



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES
GEOQUÍMICAS, MINERALÓGICAS E
GEOMECÂNICAS EM PERFIS DE ALTERAÇÃO
DE MACIÇOS GRANITÓIDES**

Filipe Miguel Ramos Tidy

Orientadora: Professora Doutora Isabel Maria Ratola
Duarte

Co-Orientador: Professor Doutor José António Paulo
Mirão

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

Évora, 2014

Esta dissertação não inclui as críticas e as sugestões feitas pelo júri

AGRADECIMENTOS

Expresso aqui os meus sinceros agradecimentos a todos os intervenientes que, direta ou indiretamente, contribuíram para a preparação e concretização desta dissertação.

À minha orientadora da dissertação, Professora Doutora Isabel Duarte, um agradecimento muito especial pelo tema proposto, que considero bastante interessante, por todos os ensinamentos, pelo esclarecimento de dúvidas e incertezas e total ajuda na superação dos obstáculos que, ao longo desta caminhada, foram surgindo. Agradeço ainda a revisão crítica da dissertação, a constante disponibilidade e incentivo na realização dos diversos trabalhos. Os objetivos propostos não teriam sido atingidos sem a bibliografia facultada nem a determinação e empenho demonstrados. Toda a sua experiência na área da engenharia e preocupação com o aluno constituem motivo de reconhecimento. Não posso deixar de realçar que, fruto da pouca experiência que possuía nesta área das geociências, o tema em causa apresentou-se como bastante exigente e um grande desafio às minhas capacidades. Apesar da escassez de tempo para realizar todos os procedimentos laboratoriais, tentei rentabilizá-lo ao máximo e esforçar-me de modo a atingir os objetivos delineados, e a não defraudar a confiança e expectativas criadas.

A toda a organização e logística concretizada pela Professora Doutora Isabel Duarte, quer nos reconhecimentos de campo, quer no trabalho de Laboratório de Geotecnia da Universidade de Évora, o empenho e ensinamentos no âmbito da temática da Geotecnia, o meu muito obrigado.

Ao Professor Doutor José Mirão, agradeço a ajuda e tempo cedidos, a partilha de sugestões pertinentes e todo o “know how” transmitido, quer no que diz respeito aos procedimentos químicos, quer no manuseamento de equipamentos. Agradeço ainda as facilidades concedidas na realização dos vários ensaios de caracterização química e mineralógica das amostras.

Ao Departamento de Geociências da Universidade de Évora, docentes e funcionários, que desde o início do meu percurso académico me acompanham, a todos os meus agradecimentos.

Aos técnicos do Laboratório de Geociências da Universidade de Évora, Senhor Jorge e, especialmente, à Senhora D. Sandra por toda a colaboração prestada e boa disposição sempre presente, um muito obrigado.

Ao Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, nomeadamente, à técnica de laboratório, Senhora D. Cristina Sequeira, que se dispôs a realizar ensaios de análise química nas amostras selecionadas para esta dissertação, os meus sinceros agradecimentos.

Aos responsáveis da Empresa Tecnovia da pedra do Monte das Flores, os meus agradecimentos pelos ensinamentos transmitidos durante o período de estágio de licenciatura, e pela possibilidade de recolha de amostras de solo residual usadas neste trabalho.

Aos responsáveis da pedra de Benafessim (Montemor-o-Novo) agradeço a gentileza em autorizar o livre acesso ao local para recolha de amostras.

Não poderia deixar de agradecer aos meus colegas e amigos todo o companheirismo demonstrado ao longo destes anos. Sem eles, alguns obstáculos teriam sido mais difíceis de transpor. Especialmente, à Zélia Vivas, que deu a sua colaboração nos ensaios laboratoriais, à Rita Sobral, que serviu de fonte de inspiração e ao Pedro Fialho companheiro nas longas noites de trabalho laboratorial.

Para finalizar, à minha família, por todo o esforço financeiro e apoio incondicional, essenciais para chegar a esta etapa da minha vida. Estiveram sempre ao meu lado investindo no meu futuro, apoiando-me na realização de sonhos que sempre pensei ser capaz de concretizar. A eles o meu eterno obrigado.

A todos os que acreditaram e acreditam em mim e nas minhas capacidades, retribuo com toda a dedicação e empenho, com a promessa de nunca desistir de lutar por um futuro melhor.

SUMÁRIO

Os principais objetivos deste trabalho são os seguintes:

- contribuir para o conhecimento das propriedades geoquímicas, mineralógicas e geomecânicas dos solos residuais de rochas granitóides do Alentejo;
- compreender e relacionar a variabilidade de propriedades físico-químicas ao longo de um perfil de alteração de rochas granitóides em clima temperado;
- antecipar o comportamento geotécnico, em tempo real, pelo conhecimento da variação da composição química dos solos residuais.

No Capítulo 1, distinguem-se os principais fatores e tipo de alterações que levam à formação dos solos residuais e descrevem-se as características gerais dos solos residuais.

No Capítulo 2, descreve-se as metodologias adotadas nos trabalhos de campo e ensaios de laboratório.

No Capítulo 3, faz-se o enquadramento das áreas de estudo nas regiões de Évora, Montemor-o-Novo e Vimieiro.

Os dados dos ensaios laboratoriais de caracterização geotécnica são apresentados no Capítulo 4.

No Capítulo 5, apresentam-se os dados dos ensaios laboratoriais de caracterização química e mineralógica realizados nos solos residuais e respetivas rochas-mãe.

No Capítulo 6, apresentam-se as principais conclusões extraídas do trabalho realizado, em conjunto com uma análise das observações de campo e dos resultados experimentais obtidos.

ABSTRACT

EVALUATION OF GEOCHEMICAL, MINERALOGICAL AND GEOMECHANICAL PROPERTIES IN WEATHERING PROFILES FROM GRANITOID MASSIFS

The main objectives of this work are:

- To contribute to the knowledge of the geochemical, mineralogical and geomechanical properties of residual soils of granitic rocks from the Alentejo region;
- To understand and relate the variability of physic-chemical properties along a weathering profile of granitoid rocks in a temperate climate;
- To anticipate the geotechnical behavior in real time, through the knowledge of the variation of chemical composition of residual soils.

Chapter 1 distinguishes the main factors and changes that lead to the formation of residual soils, with a description of the general characteristics of residual soils.

Chapter 2 describes the methodologies adopted in the field work and laboratory tests.

Chapter 3 is a summary of the framework for the regions of Évora, Montemor-o-Novo and Vimieiro concerning the studied areas.

Chapter 4 presents the geotechnical characterization laboratory tests that were carried out.

Chapter 5 contains the chemical and mineralogical characterization laboratory tests performed on residual soils and their mother rocks.

In Chapter 6 are presented the final remarks and the main conclusions of the work, together with an analysis of field observations and experimental results obtained.

PALAVRAS CHAVE

- Solos residuais;
- Maciços granitóides;
- Perfis de alteração;
- Ensaio de caracterização geotécnica;
- Propriedades geoquímicas;
- Composição mineralógica.

KEYWORDS

- Residual soils;
- Granitoid massifs;
- Weathering profiles;
- Geotechnical characterisation tests;
- Geochemical properties;
- Mineralogical composition.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	ii
SUMÁRIO	iv
ABSTRACT.....	vi
PALAVRAS CHAVE.....	viii
ÍNDICE GERAL.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE QUADROS.....	xx
SIMBOLOGIA.....	xxvi
ABREVIATURAS.....	xxx
1 - OS SOLOS RESIDUAIS	2
1.1 - Considerações gerais.....	2
1.2 - Formação dos solos residuais.....	4
1.2.1 - Tipos de alteração.....	6
1.2.2 - Mecanismos de alteração.....	8
1.2.3 - Fatores que condicionam a génese dos solos residuais	10
1.3 - Características gerais dos solos residuais	15
1.4 - Descrição e classificação dos solos residuais	18
1.4.1 - Classificações clássicas com base no perfil de alteração	19
1.4.2 - Sistemas de classificação especiais para solos residuais	21
1.5 - Mineralogia e ocorrência de produtos de alteração	24
1.5.1 - Mineralogia e microestrutura relacionadas com as propriedades geotécnicas	25
2 - Metodologia aplicada	28
2.1 - Introdução	28
2.2 - Recolha de dados	31
2.3 - Trabalhos de campo	31
2.3.1 - Reconhecimento geológico de superfície.....	32
2.3.2 - Métodos de amostragem.....	33
2.3.3 - Ensaio <i>in situ</i>	35
2.4 - Ensaio de laboratório.....	36

2.4.1 -	Caracterização geotécnica	36
2.4.2 -	Caracterização química e mineralógica	59
3 -	Enquadramento regional	62
3.1 -	Preâmbulo	62
3.2 -	Enquadramento da região de Évora	62
3.2.1 -	Geomorfologia.....	62
3.2.2 -	Geologia.....	63
3.2.3 -	Tectónica	64
3.2.4 -	Recursos minerais.....	64
3.3 -	Enquadramento da região de Montemor-o-Novo	65
3.3.1 -	Geomorfologia.....	65
3.3.2 -	Geologia.....	66
3.3.3 -	Tectónica	66
3.3.4 -	Recursos minerais.....	66
3.3.5 -	Hidrogeologia	67
3.4 -	Enquadramento da região do Vimieiro	67
3.4.1 -	Geomorfologia.....	67
3.4.2 -	Geologia económica	67
3.4.3 -	Hidrogeologia	67
4 -	Ensaaios laboratoriais de caracterização geotécnica.....	68
4.1 -	Solos residuais dos granitóides do maciço eruptivo de Évora.....	68
4.1.1 -	Resultados experimentais	69
4.2 -	Solos residuais dos granitóides do maciço eruptivo de Montemor-o-Novo	88
4.2.1 -	Resultados experimentais	88
4.3 -	Solos residuais do maciço granítico do Vimieiro	108
4.3.1 -	Resultados experimentais	108
5 -	Ensaaios laboratoriais de Caracterização química e mineralógica	129
5.1 -	Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX).....	129
5.1.1 -	Monte das Flores	130
5.1.2 -	Montemor-o-Novo.....	133
5.1.3 -	Vimieiro.....	136
5.2 -	Difracção de raios-X (DRX)	139

5.2.1 - Perfil do Monte das Flores.....	140
5.2.2 - Perfil de Montemor-o-Novo	142
5.2.3 - Perfil do Vimieiro	146
6 - Considerações Finais	149
6.1 - Perfis de alteração e locais de amostragem.....	150
6.2 - Características geotécnicas	151
6.3 - Geoquímica e mineralogia	160
6.4 - Conclusões gerais.....	162
Referências bibliográficas	164
Anexos.....	169

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1– Perfil de alteração típico de um solo residual (adaptado de Little, 1969).	4
Figura 1.2 – Influência da zonalidade climática do globo na formação dos minerais de argila (adaptado de Uehara, 1982).	13
Figura 2.1 – Perfil de solo residual de granodiorito na pedreira do Monte das Flores em Évora (à esquerda) e respetiva recolha de amostras (à direita).	28
Figura 2.2 - Perfil de solo residual de quartzodiorito na pedreira de Benafessim em Montemor-o-Novo (à esquerda) e respetiva recolha de amostras (à direita).	28
Figura 2.3 - Perfil de solo residual do granito do Vimieiro (à direita) e respetiva recolha de amostras (à esquerda).	28
Figura 2.4 - Fluxograma geral da metodologia de trabalhos desenvolvidos para esta dissertação.	30
Figura 2.5 - Determinação dos pesos volúmicos pelo método do extrator (ensaio “in situ”).	34
Figura 2.6 - Esquema geral da preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação e complementares realizados para esta dissertação.	37
Figura 2.7 – Ensaio da determinação da textura de solos.	43
Figura 2.8 - Execução do ensaio para determinação do limite de plasticidade.	48
Figura 2.9 - Concha de Casagrande (elétrica).	49
Figura 2.10 - Penetrómetro usado para os ensaios de limites de liquidez através do cone de penetração.	49
Figura 2.11 – Conjunto de expansímetros e pilão.	52
Figura 2.12 - Repartidor de finos.	54
Figura 2.13 – Ensaio de equivalente de areia.	55
Figura 2.14 – Picnómetros em placas de aquecimento para a determinação de densidades.	56
Figura 2.15 - Permeâmetro de carga constante (tubo).	58
Figura 4.1 – Frações granulométricas das amostras de solo residual colhidas no perfil do maciço granitóide de Évora (amostras MF1 no topo do perfil até MF8 na base, sucessivamente).	71
Figura 4.2 – Curvas granulométricas dos solos residuais do maciço granitóide de Évora.	75
Figura 4.3 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF1.	77
Figura 4.4 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF2.	77
Figura 4.5 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF3.	77
Figura 4.6 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF4.	78
Figura 4.7 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF5.	78
Figura 4.8 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF6.	78

Figura 4.9 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF7.	79
Figura 4.10 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF8.	79
Figura 4.11 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF1.	79
Figura 4.12 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF2.	80
Figura 4.13 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF3.	80
Figura 4.14 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF4.	80
Figura 4.15 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF5.	81
Figura 4.16 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF6.	81
Figura 4.17 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF7.	81
Figura 4.18 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF8.	82
Figura 4.19 - Representação gráfica do ensaio de expansibilidade para o perfil do Monte das Flores.	86
Figura 4.20 – Gráfico mostrando a evolução da permeabilidade ao longo do tempo (K versus t) para o perfil do Monte das Flores.	87
Figura 4.21 – Frações granulométricas nos solos residuais do perfil do maciço de Montemor-o-Novo (MM1 no topo até MM8 na base, sucessivamente).	90
Figura 4.22 - Curvas granulométricas dos solos residuais do maciço eruptivo de Montemor-o-Novo.	94
Figura 4.23 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM1.	96
Figura 4.24 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM2.	97
Figura 4.25 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM3.	97
Figura 4.26 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM4.	97
Figura 4.27 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM5.	98
Figura 4.28 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM6.	98

Figura 4.29 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM7.....	98
Figura 4.30 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM8.....	99
Figura 4.31 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM1.	99
Figura 4.32 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM2.	99
Figura 4.33 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM3.	100
Figura 4.34 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM4.	100
Figura 4.35 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM5.	100
Figura 4.36 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM6.	101
Figura 4.37 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM7.	101
Figura 4.38 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM8.	101
Figura 4.39 - Representação gráfica do ensaio de expansibilidade para o perfil de Montemor-o-Novo.	106
Figura 4.40 - Gráfico mostrando a evolução do coeficiente de permeabilidade ao longo do tempo (K versus t) para o perfil de Montemor-o-Novo.	107
Figura 4.41 - Granulometrias do perfil do maciço do Vimieiro (VM1 no topo até VM8 na base, sucessivamente).....	110
Figura 4.42 - Curvas granulométricas dos solos residuais do maciço granítico do Vimieiro.	114
Figura 4.43 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM1.	116
Figura 4.44 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM2.	117
Figura 4.45 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM3.	117
Figura 4.46 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM4.	117
Figura 4.47 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM5.	118
Figura 4.48 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM6.	118
Figura 4.49 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM7.	118

Figura 4.50 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM8.	119
Figura 4.51 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM1.	119
Figura 4.52 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM2.	120
Figura 4.53 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM3.	120
Figura 4.54 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM4.	120
Figura 4.55 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM5.	121
Figura 4.56 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM6.	121
Figura 4.57 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM7.	121
Figura 4.58 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM8.	122
Figura 4.59 - Representação gráfica do ensaio de expansibilidade para o perfil do Vimieiro....	126
Figura 4.60 - Gráfico mostrando a evolução da permeabilidade ao longo do tempo (K versus t) para o perfil do Vimieiro.	128
Figura 5.1 - Concentração vs elementos maiores para o perfil de solos do Monte das Flores. ..	130
Figura 5.2 - Perda em absoluto vs elementos maiores para o perfil de solos do Monte das Flores.	131
Figura 5.3 - Perda percentual vs elementos maiores para o perfil de solos do Monte das Flores.	131
Figura 5.4 - Concentração vs elementos menores para o perfil de solos do Monte das Flores. .	132
Figura 5.5 - Perda em absoluto vs elementos menores para o perfil de solos do Monte das Flores.	132
Figura 5.6 - Perda percentual vs elementos menores para o perfil de solos do Monte das Flores.	133
Figura 5.7 - Concentração vs elementos maiores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo. 134	
Figura 5.8 - Perda em absoluto vs elementos maiores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo.	134
Figura 5.9 - Perda percentual vs elementos maiores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo.	134
Figura 5.10 - Concentração vs elementos menores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo.	135
Figura 5.11 - Perda em absoluto vs elementos menores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo.	135

Figura 5.12 - Perda percentual vs elementos menores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo.....	136
Figura 5.13 - Concentração vs elementos maiores para o perfil de solos do Vimieiro.....	137
Figura 5.14 - Perda em absoluto vs elementos maiores para o perfil de solos do Vimieiro.	137
Figura 5.15 - Perda percentual vs elementos maiores para o perfil de solos do Vimieiro.	137
Figura 5.16 - Concentração vs elementos menores para o perfil de solos do Vimieiro.....	138
Figura 5.17 - Perda em absoluto vs elementos menores para o perfil de solos do Vimieiro.	138
Figura 5.18 - Perda percentual vs elementos maiores para o perfil de solos do Vimieiro.	139
Figura 5.19 - Sobreposição dos difractogramas para o perfil do Monte das Flores.....	140
Figura 5.20 - Sobreposição dos difractogramas para o perfil de Montemor-o-Novo.	143
Figura 5.21 - Sobreposição dos difractogramas para o perfil do Vimieiro.	146
Figura 6.1 - Evolução em profundidade do teor em água no estado natural, para os 3 perfis em estudo.	152
Figura 6.2 - Análise comparativa da expansibilidade para os 3 perfis em estudo, e em profundidade.....	158
Figura 6.3 - Comparação em profundidade do equivalente de areia para os 3 perfis em estudo.	158
Figura 6.4 - Comparação em profundidade da densidade para os 3 perfis em estudo.	159
Figura 6.5 - Comparação em profundidade da permeabilidade para os 3 perfis em estudo.	160
Figura 6.6 - Comparação em profundidade da matéria orgânica para os 3 perfis em estudo.	160

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 – Classificação dos graus de alteração (Little, 1969).....	20
Quadro 1.2 – Classificação e características dos grupos de solos residuais (segundo Wesley & Irfan (1996) e adaptado de Blight, 1997).	23
Quadro 2.1 - Áreas aproximadas dos maciços eruptivos a que correspondem os solos residuais em estudo.....	29
Quadro 2.2 - Tipo e número de amostras ensaiadas nesta dissertação.....	36
Quadro 2.3 - Principais frações granulométricas com respetivas designações e peneiros correspondentes (Correia, 1980).	38
Quadro 2.4 - Tempos de sedimentação calculados pela lei de Stokes (para a região de Lisboa e Évora).	42
Quadro 2.5 - Posicionamento dos limites de consistência (LR, LP, LL) face aos estados de comportamento dos solos.	46
Quadro 2.6 - Classificação dos solos quanto à sua plasticidade.	47
Quadro 2.7 – Classificação dos solos coerentes quanto à sua consistência	51
Quadro 4.1 – Propriedades físicas <i>in situ</i> dos solos residuais do maciço granitóide de Évora....	70
Quadro 4.2 – Propriedades físicas <i>in situ</i> dos solos residuais do maciço de Montemor-o-Novo. 89	
Quadro 4.3 – Propriedades físicas <i>in situ</i> dos solos residuais do maciço do Vimieiro.	109
Quadro 5.1 - Dados consolidados da análise da difracção de Raios-X (DRX) para o perfil do Monte das Flores.	141
Quadro 5.2 - Tabela de abundâncias dos compostos químicos no perfil do Monte das Flores. 142	
Quadro 5.3 - Dados consolidados da análise da difracção de Raios-X (DRX) para o perfil de Montemor-o-Novo.	144
Quadro 5.4 - Tabela de abundâncias dos compostos químicos no perfil de Montemor-o-Novo.	145
Quadro 5.5 - Dados consolidados da análise da difracção de Raios-X (DRX) para o perfil do Vimieiro.	147
Quadro 5.6 - Tabela de abundâncias dos compostos químicos no perfil do Vimieiro.....	148
Quadro 6.1– Propriedades gerais de caracterização geotécnica dos 3 perfis em estudo.....	154
Quadro 0.1 – Propriedades físicas <i>in situ</i> dos solos residuais do maciço granitóide de Évora... 169	
Quadro 0.2 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF1.....	169
Quadro 0.3 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF2.....	170
Quadro 0.4 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF3.....	170
Quadro 0.5 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF4.....	171
Quadro 0.6 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF5.....	171
Quadro 0.7 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF6.....	172
Quadro 0.8 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF7.....	172
Quadro 0.9 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF8.....	173
Quadro 0.10 – Tabela da massa retida no ensaio de determinação da textura de solos de Monte das Flores.....	173

Quadro 0.11 – Tabela da correção do teor em água para os solos de Monte das Flores.....	174
Quadro 0.12 - Tabela da recolha silte + argila (L+A) para os solos de Monte das Flores.....	174
Quadro 0.13 – Tabela da recolha Argila (A) para os solos de Monte das Flores.	175
Quadro 0.14 – Tabela dos valores do limite de plasticidade para os solos de Monte das Flores.	175
Quadro 0.15 – Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método da concha de Casagrande para os solos de Monte das Flores.....	177
Quadro 0.16 - Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método do Cone de penetração para os solos de Monte das Flores.....	178
Quadro 0.17 - Classificações geotécnicas (AASHTO e Sistema Unificado) dos solos residuais granitóides do maciço eruptivo de Évora.	179
Quadro 0.18 - Teor em água para os solos de Monte das Flores.	180
Quadro 0.19 - Tabela do teor em água para os solos de Monte das Flores.....	180
Quadro 0.20 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP1 e EXP2) usando os solos de Monte das Flores (MF1 e MF2).	181
Quadro 0.21 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP3 e EXP4) usando os solos de Monte das Flores (MF3 e MF4).	182
Quadro 0.22 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP5 e EXP6) usando os solos de Monte das Flores (MF5 e MF6).	183
Quadro 0.23 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP7 e EXP1) usando os solos de Monte das Flores (MF7 e MF8).	184
Quadro 0.24 – Estimativa do peso de cada toma através do teor em água de cada provete (do perfil do Monte das Flores).	184
Quadro 0.25 – Determinação do Equivalente de Areia (E.A.) e do Equivalente de Areia Visual (E.A.V.) para o perfil do Monte das Flores.....	185
Quadro 0.26 – Tabela com a determinação dos valores das densidades para os solos de Monte das Flores.....	186
Quadro 0.27 – Tabela com os valores da permeabilidade para os solos de Monte das Flores. ...	187
Quadro 0.28 - Valores do ensaio para determinação do teor em matéria orgânica do perfil do Monte das Flores.	190
Quadro 0.29 – Propriedades físicas <i>in situ</i> dos solos residuais do maciço eruptivo de Montemor-o-Novo.....	190
Quadro 0.30 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM1.	191
Quadro 0.31 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM2.	191
Quadro 0.32 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM3.	192
Quadro 0.33 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM4.	192
Quadro 0.34 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM5.	193
Quadro 0.35 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM6.	193
Quadro 0.36 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM7.	194
Quadro 0.37 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM8.	194
Quadro 0.38 – Tabela da massa retida no ensaio de determinação da textura de solos de Montemor-o-Novo.	195

Quadro 0.39 - Tabela da correção do teor em água para os solos de Montemor-o-Novo.....	195
Quadro 0.40 - Tabela da recolha Silte + Argila (L+A) para os solos de Montemor-o-Novo.	196
Quadro 0.41 - Tabela da recolha Argila (A) para os solos de Montemor-o-Novo.	196
Quadro 0.42 – Tabela dos valores do limite de plasticidade para os solos de Montemor-o-Novo.	197
Quadro 0.43 – Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método de Casagrande para os solos de Montemor-o-Novo.....	198
Quadro 0.44 - Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método do Cone de penetração para os solos de Montemor-o-Novo.....	200
Quadro 0.45 - Classificações geotécnicas (AASHTO e Sistema Unificado) dos solos residuais das rochas ígneas quartzodioríticas do maciço eruptivo de Montemor-o-Novo.....	201
Quadro 0.46 - Teor em água para os solos do perfil de Montemor-o-Novo.....	202
Quadro 0.47 - Tabela do teor em água para os solos de Montemor-o-Novo.	202
Quadro 0.48 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP1 e EXP2) usando os solos de Montemor-o-Novo (MM1 e MM2).....	203
Quadro 0.49 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP3 e EXP4) usando os solos de Montemor-o-Novo (MM3 e MM4).....	204
Quadro 0.50 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP5 e EXP6) usando os solos de Montemor-o-Novo (MM5 e MM6).....	205
Quadro 0.51 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP7 e EXP2) usando os solos de Montemor-o-Novo (MM7 e MM8).....	206
Quadro 0.52 – Estimativa do peso de cada toma através do teor em água de cada provete (do perfil de Montemor-o-Novo).....	207
Quadro 0.53 – Determinação do Equivalente de Areia (E.A.) e do Equivalente de Areia Visual (E.A.V.) para o perfil de Montemor-o-Novo.	208
Quadro 0.54 - Tabela com a determinação dos valores das densidades para os solos de Montemor-o-Novo.	209
Quadro 0.55 – Tabela com os valores da permeabilidade para os solos de Montemor-o-Novo.	210
Quadro 0.56 - Valores do ensaio para determinação do teor em matéria orgânica do perfil de Montemor-o-Novo.	213
Quadro 0.57 – Propriedades físicas <i>in situ</i> dos solos residuais do maciço granítico do Vimieiro.	213
Quadro 0.58 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM1.	214
Quadro 0.59 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM2.	214
Quadro 0.60 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM3.	215
Quadro 0.61 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM4.	215
Quadro 0.62 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM5.	216
Quadro 0.63 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM6.	216
Quadro 0.64 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM7.	217
Quadro 0.65 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM8.	217

Quadro 0.66 – Tabela da massa retida no ensaio de determinação da textura de solos do Vimieiro.	218
Quadro 0.67 - Tabela da correção do teor em água para os solos do Vimieiro.	218
Quadro 0.68 - Tabela da recolha Silte + Argila (L+A) para os solos do Vimieiro.	219
Quadro 0.69 - Tabela da recolha Argila (A) para os solos do Vimieiro.	219
Quadro 0.70 – Tabela dos valores do limite de plasticidade para os solos do Vimieiro.	220
Quadro 0.71 – Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método da concha de Casagrande para os solos do Vimieiro.	221
Quadro 0.72 - Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método do Cone de penetração para os solos do Vimieiro.	223
Quadro 0.73 - Classificações geotécnicas (AASHTO e Sistema Unificado) dos solos residuais do maciço granítico do Vimieiro.	224
Quadro 0.74 - Teor em água para os solos do perfil do Vimieiro.	225
Quadro 0.75 - Tabela do teor em água para os solos do Vimieiro.	225
Quadro 0.76 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP1 e EXP2) usando os solos do Vimieiro (VM1 e VM2).	226
Quadro 0.77 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP3 e EXP4) usando os solos do Vimieiro (VM3 e VM4).	227
Quadro 0.78 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP5 e EXP6) usando os solos do Vimieiro (VM5 e VM6).	228
Quadro 0.79 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP7 e EXP5) usando os solos do Vimieiro (VM7 e VM8).	229
Quadro 0.80 – Estimativa do peso de cada toma através do teor em água de cada provete (do perfil do Vimieiro).	230
Quadro 0.81– Determinação do Equivalente de Areia (E.A.) e do Equivalente de Areia Visual (E.A.V.) para o perfil do Vimieiro.	231
Quadro 0.82 - Tabela com a determinação dos valores das densidades para os solos do Vimieiro.	232
Quadro 0.83 – Tabela com os valores da permeabilidade para os solos do Vimieiro.	233
Quadro 0.84 - Valores do ensaio para determinação do teor em matéria orgânica do perfil do Vimieiro.	236
Quadro 0.85 – Percentagens de elementos maiores de solo do perfil do Monte das Flores.	236
Quadro 0.86 – Percentagens ajustadas de elementos maiores para a rocha e solo do perfil do Monte das Flores.	237
Quadro 0.87 – Elementos maiores considerando o Al imóvel para os solos do perfil do Monte das Flores.	237
Quadro 0.88 – Perda em absoluto de elementos maiores nos solos do perfil do Monte das Flores.	238
Quadro 0.89 – Perda percentual de elementos maiores nos solos do perfil do Monte das Flores.	238
Quadro 0.90 - Percentagens de elementos menores de solo do perfil do Monte das Flores.	239

Quadro 0.91 - Percentagens ajustadas de elementos menores para a rocha e solo do perfil do Monte das Flores.	240
Quadro 0.92 - Perda em absoluto de elementos menores nos solos do perfil do Monte das Flores.	242
Quadro 0.93 - Perda percentual de elementos menores nos solos do perfil do Monte das Flores.	243
Quadro 0.94 – Outras variáveis calculadas para o perfil do Monte das Flores.	244
Quadro 0.95 - Percentagens de elementos maiores de solo do perfil de Montemor-o-Novo.	244
Quadro 0.96 - Percentagens ajustadas de elementos maiores para a rocha e solo do perfil do Montemor-o-Novo.	244
Quadro 0.97 - Elementos maiores considerando o Al imóvel para os solos do perfil de Montemor-o-Novo.	245
Quadro 0.98 - Perda em absoluto de elementos maiores nos solos do perfil de Montemor-o-Novo.	245
Quadro 0.99 - Perda percentual de elementos maiores nos solos do perfil de Montemor-o-Novo.	246
Quadro 0.100 - Percentagens de elementos menores de solo do perfil do Montemor-o-Novo.	246
Quadro 0.101 - Percentagens ajustadas de elementos menores para a rocha e solo do perfil de Montemor-o-Novo.	247
Quadro 0.102 - Elementos menores considerando o Al imóvel para os solos do perfil de Montemor-o-Novo.	248
Quadro 0.103 - Perda em absoluto de elementos menores nos solos do perfil de Montemor-o-Novo.	249
Quadro 0.104 - Perda percentual de elementos menores nos solos do perfil de Montemor-o-Novo.	250
Quadro 0.105 – Outras variáveis calculadas para o perfil de Montemor-o-Novo.	251
Quadro 0.106 - Percentagens de elementos maiores de solo do perfil do Vimieiro.	251
Quadro 0.107 - Percentagens ajustadas de elementos maiores para a rocha e solo do perfil do Vimieiro.	252
Quadro 0.108 - Elementos maiores considerando o Al imóvel para os solos do perfil do Vimieiro.	252
Quadro 0.109 - Perda em absoluto de elementos maiores nos solos do perfil do Vimieiro.	253
Quadro 0.110 - Perda percentual de elementos maiores nos solos do perfil do Vimieiro.	253
Quadro 0.111 - Percentagens de elementos menores de solo do perfil do Vimieiro.	254
Quadro 0.112 - Percentagens ajustadas de elementos menores para a rocha e solo do perfil do Vimieiro.	255
Quadro 0.113 - Elementos menores considerando o Al imóvel para os solos do perfil do Vimieiro.	256
Quadro 0.114 - Perda em absoluto de elementos menores nos solos do perfil do Vimieiro.	257
Quadro 0.115 - Perda percentual de elementos menores nos solos do perfil do Vimieiro.	258
Quadro 0.116 – Outras variáveis calculadas para o perfil do Vimieiro.	259

Quadro 0.117 – Comparação entre as propriedades físicas “in situ” para os 3 perfis de solos residuais.....	259
Quadro 0.118 - Tabela com a correlação entre os resultados obtidos por ambos os métodos....	259
Quadro 0.119 - Caracterização geral dos 3 perfis de solos residuais em estudo.....	260

SIMBOLOGIA

A – secção transversal do provete

a – argila + resíduo da solução dispersante (r) (Determinação da Textura de solos)

Ac – atividade coloidal do solo

b – silte + argila + resíduo da solução dispersante (r) (Determinação da Textura de solos)

c – areia fina (Determinação da Textura de solos)

Cc – coeficiente de curvatura

Cu – coeficiente de uniformidade granulométrica

D – diâmetro

D_n – (D_{10} , D_{30} , D_{60} ...) diâmetro das partículas de um solo, para o qual n % das partículas desse solo apresentam diâmetros menores

d – areia grossa (Determinação da Textura de solos)

e – índice de vazios

e_0 – índice de vazios “in situ”

EA – equivalente de areia

Exp – expansibilidade (%)

g – aceleração da gravidade

h – diferença de carga hidráulica entre os extremos da amostra (no permeâmetro)

h_0 – altura inicial (Determinação do Equivalente de areia)

h_1 – altura do nível superior do floculado em relação ao fundo da proveta (Equivalente de areia)

h'_2 – altura do nível superior da parte sedimentada em relação ao fundo da proveta (Equivalente de areia)

h_2 – altura do sedimento

– altura entre a face superior da peça guia e a face inferior do peso do pistão (Equivalente de areia)

h_3 – altura entre a face superior da peça guia e a face inferior do peso do pistão (Equivalente de areia)

I_p – índice de plasticidade

I_{pc} – índice de plasticidade calculado a partir do limite de liquidez determinado com o cone penetrométrico BS

I_C – Índice de consistência

I_L – Índice de liquidez

k – coeficiente de permeabilidade (cm/s)

L – comprimento do provete

l_0 – leitura inicial do deflectómetro

l_1 – leitura final do deflectómetro

MO – teor em matéria orgânica

m – massa da amostra de terra fina (Textura de solos)

n – porosidade

p – volume da pipeta (Textura de solos)

pH – potencial de hidrogénio

ppm – partes por milhão

R – resíduo total adicionado à amostra de solo (Textura de solos)

r – raio das partículas

– peso do resíduo da solução dispersante obtido no ensaio branco (Textura de solos)

– resíduo recolhido na pipetagem (Textura de solos)

t – tempo

V – volume de água que atravessa o provete no intervalo de tempo t (no permeâmetro)

v – velocidade de sedimentação de uma partícula num fluido

W – teor em água

W_a – teor em água do solo

W_L (ou LL) – Limite de Liquidez

W_P (ou LP) – Limite de Plasticidade

W_R (ou LR) – Limite de Retracção

W_w – peso da água

W_s – peso das partículas sólidas

w_L – limite de liquidez obtido pelo método da concha de Casagrande

w_{Lc} (ou LL_C) – limite de liquidez obtido pelo método do cone penetrométrico BS

w_p – limite de plasticidade

w_0 – teor em água no estado natural

Δh – variação de altura

γ_d – peso volúmico no estado seco

γ_s – peso específico das partículas de um solo (densidade)

γ_0 – peso volúmico no estado natural

ρ_s – massa específica do solo

ρ_a – massa específica da água

η – viscosidade dinâmica da água

– abertura da malha do peneiro número...

