizada. De seguida, moldaram-se quatro quantidades de amostra em quatro esferas e rolaram-se com a mão essas esferas até perfazerem cada uma, pequenos filamentos com cerca de 3 mm de diâmetro. Este procedimento foi repetido várias vezes até o “rolo” se quebrar em vários fragmentos. Quando esta situação ocorre, atinge-se o teor em água correspondente ao limite de plasticidade. Os fragmentos foram depois colocados em cápsulas devidamente pesadas e por fim estas foram à estufa no mínimo 48h. Depois de arrefecer foram de novo devidamente pesadas.

- **Limite de Retração (W_s):**

O limite de retração é o teor em água limite entre o estado semissólido e o estado sólido, que corresponde ao teor de água a partir do qual o solo não varia de volume ao secar. Segundo Mead (1980, *in*: Almeida, 1991) abaixo do limite de retração o solo é considerado como um sólido no qual as partículas permanecem em contacto, com um arranjo que lhes confere densidade elevada.

Este limite foi determinado com base na Norma Portuguesa NP-143 (1969), pela diferença entre o teor de água inicial e o teor de água correspondente à variação do volume, ou pelo teor de água de saturação correspondente ao peso específico seco (γ_d) da amostra retraída.

Para a realização deste ensaio mediu-se a altura e o diâmetro das cápsulas com auxílio de uma craveira, para determinar o seu volume. De seguida untaram-se as cápsulas com vaselina e adicionou-se a amostra de solo argiloso. A cápsula mais a amostra foram colocadas na estufa durante um período mínimo de 48h e por último mediu-se a altura e o diâmetro da amostra, que diminuiu de volume, depois de ter arrefecido.

- **Índice de Plasticidade (I_p)**

O índice de plasticidade constitui o intervalo de teores de água em que o solo tem um comportamento moldável (plástico) e calcula-se através da diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

$$I_p = W_L - W_P$$

Segundo Caputo (1988):

$1 < I_p < 7$, o solo é classificado como fracamente plástico;

$7 < I_p < 15$, o solo é classificado como medianamente plástico;

$I_p > 15$, o solo é classificado como altamente plástico.

- **Índice de Liquidez (I_L)**

O índice de liquidez foi calculado através da relação entre o teor em água natural (ω) e os limites de liquidez e plasticidade (Terzaghi, 1955, *in*: Lopes, 2001).

$$I_L = \frac{\omega - W_P}{I_p}$$

Segundo Bowles (1979, *in*: Lopes, 2001):

$I_L \geq 1$, o solo comporta-se como um líquido viscoso;

$0 < I_L < 1$, o solo exibe um comportamento moldável;

$I_L \leq 0$, o solo apresenta um comportamento não plástico.

- **Índice de Consistência (I_c)**

O índice de consistência é muito semelhante ao índice de liquidez (Bowles, 1979, *in*: Lopes, 2001).

$$I_c = \frac{W_L - \omega}{I_p}$$

Os solos foram classificados segundo os intervalos de índice de consistência, apresentados na Tabela 13.

Tabela 13- Classificação dos solos argilosos quanto à consistência (*in*: Fernandes, 2011).

Argila	I_c
Muito mole	0-0.25
Mole	0.25-0.50
Média	0.50-0.75
Dura, Muito duro e Rija	>0.75

- **Atividade Coloidal (A_c)**

Segundo Skempton (1953, *in*: Guedes, 1997) a atividade coloidal é designada como a razão entre o índice de plasticidade e a percentagem da fração argilosa de um solo. Quanto maior for o índice de plasticidade, mais pronunciadas serão as propriedades das argilas (Skempton, 1953, *in*: Guedes, 1997).

$$A_c = \frac{I_p}{\% \text{ partículas } < 0.002\text{mm}}$$

Para classificar as argilas foram adotadas os intervalos de atividade coloidal apresentados na Tabela 14 (Skempton, 1953, *in*: Lopes, 2001).

Tabela 14- Classificação das argilas quanto à atividade (Skempton, 1953, *in*: Lopes, 2001).

Argila		A_c
Inativa	Inativa	<0.05
	Pouco ativa	0.05-0.75
Normal		0.75-1.25
Ativa	Ativa	1.25-2.0
	Muito ativa	>2.0

Depois de projetados os valores da atividade das argilas (índice de plasticidade *versus* % partículas <0.002 mm) foi possível enquadrar os solos de acordo com os minerais argilosos, na medida em que a atividade dos solos é resultante da atividade dos minerais que o constituem (Tabela 15).

Tabela 15- Atividade de alguns minerais constituintes dos solos (Salas & Alpañes, 1971, *in*: Lopes, 2001).

Mineral	A_c
Quartzo	0.0
Calcite	1.8
Mica (moscovite)	0.23
Caulinite	0.01-0.41
Illite	0.23-0.80
Paligorsquite	0.57-1.23
Montemorilonite (Ca, Mg, K, NH ₄)	0.32-3.09
Montemorilonite (Na, Li)	1.12-11.5

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

De acordo com os objetivos definidos para esta dissertação, esquematiza-se na Tabela 16 como foi efetuada a apresentação dos resultados relativos à caracterização geológica e geotécnica da área de estudo.

Tabela 16- Esquema de apresentação dos resultados.

Caracterização Geológica	Cortes geológicos
	Ajustamentos locais à Cartografia Geológica
	Mapa de Depósitos de Cobertura
	Modelo Geológico Tridimensional
Caracterização Geotécnica	Aterros (Ensaio SPT)
	Areias com <i>Placuna miocenica</i> (Ensaio SPT)
	Areias de Quinta do Bacalhau (Ensaio SPT)
	Argilas de Forno do Tijolo (Ensaio SPT)
	Calcários de Entrecampos (Ensaio SPT)
	Areolas de Estefânia (Ensaio SPT)
	Argilas de Prazeres (Ensaio SPT)
	Formação de Benfica (Ensaio SPT + Ensaio de Laboratório)

5.1. Caracterização Geológica

Com base nos 188 pontos de informação (Sondagens), contidos nos RG selecionados para este trabalho, foi criada uma base de dados, a partir da qual foi possível analisar e interpretar a informação nela contida, realizar cortes geológicos em profundidade, efetuar ajustamentos locais à cartografia geológica, construir o Mapa de Depósitos de Cobertura e o Modelo Geológico em 3D da área de estudo.

Este tipo de dados (Sondagens) é extremamente útil em trabalhos como este, cujo objetivo passa pela definição da geologia de uma área urbanizada, sendo estes a única forma de acesso à geologia subterrânea, e em algumas zonas, também à geologia superficial.

Do ponto de vista da cartografia geológica e geotécnica, os gráficos de sondagem contêm informação importante no que toca ao estudo do solo de fundação. No entanto, nem sempre se consegue utilizar toda a informação existente, dado que não são usados critérios uniformizados para a localização das sondagens ou para a descrição da sequência litológica. Por exemplo a classificação dos materiais depende da qualidade da amostragem e do critério do técnico. Como agravante, alguns dos parâmetros e critérios de classificação têm um modo de aplicação subjetivo, causando a variabilidade de algumas grandezas em apreciação já que se tratam de entidades naturais como os solos, com um vasto leque de variações graduais e termos intermédios (Jordão, 2012). A análise desta informação implicou, portanto, a interpretação dos dados disponíveis.

Relativamente às descrições das litologias apresentadas nos vários RG, apesar de terem como base alguns critérios padronizados (Especificação LNEC E 219-1968), apresentam grande variabilidade de relatório para relatório para a mesma formação geológica, isso é causado não só pela variabilidade local dos materiais como também por serem realizados por diferentes empresas e em diferentes períodos entre os anos de 1967 e 2010. Isto dificulta a posterior classificação e individualização das diferentes unidades litostratigráficas em profundidade, levando algumas vezes a uma reinterpretação e por vezes a retificações pontuais de alguns limites na cartografia geológica.

A reinterpretação da sequência litostratigráfica é especialmente difícil quando se trata de formações que são litologicamente idênticas, como é o caso da maior parte das unidades da série Miocénica e em alguns casos também dos depósitos de cobertura. Esta reinterpretação é realizada através da análise da sequência de cada sondagem não só individualmente como também integrando os dados de sondagens mais próximas (interpretação regional) e da realização de cortes geológicos. O mesmo já não acontece com a Formação de Benfica, por ser totalmente distinta, do ponto de vista litológico, das restantes unidades do Miocénico.

De acordo com o descrito na metodologia (ver 4.3.) procedeu-se a interpretação dos dados disponíveis referentes às descrições litológicas, de modo a retificar as cotas de base das várias unidades litostratigráficas alcançadas nas várias sondagens.

5.1.1. Cortes geológicos

Tal como nos documentos cartográficos o conteúdo, o tipo de dados analisados bem como a sua representação dependem da finalidade do estudo. Dependendo do objetivo pode ser definido o número e a orientação dos cortes a realizar em função das condições geomorfológicas e morfotectónicas, da estrutura geológica regional e local, da heterogeneidade litológica e da complexidade das variações em profundidade. A escala a utilizar deve permitir a representação de toda a informação de interesse de uma dada área em estudo (Pinho, 2010).

Os cortes geológicos realizados neste trabalho de acordo com o descrito na metodologia (ver 4.3.1.), tiveram como base a informação pontual através das cartas, Carta Geológica do Concelho de Lisboa, à escala 1: 10 000 (Almeida, 1986) e a Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000, Folha 34-B, Loures, (Manuppella *et al.*, 2011) e a informação contida nos 188 pontos de informação, contidos nos RG analisados.

Na Figura 11 estão localizados os cortes realizados, segundo várias direções, optando-se por representar aqui apenas os que definem melhor a estrutura e os que têm mais informação em profundidade.

Para além destes, foram realizados cortes de pequenas dimensões, embora não sejam apresentados neste trabalho, foram utilizados para efetuar uma análise mais pormenorizada e para complementar a falta de informação nos cortes principais.

Os cortes são apresentados com uma elevada sobrelevação (5X), de forma a facilitar a identificação do tipo de relevo, o tipo de estrutura e a representação das sondagens em profundidade.

Ao analisar estes cortes é necessário ter em conta que as unidades litostratigráficas que ocorrem na área de estudo, por se encontrarem no limite da Bacia Lusitânica, apresentam-se visivelmente afetadas pela topografia da zona, com espessuras e inclinações diferentes das descritas na bibliografia.

Analisando os cortes geológicos realizados na área de estudo (Figuras 12 e 13), é possível verificar, como já tinha sido referido, que de uma forma geral a Série Miocénica

apresenta uma estrutura monoclinial, com direção geral SW-NE, inclinando ligeiramente para SE.

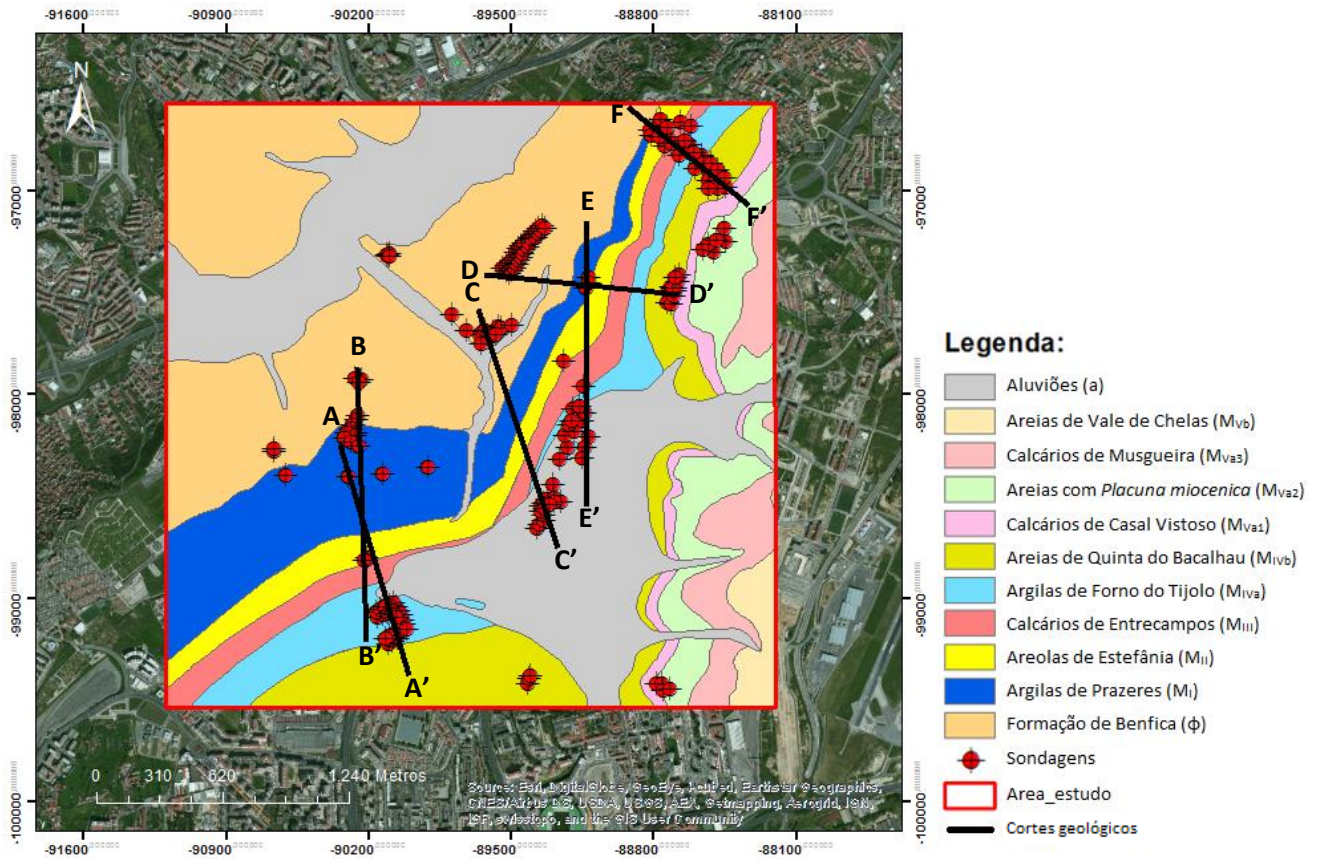


Figura 11- Localização dos cortes geológicos.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Legenda:

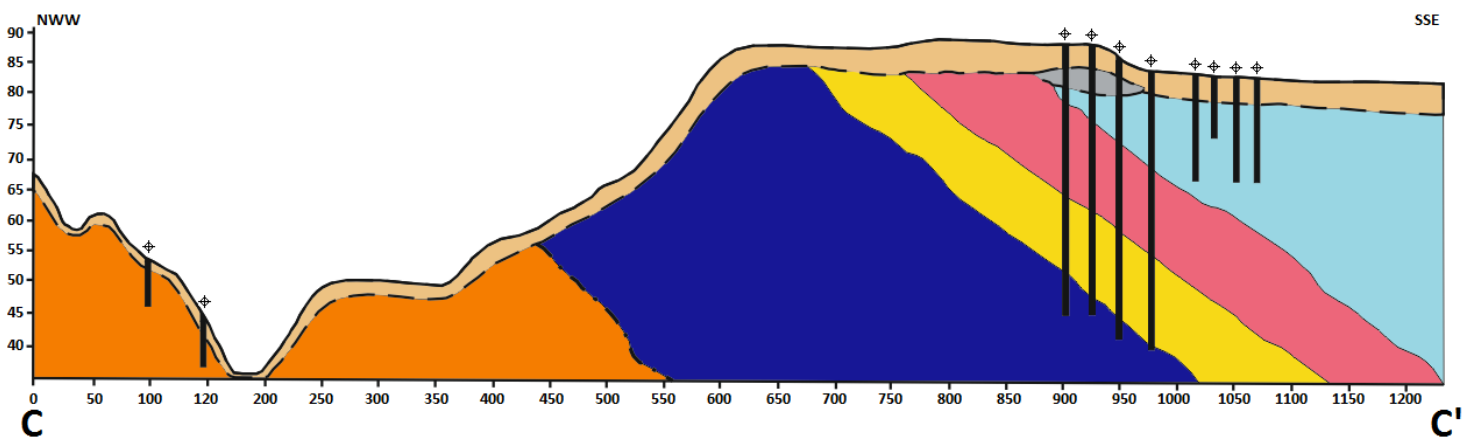
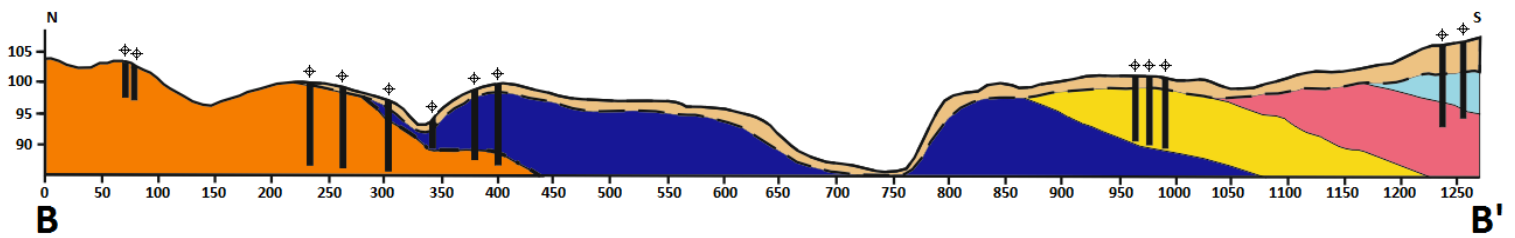
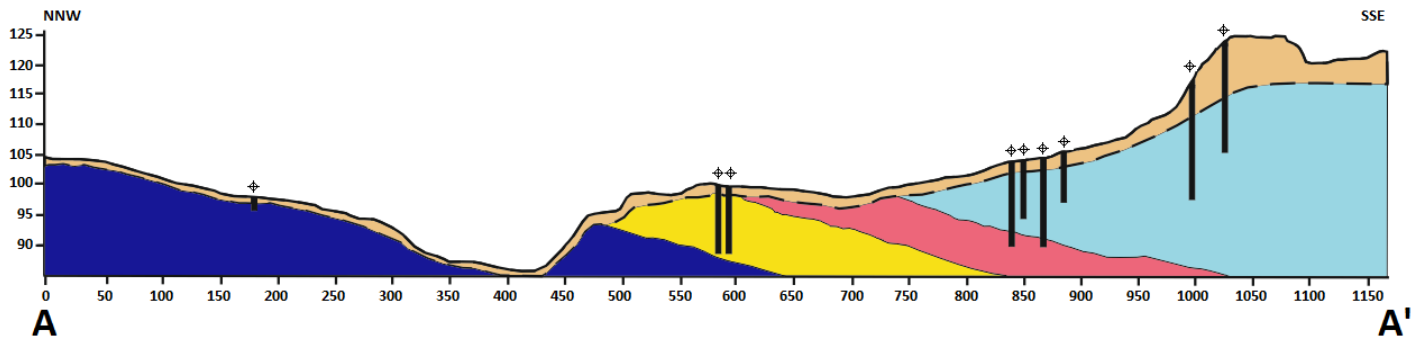
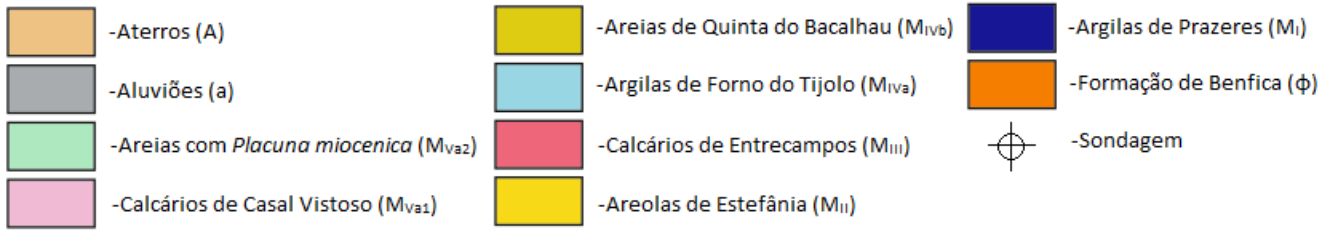


Figura 12- Legenda e Cortes geológicos realizados na área de estudo (fator de sobrelevação 5X). Cortes AA', BB' e CC'.

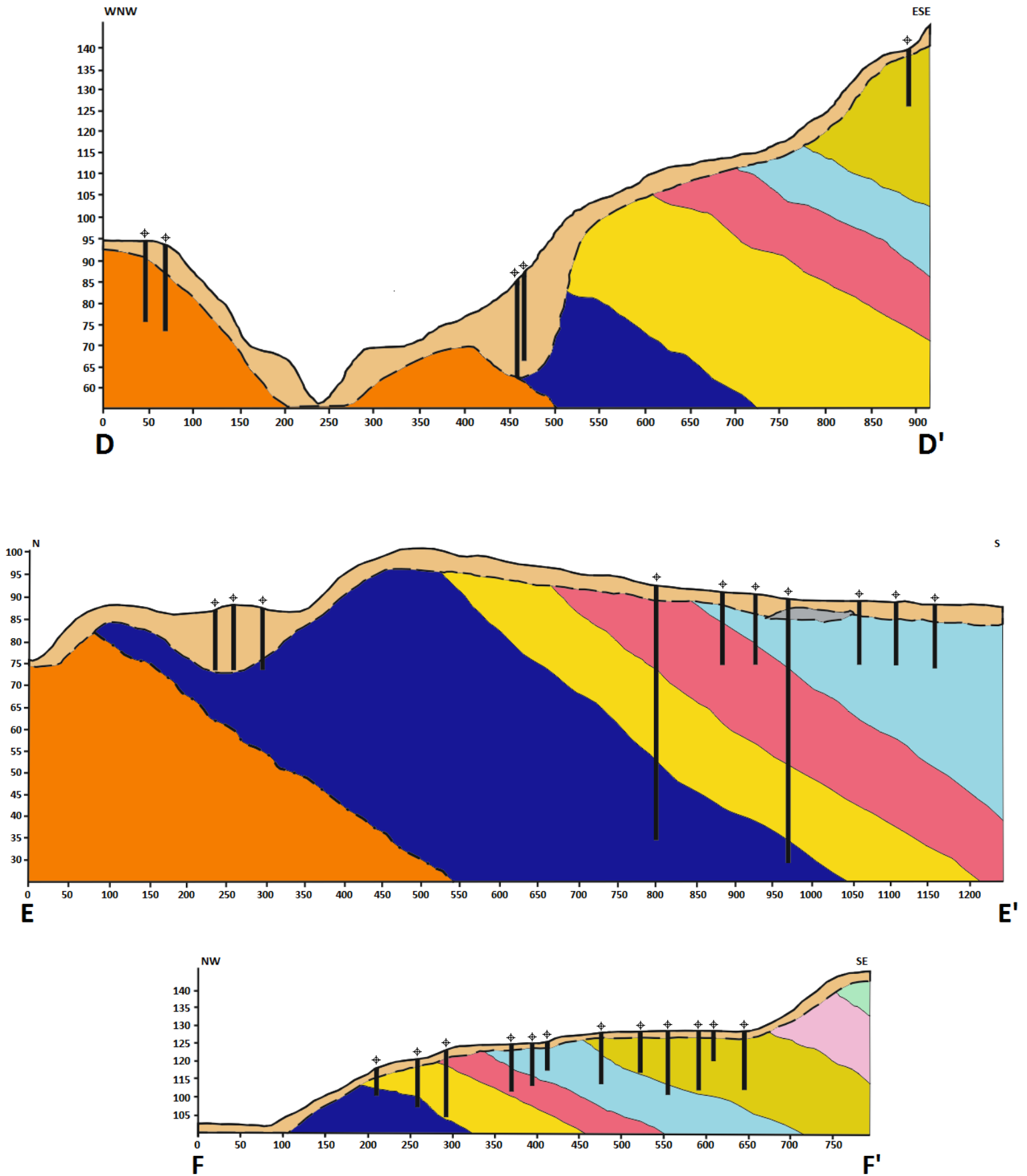


Figura 13- Cortes geológicos realizados na área de estudo (fator de sobrelevação 5X). Cortes DD', EE' e FF'.

5.1.2. Ajustamentos locais à Cartografia Geológica

Através dos cortes geológicos foi possível definir a estrutura geológica local e apresentar uma proposta de atualização da cartografia geológica para a área de estudo. Entre as principais alterações dos limites geológicos refere-se (Figura 14):

- a) Pequena redução pouco significativa da mancha das Argilas de Prazeres;
- b) Aumento da mancha das Areolas de Estefânia e por conseguinte das manchas dos Calcários de Entrecampos e das Argilas de Forno do Tijolo;
- c) Aumento em duas zonas distintas, da mancha das Areias da Quinta do Bacalhau e por conseguinte, reposicionamento dos Calcários de Casal Vistoso e das Areias com *Placuna miocenica*.

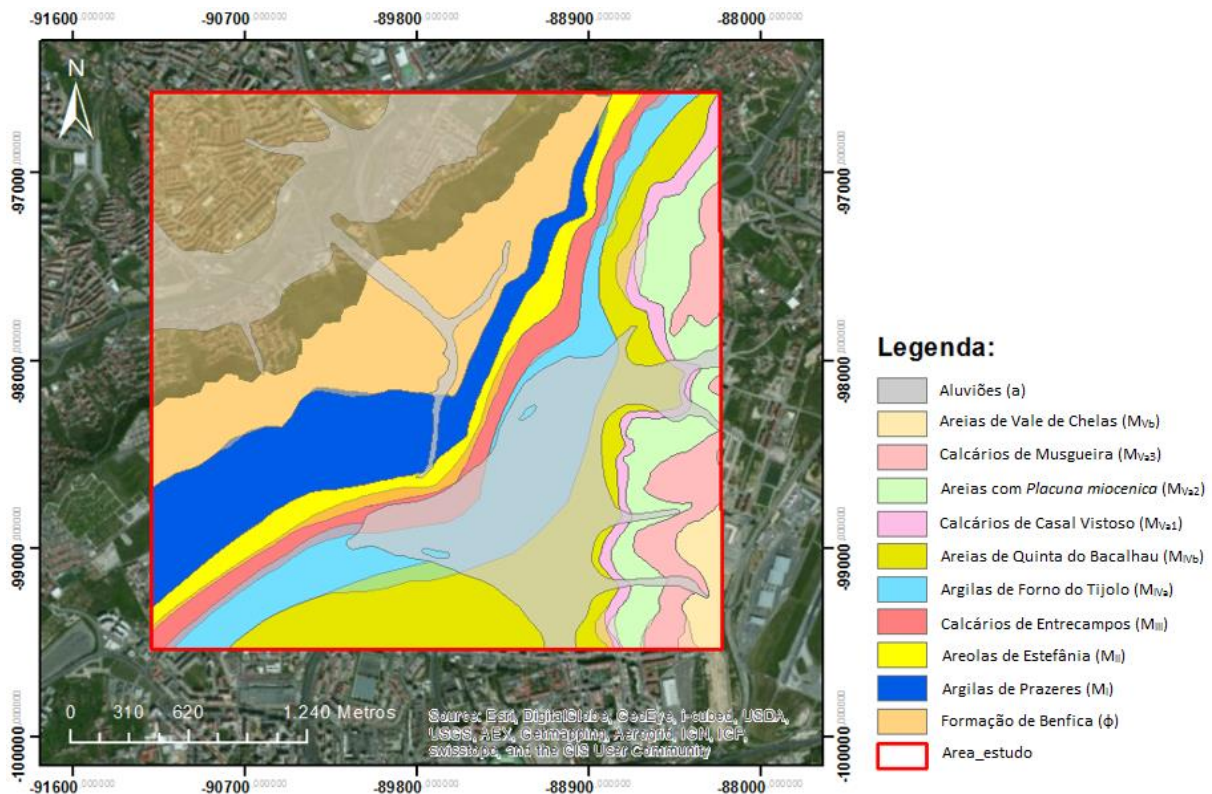


Figura 14- Carta Geológica atualizada da área de estudo [adaptada de (Almeida, 1986) e (Manuppella *et al.*, 2011)], evidenciando as alterações aos limites geológicos.

Analisando a Figura 15 é possível verificar que as alterações efetuadas concentram-se nas zonas onde existem mais sondagens, ou seja, onde existe maior quantidade de informação, enquanto que se mantêm iguais os limites geológicos, nas zonas onde a informação é escassa ou nula.

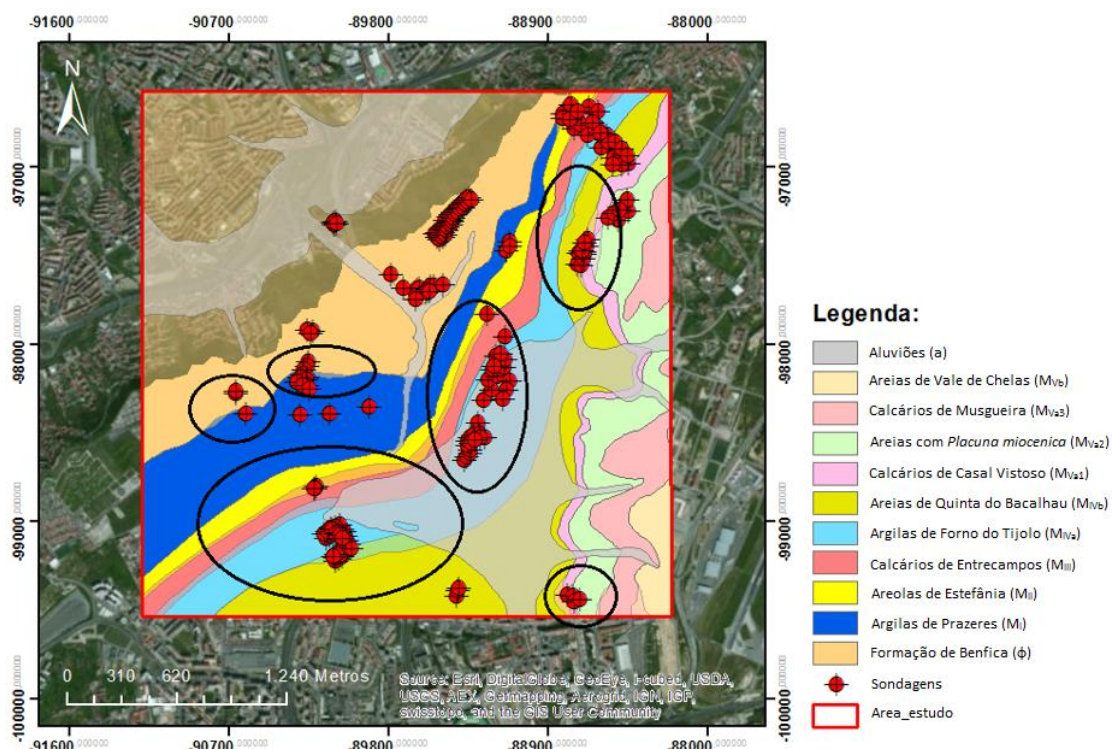


Figura 15- Carta Geológica atualizada da área de estudo [adaptada de (Almeida, 1986) e (Manuppella *et al.*, 2011)], evidenciando os locais com maior quantidade de pontos de informação onde estão localizadas as alterações aos limites geológicos.

Como resultado final obteve-se a seguinte proposta de atualização da cartografia geológica para a área envolvente à Calçada de Carriche, entre o Lumiar e Olival Basto (Figura 16).

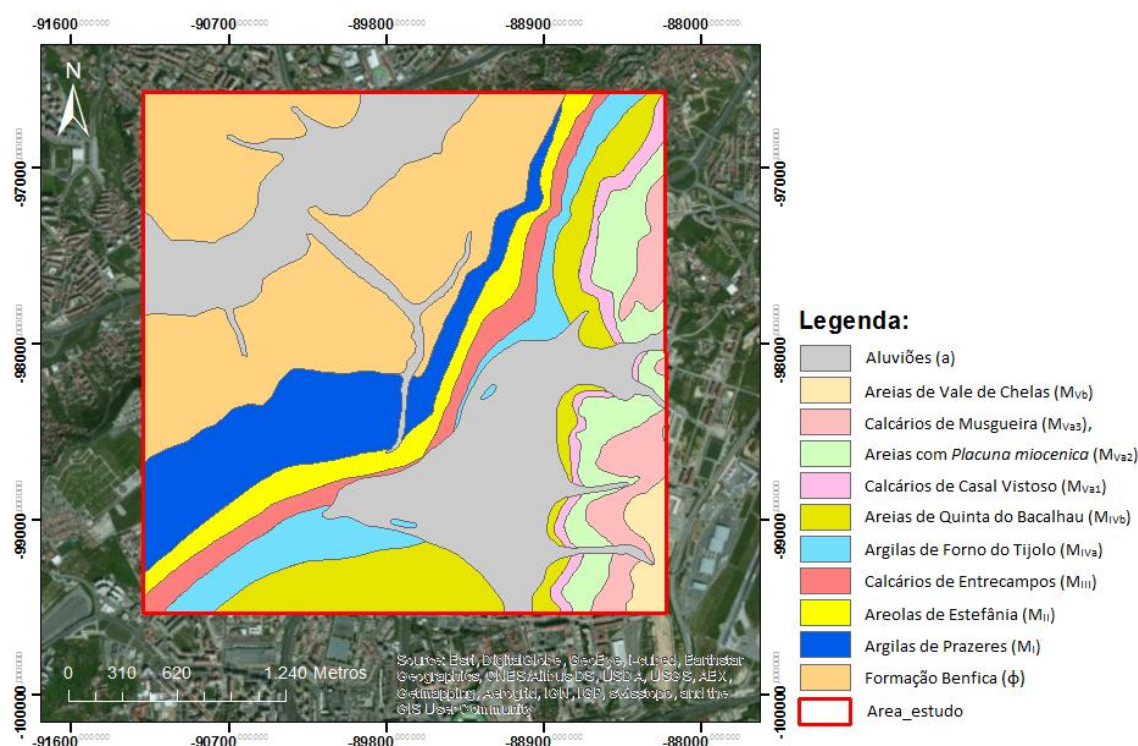


Figura 16- Carta Geológica atualizada da área de estudo.

5.1.3. Mapa de Depósitos de Cobertura

A cartografia geológica, embora detalhada e precisa, não tem em conta as grandes mudanças superficiais dos solos induzidas pela atividade humana, sob a forma de escavações, aterros e obras de estabilização (Vasconcelos & Marques, 2011).

Este facto assume uma importância suplementar principalmente em zonas urbanas, onde o substrato geológico foi sucessivamente alterado ao longo dos anos devido à necessidade que as pessoas sentiam de adaptar a topografia existente aos diversos usos do solo e de colmatar depressões de origem natural ou artificial (pedreiras, barreiros, areiros) bem como escavações, depois cobertas na totalidade por aterros (Vasconcelos & Marques, 2010).

Estas mudanças superficiais dos solos apesar de não serem normalmente o objeto de inventariação e cartografia sistemáticas, têm implicações diretas na cartografia geológica e geotécnica dos terrenos e, indiretamente, em termos de previsão da capacidade de carga, da suscetibilidade de ocorrência de instabilidades de vertente, da resposta às ações sísmicas (efeitos sítio) e do comportamento hidrogeológico (Dias *et al.*, 2014).

Na área de estudo existem depósitos de cobertura de duas naturezas (aterros e aluviões) suprajacentes às unidades geológicas do miocénico e do oligocénico, sendo os aterros materiais não consolidados, de origem antrópica. No entanto, dos 188 pontos de informação analisados neste trabalho, 172 atravessam estes depósitos mas apenas 170 é que os atravessam na totalidade, alcançando o substrato miocénico e oligocénico.

De acordo com o descrito na metodologia (ver 4.3.2.) foi possível realizar o mapa de espessura dos depósitos de cobertura (Figura 17), utilizando o método de interpolação *Inverse Distance Weighted* (IDW) – Inverso do Quadrado da Distância, por melhor se ajustar à realidade dos dados. Este método baseia-se no pressuposto de que a superfície de interpolação deve ser mais influenciada pelos pontos próximos e menos pelos pontos distantes. A superfície de interpolação obtida é uma média ponderada dos pontos de dispersão e o peso que é atribuído a cada ponto diminui com o aumento da distância (Almeida *et al.*, 2008).

O desenvolvimento das espessuras dos depósitos de cobertura na área de estudo pode observar-se na Figura 17, verificando-se que grande parte da área está coberta por espessuras inferiores a 5 m. No entanto, é necessário ter em conta que apenas nas zonas com maior número de informação é que se pode afirmar que existem depósitos de cobertura, constituídos maioritariamente por aterros, enquanto que nas zonas com falta de informação o método de interpolação realizou uma extrapolação.

Como o número de sondagens que atravessam as aluviões é reduzido, realizou-se a análise em conjunto dos aterros e das aluviões.

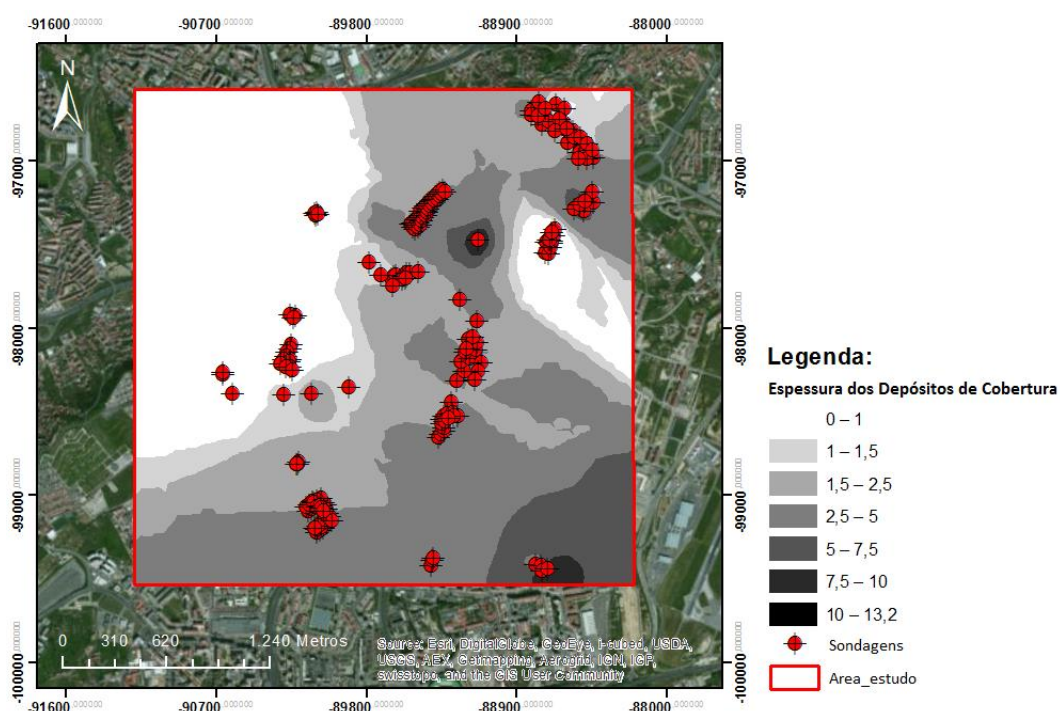


Figura 17- Mapa de espessura dos depósitos de cobertura (aterro + aluvião) na área de estudo.

De forma a colmatar as lacunas de informação em certas zonas, devido a falta de sondagens, sobrepôs-se ao mapa de depósitos de cobertura desenvolvido, as áreas de alteração antrópica inventariadas por Vasconcelos (2011) (Figura 18).

Vasconcelos (2011), concluiu que aproximadamente 30.6% da área do concelho de Lisboa se encontra ocupada por aterros. Este facto altera consideravelmente a cartografia geológica do concelho de Lisboa.

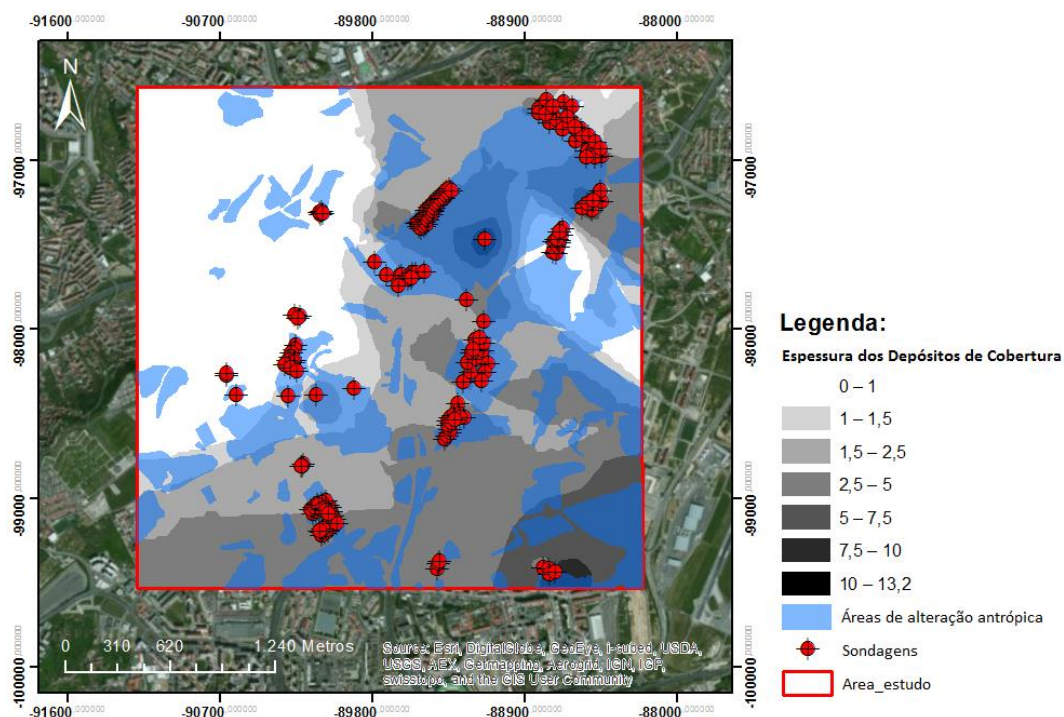


Figura 18- Sobreposição das áreas de alteração antrópica, inventariadas por Vasconcelos (2011), ao mapa de espessura dos depósitos de cobertura.