ABREVIATURAS

AASHTO – “American Association of State Highway and Transportation Officials”

ASTM – “American Society for Testing and Materials”

BS – “British Standards”

DRX – Difraccção de raios-X

E.A. – Equivalente de areia

E.A.V. – Equivalente de areia visual

Fig. – Figura

FRX – Espectometria de fluorescência de raios-X

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MO – Matéria orgânica

NP – Norma Portuguesa

USCS – “Unified Soil Classification System”

ZCI – Zona Centro Ibérica

ZOM – Zona de Ossa Morena

et al. – *et alii* (e outros)

e.g. – *exempli gratia* (por exemplo)

1 - OS SOLOS RESIDUAIS

1.1 - Considerações gerais

Em termos gerais, o solo é definido como um corpo natural, complexo e dinâmico formado sobre os materiais de origem, em que a parte não consolidada é designada por rególito. A espessura do rególito depende dos fatores responsáveis pela erosão, sedimentação e meteorização. O solo é tridimensional, não se resumindo a um rególito, é portanto um material não consolidado mineral ou orgânico existente à superfície da terra e que serve de meio natural para o crescimento de vida, formando uma interface com a litosfera, a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera.

Em linguagem geotécnica, o solo pode ser dividido em duas categorias: solos não coesivos (constituídos essencialmente por cascalhos e/ou areias) e solos coesivos (constituídos essencialmente por siltes e/ou argilas). A argila é constituída por partículas muito pequenas e geralmente apresenta plasticidade, que permite com que o material seja deformado sem alterar o seu volume e sem abrir fendas, os seus parâmetros de consistência podem ainda ser obtidos pela determinação dos Limites de Atterberg.

O conceito de solo residual varia de país para país, mas uma razoável definição geral será, segundo Blight (1997): “*solo residual é o material resultante da alteração da rocha-mãe e que nunca foi transportado do seu local de origem*”.

As maiores áreas e espessuras dos solos residuais ocorrem em regiões tropicais húmidas, como: Brasil, Ghana, Malásia, Nigéria, Sul da Índia, Srilanka, Singapura e Filipinas (Brand & Phillipson, 1985).

Existem dois tipos de solos residuais:

- Solos residuais jovens ou saprólitos – são assim designados pois de acordo com as suas características físicas e mecânicas podem ser considerados solos, mas no geral o seu perfil de alteração ainda preserva a estrutura inicial da rocha-mãe que lhe deu origem;
- Solos residuais maduros ou lateríticos – são solos que ao longo do seu “amadurecimento” sofreram meteorização química secundária, que lhes conferiu ligações interparticulares distintas, perdendo assim a totalidade da estrutura inicial herdada da rocha-mãe.

Os solos saprolíticos (pertencem aos níveis depositados logo acima da rocha original) contêm pequenas quantidades de fração argilosa e incluem minerais primários. Os solos lateríticos (do nível superior do perfil de alteração) são dominados por argilas do grupo da caulinite e óxidos de ferro hidratados que lhes conferem uma cor avermelhada (Duarte, 2002).

Os solos saprolíticos são resultantes da meteorização física dos granitóides, ainda pouco evoluídos quimicamente e de espessuras menores (cerca de 20 m no máximo) quando comparados com os das regiões tropicais, dado que no Alentejo interior a taxa de erosão é considerável em relação à meteorização e à vegetação escassa.

Os solos residuais apresentam características geomecânicas diferentes dos solos transportados. A caracterização geotécnica dos solos residuais é bastante mais complexa devido à sua variabilidade na dimensão granulométrica e forma das partículas, bem como, do índice de vazios dos minerais que resultam da alteração da sua estrutura, etc. De acordo com Vaughan *et al.* (1988), os critérios usados na Mecânica dos Solos, aplicáveis em solos sedimentares, não são apropriados para solos residuais, mas ainda não foram desenvolvidos métodos alternativos. O que presentemente se faz é, utilizar os equipamentos e métodos convencionais com algumas adaptações para casos pontuais, ou seja, consoante o tipo de solo residual e a situação a investigar (Duarte, 2002).

De referir ainda que, os processos geológicos que originam os solos residuais, como é o caso dos processos de alteração, apresentam-se bastante estudados, mas o mesmo não acontece para o estudo das suas propriedades geotécnicas. De igual modo, os métodos empíricos para previsão do comportamento geomecânico dos solos residuais também necessitam de um estudo mais aprofundado.

Pelo exposto esta dissertação surge com o objectivo de aumentar o leque de conhecimentos das propriedades físicas, químicas e mineralógicas, e conseqüentemente as características geotécnicas dos solos residuais dos granitóides de clima temperado na região do Alentejo. Assim, o seu desenvolvimento justifica-se pela vasta extensão de ocorrências destes materiais, quer em Portugal quer noutras partes do mundo, pela fraca existência de estudos pormenorizados sobre o assunto e, pela necessidade de conhecer as características e propriedades dos diversos materiais geológicos para determinar a sua aplicação em obras de engenharia.

A transição entre a rocha sã (inalterada), a rocha alterada/branda (“*soft rock*”) e o solo residual nem sempre é facilmente perceptível ou nem sempre se apresenta numa continuidade, isto ocorre quando o solo residual mantém a estrutura original apresentando um bom comportamento *in situ* (“*hard soil*”).

Um dos esquemas que ilustra uma boa aproximação à alteração das rochas ígneas granitóides foi o proposto por Little (1969), reproduzido na Figura 1.1. Nos processos de alteração de rocha em solo residual, dá-se uma transição gradual sem que haja um ponto bem definido, neste sentido os autores (Vargas & Pichler 1957, Ruxton & Berry 1957, Little 1969) dividem o perfil em vários horizontes de forma a esclarecer o conceito de “solo residual”.

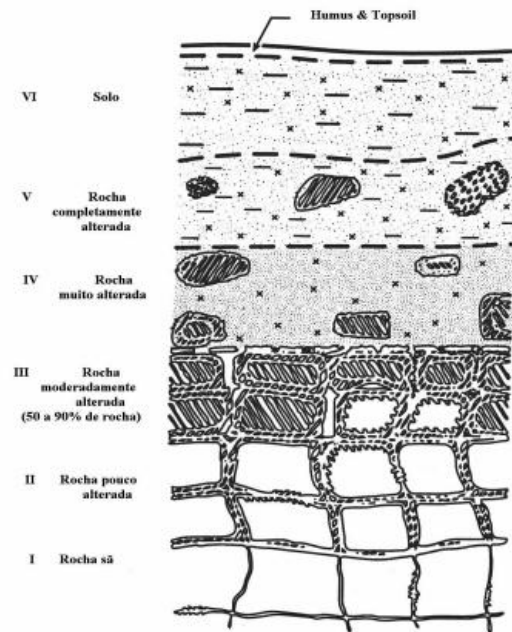


Figura 1.1– Perfil de alteração típico de um solo residual (adaptado de Little, 1969).

Distinguem-se no perfil da Figura 1.1, os 3 horizontes inferiores (I, II, e III) que tendem a comportar-se como rochas e os 3 horizontes superiores (IV, V e VI – zonas muito alteradas a completamente alteradas) que tendem a comportar-se como solos. Os mesmos autores defendem que o termo “solo residual” deve ser de aplicação exclusiva aos 3 horizontes superiores.

1.2 - Formação dos solos residuais

Os solos residuais são formados pela alteração, através de agentes físicos, químicos e biológicos, das rochas *in situ*. Do processo de alteração da rocha-mãe resulta uma estrutura mineral mais estável.

A diferenciação do solo em **horizontes** resulta da alteração e migração de constituintes e das influências biológicas. Um horizonte do solo consiste numa porção de solo com limites sempre irregulares mas, em geral, paralelos à superfície do terreno, que se diferencia devido à actuação dos factores pedogenéticos. Uma das características fundamentais do solo é a sua variabilidade vertical, que se traduz pelo número de horizontes ou camadas num perfil de alteração, que é tanto maior quanto mais evoluído for o solo.

A atuação dos processos de alteração depende da natureza do novo ambiente, no qual os materiais geológicos estão incluídos. Os produtos de alteração são consequência da interação

entre os processos de alteração e os materiais geológicos. Se esta interação tiver continuidade sem interrupções, como produto final, obtém-se geralmente o solo residual (Duarte, 2002).

Associada aos modos de formação e ocorrência dos solos estão a mineralogia e microestrutura de solos residuais.

O colapso físico e as reações químicas são processos de alteração que levam à formação de solos residuais e tropicais. As taxas de colapso físico são controladas pela exposição e a energia transmitida ao material original através do ambiente local. Dos processos de reação química podem destacar-se os seguintes, (*in* Blight 1997):

- i) **Meteorização** – inclui o colapso físico da estrutura da rocha e o colapso químico dos minerais constituintes, normalmente minerais primários provenientes da formação rochosa. Os produtos típicos são os minerais argilosos, os óxidos, os hidróxidos e a sílica livre. As reações, num clima temperado, ocorrem mais devagar (do que em climas tropicais) para que o colapso físico possa dominar os processos de formação do solo;
- ii) **Lixiviação** – inclui processos de laterização, envolve remoção de sílica combinada, terras alcalinas e alcalinos. Existe uma acumulação consequente de óxidos e hidróxidos de sesquióxidos. O material lixiviado pode ser redepositado e acumulado noutra sítio do perfil de solo;
- iii) **Desidratação** – altera a composição e distribuição dos materiais ricos em sesquióxidos. A desidratação também influencia os processos de formação de minerais argilosos. No caso de desidratação total, serão formados solos com cimentos fortes a partir de um solo granular único.

Estes processos podem ocorrer simultaneamente, ciclicamente ou sequencialmente dependendo das condições climáticas e do tempo de exposição relativa às taxas de processos de reação (Blight, 1997).

Refere Blight (1997) que, normalmente os solos residuais são formados por rocha-mãe, de tipo ígneo ou metamórfico, mas tal não quer dizer que não se formem a partir de rochas sedimentares. Os processos químicos tendem a predominar na alteração de rochas ígneas, enquanto que, os processos físicos predominam na alteração de rochas metamórficas e sedimentares. Contudo a alteração química e física estão interligadas entre si, ocorrendo em simultâneo.

Segundo Wesley (2010), os solos formam-se através de alterações físicas e químicas da rocha. A alteração física pode ser de desintegração (causada inicialmente pela embebição e secagem ou pelo gelo e degelo em fendas na rocha), ou de erosão (causada pela ação dos glaciares, água e vento). O processo de alteração química é mais complexo envolvendo mudanças do conteúdo mineralógico da rocha-mãe, causada pela ação provocada pela percolação de água, oxigénio e dióxido de carbono.

Apesar de se pensar que os processos de formação do solo, tais como, a decomposição de rochas ígneas e a formação de “*ferricrete*” têm lugar gradualmente ao longo do tempo de milhões de

anos, existe evidência que tal nem sempre se verifica. Blight (1997) afirma que a rápida desintegração ou enfraquecimento de algumas rochas argilosas e lavas em exposição à atmosfera é um exemplo de alteração ocorrida num curto espaço de tempo (apenas alguns anos).

A natureza do mineral argiloso produzido, solo residual, depende da rocha-mãe e das alterações ambientais, nomeadamente do clima local, da litologia, da drenagem do terreno e das propriedades químicas da água de percolação. Por exemplo, o quartzo é dos minerais mais resistentes, pelo que os solos alterados a partir dos granitos costumam ter uma quantidade significativa de partículas de quartzo grosseiro numa matriz de material mais fino. Como a alteração é mais intensa em climas quentes e húmidos, um determinado tipo de rocha em regiões tropicais produz solos com características muito diferentes da produção de solos com o mesmo tipo de rocha em regiões temperadas. Da mesma forma, vários tipos de rocha podem reagir de modo diferente quando afetadas pelas mesmas condições de clima.

A alteração que ocorre no perfil de solo residual, ao depender de vários fatores, propaga-se junto às fraturas do maciço rochoso havendo assim uma grande variabilidade na mineralogia e nas propriedades dos solos residuais, tanto na vertical como na horizontal do perfil de alteração.

Os minerais argilosos são um tipo distinto de partículas que caracterizam os solos onde eles ocorrem. Os minerais argilosos mais conhecidos são a caulinite, a illite e a montmorilonite, que apresentam estrutura cristalina particular. Em geral, quanto maior for a “atividade” (capacidade expansiva) dos minerais argilosos, menos favoráveis serão as propriedades geotécnicas do solo. As argilas montmoriloníticas apresentam geralmente baixa resistência e são altamente compressíveis, podendo causar problemas nas fundações de estruturas devido à sua capacidade expansiva. Por outro lado, as argilas caulínicas apresentam propriedades geotécnicas melhores devido à sua baixa actividade (Wesley, 2010).

1.2.1 - Tipos de alteração

Sabendo que, à partida, a alteração meteórica é a que mais se destaca na formação dos solos residuais, é importante referir o papel de alterações do tipo metamorfismo, alterações tardi-magmáticas, alteração diagenética, hidrotermal, etc., na génese destes solos, principalmente nas etapas iniciais e que podem ser decisivas nas características químicas, mineralógicas e texturais do solo. Por vezes, não é possível separar o efeito destes dois tipos de alteração, no produto final – solo residual. Muitas vezes, os efeitos da meteorização tardia sobrepõem-se aos efeitos hidrotermais, mesmo que separados por milhões de anos. Segundo Aires-Barros (1991), os efeitos dos fenómenos da alteração hipogénica (deutérica) ou primária e da alteração supergénica (meteórica) ou secundária, são do mesmo tipo (caulinização, sericitização, cloritização, moscovitização, etc.), e explica como se formam os minerais através desses processos. Existem minerais, fundamentalmente minerais argilosos, que podem ser formados pelos dois processos, ou só por um deles e modificados pelo outro (Duarte, 2002).

A meteorização das rochas representa o conjunto de processos que ocasionam a desintegração (provocada pelos agentes físicos) e decomposição (provocada pelos agentes químicos) das mesmas e dos minerais que as constituem, provocados pelos agentes erosivos.

A desintegração consiste na perda de coesão da rocha e na progressiva individualização dos minerais constituintes, sem que ocorra, necessariamente, a modificação da natureza dos minerais, enquanto a decomposição corresponde à modificação progressiva da natureza dos minerais, sem, necessariamente, ocorrer desintegração.

A maior ou menor susceptibilidade da rocha à alteração é definida pela alterabilidade do material, o que depende principalmente da estabilidade química dos seus minerais constituintes.

Existem diversas formas de se tentar quantificar o grau de meteorização de uma rocha. Este pode ser feito através de métodos químicos, petrográficos, difração de raios-X e microscopia electrónica ou a partir de índices físicos.

Na alteração geoquímica, o processo inicia-se devido às transformações químicas que ocorrem nos minerais, provocadas pela exposição da rocha ao meio ambiente. As características essenciais deste tipo de alteração manifestam-se na textura e na estrutura da rocha, sendo, o principal resultado desta alteração os solos residuais.

Os índices geoquímicos são baseados na comparação entre a composição química da rocha nos vários estágios de alteração e no seu estado inicial.

As rochas graníticas caracterizam-se, essencialmente, por possuírem os seguintes minerais, quartzo, feldspatos e micas. Estes minerais apresentam diferentes graus de resistência à alteração. A relação seguinte apresenta, de forma crescente, a resistência destes minerais:

Feldspato Ca → Feldspato Na → Feldspato K → Biotite → Moscovite → quartzo

Alguns dos índices descritos pela literatura são os seguintes: Harrassowitz (1926) citado por Vieira (1975), Moniz (1972) e Falcão (1984), propôs os índices Ki, Kr, ba, ba1, ba2 e K. Estes índices são calculados, tendo em conta a quantidade total de sílica existente na rocha, pelas seguintes expressões matemáticas:

$$ba = \frac{(K_2O+Na_2O+CaO)}{Al_2O_3} Kr = \frac{SiO_2}{(Al_2O_3+Fe_2O_3)} Ki = \frac{SiO_2}{Al_2O_3} \quad (1.1)$$

$$K = \frac{Ki \text{ rocha_alterada}}{Ki \text{ rocha_sã}} ba2 = \frac{(CaO+MgO)}{Al_2O_3} \quad (1.2)$$

Jenny (1941) e Brito (1984) propuseram o índice de lixiviação β :

$$\beta = \frac{ba1 \text{ rocha_alterada}}{ba1 \text{ rocha_sã}} \quad (1.3)$$

Segundo Falcão (1984) estes índices que consideram a quantidade de sílica total, quando utilizados neste tipo de avaliação de alteração de rochas, não fornecem bons resultados. Facto que se deve à evolução da meteorização da sílica e esta se concentrar sob a forma de quartzo, o

que provoca um aumento nestes índices quando na verdade eles atingem o seu valor máximo no material de origem.

Através da análise mineralógica é possível estudar a gênese e a evolução de um solo pelas mudanças dos teores de alguns minerais com a profundidade, dado que os minerais têm diferentes intensidades de alteração apresentando distintos graus de estabilidade. Desta forma é possível a determinação dos índices de alterabilidade dos solos com base na relação entre os minerais primários e a sua evolução e presença nas frações dos solos.

Ruhe (1956) e Falcão (1984) propõem os índices Wrh e Wrl baseados numa estimativa dos minerais presentes numa fração de solo:

$$Wrl = \frac{Quartzo}{Feldspato} Wrh = \frac{(Zircão+Piroxena)}{(Piroxena+Anfibola)} \quad (1.4)$$

A grande desvantagem deste índice é basear-se em minerais que podem ser inexistentes no perfil do solo.

Os índices mineralógicos têm limitações quando se baseiam em minerais instáveis como referência. Além disso, devem ser escolhidos em função do tipo de rocha e clima da região e são usados para avaliar, dentro de uma mesma formação, o grau de alterabilidade do solo, não devendo ser aplicados como referências comparativas entre duas formações diferentes (Falcão, 1984).

1.2.2 - Mecanismos de alteração

No processo de alteração, a rocha original sofre um conjunto de modificações devido a processos físicos, químicos e biológicos. Estes processos, isolados ou combinados (caso mais comum) "fraturam" as rochas continuamente, o que permite a entrada de agentes químicos e biológicos, cujos efeitos aumentam a fraturação e tendem a reduzir a rocha a blocos cada vez menores.

Os processos de meteorização física reduzem o tamanho das partículas, aumentando a sua área de superfície e facilitando a meteorização química. Já os processos químicos e biológicos podem causar a completa alteração física da rocha e alterar as suas propriedades químicas. A meteorização física tende a ocorrer mais junto à superfície, enquanto a alteração química pode-se estender a profundidades da ordem da dezena ou centena de metros (Chorley, 1969).

Quanto aos processos físicos destacam-se os seguintes: a fraturação devido à libertação de tensões; as tensões causadas por amplitudes térmicas grandes; o efeito da congelação da água retida na estrutura da rocha; a cristalização de sais. Segue-se uma breve descrição dos principais processos físicos:

Libertação de tensões – O alívio de pressões irá ocorrer num maciço rochoso devido à remoção do material suprajacente provocando a sua expansão, o que por sua vez, irá contribuir para a fraturação e formação de juntas na rocha;

Amplitude térmica (Termoclastia) - As variações de temperatura ocorrem entre o dia e a noite e durante o ano. Uma rocha é geralmente formada por diferentes tipos de minerais, cada qual possuindo uma constante de dilatação térmica diferente, o que faz a rocha deformar de maneira desigual no seu interior, provocando o aparecimento de tensões internas que tendem a fraturá-la;

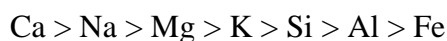
Ciclos gelo/degelo (Crioclastia) – As fraturas existentes nas rochas podem-se encontrar parcialmente ou totalmente preenchidas com água. Esta água, em função das condições locais, pode vir a congelar, expandindo-se e abrindo ainda mais as fraturas pré-existentes na rocha;

Cristalização de sais (Haloclastia) – Cristalização, crescimento e hidratação de sais em espaços confinados.

A humidificação, a insolação, a cavitação e abrasão, e a expansão, também são conhecidos por contribuírem para o avanço da desintegração física em determinados ambientes (Duarte, 2002).

Há várias formas através das quais as rochas se decompõem quimicamente. Contudo, praticamente todo processo de alteração química depende da presença da água. A água além de tomar parte direta nas reações químicas funciona como meio de transporte para os elementos químicos da atmosfera (sabe-se que o espaçamento entre fraturas aumenta com a profundidade) e favorece a remoção da zona alterada das rochas, expondo novas superfícies. Deste modo, regiões com altos índices de pluviosidade tendem a apresentar uma predominância de meteorismo do tipo químico, o contrário ocorrendo em regiões de clima seco.

Os processos químicos incluem a *solução* e sabe-se que a sua intensidade de actuação depende da quantidade de água que circula nos maciços, da solubilidade dos minerais e do pH da água. A solubilidade relativa dos elementos químicos é variável, obedecendo à seguinte ordem de solubilidade para os elementos químicos que entram na formação dos minerais comuns:



As soluções de baixa temperatura e concentração iónica fraca circulam melhor e penetram nos poros, clivagens, micro fraturas e superfícies expostas dos minerais primários, aumentando as trocas iónicas que conduzem à evolução dos vários minerais de rocha (Duarte, 2002).

Entre os processos de alteração química destacam-se os seguintes:

Hidrólise - Consiste na reação química entre um mineral e a água, formando novos minerais (minerais argilosos). É o processo que se reveste de maior importância, porque é o mecanismo que leva à destruição dos silicatos, que são os compostos químicos mais importantes da litosfera.

Carbonatação – O ácido carbónico é o responsável por este tipo de alteração, que é mais acentuado em rochas calcárias por causa da diferença de solubilidade entre o CaCO_3 e o bicarbonato de cálcio formado durante a reação.

Oxidação – É a reação entre o oxigénio da atmosfera ou o dissolvido na água, com os minerais.

A hidrólise dos silicatos (feldspatos de vários tipos, micas, piroxenas, anfíbolos, olivinas, etc.) ocorre através de processos de argilização (caulinização, montmorilonização), de cloritização, de saussuritização, de serpentinização (Aires-Barros, 1991 *in* Duarte, 2002), que entram na alteração das rochas ígneas, nomeadamente dos granitóides que deram origem aos solos residuais estudados nesta dissertação.

A meteorização química possui um poder de desagregação da rocha muito maior do que a física. Deste modo, solos gerados em regiões onde há a predominância da meteorização química tendem a ser mais profundos e de granulometria mais fina do que aqueles solos formados em locais onde há a predominância da meteorização física. Além disso os solos originados a partir de uma predominância da meteorização física apresentarão uma composição química semelhante à da rocha-mãe, ao contrário dos outros.

A alteração biológica inclui (Duarte, 2002): i) a acção física, como por exemplo as fendas abertas pelas raízes, com algum significado na desagregação das rochas, incluindo as granitóides em clima temperado, pois não são raros os perfis de alteração que exibem raízes com alguma dimensão e os interceptam em várias direcções; ii) a acção química, como por exemplo, a oxidação bacteriológica, contribuição na formação de quelatos e na redução de compostos de ferro e sulfuretos (Pings, 1968), predomina nas regiões onde a vegetação é luxuriante como sucede nas florestas tropicais.

A degradação física pode não progredir ao mesmo tempo que a decomposição química. Isto é, em muitas rochas as fraturas desenvolvidas nas fases de alteração iniciais foram preenchidas por argila ou produtos de alteração em fases posteriores. Resulta daqui que as rochas mais alteradas ou os respetivos solos residuais possam ser menos friáveis e menos permeáveis que as rochas pouco alteradas (Duarte, 2002).

Por vezes, a alteração de um mineral é suficiente para promover a alteração de todo o material rochoso, como foi observado no caso do perfil de Montemor-o-Novo (secção 4.2), onde apesar da rocha parecer sã, ao meteorizar as anfíbolos disseminadas promove-se facilmente a separação dos minerais sãos (quartzo, feldspato e micas) com um toque de martelo.

1.2.3 - Fatores que condicionam a génese dos solos residuais

Os solos residuais são o produto direto da alteração da rocha-mãe que lhes deu origem e estão geralmente mais relacionados com as características da sua rocha-mãe do que no caso dos solos sedimentares (Wesley 2010).

A grande diversidade de solos residuais e as diferentes características de cada perfil de alteração são derivados de vários fatores presentes na formação dos solos residuais, dos quais se distinguem a rocha original, o clima (temperatura, precipitação, evaporação, regime de ventos, etc.), a geomorfologia e o coberto vegetal. No caso dos solos residuais, a rocha-mãe e o clima são os fatores principais que determinam a formação. O clima define, principalmente, a

espessura e o número de horizontes do solo residual, enquanto a principal contribuição da rocha-mãe é a definição da composição mineralógica do solo resultante. Como essa composição é determinante para a granulometria, para a plasticidade e para o tipo de mineral argiloso presente no solo, a rocha-mãe define grande parte do comportamento geomecânico dos solos residuais.

Van der Merwe (1965) *in* Blight (1997) efetuou um estudo em solos residuais derivados de diferentes tipos de rochas ígneas, verificando que, nos vários perfis de alteração de diversos locais os fatores predominantes foram: o clima (principalmente a precipitação), a topografia e a drenagem interna.

1.2.3.1 - Rocha original/mãe

É essencial conhecer a rocha-mãe de qualquer solo residual, embora não haja necessariamente uma ligação consistente entre a rocha-mãe e as propriedades do solo dela derivado. O ambiente em que a alteração toma lugar pode influenciar significativamente o solo resultante (Wesley, 2010).

Alguns autores como Berner & Berner (1996) referem que o efeito da composição da rocha-mãe é mais pronunciado nos estados iniciais de alteração, uma vez que nos estados posteriores da meteorização os fatores extrínsecos (temperatura, humidade, Eh, pH, atividade biológica, drenagem) adquirem maior importância. No caso de Portugal com o seu clima temperado os processos de alteração não são tão agressivos e, desta forma, a composição da fração argilosa do solo depende, essencialmente, da composição da rocha-mãe (Gomes, 1988).

Os minerais não são todos igualmente suscetíveis às alterações químicas e mineralógicas como resultado da alteração. Assim, para cada rocha, existe uma sequência de alteração que depende dos seus minerais constituintes. Os primeiros minerais a cristalizarem de um magma apresentam uma maior energia interna associada, sendo por isso os mais instáveis e tornam-se pouco resistentes ao processo de alteração. Os últimos minerais a cristalizarem apresentam baixa energia interna, tornando-se nos mais resistentes à alteração (Carvalho & Simmons, 1997).