Depois da sobreposição das áreas de alteração antrópica, inventariadas por Vasconcelos (2011), ao mapa de depósitos de cobertura desenvolvido (Figura 18), procedeu-se ao cruzamento dessa informação com a Cartografia Geológica atualizada da área de estudo (Figura 19).

Com a sobreposição atrás referida (Figura 18) foi possível obter mais informação sobre a espessura dos materiais de cobertura, verificando que em certas zonas é expectável que haja uma maior espessura do que a apresentada no mapa da Figura 17, excedendo frequentemente a dezena de metros (Dias *et al.*, 2014) e alertar para a localização destes terrenos com características geotécnicas mais desfavoráveis em comparação com as das formações do substrato, nessas zonas (Figura 19).

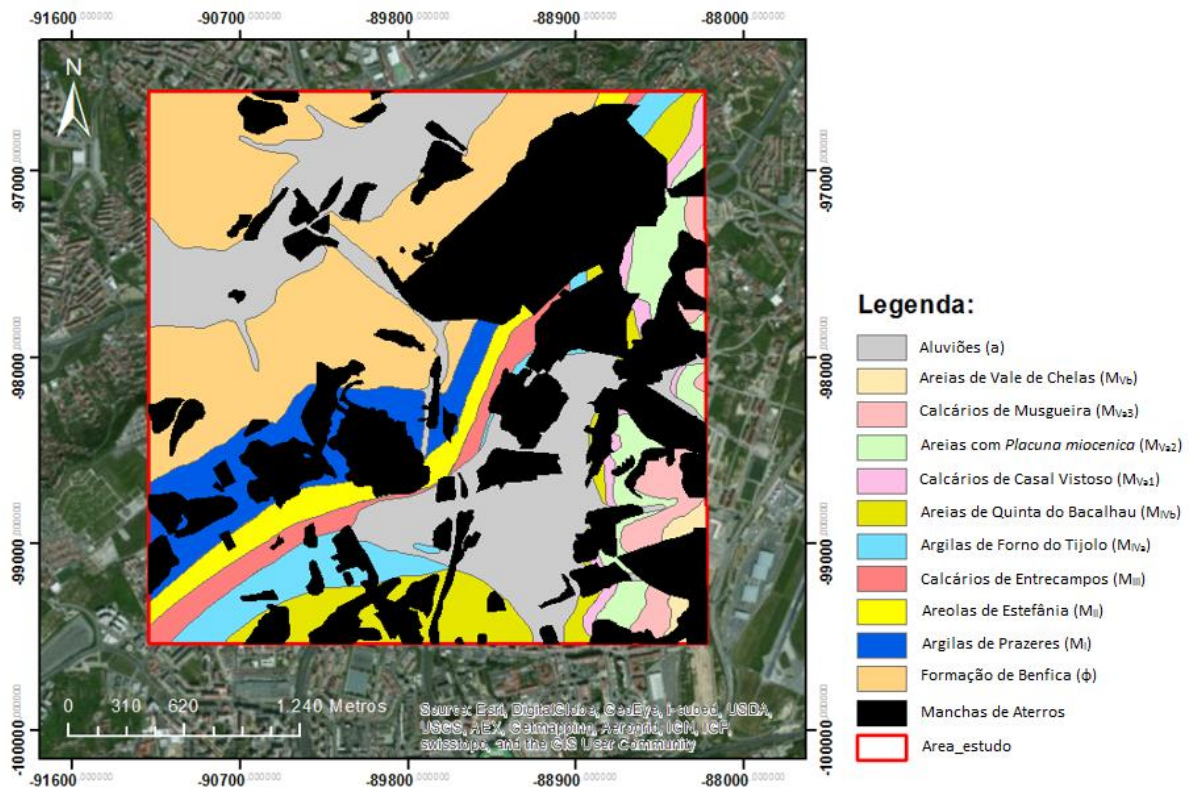


Figura 19- Sobreposição das manchas de aterros, inventariadas por Vasconcelos (2011), à Carta Geológica atualizada da área de estudo.

5.1.4. Modelo Geológico Tridimensional

De forma a ser possível visualizar a distribuição em profundidade, das várias unidades litostratigráficas que afloram na área de estudo, criou-se o Modelo Geológico em três dimensões, de acordo com o descrito na metodologia (ver 4.3.3.). O algoritmo selecionado para efetuar a interpolação da cota de base das várias unidades litostratigráficas foi a *Krigagem* normal ou ordinária, com tendência de 1ª ordem.

Com este método é possível modelar a variação espacial de fenómenos naturais por processos de autocorrelação espacial. A *Krigagem* é então utilizada para prever valores de localizações não amostradas, tendo em conta o comportamento espacial dos dados, e determinar a incerteza associada a essas previsões (Li *et al.*, 2008; *in*: Matildes *et al.*, 2010). As estimativas são realizadas com base na informação amostrada, considerando sempre a correlação existente entre os valores observados em redor daqueles que se pretende estimar, mas esta correlação entre os dados diminui progressivamente em função da distância.

Numa representação tridimensional, para além do atributo referente à espessura das várias unidades em causa é importante ter em conta a informação relativa à cota da boca do

furo. No entanto, é preciso ter em atenção, que neste tipo de dados (Sondagens), por vezes os valores referidos no RG como cota da boca do furo, não são valores determinados topograficamente, mas sim valores obtidos em relação a um ponto arbitrário, que pode ser próximo do ponto de sondagem, ao qual é atribuído uma cota de referência (Almeida *et al.*, 2008).

A metodologia utilizada para a correção das cotas Z dos vários furos de sondagem (4.3.3.), pode levar a erros, na medida em que a topografia atual pode não ser a indicada pelas curvas de nível, isto é, podem ter ocorrido mudanças superficiais dos solos, sob a forma de escavações, aterros, movimentos de vertente, etc.

A metodologia utilizada para a transformação da espessura em profundidade de base das várias unidades litostratigráficas e para a interpretação da cota de base utilizando os cortes geológicos (4.3.3.), foi necessária para a construção do Modelo Geológico em 3D, na medida em que os valores necessários para a representação em profundidade, são as cotas da base de cada unidade.

Nas Figuras 20 e 21 é apresentado o Modelo Geológico Tridimensional da área de estudo, onde estão representadas as várias superfícies de interpolação obtidas para as várias unidades litostratigráficas e para os Aterros.

Devido à inexistência de sondagens realizadas, na área de estudo, nas unidades litostratigráficas Areias de Vale de Chelas (M_{vb}), Calcários de Musgueira (M_{va3}) e Calcários de Casal Vistoso (M_{va1}) e por falta informação em profundidade, devido às sondagens não alcançarem o Complexo Vulcânico de Lisboa (β^1), não foram representadas as superfícies referentes à cota da base das Areias de Vale de Chelas, dos Calcários de Musgueira, dos Calcários de Casal Vistoso e da Formação de Benfica.

A representação tridimensional das unidades litostratigráficas da área de estudo, tem como principais vantagens a possibilidade de visualizar novas perspetivas e permitir a identificação de características invisíveis numa representação planimétrica (2D), assim é possível através do Modelo Geológico em 3D, comprovar tudo o que já foi atrás descrito, quanto a estrutura geológica local (Figura 21). No entanto o exagero vertical definido no *ArcScene* para realçar detalhes, acaba muitas vezes por distorcer a informação real.

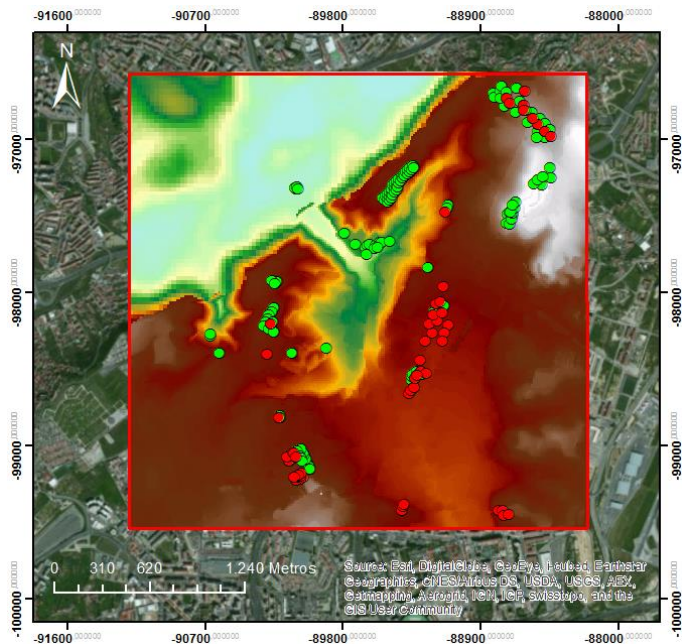


Figura 20- MDT da área de estudo e pontos de informação [Sondagens cuja cota de base é a original (●) e Sondagens cuja cota de base foi interpretada utilizando os cortes geológicos em profundidade (●)].

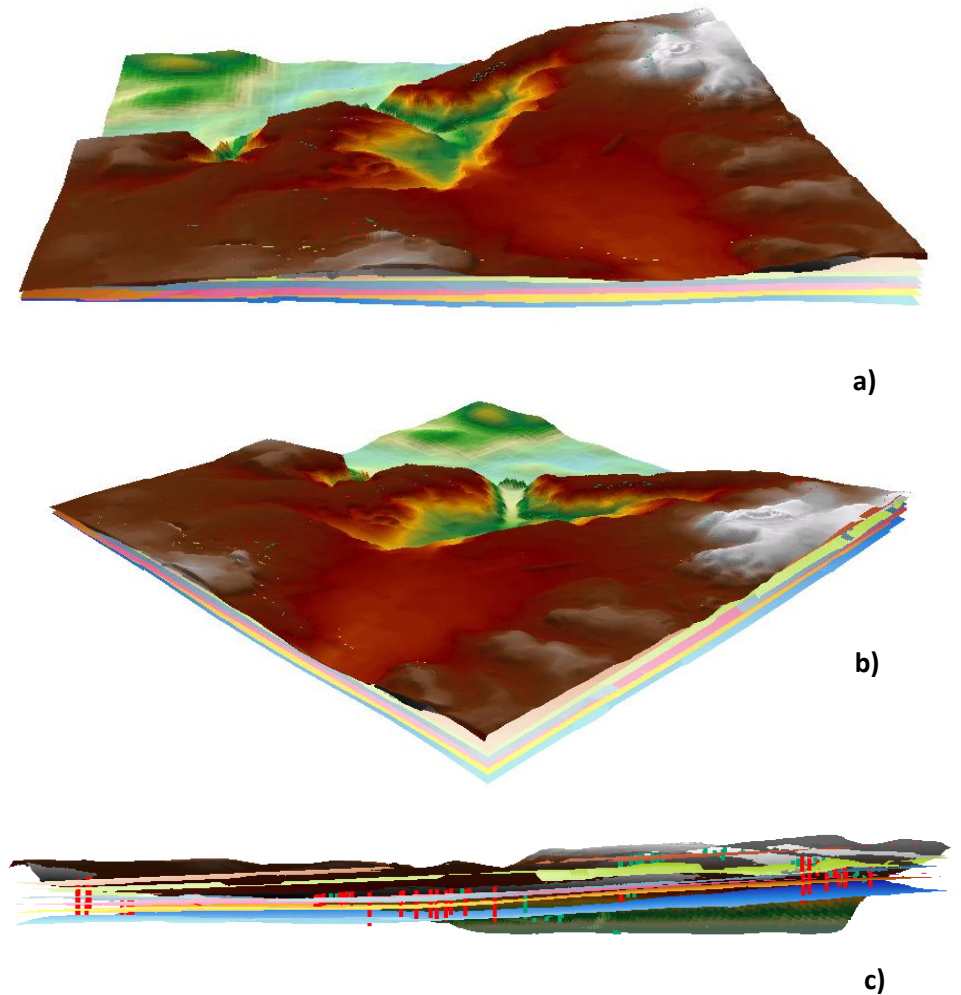
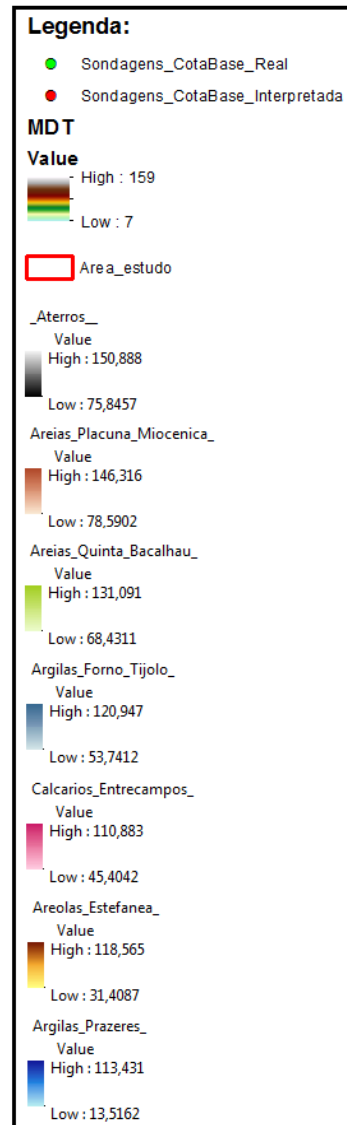


Figura 21- Modelo Geológico Tridimensional da área de estudo, visto de três perspectivas: a) vista de S; b) vista de SE; c) vista de E.

Uma vez construído o Modelo tridimensional, é necessário efetuar a validação dos resultados obtidos. Assim sendo comparou-se o modelo matemático desenvolvido com o trabalho geológico, sobrepondo as superfícies de interpolação obtidas para as várias unidades litostratigráficas à Carta Geológica atualizada da área de estudo (Figura 22).

Como é possível observar na Figura 22, em certas zonas não houve concordância entre as superfícies de interpolação obtidas para as várias unidades litostratigráficas e a Carta Geológica atualizada. Tal facto pode ter sido devido ao algoritmo selecionado, para efetuar a interpolação das superfícies, ter utilizado valores de pontos afastados, na falta de pontos próximos, que aumentaram a margem de erro associada.

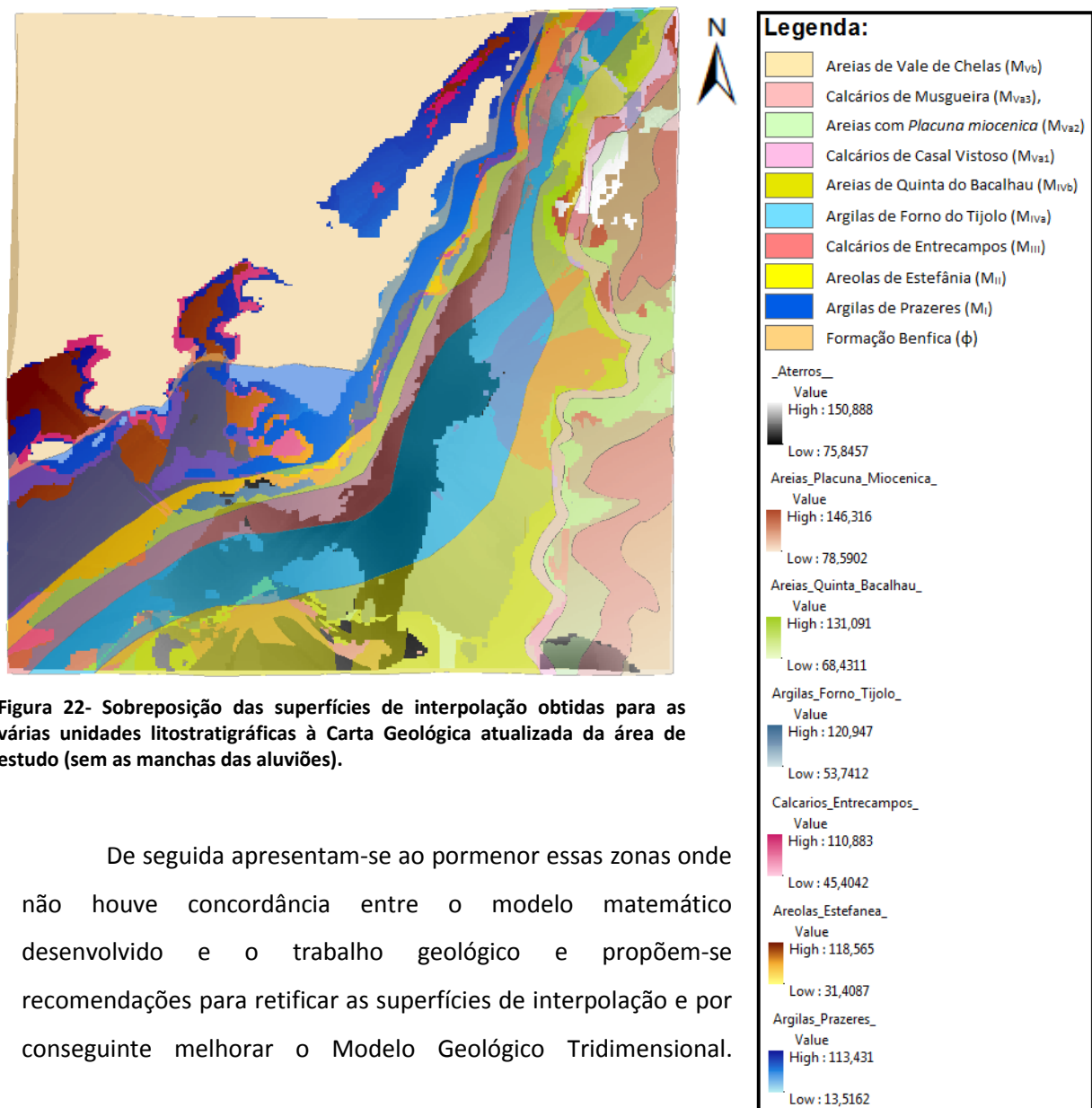


Figura 22- Sobreposição das superfícies de interpolação obtidas para as várias unidades litostratigráficas à Carta Geológica atualizada da área de estudo (sem as manchas das aluviões).

De seguida apresentam-se ao pormenor essas zonas onde não houve concordância entre o modelo matemático desenvolvido e o trabalho geológico e propõem-se recomendações para retificar as superfícies de interpolação e por conseguinte melhorar o Modelo Geológico Tridimensional.

1. Relativamente à superfície de interpolação obtida para a cota de base das **Argilas de Prazeres** observa-se que nas zonas destacadas só deveria aparecer a Formação de Benfica (laranja claro). O limite por onde esta superfície devia ter sido cortada passa um pouco mais abaixo, no limite geológico das Argilas dos Prazeres, à exceção da zona indicada pela seta, onde o mesmo limite se encontra ligeiramente concordante com o limite geológico desta unidade litostratigráfica [Figura 23 a)].

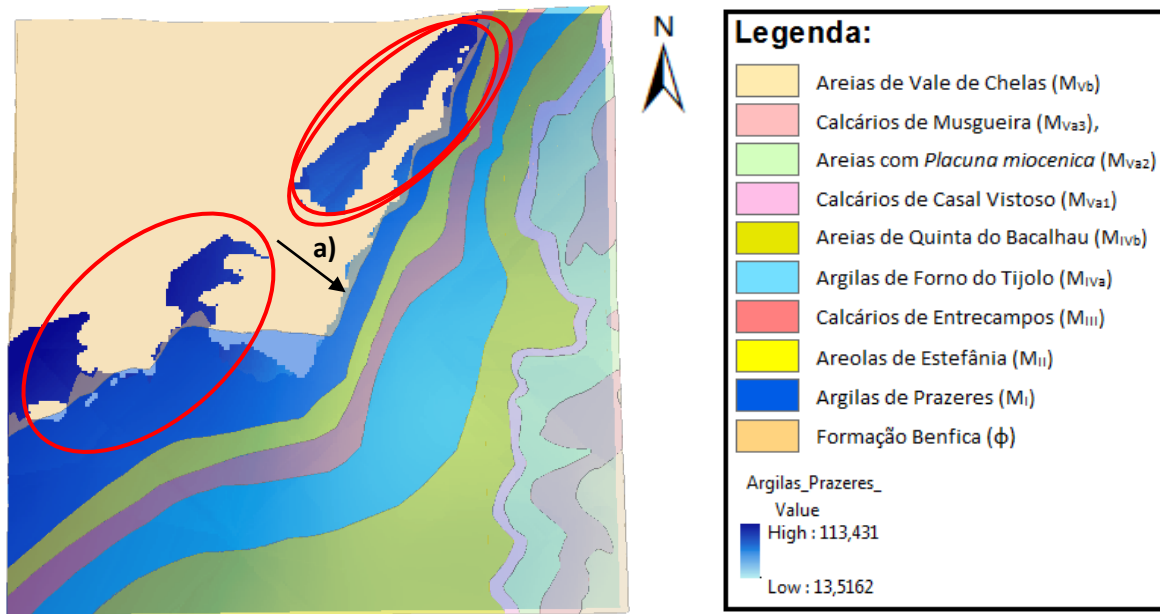


Figura 23- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base das Argilas de Prazeres à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões). a) Zona de concordância entre os limites da superfície de interpolação e da unidade litostratigráfica.

2. Relativamente à superfície de interpolação obtida para a cota de base das **Areolas de Estefânia** observa-se que nas zonas destacadas só deveria aparecer a Formação de Benfica (laranja claro) seguida das Argilas de Prazeres (azul) a SE. O limite por onde esta superfície devia ter sido cortada passa um pouco mais abaixo, no limite geológico das Areolas de Estefânia, à exceção da zona indicada pela seta, onde o mesmo limite se encontra ligeiramente concordante com o limite geológico desta unidade litostratigráfica [Figura 24 a)].

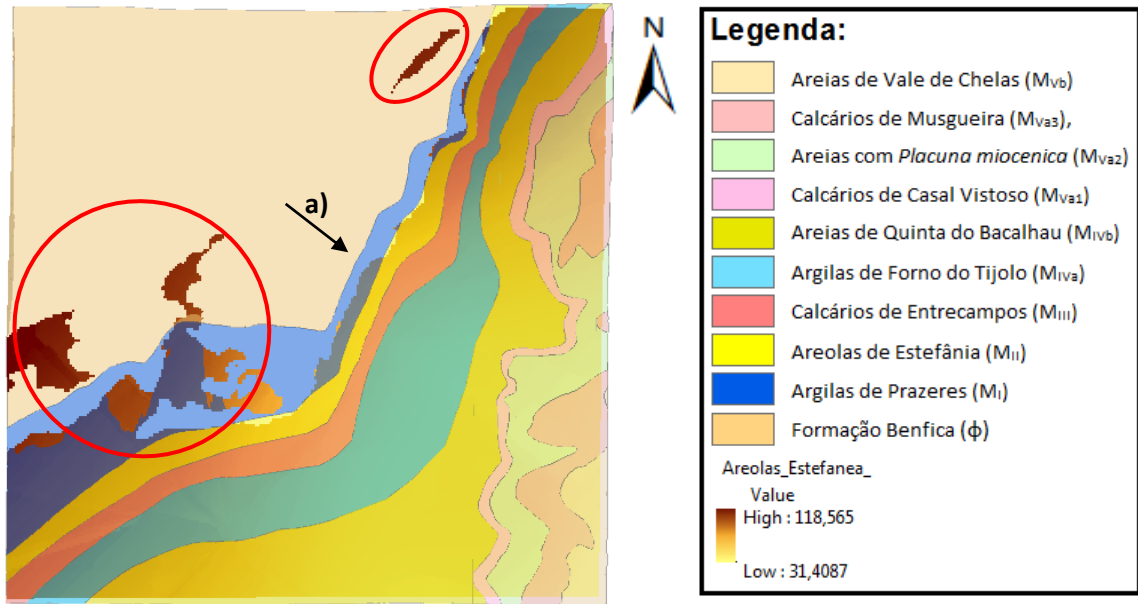


Figura 24- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base das Areolas de Estefânia à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões). a) Zona de concordância entre os limites da superfície de interpolação e da unidade litostratigráfica.

3. Relativamente à superfície de interpolação obtida para a cota de base dos **Calcários de Entrecampos** observa-se que nas zonas destacadas só deveria aparecer a Formação de Benfica (laranja claro) seguida das Argilas de Prazeres (azul) e das Areolas de Estefânia (amarelo vivo) a SE, e que o limite por onde esta superfície devia ter sido cortada passa um pouco mais abaixo, no limite geológico dos Calcários de Entrecampos (Figura 25).

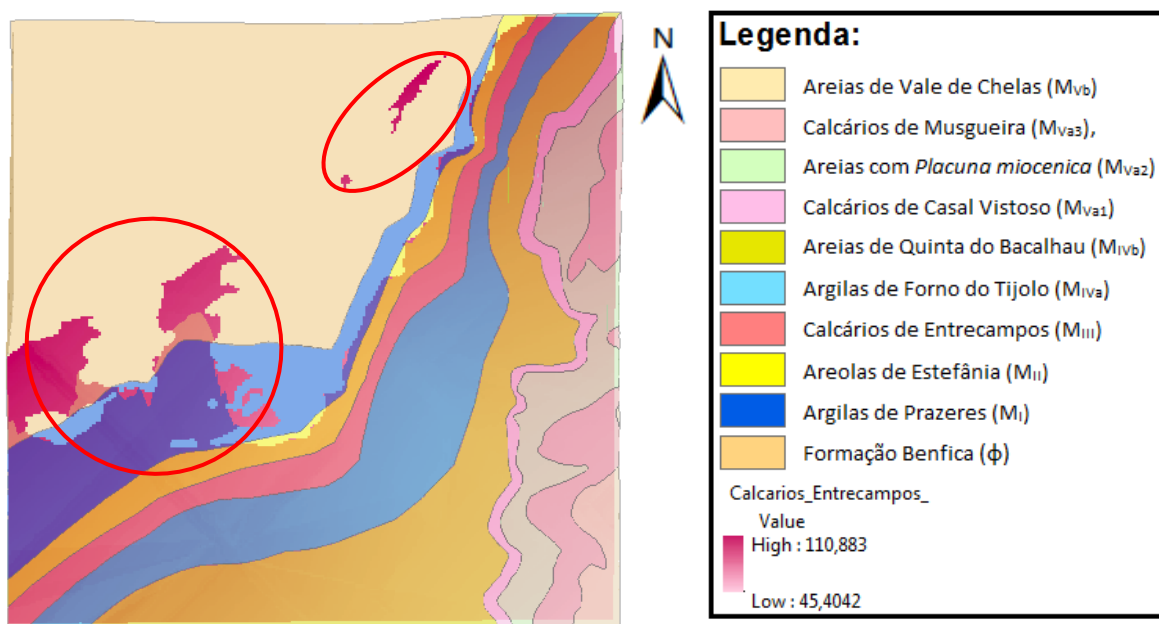


Figura 25- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base dos Calcários de Entrecampos à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões).

4. Relativamente à superfície de interpolação obtida para a cota de base das **Areias com *Placuna miocenica*** observa-se que na zona destacada a vermelho só deveria aparecer as Areias de Quinta do Bacalhau (verde vivo) e que na zona destacada a verde deveria aparecer a continuação da superfície referente às Areias com *Placuna miocenica* (verde claro) (Figura 26). Neste caso o limite por onde esta superfície foi cortada encontra-se ligeiramente concordante com o limite geológico das Areias com *Placuna miocenica* [Figura 26 a)] com exceção da zona destacada a verde. Tal deve-se ao facto de que a realização da superfície de interpolação das Areias com *Placuna miocenica* contou apenas com 10 sondagens e que estas eram pouco profundas, não alcançando os Calcários de Casal Vistoso.

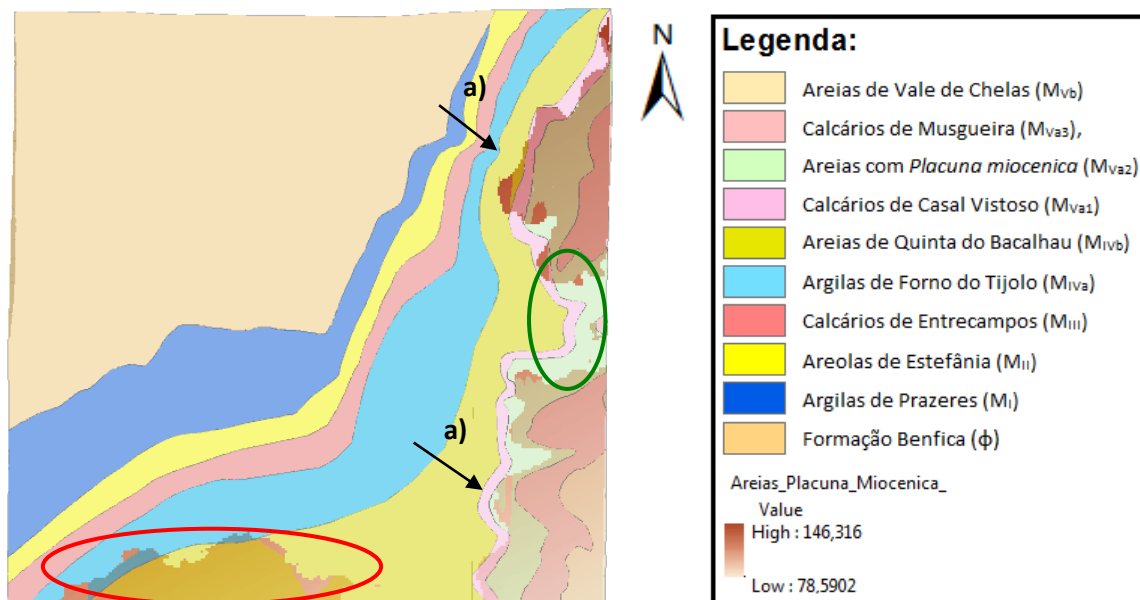


Figura 26- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base das Areias com *Placuna miocenica* à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões). a) Zona de concordância entre os limites da superfície de interpolação e da unidade litostratigráfica.

5. Relativamente à superfície de interpolação obtida para a cota de base dos **Aterros** observa-se que nas zonas destacadas a verde a superfície de interpolação da cota de base dos Aterros deveria estender-se tanto para NW da figura como para E (Figura 27). A inexistência da superfície nessas zonas deve-se ao facto das sondagens na zona NW da figura apresentarem espessuras de aterros muito pequenas ou inexistentes (Figura 17) e de na zona E da figura não existirem sondagens (Figura 15).

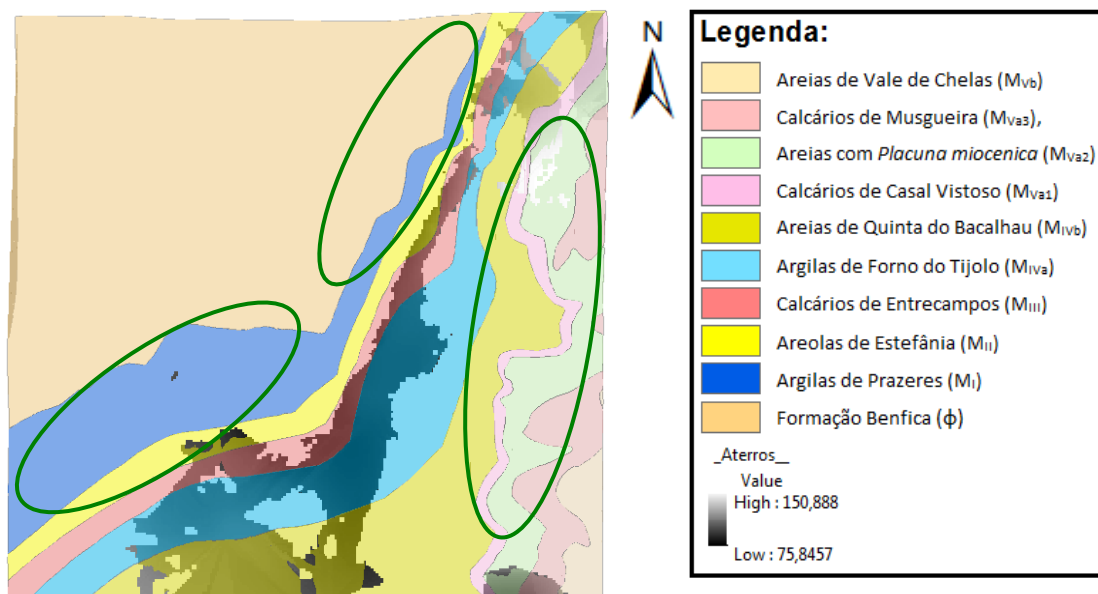


Figura 27- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base dos Aterros à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões).

Relativamente às superfícies de interpolação obtidas para as cotas de base das **Argilas de Forno do Tijolo** e das **Areias de Quinta do Bacalhau** observa-se uma maior concordância quando se sobrepõe as superfícies obtidas à Carta Geológica atualizada da área de estudo. Nas Figuras 28 e 29 o limite por onde estas superfícies foram cortadas, encontram-se ligeiramente concordantes quer com o limite geológico das Argilas de Forno de Tijolo, quer com o limite das Areias de Quinta do Bacalhau.

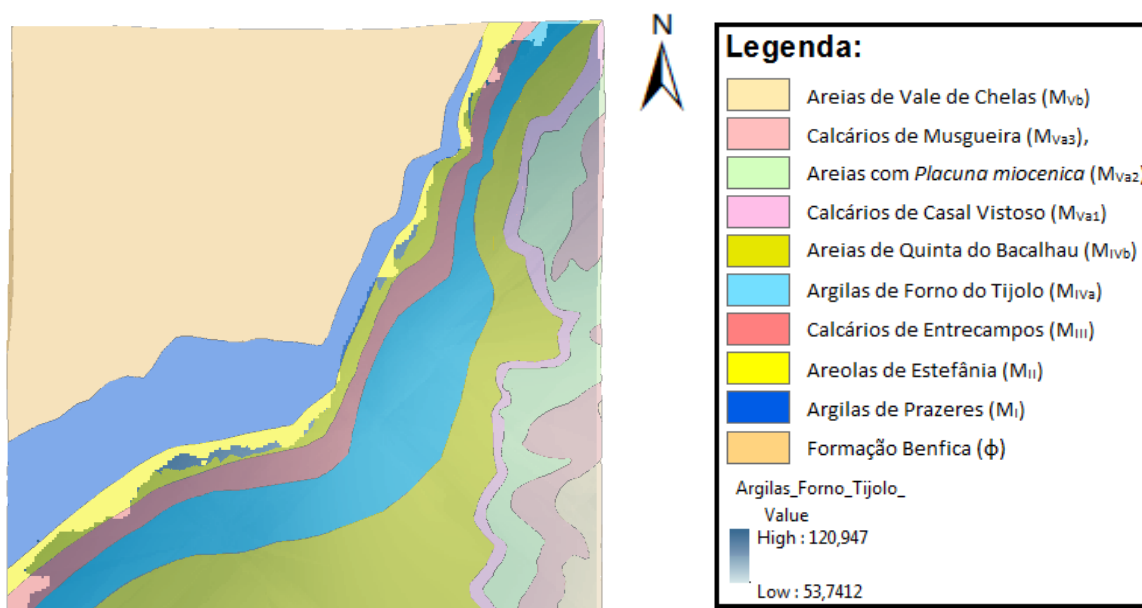


Figura 28- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base das Argilas de Forno do Tijolo à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões).

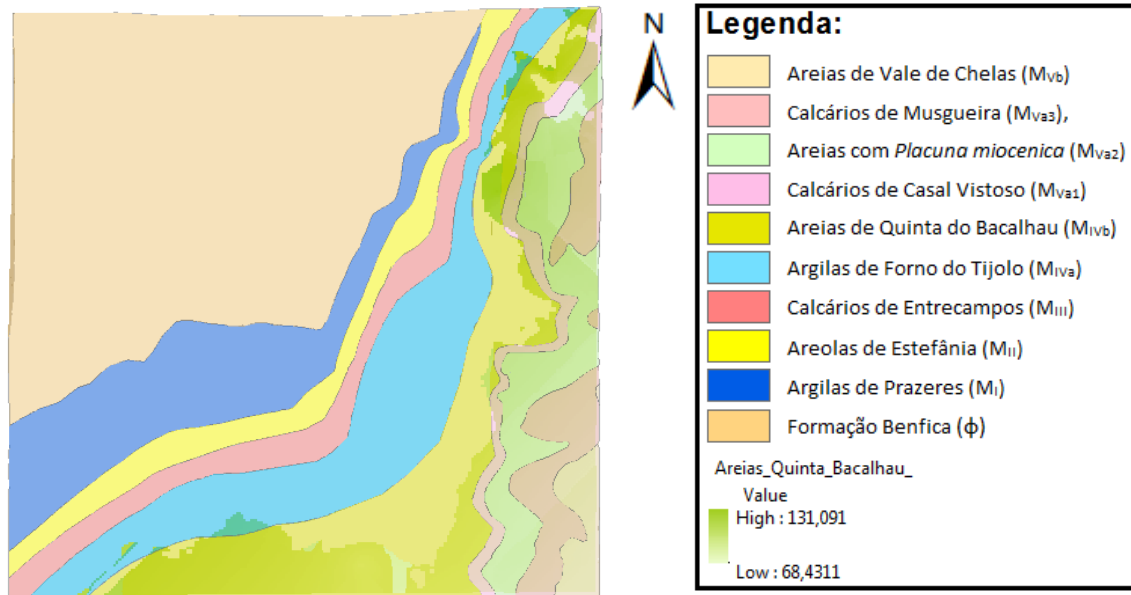


Figura 29- Sobreposição da superfície de interpolação da cota da base das Areias de Quinta do Bacalhau à Carta Geológica da área de estudo atualizada (sem as manchas das aluviões).

De forma a retificar as superfícies de interpolação e por conseguinte melhorar o Modelo Geológico Tridimensional, são propostas as seguintes recomendações:

- Definir o topo da Formação de Benfica e por conseguinte desenvolver uma superfície de interpolação que represente essa informação, de forma que em vez de se cortar a superfície obtida para a cota de base das Argilas de Prazeres pela superfície topográfica, se corte pela superfície obtida para o topo da Formação de Benfica;
- Repetir este método para as Areolas de Estefânia e para os Calcários de Entrecampos, utilizando a superfície de interpolação cortada imediatamente antes, no caso das Areolas de Estefânia utilizar a superfície cortada das Argilas de Prazeres e no caso dos Calcários de Entrecampos utilizar a superfície cortada das Areolas de Estefânia;
- Adicionar à base de dados mais informação pontual (sondagens reais ou resultantes da interpretação geológica obtida pelos cortes geológicos), de preferência nas zonas onde há falta de informação, de forma a permitir fazer pequenos reajustes às superfícies obtidas para os Aterros, as Argilas dos Forno do Tijolo e para as Areias de Quinta do Bacalhau; e construir a superfície dos Calcários de Casal Vistoso e dos Calcários de Musgueira, de forma a restringir a superfície das Areias com *Placuna miocenica*.

5.2. Caracterização Geotécnica

A caracterização geotécnica das unidades litostratigráficas presentes na área de estudo foi realizada com base nos ensaios SPT presentes nos 188 pontos de informação (Sondagens), contidos nos RG analisados neste trabalho e em ensaios de laboratório realizados no decurso deste trabalho, em amostras da Formação de Benfica.

Das unidades presentes na área de estudo, neste capítulo foram caracterizadas os Aterros, as Areias com *Placuna miocenica*, as Areias de Quinta do Bacalhau, as Argilas de Forno do Tijolo, os Calcários de Entrecampos, as Areolas de Estefânia, as Argilas de Prazeres e a Formação de Benfica.

Apesar de na área de estudo, se encontrar cartografado um retalho das Areias de Vale de Chelas, dos Calcários de Musgueira e dos Calcários do Casal Vistoso, nos RG analisados para este trabalho não existe nenhum registo de sondagem, realizado na área de estudo, que refira a ocorrência destas unidades durante a prospeção geotécnica, por isso não foi possível caracterizá-las.

Relativamente aos materiais de cobertura, apenas se classificaram do ponto vista geotécnico os Aterros, uma vez que a informação existente para as Aluviões restringe-se a dois RG, com 11 ensaios SPT no total.

Cada uma das unidades estudadas, foi classificada relativamente ao tipo de material predominante de acordo com o que ficou definido na análise litológica, de modo a facilitar a avaliação da compacidade/consistência dos solos incoerentes/coerentes.

A partir dos ensaios de N_{SPT} realizou-se a análise estatística dos resultados obtidos nas diferentes unidades litostratigráficas, definiu-se os intervalos de N_{SPT} mais representativos e classificou-se as várias unidades quanto à compacidade e consistência segundo a Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968).

Os dados da análise dos valores de N_{SPT} foram comparados com outros trabalhos (Almeida (1991) e Lopes (2001)).

As amostras recolhidas e ensaiadas da Formação de Benfica, foram classificadas segundo duas classificações (ASTM D2487-06, ASTM D3282-04): Classificação Unificada e Classificação para Fins Rodoviários (AASTHO). Estas classificações foram feitas com base nos ensaios de identificação: composição granulométrica e limites de consistência (W_L e I_P). As amostras foram ainda classificadas de acordo com a dimensão das diferentes frações que as constituem, classificação textural dos solos segundo Fernandes (2011) e classificação textural das rochas carbonatadas de acordo com a composição segundo Lindholm (1987, *in*: Lopes, 2001).

Os dados obtidos nos ensaios de laboratório foram comparados com outros já existentes, em especial os trabalhos publicados por, Almeida (1991), Azevêdo et al. (1991), Dionísio (1994), Guedes (1997) e Dias (1998).

5.2.1. Aterros

Dos 188 pontos de informação recolhidos para este trabalho foram identificados depósitos de aterro em 170. No entanto, destes, apenas 162 se encontram descritos do ponto de vista litológico.

Como já foi referido, os depósitos de cobertura apresentam espessuras muito variáveis, que normalmente não ultrapassam os 5 m de espessura (Figura 17). No caso dos depósitos de aterro, embora em 40% dos casos tenham sido ultrapassados os 2 m de espessura, apenas 2% têm valores superiores a 10 m.

Os materiais de aterro, por serem sedimentos com grande heterogeneidade de composição e fraca compactação, não são escolhidos para terrenos de fundação, a não ser em situações esporádicas e particulares. Por esta razão estes materiais são praticamente ignorados em estudos geotécnicos, sendo apenas os seus ensaios SPT a fonte de informação mais comum e normalmente a única (Almeida, 1991).

Para caracterizar os depósitos de cobertura, do ponto de vista litológico, analisou-se as descrições litológicas presentes nos 162 pontos de informação.

Apesar de esta análise ser litológica e “Aterro” não ser uma litologia, para efeitos de análise foi considerada como sendo.

Dos 442 m de espessura de depósitos de aterro atravessados nas sondagens, 20% são descritos como Aterros; destes 42% são compostos por areias, 26% são compostos por argilas, 9% são compostos por siltes, 1% são compostos por margas e arenitos, 0.5% por calcários e 0.1% por seixos/calhaus (Figura 30).

Não considerando os 20% que não apresentam descrição litológica principal, verificou-se que estes depósitos são maioritariamente constituídos por areias e argilas.

A presença de cerâmica, pedras ou alvenaria, resultante da atividade antrópica, é comum. No entanto, muito poucos sedimentos são descritos como sendo compostos por seixo/calhau, aparecendo como observação complementar.

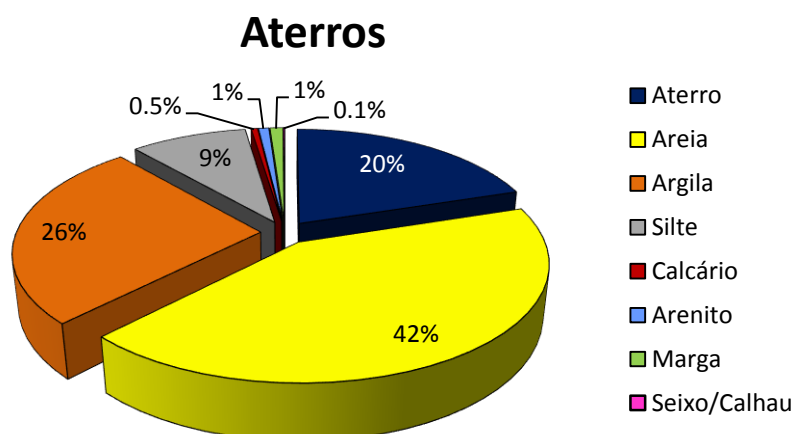


Figura 30- Caracterização litológica dos Aterros na área de estudo.

5.2.1.1. Ensaios SPT

Nos depósitos de aterro foram recolhidos 225 ensaios SPT, realizados na sua maioria em solos incoerentes (n=113), em solos coerentes (n=71) e litologias indiferenciadas (n=31), sendo a amostragem em rochas muito pequena (n=9). No entanto, o grupo referente às litologias indiferenciadas não permitiu efetuar a classificação por classes de compacidade ou consistência por não se conhecer a descrição litológica.

Cerca de 89% dos ensaios foram realizados a profundidades inferiores a 6 m e os restantes a profundidades superiores, mas nunca ultrapassando os 17 m.

Observando as Figuras 31 a) e 32 a) verifica-se que a profundidade não altera muito os valores de N, comparativamente com os valores corrigidos (N_{60}).

A maior concentração de valores corresponde a ensaios com $N < 10$ e N entre 10 e 20 pancadas ($\approx 80\%$). Destes ensaios, 44% têm valores inferiores a 10 pancadas [Figura 31 b) e c)], dependendo este valor dos dois tipos principais de solos (incoerentes e coerentes) em igual proporção [Figura 31 b) e c)].

Para N_{60} [Figura 32 b) e c)] regista-se um ligeiro incremento nos valores das classes $N_{60} < 10$ e N_{60} entre 10 e 20 pancadas e nos valores da classe $N_{60} > 60$ pancadas verifica-se que diminuem ligeiramente relativamente a N.

Os valores mais elevados que atingiram as 60 pancadas ($N=12\%$; $N_{60}=10\%$), não significam necessariamente um elevado grau de resistência dos materiais, mas a presença de “pedras” ou outro fragmento de maior resistência, resultantes de atividade antrópica.

Na Tabela 17 apresenta-se a distribuição dos valores de N e N_{60} segundo as respetivas classes propostas na Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968). Os solos incoerentes foram classificados como soltos a medianamente compactos e os solos coerentes como solos de consistência média a muito duros.

Os parâmetros estatísticos, apresentados na Tabela 18, relativos à distribuição dos resultados dos ensaios SPT sem e com correção (N e N_{60}), comprovam que estes materiais apresentam resultados de SPT baixos, na medida em que o P75% é inferior a 30 pancadas, evidenciando a baixa resistência destes materiais.

Os valores da mediana, da moda e do P25% tanto nos solos incoerentes como nos solos coerentes são mais baixos, comparativamente com os valores das litologias indiferenciadas (Tabela 18). No entanto como não se sabe a classificação litológica dos materiais deste último grupo não se consegue aferir a razão desta pequena diferença. Mas como já foi dito anteriormente, pode significar a presença de “pedras” calcárias ou outro fragmento de maior resistência, resultantes de atividade antrópica.

Os dados obtidos referentes à análise do N_{SPT} nos depósitos de aterros estão de acordo com os descritos por Almeida (1991), já que 75% dos ensaios SPT recolhidos pela autora, se

encontravam abaixo das 16 pancadas, dominando as classes dos solos soltos a medianamente compactos de consistência média a dura.

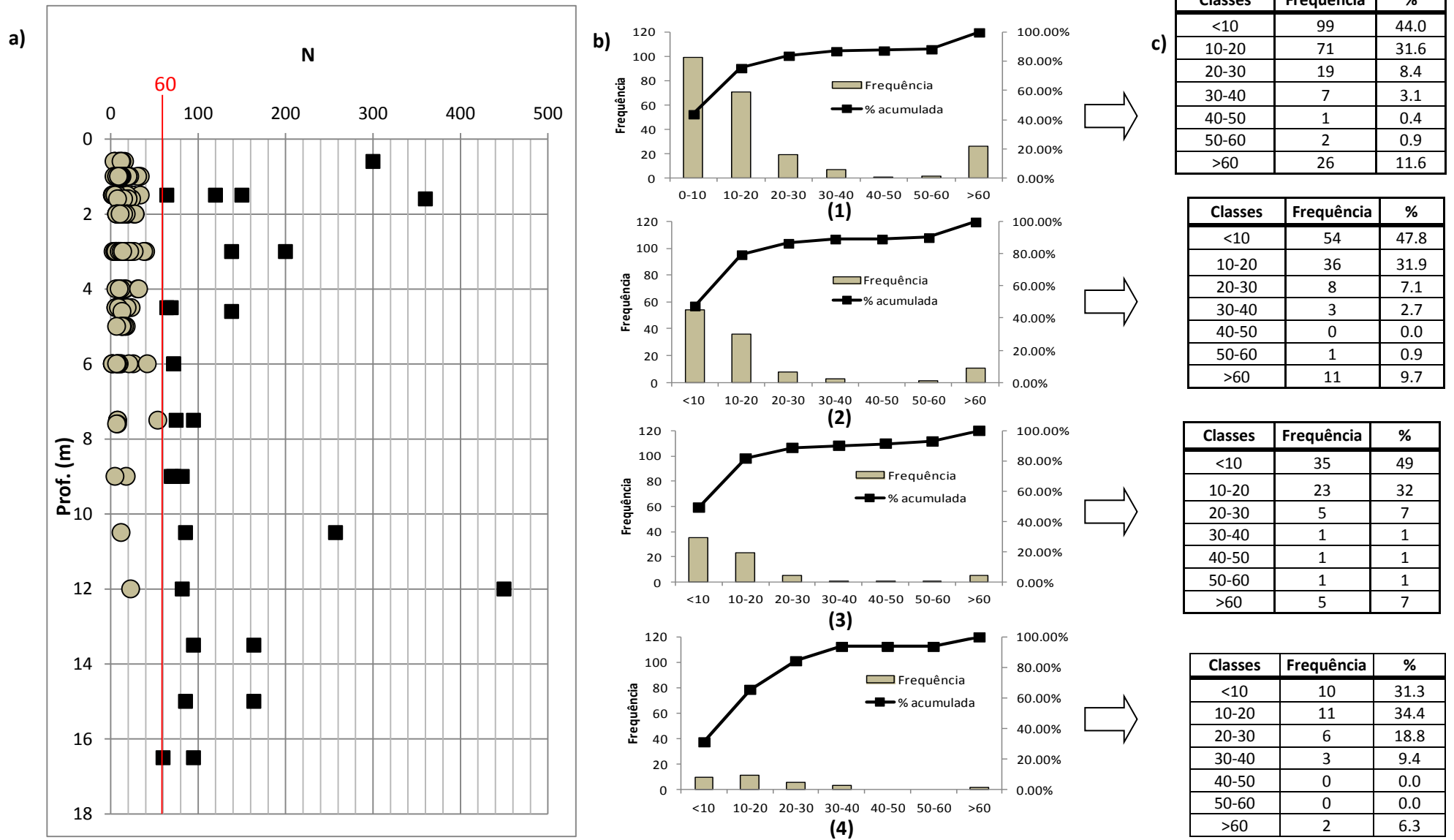


Figura 31- Aterros. a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. (4) Litologias indiferenciadas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.

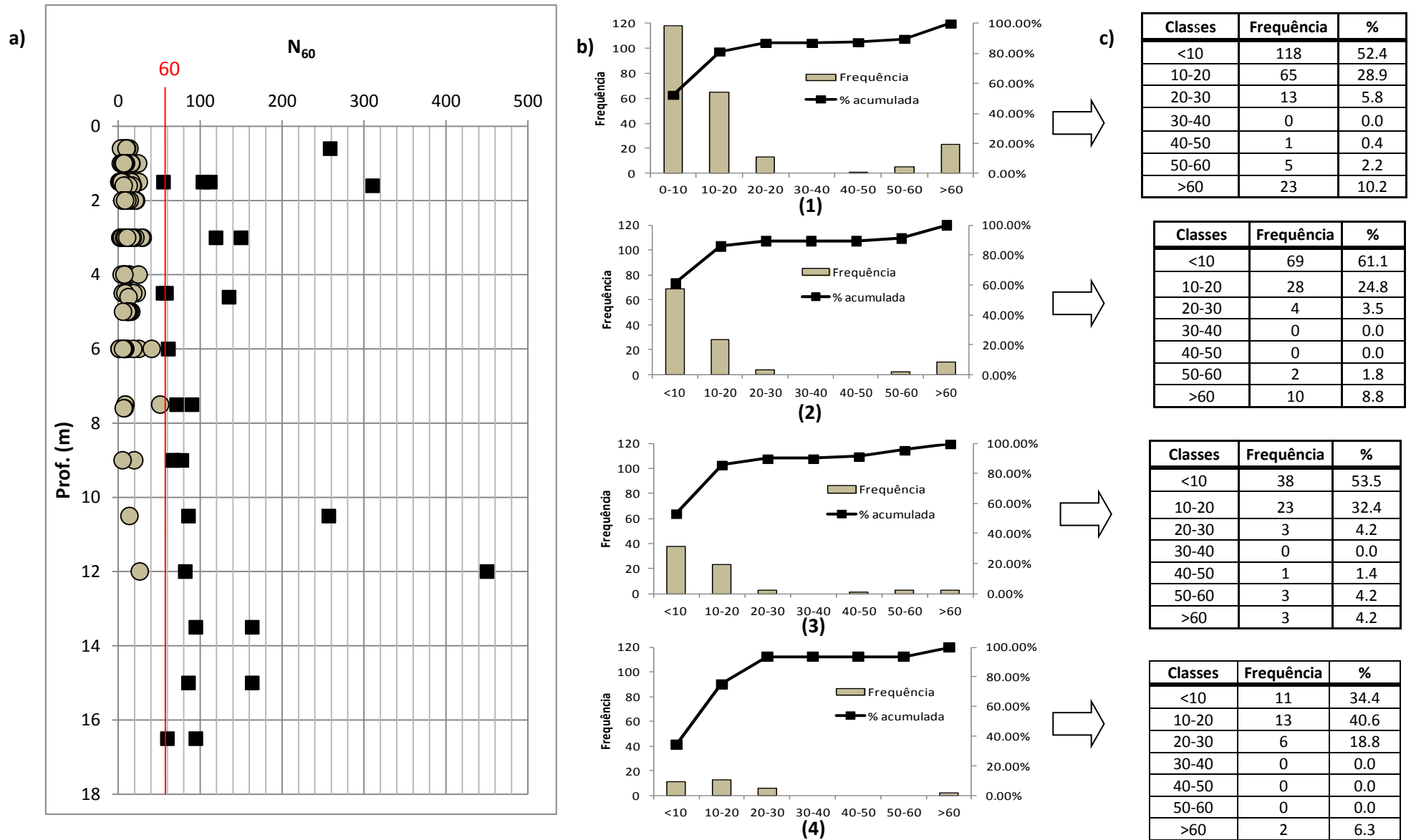


Figura 32- Aterros. a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. (4) Litologias indiferenciadas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60} .

Tabela 17- Distribuição dos valores de N e N₆₀ nos Aterros, segundo as classes de compacidade e consistência (ver 4.3.4.1.).

CLASSES		N		N ₆₀	
		Frequência	%	Frequência	%
Compacidade Solos incoerentes (E 219-1968)	<4	7	6.2	7	6.2
	4-10	47	41.6	62	54.9
	10-30	44	38.9	32	28.3
	30-50	3	2.7	0	0.0
	>50	12	10.6	12	10.6
Total		113	100	113	100
Consistência Solos coerentes (E 219-1968)	<2	0	0	3	4.2
	2-4	8	11.3	5	7.0
	4-8	15	21.1	25	35.2
	8-15	26	36.6	19	26.8
	15-30	14	19.7	12	16.9
	>30	8	11.3	7	9.9
Total		71	100	71	100

Tabela 18- Parâmetros estatísticos de N e N₆₀ referentes aos Aterros, quanto à amostra total, solos incoerentes, solos coerentes e litologias indiferenciadas.

		Máx.	Min.	Média	Mediana	Mo	P25%	P75%	n
N	Total	450	2	27	12	8	8	20	225
	S. Incoerentes	450	2	24	10	8	7	18	113
	S. Coerentes	72	2	16	10	9	7	19	71
	Litologias Indiferenciadas	360	5	36	16	13	9	23	32
N ₆₀	Total	450	2	24	9	5	7	17	225
	S. Incoerentes	450	2	22	9	7	6	15	113
	S. Coerentes	68	2	14	9	2	6	16	71
	Litologias Indiferenciadas	311	4	31	14	10	8	29	32

5.2.2. Areias com *Placuna miocénica*

Dos 188 pontos de informação, foi identificada a unidade Areias com *Placuna miocénica* em 10. Estes atravessam um total de 104 m de espessura desta unidade, dos quais 77% são constituídos por areias, 17% por argilas, 5% por siltes e 1% por calcários (Figura 33).

Segundo Almeida (1991) esta unidade é essencialmente constituída por materiais arenosos, em que a areia é predominante em relação às restantes litologias como se observa na Figura 33.

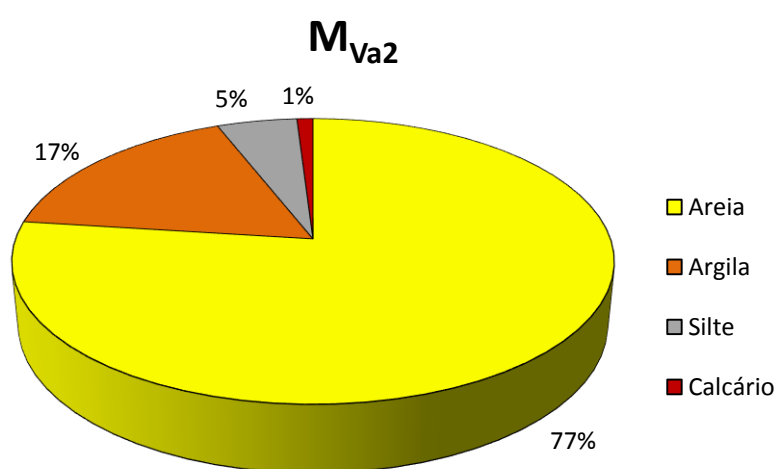


Figura 33- Caracterização litológica da unidade Areias com *Placuna miocénica* (M_{Va2}) na área de estudo.

5.2.2.1. Ensaio SPT

Na unidade das Areias com *Placuna miocénica* foram recolhidos 73 ensaios SPT, realizados em diferentes litologias, até cerca de 20 m de profundidade. Os solos ensaiados dividem-se em solos incoerentes ($n=56$) e em solos coerentes ($n=16$), sendo a amostragem em rochas muito pequena ($n=1$).

Na Figura 34 observa-se a variação dos valores de N em diferentes intervalos de profundidade e verifica-se que os valores de $N < 60$ concentram-se até 10 m de profundidade, sendo inexistentes a profundidades superiores a 15 m, evidenciando a descompressão dos materiais até essa profundidade e que os valores de $N > 60$ pancadas são poucos até aos 5 m de profundidade.

Para N total verifica-se que 56% dos ensaios têm valores superiores a 60 pancadas [Figura 35 b) e c)], dependendo este valor dos dois tipos principais de solos (incoerentes e coerentes) em igual proporção [Figura 35 b) e c)]. Enquanto os valores das classes $N < 10$ e N entre 50 e 60 pancadas devem-se exclusivamente aos solos incoerentes, já os valores da classe N entre 40 e 50 devem-se exclusivamente aos solos coerentes.

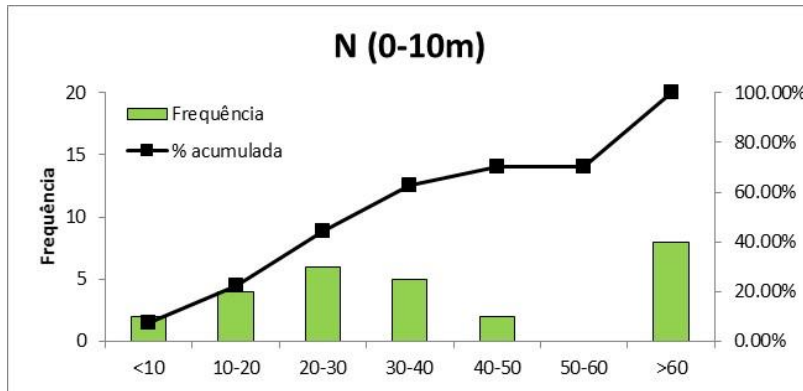
Para N_{60} [Figura 36 b) e c)] verifica-se uma ligeira descida de certos valores relativamente a N e no geral não existem grandes alterações.

Na Tabela 19 apresenta-se a distribuição dos valores de N e N_{60} segundo as respetivas classes propostas na Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968). Os solos incoerentes foram classificados como medianamente compactos a muito compactos e os solos coerentes como solos rijos.

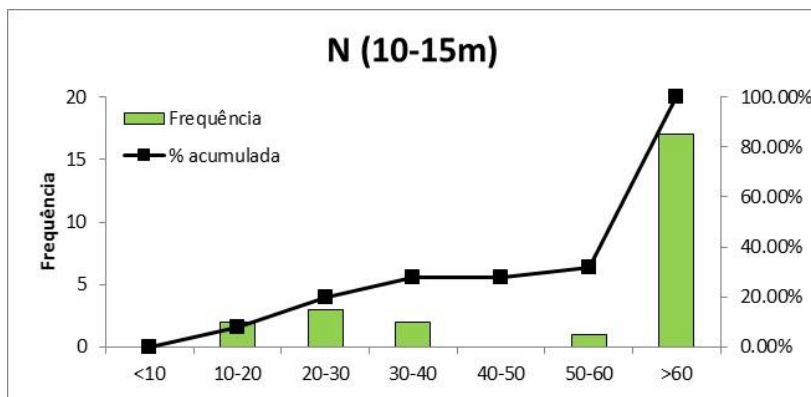
Através dos parâmetros estatísticos, apresentados na Tabela 20, relativos à distribuição dos resultados dos ensaios SPT sem e com correção (N e N_{60}), verifica-se que estes materiais apresentam resultados de SPT elevados, na medida em que o P75% é superior a 60 pancadas.

Os solos incoerentes apresentam valores muito díspares quanto à média, mediana, moda, P25% e P75%, evidenciando grande variedade na resistência dos solos arenosos (Tabela 20).

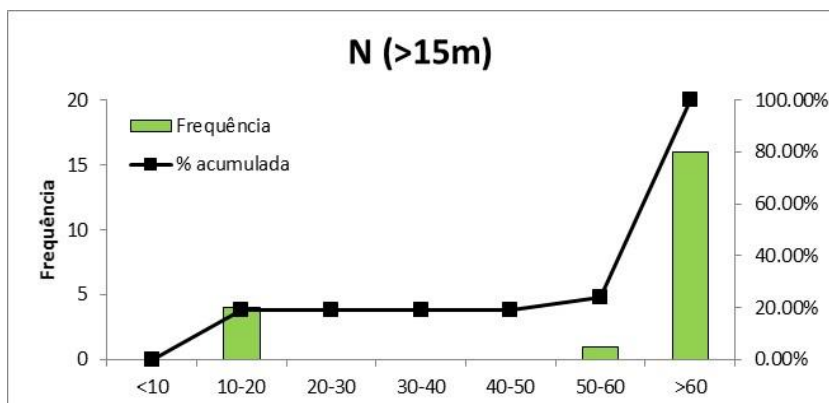
Pelo contrário os solos coerentes apresentam valores muito semelhantes quanto à média, mediana, moda, P25% e P75%, demonstrando uma uniformidade nos dados e evidenciando pouca variabilidade quanto à resistência dos solos argilosos (Tabela 20).



Classes	Frequência	%
<10	2	7.4
10-20	4	14.8
20-30	6	22.3
30-40	5	18.5
40-50	2	7.4
50-60	0	0.0
>60	8	29.6



Classes	Frequência	%
<10	0	0.0
10-20	2	8.0
20-30	3	12.0
30-40	2	8.0
40-50	0	0.0
50-60	1	4.0
>60	17	68.0



Classes	Frequência	%
<10	0	0.0
10-20	4	19.0
20-30	0	0.0
30-40	0	0.0
40-50	0	0.0
50-60	1	4.8
>60	16	76.2

Figura 34- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Areias com *Placuna miocenica* (M_{Va2}) para diferentes intervalos de profundidade e respectivas tabelas de frequência e percentagem.

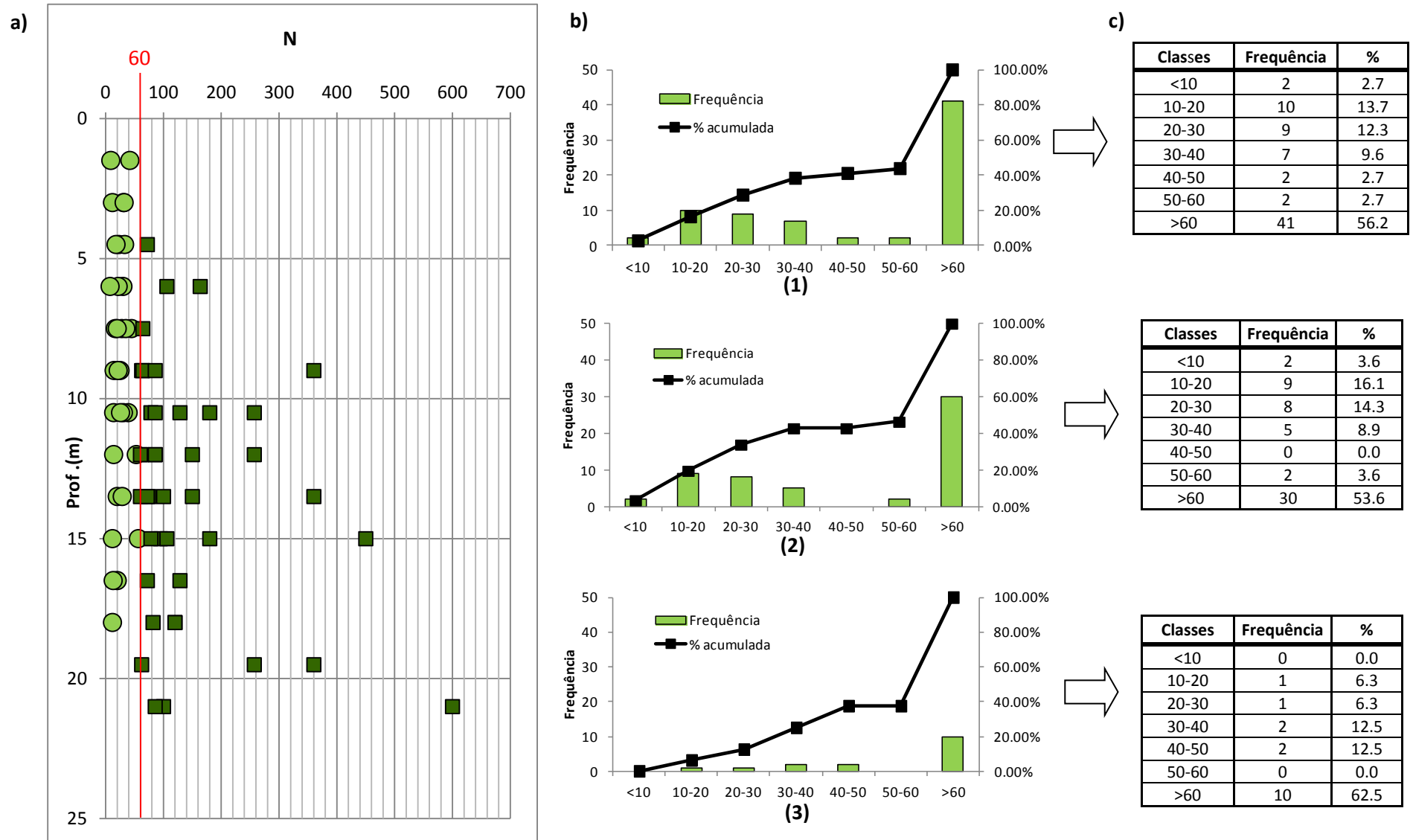


Figura 35- Areias com *Placuna miocenica* ($M_{V_{a2}}$). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.

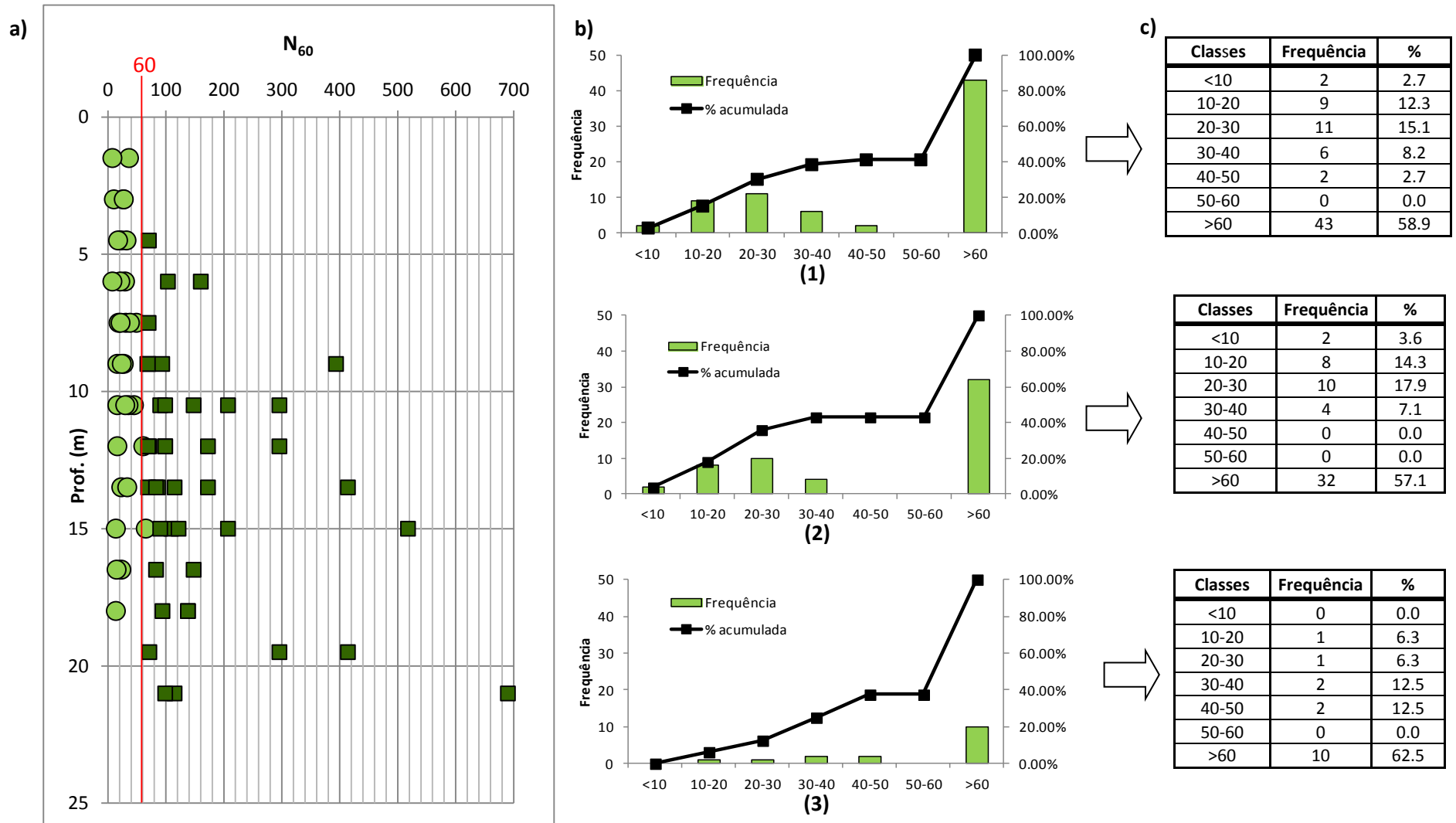


Figura 36- Areias com *Placuna miocenica* (M_{Va2}). a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60} .

Tabela 19- Distribuição dos valores de N e N₆₀ na unidade Areias com *Placuna miocenica* (M_{Va2}), segundo as classes de compacidade e consistência (ver 4.3.4.1.).

CLASSES		N		N ₆₀	
		Frequência	%	Frequência	%
Compacidade Solos incoerentes (E 219-1968)	<4	0	0.0	0	0.0
	4-10	2	3.6	2	3.6
	10-30	17	30.4	18	32.1
	30-50	5	8.9	4	7.1
	>50	32	57.1	32	57.1
Total		56	100	56	100
Consistência Solos coerentes (E 219-1968)	<2	0	0.0	0	0.0
	2-4	0	0.0	0	0.0
	4-8	0	0.0	0	0.0
	8-15	1	6.25	1	6.3
	15-30	1	6.25	1	6.3
	>30	14	87.5	14	87.5
Total		16	100	16	100

Tabela 20- Parâmetros estatísticos de N e N₆₀ referentes à unidade Areias com *Placuna miocenica* (M_{Va2}), quanto à amostra total, solos incoerentes e solos coerentes.

		Máx.	Min.	Média	Mediana	Mo	P25%	P75%	n
N	Total	600	8	95	61	86	26	106	73
	S. Incoerentes	450	8	96	68	72	22	120	56
	S. Coerentes	100	12	58	61	62	42	78	16
N ₆₀	Total	690	8	107	70	99	27	122	73
	S. Incoerentes	516	8	108	71	296	24	138	56
	S. Coerentes	115	10	65	69	69	45	90	16

5.2.3. Areias de Quinta do Bacalhau

Esta unidade foi identificada em 26 dos 188 pontos de informação recolhidos para este trabalho, correspondendo a 344 m de espessura total atravessada.

Destes 344 m, 47% são constituídos por siltes, 43% por areias, 10% por argilas e 0.1% por arenitos (Figura 37).

Nesta unidade as micas estão quase sempre presentes, tanto nos solos constituídos por areias como por siltes ou argilas, e também apresenta pequenos fragmentos conquíferos, frequentemente ostras. Como já foi referido anteriormente por Cotter (1956) e Almeida (1991) esta unidade apresenta cores alaranjadas, que podem ir desde o branco ao avermelhado.

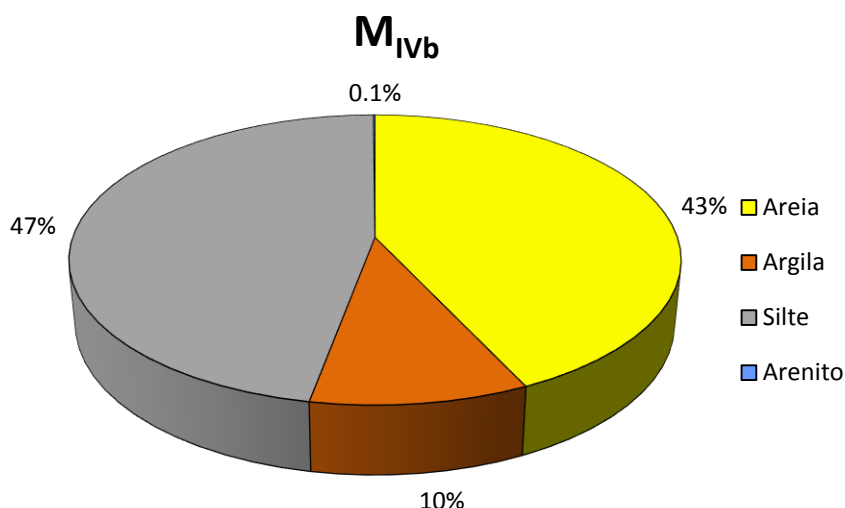


Figura 37- Caracterização litológica da unidade Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}) na área de estudo.

5.2.3.1. Ensaaios SPT

Na unidade das Areias de Quinta do Bacalhau foram recolhidos 235 ensaios SPT, realizados em diferentes litologias, até cerca de 20 m de profundidade. Os solos ensaiados dividem-se em solos incoerentes ($n=136$) e em solos coerentes ($n=99$).

Na Figura 38 observa-se a variação dos valores de N em diferentes intervalos de profundidade e verifica-se que os valores de $N < 60$ pancadas encontram-se até aos 10 m de profundidade evidenciando a descompressão dos materiais até essa profundidade, e que os valores de $N > 60$ pancadas são muito poucos até aos 5 m de profundidade.

Para N total verifica-se que cerca de 32% dos ensaios têm valores superiores a 60 pancadas [Figura 39 b) e c)], dependendo este valor dos dois tipos principais de solos (incoerentes e coerentes) em igual proporção [Figura 39 b) e c)], sendo a classe menos representativa a de $N < 10$ pancadas (1%).

Para N_{60} [Figura 40 b) e c)] verifica-se que os valores da classe N_{60} apresentam valores ligeiramente mais baixos em relação a N , mas que no geral não existem grandes alterações apresentando as mesmas características de distribuição que N .

Na Tabela 21 apresenta-se a distribuição dos valores de N e N_{60} segundo as respetivas classes propostas na Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968). Os solos incoerentes foram classificados como compactos a muito compactos e os solos coerentes como muito duros a rijos.

Através dos parâmetros estatísticos, apresentados na Tabela 22, relativos à distribuição dos resultados dos ensaios SPT sem e com correção (N e N_{60}), verifica-se que estes materiais apresentam resultados de SPT elevados, na medida em que o P75% é superior a 60 pancadas.

Os valores da média, da mediana, da moda, do P25% e do P75% relativos aos solos incoerentes e coerentes são muito semelhantes (Tabela 22), demonstrando que estes materiais apresentam uma uniformidade quanto à resistência à penetração.

Os dados obtidos referentes à análise do N_{SPT} na unidade Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}) estão de acordo com os descritos por Almeida (1991) e Lopes (2001). As autoras também classificaram os solos incoerentes como solos medianamente compactos a muitos compactos e os solos coerentes como solos duros a rijos. Relativamente à análise em profundidade também referiram os efeitos da descompressão dos materiais desta unidade, verificada até aos 10 m de profundidade.

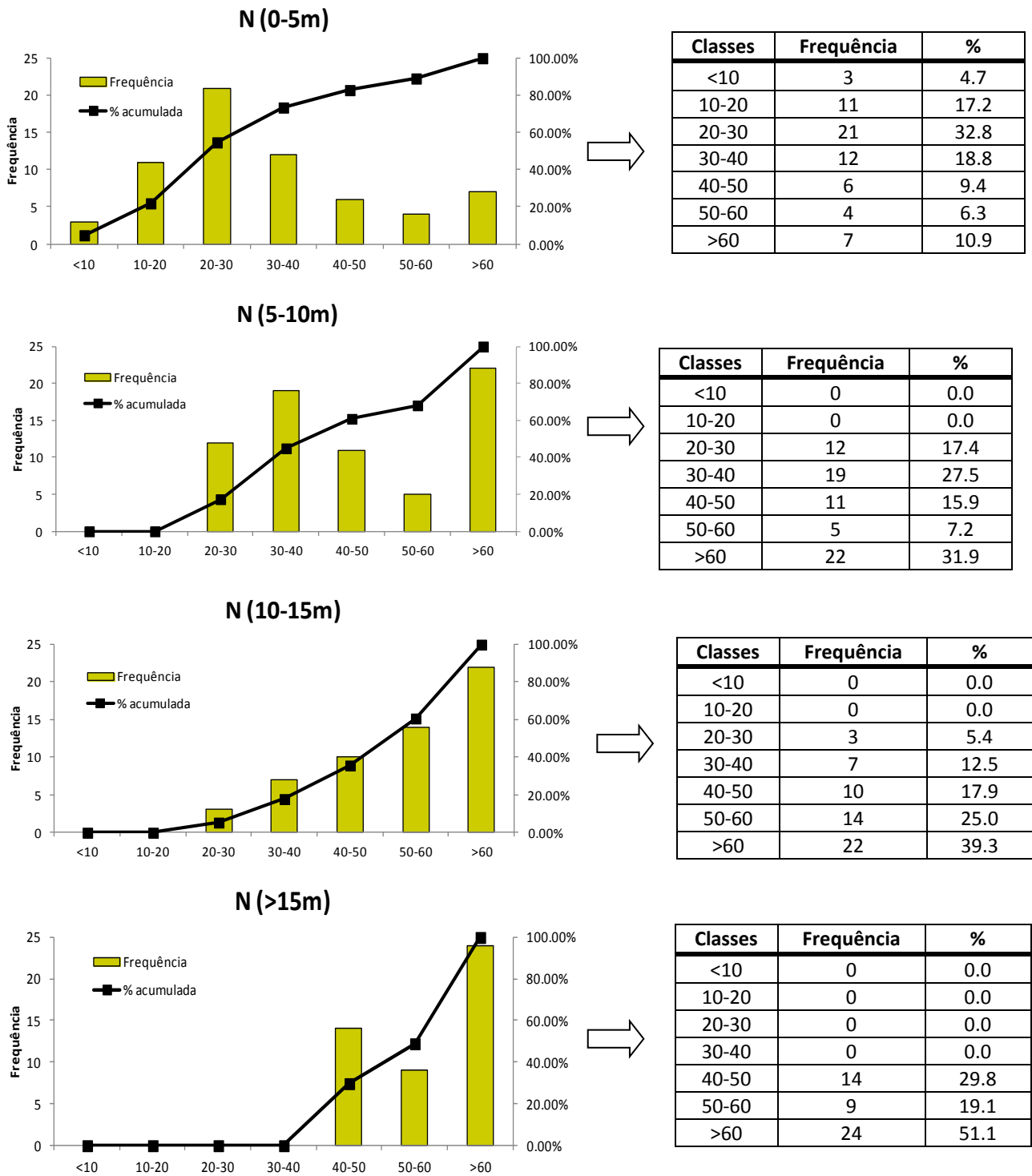


Figura 38- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}) para diferentes intervalos de profundidade e respectivas tabelas de frequência e percentagem

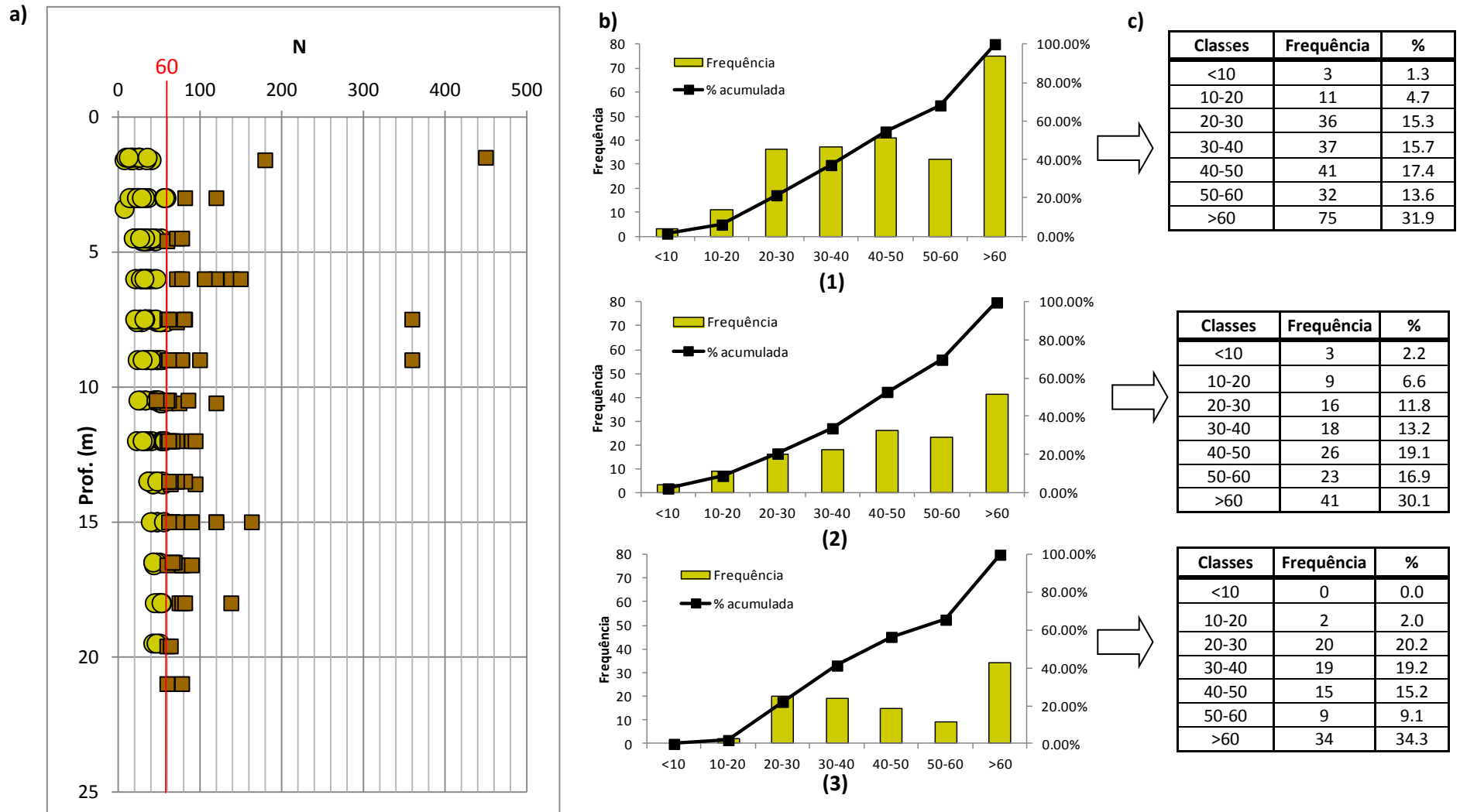


Figura 39- Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.