Norman Bowen (1887–1956) empenhado na determinação da origem do granito, estabeleceu a sequência de reações que ocorrem no magma durante a diferenciação. Bowen concluiu que certos minerais são mais estáveis a temperaturas mais elevadas e cristalizam antes de outros. Estabeleceu então uma sequência pela qual os minerais cristalizam num magma em arrefecimento, que ficou conhecida como Série de Bowen.

A Série de Bowen é constituída por dois ramos: a série descontínua (corresponde a minerais ferromagnesianos - olivina, piroxena, anfibolita e biotite) e a série contínua (corresponde a minerais do grupo das plagioclases - anortite, bitaunite, labradorite, andesite, oligoclase e albite).

No que diz respeito à série descontínua, à medida que a temperatura diminui, os minerais anteriormente formados reagem com o líquido residual, dando origem a um mineral estável nas novas condições de temperatura, mas com composição química e estrutura interna diferentes. No

caso dos minerais da série contínua, verifica-se que a substituição de iões de dimensão idêntica não altera a estrutura interna destes minerais, modificando apenas a composição química.

Depois das duas séries, à medida que a temperatura continua a descer, ocorre cristalização dos restantes componentes, formando minerais ricos em sílica. O quartzo, o último mineral formado, é completamente constituído por sílica.

De um modo geral, a ordem da susceptibilidade à meteorização dos minerais, corresponde à ordem de cristalização dos mesmos nas rochas endógenas. Existe um paralelismo entre a série que estabelece a ordem de cristalização dos minerais nas rochas ígneas (série de Rosenbusch), à sequência de reações entre os minerais e o magma (série de Bowen) e à série dos tipos estruturais dos silicatos de Strunz. É a energia necessária à formação dos minerais que condiciona a ordem de cristalização, a estrutura cristalina, a estabilidade e, desta forma, a suscetibilidade à alteração (Duarte, 2002). Conclui-se, então, que as rochas básicas se alteram mais facilmente do que as rochas ácidas e que, geralmente, primeiro alteram-se as rochas ricas em biotite e só no fim as ricas em moscovite.

1.2.3.2 - Clima

O clima é um fator relevante na formação dos solos residuais, dado que exerce uma influência considerável na taxa de alteração das rochas (Weinert, 1964, 1974; Molin & Ayetey, 1971). A alteração física predomina nos climas secos enquanto a extensão e a taxa de alteração química é controlada pela existência de água e pela temperatura.

O conceito do clima foi desenvolvido por Strakhov (1967) in Blight (1997) que demonstrou que a profundidade do perfil de alteração está dependente do clima, sendo maior nas regiões tropicais (cuja vegetação serve como proteção à erosão do perfil e conseqüente diminuição da sua espessura) relativamente às zonas temperadas. Relacionou, assim, a influência do clima global na profundidade dos perfis de alteração e espessura dos produtos de alteração.

Vários fatores são responsáveis pela meteorização, entre eles a precipitação e a temperatura média e a sua periodicidade (Ollier, 1984). A precipitação controla a quantidade de água que proporciona as reações químicas nas rochas e, a libertação e transporte dos constituintes solúveis dos minerais (lixiviação). A temperatura interage no ritmo das reações químicas. Blight (1997) refere que a intensidade das reações químicas pode duplicar para cada 10° C de aumento de temperatura média.

As condições ideais para uma alteração rápida e profunda verificam-se em regiões de clima quente e húmido, típico das regiões tropicais, onde a decomposição química é agressiva e contínua. Nas regiões de clima temperado, onde as condições climáticas são menos agressivas a meteorização torna-se um processo mais lento, progressivo e diferenciado, iniciando-se pelos minerais primários mais vulneráveis, que no caso dos granitóides, são a biotite e os feldspatos,

formando-se um solo residual com uma forte componente arenosa. (Sequeira Braga, 1990; Aires-Barros, 1991; Pedro, 1993; Begonha, 1997).

A decomposição aumenta pois, com a humidade, com a temperatura e com o desenvolvimento do mundo orgânico associado. Assim é possível estabelecer uma relação entre o clima e os tipos e graus de alteração das rochas.

Para Uehara (1982), os minerais argilosos dos solos em todo o mundo têm uma formação previsível com a distância ao equador (Figura 1.2). Apesar de sabermos que os climas não variam uniformemente a partir do equador, pois dependem da topografia, das correntes oceânicas, etc., o autor sugere uma influência do clima global nos produtos de alteração (Blight, 1997). Perto do equador, com temperaturas mais altas a precipitação favorece a formação de caulinite de baixa atividade e óxidos. Perto das regiões tropicais a precipitação diminui, predominando as argilas esmectíticas de alta atividade.



Figura 1.2 – Influência da zonalidade climática do globo na formação dos minerais de argila (adaptado de Uehara, 1982).

Segundo Gomes (1988), nas regiões de clima temperado, ocorrem solos resultantes tanto da meteorização mecânica como química. São materiais pouco evoluídos em que a temperatura e a precipitação facilitam moderadamente a hidrólise dos silicatos. Os perfis mostram transformações e neofomações de minerais argilosos. Assim a composição da fração argilosa depende fundamentalmente da composição da rocha-mãe, podendo conter os seguintes minerais argilosos: illite, clorite, vermiculite, montmorilonite, caulinite e interstratificados irregulares (illite-clorite, illite-vermiculite, illite-montmorilonite e clorite-montmorilonite).

Gomes (1988), chama a atenção que as argilas que fazem parte dos perfis geo-pedológicos actuais, podem não ter sido consequência da alteração das rochas e solos sob as condições climáticas actuais, mas serem o produto de alteração preservado, resultante da influência de um paleoclima que atuou durante outra idade geológica na região.

No caso concreto de Portugal, apesar da sua pequena dimensão, os contrastes climáticos variam significativamente de região para região e de local para local devido à latitude, altitude e distância ao mar.

De acordo com a classificação de Koeppen o clima na região do Alentejo é mesotérmico húmido com estação seca no verão, que é quente em quase toda a região (Csa) e pouco quente mas extenso (Csb) numa estreita faixa do litoral.

Na área em estudo a precipitação é fraca e predomina nos meses de inverno, variando entre os 400 e os 600 mm. Registam-se grandes amplitudes térmicas diurnas e anuais, o que influencia a meteorização das rochas. O período seco é, em regra, de 3 a 4 meses (junho, julho, agosto e setembro), com altas temperaturas e elevados valores de insolação, com uma média superior a 3000 horas de sol/ano.

Por vezes a ocorrência de fortes chuvadas em período seco, ou na sua finalização, provoca a erosão dos solos nas zonas mais desprotegidas ou de maior relevo.

A topografia, a exposição ao sol, os ventos e o revestimento do solo são outros fatores que contribuem para diferenciar o clima, por vezes de locais bastante próximos.

1.2.3.3 - Geomorfologia

A geomorfologia englobando fatores como a topografia e a drenagem, pode influenciar a meteorização, nomeadamente: controlando a velocidade de escorrência superficial e a capacidade de solubilização, promovendo as reações químicas; favorecendo a lixiviação dos elementos solúveis; aumentando o ritmo de exposição à erosão dos minerais constituintes dos maciços (Duarte, 2002).

Para o desenvolvimento de um perfil de solo residual em profundidade, a razão entre os avanços da alteração na crosta terrestre terá de ser superior à taxa de remoção dos produtos de alteração pela erosão.

A topografia controla a taxa de alteração, uma vez que, determina a quantidade de água disponível e a forma como ela se movimenta nas zonas de alteração. Permite também determinar a idade efectiva do perfil de alteração, ao controlar a taxa de erosão dos materiais alterados da superfície. Deste modo, os perfis de solos residuais mais profundos encontram-se, por norma, nos vales e zonas de taludes suaves, em vez de zonas altas ou com taludes de grande inclinação. Isto leva-nos a crer, recorrendo a Blight (1997), que o relevo antigo pode ter sido mais importante na formação do solo residual, do que o relevo actual.

Em locais de grande declive ocorrem processos de alteração mecânica dominante que favorecem um escoamento rápido renovando, continuamente, ao longo da superfície, os minerais “frescos” (da rocha-mãe). Contrariamente, os locais de fraco declive e fraco escoamento são favoráveis a alterações químicas, dado que a água da chuva se infiltra facilmente e a rocha permanece em contacto com a água por um período de tempo mais longo.

A topografia também controla a drenagem de uma dada região, sendo que as variações locais da topografia influenciam a quantidade de humidade retida, a posição e a configuração do nível

freático, e conseqüentemente, a profundidade de penetração da maioria dos processos de alteração química. Assim, o relevo da região determina o desenvolvimento do solo sob condições de drenagem. Quando as condições de drenagem são boas, a topografia controla a lixiviação (fundamental na alteração das rochas). A título de exemplo os solos residuais de rochas granitóides são mais porosos, e assim são mais compressíveis em zonas de maior precipitação anual e maior lixiviação. Segundo Van der Merwe (1965) entre outros autores, *in* Blight (1997), as zonas com boa drenagem interna e elevada precipitação são favoráveis à formação de caulinite, contrariamente, as zonas planas, onde a drenagem é pobre é favorecido o desenvolvimento de montmorilonite.

1.2.3.4 - Coberto vegetal

A cobertura vegetal é outro fator importante no tipo de alteração, influenciando o processo de meteorização, quer através de uma componente mecânica, quer através de uma componente química. Assim uma floresta densa favorece a meteorização química ao proteger os maciços da erosão mecânica. Este fator condiciona a escorrência superficial e sub-superficial da água, aumenta a acidez da água pela libertação de ácidos orgânicos, facilitando a dissolução dos constituintes solúveis dos minerais. Por outro lado, o húmus originado pela decomposição das plantas, facilita a mobilidade de certos componentes libertados durante a meteorização e impede a mobilidade de outros.

O desenvolvimento de certa vegetação arbórea, e respetivo crescimento de raízes, gera tensões, que provocam a abertura de micro fracturas e o alargamento de diaclases, facilitando assim a ação dos agentes meteóricos, aumentando a permeabilidade e, conseqüentemente, a velocidade de meteorização do maciço. O sombreamento devido à vegetação vai influenciar a temperatura.

1.3 - Características gerais dos solos residuais

O processo de formação de um perfil de solo residual é bastante complexo, sendo difícil generalizar.

As características (específicas) dos solos residuais, que se apresentam como diferentes das dos solos transportados, são devidas, essencialmente, à presença de minerais argilosos encontrados apenas em solos residuais, aos efeitos estruturais particulares (como a presença de rocha sã ou parcialmente alterada), descontinuidades relíquia ou outros planos de fraqueza, e ligações interpartículas (Blight, 1997).

Os autores Wesley & Irfan estudaram e classificaram os solos residuais (tema desenvolvido na secção 1.4), agrupando as várias influências em dois conjuntos gerais:

- i) **Composição** – refere-se ao material de que é feito o solo, inclui a dimensão e forma das partículas e em especial a composição mineralógica da fração fina. A composição pode ser dividida em *composição física* (por exemplo: a percentagem de rocha sã, distribuição dimensional do grão, etc.) ou *composição mineralógica* onde vem o tipo e quantidade das espécies mineralógicas existentes;
- ii) **Estrutura** – refere-se a características específicas do solo no seu estado não perturbado *in situ* e pode ser subdividido nas duas categorias principais:
 - *Macroestrutura* – inclui estruturas discerníveis a olho nu, tais como, horizontes, descontinuidades, fissuras, poros, presença de rocha sã ou parcialmente alterada e outras estruturas relíquia herdadas do maciço de rocha-mãe;
 - *Microestrutura* – inclui a estrutura (“fabric”), ligações interpartículas ou cimentação, agregados de partículas, dimensão e forma dos poros, etc.

De entre as principais características dos solos residuais, comparando em relação aos solos sedimentares, destacam-se as seguintes (Wesley 2010):

1. Os solos residuais apresentam-se bastante heterogéneos, contudo pode haver alguns solos residuais que sejam homogéneos, semelhantes a solos sedimentares (por exemplo as argilas tropicais vermelhas);
2. Alguns solos residuais, especialmente os de origem vulcânica, podem conter minerais argilosos distintos (não encontrados em solos sedimentares) que influenciam bastante o seu comportamento;
3. Alguns solos residuais não são estritamente particulados, isto é, neles podem aparecer partículas individualizadas, mas, quando perturbadas estas partículas (agregados) desintegram-se e formam uma ordenação de partículas mais pequenas;
4. A “história de tensões” não é significativa nas propriedades dos solos residuais;
5. Algum comportamento estrutural ou correlações empíricas baseado no estudo de solos sedimentares podem não ajudar na compreensão do comportamento dos solos residuais;
6. A pressão efetiva acima do nível freático é relevante no comportamento dos solos residuais.

Como a alteração se processa da superfície para o fundo e para dentro do maciço através de superfícies de união e outros percursos de percolação, a intensidade de alteração geralmente reduz-se com o aumento da profundidade e reduz a intensidade de articulação do material entre as superfícies de união, Blight (1997).

Em perfis residuais de rochas ígneas são por vezes encontrados blocos de rocha-mãe arredondados no núcleo ou seio de uma matriz de rocha alterada ou solo residual (e.g. Lumb 1961). Este padrão de alteração é conhecido como “casca de cebola” típica das rochas ígneas tais como, granitóides, basaltos e doleritos.

Como referido anteriormente, a formação de um perfil de solo residual depende também da taxa de erosão da superfície. Segundo Blight (1997) será então espectável que numa área relativamente pequena, onde as condições climáticas são uniformes, perfis de alteração mais profundos ocorram por debaixo de superfícies mais antigas. Este fenómeno também foi estudado por Falla (1985).

Aos solos residuais estão associados fatores como o **estado não saturado** (ou parcialmente saturado) e a **presença de descontinuidades relíquia** herdadas do maciço rochoso original (Vaughan *et al.*, 1988; Blight, 1997). Estes fatores têm grande influência nos solos residuais, nomeadamente o seu estado não saturado e a presença de descontinuidades relíquia devem ser tidos em conta nos projetos geotécnicos.

Existem já muitas contribuições sobre os efeitos da não saturação no comportamento dos solos (e.g. Bishop & Blight 1963, Blight 1967, Fredlund & Morgenstern 1977, Blight 1983, Fredlumb & Rahardjo 1993), mas ainda não se chegou a nenhum consenso sobre a melhor forma de relacionar a tensão efetiva para solos não saturados. Contudo, é globalmente aceite que a tensão efetiva é governada pela diferença de tensão ($\sigma - u_a$) e a sucção ($u_a - u_w$) onde u_a e u_w são, respetivamente, as pressões de ar e de água nos poros do solo. Nas situações práticas, u_a é igual à pressão atmosférica e pode ser igual a zero. A forma clássica para a equação da tensão efetiva $\sigma' = \sigma - u_w$, pode ser usada com pouca margem de erro para solos não saturados, mas razoavelmente próximos da saturação. Num solo não saturado onde $u_a = 0$, u_w será negativo e por isso a tensão u_w é somada à tensão total para formar a tensão efetiva. Se o nível freático estiver a 10 metros de profundidade este efeito pode aumentar para um máximo de 100 kPa na tensão efetiva no perfil do solo, e cerca de 50 kPa na resistência do solo. É esta resistência capilar que ajuda a estabilizar os perfis de solos residuais, mas que pode ser perdida durante períodos de precipitação prolongada, ou em caso de subida razoável do nível freático, ou ainda se as condições de não saturação forem alteradas com uma mudança do uso do maciço, levando ao seu colapso (Blight, 1997).

Os saprólitos são materiais com força/consistência semelhante ao solo, mas guardam relíquias dos fatores físicos ou a estrutura da rocha-mãe. Os saprólitos são então solos residuais com características estruturais bem definidas herdadas da rocha-mãe.

Os lateritos são solos residuais altamente alterados, com baixo teor em sílica e que contêm uma concentração de sesquióxidos de ferro e alumínio que foram cimentados de algum modo (Blight, 1997).

As propriedades geotécnicas (resistência, deformabilidade e permeabilidade) dos solos residuais pode ainda ser influenciada estruturalmente pelo **índice de vazios**, que tem uma grande variação, não estando por isso relacionado por norma com as tensões sofridas. Num solo pouco cimentado, o índice de vazios exerce uma forte influência na resistência não drenada, a qual aumenta com a densidade (Howat & Cater, 1985; Howat, 1988 *in* Duarte, 2002).

O fenómeno de **colapso** pode ocorrer em solos residuais, essencialmente arenosos ou siltosos, com uma estrutura aberta como a que resulta da alteração dos granitos, ou argilas ativas, ou ainda solos do tipo “loess” (Blight, 1997). O comportamento colapsível dos solos está associado aos problemas geotécnicos que ocorrem com obras de fundação em solos residuais.

O assentamento por colapso é referente aos solos residuais de rochas ácidas ou intermédias como é o caso dos solos de granitóides que podem atingir um elevado grau de alteração e lixiviação, contendo uma grande quantidade de grãos de quartzo mais resistentes. Devido a esta lixiviação o solo residual torna-se numa areia siltosa ou argilosa com elevado índice de vazios e uma estrutura granular instável e colapsível (Duarte, 2002).

1.4 - Descrição e classificação dos solos residuais

A engenharia geotécnica para poder desenvolver os seus projetos teve de reunir bastante informação da natureza e das propriedades dos solos. Era desejável que as terminologias usadas nos trabalhos de investigação fossem consistentes, daí se ter adotado uma classificação sistemática. Distinguindo alguns conceitos: a **classificação** refere-se à identificação dos solos em si, dizendo, qual a sua composição e propriedades intrínsecas; a **descrição** refere-se ao estado em que o solo se encontra na natureza (por exemplo se é duro ou brando, solto ou denso, etc.).

A descrição de perfis de solos residuais (segundo Simmons & Blight, 1997) deverá fornecer informações acerca das suas características no seu estado natural (como o teor em água, a cor, a estrutura, a textura, a consistência, a interação com água, etc.), bem como fazer um reconhecimento acerca dos seus efeitos geotécnicos (nomeadamente o uso do solo como material de construção em fundações, o uso do solo como talude natural, ou como um aterro compacto).

Os solos residuais podem, então, ser divididos em três grupos:

- i) **solos tropicais de argilas vermelhas** – constituídos por grande quantidade do mineral argiloso “halloysite” ideais para obras de engenharia, apresentam-se resistentes e com baixa compressibilidade e baixa capacidade de variação volumétrica;
- ii) **solos de cinzas vulcânicas** – constituídos por grande quantidade do mineral argiloso “allophane”, apresentam boas propriedades geotécnicas apesar de elevada concentração de água natural e Limites de Atterberg;
- iii) **solos negros expansivos (“black cotton soils”/“vertisols”)** - encontrados na Índia, são ricos em minerais argilosos montmoriloníticos e são fonte de muitos problemas de expansibilidade e retração promovendo problemas de fundações nas obras de engenharia.

O sistema de classificação de solos para fins de engenharia, mais usado em todo o mundo é o “Unified Soil Classification System” (USCS), desenvolvido por Casagrande durante a 2.^a Guerra Mundial, primeiramente para a avaliação de solos para a construção de aeroportos e barragens (Casagrande, 1948) e, depois, foi generalizada a sua aplicação para qualquer fim. Esta classificação é feita através dos resultados de ensaios laboratoriais, nomeadamente os ensaios de identificação (análise granulométrica e limites de consistência).

1.4.1 - Classificações clássicas com base no perfil de alteração

Recorre-se ao uso dos perfis de alteração para se obter uma melhor descrição e classificação dos solos residuais, dado que estes resultam da alteração das rochas *in situ* e, o seu grau de alteração vai variando com a profundidade, idade, litologia, etc.

Existe uma grande diversidade de tipos de perfis de alteração, assim como também várias classificações em termos de graus de alteração. Desta forma, as classificações mais usadas são mais generalistas, favorecendo aspetos mais comuns na avaliação dos perfis de alteração.

O sistema de classificação proposto por Little (1969) para o grau de alteração de um perfil de rocha/solo tem grande utilidade na prática. O perfil da Figura 1.1, dividido em seis categorias, desde a rocha-mãe (“fresh rock”) até ao solo residual, foi concebido limitando a sua abordagem apenas para os solos residuais da alteração de rochas ígneas dos trópicos húmidos (granitos e outras rochas ácidas). A sequência de camadas produzidas pela alteração destes materiais é mais provável que reflita as propriedades de cada camada individual do material original do que do grau de alteração. Assim o sistema de Little não fornece nenhuma informação comparativa da natureza das camadas de topo (camada de solo residual). Esta classificação de carácter qualitativo é representada no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 – Classificação dos graus de alteração (Little, 1969).

GRAU	DESIGNAÇÃO	RECONHECIMENTO DE CAMPO	PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS
VI	Solo	A textura da rocha não é reconhecível; as zonas mais superficiais contêm húmus e raízes de plantas.	Não é utilizável em fundações importantes. Instável em taludes quando a cobertura é destruída.
V	Rocha completamente alterada	A rocha está completamente decomposta pela alteração <i>in situ</i> , mas a textura original é ainda visível. Quando a rocha-mãe é o granito, os feldspatos originais estão completamente alterados em minerais argilosos. Não é recuperada como testemunhos de sondagens em furos por rotação normal.	Pode ser escavada à mão ou por "ripper" sem a utilização de explosivos. Não pode ser utilizada como fundação de barragens de betão ou em grandes estruturas. É possível empregar-se como fundação de barragens de aterro e como aterro. É instável em cortes muito altos e inclinados. Requer proteção contra a erosão.
IV	Rocha muito alterada	A rocha está tão enfraquecida pela alteração que mesmo grandes fragmentos são facilmente partidos ou esmigalhados à mão. Por vezes é recuperada como testemunho de sondagem em furos à rotação executados cuidadosamente. Apresenta coloração devida à presença de hidróxido de ferro. Contém menos de 50 % de rocha.	Semelhante ao grau V. É impossível ser utilizada como fundação de barragens de betão. A presença errática de núcleos menos alterados impossibilita a sua utilização como fundação de grandes estruturas.
III	Rocha moderadamente alterada	Alteração considerável em toda a rocha. Possui alguma resistência, grandes fragmentos (testemunhos com diâmetro NX) não são partidos à mão. Muitas vezes apresentam coloração devida à presença de hidróxidos de ferro. A percentagem de rocha está compreendida entre 50 e 90 %.	É escavada com grande dificuldade sem recurso a explosivos. Na maioria das vezes pode desfazer-se sob um impulso de um "bulldozer". Pode ser utilizada como fundação de pequenas estruturas de betão e como fundação de barragens de enrocamento. Aplicável em aterros semi-permeáveis. A estabilidade em taludes depende das características estruturais, especialmente da orientação das diaclases.
II	Rocha pouco alterada	Alterada distintamente na maior parte da rocha e com ligeira coloração. Nos granitos há alguma decomposição dos feldspatos. A resistência aproxima-se da rocha sã. Mais de 90 % do material é rocha.	Requer explosivos para a escavação. Utiliza-se como fundação de barragens de betão. Muito permeável ao longo de diaclases abertas. É frequentemente mais permeável que as zonas acima ou abaixo. A sua utilização como inerte do betão é questionável.
I	Rocha sã	A rocha sã pode apresentar alguma coloração nas diaclases imediatamente abaixo à rocha alterada.	A coloração indica circulação de água ao longo de diaclases. Alguns fragmentos podem-se soltar em explosões ou por alívio de tensões, sendo necessário, por vezes, o uso de suporte em túneis e poços.

A classificação de Little tem como vantagem, relacionar cada grau de alteração com as respetivas propriedades geotécnicas, baseando-se nos seguintes critérios (Duarte, 2002):

- i) Razão solo/rocha;
- ii) Intensidade de descoloração;
- iii) Grau de preservação da estrutura original da rocha.

1.4.2 - Sistemas de classificação especiais para solos residuais

Os sistemas mais antigos, que se utilizam com maior frequência, embora forneçam informações sobre a estrutura do solo, pouco ou nada revelam sobre a sua composição, sendo necessário por isso, outras classificações que caracterizem a natureza e a composição mineralógica do solo.

Foram feitas várias tentativas para desenvolver sistemas de classificação específicos para solos residuais, devido às propriedades particulares dos solos residuais e à suposta inadequação dos sistemas existentes para se ter em conta estas propriedades. A extrema dificuldade em desenvolver um sistema que seja adequado e que cubra os vários tipos de solo deve-se à vasta gama de propriedades específicas dos solos residuais. Assim, torna-se mais fácil tentar compreender as propriedades dos solos residuais e quais os fatores a ter em conta na sua evolução ou classificação.

O fator central na classificação USCS para solos coesivos (ou de grão fino), denominado plasticidade, é ainda um bom indicador das propriedades intrínsecas dos solos residuais de grão fino. Segundo o gráfico típico da plasticidade, os solos tropicais de argilas vermelhas (“halloysite”) e os solos vulcânicos de cinza (“allophane”) apresentam boas propriedades geotécnicas ao contrário dos solos negros expansivos (montmorilonite) que geralmente apresentam más propriedades geotécnicas (Wesley, 2010).

Wesley & Irfan *in* Blight (1997) apontaram razões para a utilização de um sistema de classificação especial para os solos residuais, referindo que algumas características específicas dos solos residuais não são adequadamente abordadas pelos métodos convencionais de classificação de solos (como o USCS). As principais características destes solos são:

- i) As características mineralógicas pouco usuais das argilas encontradas nestes solos, conferem-lhes propriedades que não são compatíveis com aquelas que normalmente estão associadas ao grupo a que o solo pertence, de acordo com os sistemas de classificação existentes, como o USCS;
- ii) O maciço de solo residual *in situ* pode apresentar uma sequência de materiais variando de um solo verdadeiro a uma rocha branda, dependendo do grau de alteração, o qual não pode ser adequadamente descrito usando os sistemas baseados nas classificações dos solos transportados;
- iii) Os sistemas de classificação convencionais focam-se nas propriedades do solo no seu estado remoldado; isto pode conduzir a conclusões erradas no caso de solos residuais, cujas propriedades são, normalmente, muito influenciadas pelas características estruturais herdadas da rocha-mãe ou desenvolvidas como consequência da alteração.

Na área da Geotecnia, as classificações de solos mais utilizadas são as do Sistema Unificado e a AASHTO. Como foi referido anteriormente, a utilização do sistema Unificado (USCS) com solos residuais (especialmente os encontrados nas regiões dos trópicos) é questionável porque as características geotécnicas (como parâmetros índice e propriedades mecânicas) propostas pela classificação não reflectem as suas verdadeiras propriedades (Blight, 1997).

Na realidade, é difícil incluir a composição mineralógica num sistema de classificação, tanto pelo facto de poderem coexistir mais do que um mineral argiloso na fração de argila, como também, de os minerais mais ativos, mesmo em menores quantidades, poderem controlar o comportamento do solo. Esta situação atinge proporções consideráveis quanto maior for a fração fina dos solos residuais, o que é habitual nas regiões tropicais (Duarte, 2002).

Wesley (1988) propôs um sistema prático para a classificação de todos os solos residuais baseado na composição mineralógica e na micro e macroestrutura do solo.

O sistema melhorado proposto por Wesley & Irfan (1996), tem por base métodos idênticos aos tradicionais usados na classificação dos solos sedimentares, e consiste em:

- i) Classificar o material em si, sem fazer referência ao estado não perturbado (relativamente ao material solto);
- ii) Descrever o solo como ele se apresenta no seu estado não perturbado (em jazida), quanto às suas propriedades de rigidez, densidade relativa, descontinuidades, etc. (relativamente ao maciço terroso).

Este sistema de Wesley & Irfan (1996), descrito no Quadro 1.2, pretende ordenar em vários grupos, os solos residuais, consoante fatores comuns da sua formação e/ou composição podendo-se esperar propriedades geotécnicas semelhantes. Este sistema permite aos engenheiros encontrar uma resposta entre o mundo complicado dos solos residuais e, permite colocar qualquer solo residual numa categoria específica, baseada nas propriedades geotécnicas comuns (Blight, 1997).

Quadro 1.2 – Classificação e características dos grupos de solos residuais (segundo Wesley & Irfan (1996) e adaptado de Blight, 1997).

GRUPO		EXEMPLOS	MEIOS DE IDENTIFICAÇÃO	PROPRIEDADES E COMPORTAMENTOS GEOTÉCNICOS PROVÁVEIS
GRUPO PRINCIPAL	SUBGRUPO			
GRUPO A (Solos sem uma forte influência mineralógica)	(a) Forte influência da macroestrutura	Rochas muito alteradas, resultantes de rochas ígneas ácidas ou intermédias, e sedimentares.	Aparência geral (inspeção visual).	Trata-se de um grupo muito vasto (incluindo os “saprólitos”), onde o comportamento (especialmente em taludes) é dominado pela influência das descontinuidades, fissuras, etc.
	(b) Forte influência da microestrutura	Rochas completamente alteradas provenientes de formações ígneas e sedimentares.	Inspeção visual e avaliação da sensibilidade, índice de liquidez, etc.	Estes solos são essencialmente homogêneos e formam um grupo considerável e muito mais fácil de avaliar sistematicamente e analisar do que o grupo (a). A identificação da natureza e papel das ligações entre partículas (desde as ligações primárias herdadas até as fracas ligações secundárias formadas durante a alteração) é importante para a compreensão do seu comportamento.
	(c) Pequena influência estrutural	Solos formados a partir de rochas muito homogêneas.	Pouca ou ausência de sensibilidade; aparência uniforme.	É um subgrupo relativamente pequeno. O seu comportamento provável assemelha-se ao dos solos moderadamente sobre consolidados.
GRUPO B (Solos fortemente influenciados por minerais argilosos comuns)	(a) Grupo da esmectite (montmorilonite)	“Black Cotton Soils” (solos negros), maioritariamente formados em regiões tropicais em condições de drenagem pobres. “Vertisols”.	Cor escura (cinzenta a negra) e elevada plasticidade, sugerem solos deste grupo.	Solos normalmente problemáticos que se encontram preferencialmente em zonas baixas ou planas, possuem baixa resistência, compressibilidade elevada, e expansibilidade e retração elevadas.
	(b) Outros minerais			É provavelmente um subgrupo muito pequeno.
Grupo C (Solos fortemente influenciados por minerais argilosos essencialmente encontrados somente nos solos residuais)	(a) Grupo da alofana	Solos resultantes da alteração de cinzas vulcânicas nas regiões de clima tropical húmido, e temperado. “Andosols”.	Teor em água natural elevado, e modificações irreversíveis devidas à secagem.	Estes solos são caracterizados por valores do teor em água natural elevados, e limites de liquidez e plasticidade elevados. As propriedades geotécnicas são na generalidade boas, embora em alguns casos a sensibilidade elevada pode dificultar o manuseamento e compactação.
	(b) Grupo da halosite	Solos derivados, fundamentalmente de rochas vulcânicas antigas; especialmente as argilas vermelhas	Cor avermelhada; uma topografia que permite boa drenagem associada a rochas	São geralmente solos de grão fino, de plasticidade baixa a média, e atividade baixa. As propriedades geotécnicas são normalmente boas. (De notar que por vezes há uma certa sobreposição entre solos haloisíticos e

		tropicais. “Ferralsols”.	vulcânicas, são bons indicadores.	alofânicos).
	(c) Grupo dos sesquióxidos	Estes solos são referidos de uma forma abrangente como “lateríticos”, ou “laterites”.	Aparência granular ou nodular	Trata-se de um grupo muito vasto, variando das argilas siltosas às areias grossas e cascalho. O comportamento pode variar de plasticidade baixa nas argilas siltosas até não plástico nas areias e cascalho.