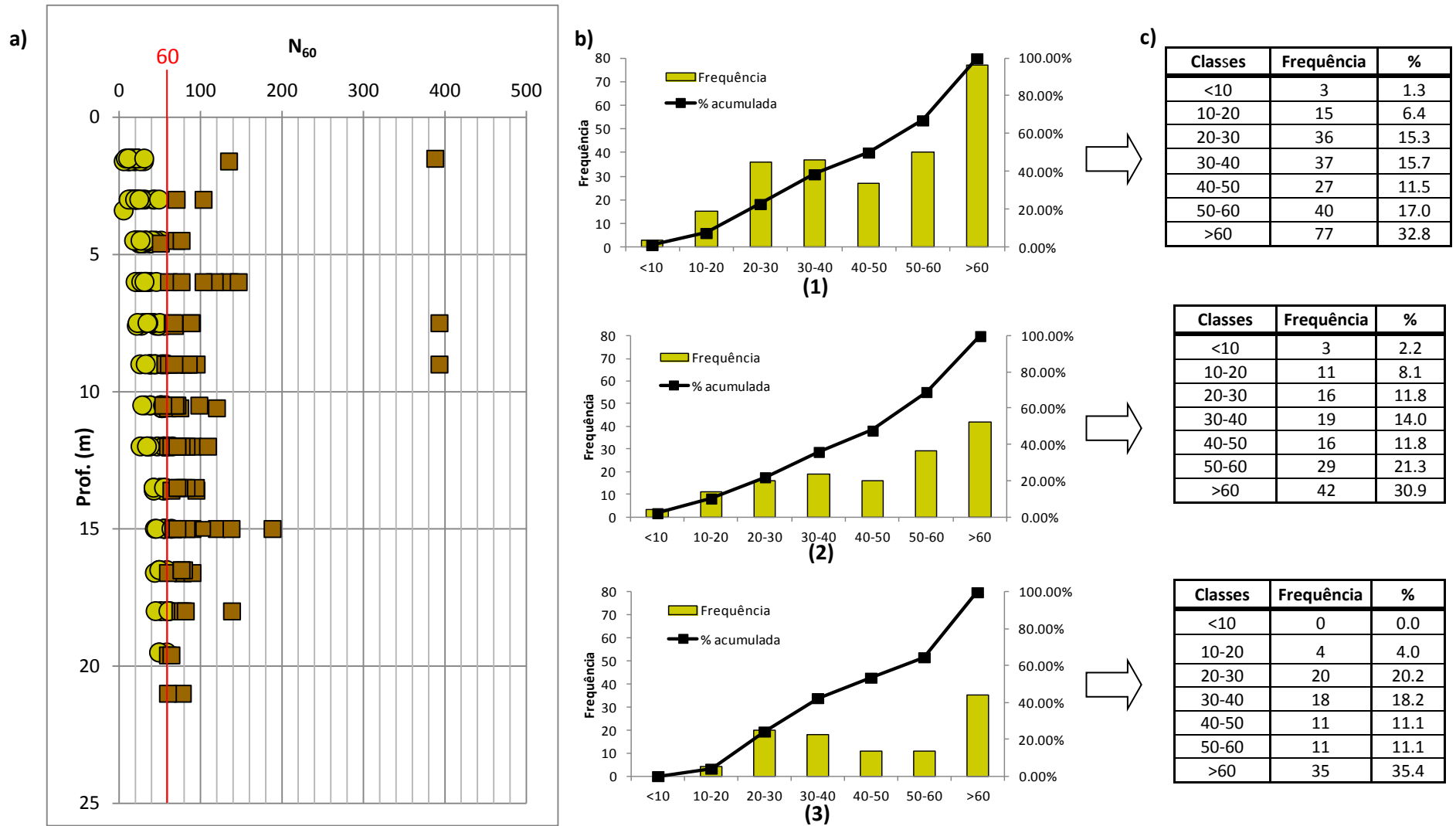


Figura 40- Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}). a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60} .

Tabela 21- Distribuição dos valores de N e N₆₀ na unidade Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}), segundo as classes de compacidade e consistência (ver 4.3.4.1.).

CLASSES		N		N ₆₀	
		Frequência	%	Frequência	%
Compacidade Solos incoerentes (E 219-1968)	<4	0	0.0	0	0.0
	4-10	3	2.2	3	2.2
	10-30	25	18.4	27	19.9
	30-50	44	32.4	35	25.7
	>50	64	47.1	71	52.2
Total		136	100	136	100
Consistência Solos Coerentes (E 219-1968)	<2	0	0.0	0	0.0
	2-4	0	0.0	0	0.0
	4-8	0	0.0	0	0.0
	8-15	0	0.0	1	1.0
	15-30	22	22.2	23	23.2
	>30	77	77.8	75	75.8
Total		99	100	99	100

Tabela 22- Parâmetros estatísticos de N e N₆₀ referentes à unidade Areias de Quinta do Bacalhau (M_{IVb}), quanto à amostra total, solos incoerentes e solos coerentes.

		Máx.	Min.	Média	Mediana	Mo	P25%	P75%	n
N	Total	450	8	56	47	62	33	64	235
	S. Incoerentes	450	8	59	48	48	34	62	136
	S. Coerentes	164	18	51	44	62	32	67	99
N ₆₀	Total	393	6	56	49	71	32	68	235
	S. Incoerentes	393	6	59	51	55	33	64	136
	S. Coerentes	188	14	53	44	71	31	71	99

5.2.4. Argilas de Forno do Tijolo

Dos 188 pontos de informação, esta unidade foi identificada em 63, atravessando 584 m de espessura total.

Dos 584 m atravessados, 47% são constituídos por areias, 30% por argilas, 17% por siltes e 6% por calcários (Figura 41). É comum a presença de nódulos carbonatados, cascões e fósseis nesta unidade litostratigráfica.

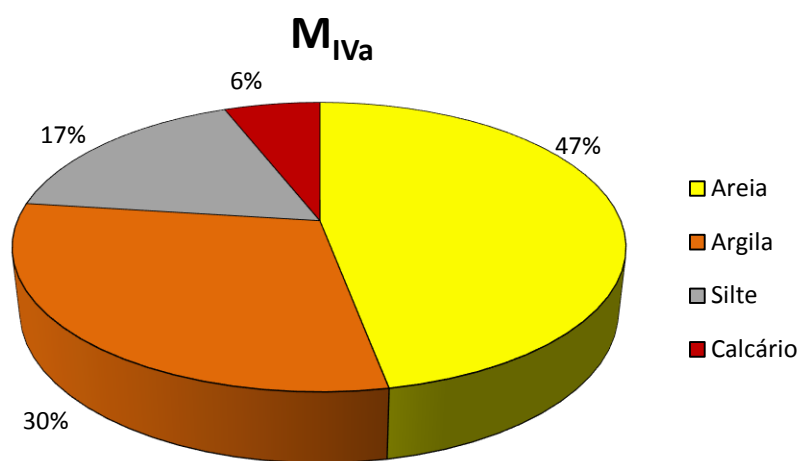


Figura 41- Caracterização litológica da unidade Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}) na área de estudo.

5.2.4.1. Ensaios SPT

Na unidade das Argilas de Forno do Tijolo foram recolhidos 377 ensaios SPT, realizados em diferentes litologias, até cerca de 20 m de profundidade. Os solos ensaiados dividem-se em solos incoerentes ($n=212$), em solos coerentes ($n=140$) e em rochas ($n=25$).

Na Figura 42 observa-se a variação dos valores de N em diferentes intervalos de profundidade e verifica-se que os valores de $N < 60$ concentram-se até 10 m de profundidade, sendo inexistentes a profundidades superiores a 10 m, evidenciando a descompressão dos materiais até essa profundidade, e que os valores de $N > 60$ pancadas aumentam para profundidades maiores que 5 m.

Para N total verifica-se que cerca de 75% dos ensaios têm valores superiores a 60 pancadas [Figura 43 b) e c)], dependendo este valor dos solos incoerentes [Figura 43 b) e c)],

sendo a classe menos representativa a de $N < 10$ pancadas ($\approx 2\%$). As rochas apesar de praticamente não terem expressão no total, têm valores N que se encontra acima das 60 pancadas com penetrações sempre inferiores a 15 cm.

Para N_{60} [Figura 44 b) e c)] verifica-se que os valores da classe $N_{60} > 60$ pancadas diminuem ligeiramente em relação a N e que no geral não existem grandes alterações.

Na Tabela 23 apresenta-se a distribuição dos valores de N e N_{60} segundo as respetivas classes propostas na Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968). Os solos incoerentes foram classificados como muito compactos e os solos coerentes como muito duros a rijos.

Uma vez que a Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968), não propõe uma classificação para as rochas, não foi feita essa análise.

Através dos parâmetros estatísticos, apresentados na Tabela 24, relativos à distribuição dos resultados dos ensaios SPT sem e com correção (N e N_{60}), verifica-se que estes materiais apresentam resultados de SPT elevados, na medida em que o P75% é muito superior a 60 pancadas.

Os valores da média, da mediana, do P25% e do P75% relativos aos solos incoerentes são superiores aos valores dos solos coerentes, evidenciando de uma forma geral que os solos arenosos apresentam maior resistência à penetração que os solos argilosos (Tabela 24).

Os valores da média, da mediana, da moda, do P25% e do P75% (Tabela 24) obtidos para as rochas, apesar de serem elevados, como seria de esperar, não têm grande expressão no total da amostra, porque em comparação com os outros tipos de solos (incoerentes e coerentes) são os que têm a amostragem mais pequena ($n=25$).

Os dados obtidos referentes à análise do N_{SPT} na unidade Argilas de Forno do Tijolo (M_{Iva}) estão de acordo com os dados descritos por Almeida (1991) e Lopes (2001). As autoras também classificaram os solos incoerentes como solos muito compactos e os solos coerentes como muito duros a rijos. No entanto segundo Almeida (1991) o número de valores de $N > 60$ pancadas é bastante baixo, cerca de 45%, o que é muito abaixo comparando com o que se verificou neste trabalho (75%).

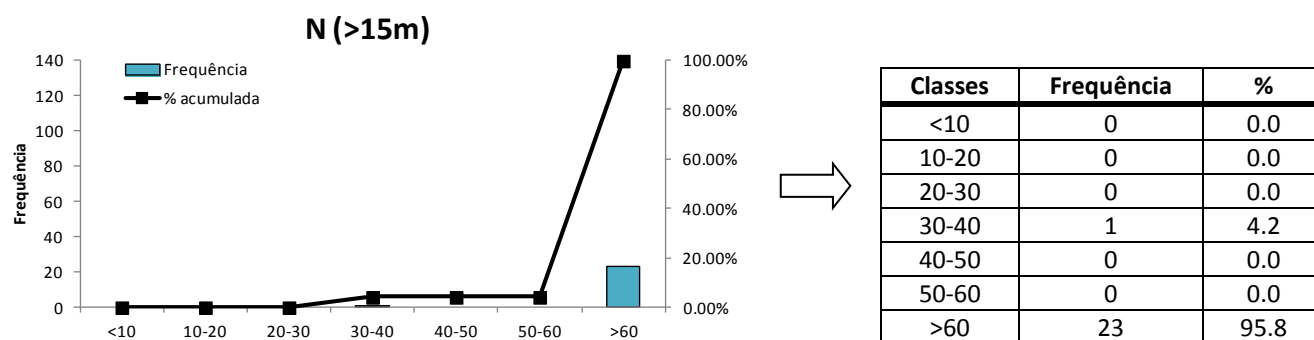
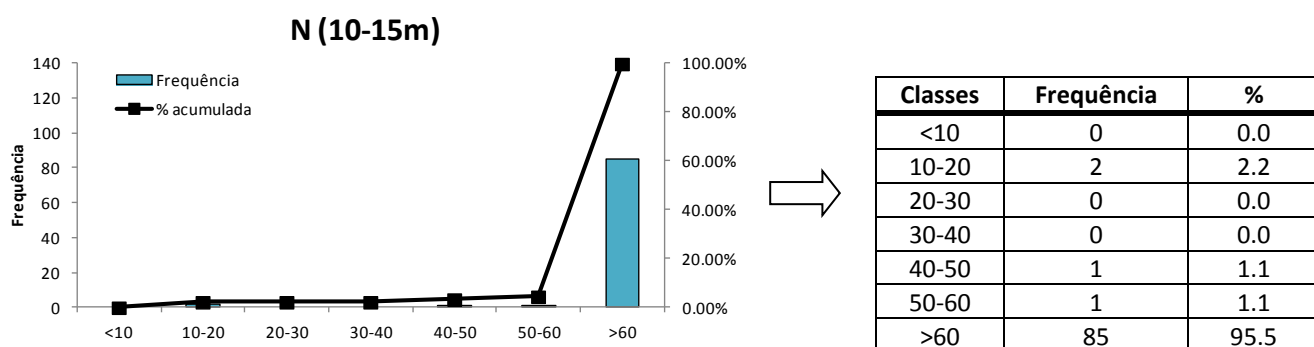
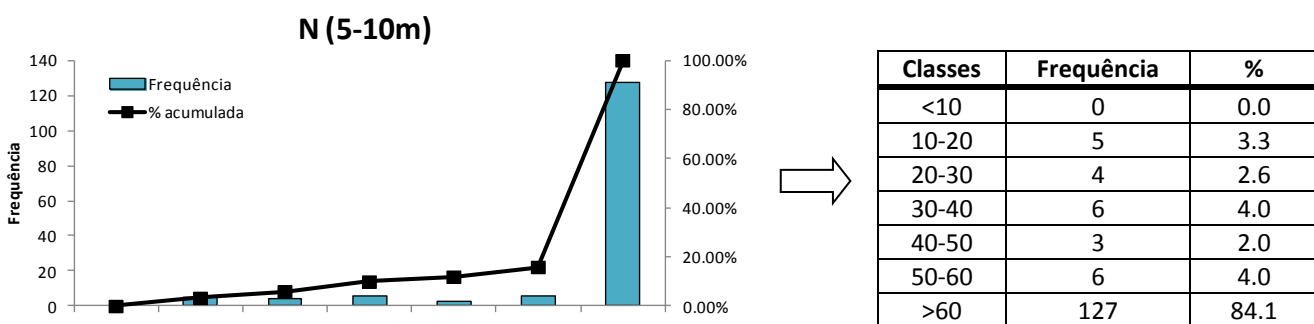
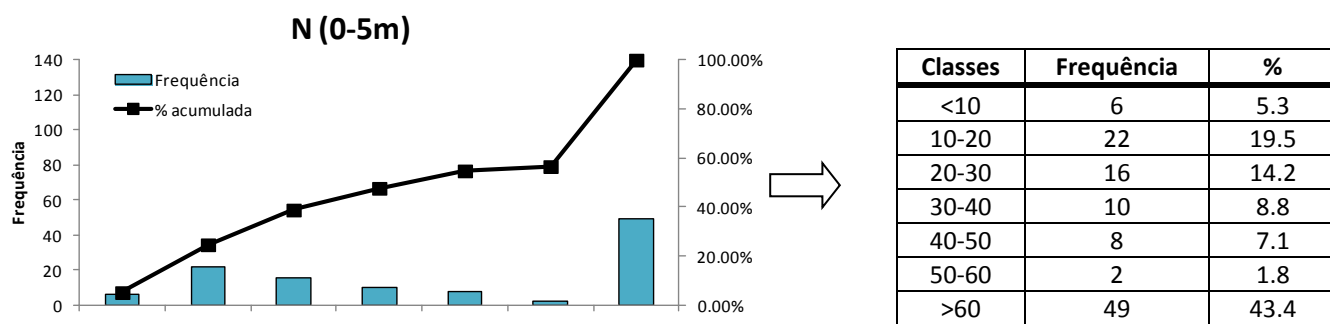


Figura 42- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}) para diferentes intervalos de profundidade e respectivas tabelas de frequência e percentagem.

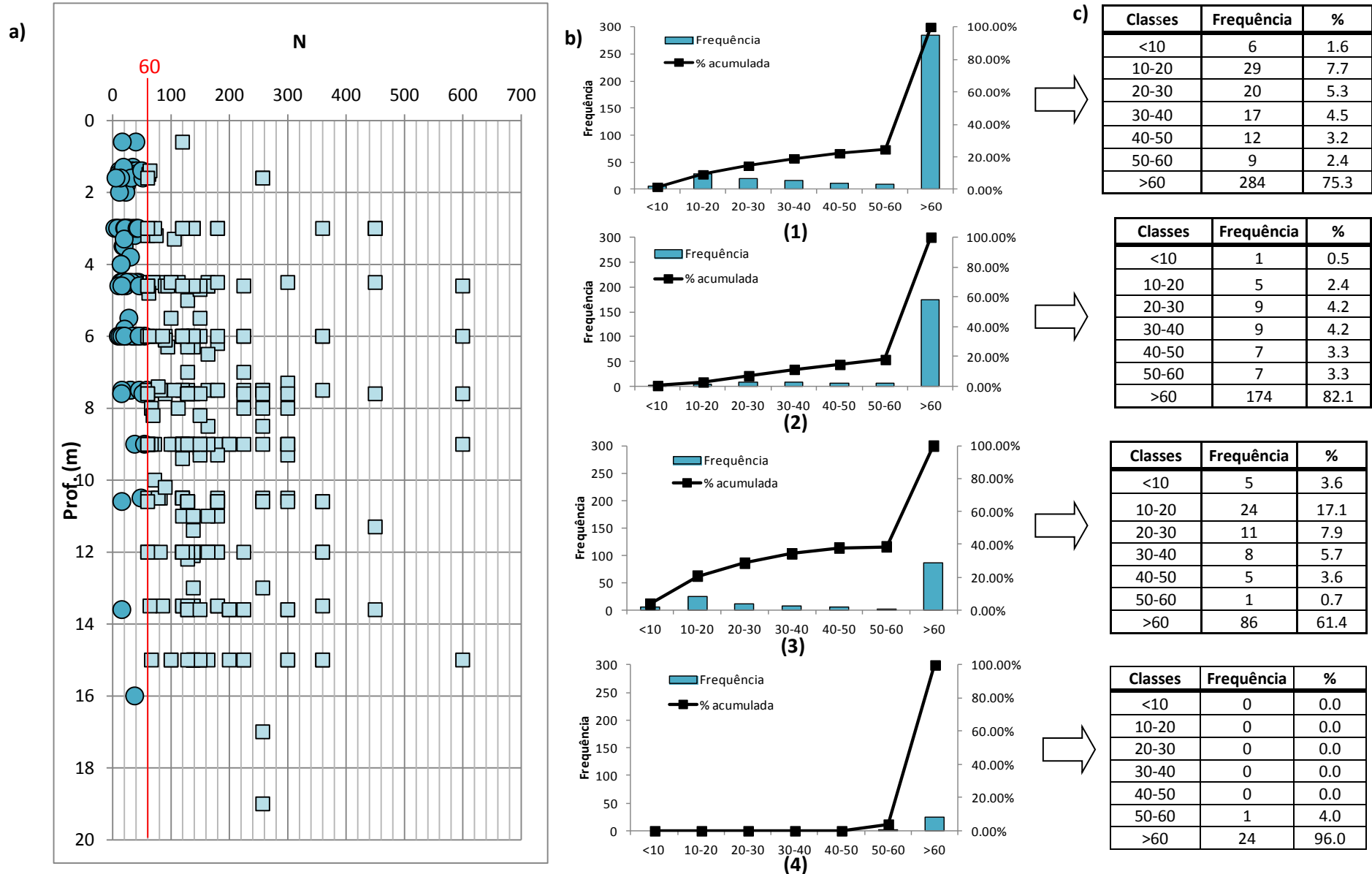


Figura 43- Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. (4) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.

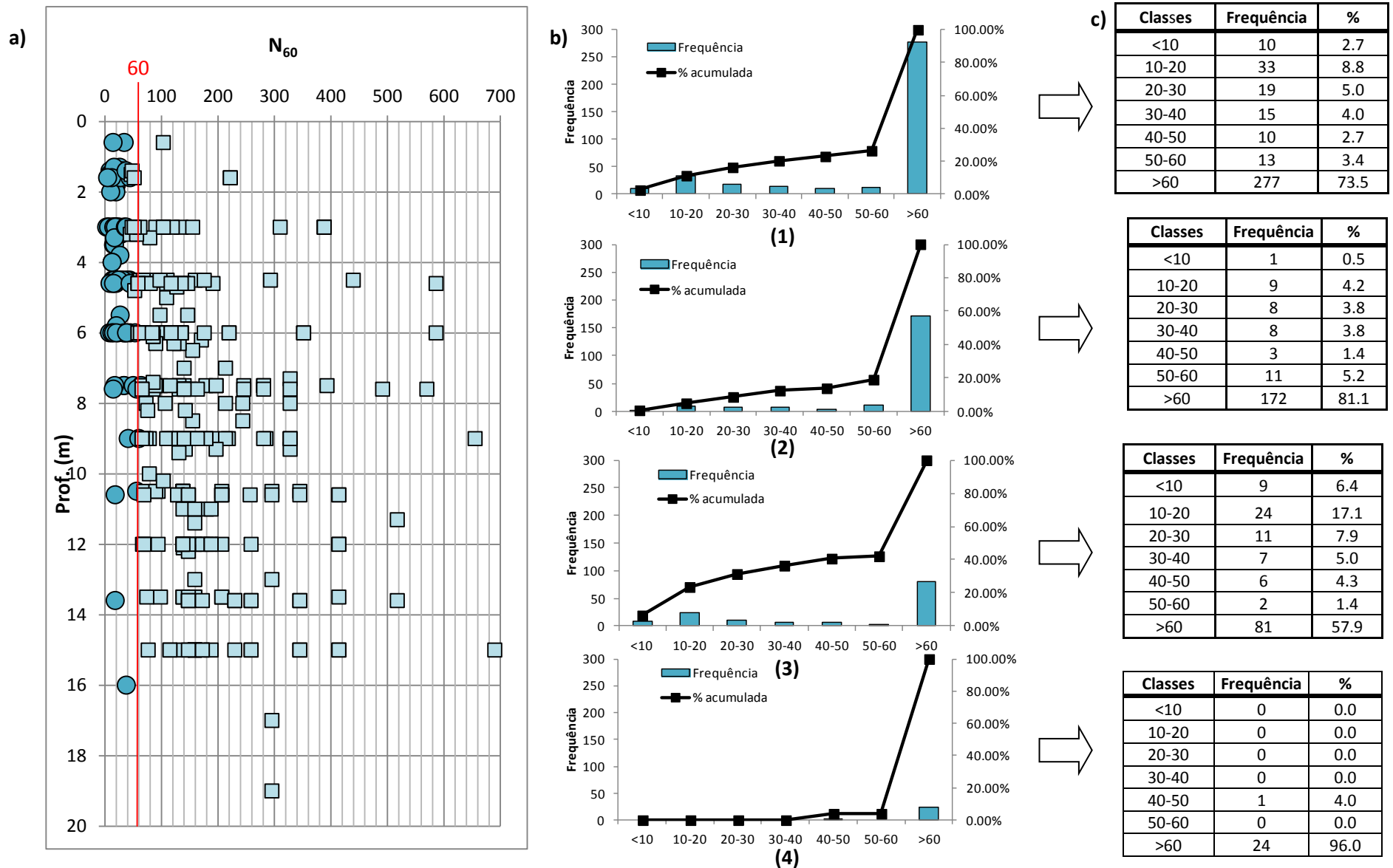


Figura 44- Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}). a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. (4) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60} .

Tabela 23- Distribuição dos valores de N e N₆₀ na unidade Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}), segundo as classes de compacidade e consistência (ver 4.3.4.1.).

CLASSES		N		N ₆₀	
		Frequência	%	Frequência	%
Compacidade Solos incoerentes (E 219-1968)	<4	0	0.0	0	0.0
	4-10	1	0.5	1	0.5
	10-30	14	6.6	17	8.0
	30-50	16	7.5	11	5.2
	>50	181	85.4	183	86.3
Total		212	100	212	100
Consistência Solos coerentes (E 219-1968)	<2	0	0.0	0	0.0
	2-4	1	0.7	1	0.7
	4-8	1	0.7	2	1.4
	8-15	11	7.9	19	13.6
	15-30	27	19.3	22	15.7
	>30	100	71.4	96	68.6
Total		140	100	140	100

Tabela 24- Parâmetros estatísticos de N e N₆₀ referentes à unidade Argilas de Forno do Tijolo (M_{IVa}), quanto à amostra total, solos incoerentes, solos coerentes e rochas.

		Máx.	Min.	Média	Mediana	Mo	P25%	P75%	n
N	Total	600	4	134	120	120	60	163	377
	S. Incoerentes	600	6	140	120	120	64	180	212
	S. Coerentes	600	4	102	82	138	23	138	140
	Rochas	600	52	257	257	300	150	300	25
N ₆₀	Total	690	3	139	129	138	57	171	377
	S. Incoerentes	690	5	150	138	138	68	176	212
	S. Coerentes	570	3	101	83	345	21	139	140
	Rochas	587	45	257	246	71	140	345	25

5.2.5. Calcários de Entrecampos

Esta unidade foi identificada em 19 dos 188 pontos de informação, que atravessam 169 m de espessura total.

Apesar de Cotter (1956) e Almeida (1991) definirem esta unidade como sendo maioritariamente constituída por calcários e calcarenitos bastante compactos e fossilíferos, através das descrições litológicas conclui-se que apenas 20% são rochas, dividindo-se o resto em 34% de areias, 25% em siltes, 19% em arenitos e 2% em argilas. Nesta unidade são frequentes os cascões fossilíferos e os nódulos carbonatados (Figura 45).

A composição desta unidade varia de ponto para ponto, sendo por vezes difícil de definir a transição para as Areolas da Estefânia.

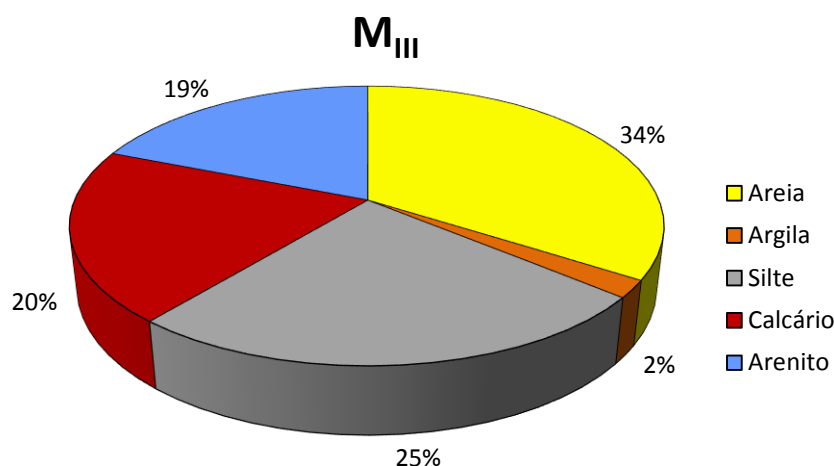


Figura 45- Caracterização litológica da unidade Calcários de Entrecampos (M_{III}) na área de estudo.

5.2.5.1. Ensaio SPT

Na unidade dos Calcários de Entrecampos foram recolhidos 85 ensaios SPT, realizados em diferentes litologias, até cerca de 30 m de profundidade. Os solos ensaiados dividem-se em solos incoerentes (n=35) e em rochas (n=39), sendo a amostragem em solos coerentes muito pequena (n=11).

Na Figura 46 observa-se a variação dos valores de N em diferentes intervalos de profundidade e verifica-se que os valores de N <60 concentram-se até 10 m de profundidade, sendo inexistentes a profundidades superiores a 15 m, evidenciando a descompressão dos

materiais até essa profundidade e que os valores de $N > 60$ pancadas são sempre dominantes a qualquer profundidade.

Para N total verifica-se que cerca de 93% dos ensaios têm valores superiores a 60 pancadas [Figura 47 b) e c)], sendo esta a classe dominante quer para os solos incoerentes quer para as rochas [Figura 47 b) e c)]. A maioria dos valores de $N > 60$ pancadas nos solos, está associada à presença de restos fossilíferos, de cascões e nódulos carbonatados.

Para N_{60} [Figura 48 b) e c)] verifica-se que os valores da classe $N_{60} > 60$ pancadas aumentam ligeiramente em relação a N apenas nos solos incoerentes e que no geral não existem grandes alterações.

Na Tabela 25 apresenta-se a distribuição dos valores de N e N_{60} segundo as respetivas classes propostas na Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968), em que se classifica os solos incoerentes como muito compactos.

Uma vez que a Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968), não propõe uma classificação para as rochas, não foi feita essa análise.

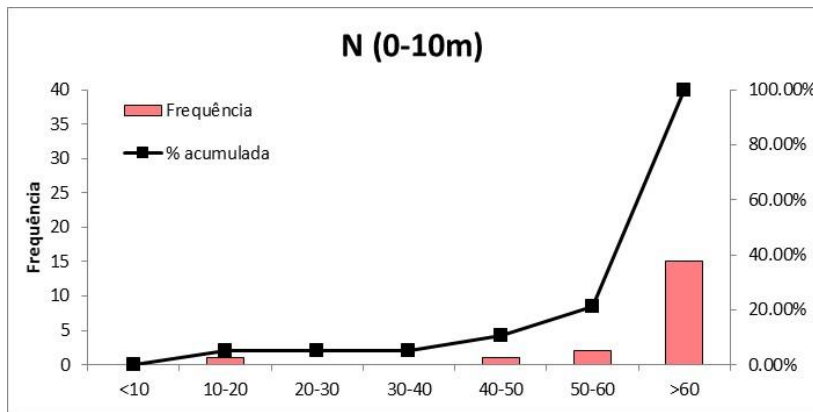
Através dos parâmetros estatísticos, apresentados na Tabela 26, relativos à distribuição dos resultados dos ensaios SPT sem e com correção (N e N_{60}), verifica-se que estes materiais apresentam resultados de SPT muito elevados, na medida em que o P75% é muito superior a 60 pancadas, tornando evidente a elevada resistência à penetração dos materiais desta unidade.

As rochas apresentam valores da média, da mediana, da moda, do P25% e do P75% superiores aos dos solos incoerentes (Tabela 26), evidenciando uma maior resistência à penetração das rochas, como seria de esperar.

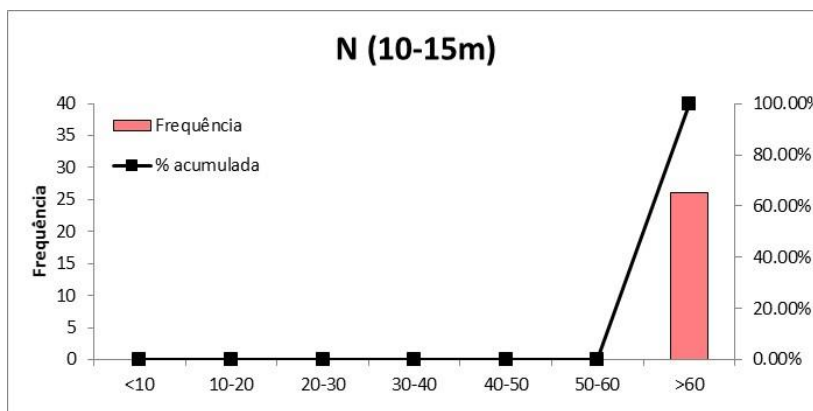
Os dados obtidos referentes à análise do N_{SPT} na unidade Calcários de Entrecampos (M_{III}) estão de acordo com os dados descritos por Almeida (1991) e Lopes (2001) relativamente à classificação dos solos incoerentes, em que estes são classificados como muito compactos.

Neste trabalho não foram analisados os solos coerentes, devido à amostragem ser muito pequena (n=11), sem representatividade suficiente para esta análise. Nos trabalhos de Almeida (1991) e Lopes (2001) os solos coerentes foram classificados como rijos.

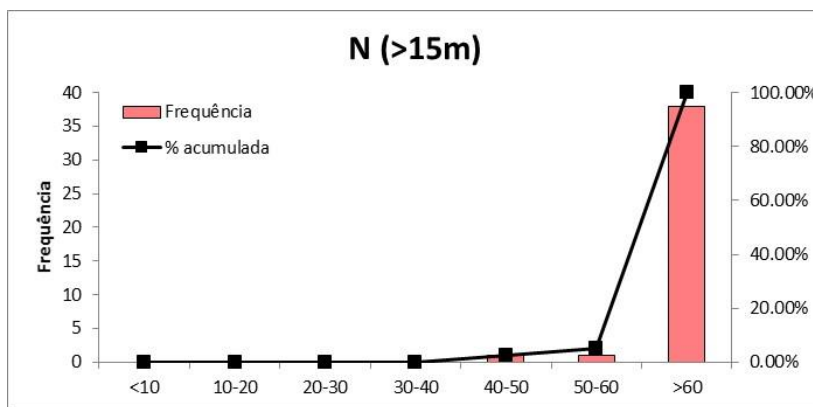
Almeida (1991) refere que a unidade Calcários de Entrecampos é a mais resistente da sequência miocénica com os valores do ensaio SPT mais elevados do que qualquer outra unidade.



Classes	Frequência	%
<10	0	0.0
10-20	1	5.3
20-30	0	0.0
30-40	0	0.0
40-50	1	5.3
50-60	2	10.5
>60	15	78.9



Classes	Frequência	%
<10	0	0.0
10-20	0	0.0
20-30	0	0.0
30-40	0	0.0
40-50	0	0.0
50-60	0	0.0
>60	26	100.0



Classes	Frequência	%
<10	0	0.0
10-20	0	0.0
20-30	0	0.0
30-40	0	0.0
40-50	1	2.5
50-60	1	2.5
>60	38	95.0

Figura 46- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Calcários de Entrecampos (M_{III}) para diferentes intervalos de profundidade e respetivas tabelas de frequência e percentagem.

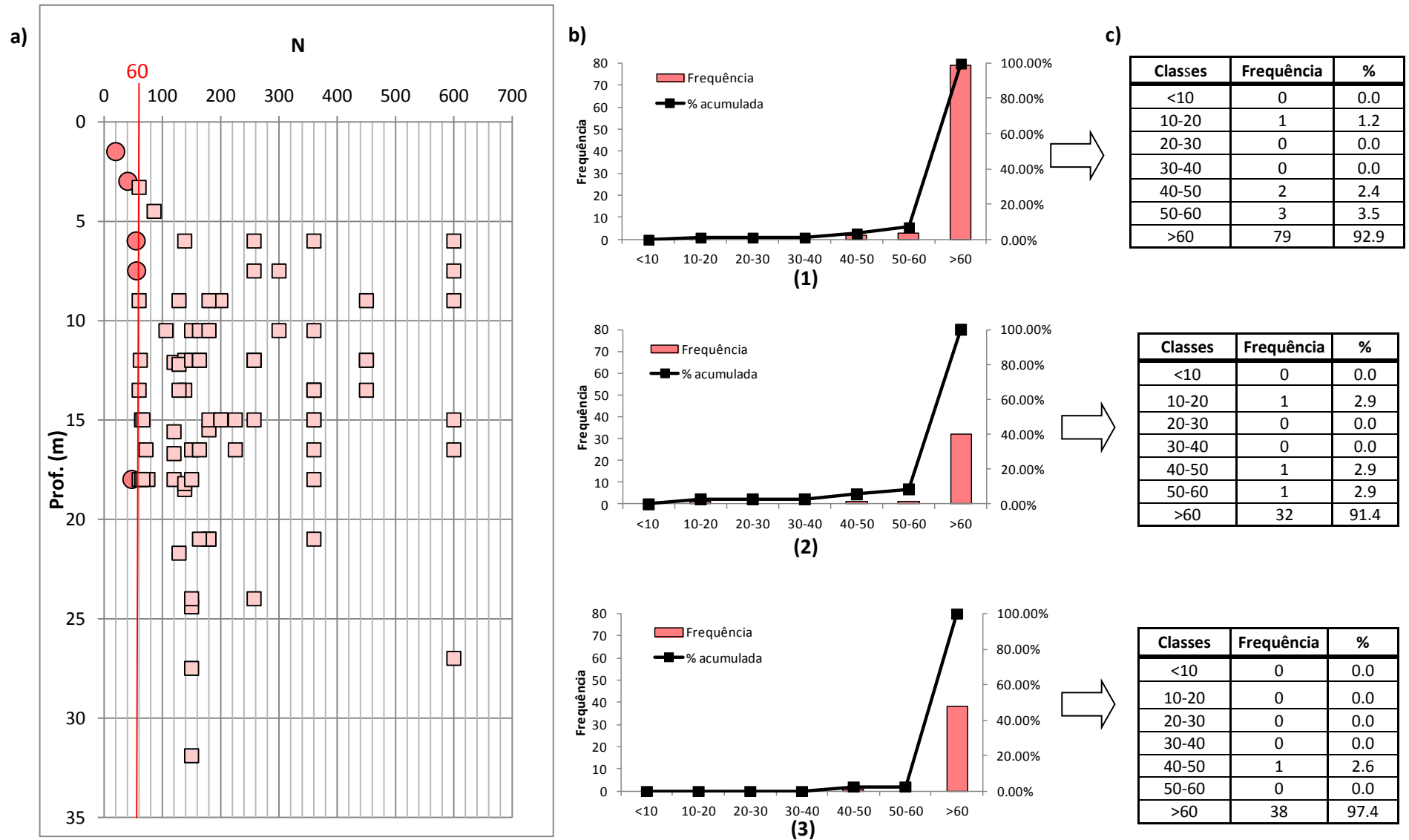


Figura 47- Calcários de Entrecampos (M_{III}). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.

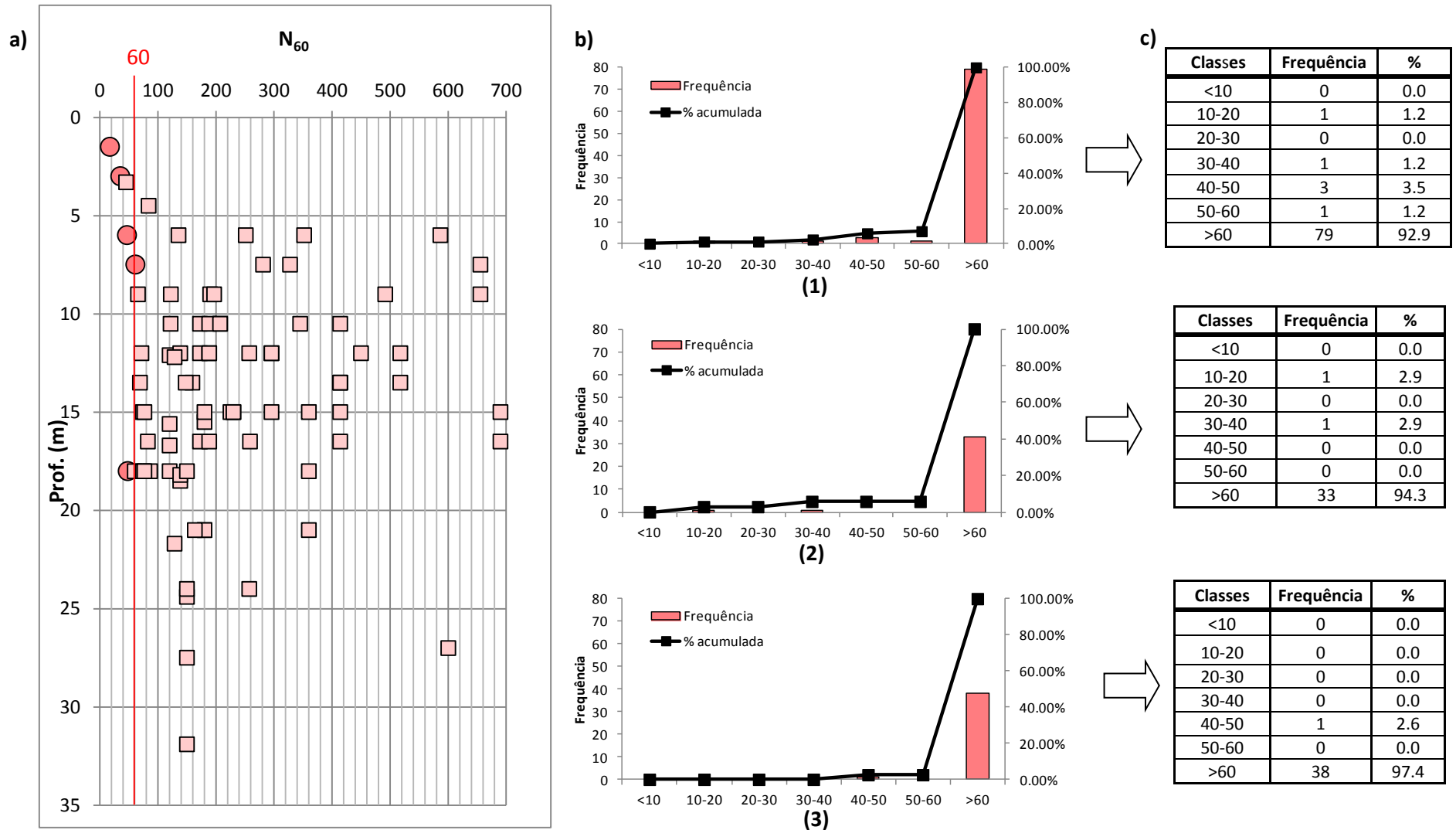


Figura 48- Calcários de Entrecampos (M_{III}). a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60} .

Tabela 25- Distribuição dos valores de N e N₆₀ na unidade Calcários de Entrecampos (M_{III}), segundo as classes de compacidade (ver 4.3.4.1.).

CLASSES		N		N ₆₀	
		Frequência	%	Frequência	%
Compacidade Solos incoerentes (E 219-1968)	<4	0	0.0	0	0.0
	4-10	0	0.0	0	0.0
	10-30	1	2.9	1	2.9
	30-50	1	2.9	1	2.9
	>50	33	94.3	33	94.3
Total		35	100	35	100

Tabela 26- Parâmetros estatísticos de N e N₆₀ referentes à unidade Calcários de Entrecampos (M_{III}), quanto à amostra total, solos incoerentes e rochas.

		Máx.	Min.	Média	Mediana	Mo	P25%	P75%	n
N	Total	600	20	218	164	360	120	300	85
	S. Incoerentes	600	20	180	150	257	75	257	35
	Rochas	600	48	267	200	360	150	360	39
N ₆₀	Total	690	17	235	180	414	122	328	85
	S. Incoerentes	656	17	188	150	150	84	257	35
	Rochas	690	48	296	230	414	173	414	39

5.2.6. Areolas de Estefânia

Esta unidade foi identificada em 22 dos 188 pontos de informação, atravessando aproximadamente 198 m de materiais, dos quais 55% são constituídos por areias, 31% por siltes, 7% por margas, 3% por argilas, 2% por areolas e 1% por calcários (Figura 49).

As descrições litológicas desta unidade são muito variadas encontrando-se frequentemente a referência à existência de cascões fossilíferos e micas.

Analisando a informação litológica, disponível através dos RG selecionados, concluiu-se que esta unidade é predominantemente constituída neste local por areias e siltes, que comparando com a sequência proposta por Cotter (1956) apresenta algumas diferenças

quanto à avaliação global de fácies presentes. Esta caracterização está de acordo com a obtida por Almeida (1991) e Lopes (2001).

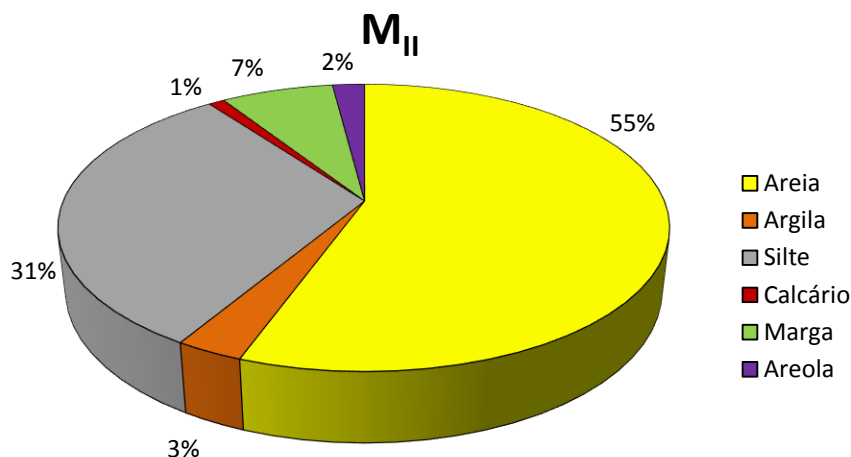


Figura 49- Caracterização litológica da unidade Areolas de Estefânia (M_{II}) na área de estudo.

5.2.6.1. Ensaios SPT

Na unidade das Areolas da Estefânia foram recolhidos 95 ensaios SPT, realizados em diferentes litologias, até cerca de 40 m de profundidade. Os solos ensaiados dividem-se em solos incoerentes ($n=67$) e em solos coerentes ($n=25$), sendo a amostragem em rochas muito pequena ($n=3$).

Na Figura 50 observa-se a variação dos valores de N em diferentes intervalos de profundidade e verifica-se que os valores de $N < 60$ pancadas encontram-se até aos 10 m de profundidade, sendo inexistentes a profundidades superiores a 10 m, evidenciando a descompressão dos materiais até essa profundidade. Os valores de $N > 60$ pancadas aumentam com a profundidade.

Para N total verifica-se que cerca de 68% dos ensaios têm valores superiores a 60 pancadas [Figura 51 b) e c)], dependendo este valor dos solos incoerentes [Figura 51 b) e c)]. Para os solos coerentes as classes de $N < 10$ e N entre 10-20 são inexistentes [Figura 51 b) e c)].

Para N_{60} [Figura 52 b) e c)] verifica-se que os valores da classe $N_{60} > 60$ pancadas diminuem ligeiramente em relação a N, e que no geral não existem grandes alterações.

Na Tabela 27 apresenta-se a distribuição dos valores de N e N_{60} segundo as respectivas classes propostas na Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968). Os solos incoerentes foram classificados como medianamente compactos a muito compactos e os solos coerentes como muito duros a rijos.

Através dos parâmetros estatísticos, apresentados na Tabela 28, relativos à distribuição dos resultados dos ensaios SPT sem e com correção (N e N_{60}), verifica-se que estes materiais apresentam resultados de SPT elevados, na medida em que o P75% é superior a 60 pancadas.

Os valores da média, da mediana, da moda, do P25% e do P75% relativos aos solos incoerentes são superiores aos valores dos solos coerentes, à exceção do valor da média para N , evidenciando de uma forma geral que os solos arenosos apresentam maior resistência à penetração que os solos argilosos (Tabela 28).

Os dados obtidos referentes à análise do N_{SPT} na unidade Areolas da Estefânia (M_{II}) estão de acordo com os descritos por Almeida (1991) e Lopes (2001). As autoras também classificaram os solos incoerentes como solos medianamente compactos a muito compactos e os solos coerentes como solos duros a rijos.

Relativamente à análise em profundidade as mesmas autoras também referiram os efeitos da descompressão dos materiais da unidade Areolas de Estefânia entre 15 e 20 m de profundidade.

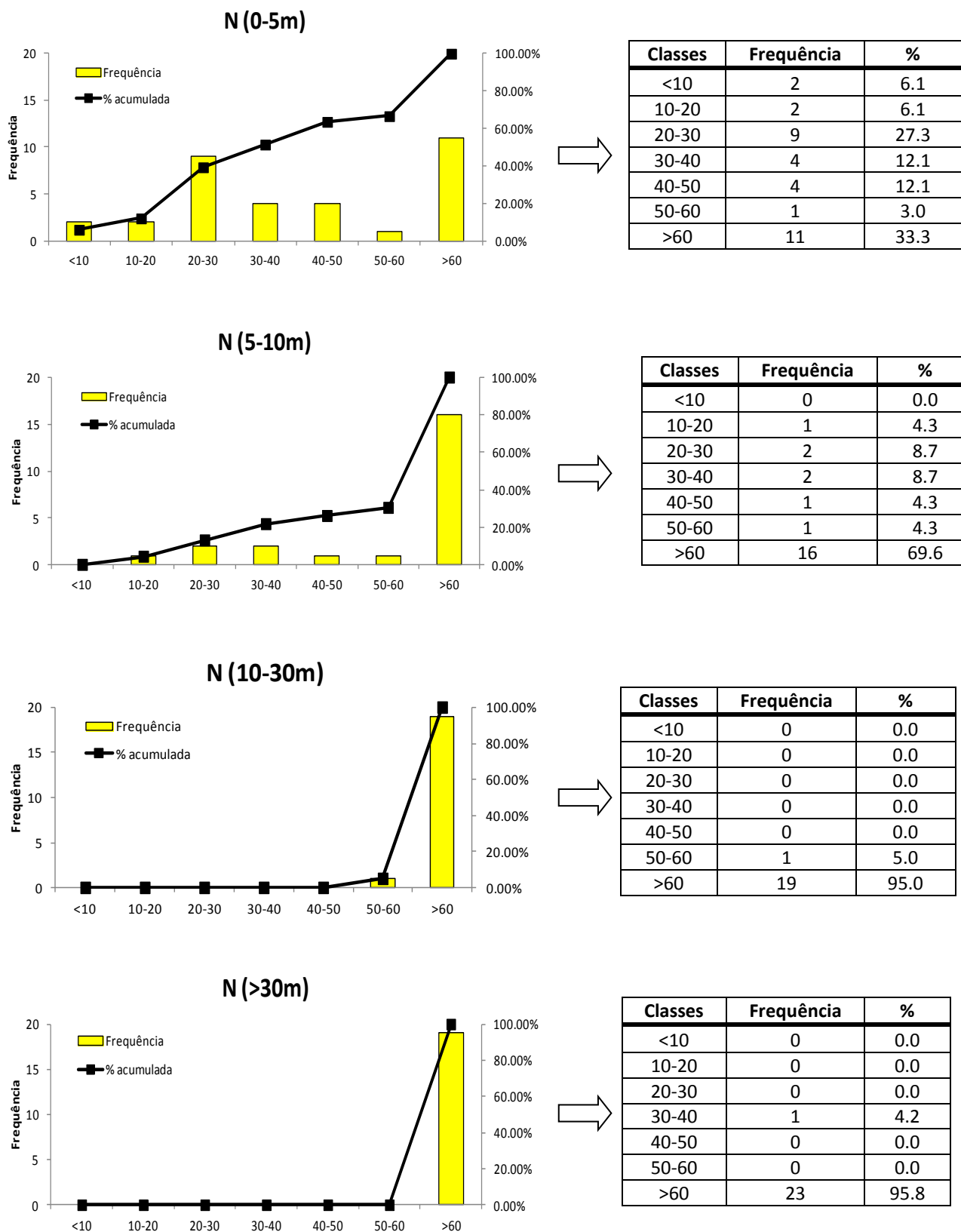


Figura 50- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Areolas de Estefânia (M_{II}) para diferentes intervalos de profundidade e respectivas tabelas de frequência e percentagem.

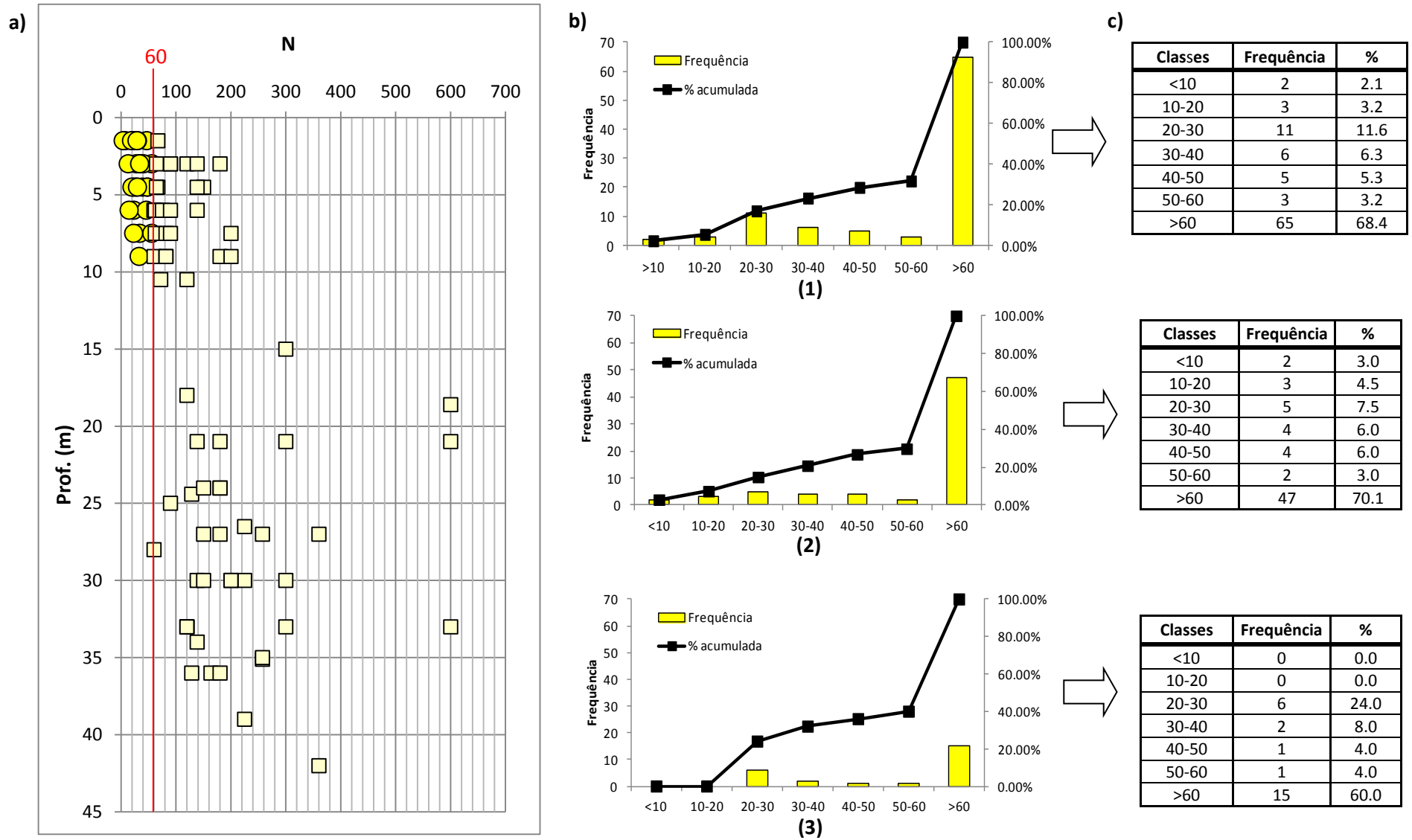


Figura 51- Areolas de Estefânia (M_{II}). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.

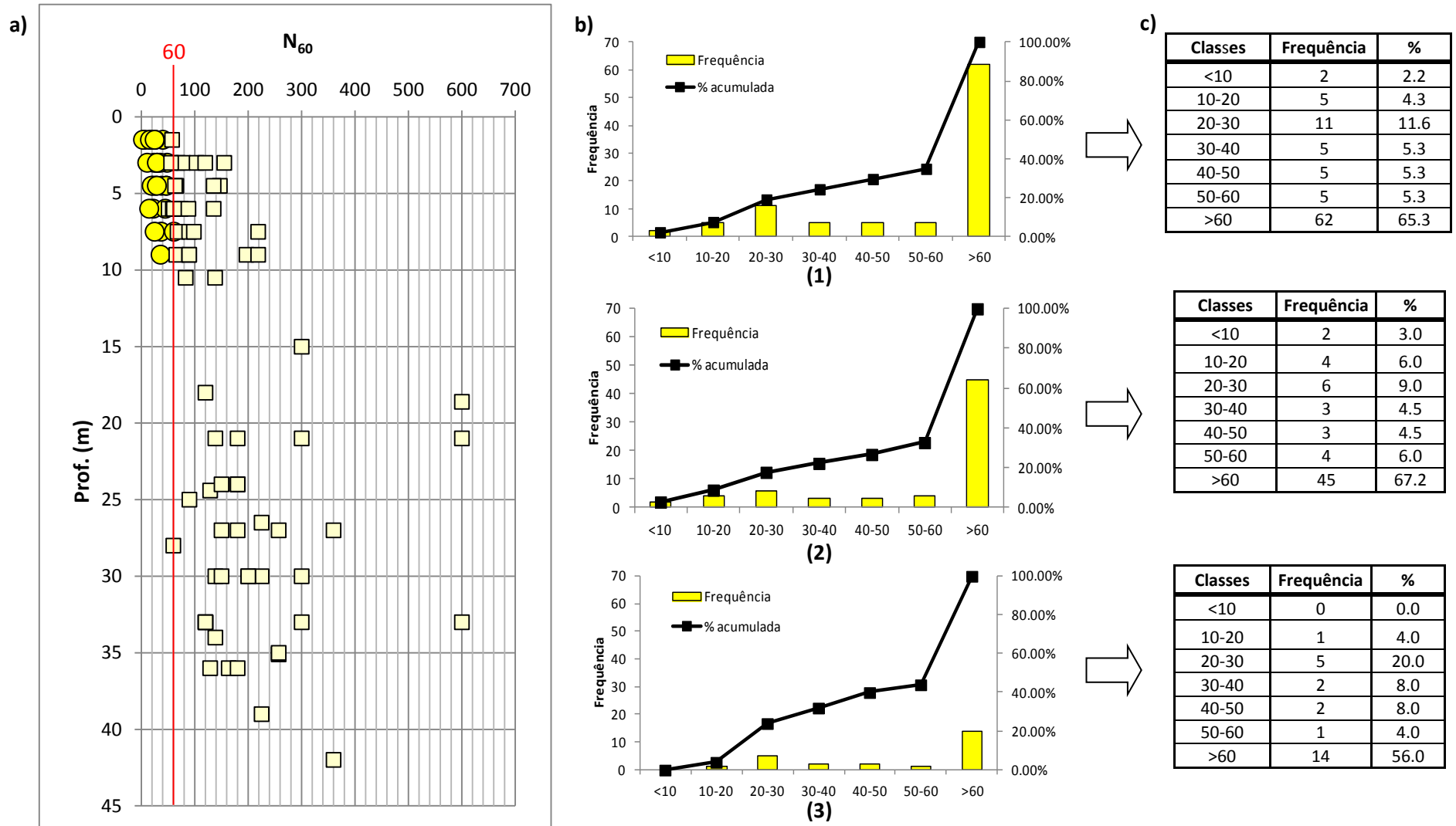


Figura 52- Areolas de Estefânia (M_{II}). a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos incoerentes. (3) Solos coerentes. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60} .

Tabela 27- Distribuição dos valores de N e N₆₀ na unidade Areolas de Estefânia (M_{II}), segundo as classes de compacidade e consistência (ver 4.3.4.1.).

CLASSES		N		N ₆₀	
		Frequência	%	Frequência	%
Compacidade Solos incoerentes (E 219-1968)	<4	1	1.5	1	1.5
	4-10	1	1.5	1	1.5
	10-30	8	11.9	10	14.9
	30-50	8	11.9	6	9.0
	>50	49	73.1	49	73.1
Total		67	100	67	100
Consistência Solos coerentes (E 219-1968)	<2	0	0.0	0	0.0
	2-4	0	0.0	0	0.0
	4-8	0	0.0	0	0.0
	8-15	0	0.0	0	0.0
	15-30	6	24.0	6	24.0
	>30	19	76.0	19	76.0
Total		25	100	25	100

Tabela 28- Parâmetros estatísticos de N e N₆₀ referentes à unidade Areolas de Estefânia (M_{II}), quanto à amostra total, solos incoerentes e solos coerentes.

		Máx.	Min.	Média	Mediana	Mo	P25%	P75%	n
N	Total	600	4	135	90	180	47	180	95
	S. Incoerentes	600	4	129	90	200	48	180	67
	S. Coerentes	300	21	138	64	120	33	150	25
N ₆₀	Total	600	3	128	89	180	45	180	95
	S. Incoerentes	600	3	138	90	189	47	197	67
	S. Coerentes	300	18	98	68	120	36	150	25

5.2.7. Argilas de Prazeres

Esta unidade foi identificada em 29 dos 188 pontos de informação, nos quais foram atravessados aproximadamente 191 m de espessura.

Nesta região as argilas são dominantes constituindo 67% do total atravessado e os restantes dividem-se em 18% de margas, 10% de siltes, 5% de areias e 0.4% de arenitos (Figura 53).

A unidade litostratigráfica nesta área corresponde a uma faixa de orientação SW-NE que reduz a sua largura a N do Lumiar. Este afloramento reduz-se progressivamente a partir da Calçada de Carriche continuando pelo Alto da Ameixoeira até desaparecer.

Nesta unidade predominam as cores escuras que podem ir desde o azul, passando pelo cinzento até ao negro, principalmente nas argilas e siltes, e são comuns níveis de cascão fossilíferos e níveis de mica associados a níveis arenosos.

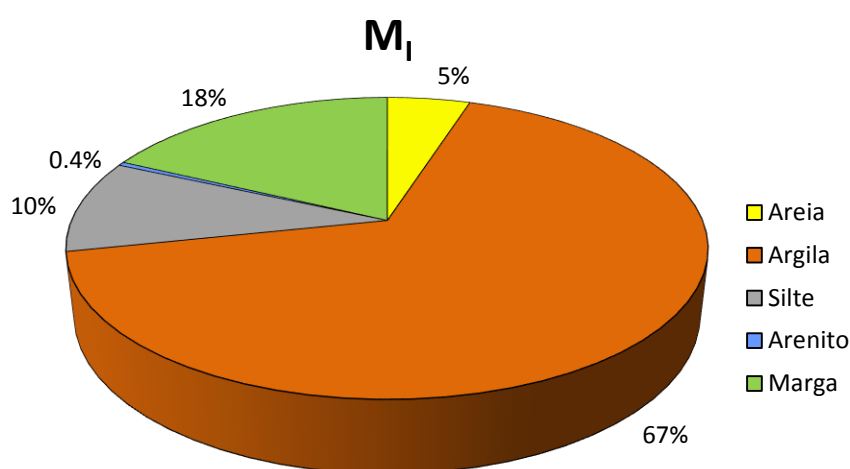


Figura 53- Caracterização litológica da unidade Argilas de Prazeres (M₁) na área de estudo.

5.2.7.1. Ensaaios SPT

Na unidade das Argilas de Prazeres foram recolhidos 89 ensaios SPT, realizados em diferentes litologias, até cerca de 50 m de profundidade. Os solos ensaiados dividem-se em solos coerentes (n=73) e em rochas (n=16), sendo a amostragem em solos incoerentes nula.

Na Figura 54 observa-se a variação dos valores de N em diferentes intervalos de profundidade e verifica-se que os valores de $N < 60$ pancadas encontram-se até os 10 m de profundidade, sendo inexistentes a profundidades superiores a 10 m, evidenciando a descompressão dos materiais até essa profundidade. Comparando com os resultados obtidos para a unidade Areolas de Estefânia, os efeitos de descompressão nesta unidade são muito menos evidentes. Os valores de $N > 60$ pancadas aumentam com a profundidade.

Para N total verifica-se que cerca de 69% dos ensaios têm valores superiores a 60 pancadas [Figura 55 b) e c)], dependendo este valor dos solos coerentes [Figura 55 b) e c)], sendo a classe de N entre 50 e 60 pancadas inexistentes. Apesar das rochas terem valores N que se encontram acima das 60 pancadas com penetrações que variam entre os 9 e os 49 cm, praticamente não têm expressão no total, havendo um predomínio de solos argilosos.

Comparando os valores de N com os valores de N_{60} [Figura 56 b) e c)] verifica-se que são semelhantes, não existindo grandes alterações.

Na Tabela 29 apresenta-se a distribuição dos valores de N e N_{60} segundo as respectivas classes propostas na Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968). Os solos coerentes foram classificados como solos muito duros a rijos.

Uma vez que a Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968), não propõe uma classificação para as rochas, não foi feita essa análise.

Através dos parâmetros estatísticos, apresentados na Tabela 30, relativos à distribuição dos resultados dos ensaios SPT sem e com correção (N e N_{60}), verifica-se que estes materiais apresentam resultados de SPT elevados, na medida em que o P75% é superior a 60 pancadas.

Os valores da média, da mediana, da moda, do P25% e do P75% obtidos para as rochas (Tabela 30) apesar de serem elevados, como seria de esperar, não têm grande expressão no total da amostra, porque em comparação com os outros tipos de solos (coerentes) são os que têm a amostragem mais pequena ($n=16$).

Os dados obtidos referentes à análise do N_{SPT} na unidade Argilas de Prazeres (M_1) estão de acordo com os descritos por Almeida (1991) e Lopes (2001) relativamente à classificação dos solos coerentes, em que estes são classificados como muito duros a rijos.

Neste trabalho não foram analisados os solos incoerentes, devido à amostragem ser nula. Nos trabalhos de Almeida (1991) e Lopes (2001) os solos incoerentes foram classificados como solos medianamente a muito compactos.

Relativamente à análise em profundidade Almeida (1991) referiu também a melhoria das características dos solos argilosos com a profundidade, evidenciada pela diminuição dos efeitos de descompressão para profundidades superiores a 10 m.

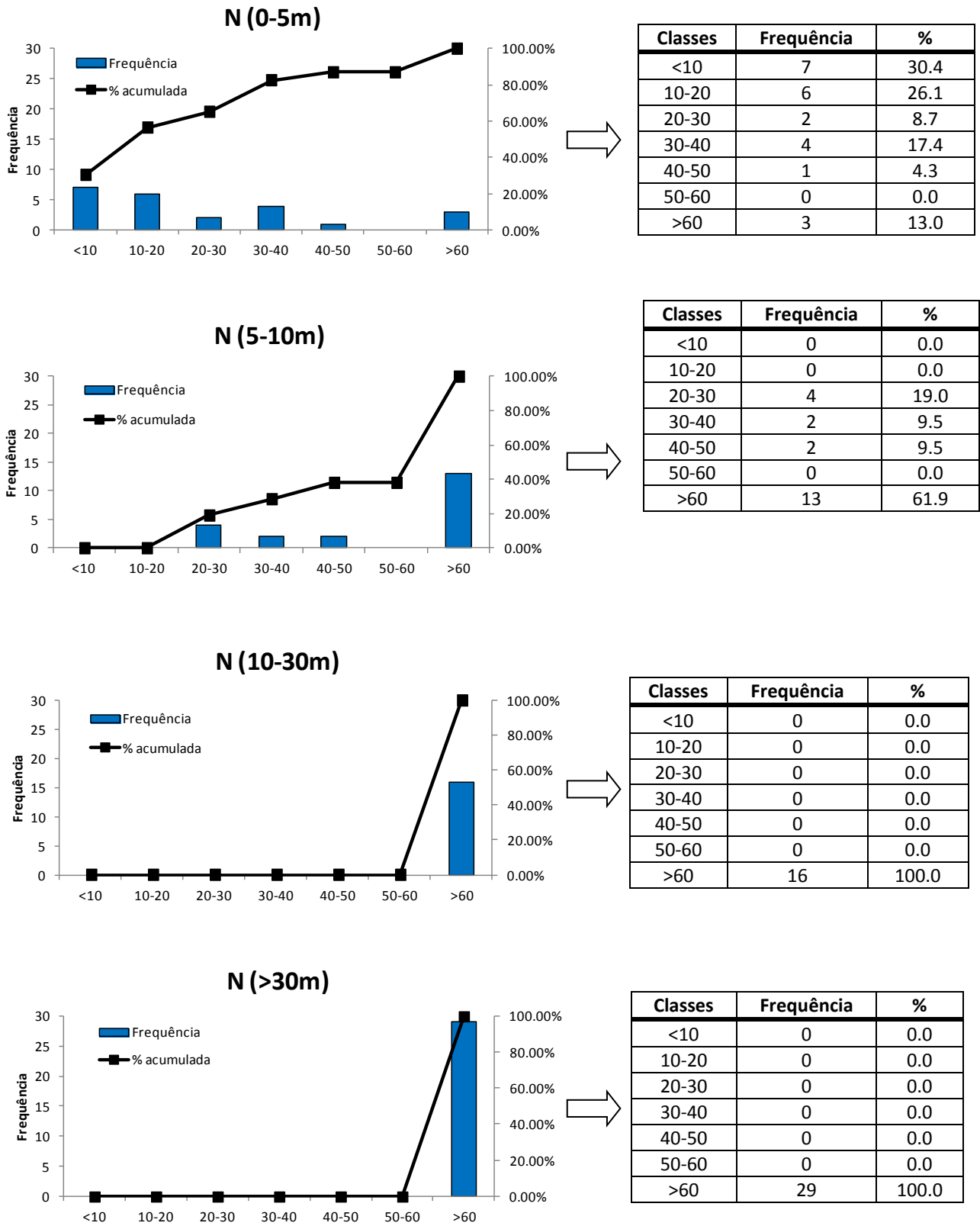


Figura 54- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Argilas de Prazeres (M₁) para diferentes intervalos de profundidade e respectivas tabelas de frequência e percentagem.

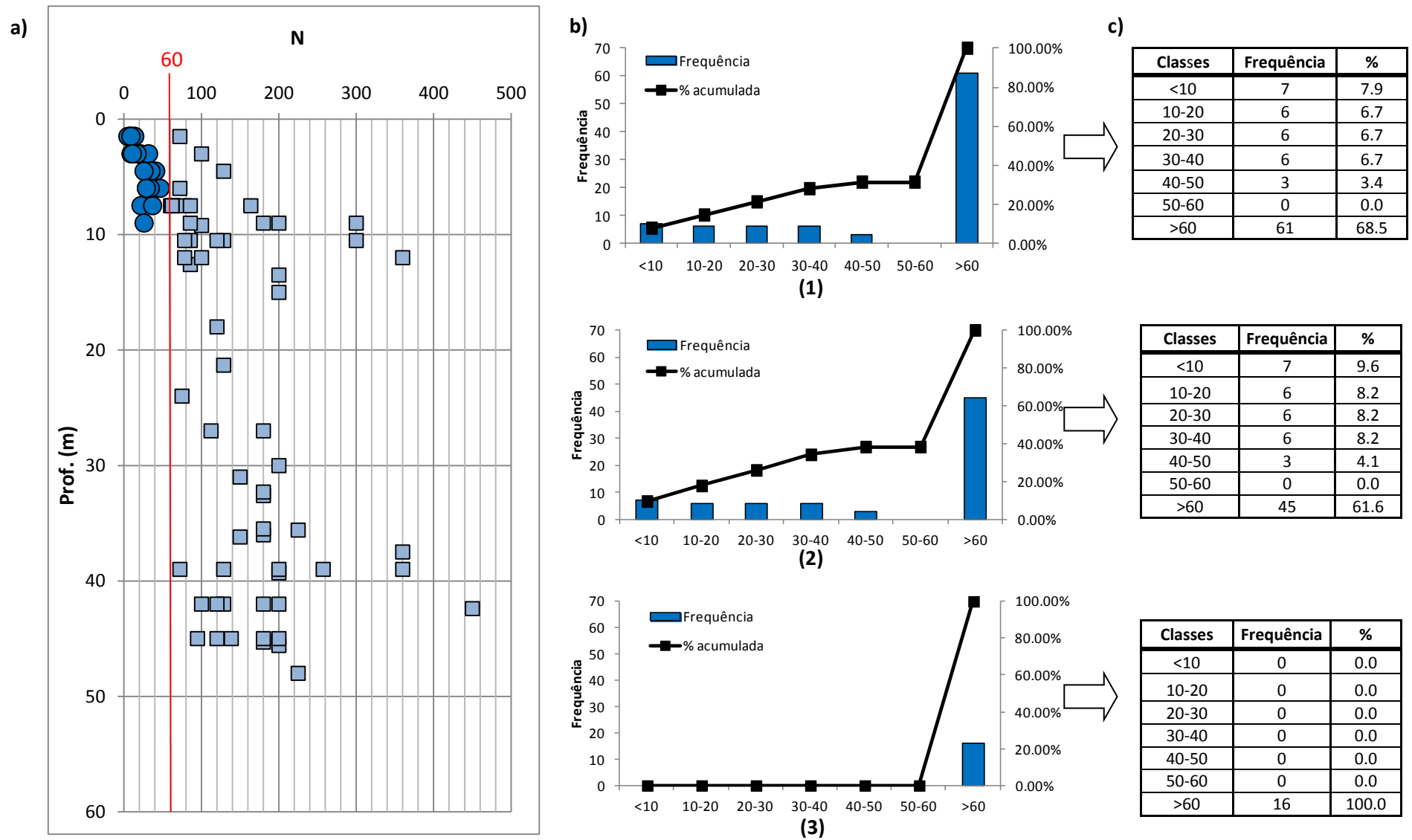


Figura 55- Argilas de Prazeres (M_i). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos coerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.

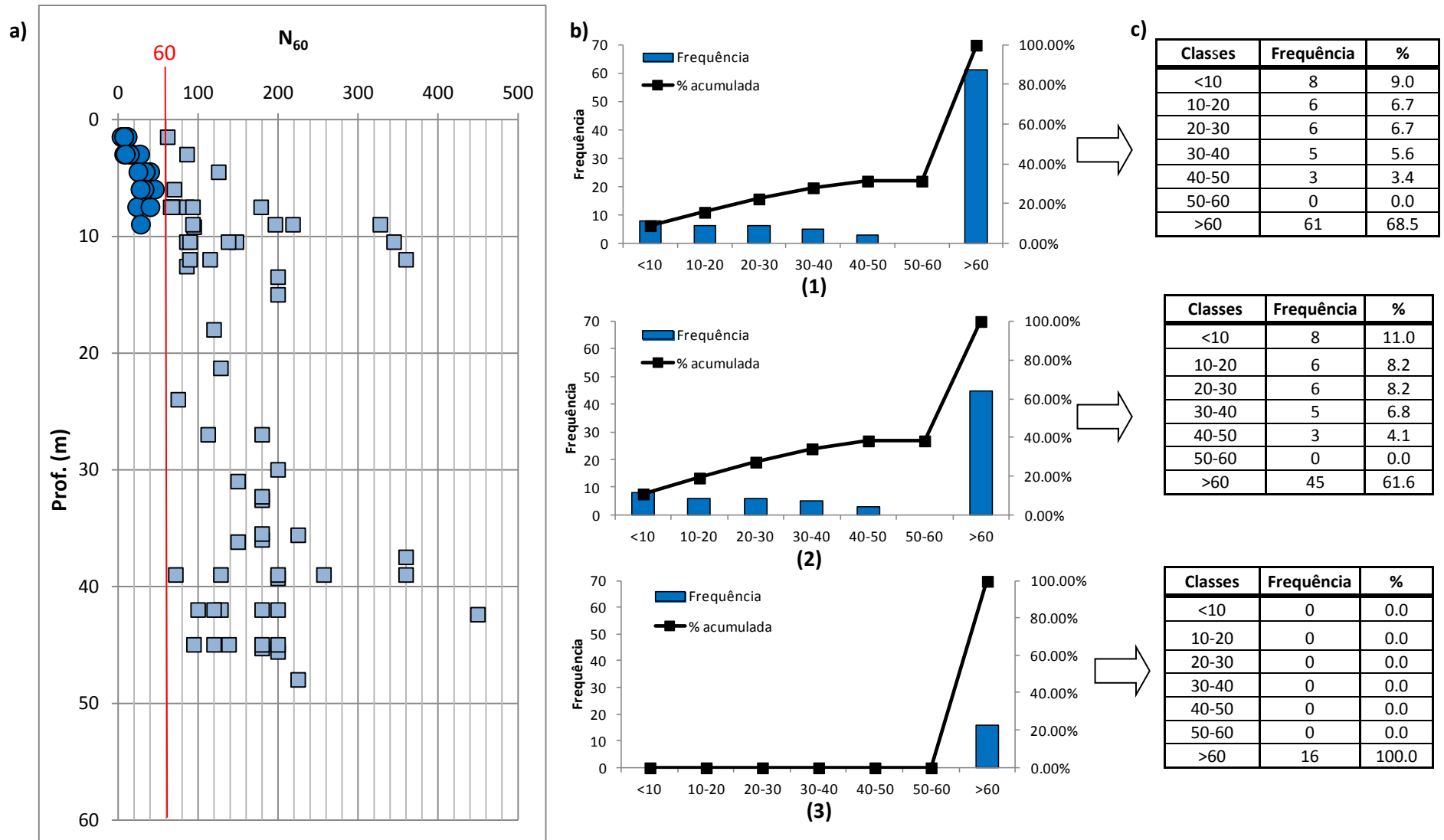


Figura 56- Argilas de Prazeres (M). a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos coerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60} .

Tabela 29- Distribuição dos valores de N e N₆₀ na unidade Argilas de Prazeres (M₁), segundo as classes de consistência (ver 4.3.4.1.).

CLASSES		N		N ₆₀	
		Frequência	%	Frequência	%
Consistência Solos coerentes (E 219-1968)	<2	0	0.0	0	0.0
	2-4	0	0.0	0	0.0
	4-8	4	5.5	7	9.6
	8-15	6	8.2	5	6.8
	15-30	9	12.3	8	11.0
	>30	54	74.0	53	72.6
Total		73	100	73	100

Tabela 30- Parâmetros estatísticos de N e N₆₀ referentes à unidade Argilas de Prazeres (M₁), quanto à amostra total, solos coerentes e rochas.

		máx	min	Média	Mediana	Mo	P25%	P75%	n
N	Total	450	5	116	100	180	35	180	89
	S. Coerentes	450	5	103	78	180	32	164	73
	Rochas	360	75	176	190	200	129	200	16
N ₆₀	Total	450	4	118	95	180	34	180	89
	S. Coerentes	450	4	104	86	180	28	179	73
	Rochas	360	75	182	198	200	129	200	16

5.2.8. Formação de Benfica

Esta unidade foi identificada em 69 dos 188 pontos de informação, atravessando aproximadamente 497 m de espessura.

Esta unidade é muito heterogénea, constituída por solos conglomeráticos fortemente sobreconsolidados dos quais cerca de 49% são arenitos, 34% argilas, 12% siltes, 4% areias, 1% margas e 0.2% calcários (Figura 57).

Nesta unidade predominam as cores alaranjadas, acastanhadas e avermelhadas, bem como a presença de nódulos carbonatados esbranquiçados.

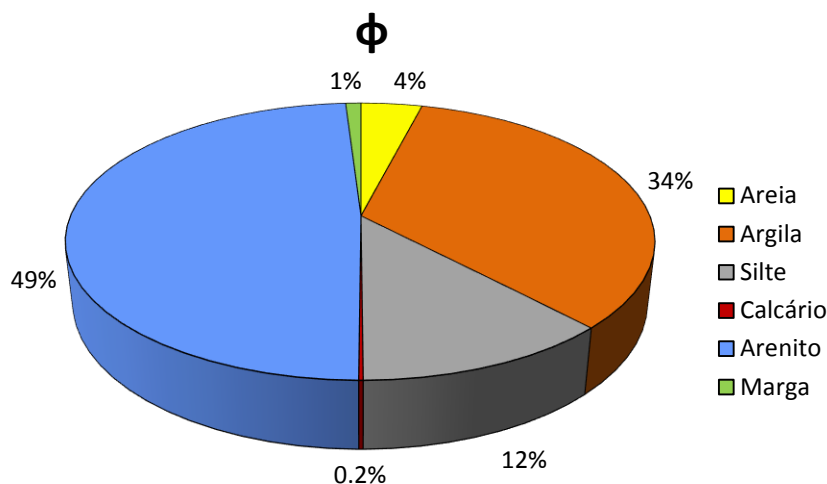


Figura 57- Caracterização litológica da unidade Formação de Benfica (ϕ), na área de estudo.

5.2.8.1. Ensaios SPT

Na unidade da Formação de Benfica foram recolhidos 346 ensaios SPT, realizados em diferentes litologias, até cerca de 45 m de profundidade. Os materiais ensaiados dividem-se em solos coerentes ($n=176$) e em rochas ($n=157$), sendo a amostragem em solos incoerentes muito pequena ($n=13$).

Na Figura 58 observa-se a variação dos valores de N em diferentes intervalos de profundidade e verifica-se que os valores de $N < 60$ pancadas encontram-se até os 10 m de profundidade, sendo inexistentes a profundidades superiores a 10 m, evidenciando a descompressão dos materiais até essa profundidade, e que os valores de $N > 60$ pancadas aumentam para profundidades maiores que 10 m.

Para N total verifica-se que cerca de 66% dos ensaios têm valores superiores a 60 pancadas [Figura 59 b) e c)], dependendo este valor dos solos coerentes e das rochas em igual proporção [Figura 59 b) e c)]. Para as rochas a classe de $N < 10$ pancadas é inexistente [Figura 59 b) e c)].

Para N_{60} [Figura 60 b) e c)] verifica-se que os valores da classe $N_{60} > 60$ pancadas diminuem ligeiramente em relação a N , e que no geral não existem grandes alterações.

Na Tabela 31 apresenta-se a distribuição dos valores de N e N_{60} segundo as respectivas classes propostas na Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968). Os solos coerentes foram classificados como solos muito duros a rijos.

Uma vez que a Especificação E 219-1968 (LNEC, 1968), não propõe uma classificação para as rochas, não foi feita essa análise.