Esta classificação aqui descrita é apresentada de forma modificada e pretende ser um complemento a qualquer outro método de classificação. Deste modo, não faz uma descrição detalhada dos solos residuais nem no campo nem no laboratório, e não pretende substituir nenhum método particular ou *standard* (como por exemplo a USCS) ou alguma outra classificação proposta especificamente para solos residuais.

1.5 - Mineralogia e ocorrência de produtos de alteração

A decomposição tropical tende a favorecer a formação do mineral argiloso caulinite (mineral mais comum em solos residuais tropicais). Assim, sob condições húmidas adequadas podem formar-se “**halloysites**”. Sob uma decomposição prolongada, a sílica pode ser removida na medida em que o alumínio livre está presente levando à formação da **gibbsite**. Normalmente, parte da sílica produzida no solo estará na forma de quartzo. Quanto aos óxidos de ferro estes são suficientes para formar **goetite** e **hematite**. Os óxidos de ferro levam à formação de minerais consoante as condições *in situ*, como por exemplo, a hematite forma-se em condições de forte oxidação, enquanto que, a goetite e a limonite se formam em condições húmidas e arejadas. Alguns minerais específicos também são característicos de solos de certas partes do mundo, como por exemplo, as **ilites** são identificadas nos solos lateríticos de África, mas não o são nos lateritos brasileiros (onde normalmente apenas está presente a caulinite). A **esmectite** é normalmente predominante em minerais argilosos das ocorrências de solos negros expansivos (“black cotton soils”) e de muitos solos residuais de rochas sedimentares (adaptado de Blight, 1997).

Entre outros minerais presentes nos solos residuais e tropicais, com alguma raridade e/ou que sejam de difícil identificação, destacam-se a boemite, a anatase, camadas mistas de caulinite-ilite ou caulinite-vermiculite.

Existe uma forte evidência de que a montmorilonite pode estar presente nos solos lateríticos, mas apenas como mineral transitório num curto período de tempo, numa parte da sequência de alteração (Carvalho & Simmons, 1997).

A alteração tropical de cinzas vulcânicas produz normalmente alófanos em abundância, verdadeiramente, um mineral argiloso amorfo com elevada concentração de humidade natural. Os alófanos podem ser identificados pelas suas características próprias e pelas suas propriedades plásticas irreversíveis quando secos a diferentes temperaturas (adaptado de Blight, 1997).

Os minerais argilosos tendem a estar concentrados na fina fração de solo. Posto isto, os minerais de óxidos de ferro, como a goetite e/ou a hematite e também o quartzo, concentram-se na fração grosseira. A gibsite e boemite são encontradas nos preenchimentos dos poros e vazios nos componentes concreáveis dos solos. Quantidades significativas de componentes amorfos foram também identificadas em solos lateríticos e saprólitos tropicais (Queiroz de Carvalho 1981, 1985, 1991).

Sabemos que a formação de solos residuais resulta de uma grande variedade de processos. Segundo Richards (1985) os solos duplos muito estruturados tendem a formar-se onde as condições sazonais de humidade e aridez são pronunciadas, ou seja, quando o perfil de solo já amadureceu ao fim de um longo período de tempo como acontece em muitas partes da Austrália.

O perfil de alteração, conforme foi descrito atrás (proposto por Little), desde a rocha “fresca” até ao solo residual, foi detalhadamente estudado por vários autores entre os quais Brand (1988). Como referido também, a sua diferenciação de camadas é causada pela lixiviação e desidratação. O perfil de solo é estruturado em camadas de silte (envolvidas em argilas) e no horizonte intermédio, por argilas, por vezes altamente fissuradas num padrão de blocos. É assim essencial uma descrição metodológica e disciplinada do perfil, de forma a fazer um registo adequado dos perfis de solo residual.

A microestrutura dos solos residuais pode revelar cimentação ou alguns contactos entre combinações de partículas, que podem levar a uma melhor compreensão da sua ocorrência e comportamento geotécnico.

Collins (1985) estendeu o estudo da microestrutura para o caso dos solos residuais, organizando a microestrutura em 3 níveis (nível elementar, nível de montagem e nível do composto) (in Blight, 1997).

1.5.1 - Mineralogia e microestrutura relacionadas com as propriedades geotécnicas

As influências mineralógicas nas propriedades geotécnicas são evidentes. Por exemplo, no caso de solos que contenham “halloysite” como mineral argiloso, aqueles apresentam alta plasticidade e sensibilidade à secagem e manipulação, assim como compressibilidade mais alta do que solos em que a caulinite predomina na fração argilosa. A presença daqueles minerais argilosos torna a “performance” difícil nos ensaios da densidade das partículas de solo. Solos que prolongaram

alguma alteração, como por exemplo uma areia envelhecida não cimentada composta por fragmentos de rocha vulcânica pode comportar-se como uma areia quando sujeita a uma perturbação mínima, ou como uma argila de alta plasticidade quando os fragmentos de rocha são alterados e o solo é remoldado (Carvalho & Simmons, 1997).

Solos com **caulinite**, como mineral argiloso predominante, caracterizam-se por um comportamento normal nos ensaios em termos de baixa a média plasticidade e permeabilidade razoável. Por outro lado, quando a **esmeclite** está presente (ou mesmo “halloysite”) o nível de reatividade dos solos aumenta em direção ao cimento ou cal. De referir que estes solos, normalmente, têm alta plasticidade e baixa permeabilidade, as quais podem ser modificadas por adição de agentes estabilizadores.

Solos residuais lateríticos e sapróliticos são muitas vezes encontrados em condições parcialmente saturadas. Se o solo é subsequentemente saturado ou o seu teor em água aumentar drasticamente, a resistência ao cisalhamento final dependerá do tipo de minerais argilosos presentes. Se o mineral argiloso dominante for a caulinite, o efeito de alteração não será muito notado. Contudo a presença de “halloysite” ou esmeclite pode resultar numa diminuição da resistência ao cisalhamento quando o solo é molhado.

A influência dos **sesquióxidos** está relacionada com o modo de ocorrência do solo. Se existir cimentação das partículas, os sesquióxidos tendem a reduzir a sua plasticidade. Contudo, se a cimentação for bastante fraca, o remechimento (“remoulding”) do solo pode levar a um aumento da interação entre as partículas causando um aumento da plasticidade.

De igual forma, a presença de **goetite/hematite** na matriz do solo pode ser aumentada através do processo de estabilização, levando ao aumento da coesão do solo. Collins (1985) atribuiu o aumento da rigidez dos solos saprólitos como consequência da conexão entre grãos de quartzo por minerais argilosos e/ou sesquióxidos. Daqui pode resultar um aumento da coesão dos solos (adaptado de Blight, 1997).

Baynes & Dearman (1978) concluíram que as alterações das propriedades geotécnicas dos granitos alterados eram devidas à microfraturação e porosidade intergranular, observada na microestrutura do material de alteração estudado. Collins (1985) encontrou características semelhantes em granitos alterados do Brasil. Queiroz de Carvalho (1991) relatou que a microestrutura altamente cimentada estava presente em solos que eram também bastante reativos para o processo de estabilização com cal.

O comportamento de solos dispersivos é normalmente identificado em solos que são sujeitos a alterações cíclicas de humidade sob condições onde os minerais argilosos se tornam ricos em sódio. Segundo Simmons (1989) a agregação micro-estrutural de argilas foi o fator mais identificativo na ocorrência de solos sujeitos a erosão dispersiva severa. Estes minerais argilosos parecem ter se agregado em zonas específicas para se associarem com a zona de evaporação de mudanças de água subterrânea sazonal. Deste estudo, concluiu-se que foi a microestrutura, em

vez da química da argila, que teve a influência no controle das propriedades geotécnicas, (Carvalho & Simmons, 1997).

Devido a todas as características mencionadas, conclui-se que os solos residuais devem variar amplamente quanto às suas propriedades geotécnicas. A microestrutura específica dos solos residuais ou as suas características mineralógicas estão identificadas como fatores de influência no comportamento geotécnico espectável.

As propriedades dos solos residuais devem ser corretamente definidas não esquecendo os casos concretos. Caso hajam dúvidas quanto ao comportamento deste tipo de solos, as operações de reconhecimento ou a avaliação direta das propriedades no campo apresentam maior significado que a experiência e o uso de práticas de mecânica dos solos transportados. Isto deve-se ao facto de os solos residuais apresentarem exigências concretas na sua identificação e caracterização (Carvalho & Simmons, 1997).

2 - METODOLOGIA APLICADA

2.1 - Introdução

A presente dissertação pretende avaliar e comparar algumas propriedades físicas, mecânicas e geoquímicas e mineralógicas em perfis de alteração de solos residuais granitóides. Optou-se pelo estudo de solos residuais de várias origens genéticas, ou seja, resultantes de diferentes tipos de rocha-mãe, mas localizados numa área específica. De forma a executar uma caracterização generalizada dos principais tipos de solos residuais granitóides da região do Alentejo, e após investigação de campo, foi feita recolha de amostras nas manchas de solos granitóides das localidades de Évora (Figura 2.1), Montemor-o-Novo (Figura 2.2) e Vimieiro (Figura 2.3). Deste modo, embora o estudo incida apenas sobre estes três locais de amostragem, considera-se que os mesmos constituem uma boa caracterização global dos solos residuais resultantes das principais rochas graníticas s.l. de Portugal.



Figura 2.1 – Perfil de solo residual de granodiorito na pedreira do Monte das Flores em Évora (à esquerda) e respetiva recolha de amostras (à direita).



Figura 2.2 - Perfil de solo residual de quartzodiorito na pedreira de Benafessim em Montemor-o-Novo (à esquerda) e respetiva recolha de amostras (à direita).



Figura 2.3 - Perfil de solo residual do granito do Vimieiro (à direita) e respetiva recolha de amostras (à esquerda).

As diferentes manchas graníticas de solos residuais foram definidas de forma a abarcar os principais tipos litológicos dos maciços rochosos que lhes deram origem, nomeadamente granodiorito (Évora), quartzodiorito (Montemor-o-Novo) e granito (Vimieiro). Além da recolha dos solos residuais foram também recolhidas amostras de rocha-mãe praticamente não alterada, e, aparentemente alterada, para melhor análise. O plano da dissertação propunha realizar um vasto número de ensaios (físicos, mecânicos e químicos) usando técnicas e metodologias tradicionais (abordadas no âmbito da licenciatura em Engenharia Geológica) e, sempre que possível, inovando as abordagens com outras técnicas ou dando uso a equipamentos tecnologicamente mais avançados, no estudo e caracterização de solos residuais graníticos.

As variações físicas e químicas nas manchas de solos residuais dos perfis de alteração em estudo devem-se sobretudo às diferentes formações geológicas de cada local. No Quadro 2.1 apresentam-se as manchas em estudo e as respetivas áreas.

Quadro 2.1 - Áreas aproximadas dos maciços eruptivos a que correspondem os solos residuais em estudo.

Manchas de solos residuais	Áreas aproximadas (Km ²)
Maciço eruptivo de Évora	500
Maciço eruptivo de Montemor-o-Novo	70
Maciço granítico do Vimieiro	350
Total	920

As metodologias seguidas nas diferentes fases da investigação subdividem-se em:

- i) recolha de dados;
- ii) trabalhos de campo;
- iii) ensaios de laboratório.

Neste capítulo faz-se uma abordagem aos procedimentos de recolha de amostras e à execução dos ensaios *in situ* e laboratoriais dos solos residuais granitóides. Para tal, são descritas as principais técnicas utilizadas e metodologias seguidas nos vários ensaios. Na Figura 2.4 estão esquematizadas as principais operações desenvolvidas no presente estudo.

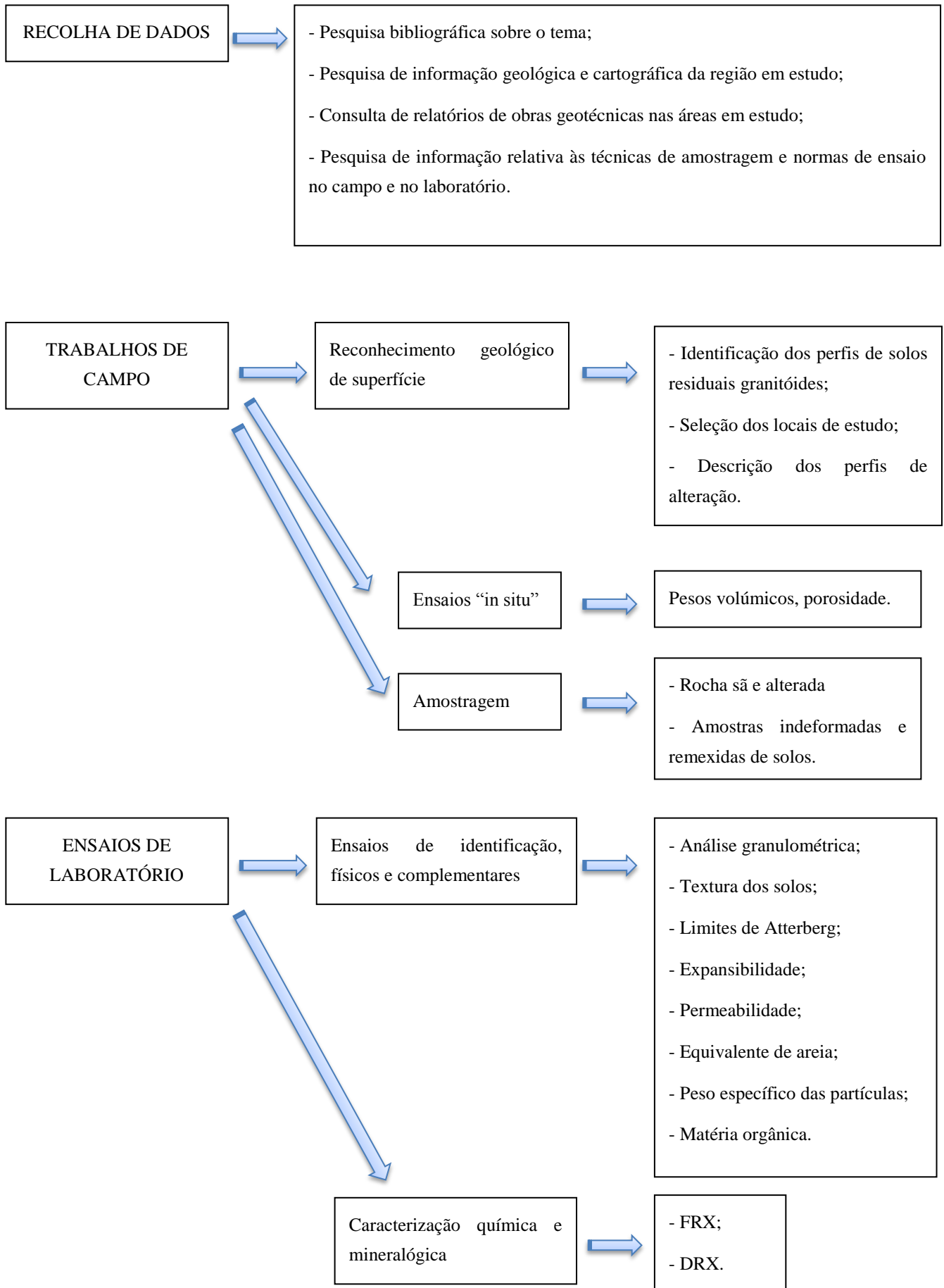


Figura 2.4 - Fluxograma geral da metodologia de trabalhos desenvolvidos para esta dissertação.

2.2 - Recolha de dados

É importante executar as várias fases de recolha de dados (reconhecimento, amostragem e ensaios *in situ*) conforme as normas e procedimentos, com o máximo de rigor possível para que os dados posteriores possam ser corretamente analisados e comparados. O sucesso de uma boa conduta laboratorial e uma boa análise de dados advêm de um planeamento prévio bem estruturado, procurando rentabilizar tempo e esforço, seguindo as metodologias e cumprindo os objetivos propostos, sem nunca esquecer de garantir uma boa eficácia na recolha e processamento das amostras em estudo.

A recolha de dados passa pelas seguintes vertentes:

- i) Pesquisa bibliográfica, o mais atualizada possível, sobre a temática de “perfis de solos residuais granitóides”, nomeadamente, teses, artigos científicos ou outras publicações, relatórios e livros;
- ii) Consulta de referências cartográficas, tais como artigos, memórias, fotografia de superfície e mapas que caracterizem a geologia, geomorfologia, climatologia, pedologia, exploração de materiais, hidrologia e hidrogeologia das áreas afetadas ao estudo;
- iii) Compilação de dados geotécnicos, designadamente, registos de ensaios *in situ* e ensaios laboratoriais realizados com materiais e equipamentos semelhantes aos apresentados na dissertação. A aquisição de dados pertencentes às empresas que laboram nos locais em estudo, em especial da pedreira do Monte das Flores (empresa da Tecnovia) e pedreira de Benafessim (empresa da Mota Engil), permitiram uma melhor compreensão dos elementos associados aos solos residuais de cada local, complementando o conhecimento já adquirido;
- iv) Pesquisa das técnicas existentes e equipamentos que tenham sido aplicados com êxito na investigação dos solos residuais, ou que sejam mais adequados a determinado tipo de propriedades dos solos. Foram igualmente averiguados os diferentes métodos de amostragem, seleção e de “performance” dos equipamentos para realizar ensaios *in situ*, e procedimentos relevantes na realização de ensaios de laboratório em solos residuais de granitos.

2.3 - Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo são caracterizados por três fases essenciais descritas a seguir: Reconhecimento geológico de superfície ➡ Recolha de amostras ➡ Ensaios *in situ*.

2.3.1 - Reconhecimento geológico de superfície

O reconhecimento geológico de superfície teve como principais objetivos:

- Identificar e verificar a existência dos maciços rochosos graníticos ou, simplesmente, dos perfis de solos residuais que se pretendia estudar, definindo com melhor clareza os locais de maior interesse para análise de perfis de alteração;
- Verificar a informação contemplada pela cartografia geológica e pedológica através da observação direta da superfície;
- Caracterizar 3 manchas de solos residuais granitóides com características litológicas distintas, comprovadas visualmente e através de ensaios. As manchas definidas apresentam diferentes enquadramentos geográficos, bem como propriedades observáveis *in situ* (textura, cor, estrutura, heterogeneidade, espessura, friabilidade, estabilidade vertical, ravinamento, etc.) diferenciadas umas das outras;
- Selecionar os locais mais representativos de cada mancha para uma caracterização de maior detalhe, realizando ensaios no local (*in situ*) e recolha de amostras ao longo de cada perfil de solo residual para posteriores ensaios de laboratório. Devido à dificuldade em encontrar taludes naturais adequados, as opções feitas acabaram por incidir sobre perfis expostos pela escavação em pedreiras (em exploração ou não) e em saibreiras. Foi equacionada a hipótese de incluir neste estudo, os taludes de escavação de obras rodoviárias recentemente projetadas perto da cidade de Évora, mas esta ideia foi posta de parte devido à sua fraca viabilidade e dificuldade nos acessos na execução da amostragem;
- Descrever os perfis de solos residuais selecionados para a caracterização geológico-geotécnica em pormenor. Adotou-se como critério de escolha, perfis de espessura igual ou maior a 6 metros aproximadamente, podendo chegar até aos 15 metros. O registo dos aspetos relevantes durante a descrição do perfil advém da simples aparência do que observamos, da apreciação e experiência do observador.

Os contactos iniciais diretos com a superfície do terreno (inspeção visual, contacto com as mãos ou outras ferramentas) permitem uma primeira impressão das condições e características do perfil, sendo essencial para a compreensão global dos perfis de solos residuais. A inspeção visual de perfis de solos residuais tem sido uma prática corrente em certos países (Jennings *et al.*, 1973) e mais recentemente recomendada como prática internacional (Cook & Newill, 1988).

Fazer uma descrição de um perfil de solo residual, consiste em georeferenciar a sua posição, definir as dimensões do perfil (altura e largura), delinear as formações geológicas do substrato, registar as principais características no solo no seu estado natural (nomeadamente a humidade, cor, estrutura, consistência, densidade, heterogeneidade, estado de alteração, presença de blocos de rocha sã ou alterada, existência de terra vegetal, etc.). Para facilitar a interpretação dos perfis podem ser acrescentadas no caderno de campo ilustrações de certos pormenores relevantes, esquemas, ou mesmo recorrer a imagens de fotografia. Como os perfis de solos residuais apresentam por vezes grandes variações de alteração desde a rocha-mãe até aos solos alterados é importante incluir descrições tanto dos solos como das rochas, e do seu grau de alteração.

Torna-se por vezes importante que a descrição contenha um reconhecimento a nível da aptidão para a construção geotécnica (como por exemplo o uso do solo como material de construção, como terreno de fundação, para aterros compactados, para escavações ou como talude natural). Muitas vezes, o controle de qualidade da construção e da segurança dependem do conjunto de informação obtidas através de práticas adequadas acerca dos perfis de solos (Simmons & Blight, 1997).

2.3.2 - Métodos de amostragem

Os dados recolhidos durante o reconhecimento geológico de superfície são importantes para a fase seguinte, fase dos métodos de amostragem, pois uma boa descrição dos perfis de solos ajuda na escolha do(s) método(s) mais adequado(s) ao perfil de solo selecionado para recolha de amostras.

Exceto para materiais que apresentam já uma superfície natural exposta, toda a amostragem envolve sempre algum grau de perturbação que não pode ser evitada. Os métodos de amostragem devem ser escolhidos cuidadosamente de acordo com os objetivos a atingir e de modo a obter amostras representativas do perfil de solo residual. A escolha das técnicas a aplicar foi, de um modo geral, quase sempre finalizada no campo consoante as características do terreno, o equipamento disponível e a viabilidade/inclinação dos acessos com o intuito de realizar com sucesso as operações de amostragem.

A localização e a caracterização das amostras recolhidas para este estudo estão presentes nos capítulos seguintes (Capítulo 2.4 e Capítulo 3). Nas diferentes fases de amostragem consultaram-se as recomendações da Especificação LNEC E 218 (1968), “Prospecção geotécnica de terrenos”.

Brand & Phillipson (1985) apresentaram detalhes sobre a amostragem praticada em várias partes do mundo em solos residuais.

Nos trabalhos de campo efetuados, foram usados materiais suplementares tais como: martelo de geólogo, fita-métrica, extratores, pá metálica pequena, pá metálica grande, pá de plástico (colheita de solos para ensaios químicos), sacos de plástico e atilhos.

De seguida, faz-se uma breve descrição das técnicas de amostragem utilizadas no trabalho de campo e dos vários tipos de amostras colhidas:

- Recolheram-se blocos de rocha sã e/ou alterada diretamente do perfil ou do maciço rochoso subjacente ao perfil, usando-se para o efeito um martelo de geólogo. Este material recolhido destinou-se à classificação macroscópica das rochas com base nos minerais principais identificados à vista desarmada.
- Com o método do extrator recolheram-se amostras de solo residual para a determinação dos pesos volúmicos *in situ* e do teor em água natural. No perfil da Pedreira do Monte das Flores cravaram-se 16 extratores junto ao local de recolha das amostras remexidas,

com volumes que variam entre $57,19 \text{ cm}^3$ e 768 cm^3 , consoante a dimensão máxima das partículas do solo a extrair (Figura 2.5);



Figura 2.5 - Determinação dos pesos volúmicos pelo método do extrator (ensaio “in situ”).

No caso do perfil do Monte das Flores foram aplicados 2 extratores por cada metro de perfil, num total de 16 extratores de amostras de solo residual.

No que respeita aos perfis de Montemor-o-Novo e do Vimieiro aplicaram-se igualmente 2 extratores por cada metro de perfil, num total de $16 + 16$ extratores de amostras de solo residual, sendo estes depois aproveitados para ensaios de análise granulométrica.

- Recolheram-se várias amostras remexidas para os ensaios químicos, distanciadas de 1 metro ao longo do perfil, utilizando uma pá de plástico (para evitar contaminação química por parte das pás metálicas), o material foi depois colocado dentro de sacos de plástico bem fechados.

Nos 3 perfis, foram recolhidos 8 sacos por perfil, e cada saco continha aproximadamente 10 kg de solo, o que resulta num total de 240 kg de solo residual colhido para ensaios químicos e mineralógicos (não sendo necessária tal quantidade, mas salvaguardando sempre a representatividade da amostra).

- Recolheram-se várias amostras remexidas para os ensaios físicos e mecânicos, utilizando pás para o efeito. O material foi depois colocado dentro de sacos de plástico bem fechados. Como as partículas dos solos sapróliticos graníticos são por vezes angulosas, optou-se por usar vários sacos para colocar as amostras para, no caso de algum se romper, evitar perda de material.

No caso do perfil do Monte das Flores cada saco continha aproximadamente 25 kg de solo e foram colhidos 8 sacos, o que resulta num total de 200 kg de amostras de solo residual.

No que diz respeito ao perfil de Montemor-o-Novo cada saco tinha aproximadamente 15 kg de solo e foram colhidos 8 sacos, o que resulta num total de 120 kg de amostras de solo residual.

No caso do perfil do Vimieiro cada saco tinha aproximadamente 15 kg de solo e foram colhidos 8 sacos, o que resulta num total de 120 kg de amostras de solo residual.

O que dá um total de 440 kg de solo residual colhido (sob a forma remexida) para posterior análise laboratorial, nomeadamente, preparação das amostras, secagem, esquarteamento, e elaboração de ensaios de identificação, físicos e geomecânicos.

2.3.3 - Ensaio *in situ*

Os ensaios *in situ* nos solos residuais permitem avaliar materiais de um perfil, mantendo todas as características no seu estado natural (incluindo as suas tensões em repouso).

Para estimar as propriedades *in situ* de solos, requer-se grande cuidado durante o processo de amostragem, preservação, transporte e armazenamento (Simmons & Blight, 1997).

Para a caracterização da resistência do solo no local (*in situ*) podem ser usadas diversas técnicas tais como: ensaios SPT (“Standard Penetration Test”), ensaios de penetração estática (ou CPT), ensaios com o penetrómetro dinâmico (ou DP “Dynamic Probing”), etc., mas que não foram utilizados neste trabalho, porque não constavam nos objectivos do mesmo.

De seguida, descreve-se a única técnica *in situ* que foi aplicada nos perfis de solos residuais estudados e as características essenciais do equipamento usado.

Aplicou-se o método do extrator (Correia, 1980) para a determinação dos pesos volúmicos *in situ*, usando extratores cilíndricos em aço inox, com uma das extremidades aberta e biselada para ajudar a entrada do solo residual. A outra extremidade é tapada, existindo pequenos orifícios para a saída do ar à medida que se vai introduzindo o solo.

Após remover toda a camada superficial de terra vegetal, introduz-se o extrator perpendicularmente à parede do perfil de solo residual. O extrator é cravado dando pancadas com um martelo na extremidade fechada. Uma vez cravado, remove-se o solo circundante ao extrator com a ajuda de uma pá pequena e, finalmente, retira-se o extrator com o solo no seu interior (o volume do extrator deve ser totalmente preenchido e, se possível, deixa-se solo em excesso a “transbordar” no topo do extrator) e introduz-se cuidadosamente num saco de plástico devidamente fechado e identificado. Quando as amostras chegam ao laboratório, o excesso de solo no topo do extrator deve ser nivelado com a ajuda de uma espátula. Depois limpa-se o exterior metálico do extrator com um pincel, pesa-se todo o conjunto (extrator mais solo residual) e leva-se à estufa para secar com uma temperatura aproximada de 105° C.

Este ensaio permite determinar o peso volúmico no estado natural (γ_0) e o teor em água natural (w_0), segundo a **Norma Portuguesa LNEC NP 84 (1965)**, “Solos - Determinação do teor em água”. A partir destes parâmetros é possível calcular o peso volúmico no estado seco (γ_d), a porosidade (n) e o índice de vazios “*in situ*” (e_0).

2.4 - Ensaio de laboratório

Os ensaios laboratoriais nas amostras de solos residuais colhidas para este trabalho (Quadro 2.2) foram realizados no Laboratório de Geotecnia do Departamento de Geociências da Universidade de Évora e no Laboratório do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

Quadro 2.2 - Tipo e número de amostras ensaiadas nesta dissertação.

Designação do ensaio	Nº. amostras ensaiadas (Évora)	Nº. amostras ensaiadas (Montemor-o-Novo)	Nº. amostras ensaiadas (Vimieiro)
Análise granulométrica	8	8	8
Determinação da textura de solos	8	8	8
Limites de Atterberg (LP + LL + LL _C)	8+8+8	8+8+8	8+8+8
Determinação do Teor em água	8	8	8
Expansibilidade	8	8	8
Equivalente de areia	2 x 8	2 x 8	2 x 8
Peso específico das partículas sólidas (densidades)	4 x 8	4 x 8	4 x 8
Permeabilidade	8	8	8
Teor em matéria orgânica	8	8	8
Análise química por FRX	8	8	8
Análise mineralógica por DRX	8	8	8
Nº total de ensaios realizados	136	136	136

2.4.1 - Caracterização geotécnica

2.4.1.1 - Ensaio de identificação

A identificação e descrição de terrenos para propósitos de engenharia deve consistir em classificar os tipos de solos, designadamente por termos simples, a partir de um número restrito e significativo de propriedades índice, determinadas por ensaios padrão (Vargas, 1992 *in* Duarte, 2002).