Através dos parâmetros estatísticos, apresentados na Tabela 32, relativos à distribuição dos resultados dos ensaios SPT sem e com correção (N e N_{60}), verifica-se que estes materiais apresentam resultados de SPT elevados, na medida em que o P75% é superior a 60 pancadas, evidenciando elevada resistência à penetração.

Os valores da média, da mediana, do P25% e do P75% para N_{60} diminuem relativamente a N (Tabela 32) à exceção do valor da moda em que se verifica o contrário.

Os parâmetros estatísticos relativos aos solos coerentes e às rochas são muito semelhantes (Tabela 32). No entanto, de um modo geral, os solos argilosos apresentam valores mais elevados em relação às rochas, evidenciando o elevado grau de sobreconsolidação atingido por estes solos.

Os dados obtidos referentes à análise do N_{SPT} na unidade Formação de Benfica (ϕ) estão de acordo com os descritos por Almeida (1991) relativamente à classificação dos solos coerentes, em que estes são classificados como muito duros a rijos.

Neste trabalho não foram analisados os solos incoerentes, devido à amostragem ser pequena ($n=13$), sem representatividade suficiente para esta análise. Segundo Almeida (1991) os solos incoerentes foram classificados como solos muito compactos.

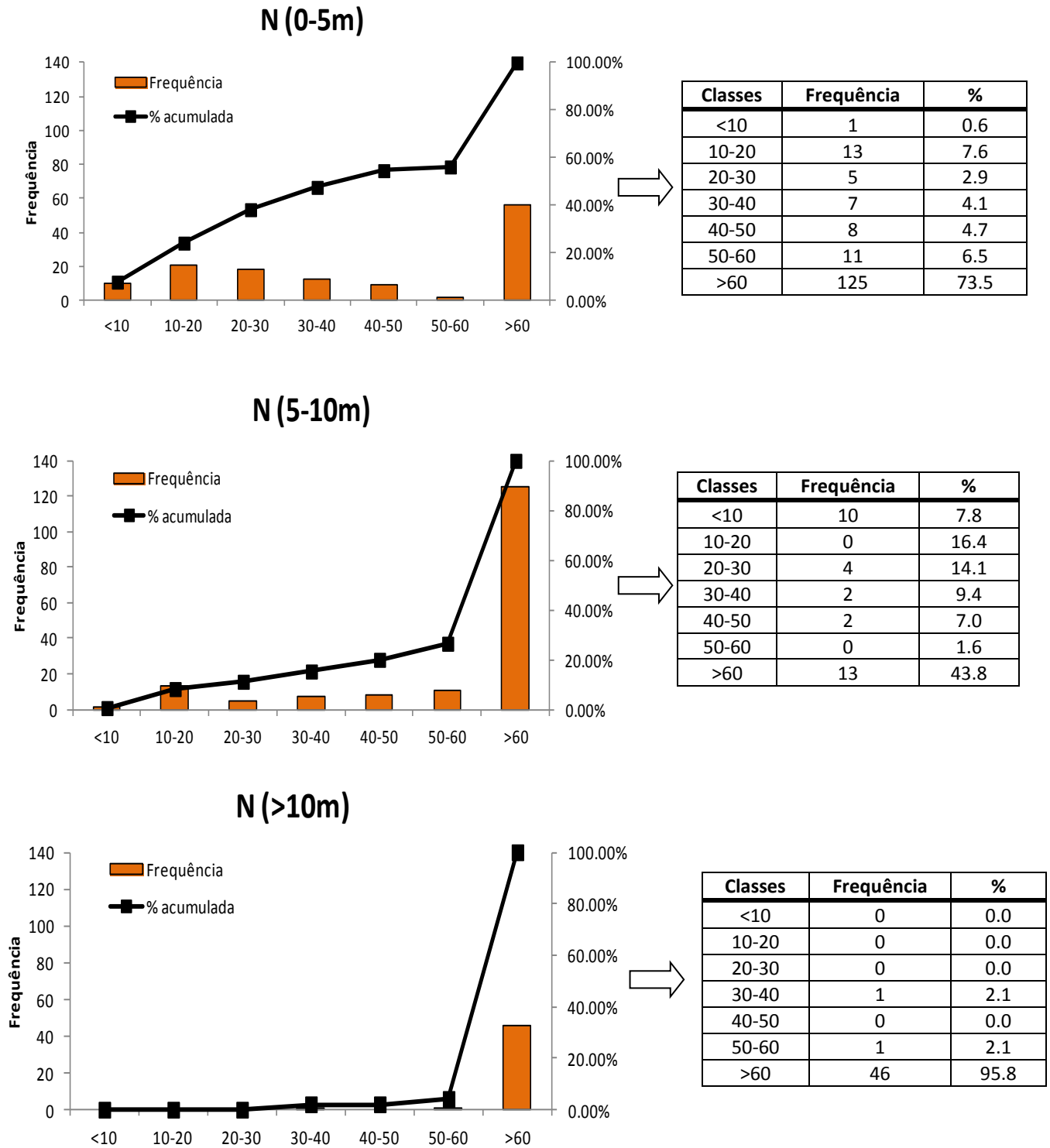


Figura 58- Histogramas da distribuição dos valores de N da unidade Formação de Benfica (ϕ), para diferentes intervalos de profundidade e respectivas tabelas de frequência e percentagem.

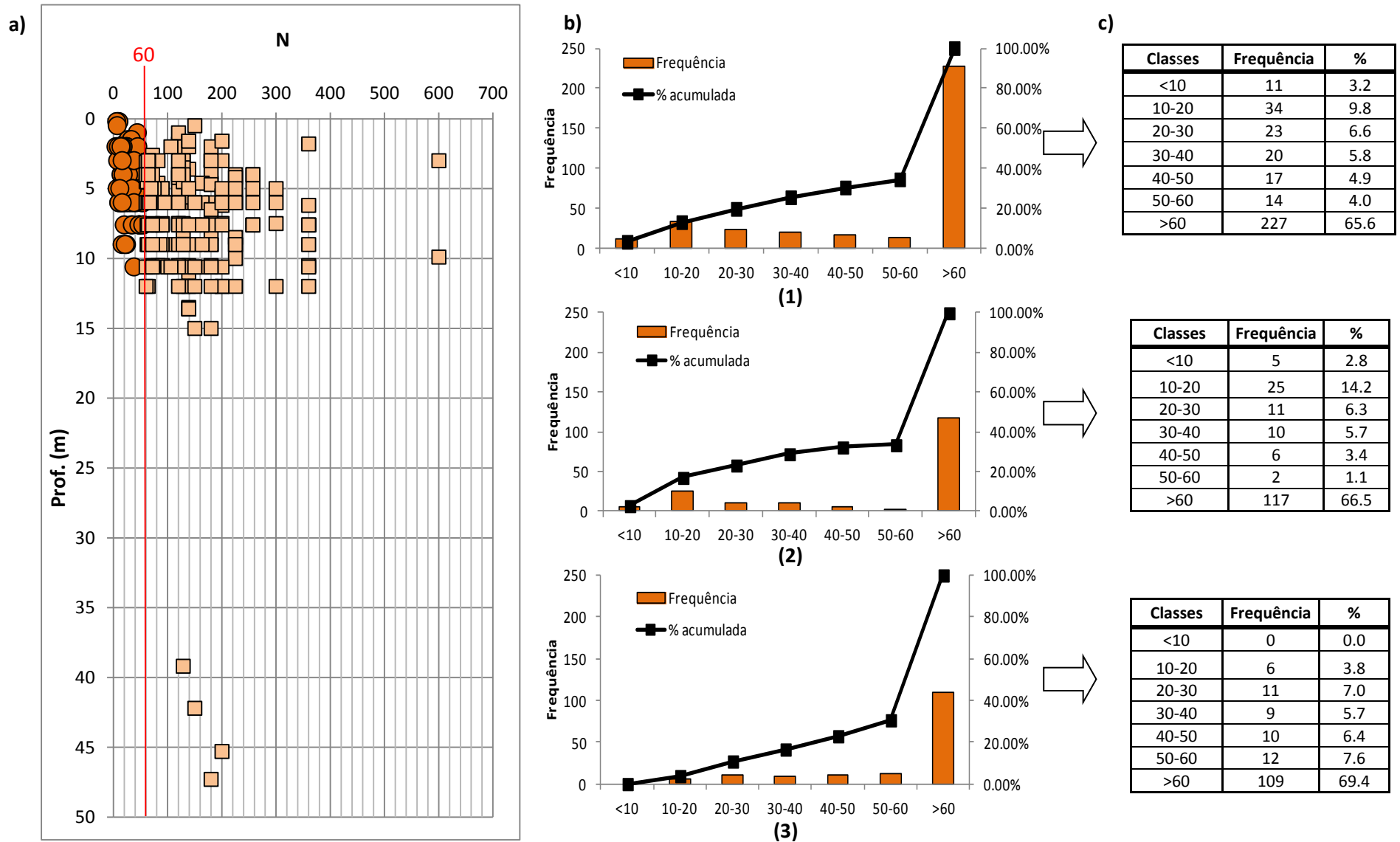


Figura 59- Formação de Benfica (ϕ). a) Variação de N com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N. (1) Total. (2) Solos coerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N.

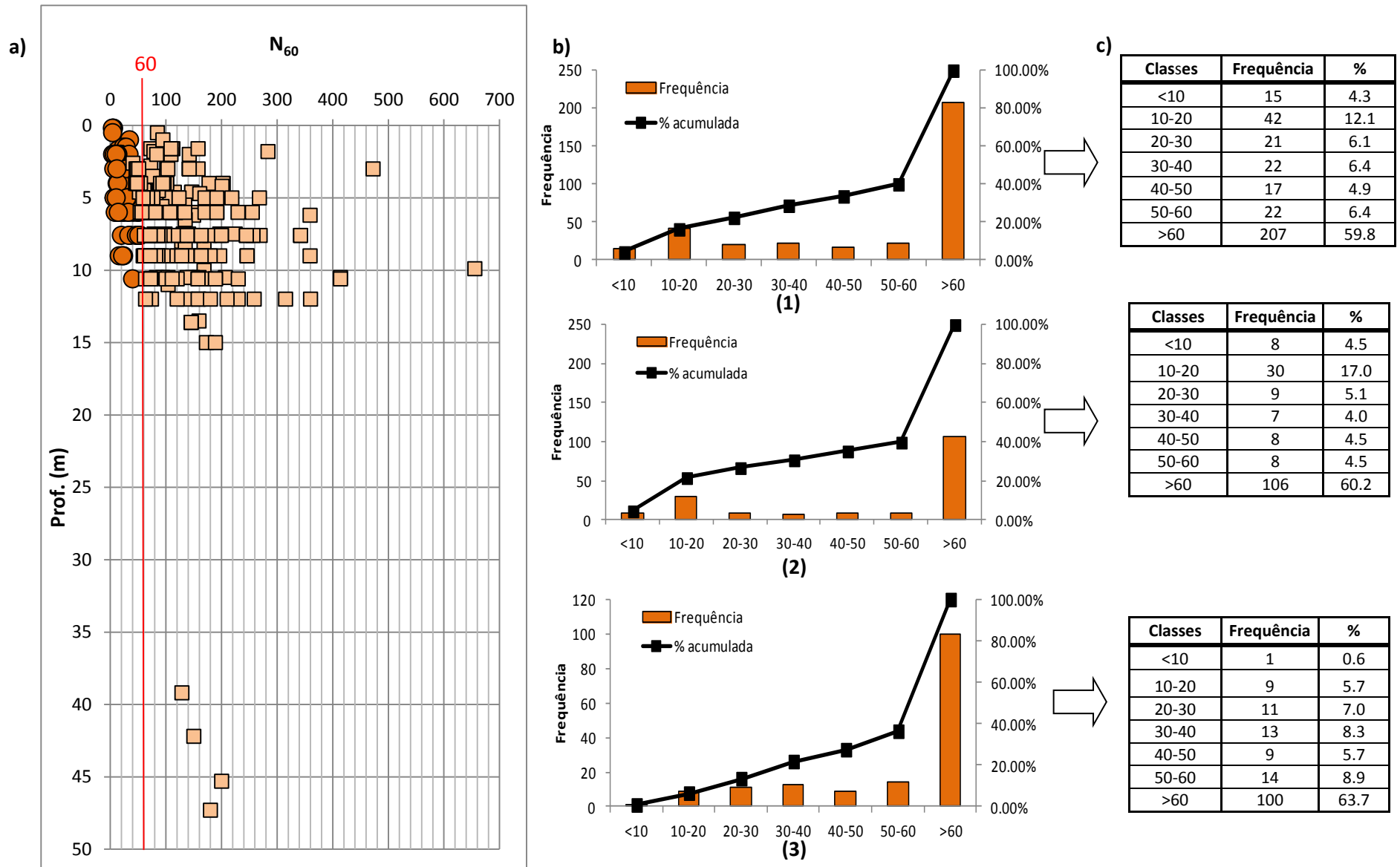


Figura 60- Formação de Benfica (ϕ). a) Variação de N_{60} com a profundidade; em círculos o número de pancadas obtidos para 30 cm de penetração e em quadrados o número de pancadas extrapolado (situações em que a penetração em cm corresponde a 60 pancadas). b) Histogramas de frequências e frequências acumuladas de N_{60} . (1) Total. (2) Solos coerentes. (3) Rochas. c) Tabelas de frequências e percentagem de N_{60} .

Tabela 31- Distribuição dos valores de N e N₆₀ na unidade Formação de Benfica (ϕ), segundo as classes de consistência (ver 4.3.4.1.).

CLASSES		N		N ₆₀	
		Frequência	%	Frequência	%
Consistência Solos coerentes (E 219-1968)	<2	0	0.0	0	0.0
	2-4	0	0.0	1	0.6
	4-8	3	1.7	3	1.7
	8-15	14	8.0	23	13.1
	15-30	24	13.6	20	11.4
	>30	135	76.7	129	73.3
Total		176	100	176	100

Tabela 32- Parâmetros estatísticos de N e N₆₀ referentes à unidade Formação de Benfica (ϕ), quanto à amostra total, solos coerentes e rochas.

		Máx.	Min.	Média	Mediana	Mo	P25%	P75%	n
N	Total	600	5	106	78	72	39	150	346
	S. Coerentes	600	5	109	90	72	35	150	176
	Rochas	360	11	108	78	64	53	150	157
N ₆₀	Total	656	4	96	74	142	34	141	346
	S. Coerentes	656	4	93	79	142	27	134	176
	Rochas	414	9	105	77	77	47	158	157

5.2.8.2. Ensaios de laboratório

Na unidade Formação de Benfica foram recolhidas quinze amostras na zona envolvente à Calçada de Carriche, no Bairro Vale de Forno e no Olival Basto, (L1-AM1, L1-AM2, L1-AM3, L1-AM4, L3-AM1, L3-AM2, L4-AM1, L4-AM2, L8-AM1, L9-AM1, L11-AM1, L11-AM2, L12-AM1, L13-AM1, L14-AM1), como mostra a Figura 8.

Os materiais amostrados foram tratados laboratorialmente de forma diferente consoante a sua litologia.

Nas amostras de solo (L1-AM1, L1-AM2, L1-AM3, L3-AM2, L4-AM1, L4-AM2, L8-AM1, L9-AM1, L12-AM1, L13-AM1, L14-AM1) foi determinado o teor em água, o pH, a percentagem

de carbonatos por diferença ponderal e pelo método gasométrico, em calcímetro de Eijkelkamp, a composição granulométrica com e sem carbonatos, os limites de consistência e a análise da composição mineralógica através dos difratogramas dos agregados orientados (fração argilosa <2 µm).

Nas amostras rochosas (L1-AM4, L3-AM1, L11-AM1, L11-AM2) foi determinado o teor em água, a percentagem de carbonatos por diferença ponderal e pelo método gasométrico, em calcímetro de Eijkelkamp, a composição granulométrica sem carbonatos e a análise da composição mineralógica através dos difratogramas da amostra total.

Os valores do teor em água variam consoante a litologia, nas amostras de solo variam entre 3% e 20%, com valor médio de 14% e nas amostras de rocha apresentam valores mais baixos, variam entre 3% e 17%, com valor médio de 9%.

Quanto aos valores de pH das amostras de solo, verificou-se que todas apresentam pH entre 7.6 e 8.5, sendo classificadas como subalcalinas (Tabela 33).

Tabela 33- Valor de pH das amostras de solo da Formação de Benfica.

AMOSTRAS	pH	
L1-AM1	8.07	Subalcalino
L1-AM2	8.47	Subalcalino
L1-AM3	8.33	Subalcalino
L3AM-2	8.39	Subalcalino
L4-AM1	8.28	Subalcalino
L4-AM2	8.30	Subalcalino
L8-AM1	8.46	Subalcalino
L9-AM1	8.45	Subalcalino
L12-AM1	8.36	Subalcalino
L13-AM1	8.21	Subalcalino
L14-AM1	8.31	Subalcalino

Em geotecnia a determinação deste parâmetro tem como principal objetivo, definir o potencial de corrosão do solo que se vai encontrar em contacto com os materiais de fundação, túneis ou *pipelines*. Neste caso, os solos ensaiados da Formação de Benfica, apresentam características subalcalinas, e por esta razão podem ser considerados como não corrosivos.

Quando se efetuou a desagregação das amostras com água, foram observados dois tipos de comportamento.

No primeiro tipo, a amostra desagregou-se em partículas finas, em pequenos aglomerados detríticos e ainda em partículas de maiores dimensões parcialmente cobertas com carbonatos. Nesta situação encontram-se 73% das amostras estudadas.

No segundo tipo de comportamento a amostra desagregou-se numa percentagem muito reduzida de partículas. Nesta situação encontram-se as restantes amostras (23%) que por não se desagregarem foram consideradas como rochas.

Nestas duas situações foi necessário proceder-se à descarbonatação com ácido clorídrico a 10%, de forma a ser possível observar as modificações ocorridas na curva granulométrica e estimar a percentagem de carbonato de cálcio por diferença ponderal.

Os resultados obtidos pelo método da diferença ponderal não foram satisfatórios, uma vez que as amostras não descarbonataram na totalidade e as percentagens de carbonatos obtidas para as amostras de rochas, deviam ser mais elevadas em comparação com as restantes amostras, e tal não aconteceu (Tabela 34).

Quando se aplicou o método gasométrico, em calcímetro de Eijkelkamp, para estimar a percentagem de carbonatos nas amostras, verificou-se que no geral as percentagens de carbonatos obtidas para as amostras de rocha eram ligeiramente mais elevadas em comparação com as restantes amostras (valores a sombreado) e que no geral as percentagens de carbonatos aumentaram em comparação com as obtidas pelo método da diferença ponderal (Tabela 34). Tal pode ser devido ao facto deste método estimar a percentagem de todos os carbonatos nas amostras e não apenas a percentagem de carbonato de cálcio.

Apesar do método gasométrico, em calcímetro de Eijkelkamp, ter dado resultados mais prováveis que o método da diferença ponderal, apresentou em três das amostras de solo (L3-AM2, L8-AM1 e 13-AM1) percentagens de carbonatos muito baixas (valores a **Bold**), quer quando comparadas com os resultados obtidos pelo método da diferença ponderal, quer quando comparadas com os resultados obtidos pelo método gasométrico, em calcímetro de Eijkelkamp (Tabela 34).

Tabela 34- Percentagem de carbonatos obtida pelo método da Diferença Ponderal e pelo método gasométrico, em calcímetro de Eijkelkamp, nas amostras de solo e nas amostras de rocha (valores a sombreado) da Formação de Benfica.

AMOSTRAS	% CaCO ₃ Diferença Ponderal	% Carbonatos Método gasométrico, em calcímetro de Eijkelkamp	Classificação segundo o teor em CaCO ₃ (Baize, 1988, <i>in</i> : Lopes, 2013).
L1-AM1	19	22.05	Solo Carbonatado
L1-AM2	18	29.16	Solo Carbonatado
L1-AM3	15	23.18	Solo Carbonatado
L1-AM4	23	44.67	Solo Carbonatado
L3-AM1	19	51.15	Solo Carbonatado
L3-AM2	25	10.94	Solo Carbonatado
L4-AM1	24	18.44	Solo Carbonatado
L4-AM2	18	39.01	Solo Carbonatado
L8-AM1	10	4.33	Solo Pouco Carbonatado
L9-AM1	18	22.93	Solo Carbonatado
L11-AM1	10	39.33	Solo Pouco Carbonatado
L11-AM2	13	45.95	Solo Pouco Carbonatado
L12-AM1	39	27.10	Solo Carbonatado
L13-AM1	18	3.06	Solo Carbonatado
L14-AM1	8	15.76	Solo Pouco Carbonatado

Segundo a classificação de Baize (1988, *in*: Lopes, 2013), das amostras estudadas neste trabalho 73% foram classificadas como Carbonatadas e 26% como Pouco Carbonatadas.

Na Figura 61 encontram-se as curvas granulométricas das amostras de solos com carbonatos (a) e de solos descarbonatados (b), onde o tracejado e a linha a cheio evidenciam os diferentes métodos utilizados para o estudo da fração fina e grosseira do solo.

As amostras de solo ensaiadas [Figura 61 (a)], são caracterizadas por granulometrias extensas que incluem desde areias com seixos a areias silto-argilosas.

A fração grosseira inclui areias finas, médias e grosseiras em proporções variadas, cujas percentagens variam entre 35% e 57% e seixos com percentagens que variam entre 20% e 40%.

A fração fina é constituída por siltes grosseiros, médios e finos, cujas percentagens variam entre 13% e 32% e por uma percentagem muito pequena de argilas (<0.8%).

Com a observação da Figura 61 (a) e (b) verifica-se que a fração fina (<0.062 mm) diminui com a descarbonatação e que a fração grosseira também diminui ligeiramente com a descarbonatação. O facto de a fração fina diminuir com a descarbonatação pode ter a ver com a presença de carbonatos nas dimensões dos siltes e argilas.

Comparando os resultados das granulometrias obtidos neste trabalho com os obtidos pelas autoras Almeida (1991) e Guedes (1997), verificaram-se algumas semelhanças mas também algumas diferenças.

Almeida (1991), caracterizou os solos da Formação de Benfica ensaiados, como solos de granulometrias extensas que incluem areias e areias com seixos, areias arenosas e argilosas, siltes arenosos e siltes argilosos, argilas e argilas siltosas e arenosas. A fração grosseira constituída no mínimo por 14%, inclui areias finas, médias e grosseiras em proporções muito variadas e seixos que atingem percentagens muito elevadas (>50%). A fração fina inclui siltes grosseiros, médio e finos, argilas e partículas coloidais, sendo a percentagem de argilas mais elevada que a percentagem de siltes.

Guedes (1997) também analisou amostras da Formação de Benfica colhidas na mesma área que a analisada neste trabalho (uma no Olival Basto e outra em Odivelas), classificando os solos como solos grosseiros que incluem seixos e areias com matriz silto-argilosa e como solos finos essencialmente siltosos. A percentagem de argilas existente nestes solos varia entre 9% e 11%, a percentagem de siltes varia entre 39% e 90%, a percentagem de areias varia entre 0% e 49% e as percentagens de seixos variam entre 0% e 3%. A explicação que deu para justificar o facto da fração siltosa ser mais elevada que a fração argilosa, foi a presença de carbonatos na matriz, que são responsáveis pela agregação de partículas de argilas conferindo-lhes a dimensão de siltes.

Observando a Tabela 35 é possível concluir através dos valores do Coeficiente de Uniformidade e do Coeficiente de Curvatura, que as amostras de solo da Formação de Benfica analisados neste trabalho são bem graduados.

Tabela 35- Valores do Diâmetro Efetivo, Coeficiente de Uniformidade e Coeficiente de Curvatura obtidos para as amostras de solo da Formação de Benfica.

AMOSTRAS	Diâmetro Efetivo D₁₀	Coeficiente de Uniformidade C_u	Coeficiente de Curvatura C_c
L1-AM1	0.02	62.50	0.51
L1-AM2	0.04	51.43	2.41
L1-AM3	0.02	47.50	1.90
L3-AM2	0.03	72.00	0.80
L4-AM1	0.02	53.33	0.30
L4-AM2	0.03	72.00	2.28
L8-AM1	0.02	78.26	2.47
L9-AM2	0.02	125.00	0.31
L12-AM1	0.01	65.00	0.38
L13-AM1	0.03	72.00	0.50
L14-AM1	0.02	127.27	4.06

Na Figura 62 encontra-se a curva granulométrica das amostras de rocha depois de descarbonatadas, onde o tracejado evidencia os diferentes métodos utilizados para o estudo da fração fina e grosseira. É preciso ter em conta, aquando da análise destas curvas granulométricas, que as amostras não foram descarbonatadas na totalidade, porventura o cimento destas amostras não seria carbonato de cálcio mas provavelmente de outra natureza.

Com a observação da Figura 62, verifica-se que em todas as amostras a fração fina apresenta uma percentagem muito inferior relativamente à fração grosseira, e que a percentagem de argilas é muito reduzida (<0.2%).

As amostras L3-AM1 (verde), L11-AM1 (azul turquesa) e L11-AM2 (rosa) são muito semelhantes, apresentando a fração grosseira maioritariamente constituída por partículas na dimensão dos seixos, cuja percentagem varia entre 74% e 80% e por uma menor percentagem de areias que varia entre 11% e 20%. A fração fina é constituída por siltes cuja percentagem varia entre 5% e 13% e por argilas cuja percentagem varia entre 0.03% e 0.1%.

A amostra L1-AM4 (azul) apesar de ser constituída por partículas na dimensão dos seixos (9%), dos siltes (15%) e das argilas (0.2%), apresenta-se maioritariamente constituída por areias (76%).

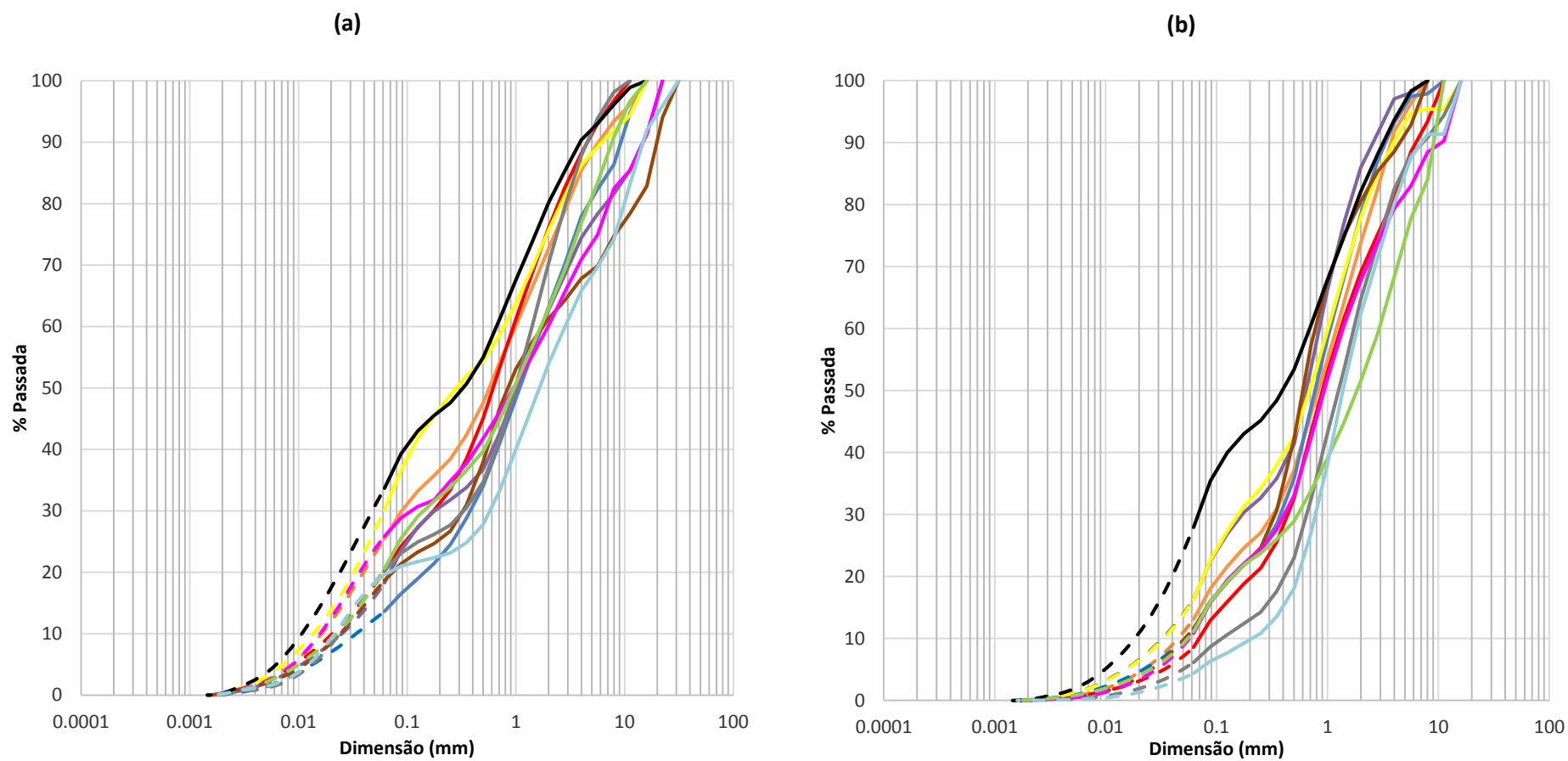


Figura 61- Curvas granulométricas das amostras de solo da Formação de Benfica. (a) amostras de solos com carbonatos. (b) amostras de solos descarbonatados.

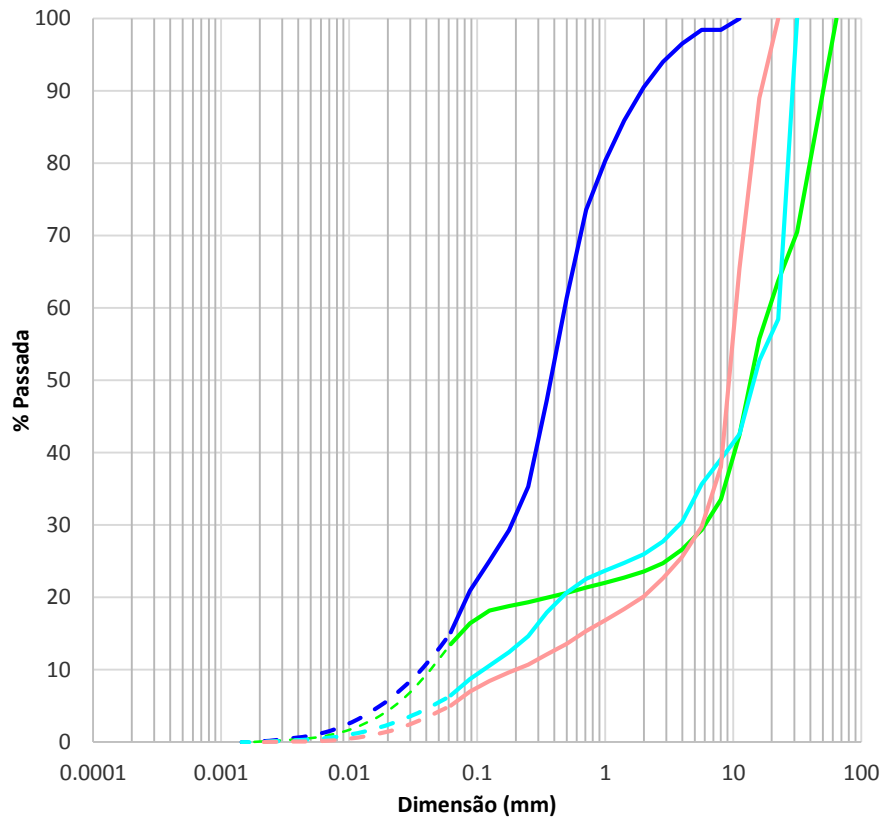


Figura 62- Curva granulométrica das amostras de rocha da Formação de Benfica.

Com base na composição granulométrica no caso das amostras de solo e com base no teor em carbonatos e na composição granulométrica no caso das amostras de rocha, foi possível projetar as amostras nos diagramas triangulares de classificação textural (Figuras 63 e 64).

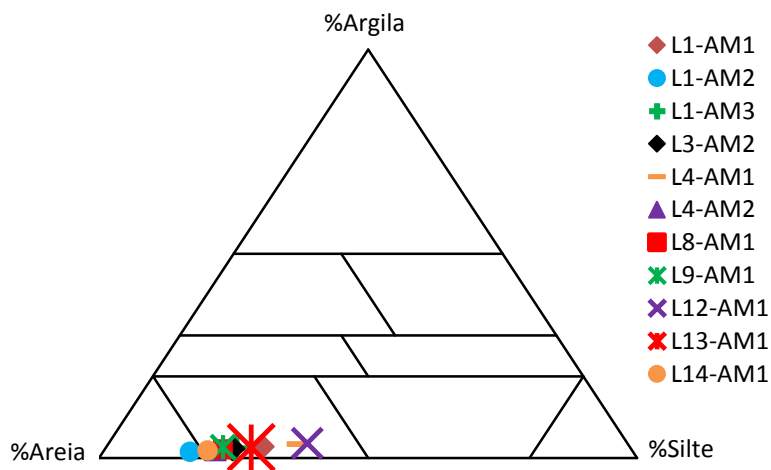


Figura 63- Classificação textural dos solos referentes às amostras da Formação de Benfica.

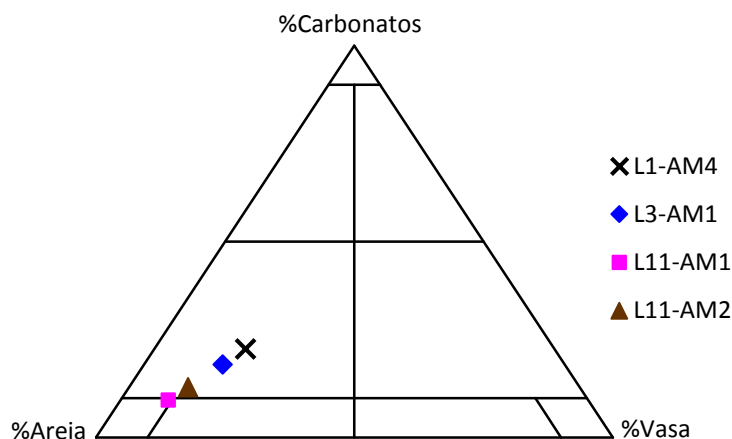


Figura 64- Classificação textural das rochas referentes às amostras da Formação de Benfica.

Como se pode verificar, texturalmente as amostras de solo classificam-se maioritariamente como Areias Siltosas (Figura 63), e as amostras de rocha classificam-se maioritariamente como Calcários e Arenitos, existindo uma amostra de Arenito (L11-AM1) (Figura 64).

Dionísio (1994) e Guedes (1997) também classificaram os solos referentes a amostras da Formação de Benfica, como sendo predominantemente constituídos por areias siltosas.

Na Tabela 36 apresentam-se os valores dos limites de consistência, dos índices de consistência, da percentagem e da atividade das argilas, obtidos nas amostras de solo ensaiadas, referentes à Formação de Benfica.

Tabela 36- Valores dos limites de consistência (W_L , W_P , W_S), dos índices de consistência (I_P , I_C , I_L), da percentagem de argilas ($\% < 0.002$ mm) e da atividade das argilas (A_C), obtidos nas amostras de solo da Formação de Benfica.

AMOSTRAS	W_L	W_P	W_S	I_P	I_C	I_L	$\% < 0.002$ mm	A_C
L1-AM1	52	46	32	6	5.3	-4.3	0.7	9.1
L1-AM2	45	31	25	14	2.4	-1.4	0.3	53.7
L1-AM3	51	28	24	23	2.1	-1.1	0.5	50.7
L3-AM2	56	34	27	22	1.9	-0.9	0.4	56.3
L4-AM1	62	44	24	18	2.5	-1.5	0.7	26.8
L4-AM2	50	35	29	15	2.6	-1.6	0.6	23.3
L8-AM1	77	57	34	20	3.3	-2.3	0.3	63.6
L9-AM2	63	42	27	21	2.3	-1.3	0.6	34.9
L12-AM1	46	31	23	15	2.1	-1.1	0.8	19.1
L13-AM1	84	60	36	24	2.7	-1.7	0.5	52.5
L14-AM1	90	71	39	19	4.1	-3.1	0.5	41.3

Os valores do limite de liquidez (W_L) são bastante elevados variando entre 45 e 90, com valor médio de 61.5 (Tabela 36).

Os valores do índice de plasticidade (I_p) variam entre 6 e 24, com valor médio de 17.9, indicando que as amostras remexidas são predominantemente plásticas ($I_p > 15$) (Tabela 36).

Os valores de índice de consistência (I_c) variam entre 1.9 e 5.3, com o valor médio de 2.8, classificando as amostras *in situ* como argilas muito duras a rijas ($I_c > 0.75$) (Tabela 36).

Os valores do índice de liquidez (I_L) variam entre -4.2 e 0.9, com valor médio de -1.8, classificando as amostras *in situ* como argilas não plásticas ($I_L < 0$) (Tabela 36).

Relativamente aos valores da atividade das argilas, das amostras ensaiadas, estes variam entre 9.1 e 63.6, com valor médio de 39.2 (Tabela 36), classificando as argilas como muito ativas [Figura 36 (b)]. Tal facto poderá resultar de dois fatores, da natureza dos principais minerais argilosos presentes na fração argilosa (esmectites com atividades entre 0.33 e 11.5 e paligorskite com atividade entre 0.57 e 1.23) e da existência de aglomerados de partículas argilosas na dimensão dos siltes.

Comparando os resultados obtidos para a atividade das argilas, com os obtidos pelas autoras Almeida (1991), Dionísio (1994) e Guedes (1997), verifica-se que são semelhantes pois as argilas são classificadas como ativas a muito ativas. No entanto os valores obtidos para a atividade das argilas neste trabalho são muito mais elevados que em qualquer um dos três trabalhos analisados.

Segundo Almeida (1991) os valores de atividade para as amostras da Formação de Benfica, variam entre 0.5 e 4, com valor médio de 1.6, classificando as argilas como ativas.

Segundo Dionísio (1994) os valores de atividade para as amostras da Formação de Benfica, variam entre 4.1 e 20.8, com valor médio de 8.6, classificando as argilas como muito ativas.

Segundo Guedes (1997) os valores de atividade para as amostras da Formação de Benfica, variam entre 2.21 e 20.41, com valor médio de 8.04, classificando as argilas como ativas.

No gráfico de Casagrande [Figura 65 (a)] estão projetados os dados de plasticidades das amostras de solo da Formação de Benfica. Como se pode verificar existe um predomínio de solos de alta plasticidade, apenas duas amostras exibem baixa plasticidade.

Na Figura 65 (b) confirma-se que o valor da plasticidade é predominantemente elevado ($I_p > 15$), que a percentagem de argila é muito baixa e que a atividade das argilas é muito elevada.

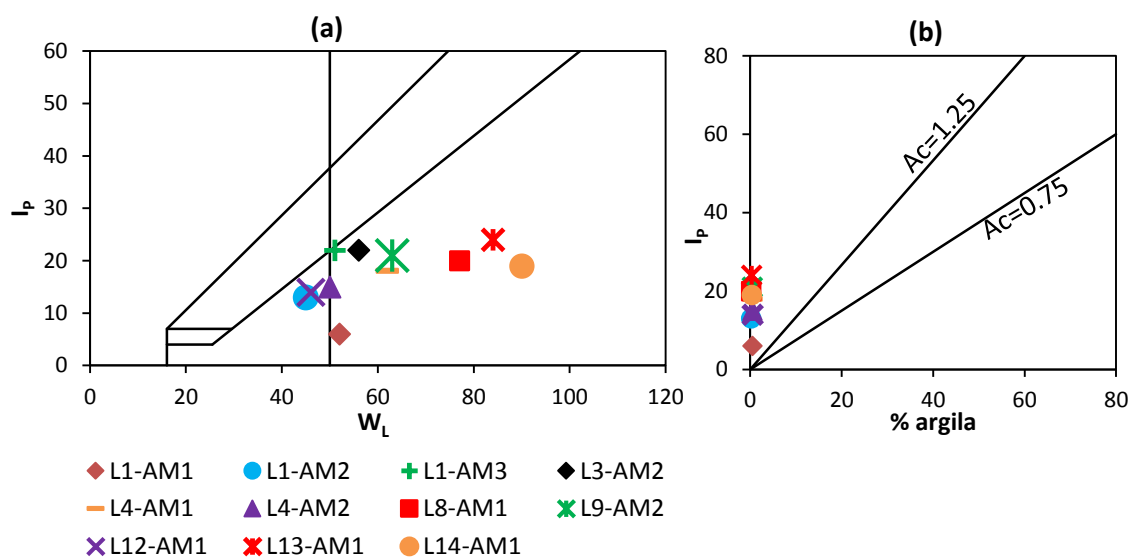


Figura 65- (a) Gráfico de Casagrande, com a projeção dos dados de plasticidade de 11 amostras de solo da Formação de Benfica. (b) Gráfico do I_p vs percentagem de argilas, de 11 amostras de solo da Formação de Benfica.

O estudo da composição mineralógica das amostras da Formação de Benfica, foi efetuado para a amostra total (nas amostras rochosas) e para a fração argilosa <0.002 mm (nas restantes amostras).

Na mineralogia da amostra total, as amostras de rochas apresentam percentagens de Filossilicatos sempre superiores a 50%, variando entre 50% e 77%. As amostras são também constituídas por Quartzo, cujos valores variam entre 2.4% e 9.3%, por Feldspatos, cujos valores variam entre 1.2% e 12.5%, por Dolomite, cujos valores variam entre 10.3% e 25.7%, e por Calcite mas apenas nas amostras L1-AM4 e L11-AM2, cujos valores são 5.9% e 5.4% respetivamente (Figura 66).

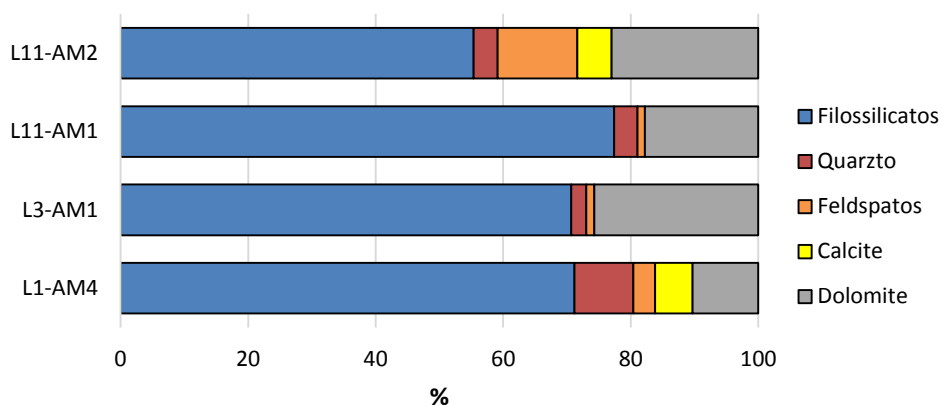


Figura 66- Mineralogia da amostra total das amostras de rocha da Formação de Benfica.

Nas amostras de solos, relativamente aos minerais das argilas, encontram-se proporções variáveis de Esmectite e Paligorsquite. As percentagens de Esmectites variam entre 43.5% e 100%, e as percentagens de Paligorsquite variam entre 11.1% e 59.5% (Figura 67). Embora não apresentada na Figura 67, ainda se verifica a presença vestigial de Caulinite nas amostras L4-AM2, L8-AM1 e L14-AM1.

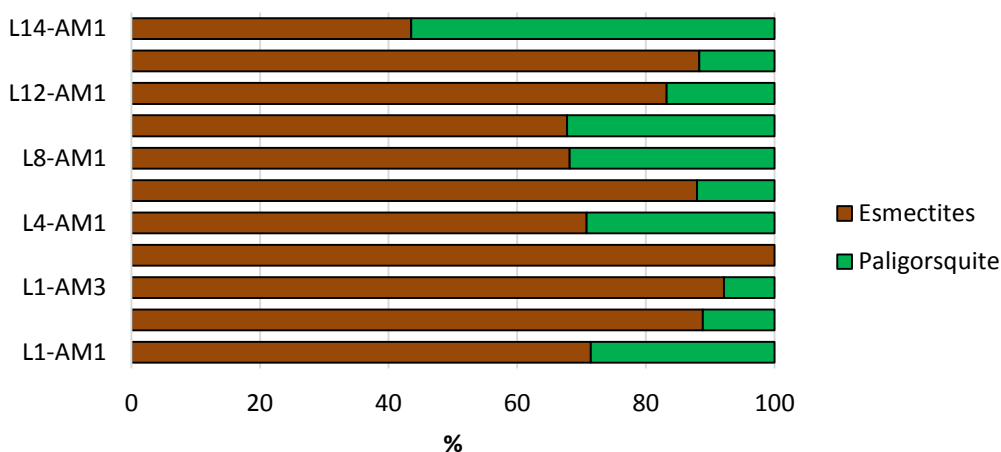


Figura 67- Mineralogia da fração argilosa das amostras de solo da Formação de Benfica.

Comparando com os resultados obtidos pelas autoras Almeida (1991), Azevêdo *et al.* (1991), Dionísio (1994), Guedes (1997) e Dias (1998), verificaram-se grandes semelhanças.

Segundo Almeida (1991), as Esmectites estão sempre presentes, com percentagens que variam entre 20% e 90%, a Paligorsquite pode não se encontrar presente e pode ser maioritária quando decresce o teor em esmectites (0% a 80%), e as Ilites estão quase sempre presentes embora por vezes sejam vestigiais e não atinjam os 20%.

Segundo Azevêdo *et al.* (1991), os minerais presentes nas amostras ensaiadas da Formação de Benfica, são em maior percentagem as Esmectites e a Paligorsquite, acompanhados por pequenas quantidades de Ilite e Caulinite. A maior percentagem de Esmectite aparece nos arenitos, enquanto a Paligorsquite se relaciona com os calcários, siltitos e argilitos. No topo da unidade da Formação de Benfica, predominam as Esmectites associadas à Paligorsquite, e na base desta unidade a Paligorsquite parece ser o mineral predominante, associado a Esmectites, Ilites e Caulinites.

Segundo Dionísio (1994), as argilas estudadas são formadas principalmente por Esmectites e Paligorsquite, existindo ainda Ilites, Caulinites e Talco, mas em quantidades diminutas ou até vestigiais.

Segundo Guedes (1997), os solos da Formação de Benfica são constituídos por Filossilicatos (33% a 57%), Feldspatos (5% a 51%), Quartzo (36% a 0%), carbonatos (0% a 33%) e Hematite (0% a 16%). Em relação aos Filossilicatos, verifica-se a predominância das Esmectites (71% a 84%), a presença de Paligorsquite (10% a 18%), de Ilite (9% a 16%) e de Caulinite (1% a 7%).

Segundo Dias (1998) a amostra da Formação de Benfica analisada é constituída por 6% de Quartzo, 72% de Dolomite, 7% de Esmectites, 11% de Paligorsquite e 3% de Ilite.

A classificação das amostras de solo ensaiadas, da Formação de Benfica, foi realizada com base nas normas, ASTM D2487-06 para a Classificação Unificada e ASTM D3282-04 para a Classificação para Fins Rodoviários (AASHTO) (Figura 68).

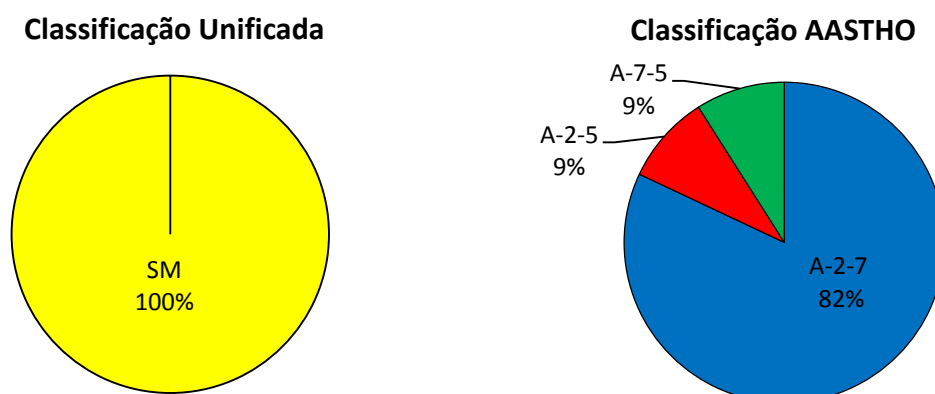


Figura 68- Classificação Unificada e Classificação para Fins Rodoviários (AASHTO) das amostras de solo da Formação de Benfica.

Segundo a classificação Unificada, das 11 amostras ensaiadas 100% foram classificadas como Areias Siltosas (SM).

Segundo a classificação AASTHO, das 11 amostras ensaiadas 91% foram classificadas como Areias silto-argilosas com seixos (A-2-5, A-2-7) apresentando um comportamento excelente a bom e 9% como materiais silto-argilosos (A-7-5) apresentando um comportamento medíocre a mau. Nesta situação encontra-se a amostra L12-AM1, porque a percentagem partículas inferiores a 0.075 mm é 36.5% e o $I_p \leq (W_L-30)$ (Figura 68).

Comparando com os resultados obtidos pelas autoras Almeida (1991), Dionísio (1994), Guedes (1997) verificaram-se grandes semelhanças.

Segundo Almeida (1991), os solos da Formação de Benfica correspondem nos solos grosseiros a cascalho siltoso com areia (GM), a cascalho argiloso com areia (GC), a areia siltosa e areia siltosa com cascalho (SM) e a areia argilosa e areia argilosa com cascalho (SC). Nos solos finos os solos correspondem a silte arenoso e silte arenoso com cascalho (ML), a silte elástico arenoso e silte elástico arenoso com cascalho (MH), a argila magra arenosa e argila magra arenosa com cascalho (CL) e a argila gorda arenosa e argila gorda arenosa com cascalho (CH).

Segundo Dionísio (1994), os tipos de solos identificados na Formação de Benfica, correspondem nos solos grosseiros a cascalho siltoso (GM), a cascalho argiloso com areia (GC), a areia siltosa e areia siltosa com cascalho (SM) e a areia argilosa e areia argilosa com cascalho (SC). Nos solos finos os solos correspondem a argila gorda (CH) e a silte elástico (MH).

Segundo Guedes (1997), nos solos analisados da Formação Benfica, na classificação Unificada predominam as areias siltosas (SM-50%), existindo 25% de silte elástico e 25% de argila magra (CL). Na classificação AASTHO predominam os solos argilosos (75%), A-5, A-6 e A-7-5 com 25 % cada, existindo 25% areias silto-argilosos com seixo, A-2-7.

6. Considerações Finais

Este trabalho teve como primeiro objetivo a caracterização geológica e geotécnica das unidades litostratigráficas que constituem o substrato de uma área no limite entre o Concelho de Lisboa e o Concelho de Odivelas, na zona envolvente à Calçada de Carriche, entre o Lumiar e o Olival Basto (área de estudo).

As unidades litostratigráficas existentes na área de estudo estão englobadas em 3 grupos de materiais: de cobertura (Aterros e Aluviões), do Miocénico (Areias de Vale de Chelas, Calcários de Musgueira, Areias com *Placuna miocenica*, Calcários do Casal Vistoso, Areias de Quinta do Bacalhau, Argilas de Forno do Tijolo, Calcários de Entrecampos, Areolas de Estefânia, Argilas de Prazeres) e do Oligocénico (Formação de Benfica). No entanto, destas foram caracterizadas do ponto de vista geotécnico, os Aterros, as Areias com *Placuna miocenica*, as Areias de Quinta do Bacalhau, as Argilas de Forno do Tijolo, os Calcários de Entrecampos, as Areolas de Estefânia, as Argilas de Prazeres e a Formação de Benfica, por inexistência de dados suficientes para caracterizar as restantes.

Dado que a Formação de Benfica é a unidade litostratigráfica com maior extensão na área de estudo e cujo conhecimento sobre o seu comportamento geotécnico é escasso, considerou-se como segundo objetivo estudar mais pormenorizadamente esta unidade.

A caracterização geológica das unidades litostratigráficas presentes na área de estudo, foi realizada, com base em 188 pontos de informação (Sondagens), contidos nos RG analisados. Para tal, foi necessário primeiro construir uma base de dados, contendo toda a informação disponível nas sondagens, a partir da qual foi possível analisar e interpretar toda esta informação, realizar uma série de cortes geológicos em profundidade, efetuar ajustamentos locais à cartografia geológica, construir o Mapa de Depósitos de Cobertura e construir o Modelo Geológico Tridimensional da área de estudo.

A interpretação da informação contida nas sondagens, referentes às descrições litológicas, permitiu a retificação das cotas de base das várias unidades litostratigráficas alcançadas nas várias sondagens e efetuar a reinterpretção da sequência litostratigráfica.

Para definir a estrutura geológica não foi suficiente a reinterpretação da sequência litostratigráfica apresentada nas sondagens, tendo sido necessária a realização de cortes geológicos.

Através dos cortes geológicos foi possível definir a estrutura geológica local e apresentar uma proposta de atualização da cartografia geológica para a área de estudo.

Entre as principais alterações dos limites geológicos refere-se:

- Pequena redução, pouco significativa da mancha das Argilas de Prazeres;
- Aumento da mancha das Areolas de Estefânia e por conseguinte das manchas dos Calcários de Entrecampos e das Argilas de Forno do Tijolo;
- Aumento em duas zonas distintas, da mancha das Areias de Quinta do Bacalhau e por conseguinte, reposicionamento das Calcários de Casal Vistoso e das Areias com *Placuna miocenica*.

A cartografia geológica oficial, embora detalhada e precisa, deve ser complementada com informação sobre as grandes mudanças superficiais dos solos induzidas pela atividade humana, sob a forma de escavações, aterros e obras de estabilização.

Na área de estudo, uma vez que existem depósitos de cobertura de duas naturezas (aterros e aluviões) suprajacentes às unidades geológicas do miocénico e do oligocénico foi necessário realizar o mapa de espessura destes depósitos, para aferir como se distribuem em profundidade, utilizando a informação referente a 188 pontos de informação, contidos nos RG analisados neste trabalho.

Com a construção do Mapa de espessuras dos depósitos de cobertura, na área de estudo, verifica-se que grande parte da área está coberta por espessuras inferiores a 5 m. No entanto, é necessário ter em conta que apenas nas zonas com maior número de informação é que se pode afirmar que existem depósitos de cobertura, constituídos maioritariamente por aterros, enquanto que nas zonas com falta de informação o método de interpolação realizou uma extrapolação.

Depois de realizado o Mapa de Depósitos de Cobertura, de forma a colmatar as lacunas de informação em certas zonas, devido a falta de sondagens, sobrepôs-se ao mapa desenvolvido, as áreas de alteração antrópica inventariadas por Vasconcelos (2011).

Com esta sobreposição obteve-se informação adicional sobre os materiais de cobertura, quanto à sua espessura, que em certas zonas é espectável que haja uma maior espessura do que a apresentada pelo mapa e quanto à localização destes terrenos.

Os depósitos de cobertura ao apresentarem elevada espessura e características geotécnicas mais desfavoráveis que as formações do substrato, têm importantes implicações geotécnicas.

De forma a ser possível visualizar a distribuição das várias unidades litostratigráficas em profundidade criou-se o Modelo Geológico da área de estudo em três dimensões, utilizando a informação referente a 188 pontos de informação contidos, nos RG analisados neste trabalho.

Apesar de na área de estudo estarem cartografadas as unidades Areias de Vale de Chelas (M_{vb}), Calcários de Musgueira (M_{va3}), Calcários de Casal Vistoso (M_{va1}) e Formação de Benfica (ϕ), a superfície referente à cota da base destas unidades não foi representada no Modelo Geológico em 3D, devido à inexistência de sondagens realizadas na área de estudo nas Areias de Vale de Chelas, nos Calcários de Musgueira e nos Calcários de Casal Vistoso e devido à falta de informação em profundidade, nas sondagens realizadas na Formação de Benfica, pois não alcançaram a unidade subjacente (Complexo Vulcânico de Lisboa- β^1).

Uma vez construído o Modelo Geológico em 3D, efetuou-se a validação dos resultados obtidos, comparando o modelo matemático desenvolvido com o trabalho geológico, sobrepondo as superfícies de interpolação obtidas para as várias unidades litostratigráficas à Carta Geológica atualizada da área de estudo.

Com esta sobreposição foi possível observar que em certas zonas não houve concordância entre as superfícies de interpolação obtidas para as várias unidades litostratigráficas e a Carta Geológica atualizada. Tal facto pode ter sido devido ao algoritmo selecionado, para efetuar a interpolação das superfícies, ter utilizado valores de pontos afastados, na falta de pontos próximos, que aumentaram a margem de erro associada.

De forma a retificar as superfícies de interpolação e por conseguinte melhorar o Modelo Geológico Tridimensional, são propostas as seguintes recomendações:

- Definir o topo da Formação de Benfica e por conseguinte desenvolver uma superfície de interpolação que represente essa informação, de forma que em vez de se cortar a superfície obtida para a cota de base das Argilas de Prazeres pela superfície topográfica, se corte pela superfície obtida para o topo da Formação de Benfica;
- Repetir este método para as Areolas de Estefânia e para os Calcários de Entrecampos, utilizando a superfície de interpolação cortada imediatamente antes, no caso das Areolas de Estefânia utilizar a superfície cortada das Argilas de Prazeres e no caso dos Calcários de Entrecampos utilizar a superfície cortada das Areolas de Estefânia;
- Adicionar à base de dados mais informação pontual (sondagens reais ou resultantes da interpretação geológica obtida pelos cortes geológicos), de preferência nas zonas onde há falta de informação, de forma a permitir fazer pequenos reajustes às superfícies obtidas para os Aterros, as Argilas dos Forno do Tijolo e para as Areias de Quinta do Bacalhau; e construir a superfície dos Calcários de Casal Vistoso e dos Calcários de Musgueira, de forma a restringir a superfície das Areias com *Placuna miocenica*.

No que se refere à caracterização geológica das unidades litostratigráficas, foi possível concluir que a informação geológica e a informação geotécnica complementam-se. Por um lado, a informação geológica descrita na Carta Geológica permite reduzir as dúvidas de natureza litostratigráfica surgidas durante a interpretação dos gráficos de sondagens. Por outro lado, a disponibilidade da informação e do conhecimento em profundidade obtido através das sondagens contidas nos RG, permite retificar e atualizar os limites geológicos das várias unidades exibidos na Carta Geológica.

No que se refere à aplicação do *software ArcGIS®* para realizar o Modelo Geológico em 3D, conclui-se que, apesar das limitações e de não haver concordância entre determinados limites geológicos e as superfícies de interpolação obtidas, este modelo apresenta elevado potencial ao nível do tratamento de dados desta natureza. No entanto, é necessário ter em conta que o programa utilizado apenas trata os dados que lhe fornecemos e não os interpreta do ponto de vista geológico. Por esta razão é fundamental um tratamento prévio e organização da informação apresentada na base de dados e por fim a aplicação do conhecimento geológico adquirido para a área de estudo de forma a validar e melhorar o modelo.

Com a caracterização geológica das unidades litostratigráficas existentes na área de estudo, foi possível comprovar, que de uma forma geral a Série Miocénica apresenta uma estrutura monoclinal, com direção geral SW-NE, inclinando ligeiramente para SE.

A caracterização geotécnica das unidades litostratigráficas (Aterros, Areias com *Placuna miocénica*, Areias de Quinta do Bacalhau, Argilas de Forno do Tijolo, Calcários de Entrecampos, Areolas de Estefânia, Argilas de Prazeres e Formação de Benfica), foi realizada com base nos ensaios SPT presentes nos 188 pontos de informação, contidos nos RG analisados e em ensaios de laboratório realizados no decurso deste trabalho, em amostras da Formação de Benfica.

A partir da análise dos resultados de N_{SPT} obtidos nas diferentes unidades litostratigráficas verifica-se grandes diferenças de comportamento entre os aterros e os restantes materiais (miocénicos e oligocénicos). A resistência dos materiais miocénicos e oligocénicos, é muito superior à dos aterros, destacando-se as unidades Argilas de Forno do Tijolo e Calcários de Entrecampos, como sendo as mais resistentes nesta região.

Com a análise dos resultados de N_{SPT} verifica-se que os efeitos de descompressão são sentidos até os 10-15 m de profundidade nas unidades Areias com *Placuna miocénica*, Areias de Quinta do Bacalhau, Argilas de Forno do Tijolo, Calcários de Entrecampos, Areolas de Estefânia, Argilas de Prazeres e Formação de Benfica.

Com a separação dos resultados dos ensaios de N_{SPT} , realizados em solos incoerentes, em solos coerentes e em rochas, tendo como base as descrições litológicas presentes nos gráficos de sondagem, verifica-se que nem sempre a descrição litológica, corresponde à realidade dos materiais, como é o caso de se descrever como rocha, materiais que apresentam valores de N inferiores aos de solos.

Com a aplicação das correções relativas à energia de disparo, ao comprimento das varas e ao diâmetro do furo, verifica-se uma ligeira diminuição dos valores $N_{60} > 60$ pancadas embora, no geral, não existam grandes alterações dos valores de N_{60} relativamente a N. No entanto, nos aterros verifica-se um ligeiro incremento dos valores das classes $N_{60} < 10$ e N_{60} entre 10 e 20 pancadas relativamente aos valores de N.

Os materiais das unidades litostratigráficas analisados foram classificados como solos sobreconsolidados (solos rijos), compactos, superficialmente descomprimidos e rochas brandas.

A análise laboratorial efetuada em quinze amostras da Formação de Benfica teve em conta a litologia das mesmas (solos e rochas).

As amostras de solo ensaiadas apresentam características subalcalinas (pH entre 7.6 e 8.5), e por esta razão podem ser consideradas como não corrosivas.

Para estimar a percentagem de carbonatos nas amostras analisadas, o método que deu resultados mais satisfatórios foi o método gasométrico, em calcímetro de Eijkelkamp, comparativamente com o método da diferença ponderal, pois como seria de esperar, nas amostras de rocha as percentagens de carbonatos foram superiores às das restantes amostras. No entanto, o método da diferença ponderal foi necessário para se poder observar as modificações ocorridas na curva granulométrica dos solos e concluir quais as frações dependentes dos carbonatos.

As amostras de solo ensaiadas, são caracterizadas por granulometrias extensas e incluem desde areias com seixos a areias silto-argilosas. A fração grosseira inclui areias finas, médias e grosseiras em proporções variadas, cujas percentagens variam entre 35% e 57% e seixos com percentagens que variam entre 20% e 40%. A fração fina é constituída por siltes grosseiros, médios e finos, cujas percentagens variam entre 13% e 32% e por uma percentagem muito pequena de argilas (<0.8%).

Comparando as curvas granulométricas das amostras de solos com carbonatos e de solos descarbonatados, verifica-se que a fração fina (<0.062 mm) diminui com a descarbonatação e que a fração grosseira também diminui ligeiramente com a descarbonatação. O facto da fração fina diminuir com a descarbonatação pode ter a ver com a presença de carbonatos nas dimensões dos siltes e argilas.

Nas curvas granulométricas das amostras de rocha verifica-se que em todas elas a fração fina apresenta uma percentagem muito inferior relativamente à fração grosseira, e que a percentagem de argilas é muito reduzida (<0.2%).

As amostras L3-AM1, L11-AM1 e L11-AM2 são muito semelhantes, apresentando a fração grosseira majoritariamente constituída por partículas na dimensão dos seixos, cuja percentagem varia entre 74% e 80% e por uma menor percentagem de areias que varia entre 11% e 20%. A fração fina é constituída por siltes cuja percentagem varia entre 5% e 13% e por argilas cuja percentagem varia entre 0.03% e 0.1%.

A amostra L1-AM4 apesar de ser constituída por partículas na dimensão dos seixos (9%), dos siltes (15%) e das argilas (0.2%), apresenta-se majoritariamente constituída por areias (76%).

As amostras de solo da Formação de Benfica, apesar de serem classificadas como plásticas, os valores de I_c e I_L classificam as amostras *in situ* como argilas muito duras a rijas e com comportamento não plástico.

Quanto à atividade das argilas, as amostras de solo ensaiadas são classificadas como argilas muito ativas. O que pode ser devido à presença na fração argilosa de esmectites e paligorsquite, que são minerais muito ativos (esmectites com atividades entre 0.33 e 11.5 e paligorsquite com atividade entre 0.57 e 1.23) e à existência de aglomerados de partículas argilosas na dimensão dos siltes.

Nas amostras de solo, relativamente às argilas, verifica-se a predominância das Esmectites, relativamente à Paligorsquite e ainda se verifica a presença vestigial de Caulinite.

Nas amostras de rocha as percentagens de Filossilicatos são sempre superiores a 50%, sendo constituídas também por Quartzo, Feldspatos, Dolomite e Calcite.

Com base na composição granulométrica e nos valores do Coeficiente de Uniformidade e do Coeficiente de Curvatura, as amostras de solo da Formação de Benfica analisadas, classificam-se como areias siltosas bem graduadas.

Neste trabalho, as amostras de solo da Formação de Benfica analisadas, foram também classificadas segundo a classificação Unificada (ASTM D2487-06), como areias siltosas; e segundo a classificação AASTHO (ASTM D3282-04), como areias silto-argilosas com seixos, apresentando um comportamento excelente a bom e como materiais silto-argilosos

apresentando um comportamento medíocre a mau. Nesta situação encontra-se a amostra L12-AM1, porque a percentagem partículas inferiores a 0.075 mm é 36.5% e o $I_p \leq (W_L - 30)$.

Com base no teor em carbonatos e na composição granulométrica, as amostras de rocha da Formação de Benfica analisadas, classificam-se como calcários e arenitos.

As características geológicas e geotécnicas dos materiais estudados da Formação de Benfica, estão diretamente relacionadas com os processos de sobreconsolidação e diagénese que esta unidade sofreu, sendo o fator essencial para a compreensão do comportamento desta unidade.

7. Bibliografia

- Almeida, I. M.; Matildes, R.; Taborda, R. & Carreira D.; Pinto, C.; Jeremias, T. (2010) – *GeoSIS_Lx a Geoscientific Information System for Lisbon Geotechnical Data Management*. IAEG 2010, Congress, Geologically Active – Williams et al. (Eds.), Taylor & Francis Group, London, pp. 1611-1618.
- Almeida, I. M.; Pinto, C.; Almeida, G.; Muñoz, M.; Espírito Santo, G. (2008) – *Cartografia geotécnica em áreas urbanas – Caso de estudo*. Atas do XI Congresso Nacional de Geotecnia. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra, 8 pp (CD-ROM).
- Almeida, I. M. & Almeida, G.; Espírito Santo, G. & Vicente, J. (2008) – *Geotechnical subsoil modeling using GIS with geotechnical and archaeological databases*. Cities and their underground environment: 2nd European Conference of International Association of Engineering Geology. Euroengeo 2008, Madrid, 6 pp (CD-ROM).
- Almeida, I. M. & Almeida, G.; Lopes, I.; Pinto, C. (2008) – *Subsurface 3D engineering geological mapping using a geotechnical database*. 3rd International Conference on Site Characterization, Geotechnical and Geophysical Site Characterization – Huang & Mayne (Eds.), Taylor & Francis Group, London, pp. 789-792.
- Almeida, G.; Espírito Santo, G.; Pinto, M. J.; Ferreira, M. (2006) – *Cartografia Geológica e Geotécnica do Concelho de Lisboa*. Conferência Regional “Cartografia geológica aplicada a áreas urbanas. O caso da área metropolitana de Lisboa.” Alcochete, pp. 26-33.
- Almeida, I. M.; Marques, F. M. S. F.; Almeida, G. (2003) – *Spatial geotechnical database for planning and design in the Lisbon area (Portugal)*. Proc 9th Int. Conf. Enhancement Promot Comput. Methods Eng. Science, 25-28 Nov., Macau, China. Iu, V.P., Lamas, L.N., Li, Y-P. (Eds.) Computational Methods in Engineering and Science A. A. Balkema, pp. 509-514.
- Almeida, I. M. & Almeida, G. (2002) – *A utilização de Base de Dados na Cartografia Geotécnica de Lisboa*. VIII Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa, pp.55-62.
- Almeida, F. M. & Almeida, I. Moitinho. (1997) – *Contribuição para a atualização da Carta Geológica do Concelho de Lisboa*. VI Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa, pp.107-115.
- Almeida, I. M. (1991) – *Características geotécnicas dos solos de Lisboa*. Dissertação de Doutoramento na Especialidade de Geotecnia, Universidade de Lisboa, 391p.
- Almeida, F. M. (1986) – *Carta Geológica do Concelho Lisboa, à escala 1: 10 000*. Serviços Geológicos de Portugal.
- Alves, C. A. M.; Rodrigues, B.; Serralheiro, A. & Faria, A. P. (1980) – *O Complexo Basáltico de Lisboa*. Comunicação dos Serviços Geológicos de Portugal, Tomo 66, pp. 111-134.
- Antunes, M. T. & Pais, J. (1993) – *The Neogene of Portugal*. Proceedings of the 1st R. C. A. N. S. Congress, Lisboa, Out. 92, in: Ciências da Terra, nº12, UNL. Lisboa, pp. 7-22.
- Antunes, M. T. & Pais, J. (1983) – *Climate during Miocene in Portugal and its evolution*. Paléobiologie continentale, Montpellier, XIV, nº2, pp. 75-89.

- Antunes, M. T. (1979a) – *Paléogène*, in: A. Ribeiro, M. T. Antunes, M. P. Ferreira, R. B. Rocha, A. F. Soares, G. Zbyszewski, F. Moitinho de Almeida, D. de Carvalho & J. H. Monteiro, *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*, Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, pp. 75-77.
- Antunes, M. T. (1979b) – *Néogène*, in: A. Ribeiro, M. T. Antunes, M. P. Ferreira, R. B. Rocha, A. F. Soares, G. Zbyszewski, F. Moitinho de Almeida, D. de Carvalho & J. H. Monteiro, *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*, Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, pp. 77-85.
- Antunes, M. T. (1971) – *Vertebrados fósseis da região de Lisboa. Seu enquadramento paleoecológico*. III Curso Ext. Universidade de Ciências Geológicas de Lisboa. Lisboa, pp. 49-72.
- Azevêdo, T. M.; Carvalho, A. M. G.; Oliveira, M. S.; Romariz, C. (1991) – *O “Complexo de Benfica” na Região de Lisboa, Estudo Sedimentológico*. Comunicação do Serviço Geológico de Portugal, t. 77. Lisboa, pp. 103-120.
- Cabral, J. (1995) – *Neotectónica em Portugal Continental*. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, nº31. Lisboa, 265p.
- Caputo, H. P. (1988) – *Mecânica dos solos e suas aplicações*. Volume 1. Livros Técnicos e Científicos Editora.
- Carvalho, A. M. G.; Ribeiro, A.; Cabral, J. (1983/85) – *Evolução paleogeográfica da Bacia Tejo-Sado*. I Congresso Nacional de Geologia – Boletim Sociedade geológica de Portugal, vol. XXIV, pp. 209-213.
- Carvalho, A. M. G.; Romariz, C.; Oliveira, M. S. (1972) – *A presença de alunite no Paleogénico (Complexo de Benfica) de Lisboa*. Boletim do Museu de Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências, Vol. 13º – Fasc. 1º, Universidade de Lisboa. Lisboa, pp. 43-47.
- Carvalho, A. M. G. & Romariz, C (1972) – *Estudo Paleogénico da região de Lisboa e arredores*. Centro de Est. de Geol. Pura e Aplicada, F.C.L Proj. de Inv. LMG-1, Instituto de Alta Cultura.
- Coelho, A. M. (1980) – *A Cartografia Geotécnica no planeamento regional e urbano. Experiência de aplicação a região de Setúbal*. Tese apresentada ao concurso para especialista do LNEC. Proc. 54/15/5301, Departamento de Geotecnia/Núcleo de Prospeção, LNEC. Lisboa, 157p.
- Costa, J. B. (1999) – *Caracterização e Constituição do Solo*. Fund. Cal. Gulbenkian. 4ª ed., 527p.
- Choffat, P. (1889) – *Étude géologique du tunnel Rossio. Contribution à la connaissance du sous-sol de Lisbonne*. Avec un article paleontologique, J.C. Berkeley Cotter et un article zoologique, A.Girard. Memórias dos Trabalhos Geológicos de Portugal, 106p.
- Choffat, P. (1924) – *Esquisse de la carte des régions éruptives au nord du Tage*. Publicação póstuma, Mém, Soc. Phys. et Hist. Nat. Gêneve, Vol. 39, fasc.8, pp. 461-467.
- Choffat, P. (1950) – *Geologie du Cenozoique du Portugal*. Obra póstuma. Comunicação dos Serviços Geológicos de Portugal, supl. Tomo XXX, Lisboa, 182p.
- Cotter, J. C. B. (1956) – *O Miocénico Marinho de Lisboa*. Comunicação dos Serviços Geológicos de Portugal. Tomo XXXVI, Lisboa 170p.
- Dias, P.; Vasconcelos, M.; Redweik, P.; Marques, F. (2014) – *Utilização de Técnicas de Teledeteção na Cartografia de Aterros e Escavações em áreas de expansão urbana: Um estudo em Lisboa*. XIV Congresso Nacional de Geotecnia. Covilhã, 8 pp (CD-ROM).

- Dia, M. I. M. (1998) – *Caracterização Mineralógica e Tecnológica de Argilas Especiais de Bacias Terciárias Portuguesas*. Dissertação de Doutoramento em Geologia, na Especialidade de Geologia Económica e do Ambiente. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 325p.
- Dionísio, S. B. M. (1994) – *Contribuição para o estudo das características geotécnicas do Complexo de Benfica*. Relatório de Estágio da Licenciatura de Geologia Aplicada e do Ambiente. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 74p.
- E-219 (1968) – *Prospecção Geotécnica de Terrenos. Vocabulário*. Documentação normativa, Especificação LNEC, Lisboa, 7p.
- E-203 (1967) – Solos. Determinação do pH. Documentação normativa, Especificação LNEC, Lisboa, 2p.
- E-196 (1966) – Solos. *Análise Granulométrica*. Documentação normativa, Especificação LNEC, Lisboa, 9p.
- Fernandes, M. M. (2011) – *Mecânica dos Solos*. Volume I, 2ª Edição, FEUP, Porto.
- Fernandes, M. M. (2011) – *Mecânica dos Solos*. Volume II, 2ª Edição, FEUP, Porto.
- Guedes, T. C. M. (1997) – *Estudo da Expansibilidade dos Solos Argilosos da Região de Lisboa*. Dissertação de Mestrado em Geologia Económica e Aplicada. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 103p.
- IAEG – International Association for Engineering Geology (1976) – *Guide pour la préparation des cartes géotechniques*. Sciences de la Terre. Les Presses de l'Unesco, Paris. 79p.
- IAEG – International Association for Engineering Geology (1981a) – *Recommended symbols for engineering geological mapping*. Bulletin IAEG, 24: 227-234.
- IAEG – International Association for Engineering Geology (1981b) – *Rock and Soil description and classification for engineering geological mapping*. Bulletin IAEG, 24: 235-274.
- IAEG – International Association for Engineering Geology (2005) – *Special purpose mapping for waste disposal sites*. Bulletin of Engineering Geology and Environment, IAEG, 64: 1-54.
- Jordão, P. N. S. (2012) – *Consistência de classificações macroscópicas de sondagens Geológico-Geotécnicas*. Dissertação de Mestrado em Geologia Aplicada, Especialização em Geologia de Engenharia, 223p.
- Kessler, H.; Turner, A. K.; Culshaw, M. G.; Royse, K. R. (2008) – *Unlocking the potential of digital 3D geological subsurface models for geotechnical engineers*. Cities and their underground environment: 2nd European Conference of International Association of Engineering Geology. EUROENGE, Madrid, Spain, pp. 15-20.
- Lopes, V. P. (2013) – *Modelação Geológica Tridimensional: Aplicação à evolução da Várzea da Pederneira (Nazaré)*. Dissertação de Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 131p.
- Lopes, I. M. F. (2001) – *Avaliação das condições geológicas e geotécnicas para a caracterização do risco sísmico. Aplicação à colina do Castelo de S. Jorge*. Dissertação de Mestrado em

- Geologia Económica, Especialização em Geotecnia. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 294p.
- Lopes, I. M. F. & Almeida, I. M. (2002) – *A utilização de dados geotécnicos na cartografia geológica – Aplicação à Colina do Castelo*. VIII Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa, pp. 45-54.
 - Manuppella, G.; Ferreira, A. B.; Dinis J. & Callapez, P.; Ribeiro, M. L.; Pais, J.; Rebêlo, L.; Cabral, J. & Moniz, C.; Baptista, R.; Henriques, P. & Falé, P.; Lourenço, C. .; Sampaio, J. & Midões, C.; Zbyszewski, G.; Moniz, C. & Ribeiro, M. L.; (2011) – *Carta Geológica de Portugal à Escala 1:50.000, Folha 34-B, Loures*. Unidade de geologia e Cartografia Geológica, Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
 - Manuppella, G.; Ferreira, A. B.; Dinis J. & Callapez, P.; Ribeiro, M. L.; Pais, J.; Rebêlo, L.; Cabral, J. & Moniz, C.; Baptista, R.; Henriques, P. & Falé, P.; Lourenço, C. .; Sampaio, J. & Midões, C.; Zbyszewski, G.; Moniz, C. & Ribeiro, M. L.; (2011) – *Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal à Escala 1:50.000, Folha 34-B, Loures*. Unidade de geologia e Cartografia Geológica, Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Lisboa, 57p.
 - Matildes, R.; Taborda, R. & Almeida, I. M.; Pinto, C.; Jeremias, T. (2010) – *3D geological model of Lisbon*. IAEG 2010, Congress, Geologically Active – Williams et al. (Eds.), Taylor & Francis Group, London, pp. 1611 – 1618.
 - Nascimento, U. (1954) – *Física dos Solos. Estudos dos solos de Lisboa*. Publicação nº56, LNEC. Lisboa, 168p.
 - Norma ASTM: D2487 (2006) – *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States, 12p.
 - Norma ASTM: D3282 (2004) – *Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, United States, 6p.
 - Norma M1-08.53.E (2012) – *Calcimeter EijkelKamp*
 - NP-143 (1969) – *Solos. Determinação dos limites de consistência*. Norma Portuguesa definitiva, 6p.
 - NP-84 (1965) – *Solos. Determinação do teor em água*. Norma Portuguesa definitiva, 2p.
 - Oliveira R.; Gomes C.; Noronha F. & Borges L., (1995) – *Características geológicas e geotécnicas da Cidade do Porto (Carta Geotécnica do Porto)*. V Congresso Nacional de Geotecnia. Coimbra, pp. 119-132.
 - Pais, J.; Moniz, C.; Cabral, J.; Cardoso, J. L.; Legoinha, P.; Machado, S.; Morais, M. A.; Lourenço, C.; Ribeiro, M. L.; Henriques, P. & Falé, P.; (2006) – *Carta Geológica de Portugal à Escala 1:50.000, Folha 34-D, Lisboa*. Departamento de Geologia, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.
 - Pais, J.; Moniz, C.; Cabral, J.; Cardoso, J. L.; Legoinha, P.; Machado, S.; Morais, M. A.; Lourenço, C.; Ribeiro, M. L.; Henriques, P. & Falé, P.; (2006) – *Notícia Explicativa da Carta Geológica de Portugal à Escala 1:50.000, Folha 34-D, Lisboa*. Departamento de Geologia, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação. Lisboa, 53p.

- Pinho, T. (2010) – *Geotecnia urbana da zona ribeirinha de Vila Nova de Gaia: criação de uma base de dados SIG geotécnica*. Dissertação Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente. Departamento de Engenharia Geotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto, 334p.
- Pinto, C. (2003) – *Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Concelho de Lisboa – Zona Ocidental*. Relatório de Estágio Profissionalizante. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, p.
- Rocha, M. E. (1998) – *Contribuição para a Cartografia Geotécnica de Bragança*. Dissertação de Mestrado em Geologia Económica e Aplicada. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. Lisboa, p.
- Serralheiro, A. (1979) – *Contribuição para a atualização do conhecimento do Complexo Vulcânico de Lisboa*. INIC. Lisboa, 39p.
- S.G.P. (1950) – *Carta Geológica dos Arredores de Lisboa, folha 4-Lisboa, à escala 1:50 000*. Serviços Geológicos de Portugal.
- S.G.P. (1944) – *Carta Geológica dos Arredores de Lisboa, folha 2-Loures, à escala 1:50 000*. Serviços Geológicos de Portugal.
- S.G.P. (1940) – *Carta Geológica de Lisboa, à escala 1:20 000*. Serviços Geológicos de Portugal.
- Silva, C.; Sanches, F.; Marques, J.; Latas, P.; Cardoso, S; Carvalho, M. R. (2007) – *Caracterização das águas subterrâneas da zona do Lumiar (Concelho de Lisboa)*. 6º Seminário de Águas Subterrâneas. APRH, LNEC, 14p.
- Skempton, A. W. (1986) – *Standard penetration test procedures and effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation*. Géotechnique 36, nº3, pp. 425-447.
- Teixeira, C. & Gonçalves, F. (1980) – *Introdução à Geologia de Portugal*. Instituto Nacional de Investigação Científica, Universidade de Lisboa. Lisboa, 376p.
- Teles, I. A. & Fernandes, M. M. (1994) – *Uma base de dados para sondagens geotécnicas*. Revista Geotecnia nº71, pp. 69-80.
- Terzaghi, K.; Peck, R. B.; Mesri, G. (1996) – *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., 664p.
- Thorez, J. (1976) – *Practical Identification of Clay Minerals. A handbook for teachers and students in clay mineralogy*. Edition G. Lelotte, 90p.
- UNE-NE ISO 22476-03 (2006) – *Ensayo de penetración estándar*. Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de campo, Parte 3, 19p.
- Vallejo, L. I. G., Ferre, M., Ortunõ, L., Oteo, C. (2002) – *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall. Madrid, 715p.
- Vasconcelos, M. A. & Marques, F. M. S. F. (2011) – *Suscetibilidade à Ocorrência de Movimentos de Vertente em Lisboa*. FCT, Lisboa, Portugal, 04 Maio.
- Vasconcelos, M. A. (2011) – *Cartografia de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertentes em contexto urbano: O concelho de Lisboa*. Dissertação de Mestrado em Geologia do

- Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território. Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 232p.
- Vasconcelos, M. A. & Marques, F. M. S. F. (2010) – *Cartografia tridimensional de aterros e escavações no concelho de Lisboa*. GEOTIC - Sociedade Geológica de Portugal, Évora, Revista Eletrónica de Ciência da Terra, Volume 22 - nº15, pp. 1-4.
 - Veiga, A. Q. N. (2011) – *Caracterização Geotécnica dos terrenos do Vale Tifónico Parceiros-Leiria*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Geológica. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra. Coimbra, 362p.
 - Veiga A. Q. N. & Quinta Ferreira M. (2002) – *A cartografia geotécnica no planeamento urbano. Aplicação à Vila da Batalha*. VIII Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa, pp. 35-44.
 - Zbyszewski, G. (1963) – *Carta Geológica dos Arredores de Lisboa*, à escala 1:50 000, *Notícia Explicativa, folha 4-Lisboa*, Serviços Geológicos de Portugal, 93p.
 - Zbyszewski, G. (1964) – *Carta Geológica dos Arredores de Lisboa*, à escala 1:50 000, *Notícia Explicativa, folha 2-Loures*, Serviços Geológicos de Portugal, 93p.
 - Zbyszewski, G. (1947) – *Panorama sur la Géologie de la Ville de Lisbonne*, Boletim da Sociedade de Geografia de Lisboa, Série 65ª, N.ºs 9 e 10. Lisboa, pp. 539-573.
 - Zuquette L. V. & Gandolfi N. (2004) – *Cartografia geotécnica*. Oficina de textos, Brasil, 189p.
 - Zuquette L. V. (1981) – *Mapeamento Geotécnico Preliminar na região de São Carlos*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 92p.