Existem características que permitem a identificação de um determinado tipo de solo, através de ensaios laboratoriais, sendo estas a análise granulométrica e os limites de consistência. Foram feitos ensaios de identificação em todas as amostras de solos colhidos (segundo a especificação **E-218 – PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA DE TERRENOS: Colheita de amostras**), de forma a definir a sua classificação geotécnica pelo Sistema Unificado *ASTM D 2487-85* e *AASHTO*

(LNEC E 240-1970). As amostras remexidas de solos residuais foram preparadas seguindo as técnicas recomendadas pelas normas **LNEC E 195 (1966)** e **BS1377: Part1 (1990)**.

Acrescente-se que as amostras secaram durante 2 a 3 dias ao ar livre, tendo sido posteriormente destorroadas com um martelo de borracha (de forma a não diminuir o tamanho das partículas). Na preparação por via seca de todas as amostras para ensaios de identificação, esquematizada na Figura 2.6, (**E-195 – SOLOS: Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação**), por forma a garantir que cada porção de solo fosse representativa, usou-se um repartidor para homogeneização do solo.

Os ensaios de identificação realizados foram análises granulométricas por peneiração húmida, ensaios de determinação da textura de solos e ensaios de consistência, aprofundados mais à frente.

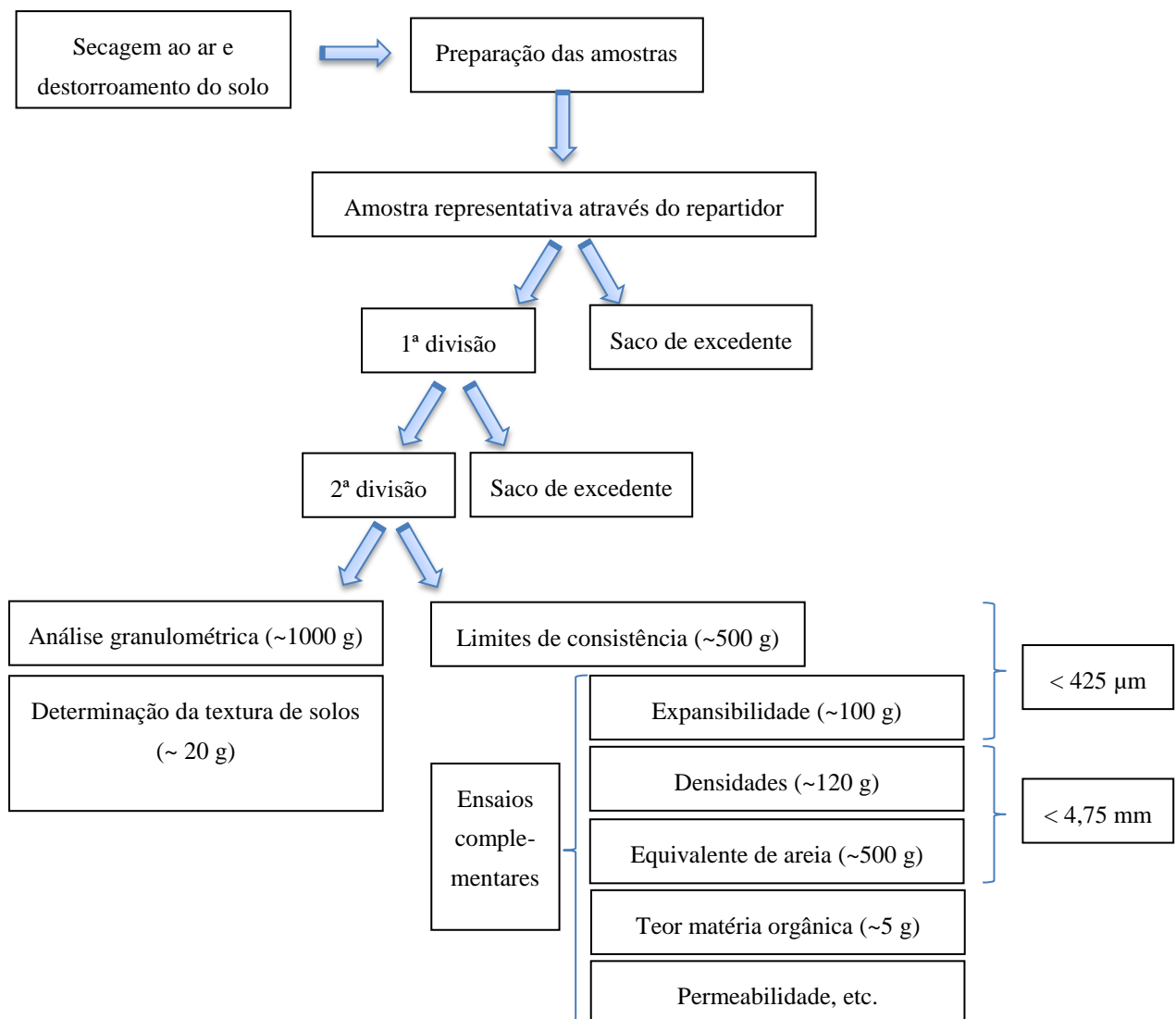


Figura 2.6 - Esquema geral da preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação e complementares realizados para esta dissertação.

De referir que, para a determinação da textura de solos procedeu-se à crivagem das amostras de dimensão igual e superior à areia (crivo 63 μm) e pipetagem da fração silto-argilosa (<63 μm) com recolha de Silte + Argila e Argila, através da lei de Stokes.

2.4.1.1.1 - Análise granulométrica

Os critérios de classificação de solos baseiam-se de um modo geral na respetiva granulometria. Esta destina-se a fixar o modo de determinar quantitativamente a distribuição por tamanhos das partículas que constituem o solo. Para os solos mais grosseiros, como areias e seixos, a respetiva granulometria fornece ainda o conceito de graduação (gama de diâmetros existentes e sua frequência).

Assim, um solo é um conjunto de várias frações granulométricas, cuja classificação é feita com base na representatividade de cada fração relativamente à amostra total. O Quadro 2.3 explicita as diferentes designações e dimensões das partículas de solo normalmente utilizadas na classificação dos solos (Correia, 1980).

Quadro 2.3 - Principais frações granulométricas com respetivas designações e peneiros correspondentes (Correia, 1980).

Designação	Dimensões (mm)	Peneiros (ASTM)	
		Nº	mm
Argila	<0,002	200	0,075
Silte	0,002 - 0,06		
Areia	fina	60	0,25
	média	40	0,425
	grossa	20	0,85
Seixo	2 - 6	10	2
Calhau	60 - 150	4	4,75

As amostras colhidas foram sujeitas ao ensaio de análise granulométrica por peneiração húmida, de acordo com as recomendações da norma portuguesa **LNEC E 239 (1970)**. Nos solos em estudo, as amostras foram preparadas com secagem prévia na estufa. Depois de pelo menos 24 horas a secar na estufa a 105° C, leva-se ao excicador para arrefecer em ambiente seco, e fica então pronto para peneirar por via húmida. A peneiração a húmido foi executada com a amostra integral colhida.

Optou-se pela execução da peneiração por via húmida em vez da via seca, pelo facto da primeira permitir uma distribuição da dimensão das partículas individuais mais fiável em solos residuais. É também sabido que a utilização de água na crivagem é menos agressiva do que a utilização de agitadores mecânicos na peneiração por via seca. Algumas partículas mais sensíveis (como por exemplo as micas e grãos de minerais angulosos e/ou fissurados) são preservadas o melhor possível na sua dimensão e forma original, ao contrário do que acontece quando os grãos,

previamente secos, são atirados uns contra os outros e contra as paredes do crivo na peneiração por via seca, podendo reduzir drasticamente a dimensão de parte das partículas destes solos (Duarte, 2002). Outra desvantagem da peneiração por via seca é que, por muito prolongada que seja a peneiração existem sempre partículas das frações mais finas que aderem às fissuras dos grãos de areia e seixo e, na análise dos resultados são assim contabilizados erradamente nas classes granulométricas às quais não pertencem. Já na peneiração húmida é possível, se necessário, usar agentes dispersantes que promovem a dispersão das frações mais finas que podem ser contabilizadas com maior rigor (Duarte, 2002).

A distribuição do tamanho das partículas dos solos residuais pode ser afetada por certos aspetos da preparação das amostras, como por exemplo o processo de desagregação do solo, o tipo de desfloculante e o tempo de agitação utilizados, o efeito da secagem, etc (Duarte, 2002).

O material usado para a execução deste ensaio é mencionado de seguida: balança analítica, cápsulas, série de peneiros ASTM com a malha quadrada, frasco de lavagem por esguicho, copo de precipitação e estufa de secagem ($105^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$).

A determinação da composição granulométrica da fração de solo com dimensões superiores a 0,075 mm (seixo e areia) é efetuada através da passagem de uma dada massa de solo sobre uma bateria de peneiros (método da peneiração) com as seguintes aberturas: 4,75 mm (nº 4); 2,00 mm (nº 10); 0,850 mm (nº 20); 0,425 mm (nº 40); 0,250 mm (nº 60); 0,106 mm (nº 140) e 0,075 mm (nº 200), de acordo com a especificação E- 195 do L.N.E.C. A técnica de ensaio pode ser consultada na norma LNEC E 239 (1970), como já foi referido.

Graficamente, a representação dos resultados da análise granulométrica define-se através de uma curva granulométrica. A partir da curva granulométrica pode-se determinar o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$Cu = D_{60}/D_{10} \quad (2.1)$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \quad (2.2)$$

em que os diâmetros equivalentes D_{60} , D_{30} e D_{10} correspondem respetivamente a 60%, 30% e 10% de material de dimensões inferiores.

Pode-se traçar um gráfico semilog para as granulometrias (nas **abcissas** em escala logarítmica apresentam-se os nºs dos peneiros e respetiva abertura das malhas, e nas **ordenadas** em escala decimal, as percentagens acumuladas de material que passa, referentes à massa total da amostra de solo ensaiada). A união dos pontos dá a curva granulométrica.

A curva granulométrica permite representar a proporção das várias componentes granulométricas do solo (% de cascalho, % de seixo, % de areia, % de silte, % de argila) e distinguir as seguintes situações:

- se o solo apresenta partículas com várias dimensões, a curva será alongada (granulometria extensa) e o solo classifica-se como bem graduado;
- se o solo apresentar partículas com a mesma dimensão, a curva será quase vertical e o solo classifica-se como mal graduado (ou monogranular);
- se o solo apresenta deficiência de uma fração granulométrica intermédia também se classifica como mal graduado.

2.4.1.1.2 - Determinação da textura de solos

A textura do solo corresponde à composição granulométrica das partículas minerais individuais, ou primárias do solo. A escala de *Atterberg* ou escala *internacional* de granulometrias adotada em Portugal, considera as seguintes classes de partículas na terra fina (conjunto de partículas minerais individuais <2 mm):

Areia grossa	2 – 0,2 mm
Areia fina	0,2 – 0,02 mm
Silte (limo)	0,02 – 0,002 mm
Argila	< 0,002 mm

Dada a forte influência da granulometria em diversas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, a determinação da textura é uma análise bastante importante. Garantida a dispersão do material terroso, o método da análise mecânica utiliza várias técnicas de separação e contabilização das partículas minerais consoante o seu tamanho. As partículas mais grosseiras são separadas por **crivagem** (elementos grosseiros e areia), enquanto as mais finas são contadas por processos de **sedimentação/pipetagem** (silte e argila) e de **sedimentação/decantação** (areia fina).

A lei de Stokes ajuda no esclarecimento dos processos de sedimentação de partículas, uma vez que permite calcular a velocidade de deslocamento de partículas num fluido, quando as partículas se deslocam com uma velocidade constante (ou velocidade terminal). Na análise da textura do solo a lei de Stokes é aplicada para determinar as frações granulométricas mais finas, normalmente a areia fina, silte e a argila, como já temos a análise granulométrica até às areias é necessário calcular as frações de silte e argila. A velocidade de sedimentação de uma partícula num fluido (v) é dada pela seguinte equação:

$$v = ((2 \cdot (\rho_s - \rho_a) \cdot g) / 9 \cdot \eta) \cdot r^2 \quad (2.3)$$

em que:

ρ_s - massa específica do solo;

ρ_a - massa específica da água;

g - aceleração da gravidade;

η - viscosidade dinâmica da água;

r - raio das partículas.

Ou, a expressão mais simplificada fica:

$$K = (2 \cdot (\rho_s - \rho_a) \cdot g) / 9 \cdot \eta \quad (2.4)$$

Ou seja,

$$v = K \cdot r^2 \quad (2.5)$$

O que leva a concluir que a velocidade de sedimentação de uma partícula num fluido é diretamente proporcional ao quadrado do seu raio, mantendo-se os restantes fatores constantes.

Podemos admitir um valor constante de $\rho_a = 2,65 \text{ g.cm}^{-3}$. Como a massa específica e a viscosidade da água dependem da temperatura, o valor de K tem que ser calculado para diferentes temperaturas. Por norma, usam-se valores tabelados de K para cada temperatura, de forma a obter a velocidade das partículas de um determinado raio, ou obter diretamente o tempo necessário para que essas partículas percorram uma dada distância numa suspensão de água.

No Quadro 2.4 estão representados os tempos de sedimentação calculados pela Lei de Stokes (para a região de Lisboa e Évora), necessários para que se efetuem as pipetagens das frações Silte + Argila e Argila.

Quadro 2.4 - Tempos de sedimentação calculados pela lei de Stokes (para a região de Lisboa e Évora).

Temperatura (°C)	Tempo de sedimentação para amostragem aos 10 cm de profundidade (pipeta pequena)		Tempo de sedimentação para amostragem aos 20 cm de profundidade (pipeta grande)	
	Limo/Silte + Argila (< 0,02 mm)		Argila (< 0,002 mm)	
	minutos	segundos	horas	minutos
11	6	3	10	6
12	5	54	9	49
13	5	44	9	34
14	5	35	9	19
15	5	27	9	5
16	5	19	8	51
17	5	10	8	37
18	5	3	8	24
19	4	55	8	12
20	4	48	8	0
21	4	41	7	48
22	4	34	7	37
23	4	28	7	26
24	4	22	7	16
25	4	15	7	6
26	4	10	6	56
27	4	4	6	47
28	3	59	6	38
29	3	54	6	29
30	3	48	6	21

A lei de Stokes é válida se se verificarem as seguintes condições:

- as partículas são esféricas, rígidas e lisas (no caso dos solos residuais isto pode não acontecer);
- as partículas deslocam-se com velocidade constante desde o início;
- todas as partículas duma amostra de solo têm a mesma densidade;
- a suspensão é suficientemente diluída para não haver interferências das partículas;
- a velocidade de deposição é relativamente lenta para não ocorrer turbulência;
- as partículas não são afetadas pelo movimento browniano (o que implica que a lei de Stokes não pode ser aplicada a partículas coloidais).

O procedimento da análise mecânica efetuada é destinado a amostras de solo sem sais solúveis, gesso, calcário ou óxido de manganês e com um teor de matéria orgânica superior a 2%.

Este ensaio (Figura 2.7) tem como objetivo a determinação da textura dos solos correspondente à composição granulométrica das partículas minerais, sendo expressa pela proporção dos lotes de partículas de areia, silte e argila e ainda pela abundância de elementos grosseiros.

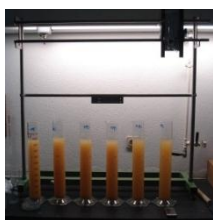


Figura 2.7 – Ensaio da determinação da textura de solos.

Os principais materiais necessários à execução do ensaio são: crivo de 63 μm , provetas (1000 ml), agitador mecânico (com magnetos), pipeta de Andreasen, solução dispersante de hexametáfosfato de sódio (constituída por 37,5 g de hexametáfosfato de Na + 7,94 g de Na_2CO_3 + água destilada até completar 1000 ml de solução), estufa ou banho de areia, termómetro.

Para a preparação da amostra faz-se a crivagem (através do crivo de 2 mm) para separar a “terra fina” dos elementos grosseiros. Pesa-se para um copo de 600 ml de um peso de terra fina seca ao ar equivalente a 20 g de terra seca a 105°C.

Na técnica de ensaio efetuaram-se as seguintes fases:

- **Crivagem/granulometria** - Crivam-se as amostras com o crivo de 2 mm e de seguida com o crivo de 63 μm com ajuda de água destilada, tendo o cuidado de não ultrapassar 1000 mL de água para facilitar a fase seguinte. As frações que ficam retidas nos crivos de 2 mm e de 63 μm são secas na estufa, registando-se o seu peso seco – fração balastro (> 2 mm) e fração areia (> 63 μm). A fração que fica abaixo dos 63 μm (fração que passa no crivo 63 μm) é reservada para desta se fazerem as pipetagens das frações Silte + Argila e Argila.
- **Dispersão das amostras** – Colocam-se as amostras (fração < 63 μm) num agitador mecânico com magnetos, à qual se adiciona (relação peso de terra:volume dispersante 1:1) 20 mL de uma solução dispersante (hexametáfosfato de sódio) e deixa-se em agitação cerca de 15 minutos.
- **Separação da areia grossa (crivagem)** – Passa-se o conteúdo do copo de agitação através de um crivo de 0,2 mm, colocado sobre um funil, para uma proveta de 1000 mL. O material que fica no crivo deve ser escovado com um pincel sob a ação de um jacto de água até ficar limpo. No crivo ficam retidas todas as partículas de diâmetro compreendido entre 2 e 0,2 mm (areia grossa). O crivo deve ser colocado num vidro de relógio para ser seco na estufa a 105°C durante 24 horas. O crivo depois de arrefecido é pesado (d).

Na amostragem de silte + argila, deve-se completar o volume da proveta com água destilada (a proveta deve ter temperatura constante e não sujeita a vibrações), usando-se uma vareta de disco na extremidade durante 1 minuto para agitar o fluido. Decorrido o tempo indicado no Quadro

2.4, procede-se à pipetagem de uma amostra da suspensão (com o volume correspondente à pipeta utilizada) a uma profundidade de 10 cm (pipeta pequena).

Os passos para se efetuar a recolha com a pipeta de Andreasen são: fechar as 3 torneiras da pipeta; colocar uma bomba de aspiração na saída superior (à esquerda); descer a pipeta até tocar na superfície da suspensão; cerca de 30 segundos antes do período de sedimentação mergulha-se a pipeta até à profundidade de 10 cm; abrir a torneira inferior e intermédia para fazer a aspiração lenta até que a pipeta fique cheia (cada colheita corresponde a cerca de 24 mL); quando a recolha terminar fecham-se as torneiras e sobe-se a pipeta; abre-se a torneira intermédia para eliminar o excesso de recolha, lava-se abrindo a torneira superior e volta-se a fechar a torneira intermédia; recolher o conteúdo da pipeta num copo (usando a torneira inferior com ligação para a direita e depois a torneira intermédia); lavar o tubo.

Depois de efetuada a pipetagem volta-se a repor o nível da suspensão no volume de 1000 mL. A amostra recolhida (Silte + Argila e Argila) vai à estufa a secar a 105° C. Arrefece-se a amostra num exsiccador e pesa-se o conteúdo (b) constituído por partículas de diâmetro < 0,02 mm (silte + argila + resíduos da solução dispersante (r)).

Na amostragem de argila, agita-se novamente a proveta, mede-se a temperatura do líquido e deixa-se repousar para obter a amostragem da argila ao fim do tempo de sedimentação sugerido no Quadro 2.4. Procede-se à pipetagem de uma amostra da suspensão (com pipeta grande) a uma profundidade de 20 cm. Secam-se os sedimentos recolhidos (argila + resíduo da solução dispersante) na estufa a 105 °C e pesam-se (a). Faz-se também um ensaio em branco apenas com a solução dispersante e pesa-se o resíduo recolhido com a pipeta (r).

Considerando uma amostra de terra seca a 105 °C de massa m g (sendo igualmente m ml de solução dispersante de hexametáfosfato de sódio e carbonato de sódio) e utilizando uma pipeta de volume p , pode-se determinar a textura do solo calculando as percentagens de argila, silte, areia fina e areia grossa através das expressões que se seguem com respetiva simbologia:

a – argila + resíduo da solução dispersante (r)

b – silte + argila + resíduo da solução dispersante (r)

c – areia fina

d – areia grossa

m – massa da amostra de terra fina

p – volume da pipeta

r – peso do resíduo da solução dispersante obtido no ensaio branco.

De seguida apresentam-se as fórmulas necessárias para os cálculos da determinação da textura de um solo:

Percentagem de areia grossa (% AG) e areia fina (% AF):

$$\% \text{ AG} = (d / m) \cdot 100 \quad (2.6)$$

$$\% \text{ AF} = (c / m) \cdot 100 \quad (2.7)$$

Percentagem de silte:

$$\% \text{ L} = (L / m) \cdot 100 \quad \text{com} \quad L = ((b - a) / p) \cdot 1000 \quad (2.8)$$

Percentagem de argila:

$$\% \text{ Arg} = (\text{Arg} / m) \cdot 100 \quad \text{com} \quad \text{Arg} = ((a - r) / p) \cdot 1000 \quad (2.9)$$

$$\text{Erro} = (\% \text{ Arg} + \% \text{ L} + \% \text{ AF} + \% \text{ AG} - 100) \quad (2.10)$$

Sem recorrer ao ensaio em branco, uma forma menos rigorosa para estimar o valor do **resíduo da solução dispersante recolhida na pipetagem** (r), faz-se conhecendo a concentração original da solução dispersante (37,5 g de hexametáfosfato de sódio + 7,94 g de carbonato de sódio por 1000 ml, o que resulta em 45,44 g/1000 ml), o montante adicionado à amostra (m) e o volume da pipeta (p). Calcula-se primeiro o resíduo total adicionado à amostra de solo (R):

$$R = (m / 1000) \cdot 45,44 \quad (2.11)$$

e depois o resíduo recolhido na pipetagem (r):

$$r = (p / 1000) \cdot R \quad (2.12)$$

2.4.1.1.3 - Limites de consistência

Com base nos trabalhos de Casagrande (1932, 1948), os limites de consistência passaram a constituir parâmetros essenciais na classificação e caracterização dos solos (Moitinho de Almeida, 1991). Apesar de pouco desenvolvidos, os limites de consistência, estão relacionados com os parâmetros do comportamento do solo, nomeadamente: a superfície específica das partículas, o índice de vazios, a microporosidade e a macroporosidade, a capacidade de troca iónica, a composição mineralógica, a composição granulométrica e a história geológica (Duarte, 2002).

O limite de consistência consiste em determinar o limite inferior de teor de água em que um solo muda de estado ou fase. No caso de solos com grande quantidade de silte e argila (solos finos), a variação do teor em água pode conduzir o solo a diferentes estados. Isto significa que um solo argiloso com baixo teor em água não será moldável, mas se for adicionada água o solo passa a um estado semi-sólido (desfaz-se em fragmentos quando se tenta moldar), e se se adicionar ainda mais água o solo atinge o estado plástico (sendo possível moldar o solo sem variar o seu volume e sem causar fragmentação). Ao continuar a adicionar água, o solo adquire um comportamento fluido. Os limites inferiores dos teores em água dos vários estados são designados por: **limite de retração (LR)** em que o teor em água não permite que o solo seja moldável, **limite de plasticidade (LP)** em que o teor em água confere ao solo um estado plástico e que se torna

possível moldar sem variar o volume e sem fragmentação e **limite de liquidez (LL)** em que o solo se transforma numa pasta com comportamento de um líquido, conforme esquematizado no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 - Posicionamento dos limites de consistência (LR, LP, LL) face aos estados de comportamento dos solos.

Estados de Comportamento			
Teor em água crescente			
Sólido	Semi - sólido ou de comportamento friável	Plástico ou de comportamento moldável	Líquido ou de comportamento fluído
LR		LP	LL

Os limites de consistência (ou de Atterberg) englobam a sua classificação em três ensaios:

- Limite de Plasticidade (LP): consiste na média dos maiores teores em água de 4 provetes da amostra para os quais ao moldar-se com cada um dos provetes um filamento cilíndrico de cerca de 3 mm de diâmetro, por rotação entre a palma da mão e uma placa de vidro, este se rompe (Correia, 1980);
- Limite de Liquidez (LL):
 - através da **concha de Casagrande**, consiste na determinação do teor em água correspondente a 25 pancadas, obtido por interpolação numa reta que relaciona o teor em água de cada um dos 4 provetes da amostra, com o número de pancadas para o qual os bordos inferiores de um sulco aberto num provete se unem numa extensão de 1 cm quando o ensaio é feito na concha de Casagrande (Correia, 1980);
 - através do **cone de penetração** (penetrómetro BS);
- Limite de Retração (LR): consiste em encher, sob condições normalizadas, uma cápsula com solo bastante húmido, secando-se de seguida o provete na estufa. O índice de vazios mínimo que o solo atinge por secagem é determinado através do volume aparente final do solo seco (Correia, 1980). Este índice de vazios representa o teor em água de saturação (que é o limite de retração). Este ensaio não foi realizado, tendo sido determinado o seu valor através da aplicação da fórmula e também verificado o resultado com a ajuda do ábaco de Casagrande.

Estes limites que estabelecem as fronteiras entre os diferentes estados do solo são de difícil determinação laboratorial, contudo recorreu-se aos procedimentos de ensaio conforme a Norma Portuguesa NP-143 – Solos: Limites de Consistência.

Os ensaios são realizados sobre o material que passa no peneiro nº40 (0,425 mm) e a preparação dos solos segue a Especificação **E-195 – SOLOS: Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação**.

A determinação dos limites de consistência é aplicável a solos com cerca de 30% ou mais, em peso, de partículas com dimensões inferiores a 0,05 mm. Salienta-se ainda que os provetes foram sempre secos ao ar o tempo suficiente para se proceder à determinação dos limites de consistência.

Segundo Correia (1980) o **índice de plasticidade (I_P)** é calculado pela diferença entre o limite de liquidez (W_L) e o limite de plasticidade (W_P), como mostra a fórmula:

$$I_P = W_L - W_P \quad (2.13)$$

excepto quando:

- o limite de liquidez ou de plasticidade não puder ser determinado, designa-se o solo como não plástico (NP);
- em solos muito arenosos, o limite de plasticidade não puder ser determinado, designam-se os limites de liquidez e plasticidade como não realizável (NR) e não plástico (NP), respetivamente;
- o limite de plasticidade é maior ou igual ao limite de liquidez, designa-se o solo como não plástico (NP).

O índice de plasticidade é um dos principais indicadores da qualidade dos solos, assim, os solos com elevados valores de I_P (solos com mais de 35%) são solos instáveis. Sempre que o índice de plasticidade não possa ser calculado, diz-se que o solo é não plástico (solo NP). O solo pode ser classificado quanto à sua plasticidade de acordo com o Quadro 2.6.

Quadro 2.6 - Classificação dos solos quanto à sua plasticidade.

I _P	Descrição	Classificação
0 % - 1 %	Silte	Não plástico
1 % - 5 %	Silte com traços de argila	Ligeiramente plástico
5 % - 10 %	Silte com pouca argila	De baixa plasticidade
10 % - 20 %	Argila e silte	De plasticidade média
20 % - 35 %	Argila siltosa	De alta plasticidade
> 35 %	Argila	Muito plástico

Acrescenta-se ainda que, em relação às metodologias efetuadas para determinação do limite de liquidez, fez-se um estudo comparativo entre os valores obtidos pela concha de Casagrande (norma LNEC NP - 143) e pelo cone de penetração (norma BS 1377: Part 2: 1990).

De seguida descrevem-se os procedimentos para os ensaios que foram realizados para a determinação do limite de plasticidade, determinação do limite de liquidez e determinação do limite de retração:

- Ensaio para determinação do limite de plasticidade:

Do material necessário, destaca-se: um almofariz, um peneiro de malha quadrada de 420 μm (nº 40 da ASTM), uma placa de vidro para se rolar o provete e uma espátula.

O ensaio consiste em rolar, com a palma da mão, uma pequena amostra de solo em cima de uma placa de vidro. O teor em água é determinado quando para um diâmetro não superior a 3 mm, o filamento cilíndrico de solo romper (Figura 2.8). Foram sempre determinados os valores médios dos teores em água determinados.



Figura 2.8 - Execução do ensaio para determinação do limite de plasticidade.

- Ensaio para determinação do limite de liquidez através da concha de Casagrande:

Do material necessário ao ensaio faz parte: a concha de Casagrande (Figura 2.9), um riscador, um almofariz, um peneiro de malha quadrada de 420 μm (nº 40 da ASTM), um vidro de relógio e uma espátula para preparação da mistura de solo com água destilada.

O provete de solo é colocado na concha de Casagrande, abrindo-se um sulco de dimensões normalizadas. Regista-se o número de pancadas da concha necessárias para que o sulco se feche e determina-se o teor em água do solo na zona do sulco. Efetuam-se várias repetições para diferentes teores em água (constrói-se um diagrama semilogarítmico), de modo a que dois dos valores variem das 10 até 25 pancadas e outros dois valores variem das 25 até 40 pancadas. A principal dificuldade sentida neste ensaio, devida às características dos solos colhidos, foi ajustar a quantidade de água a misturar com a amostra preparada. Assim, optou-se por repousar a mistura durante cerca de 24 horas para ser garantida uma boa repartição (absorção) da água pelo solo.



Figura 2.9 - Concha de Casagrande (elétrica).

A concha de Casagrande apresenta as seguintes características que podem ter grande influência nos resultados obtidos (Correia, 1980):

- rigidez da base do aparelho;
- altura de queda da concha;
- velocidade de aplicação dos golpes;
- volume do solo colocado na concha;
- apreciação visual do fechamento do sulco;
- dificuldade de obtenção dos limites em solos siltsos e arenosos.

- Ensaio para determinação do limite de liquidez através do cone de penetração:

Este método alternativo de determinação do limite de liquidez apareceu para combater as limitações do método da concha de Casagrande. O ensaio é executado num penetrómetro (BS cone) movimentado por gravidade, sendo o seu deslocamento registado num deflectómetro (Figura 2.10).

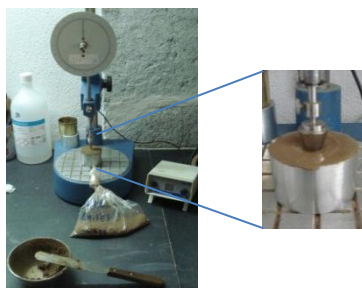


Figura 2.10 - Penetrómetro usado para os ensaios de limites de liquidez através do cone de penetração.