ANEXOS

Anexo 1- Documentação sobre a cartografia geotécnica desenvolvida em Portugal e antigos territórios portugueses, no período entre 1962 e 2014 (adaptado de Pinho, 2010).

1954	<i>Física dos Solos. Estudos dos solos de Lisboa.</i> U. Nascimento. LNEC
1962	<i>Elementos para a Carta Geotécnica de Lisboa.</i> CML e LNEC
1972	<i>Estudos geotécnicos de apoio ao plano urbanístico de Santiago (Aveiro).</i> LNEC
1973	<i>Estudos geotécnicos de apoio ao plano do Monte da Caparica (Almada).</i> LNEC
1974	<i>Carta Geotécnica da área de Sines.</i> LNEC
1976	<i>Carta geotécnica do plano integrado de Setúbal.</i> LNEC
1979	<i>Carta geotécnica da área do plano de urbanização da Brandoa-Falagueira (Lisboa).</i> LNEC
1980	<i>Cartografia geotécnica no planeamento regional e urbano.: O Experiência de aplicação na região de Setúbal.</i> A. Coelho. Tese para Especialista. LNEC
1986	<i>Caracterização e aptidão geotécnica dos terrenos envolventes das albufeiras da Aguireira e do Corço.</i> A. L. Saraiva. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra
1988	<i>Contribuição para o conhecimento geológico e geotécnico do território de Macau.</i> F. Marques. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa.
1989	<i>Carta de riscos de movimentos de terrenos envolventes dos taludes da margem Sul do Tejo (Cacilhas-Trafaria).</i> P. Lamas. Tese Mestrado. Universidade Nova de Lisboa.
1989	<i>A importância das ciências geológicas no planeamento urbano. A zona litoral entre Faro e Olhão.</i> H. S. Silva. <i>Geotecnia</i> , nº 5.
1990	<i>Cartografia geotécnica assistida por computador.</i> A. P. F. Silva. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa.
1990	<i>Contribuição para a história da geotecnia em Portugal.</i> U. Nascimento. <i>Geotecnia</i> nº 58.
1990	<i>Caracterização geotécnica da zona sudeste da Cidade de Coimbra.</i> A. M. Q. S. Tavares. <i>Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica.</i> Universidade de Coimbra.
1991	<i>Caraterísticas geotécnicas dos solos de Lisboa. I.</i> Moitinho de Almeida. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa.
1991	<i>Cartografia geotécnica - A Carta Geotécnica do Porto.</i> B. P. Barbosa & L. Borges. 4º Congresso Nacional de Geotécnica.
1992	<i>Zonamento geotécnico da área urbana e suburbana de Aveiro.</i> L. M. F. Gomes. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
1993	<i>Contribuição para a cartografia geotécnica da região de Águeda.</i> I. R. Duarte. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa.
1993	<i>Carta geotécnica do Porto (1ª Edição).</i> COBA, FCUP, Câmara Municipal do Porto. R. Oliveira. (coord. Geral)
1994	<i>Geomecânica dos solos do concelho de Ovar.</i> R. E. I. Oliveira. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa.
1994	<i>Contribuição para o estudo das características geotécnicas do Complexo de Benfica.</i> S. Dionísio. Relatório de Estágio. Universidade de Lisboa.
1994	<i>Uma base de dados para sondagens geotécnicas.</i> I. A. Teles & M. M. Fernandes. <i>Geotecnia</i> nº 71.
1995	<i>Caracterização geológica e geotécnica das formações vulcânicas da Madeira. Carta Geotécnica da ilha situada a norte do Funchal.</i> S. Rosa. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa.
1995	<i>Carta geotécnica do planeamento do concelho de Oliveira de Bairro.</i> C. M. Rodrigues. Tese de Mestrado. Universidade de Coimbra.
1995	<i>Cartografia geotécnica de Sesimbra e Santana.</i> F. G. Sobreira. 5º Congresso Nacional de Geotecnia.
1995	<i>Caraterísticas geológicas e geotécnicas da Cidade do Porto.</i> R. Oliveira, C. Gomes, F. Noronha e L. Borges. 5º Congresso Nacional de Geotecnia.

1995	<i>Aplicação informática ao estudo geotécnico de uma área abrangida pelas Areólas Tortonianas da série Miocénica de Lisboa. Um contributo para a Cartografia Geotécnica. I. C. Machado. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa.</i>
1997	<i>Contribuição para o conhecimento geotécnico do concelho de Anadia. C. M. Aguilar. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa.</i>
1997	<i>Contribuição para a atualização da carta geológica do concelho de Lisboa. F. Moitinho de Almeida & I. Moitinho de Almeida. 6º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
1998	<i>Sistemas de informação geográfica em geologia e geotecnia. Aplicação prática à encosta sul do Casal Ventoso. S. Dionísio. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa.</i>
1998	<i>Contribuição para a cartografia geotécnica de Bragança. M. E. Rocha. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa.</i>
1998	<i>Caracterização geotécnica de áreas urbanas. S. P. Santos. Relatório de Estágio. Universidade de Lisboa.</i>
1998	<i>Mapeamento geotécnico do município de Natal-RN e áreas adjacentes. M. M. Moreira & N. M. Souza. Geotecnia nº 83.</i>
1999	<i>A cartografia geotécnica como instrumento do planeamento urbano. G. Almeida. Boletim nº 3.</i>
1999	<i>Caracterização geotécnica de solos rijos. A. M. Anes. Relatório de Estágio. Universidade de Lisboa.</i>
1999	<i>Contribuição para a caracterização geotécnica das formações sedimentares cretácicas no planeamento regional e urbano. O caso do complexo areno-siltoso da região de Aveiro. L. M. F. Gomes & F. L. Ladeira. Geotecnia nº 86.</i>
2000	<i>Base de dados aplicados à cartografia geotécnica. R. M. R. Oliveira. Relatório de Estágio. Universidade de Lisboa.</i>
2001	<i>Avaliação das condições geológicas e geotécnicas para a caracterização do risco sísmico - Aplicação à colina do Castelo de S. Jorge. I. Lopes. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa.</i>
2001	<i>Condicionantes geotécnicas à expansão do núcleo urbano da Covilhã. V. P. Cavaleiro. Tese de doutoramento. Universidade da Beira Interior.</i>
2001	<i>Condicionantes geotécnicas à expansão do núcleo urbano da Covilhã. V. M. P. Cavaleiro. Tese de Doutoramento. Universidade da Beira Interior.</i>
2002	<i>Análise e acompanhamento de obras de escavação-Contribuição para a Carta Geotécnica da Cidade de Lisboa. M. Estudantes. Relatório de estágio. Universidade de Lisboa.</i>
2002	<i>Caracterização geológica e geotécnica do local experimental da Quinta do Foja, situado no depósito de solos moles do baixo Mondego. P. L. F. Coelho & L. J. L. Lemos. Geotecnia nº 95.</i>
2002	<i>Utilização de base de dados na cartografia geotécnica de Lisboa. I. Moitinho de Almeida & G. Almeida. 8º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2003	<i>Carta geotécnica do Porto (2ª Edição). COBA, FCUP, Câmara Municipal do Porto. R. Oliveira. (coord. Geral)</i>
2003	<i>Spatial geotechnical database for planning and design in the Lisbon area (Portugal). I. Moitinho de Almeida, F. Marques e G. Almeida. 9th Int. Conf. Enhancement Promot Computational Methods in Engineering and Science.</i>
2004	<i>O método das ondas sísmicas superficiais na caracterização geotécnica. I. Lopes, J. Santos, I. Moitinho de Almeida e T. Brito. 9º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2006	<i>Cartografia geológica aplicada a áreas urbanas: o caso da área metropolitana de Lisboa. C. N. Costa (editor). Universidade Nova de Lisboa.</i>
2007	<i>Caracterização geológica e geotécnica dos solos de Luanda para o Ordenamento do Território. G. J. Pires. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa.</i>
2007	<i>Aplicação do software ArcGIS na cartografia geotécnica tridimensional em áreas urbana – Caso de estudo. C. Pinto & I. Moitinho de Almeida. 1º Encontro de Jovens Investigadores de Geologia da Universidade de Lisboa.</i>

2008	<i>Cartografia geotécnica em áreas urbanas – Caso de estudo. I. Moitinho de Almeida, C. Pinto, G. Almeida, M. Muñoz e G. Espírito Santo. 11º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2008	<i>Geotechnical subsoil modeling using GIS with geotechnical and archaeological databases. I. Moitinho de Almeida, G. Almeida, C. Pinto, G. Espírito Santo e J. Vicente. II European Conf. of International Association for Engineering Geology – EUROENGEO.</i>
2008	<i>Subsurface 3D engineering geological mapping using a geotechnical database. I. Moitinho de Almeida, G. Almeida, I. Lopes, C. Pinto. 3rd Int. Conf. Geotechnical and Geophysical Site Characterization.</i>
2009	<i>Geotecnia urbana da zona ribeirinha de Vila Nova de Gaia (Cais de Gaia, Santa Marinha - Lavadores, Canidelo): uma avaliação preliminar. R. S. Silva. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto.</i>
2010	<i>Caracterização geotécnica das margas da Dagorda do diapiro Parceiros-Leiria. A. Veiga & M. Q. Ferreira. VIII Congresso Nacional de Geologia.</i>
2010	<i>Geotecnia urbana da zona ribeirinha de Vila Nova de Gaia: criação de uma base de dados SIG geotecnia. T. N. Pinho. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto.</i>
2010	<i>GeoSIS_Lx a geoscientific information system for Lisbon geotechnical data management. I. Moitinho de Almeida, R. Matildes, R. Taborada, C. Pinto, F. T. Jeremias. IAEG 2010 Congress Geologically Active.</i>
2010	<i>3D geological model of Lisbon. R. Matildes, R. Taborada, I. Moitinho de Almeida, C. Pinto, F. T. Jeremias. IAEG 2010 Congress Geologically Active.</i>
2011	<i>Some Basic Trends on the Geotechnical Characteristics of Lisbon Miocene Clays. M. L. Lopes, M. M. Fernandes e J. A. Sousa. XV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.</i>
2011	<i>Caracterização geotécnica dos terrenos do Vale Tifónico Parceiros-Leiria. A. Veiga. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.</i>
2011	<i>Cartografia de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente em contexto urbano: o concelho de Lisboa. M. Vasconcelos. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa.</i>
2012	<i>Caracterização geológica e geotécnica das unidades litológicas da cidade da Praia (Santiago, Cabo Verde) S. S. Vitória. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra.</i>
2012	<i>Análise estatística de dados geotécnicos no âmbito do projeto GeoSIS_Lx. J. B. Aldeias, J. Santos, I. Lopes, I. Moitinho de Almeida. 13º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2012	<i>Base de dados geotécnicos de Lisboa – Quick Access Site. A. Amorim, R. Matildes, I. Moitinho de Almeida. 13º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2012	<i>A aplicação da base de dados geotécnicos no planeamento urbano da Câmara Municipal de Lisboa. C. Pinto, G. Almeida e I. Moitinho de Almeida. 13º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2012	<i>O desenvolvimento do modelo de dados relacional associado à carta geotécnica de Lisboa. C. Pinto & I. Moitinho de Almeida. 13º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2014	<i>Carta Geotécnica da região da Covilhã. V. Cavaleiro, J. A. Rodrigues-Carvalho, L. M. Ferreira Gomes, J. Riscado e B. Santos. 14º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2014	<i>Carta Geotécnica da região da Guarda. A. Carvalho V. Cavaleiro e L. J. Andrade Pais. 14º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2014	<i>Caracterização Geotécnica de Piroclastos e Escodas Lávicas Basálticas na Ilha de São Miguel, nos Açores. P. Guedes de Melo e C. Mota. 14º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2014	<i>Contribuição para a Caracterização Geotécnica dos Piroclastos Traquíticos (Pedra Pomes). F. Marques, P. Amaral, A. Malheiro e C. Amaral. 14º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2014	<i>Calcretos na região de Beja: Contributo para a sua Caracterização Geotécnica. F. Marques, S. Mesquita Soares, A. P. Silva e L. F. Santos. 14º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>
2014	<i>Caracterização Geológica-Geotécnica na zona da Baixa de Alcântara (Lisboa), para o desnivelamento ferroviário de Alcântara. R. Freitas, M. Alcântara, F. Rodrigues e C. Pedro. 14º Congresso Nacional de Geotecnia.</i>

Anexo 2- Excerto da BD com a informação referente às sondagens dos RG seleccionados - PARÂMETROS OBTIDOS *IN SITU*.

RG	Tipo Sond	Sondagens	Coordenadas	Nível Freático	Uni. Geológica / Litostratigrafia	Profundidades		Litologias		Observações complementares	Ensaio SPT				% Recuperação		
						Inicial	Final	Principal	Secundária		1ª Fase	2ª Fase	N 1	N 2+3			
RG 40798 - Metropolitano - estação da ameioeira	101 Rotação	S33	M= -89239.97	7.1	(MII)	0	0.2	Pavimento		betuminoso						100% (0-0,2m)	
						0.2	2.5	Aterro	areno-argiloso	pedregoso, com calhaus de calcario compacto e abundantes fragmentos ceramicos, acastanhado							40% (0,2-1,3m)
						2.5	3.7	Silte/Areia	argilosas	muito finos, amarelados, com passagens de cascão greso-margoso, fossilifero, cinzento claro	3	3.15	3.35	33	60		100% (1,3-1,5m)
						3.7	4.7	Argila	silto-margosa	acastanhada, com laivos avermelhados e acinzentados							10% (1,5-2,5m)
						4.7	7.4	Areia	siltosa	finas a muito finas, com passagens argilo-margosas, amarelada, acastanhada, com niveis acinzentados	6	6.15	6.45	35	60		100% (2,5-3m)
						7.4	10.7	Argila	silo-margosa/arenosa	por vezes carbonatada, finamente estratificada, com passagens calco-margosas, compactas, cinzento azuladas a cinzento escuras	9.2	9.35	9.53	15	60		80% (3-4,5m)
						10.7	11.5	Grés	calco-margoso	compacto, muito resistente, com seixo miudo abundante, cinzento claro							100% (4,5-9,2m)
						11.5	12.6	Argila	silto-margosa	com passagens arenosas, acastanhada							
						12.6	13.8	Marga	calcária	compacta, cinzento acastanhado, com laivos amarelados	12.6	12.75	12.96	30	60		
						13.8	16.1	Marga	calcária/siltosa/silto-arenosa	compacta, amarelo acastanhado, com laivos arroxeados	15	15.09		60	60		
						16.1	18.8	Argila	silto-margosa	com passagens de margas calcárias, compactas, resistentes, castanho amareladas, com laivos e passagens cinzento acastanhado	18	18.15		60	60		
						18.8	19.4	Argila	silto-margosa	cinzento escura							
			19.4	21	Marga		compacta, finamente estratificada, azulada a acinzentada										
			21	23	Argila/Marga	margosa/siltosa	com passagens carbonosas, cinzento escuro a negras	21.3	21.44		60	60					
			23	25	Marga	siltosa	compacta, com passagens calco-margosas fossilifera, cinzento azulada	24	24.15	24.39	36	60					
			25	32.3	Argila/Marga		compactas, finamente estratificada, acastanhadas e acinzentadas	27	27.15	27.25	45	60					
			32.3	34	Argila	margosa	com passagens fortemente arenosas, associando seixo miudo abundante	32.3	32.45	32.55	49	60					
			34	37.5	Argila/Silte	gresos-margosos	com passagens de areias medias a finas, associando seixo miudo frequente, castanho amarelado e acinzentados	35.5	35.65	35.75	48	60					
			37.5	39.2	Argila	arenosa	com niveis margo-gresoso, associando seixo abundante castanho com laivos arroxeados e acinzentados										
			39.2	43.4	Argila	arenosa/siltosa	com passagens margosas, associando seixo miudo muito abundante, castanho avermelhado	39.2	39.34		60	60					
			43.2	44.7	Marga	siltosa	compacta, finamente estratificada, sedosa, avermelhada	42.2	42.32		60	60					
			44.7	46.3	Areia	silto-argilosa	media a grosseira, com seixo e calhau variavel, muito abundante, castanho avermelhado	45.3	45.39		60	60					
			46.3	50	Argila	siltosa/silto-arenosa/margosa	finamente estratificada, sedosa, com passagens areno-argilosas e seixo disperso, avermelhado	47.3	47.4		60	60					
			50	50.1	Marga	gresos-calcária	compacta, avermelhada										

Anexo 4- Descrição dos locais de amostragem e das amostras.**❖ Local 1 - AM1/AM2/AM3/AM4**

No lado E da Rua do Alto do Chapeleiro, no concelho de Lisboa, foi possível observar um afloramento com orientação NW-SE, composto por material argiloso, castanho avermelhado, argilo-arenoso, com clastos de calcário de pequenas dimensões e com intercalações de níveis calcários com aproximadamente 40 cm de espessura e atitude aparente N70°W, 12°S (Figura A4. 1).

Segundo Manuppella *et al.* (2011) este afloramento corresponde à unidade litostratigráfica da Formação de Benfica datada do Eocénico a Oligocénico.



Figura A4. 1- Fotografia do Local 1 com a localização dos pontos de recolha das amostras L1- AM1, L1- AM2 e L1- AM3.

Deste afloramento foram recolhidas as seguintes amostras:

- **L1- AM1** – amostra aparentemente seca, composta por um arenito argilo-margoso avermelhado, com grande quantidade de clastos de quartzo e calhaus de calcário sub-rolados a rolados de grandes dimensões, com nódulos argilosos acinzentados que se desagregaram facilmente e com intercalações margosas esbranquiçadas (Figura A4. 2);



Figura A4. 2- Fotografia em pormenor do local onde foi recolhida a amostra L1- AM1.

- **L1- AM2** – amostra aparentemente seca, composta por um arenito muito carbonatado avermelhado, muito consistente, com calhaus de calcário, rolados de grandes dimensões, com clastos de quartzo e basalto de variadas dimensões, com nódulos argilosos cinzentos e com intercalações esbranquiçadas (Figura A4. 3);



Figura A4. 3- Fotografia em pormenor do local onde foi recolhida a amostra L1- AM2.

- **L1- AM3** – amostra muito semelhante à amostra L1- AM2 mas menos consistente (Figura A4. 4).



FiguraA4. 4- Fotografia em pormenor do local onde foi recolhida a amostra L1- AM3.

Do lado W da Rua Alto do Chapeleiro, no concelho de Lisboa, foi possível observar um afloramento de grandes dimensões, com aproximadamente 3 m de altura, 10 m de comprimento e orientação SE-NW, composto por material argiloso avermelhado, calcomargoso, com intercalações esbranquiçadas (Figura A4. 5). Coberto por alguma vegetação rasteira, pouco consistente em certas zonas e encontrando-se aparentemente seco. Deste afloramento foi recolhida a amostra **L1- AM4** composta por uma argila castanha-avermelhada, carbonatada, com intercalações esbranquiçadas, pequenos clastos de quartzo e calhaus de calcário sub-rolados a rolados.

Segundo Manuppella *et al.* (2011) este afloramento corresponde à unidade litostratigráfica da Formação de Benfica datada do Eocénico a Oligocénico.

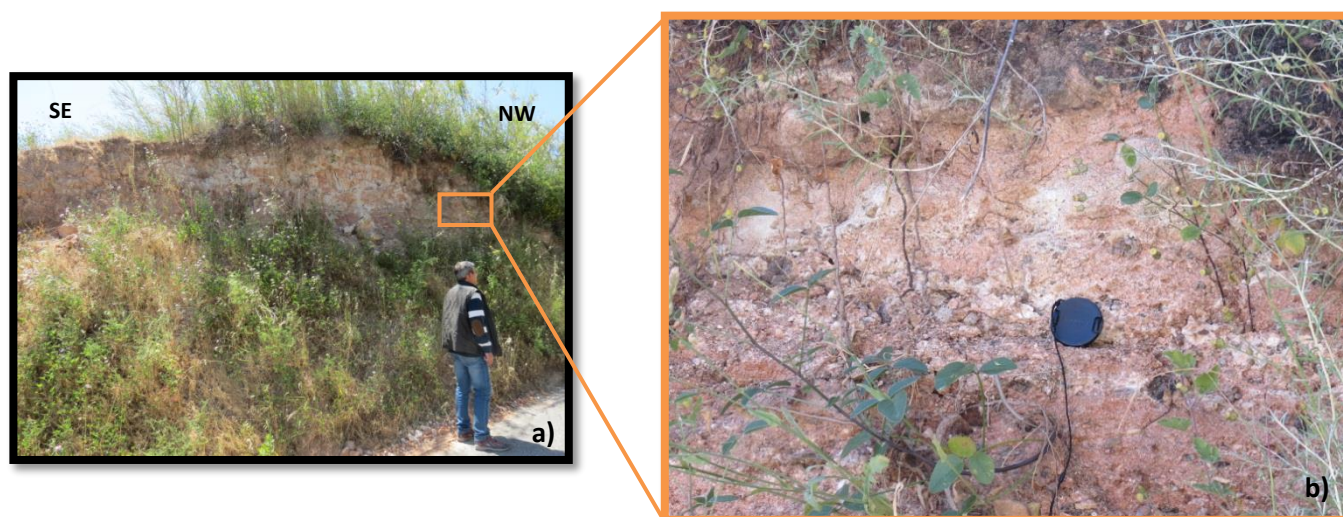


Figura A4. 5- Fotografias do Local 1: a) localização do ponto de recolha da amostra a L1- AM4; b) pormenor do local onde foi recolhida a amostra L1- AM4.

❖ Local 3 - AM1/AM2

No extremo W da Rua Cidade de Tomar, no concelho de Lisboa, foi possível observar um afloramento aparentemente seco, com aproximadamente 2 m de altura, 5 m de comprimento e orientação SW-NE, composto por uma alternância de litologias, cujo contacto entre os dois tipos de litologias apresentava uma atitude aparente N-S, 12°E (Figura A4. 6). Deste afloramento foram recolhidas duas amostras, de forma que a recolha fosse representativa desta alternância. Para isso foi recolhida a amostra **L3- AM1** da litologia mais a SE, composta por uma marga compacta, esbranquiçada, avermelhada, muito fraturada; e a amostra **L3- AM2** da litologia mais a NW, composta por uma argila, castanha, avermelhada,

argilo-arenosa, com elevada percentagem de calhaus de calcário sub-rolados e clastos de quartzo, e com nódulos argilosos cinzentos.

Segundo Manuppella *et al.* (2011) este afloramento corresponde à unidade litostratigráfica da Formação de Benfica datada do Eocénico a Oligocénico.



Figura A4. 6- Fotografias do Local 3: a) localização do ponto de recolha das amostras L3- AM1, L3- AM2; b) pormenor do local onde foi recolhida a amostra L3- AM1; c) pormenor do local onde foi recolhida a amostra L3- AM2.

❖ Local 4 – AM1/AM2

A SE da Estrada do Desvio, no concelho de Lisboa, foi possível observar um afloramento com 1.5 m de altura, 100 m de comprimento e orientação NE-SW, composto por um material argiloso castanho, com calhaus de calcário rolados de grandes dimensões e elevada percentagem de clastos de quartzo, aparentemente seco. Deste afloramento foram recolhidas duas amostras, de forma que a recolha fosse representativa de todo o afloramento, já que este tinha um elevado comprimento.

Segundo Manuppella *et al.* (2011) este afloramento corresponde à unidade litostratigráfica da Formação de Benfica datada do Eocénico a Oligocénico.

- **L4- AM1** – composta por uma argila avermelhada, acastanhada, com intercalações esbranquiçadas, com elevada percentagem de calhaus de calcário sub-rolados a

rolados e clastos de quartzo, e com nódulos argilosos cinzentos e avermelhados (Figura A4. 7);

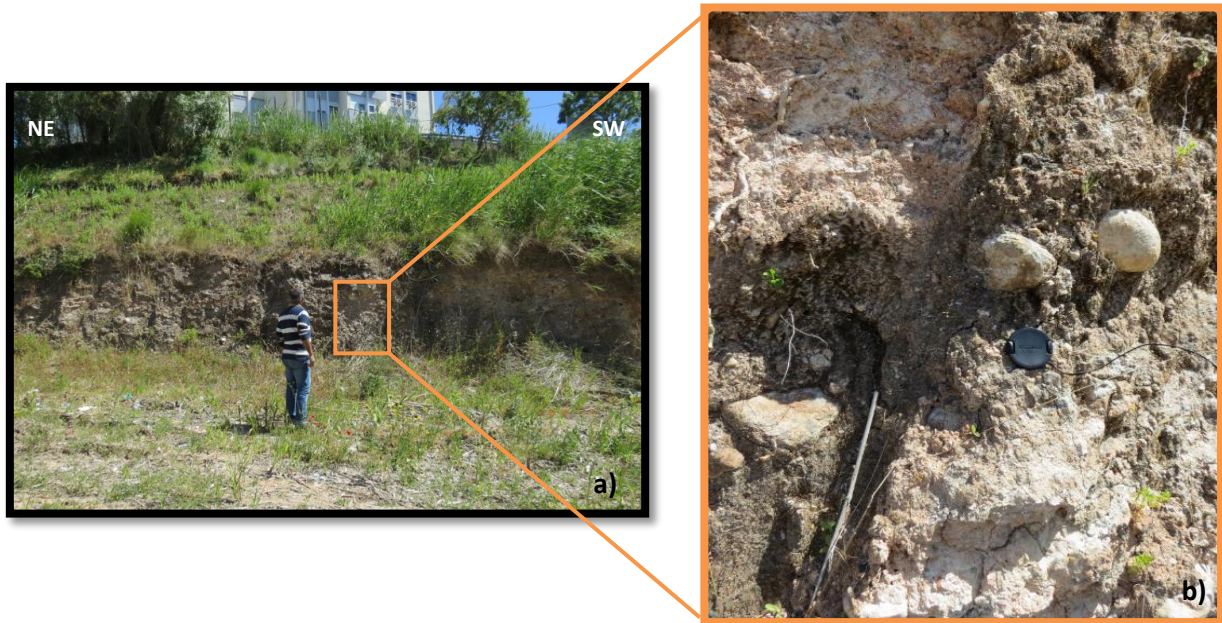


Figura A4. 7- Fotografias do Local 4: a) localização do ponto de recolha da amostra L4- AM1; b) pormenor do local onde foi recolhida a amostra L4- AM1.

- **L4- AM2** – composta por uma argila avermelhada, argilo-arenosa, com intercalações margosas esbranquiçadas, com elevada percentagem de calhaus de calcário rolados e clastos de quartzo, e com nódulos argilosos cinzentos (Figura A4. 8).

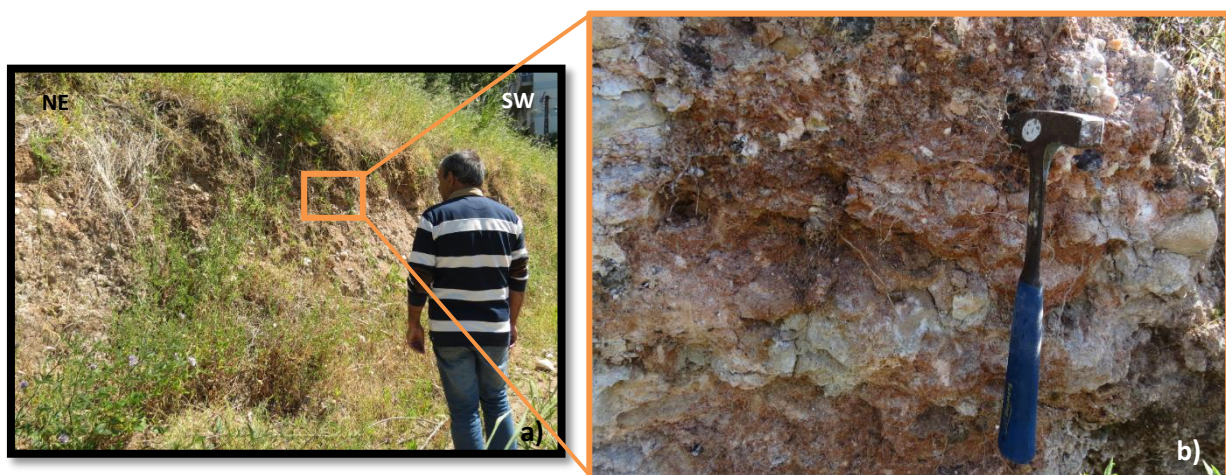


Figura A4. 8- Fotografias do Local 4: a) localização do ponto de recolha da amostra L4- AM2; b) pormenor do local onde foi recolhida a amostra L4- AM2.

❖ Local 8 – AM1

A S da Rua Presidente Samora Machel, no concelho de Odivelas, foi possível observar um afloramento com 5 m de altura, 50 m de comprimento e orientação NE-SW, composto por um material argiloso avermelhado e com clastos de quartzo de variadas dimensões, aparentemente seco (Figura A4. 9). Deste afloramento foi recolhida a amostra **L8- AM1**, composta por uma argila avermelhada, com intercalações esbranquiçadas, esverdeadas, com clastos de quartzo, e com nódulos argilosos cinzentos.

Segundo Manuppella *et al.* (2011) este afloramento corresponde à unidade litostratigráfica da Formação de Benfica datada do Eocénico a Oligocénico.

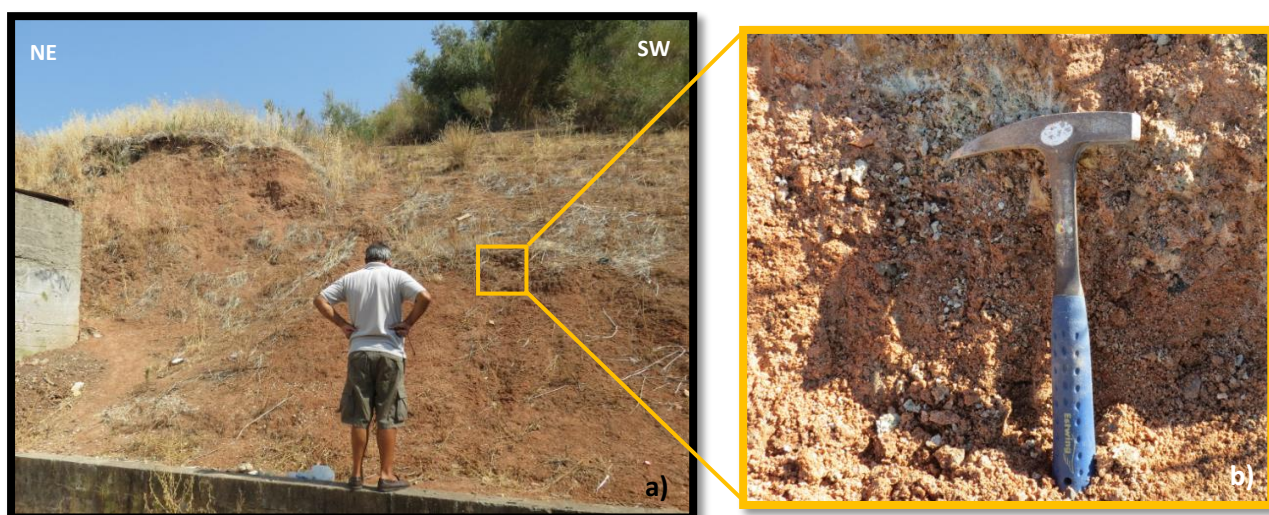


Figura A4. 9- Fotografias do Local 8: a) localização do ponto de recolha da amostra L8- AM1; b) pormenor do local onde foi recolhida a amostra L8- AM1.

❖ Local 9 – AM1

A S da Rua Timor, no concelho de Odivelas, devido a queda de uma parede de betão, que servia para contenção de terras, foi possível observar um afloramento com 5 m de altura, 10 m de comprimento e orientação NE-SW, composto por um material argiloso avermelhado, com calhaus de calcários rolados de grandes dimensões e com clastos de quartzo de variadas dimensões, aparentemente seco (Figura A4. 10). Deste afloramento foi recolhida a amostra **L9- AM1**, composta por uma argila avermelhada, com intercalações margosas esbranquiçadas, com calhaus de calcários rolados de grandes dimensões e clastos de quartzo.

Segundo Manuppella *et al.* (2011) este afloramento corresponde à unidade litostratigráfica da Formação de Benfica datada do Eocénico a Oligocénico.

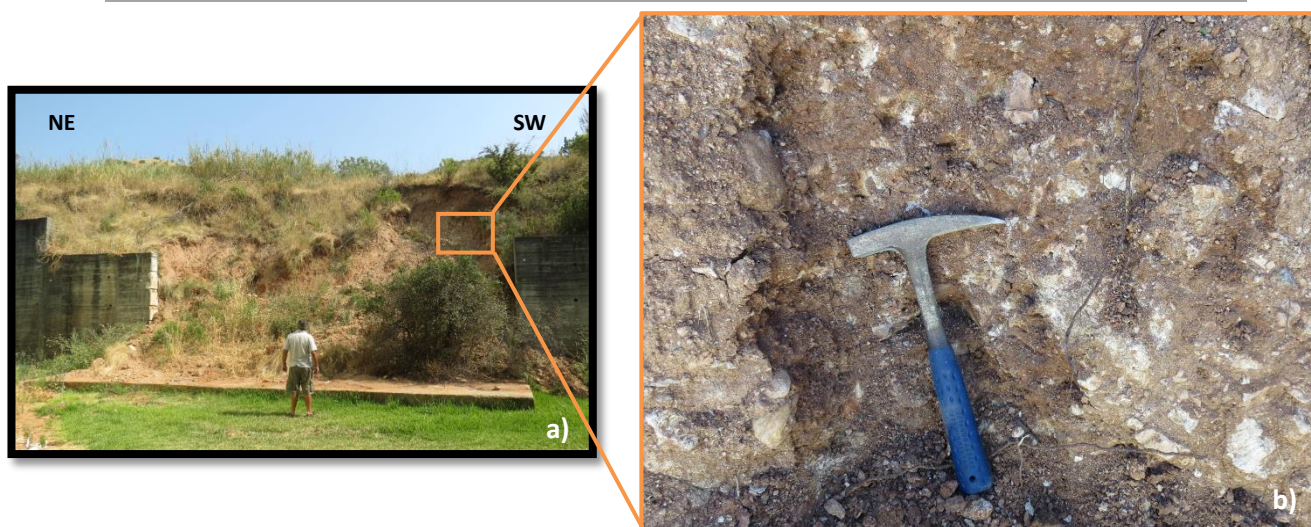


Figura A4. 10- Fotografias do Local 9: a) localização do ponto de recolha da amostra L9- AM1; b) pormenor do local onde foi recolhida a amostra L9- AM1.

❖ Local 11 – AM1/AM2

A S da Rua da Bela Vista, no concelho de Odivelas, foi possível observar um afloramento com 10 m de altura, 50 m de comprimento e orientação NE-SW, composto por um material margoso esbranquiçado, avermelhado, muito compacto e fraturado encontrando-se aparentemente seco (Figura A4. 11). Deste afloramento foram recolhidas duas amostras **L11- AM1** e **L11- AM2**, de forma que a recolha fosse representativa de todo o afloramento, já que este tinha um elevado comprimento.

Segundo Manuppella *et al.* (2011) este afloramento corresponde à unidade litostratigráfica da Formação de Benfica datada do Eocénico a Oligocénico.



Figura A4. 11- Fotografia do Local 11 com a localização dos pontos de recolha das amostras L11- AM1 e L11- AM2.

- **L11- AM1** – composta por uma margamuito compacta, esbranquiçada, avermelhada, fraturada;
- **L11- AM2** – composta por uma margamesbranquiçada, avermelhada, menos compacta que a da AM1, muito fraturada e em algumas zonas em pó.

❖ Local 12 – AM1

No extremo S da Rua da Bela Vista, no concelho de Odivelas, foi possível observar um afloramento com 1 m de altura, 10 m de comprimento e orientação N-S, composto por um material argiloso acastanhado, esbranquiçado, com nódulos cinzentos, com clastos de quartzo e calhaus de calcário rolados, aparentemente seco (Figura A4. 12). Deste afloramento foi recolhida a amostra **L12- AM1**, composta por uma argila castanha, esbranquiçada, com nódulos cinzentos, amarelados, esverdeados, com clastos de quartzo e intercalações margosas esbranquiçadas.

Segundo Manuppella *et al.* (2011) este afloramento corresponde à unidade litostratigráfica da Formação de Benfica datada do Eocénico a Oligocénico.



Figura A4. 12- Fotografias do Local 12: a) localização do ponto de recolha da amostra L12- AM1; b) pormenor do local onde foi recolhida a amostra L12- AM1.

❖ Local 13 – AM1

No extremo N da Rua da Bela Vista, no concelho de Odivelas, foi possível observar um afloramento com 4 m de altura, 3 m de comprimento e orientação NW-SE, composto por um material argiloso mais ou menos compacto, avermelhado, com intercalações esbranquiçadas, com nódulos argilosos cinzentos e com clastos de quartzo e calcário de variadas dimensões, aparentemente seco (Figura A4. 13). Deste afloramento foi recolhida a amostra **L13- AM1**,

composta por uma argila avermelhada, compacta, com intercalações margosas esbranquiçadas, com clastos de quartzo e de calcário de variadas dimensões sub-rolados a rolados e com nódulos argilosos cinzentos.

Segundo Manuppella *et al.* (2011) este afloramento corresponde à unidade litostratigráfica da Formação de Benfica datada do Eocénico a Oligocénico.



Figura A4. 13- Fotografias do Local 13: a) localização do ponto de recolha da amostra L13- AM1; b) pormenor do local onde foi recolhida a amostra L13- AM1.

❖ Local 14 – AM1

A S da Rua Comércio, no concelho de Odivelas, foi possível observar um afloramento com 2 m de altura, 1.5 m de comprimento e orientação S-N, composto por um material argiloso avermelhado, com intercalações esbranquiçadas e com clastos de quartzo e calcário de variadas dimensões, aparentemente seco (Figura A4. 14). Deste afloramento foi recolhida a amostra **L14- AM1**, composta por uma argila arenosa avermelhada, menos compacta que a do Local 13, com intercalações margosas esbranquiçadas e com clastos de quartzo e de calcário de variadas dimensões sub-rolados a rolados.

Segundo Manuppella *et al.* (2011) este afloramento corresponde à unidade litostratigráfica da Formação de Benfica datada do Eocénico a Oligocénico.

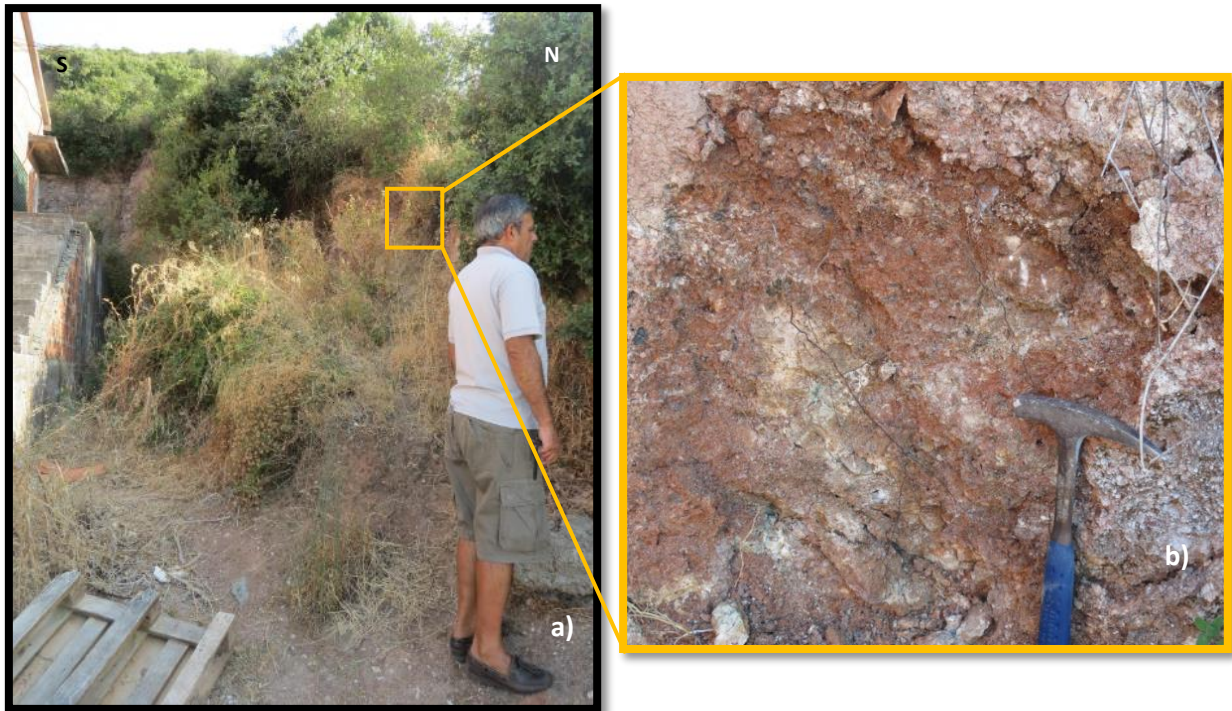


Figura A4. 14- Fotografias do Local 14: a) localização do ponto de recolha da amostra L14- AM1; b) pormenor do local onde foi recolhida a amostra L14- AM1.