O penetrómetro é constituído por um suporte, onde se apoia um braço fixo, que serve de guia a uma haste vertical móvel, em cuja extremidade é fixada uma ponta cónica através de uma rosca, um deflectómetro situado na parte superior do braço fixo e um copo do amostrador de 60 mm de diâmetro e 40 mm de altura.

No procedimento efetuado o material preparado para o ensaio é misturado com água destilada até criar uma pasta homogênea e consistente. A pasta é colocada dentro do copo do amostrador, tendo-se o cuidado de não incorporar ar nesta operação. O excesso de solo deve ser removido com uma espátula de modo a que a superfície do provete fique lisa e horizontal. O conjunto haste-cone é baixado até que o cone tangencie a superfície do provete. Ao acionar o botão de destravagem, o cone penetra no provete durante 5 segundos. De seguida anota-se o valor registado no deflectómetro. A diferença entre a leitura inicial e a leitura após os 5 segundos dá a penetração do cone. O cone deve estar sempre bem limpo para não influenciar a sua resistência nas medições.

Quando a diferença entre duas leituras de penetrações for menor que 0,5 mm, calcula-se a média. Se a diferença estiver entre 0,5 mm e 1,0 mm faz-se uma terceira penetração. Se a diferença entre as três leituras não for maior que 1 mm anota-se a média entre elas. Se a diferença for maior que 1 mm rejeitam-se os valores e repete-se todo o processo.

Nas penetrações aceitáveis, colhem-se, aproximadamente, 10 g deste solo para uma cápsula tarada (peso da cápsula mais solo húmido). Depois de secar na estufa obtem-se o peso da cápsula mais o solo seco para se determinar o teor em água. São necessários 4 ensaios com penetrações válidas no intervalo entre os 15 e os 25 mm.

Sampson e Netterberg (1984) concluíram que existe uma relação quando feita a comparação entre os limites de liquidez fornecidos pela concha de Casagrande (LL) e pelo penetrómetro (LL_C). Pelo exposto o método do penetrómetro apresenta vantagens sobre a concha Casagrande, nomeadamente, por ser capaz de fornecer resultados para solos não plásticos (Snerwood e Ryley, 1970; QMRD, 1975) e o equipamento ser menos propenso a ser danificado.

Considerações teóricas e resultados práticos sobre estes métodos foram dados por autores como Netterberg e Haupt (1981), Wasti e Bezirci (1986), Weston (1978), entre outros.

Vários são os fatores que podem diminuir a dimensão das partículas de argila dos solos residuais, designadamente o tempo de mistura por mais de 30 minutos (sendo aconselhado por Blight (1997) um tempo de mistura de 5 minutos).

- Ensaio para determinação do limite de retração:

Por definição, o **limite de retração** é o teor em água abaixo do qual a secagem do solo se processa a volume constante (Head, 1992). Existem várias formas para a determinação do limite de retração, quer através de ensaios em amostras intactas, quer ensaios em amostras remoldadas. O limite de retração pode ser avaliado graficamente a partir dos valores do limite de liquidez pela concha de Casagrande (w_L) e índice de plasticidade (I_P). No presente trabalho foi também aplicada a fórmula (proposta por Casagrande em 1947) para a determinação do limite de retração (w_R):

$$w_R = w_L - (I_P / 0,73) \quad (2.14)$$

em que, I_P é o índice de plasticidade ($I_P = w_L - w_P$).

Através dos valores obtidos para as propriedades de identificação foi possível calcular também outros índices que são apresentados em seguida.

$$\text{Atividade coloidal do solo: } A_c = I_P / \% < 2 \mu\text{m} \quad (2.15)$$

$$\text{Índice de consistência: } I_C = (w_L - w_0) / I_P \quad (2.16)$$

$$\text{Índice de liquidez: } I_L = (w_0 - w_P) / I_P \quad (2.17)$$

sendo w_0 o teor de água do solo “in situ” no seu estado natural.

O parâmetro indicador da consistência dos solos coerentes, chamado de **índice de consistência**, permite classificar um solo quanto à sua consistência a partir do valor de I_C . O Quadro 2.7 apresenta a variação dos valores do índice de consistência dos solos e a respetiva classificação.

Quadro 2.7 – Classificação dos solos coerentes quanto à sua consistência

I_C	Consistência
< 0	Líquida
0 a 0,25	Muito Mole
0,25 a 0,5	Mole
0,5 a 1,0	Pouco Mole
1,0 a 2,0	Consistente
2,0	Muito Consistente

2.4.1.2 - Ensaio complementares

2.4.1.2.1 - Teor em água (no estado natural)

De seguida descreve-se o modo de determinação do teor em água no estado natural de um provete de solo residual. Segundo a especificação **E 16-1953 do LNEC** o teor em água de um provete de solo consiste no peso da água que se evapora do provete por secagem à temperatura de $105 \pm 3^\circ\text{C}$ para o peso do provete depois de seco, sendo expresso em percentagem. Os materiais necessários à execução do ensaio são: balança analítica com precisão de 0,02%, cápsulas taradas, espátula e estufa de secagem.

A técnica de ensaio é resumida a seguir: A amostra depois de colhida no campo através de um extrator metálico é colocada numa cápsula (de peso conhecido). Esta amostra (proвете) mais a cápsula são pesadas (peso da cápsula + solo húmido) sendo de seguida introduzidas na estufa à temperatura de $105 \pm 3^\circ\text{C}$ para secagem (entre 16h a 24h). O método de ensaio por secagem em estufa está especificado na Norma Portuguesa **NP-84 – Solos: Determinação do teor em água**.

A cápsula mais o provete ao saírem da estufa devem ser arrefecidos num excicador de sílica-gel anidra. Pesa-se então a cápsula mais provete seco. Procede-se aos cálculos para a determinação do teor em água (W), usando a fórmula:

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = 100 \times \frac{A - B}{B - C} \quad (2.18)$$

onde: A = peso da cápsula + solo húmido; B = peso da cápsula + solo seco; C = peso da cápsula.

Realizaram-se para cada metro de perfil, 3 determinações do teor em água, considerando-se apenas os seus valores médios.

2.4.1.2.2 - Expansibilidade

O ensaio de expansibilidade destina-se à determinação da variação de volume, expresso em percentagem da fração de um solo que passa no peneiro de 0,425 mm (nº 40 ASTM) quando, em condições bem definidas de compactação, absorve água por capilaridade através de uma placa porosa.

Os materiais essenciais à execução do ensaio são: aparelho de determinação da expansibilidade (expansímetro) que inclui uma base metálica perfurada com uma haste, um molde de 15 mm de altura e 60 mm de diâmetro interior, uma alonga com o mesmo diâmetro e 20 mm de altura, uma placa de perspex transparente com 59 mm de diâmetro e 4 mm de espessura, um conjunto de peças para a fixação do deflectómetro à haste da base, uma placa porosa de grão muito fino com 65 mm de diâmetro e 3 mm de espessura (Figura 2.11); pilão de compactação provido de uma mola que exerça uma força de 5 kgf; deflectómetro graduado em centésimas de milímetros; frascos de vidro com capacidade de fecho hermético; cronómetro e pincel.



Figura 2.11 – Conjunto de expansímetros e pilão.

Os ensaios foram realizados conforme a especificação **LNEC E 200 – 1967**, para cada ensaio foram preparados cerca de 100 g de material passado no peneiro de 0,425 mm (nº 40 ASTM), obtidos de acordo com a especificação E 195 «Solos – Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação».

Antes da execução de cada ensaio a respetiva amostra é colocada na estufa a 60 ± 2 °C durante pelo menos 16 h e depois arrefecida (no excicador) dentro de frascos hermeticamente fechados.

A técnica de ensaio é resumida a seguir: Começa-se por montar o aparelho para a determinação da expansibilidade, colocando sobre a base a placa porosa e fixando a esta o molde e respetiva alonga; compacta-se o solo, com a ajuda de um pilão de compactação, em duas camadas mais ou menos similares e de maneira a que exceda ligeiramente o bordo do molde (cada uma das camadas deve ser compactada com 50 compressões com o ritmo de 1 compressão por segundo), para que isto aconteça deve carregar-se o manípulo, até que os bordos da manga exterior toquem na cabeça, com a força estritamente necessária; retira-se a alonga e com uma espátula rasa-se o excedente de solo para que a superfície fique plana e nivelada com os bordos do molde; limpa-se o solo em excesso e torna-se a montar a alonga, pousando-se sobre o solo a placa de perspex; coloca-se o aparelho dentro do recipiente de vidro e monta-se o deflectómetro apoiando a ponta da haste no centro da saliência da placa de perspex; anota-se a leitura inicial do deflectómetro a seco (l_0), sendo conveniente que esta leitura inicial seja superior a zero uma vez que alguns solos podem ter tendência a retrair antes de expandirem; deita-se água destilada no centro do recipiente de vidro até ao nível da face superior da base do aparelho (que corresponde à face superior da placa porosa em contacto com o solo) e inicia-se a contagem com o cronómetro; fazem-se leituras do deflectómetro até que leituras espaçadas por 2 horas atinjam o mesmo valor ou valores menores. Em algumas situações depois de terminado o processo de expansão do solo pode ocorrer uma pequena retração, possivelmente, devido ao melhor rearranjo das partículas; depois de terminado o ensaio, retira-se a amostra de solo para uma cápsula tarada; pesa-se a cápsula mais o solo húmido e leva-se a secar na estufa; pesa-se então a cápsula mais o solo seco. Com os valores obtidos efetuam-se os cálculos para determinar a expansibilidade e o teor em água de cada solo.

Assim, a realização deste ensaio na presente dissertação tem como principal objetivo estabelecer relações entre a expansibilidade dos solos residuais dos diferentes locais em estudo e comparar com as suas composições mineralógicas (nomeadamente quantidade de partículas finas), bem como outras propriedades geomecânicas relevantes.

A expansibilidade pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$\text{Exp} = (\Delta h/h_0) \times 100 = ((l_1 - l_0)/h_0) \times 100 \quad (2.19)$$

Em que,

Exp – expansibilidade (%)

Δh – variação de altura (mm)

h_0 – altura inicial (mm)

l_0 – leitura inicial do deflectómetro (mm)

l_1 – leitura final do deflectómetro (mm), que corresponde ao valor máximo registado.

Os aparelhos de expansibilidade Exp1, Exp2, Exp3, Exp4, Exp5, Ex7 apresentam uma escala de conversão de 1 div igual a 0,01 mm. O aparelho de expansibilidade Ex6 apresenta uma escala de conversão de 1 div igual a 0,001 mm.

De referir ainda que, as leituras entre cada ensaio foram distanciadas em 5 minutos de diferença para ser mais fácil de realizar as leituras nos vários expansímetros.

2.4.1.2.3 - Equivalente de areia

A especificação **E-199 – SOLOS: Ensaio de equivalente de areia** permite avaliar a quantidade e a qualidade de elementos finos plásticos existentes numa amostra de solo. Para tal recorre-se a uma relação volumétrica entre os elementos arenosos (elementos granulares não flocláveis) e a totalidade dos elementos (arenosos e finos). Este ensaio aplica-se a solos pouco plásticos (com fração de solo passada no peneiro nº 4), ou seja, aqueles em que não é possível determinar os limites de consistência com muita facilidade. Os valores obtidos por este ensaio variam numa escala de 0 (no caso de uma argila) a 100 (no caso de uma areia). De notar que, para valores inferiores a 20, o material é considerado bastante argiloso e este ensaio perde significado, devendo-se nesta situação realizar limites de consistência.

A constante K do aparelho consiste na determinação da distância entre a face superior da peça guia e a face inferior do peso, quando o pistão tem a sua base em perfeito contacto com o fundo da proveta.

Na técnica de preparação, os cerca de 500 gramas de solo (passados no peneiro de nº4) são homogeneizados no repartidor de finos (Figura 2.12).



Figura 2.12 - Repartidor de finos.

Determinou-se o teor em água do solo para cada amostra a ensaiar. Tomaram-se duas porções de solo residual, com cerca de 120 g de solo seco ao ar cada. A massa (em gramas) de cada porção é determinada pela fórmula:

$$120 \times ((100+W_a) / 100) \quad (2.20)$$

onde W_a é o teor em água do solo.

Técnica de ensaio: O ensaio consiste em transferir uma solução diluída (especificada na norma) para uma proveta cilíndrica até atingir o seu traço de referência inferior (Figura 2.13). O solo preparado é então introduzido na proveta com o auxílio de um funil. Com a palma da mão executam-se vários batimentos de forma a desalojar as bolhas de ar e a facilitar a molhagem do solo. Repousa-se durante 10 minutos. Seguidamente fecha-se a proveta com uma rolha e agita-se

manualmente a um ritmo cronometrado em cerca de 90 ± 1 ciclos em 30 ± 1 segundos. Depois, com o tubo de lavagem limpam-se as paredes da proveta. Durante esta lavagem aconselha-se a levar a ponta do tubo de lavagem até ao fundo da proveta de forma a possibilitar a subida dos elementos argilosos com movimentos contínuos e lentos de vaivém (poderá também rodar-se o tubo ou a proveta para facilitar este processo). Enche-se a proveta até que o líquido fique nivelado ao traço de referência superior da proveta. Deixa-se repousar durante $20 \text{ minutos} \pm 10$ segundos, só depois se regista a altura do nível superior do floculado (h_1) e da altura do nível superior da parte sedimentada (h'_2) em relação ao fundo da proveta. A altura entre a face superior da peça guia e a face inferior do peso do pistão (h_2) é determinada ao descer lentamente o pistão na proveta até que este repouse sobre a parte sedimentada. Determina-se a altura entre a face superior da peça guia e a face inferior do peso do pistão (h_3) e também a altura do sedimento (h_2).



Figura 2.13 – Ensaio de equivalente de areia.

O valor do equivalente de areia (E.A.) é determinado pela seguinte fórmula:

$$(h_2 / h_1) \times 100 \quad (2.21)$$

em que, h_1 corresponde à altura do nível superior do floculado em relação ao fundo da proveta e h_2 corresponde à altura do sedimento (determinada com o auxílio do pistão).

O valor do equivalente de areia visual (E.A.V.) é determinado pela seguinte fórmula:

$$(h'_2 / h_1) \times 100 \quad (2.22)$$

em que, h'_2 corresponde à altura do sedimento lida diretamente.

Assim o E.A. e o E.A.V são as médias aritméticas dos valores determinados sobre os dois provetes para cada amostra.

2.4.1.2.4 - Peso específico das partículas sólidas (Densidade)

O peso específico das partículas de um solo (γ_s) é o peso das partículas que ocupariam a unidade de volume, depois de excluídos os vazios. O ensaio do peso específico das partículas sólidas pretende determinar a densidade das partículas de um solo com dimensões inferiores a 4,76 mm (peneiro nº4 ASTM). Na realização do ensaio foram seguidas as normas **LNEC E15 (1953)** e **NP – 83 (1965)**. O procedimento de ensaio foi executado pelo método com secagem prévia do provete (Figura 2.14).



Figura 2.14 – Picnómetros em placas de aquecimento para a determinação de densidades.

Para cada solo residual colhido, efetuaram-se 4 determinações, calculando a média entre eles para o valor final. Este valor médio foi usado para a determinação do índice de vazios e da porosidade.

Em cada picnómetro foi colocado um provete de solo com cerca de 30 gramas. No cálculo da densidade das partículas (d), à temperatura t_x , em relação à água destilada a 20 °C é usada a seguinte fórmula:

$$d = k * ((m_4)/(m_3-(m_5-m_4))) \quad (2.23)$$

onde,

m_3 é a massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_x ;

m_4 é a massa do provete seco;

m_5 é a massa do picnómetro com o provete e a água à temperatura t_x ;

K corresponde ao quociente da densidade da água à temperatura t_x pela densidade da água a 20 °C (conforme consta na tabela da densidade da água e do fator K descrita na norma do ensaio).

2.4.1.2.5 - Permeabilidade

A permeabilidade (k) é a maior ou menor facilidade com que a água percola através dos poros de um solo (LNEC 1974). Segundo Head (1994), a permeabilidade de um solo consiste na sua capacidade de permitir a passagem do fluxo de um líquido, neste caso, a água.

O princípio da **lei de Darcy** é válido para a maioria dos fluxos de fluidos em solos. A lei de Darcy pode ser aplicada perante um meio isotrópico e homogéneo, com um regime de escoamento permanente e um fluxo laminar. No entanto esta lei não é válida quando a velocidade de percolação dos líquidos é muito alta ou a velocidade de propagação dos gases é muito elevada ou muito baixa (Cardoso, 1987).

Segundo o tipo de solos as experiências demonstram que (Caixeiro, 2000):

- i) A lei de Darcy é válida para solos compostos por partículas cujo tamanho varia desde o silte até à areia média, bem como para argilas desde que o fluxo seja estacionário;
- ii) Para argilas é necessário um gradiente mínimo para que se inicie o fluxo;
- iii) Para solos mais permeáveis do que areia média verifica-se que a lei de Darcy nem sempre é válida.

O coeficiente de permeabilidade depende de fatores tais como: tipo de solo e características do fluxo. Segundo *Head* (1994) os fatores que influenciam a permeabilidade são os seguintes:

- distribuição do tamanho das partículas (quanto mais pequenas forem as partículas menor será a dimensão dos vazios entre elas e haverá maior resistência ao fluxo de água fazendo com que a permeabilidade diminua);
- forma e textura das partículas (partículas com textura rugosa aumentam a resistência à passagem de água no solo, reduzindo assim a sua permeabilidade);
- composição mineralógica (com grande influência, essencialmente, na permeabilidade das argilas devido à existência de forças de atração entre os minerais argilosos que potencia a obstrução à passagem de água);
- índice de vazios (a forma como o solo é colocado ou recompactado influencia o tamanho e disposição dos índices de vazios entre as partículas e, por consequência, a permeabilidade do solo);
- grau de saturação: nos ensaios de permeabilidade tenta-se minimizar o ar de forma a que o solo esteja completamente saturado. No caso de o grau de saturação ser superior a 85%, a maior parte do ar está contida em bolhas de ar as quais podem bloquear alguns vazios, reduzindo significativamente a permeabilidade (Cardoso, 1987);
- estrutura do solo: o solo pode ser considerado um meio poroso e isotrópico se o coeficiente de permeabilidade for independente da direção da velocidade de escoamento. No caso contrário, como acontece na maioria dos solos, estes apresentam grande **anisotropia** e heterogeneidade relativamente à permeabilidade. Outras formas de anisotropia que influenciam a permeabilidade são as discontinuidades, como por exemplo as fendas, as intrusões de silte e areia, cavidades preenchidas por matéria orgânica, etc. A permeabilidade de solos granulares finos pode ser influenciada pela sua microestrutura, que inclui o estado de floculação ou dispersão das partículas, a orientação e o arranjo das mesmas (Head, 1994);
- natureza do fluido: o coeficiente de permeabilidade depende das propriedades do fluido, geralmente considera-se a água, sendo que o valor da permeabilidade será diferente para outros tipos de fluidos;
- temperatura: se houver um aumento da temperatura, a viscosidade da água diminui, o que significa que o valor da permeabilidade vai ser afetado, neste caso aumentando também;
- tipo de fluxo: se o escoamento do fluido deixar de ser em regime laminar e passar a um escoamento turbulento o gradiente hidráulico varia (e a lei de Darcy deixa de ser válida, sendo válida a lei de Chezy) aumentando assim o valor da permeabilidade.

É de esperar que solos mais grosseiros sejam mais permeáveis e tenham valores de permeabilidade (k) maiores que solos finos, o que está directamente relacionado com a porosidade de cada solo.

A permeabilidade depende, essencialmente, do tamanho e da forma dos vazios, sendo por isso influenciada pela porosidade e pela forma e arranjo das partículas.

Determinou-se o teor em água nas amostras de solo residual recolhido dos diferentes locais, segundo a norma portuguesa NP84-1965: "Solos: Determinação do teor em água". Existem vários tipos de ensaios para a determinação da permeabilidade, quer através de ensaios de campo quer laboratoriais. Reconhece-se porém que, em regra, o valor da permeabilidade é subestimado quando determinado em laboratório (baseia-se na medição da quantidade de água que atravessa o solo durante um intervalo de tempo definido).

A área na qual os vazios são preenchidos com água é crucial nas medições da permeabilidade, uma vez que as bolhas de ar podem bloquear os canais entre partículas reduzindo a permeabilidade. Assim deve tentar-se eliminar o ar para se assumir que o solo seja saturado.

Dos vários métodos para determinação da permeabilidade dos solos em laboratório (método carga constante através do tubo, método de carga constante com painel, método de carga variável com painel), para esta dissertação foram realizados ensaios de permeabilidade segundo o **método de carga constante através do tubo** (Figura 2.15).



Figura 2.15 - Permeâmetro de carga constante (tubo).

Os materiais essenciais à execução do ensaio são: um permeâmetro constituído por um tubo de metal ou acrílico de altura h e secção transversal A (o permeâmetro utilizado possui as seguintes características: $L=10,1$ cm; $A=22,3$ cm²; $h=163$ cm). No topo existe uma entrada permanente de água e logo abaixo um orifício de saída de água, para manter o nível de água estabilizado; duas placas de aço com orifícios; amostrador; duas membranas de geotêxtil.

Segundo o ensaio de permeabilidade de carga constante através do tubo, a permeabilidade é determinada a partir da aplicação de uma diferença de pressão hidráulica utilizando uma amostra do solo completamente saturada, e por medição do conseqüente fluxo de água. Portanto, o coeficiente de permeabilidade (k) é expresso em termos de velocidade. Este método de ensaio é geralmente utilizado para os solos de maior permeabilidade, como por exemplo, os solos arenosos que têm menos de 30% de solo fino (fracção < 0.075 mm).

O procedimento efectuado para este ensaio inicia-se com a colocação da amostra de solo entre duas placas de aço com orifícios e duas membranas de geotêxtil, para permitir a passagem livre

de água sem que exista perda de grãos finos. A amostra deve ser compactada a cada 2 cm com um pilão (compactando em cerca de 5 camadas dentro do amostrador). No momento em que se inicia o ensaio, acciona-se o cronómetro. Quando se atinge um volume de 700 cm³ regista-se o tempo decorrido. Repetiu-se este procedimento 10 vezes. Concluído o ensaio, retirou-se a amostra para uma cápsula tarada (pesou-se a cápsula mais o solo húmido) e leva-se a secar na estufa a 105°C. Pesa-se então a cápsula mais o solo seco. Realizam-se os cálculos necessários para determinar o teor em água e também a permeabilidade média. A partir da equação seguinte (Bowles, 1986) é possível determinar o coeficiente de permeabilidade:

$$k = (V \cdot L) / (A \cdot h \cdot t) \quad (2.24)$$

em que:

k – coeficiente de permeabilidade (cm/s);

V – volume de água que atravessa o provete no intervalo de tempo t (cm³);

L – comprimento do provete (cm);

A – secção transversal do provete (cm²);

h – diferença de carga hidráulica entre os extremos da amostra (cm);

t – tempo (s).

2.4.1.2.6 - Teor em matéria orgânica

Determinou-se o teor em matéria orgânica dos solos em estudo conforme as recomendações da **Especificação LNEC E 201 (1967)**. O objetivo da realização deste ensaio consiste na tentativa de perceber qual o eventual transporte de complexos orgânicos dos níveis superiores de solo (onde geralmente existe terra vegetal) para os níveis inferiores, ou seja ao longo do perfil de alteração, através das águas percolantes. Sabe-se que um teor em matéria orgânica superior a 2 % pode vir a influenciar as propriedades geotécnicas dos solos.

2.4.2 - Caracterização química e mineralógica

Esta dissertação pretende uma aproximação às técnicas de raios-X aplicadas no estudo de solos residuais e para tal realizar análises qualitativas e quantitativas de amostras por espectrometria de fluorescência de raios-X e também identificar os minerais presentes usando difração de raios-X.

A composição mineralógica dos perfis de alteração pode ser determinada através de várias abordagens como por exemplo (*in* Blight 1997):

- i) Difração de raio-X;
- ii) Gravimetria térmica;
- iii) Microscopia ótica incluindo medições polarizadas;

- iv) Microscópio eletrônico combinado com algum tipo de elemento espectral de identificação.

A identificação mineralógica através destas técnicas requer certos procedimentos, os quais podem não ser diretos porque o processo de preparação pode alterar os minerais.

A técnica de **difração por raio-X** é a mais usada. Esta técnica pode ser executada usando amostras de solo colocadas num fixador com ou sem resina. Serão necessárias técnicas especiais para solos que apresentem grandes quantidades de ferro. A “*glycolation*” consiste na substituição da água existente entre camadas por glicol etileno e é uma forma de identificação de motmorilonites (*in* Blight, 1997).

O microscópio eletrônico também envolve técnicas de preparação cuidadosas, a imagem captada pode revelar detalhes microestruturais a tamanhos sub-micro.

Realizaram-se, então, análises de caracterização geoquímica através da técnica de fluorescência de raios-X de elementos maiores e menores (para pesquisar a presença de elementos químicos em materiais geológicos), tanto das amostras de rocha sã, como do respectivo solo residual granitóide.

Através dos picos e do “background” é possível identificar os diferentes componentes das amostras por restrições de natureza química. Apenas se pretende ter em conta a densidade relativa dos elementos químicos, de forma a podermos comparar os resultados obtidos entre os diferentes locais e ao longo de cada perfil de alteração do respectivo solo.

2.4.2.1 - Análise química por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX)

Para a análise química de materiais a **espectrometria de fluorescência de raios-X** é o método mais usual. Baseia-se no princípio de que a absorção de raios-X por parte do material provoca a excitação dos átomos, emitindo uma radiação secundária que é denominada fluorescência de raios-X.

Os raios emitidos têm um comprimento de onda característico para cada elemento químico que constitui o material irradiado (análise química qualitativa), sendo possível através da comparação com amostras padrão, estabelecer a proporção dos elementos químicos presentes (análise química quantitativa). Esta técnica destina-se a analisar amostras sólidas, líquidas e gasosas, detetando elementos com número atômico superior a 11 até ao urânio (último elemento natural existente na tabela periódica), em concentração variando de traços até a sua máxima concentração na amostra analisada.

Neste método uma amostra preparada é irradiada por um feixe de raios-X. Este feixe pode deslocar um elétron das camadas mais internas do átomo, para substituir o elétron perdido, e um outro elétron pode saltar de uma das camadas mais externas, libertando assim, energia na forma de raios-X fluorescentes, emitidos em comprimentos de onda que são característicos de cada elemento. O equipamento a ser utilizado é dotado de um sistema de analisador com cristais monocromáticos, cujo princípio de funcionamento é a difração de raios-X.

A espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) é uma das técnicas analíticas mais utilizadas em geoquímica, isto é, constitui um método quali-quantitativo na medida das intensidades (número de raios X detetados por unidade de tempo) dos raios-X característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra. As principais aplicações em geoquímica são as determinações de elementos maiores, menores e traços em rochas, solos e sedimentos. Dos elementos-traços, os mais favoráveis à determinação por FRX, em função de limites de detecção e abundância crustal, são Ba, Ce, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Ni, Pb, Rb, Sc, Sr, Th, V, Y, Zn, Zr. Os resultados da FRX são sempre de concentrações elementares totais. Por outro lado, também pode ser útil na análise de amostras mineralizadas, para determinar elementos em concentrações anómalas como, por exemplo As, Sb, Bi, Ta, W.

As 24 amostras de solo residual dos três perfis em estudo e as respetivas rochas de origem devidamente moídas, foram submetidas a um espectrómetro de raios-X do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

2.4.2.2 - Análise mineralógica por difração de raio-X (DRX)

A técnica de difração de raios-X foi descoberta por Wilhelm Conrad Röntgen (prémio Nobel da Física, 1901), no ano de 1895, sendo que uma das utilizações iniciais foi a elaboração de radiografias.

Na análise mineralógica, de entre as várias técnicas de caracterização de materiais, a técnica de **difração de raios-X** é a mais indicada na determinação das fases cristalinas. Isto é possível porque na maior parte dos sólidos (cristais), os átomos ordenam-se em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios-X. Ao incidir um feixe de raios-X num cristal, o mesmo interage com os átomos presentes, originando o fenómeno de difração. A identificação das fases e do grau de cristalinidade da amostra é realizada mediante a técnica de difratometria de raios-X (DRX) relativamente às amostras de solo ou rocha moída. A identificação das fases presentes é baseada na comparação de um perfil desconhecido com o conjunto de difração padrão recolhido e mantido pelo JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards).

Esta técnica de difração de raios-X tem como vantagens na caracterização de fases, a simplicidade e rapidez do método, a fiabilidade dos resultados obtidos (pois o perfil de difração obtido é característico para cada fase cristalina), a possibilidade de análise de materiais compostos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases (análise não destrutiva). Assim sabe-se que cada mineral tem a sua estrutura própria e o respetivo diagrama DRX mostra o modelo de difração da radiação X nos respectivos planos estruturais.

Basicamente, a técnica de DRX, consiste em incidir um conjunto de feixes monocromáticos de raios-X sobre a amostra em estudo, fazendo variar os ângulos de incidência e é registado num difractograma a intensidade das difrações em função do seu ângulo de incidência. Depois de identificados os picos (ou máximos) de difração dos minerais de uma amostra pode-se calcular a sua composição mineralógica.

3 - ENQUADRAMENTO REGIONAL

3.1 - Preâmbulo

Este capítulo resume os aspetos fundamentais das três manchas de granitóides em estudo, sendo estas as regiões de Évora, Montemor-o-Novo e Vimieiro. Neste trabalho, entende-se por granitóides as rochas plutónicas que na classificação de Streckeisen (1967) possuem quantitativos modais de quartzo entre os 20 e 60 %. Desta forma o termo granitóide abrange os granitos, os granodioritos e os tonalitos ou quartzodioritos.

3.2 - Enquadramento da região de Évora

A folha 40-A (Évora), da Carta Geológica de Portugal, na escala de 1/50 000, abrange a área correspondente às folhas 459, 460, 470 e 471 da Carta Militar de Portugal, na escala de 1/25 000 (Carvalhosa, 1969).

A pedreira do **Monte das Flores** (situada no maciço eruptivo de Évora) é uma unidade de extração e produção de agregados destinados à aplicação nas vias-férreas, à construção civil e às obras rodoviárias. Esta pedreira, adquirida pela empresa TECNOVIA – Sociedade de Empreitadas, SA, abrange uma área de 90 ha, localizada junto à linha ferroviária de Évora.

3.2.1 - Geomorfologia

A área referente ao mapa geológico de Évora, que faz parte da peneplanície do Alentejo, é caracterizada por altitudes uniformes, compreendidas entre 230 e 260 metros. Sobressaem alguns relevos de dureza na direção NW-SE (entre Azambuja e Espinheira) constituídos por alinhamentos quartzíticos. Os calcários metamórficos formam também relevos de dureza alongados, como por exemplo os situados a Sul de São Marcos da Abóbada (com orientação N-S).

A elevação onde se situa a cidade de Évora (301 m), inserida nos gnaisses com comportamento geotécnico de rocha branda, parece corresponder a um relevo residual na interseção das bacias hidrográficas do Tejo, do Guadiana e do Sado.

Outro pequeno relevo, também importante de referir, é o que na região se designa por “Alto de S. Bento” com uma altitude de 363 metros, constituído por granitos e quartzodioritos porfiróides que devem ter ajudado na sua conservação (Carvalhosa *et al.*, 1969).

Além da peneplanície mais ou menos conservada, existe ainda uma outra unidade morfológica correspondente à extremidade sudeste da serra de Monfurado, abrangendo as povoações de Giesteira, Boa Fé e São Brissos.

A constituição petrográfica da região em causa é representada por gnaisses, com cumes mais elevados em São Sebastião (443 m) e Bandeiras (410 m). Existem também rochas corneanas, que não obstante serem mais duras, não formam relevos.

Os alinhamentos de calcário cristalino (exemplo: grutas de Sala) e de quartzitos prolongam-se desde São Brissos até ao Escoural com direção NW-SE, que por erosão diferencial vão formar as cristas.

A gênese da serra de Monfurado, embora ainda por clarificar, não deve sofrer grandes efeitos de desnivelamentos tectónicos (Carvalhosa *et al.*, 1969).

3.2.2 - Geologia

A região de Évora quanto à sua geologia compreende as seguintes formações (Carvalhosa *et al.*, 1969):

- i) Depósitos cenozoicos (aluviões; depósitos de cascalheiras);
- ii) Séries cristalofílicas, azóicas, de idade indeterminada (micaxistos; rochas verdes; quartzitos; calcários e dolomitos; leptinitos);
- iii) Corneanas;
- iv) Gnaisses granitóides e migmatitos;
- v) Rochas eruptivas de idade hercínica (granito porfiróide de grão grosseiro a médio; granito de grão fino não porfiróide; quartzodiorito e granodiorito porfiróide de grão grosseiro a médio; quartzodiorito e granodiorito de grão médio não porfiróide; quartzodiorito e granodiorito de grão fino não porfiróide; gabro e diorito; pórfiros da região de Beja);
- vi) Rochas filonianas (filões de quartzo; filões aplito-pegmatíticos; zonas de filões e massas aplito-pegmatíticas; basalto).

As **rochas eruptivas** da região são representadas, a maior parte das vezes, por rochas granitóides não orientadas, podendo apresentar uma composição quartzodiorítica, granodiorítica e granítica.

As rochas quartzodioríticas, associadas também a granodioritos, dominam nos maciços granitóides. A rocha mais representativa é o quartzodiorito de grão médio, não porfiróide ou com tendência a porfiróide (Carvalhosa *et al.*, 1969). As fácies porfiróide desta região por vezes estão associadas a pegmatitos e aplitos.

Os vários tipos petrográficos referidos parecem constituir uma série de rochas granitóides que vai dos dioritos quartzíferos até aos granitos calco-alcálicos de caráter monzonítico, consoante a

quantidade e qualidade dos feldspatos presentes. Os feldspatos alcalinos mais frequentes são a microclina, podendo também haver ortoclase. Conclui-se que as rochas predominantes são de natureza diorítica, isto é, quartzodiorítica. Constata-se que nas rochas deste tipo, está sempre presente uma dominância em hornblenda podendo ou não acompanhar-se de biotite (Carvalhosa *et al.*, 1969). A variedade da série petrográfica é definida, essencialmente, pela fase da microclinização, à qual corresponde um processo de granitização em que predominam os fenómenos metassomáticos.

3.2.3 - Tectónica

Relativamente à região de Évora, Carvalhosa *et al.* (1969), adiantam as seguintes conclusões:

- Os metassedimentos (câmbrios e precâmbrios) são anteriores aos gnaisses e às rochas granitóides;
- O metamorfismo regional e dobramento daquelas formações é anterior aos gnaisses e migmatitos. Estes parecem representar a fase mais antiga no maciço de Évora, sintectónica, do ciclo de granitização hercínica. Alguns encraves nos gnaisses conservam dobras e xistosidade anteriores à foliação destes;
- Seguiu-se a instalação dos vários afloramentos granitóides, tardi-tectónicos e, em menor número, pós-tectónicos. A fácies de granularidade grosseira, porfiróide, é a mais recente;
- A idade hercínica dos gnaisses e quartzodioritos foi comprovada por F. Mendes, 1968;
- Os processos de granitização tiveram um papel importante na concentração de mineralizações de ferro, sobretudo em rochas carbonatadas;
- Parecem ter havido duas deformações durante o ciclo de granitização, pois, nota-se que os gnaisses foram deformados conjuntamente com os encraves (e por vezes até com alguns filões de quartzo) e massas aplito-pegmatíticas, que denotam foliação secundária. As rochas granitóides não mostram grande deformação, exceto ocasionalmente na bordadura de alguns maciços;
- As corneanas da região resultam da ação, sobre os metassedimentos, de rochas granitóides e de gnaisses migmatíticos;
- Os pegmatitos e aplitos são pós-tectónicos, assim como a maioria das rochas filonianas que cortam as estruturas tectónicas (foliação, lineação, etc.);
- Finalmente, a região foi intensamente erodida e aplanada, conservando-se alguns retalhos de depósitos ceno-antropozóicos. A área de Évora apresenta uma grande cobertura devido à forte meteorização das rochas.

3.2.4 - Recursos minerais

Na região são vários os locais com vestígios de pesquisas mineiras. Merecem referência as minas de **ferro** das Herdades da Defesa e Sala, Nogueirinha e do Montinho, situadas numa faixa mineralizada que se estende em direção a Montemor-o-Novo. As mineralizações comuns são de

magnetite, hematite e pirite. A magnetite aparece relacionada com as rochas carbonatadas (corneanas calco-silicatadas).

De entre os recursos minerais não metálicos, tem importância a exploração de **calcários** cristalinos (mármore), utilizados na construção civil, e no fabrico de cal (por exemplo exploração das pedreiras da Herdade da Sala).

Existem várias pedreiras que fazem extração de **granitos**, cuja pedra é usada na construção civil, em rodovias, ferrovias e na cantaria.

3.3 - Enquadramento da região de Montemor-o-Novo

A carta geológica de Montemor-o-Novo (folha 35-D) compreende a área que inclui a cidade de Montemor-o-Novo, Venda Novas, Cabrela, Foros de Vale Figueira e S. Geraldo (Carvalhosa & Zbyszewski, 1969).

A geologia de Montemor-o-Novo integra-se nas Zonas de Ossa-Morena e Sul-Portuguesa, uma das unidades paleogeográficas e geotectónicas em que se divide o Maciço Hespérico.

Os pontos mais elevados localizam-se no substrato hercínico, atingindo a cota de 354m em Reguenginhos, no alinhamento da Serra de Monfurado. Os depósitos de cobertura formam um enchimento, cuja superfície varia entre as cotas de 145m e 100m.

A região é atravessada por uma rede de linhas de água tributárias das bacias do Tejo e Sado.

A cidade de Montemor-o-Novo está situada a 290 m de altitude, na margem direita do rio Almansor. Encontra-se dividida em duas partes: a Vila Velha e a Vila Baixa (a parte moderna).

3.3.1 - Geomorfologia

A folha 35-D de Montemor-o-Novo apresenta terrenos pertencentes à bacia terciária do Tejo e Sado, formações metassedimentares e rochas intrusivas do soco hercínico.

O relevo organiza-se em três unidades geomorfológicas: peneplanície alentejana, serra de Monfurado e bacia cenozóica do Tejo-Sado.

A peneplanície alentejana, com grande desenvolvimento nas rochas granitóides situadas a norte e noroeste de Montemor, apresenta altitudes cerca dos 250 m.

A serra de Monfurado apresenta um relevo proeminente em relação à peneplanície. A povoação de Montemor-o-Novo situa-se dentro da serra.

A bacia do Tejo-Sado iniciou-se no Terciário com o afundamento da região entre falhas, seguido pelo seu enchimento por materiais oriundos de zonas periféricas. A parte inferior da série

sedimentar desta bacia é constituída por formações detríticas grosseiras na base e intercalações de calcários e argilitos de neoformação.

Encontram-se testemunhos de alterações ocorridas no Miocénio devidas a ações transgressivas do mar que penetrou na bacia, e no Pliocénico, com sedimentação fluvial detrítica constituída por conglomerados, arenitos e argilitos.

O enchimento das bacias do Tejo e do Sado compõe-se principalmente de séries detríticas continentais de idade paleogénica e neogénica, com intercalações marinhas e salobras, correspondendo aos máximos das transgressões miocénicas.

3.3.2 - Geologia

A área abrangida pela folha supramencionada é formada por terrenos cuja idade vai do Proterozóico superior até aos tempos modernos. Destaca-se um substrato hercínico sobre o qual se depositou a cobertura cenozóica, constituído por cinco unidades litostratigráficas, que fazem parte do Maciço de Évora, que por sua vez se integra na Zona de Ossa-Morena.

A Zona Sul-Portuguesa, separada da anterior por importante acidente tectónico, o carreamento de Ferreira-Ficalho, está representada por três formações.

Estas formações constituem, conjuntamente com as diversas rochas intrusivas, o substrato hercínico. A maior parte destes terrenos foi atingida por metamorfismo. Diversos afloramentos de granitóides implantaram-se nestas formações.

A área de Montemor faz parte do Maciço de Évora, extenso domínio cristalofílico, atingido por metamorfismo regional de idade hercínica, caracterizado por gradiente geotérmico acentuado.

3.3.3 - Tectónica

Os terrenos da Zona de Ossa-Morena na área de Montemor foram atingidos por duas fases principais de dobramento, seguidas de deformações que deram origem a cavalgamentos e desligamentos.

A área de Montemor-o-Novo, de acordo com Pereira de Sousa (1919), apresenta, na generalidade, um grau de intensidade sísmica VI a VII.

3.3.4 - Recursos minerais

A região de Montemor-o-Novo faz parte de uma área mineira, onde existem índices mineiros de Fe, Cu, Pb, As e Sb. Como principais ocorrências destacam-se os sulfuretos maciços (pirite), sulfuretos de arsénio, quartzitos negros e filões de quartzo/barite.

Existem inúmeras pedreiras de granitóides na área abrangida pela folha, sendo que, grande parte se encontra abandonada.

3.3.5 - Hidrogeologia

A área desta carta pertence às bacias hidrográficas dos rios Tejo e Sado. A maior parte da região é drenada pela ribeira de Almansor. De referir ainda a ribeira da Marateca (afluente do Sado) e as ribeiras de vale Figueira, da Cabrela e da Safira.

3.4 - Enquadramento da região do Vimieiro

A folha 36-A (Pavia), da Carta Geológica de Portugal, na escala de 1/50 000, abrange os agregados populacionais de Pavia, Vimieiro, S. Gregório e Casa Branca, entre outros (Carvalhosa & Zbyszewski, 1980).

3.4.1 - Geomorfologia

No que diz respeito à morfologia da região incluída no mapa, esta apresenta dois tipos de formações geológicas: cobertura terciária e substrato antigo cristalino e cristalofílico, cujos afloramentos cobrem quase $\frac{3}{4}$ da região considerada. Esta área é atravessada por uma densa rede de linhas de água, como as ribeiras da Raias e de Tera.

A cobertura terciária corresponde a áreas relativamente planas. Por outro lado o substrato antigo apresenta uma topografia irregular conforme a natureza das rochas e da sua alteração, e, por vezes, da tectónica local, tal como acontece no maciço granítico da Aldeia da Serra.

3.4.2 - Geologia económica

Sob o ponto de vista económico esta região é pobre, existindo algumas pedreiras no afloramento de granito de Pavia-Vimieiro. A extração de material destina-se a cubos de pavimentação e alvenaria, sendo que, no Sabugueiro o granito é aproveitado como pedra ornamental. Existem ainda algumas explorações e quartzo e feldspato e de rochas carbonatadas que são utilizadas no fabrico de cal.

3.4.3 - Hidrogeologia

No que concerne os recursos hídricos, a região é igualmente pobre. A área coberta pela carta pertence à bacia hidrográfica do rio Sorraia, sendo atravessada por algumas ribeiras de fraco caudal.

4 - ENSAIOS LABORATORIAIS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

No presente capítulo faz-se uma análise aos dados obtidos através dos ensaios laboratoriais realizados nas amostras colhidas nas 3 manchas de solos residuais granitóides identificadas: maciço eruptivo de Évora, maciço eruptivo de Montemor-o-Novo e maciço granítico do Vimieiro. São assim apresentadas todas as características determinadas a partir dos ensaios realizados nos solos residuais relativas a cada maciço em estudo.

Através dos ensaios *in situ* realizados nos vários perfis de solos residuais foram calculadas algumas propriedades físicas dos locais, tais como: o peso volúmico no estado natural (γ_0), o peso volúmico seco (γ_d), o teor em água no estado natural (w_0), o índice de vazios (e_0) e a porosidade (n).

Quanto aos ensaios de identificação nas amostras colhidas (remexidas) foram realizados os seguintes ensaios: análise granulométrica e limites de consistência. Dos limites de consistência fazem parte os ensaios do limite de plasticidade (w_p), limite de liquidez obtido pelo método da concha de Casagrande (w_L) e limite de liquidez obtido pelo método do cone penetrométrico BS (w_{Lc}). Foram ainda determinados: os índices de plasticidade (I_p e I_{pc}), a atividade coloidal do solo (A_c), índice de liquidez (I_L), índice de consistência (I_C), limite de retração (w_R) e parâmetros granulométricos como o diâmetro efetivo (D_{10}), coeficiente de uniformidade (C_u) e coeficiente de curvatura (C_c).

Os solos residuais graníticos foram então classificados segundo as classificações geotécnicas do Sistema Unificado (ASTM D2487-98) e AASHTO (LNEC E 240-1970).

Foram ainda executados ensaios nas várias amostras para determinação do peso específico das partículas sólidas (γ_s), equivalente de areia (EA), expansibilidade (Exp), permeabilidade (k) e teor em matéria orgânica (MO).

4.1 - Solos residuais dos granitóides do maciço eruptivo de Évora

Os solos residuais do maciço de Évora constituem a parte mais superficial e aflorante dos maciços, que correspondem à zona de maior decomposição do maciço sem que haja transporte de materiais. As rochas magmáticas intrusivas do maciço de Évora são constituídas essencialmente por granodioritos e quartzodioritos tardi-orogénicos e por granitos biotíticos orogénicos que variam texturalmente de grão fino a grosseiro (Carvalhosa *et al.*, 1969).

Nesta dissertação designa-se por maciço eruptivo de Évora uma mancha de granitóides com comprimento e largura máximos estimados em cerca de 45 km e 20 km, respectivamente. Esta

mancha é limitada a NW de Évora pelos arredores da povoação de Montemor e estende-se a SE de Évora, até S. Bartolomeu do Outeiro, junto a Aguiar. Nesta mancha, com uma área de cerca de 500 Km², aflora nalgumas zonas o maciço rochoso onde por vezes se encontram pedreiras ativas ou não, blocos erráticos de grandes dimensões, arredondados, e nas zonas mais aplanadas, ocorrem extensas áreas de solos residuais graníticos de natureza areno-siltosa, cinzentos a castanho-amarelados que podem atingir espessuras superiores a 10 metros. (Duarte, 2002)

4.1.1 - Resultados experimentais

O local de amostragem selecionado para caracterizar o maciço eruptivo de Évora situa-se na Pedreira do Monte das Flores. Este local foi escolhido por se considerar representativo das principais características da mancha, ficando o perfil de solo residual situado junto à entrada da cavidade da exploração a céu aberto da pedreira.

O perfil de solo residual em estudo é sub-vertical, com aproximadamente 8 metros de espessura, apresenta algumas zonas mais heterogéneas, onde são visíveis filões de feldspato, zonas de maior escorrência de água da chuva (Figura 2.1). É composto por uma fina camada superficial de terra vegetal (que teve de ser removida para realizar a amostragem). Aqui crescia alguma vegetação de pequena dimensão, verificando-se que algumas raízes penetravam até às camadas de solo residual. Na base do perfil aflorava uma reduzida quantidade de rocha sã e/ou pouco alterada. Após a remoção da terra vegetal foi possível verificar a passagem da rocha sã ao solo alterado, contudo nalgumas partes essa passagem era quase que repentina. A zona do perfil mais homogénea, e que à partida apresentava melhores condições de colheita, foi dividida em 8 níveis de amostragem, aproximadamente, de metro em metro (designados por: MF1, MF2, MF3, MF4, MF5, MF6, MF7 e MF8, do topo para a base do perfil) de onde foram recolhidos os solos residuais para serem ensaiados.

4.1.1.1 - Propriedades físicas in situ

As propriedades físicas *in situ* como sendo o teor em água natural (W_0), peso volúmico no estado natural (γ_0), peso volúmico no estado seco (γ_d), a porosidade (n) e o índice de vazios (e_0), constam no Quadro 4.1 e Quadro 0.1 (anexos).

Quadro 4.1 – Propriedades físicas *in situ* dos solos residuais do maciço granitóide de Évora.

Perfil de solo residual	Teor em água no estado natural W ₀ (%)	Peso volúmico no estado natural γ_0 (g/cm ³)	Peso volúmico no estado seco γ_d (g/cm ³)	Porosidade n	índice de vazios "in situ" e ₀
MM1	7	2	2	0	0
MM2	7	2	2	0	0
MM3	8	2	2	0	1
MM4	9	2	2	0	1
MM5	5	2	2	0	0
MM6	8	2	2	0	1
MM7	5	2	2	0	0
MM8	7	2	2	0	1

O teor em água natural do perfil do Monte das Flores apresenta valores baixos que vão dos 5 % até aos 9 %, uma vez que apesar da colheita ter ocorrido num mês com existência de alguma precipitação estes solos apresentam uma boa capacidade de escoamento. Destaca-se o solo MF6, com o teor em água natural bastante elevado, por apresentar uma maior percentagem de finos, logo uma capacidade de retenção de água superior às amostras mais arenosas.

Neste perfil o peso volúmico no estado natural varia de 1,61 g/cm³ a 2,19 g/cm³ e o peso volúmico no estado seco varia de 1,49 g/cm³ a 2,06 g/cm³. A porosidade oscila entre os 0,25 e os 0,43 e o índice de vazios entre os 0,34 e os 0,76 (Quadro 0.1).

Para a propriedade do peso volúmico seco contribui o factor da **densidade dos minerais** que constituem o solo, uma vez que um solo com mais minerais máficos tende a ter um maior peso volúmico seco (*in* Duarte, 2002), como acontece com o solo MF1. Assim, o menor valor do peso volúmico seco, determinado *in situ*, pertence ao solo residual MF6, cuja microestrutura se encontra mais aberta devido ao lixiviamento de algumas partículas, facto comprovado pelos valores elevados da porosidade e do índice de vazios (Quadro 0.1 nos anexos).

4.1.1.2 - Composição granulométrica

Para as amostras do perfil do maciço granitóide de Évora foi efetuada a análise granulométrica por peneiração húmida das partículas com dimensões superiores a 0,075 mm (75 µm), correspondente ao peneiro número 200 ASTM, (Figura 4.1). Abaixo desta dimensão, a distribuição granulométrica foi feita através do ensaio de textura, por sedimentação, aplicando a lei de Stokes.

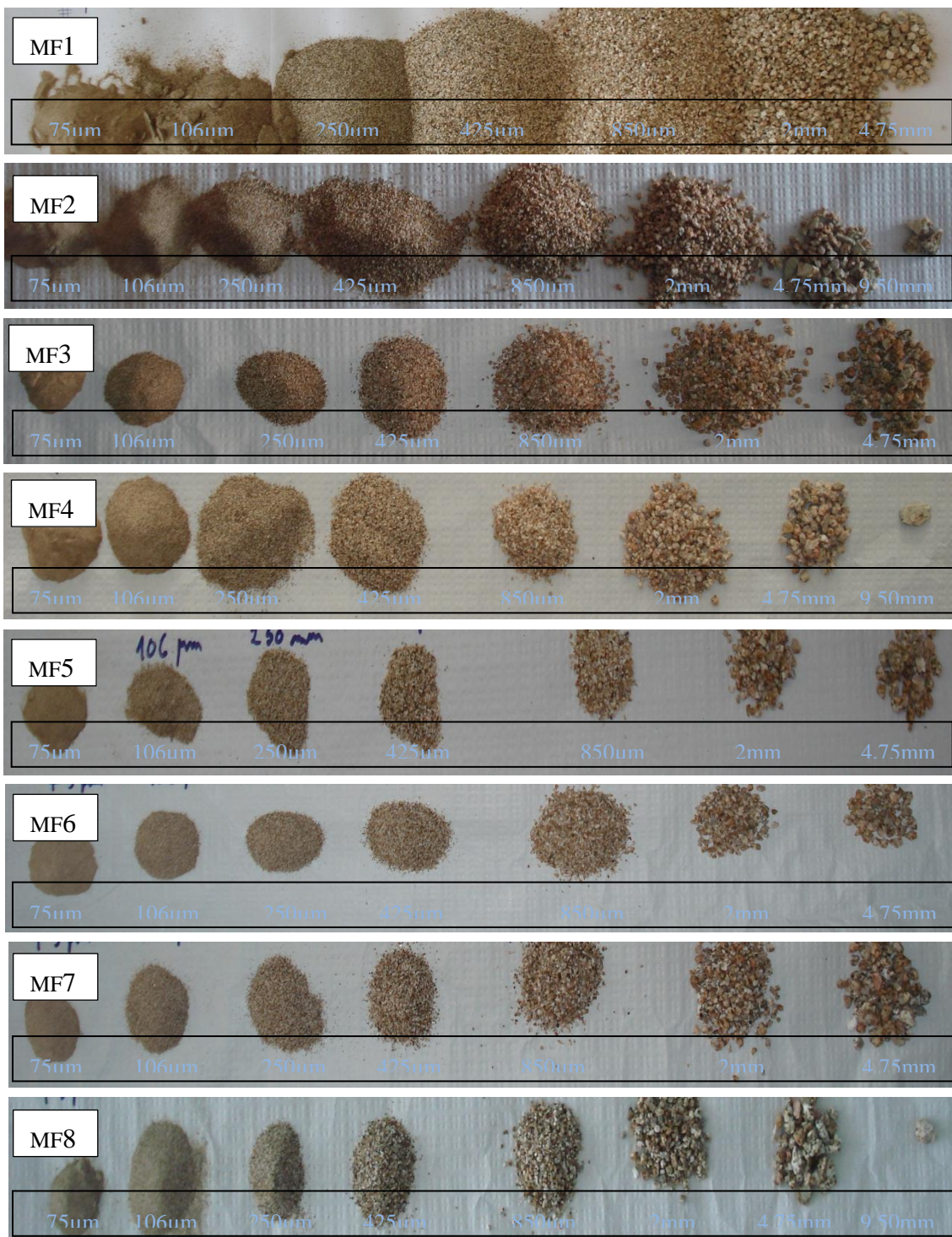


Figura 4.1 – Frações granulométricas das amostras de solo residual colhidas no perfil do maciço granitóide de Évora (amostras MF1 no topo do perfil até MF8 na base, sucessivamente).

➤ Amostra MF1:

Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 96,11 % da massa de solo total e que se perdeu 3,89 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 40,71 g (Quadro 0.2).

Através da análise do gráfico podem-se então definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,2 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,8 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,9 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 1,9/0,2 \leftrightarrow Cu = 10$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,8)^2 / (0,2 \times 1,9) \leftrightarrow Cc = 1,684 \approx 2$$

➤ Amostra MF2:

Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 94,61 % da massa de solo total e que se perdeu 5,39 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 60,92 g (Quadro 0.3).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,2 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,9 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 2 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 2/0,2 \leftrightarrow Cu = 10$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,9)^2 / (0,2 \times 2) \leftrightarrow Cc = 2,025 \approx 2$$

➤ Amostra MF3

Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 95,27 % da massa de solo total e que se perdeu 4,73 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 59,76 g (Quadro 0.4).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,2 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,8 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,9 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 1,9/0,2 \leftrightarrow Cu = 9$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,8)^2 / (0,2 \times 1,9) \leftrightarrow Cc = 1,684 \approx 2$$

➤ Amostra MF4:

Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 94,79 % da massa de solo total e que se perdeu 5,21 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 50,46 g (Quadro 0.5).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,16 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,55 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,5 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 1,5/0,16 \leftrightarrow Cu = 9$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,55)^2 / (0,16 \times 1,5) \leftrightarrow Cc = 1,260 \approx 1$$

➤ Amostra MF5:

Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 95,48 % da massa de solo total e que se perdeu 4,52 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 47,2 g (Quadro 0.6).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,2 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,7 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,95 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 1,95/0,2 \leftrightarrow Cu = 10$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,7)^2 / (0,2 \times 1,95) \leftrightarrow Cc = 1,256 \approx 1$$

➤ Amostra MF6:

Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 93,47 % da massa de solo total e que se perdeu 6,53 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 75,72 g (Quadro 0.7).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (C_u) e o coeficiente de curvatura (C_c):

$$D_{10}^* = 0,15 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,6 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,7 \text{ mm}$$

$$C_u = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow C_u = 1,7/0,15 \leftrightarrow C_u = 11$$

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow C_c = (0,6)^2 / (0,15 \times 1,7) \leftrightarrow C_c = 1,412 \approx 1$$

➤ Amostra MF7:

Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 94,26 % da massa de solo total e que se perdeu 5,74 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 70,92 g (Quadro 0.8).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (C_u) e o coeficiente de curvatura (C_c):

$$D_{10}^* = 0,17 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,7 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,9 \text{ mm}$$

$$C_u = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow C_u = 1,9/0,17 \leftrightarrow C_u = 11$$

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow C_c = (0,7)^2 / (0,17 \times 1,9) \leftrightarrow C_c = 1,517 \approx 1$$

➤ Amostra MF8:

Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 94,25 % da massa de solo total e que se perdeu 5,75 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 65,31 g (Quadro 0.9).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (C_u) e o coeficiente de curvatura (C_c):

$$D_{10}^* = 0,18 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

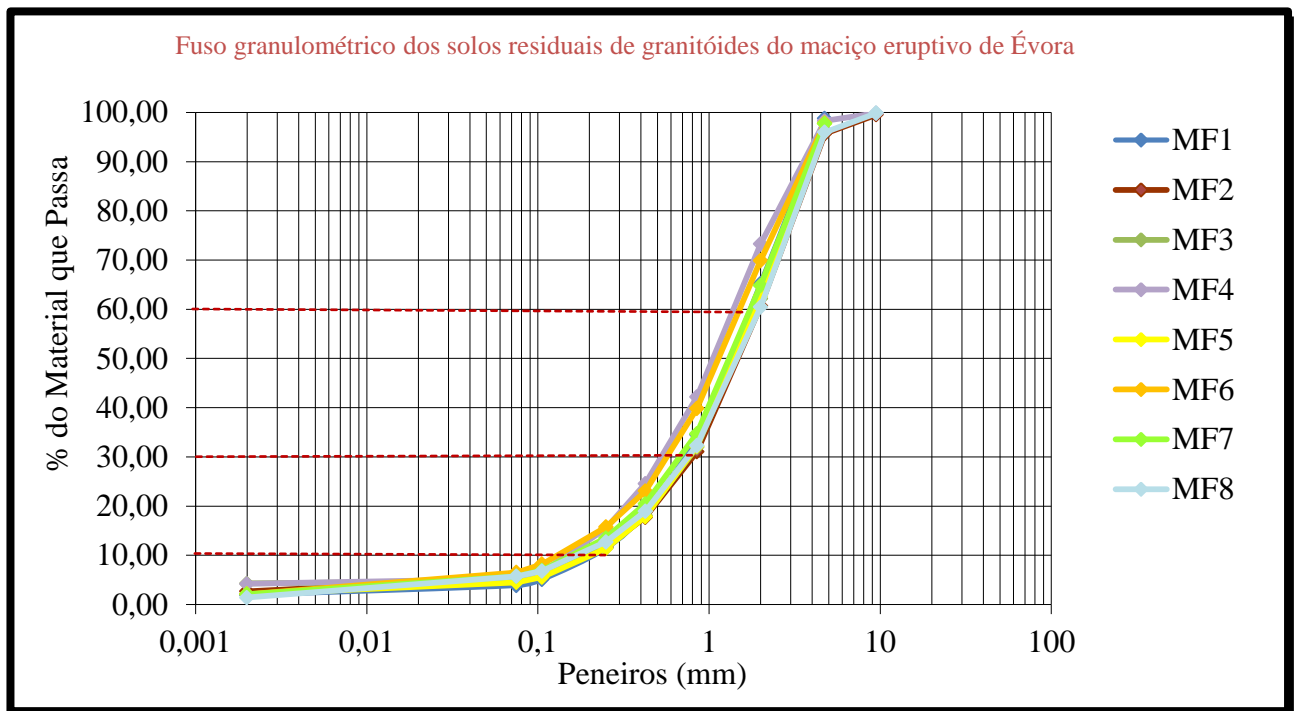
$$D_{30} = 0,8 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 2,1 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 2,1/0,18 \leftrightarrow Cu = 11,667 \approx 12$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,8)^2 / (0,18 \times 2,1) \leftrightarrow Cc = 1,693 \approx 2$$

Na Figura 4.2 apresentam-se as curvas granulométricas das 8 amostras colhidas no perfil de solos residuais do maciço granitóide de Évora.



Argila	Silte			Areia			Seixo			Cascalho
	fino	médio	grosso	fina	média	grossa	fino	médio	grosso	

Figura 4.2 – Curvas granulométricas dos solos residuais do maciço granitóide de Évora.

De acordo com o gráfico da Figura 4.2 pode-se determinar a proporção existente entre os vários componentes granulométricos (cascalho, areia, silte e argila) como referido atrás. Verifica-se que as curvas dos vários níveis do perfil são bastante concordantes entre si. Conclui-se que o perfil do Monte das Flores é constituído por uma grande porção de areia e seixo fino a médio, e uma pequena quantidade de silte e argila. A percentagem de argila é bastante reduzida (< 5%) o que significa que a maior parte dos finos são essencialmente siltosos.

Pode-se constatar que o solo do perfil do Monte das Flores é bem graduado nos vários níveis do perfil, pois a partir das curvas granulométricas observa-se que estas abrangem grãos de várias dimensões (a granulometria é extensa). Como o Cu está entre 9 e 12 ($Cu > 4$ em seixos ou $Cu > 6$ em areias) e o Cc registado varia entre 1 e 2 ($1 < Cc < 3$), então, globalmente, o solo do perfil do Monte das Flores classifica-se como bem graduado.

A cor escura dos solos resultantes dos quartzodioritos e de alguns granodioritos é devida à presença de minerais máficos na constituição destes solos.

4.1.1.3 - Determinação da textura dos solos

Os cálculos são feitos através de regras de três simples, considerando que cada colheita corresponde a 24 ml de uma amostra total de 1000 ml. A diferença de peso entre a primeira colheita (silte + argila) e a segunda colheita (argila) corresponde ao peso da **fração silte**. Ao peso de cada fração deve-se retirar o peso do hexametáfosfato adicionado. Para este peso faz-se um ensaio em branco (20 ml numa proveta de 1000 ml, amostragem de 24 ml do total da proveta) seguido de pesagem, ou faz-se um cálculo empírico do peso correspondente a 24 ml de uma amostra onde foram adicionados 20 ml de solução dispersante. Efetuam-se depois os cálculos tendo em conta o peso de areia ou de fração grosseira, para se obter o peso e as respetivas proporções das várias frações constituintes da amostra.

O Quadro 0.10 (apresentado em anexo) mostra a quantidade de massa obtida retida em crivos de 0,210 mm. No Quadro 0.11 apresenta-se a correção do teor em água.

Na amostragem de silte + argila os valores da recolha de silte + argila estão descritos no Quadro 0.12 (Anexos).

Na amostragem de argila os valores da recolha de argila estão descritos no Quadro 0.13 (Anexos).

Usou-se a correção do ensaio em branco igual a 0,02 g.

Para a determinação da percentagem de silte recorreu-se à fórmula (2.8) e para a determinação da percentagem de argila recorreu-se à fórmula (2.9).

Na prática considera-se que a colheita feita com a pipeta corresponde a uma esfera de suspensão cujo centro se situa na extremidade da pipeta. Com isto haverá sempre um pequeno erro, uma vez que as partículas são recolhidas abaixo ou acima do plano estabelecido. Por isso, pode-se recolher algumas partículas maiores que as pretendidas mas, por outro lado, parte da recolha não chega a incluir partículas com o diâmetro máximo pretendido, admitindo-se que esta compensação contribui para minimizar o erro da recolha por pipetagem.

O erro foi calculado pela fórmula (2.10).

4.1.1.4 - Limites de consistência

Os limites de consistência, como referido no capítulo da metodologia, são determinados adicionando água destilada ao solo seco ao ar (fração < 0,425 mm) até encontrar as três fronteiras entre os estados físicos (LR, LP e LL).

- Ensaio para determinação do limite de plasticidade:

O limite de plasticidade da amostra ensaiada é a média dos teores de humidade determinados para os quatro provetes (Quadro 0.14, nos Anexos).

- Ensaio para determinação do limite de liquidez através da concha de Casagrande:

O limite de liquidez da amostra ensaiada é dado pelo teor em água (Quadro 0.15, nos Anexos) correspondente a 25 pancadas, obtido por interpolação na reta traçada (com uma linha tracejada vermelha) (Figura 4.3; Figura 4.4; Figura 4.5; Figura 4.6; Figura 4.7; Figura 4.8; Figura 4.9; Figura 4.10).

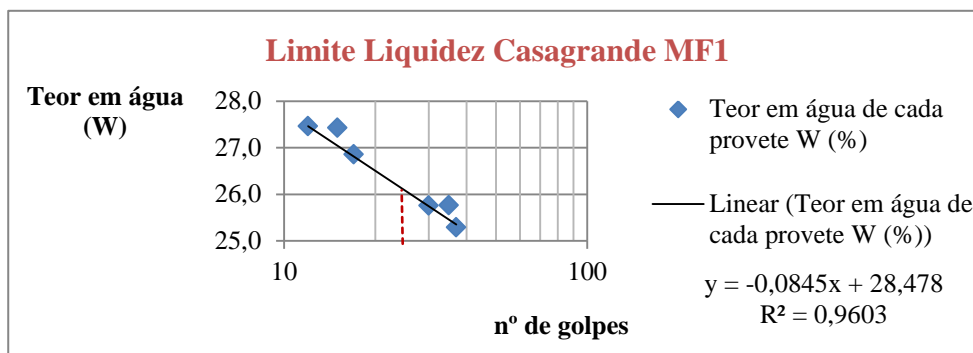


Figura 4.3 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF1.

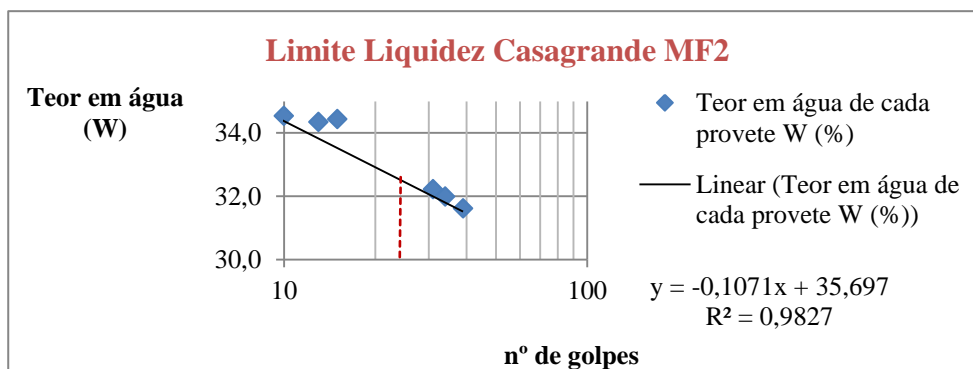


Figura 4.4 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF2.

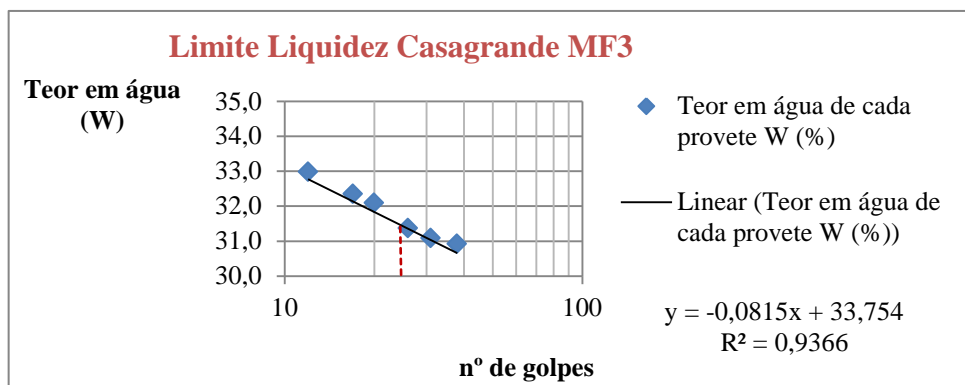


Figura 4.5 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF3.

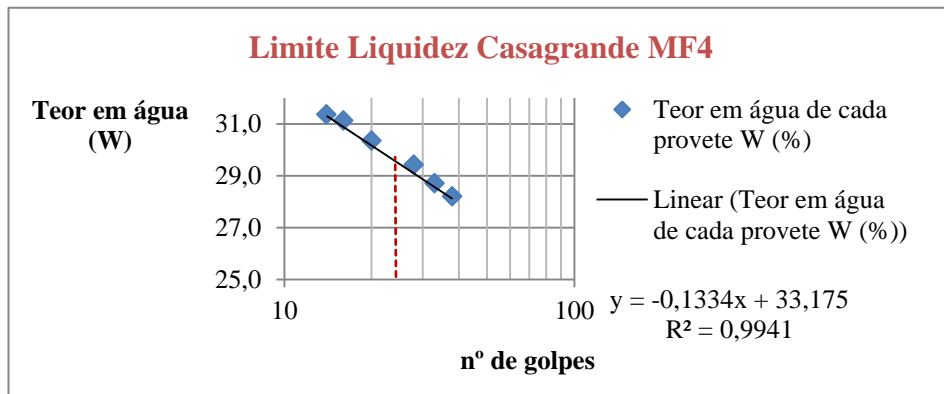


Figura 4.6 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF4.

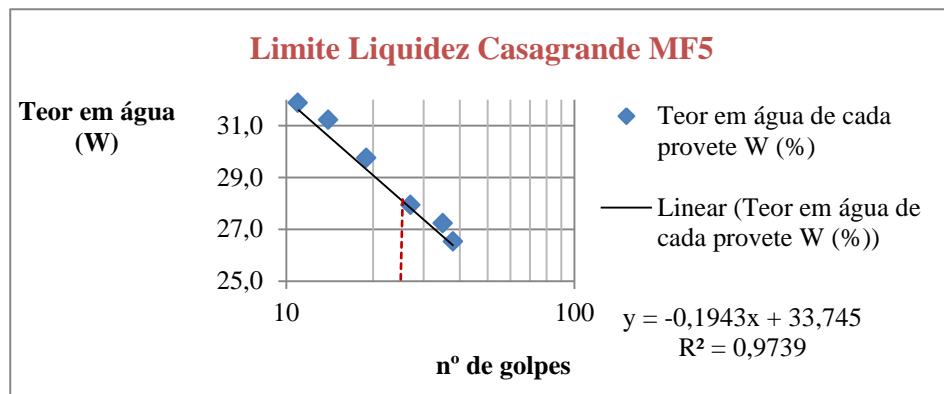


Figura 4.7 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF5.

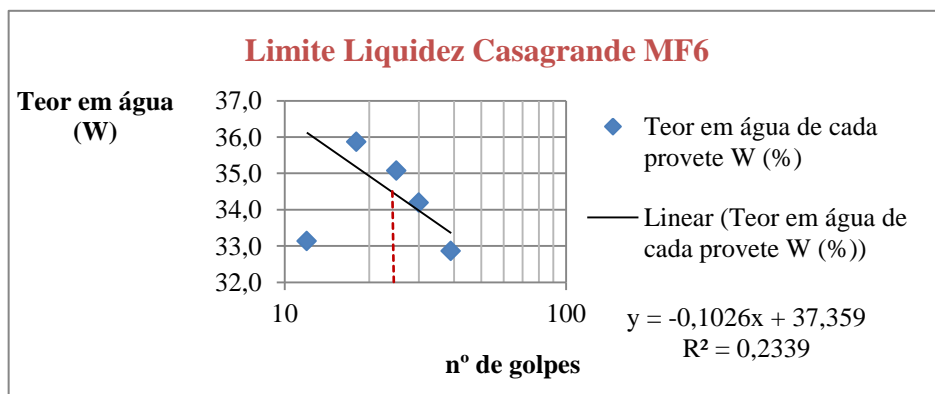


Figura 4.8 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF6.

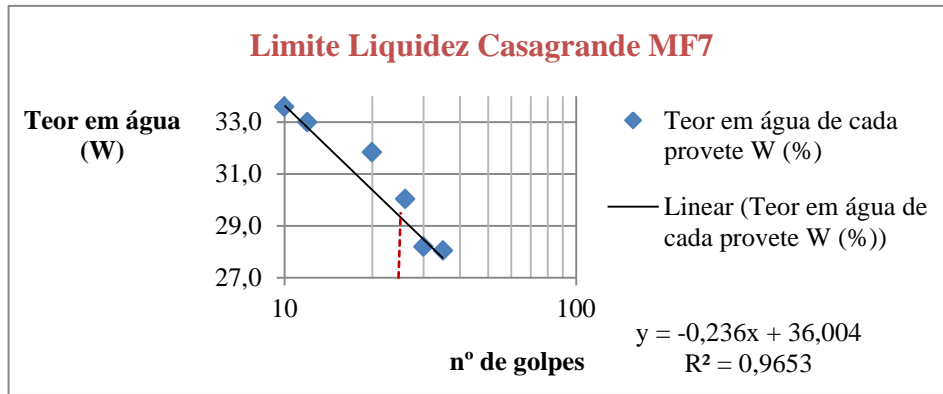


Figura 4.9 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF7.

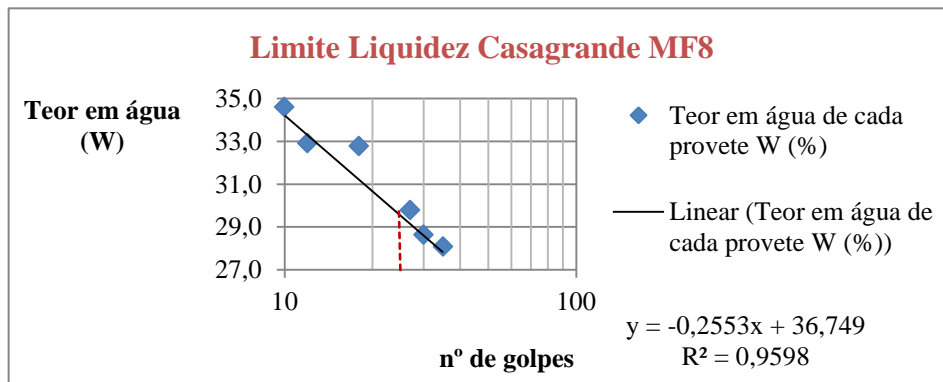


Figura 4.10 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MF8.

- Ensaio para determinação do limite de liquidez através do cone penetrométrico da *British Standard* (BS):

O limite de liquidez é caracterizado como sendo o teor em água (LL_C) correspondente a uma penetração do cone de 20 mm (Quadro 0.16, nos Anexos), cujos gráficos estão representados mais abaixo (Figura 4.11; Figura 4.12; Figura 4.13; Figura 4.14; Figura 4.15; Figura 4.16; Figura 4.17; Figura 4.18).

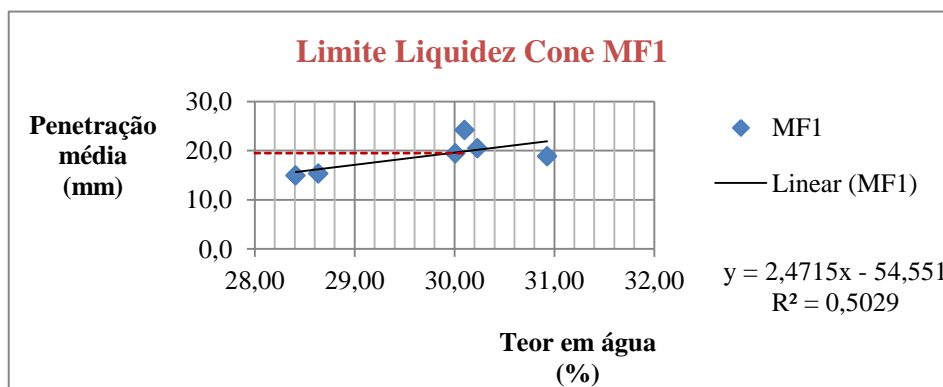


Figura 4.11 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF1.

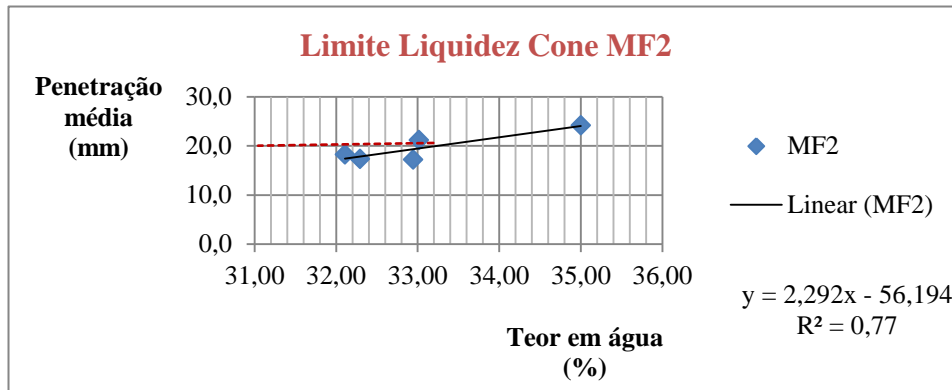


Figura 4.12 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF2.

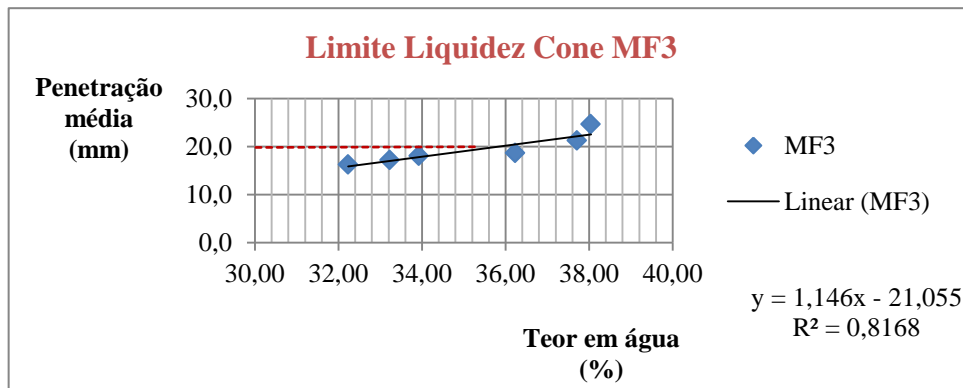


Figura 4.13 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF3.

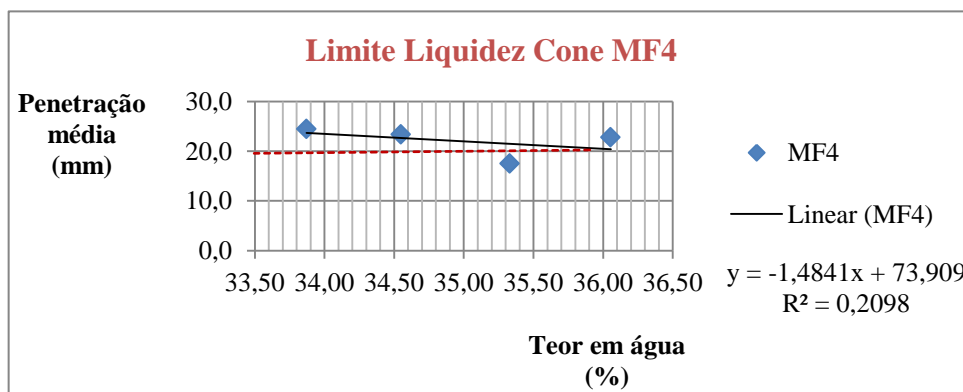


Figura 4.14 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF4.

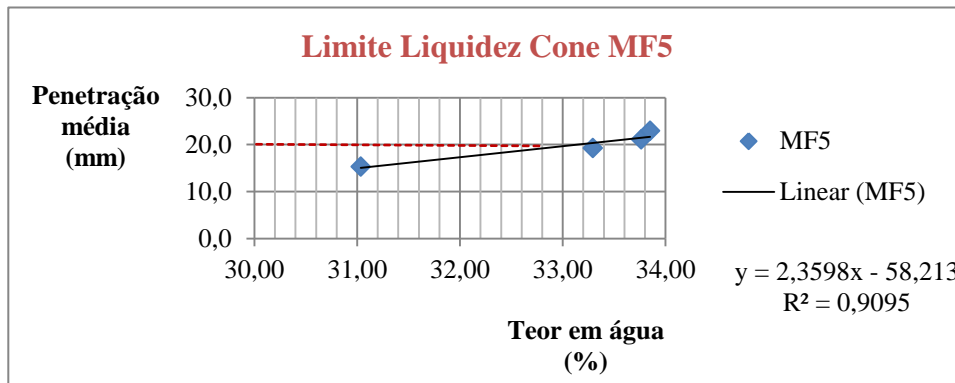


Figura 4.15 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF5.

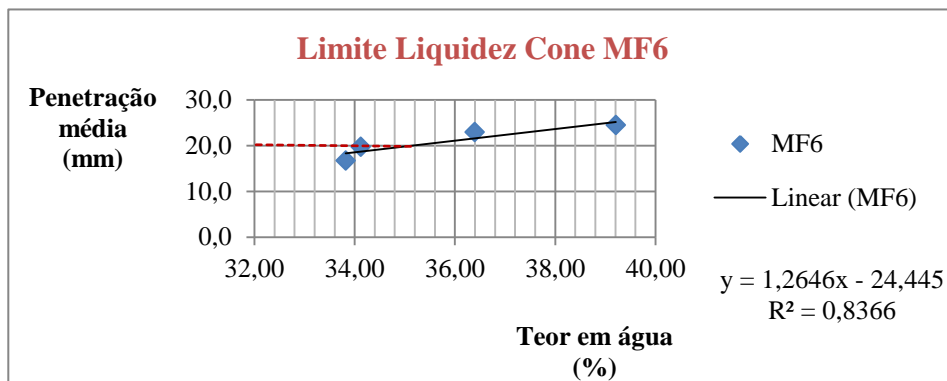


Figura 4.16 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF6.

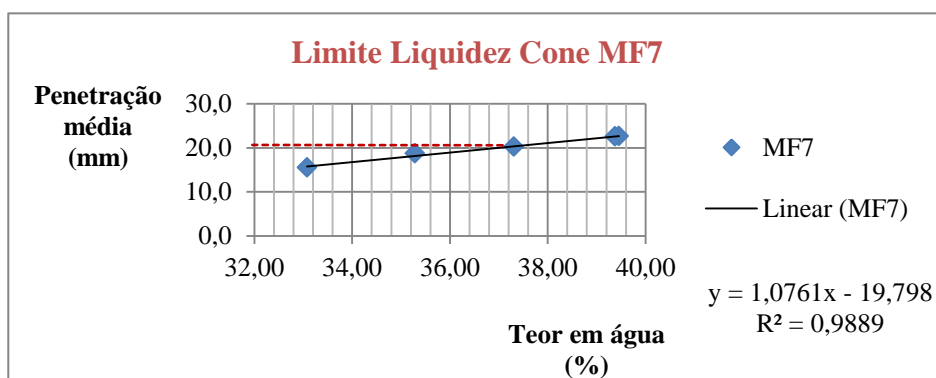


Figura 4.17 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF7.

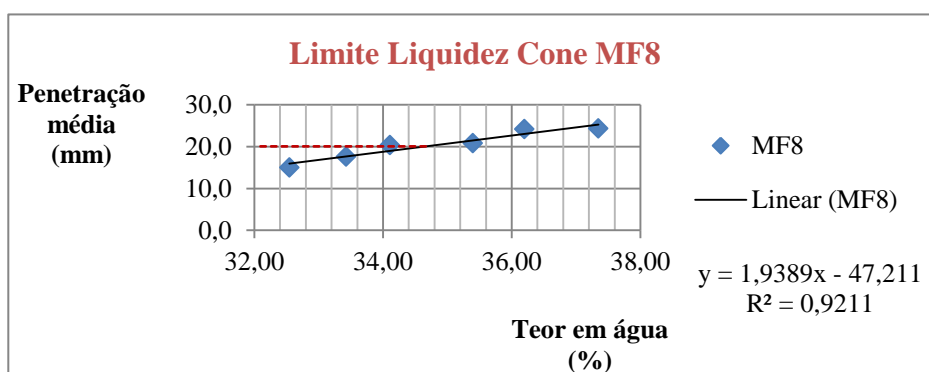


Figura 4.18 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MF8.

Na determinação do **índice de plasticidade (I_P e I_{Pc})**, para cada nível de solo residual, foram usados os valores relativos ao limite de liquidez (LL e LLc), respetivamente, através dos métodos da concha de Casagrande e do Cone da BS. Apresentam-se de seguida os cálculos para determinação dos índices de plasticidade:

$$I_{P\ MF1} = W_L - W_P = LL - LP = 26,37 - 21,78 = 5 \%$$

$$I_{P\ MF2} = W_L - W_P = LL - LP = 33,02 - 25,09 = 8 \%$$

$$I_{P\ MF3} = W_L - W_P = LL - LP = 31,72 - 24,28 = 7 \%$$

$$I_{P\ MF4} = W_L - W_P = LL - LP = 29,84 - 22,82 = 7 \%$$

$$I_{P\ MF5} = W_L - W_P = LL - LP = 28,89 - 23,21 = 6 \%$$

$$I_{P\ MF6} = W_L - W_P = LL - LP = 34,79 - 24,37 = 10 \%$$

$$I_{P\ MF7} = W_L - W_P = LL - LP = 30,10 - 24,21 = 6 \%$$

$$I_{P\ MF8} = W_L - W_P = LL - LP = 30,37 - 25,23 = 5 \%$$

$$I_{Pc\ MF1} = W_L - W_P = LLc - LP = 30,16 - 21,78 = 8 \%$$

$$I_{Pc\ MF2} = W_L - W_P = LLc - LP = 33,24 - 25,09 = 8 \%$$

$$I_{Pc\ MF3} = W_L - W_P = LLc - LP = 35,82 - 24,28 = 11 \%$$

$$I_{Pc\ MF4} = W_L - W_P = LLc - LP = 36,32 - 22,82 = 13 \%$$

$$I_{Pc\ MF5} = W_L - W_P = LLc - LP = 33,14 - 23,21 = 10 \%$$

$$I_{Pc\ MF6} = W_L - W_P = LLc - LP = 35,15 - 24,37 = 11 \%$$

$$I_{Pc\ MF7} = W_L - W_P = LLc - LP = 36,98 - 24,21 = 13 \%$$

$$I_{Pc\ MF8} = W_L - W_P = LLc - LP = 34,66 - 25,23 = 9 \%$$

Através da concha de Casagrande promovem-se mais erros na leitura do que através do cone BS. Também se sabe que o uso da concha de Casagrande em solos lamelares e granulares origina um erro maior, uma vez que condiciona a orientação das partículas durante o deslizamento. Como o método do Cone é um pouco mais preciso que o método da concha de Casagrande, os valores obtidos para o índice de plasticidade I_{Pc} são de maior fiabilidade. Nota-se que os índices de plasticidade I_{Pc} do perfil de solos residuais de Évora são todos eles mais elevados em comparação com os índices de plasticidade I_P , variando de 8 % a 13 %, enquanto os valores de I_P variam entre 5 % e 10 %.

Dado que a determinação do limite de retração (LR ou w_R) em solos siltosos é complicada em condições laboratoriais, porque há alguma dispersão e por vezes pode-se aproximar demasiado do limite de plasticidade, optou-se por não realizar este ensaio. Apesar de tudo, determinou-se o limite de retração das amostras dos solos residuais em estudo, através do ábaco apresentado no manual da norma, a partir dos valores para o limite de liquidez pela concha de Casagrande com o índice de plasticidade de cada amostra. Obtiveram-se os seguintes resultados:

$$W_{R\ MF1} = 19$$

$$W_{R\ MF2} = 22$$

$$W_{R\ MF3} = 22$$

$$W_{R\ MF4} = 20$$

$$W_{R\ MF5} = 23$$

$$W_{R\ MF6} = 20$$

$$W_{R\ MF7} = 22$$

$$W_{R\ MF8} = 22$$

Ou ainda, indo pela fórmula:

$$W_{R\ MF1} = w_L - (I_P / 0,73) = 26,37 - (4,59 / 0,73) = 20 \%$$

$$W_{R\ MF2} = w_L - (I_P / 0,73) = 33,02 - (7,93 / 0,73) = 22 \%$$

$$W_{R\ MF3} = w_L - (I_P / 0,73) = 31,72 - (7,44 / 0,73) = 22 \%$$

$$W_{R\ MF4} = w_L - (I_P / 0,73) = 29,84 - (7,02 / 0,73) = 20 \%$$

$$W_{R\ MF5} = w_L - (I_P / 0,73) = 28,89 - (5,68 / 0,73) = 21 \%$$

$$W_{R\ MF6} = w_L - (I_P / 0,73) = 34,79 - (10,42 / 0,73) = 21 \%$$

$$W_{R\ MF7} = w_L - (I_P / 0,73) = 30,10 - (5,89 / 0,73) = 22 \%$$

$$W_{R\ MF8} = w_L - (I_P / 0,73) = 30,37 - (5,14 / 0,73) = 23 \%$$

Apresentam-se também cálculos de outros índices:

Atividade coloidal do solo:

$$Ac_{MF1} = I_p / \% < 2 \mu m = 4,59 / 6,16 = 0,74 \%$$

$$Ac_{MF2} = I_p / \% < 2 \mu m = 7,93 / 6,06 = 1,31 \%$$

$$Ac_{MF3} = I_p / \% < 2 \mu m = 7,44 / 8,10 = 0,92 \%$$

$$Ac_{MF4} = I_p / \% < 2 \mu m = 7,02 / 6,16 = 1,14 \%$$

$$Ac_{MF5} = I_p / \% < 2 \mu m = 5,68 / 2,05 = 2,77 \%$$

$$Ac_{MF6} = I_p / \% < 2 \mu m = 10,42 / 2,04 = 5,11 \%$$

$$Ac_{MF7} = I_p / \% < 2 \mu m = 5,89 / 6,15 = 0,96 \%$$

$$Ac_{MF8} = I_p / \% < 2 \mu m = 5,14 / 6,15 = 0,84 \%$$

Índice de consistência:

$$I_C_{MF1} = (w_L - w_0) / I_p = (26,37 - 6,76) / 4,59 = 4$$

$$I_C_{MF2} = (w_L - w_0) / I_p = (33,02 - 2,40) / 7,93 = 4$$

$$I_C_{MF3} = (w_L - w_0) / I_p = (31,72 - 2,28) / 7,44 = 4$$

$$I_C_{MF4} = (w_L - w_0) / I_p = (29,84 - 1,08) / 7,02 = 4$$

$$I_C_{MF5} = (w_L - w_0) / I_p = (28,89 - 1,42) / 5,68 = 5$$

$$I_C_{MF6} = (w_L - w_0) / I_p = (34,79 - 1,45) / 10,42 = 3$$

$$I_C_{MF7} = (w_L - w_0) / I_p = (30,10 - 1,42) / 5,89 = 5$$

$$I_C_{MF8} = (w_L - w_0) / I_p = (30,37 - 1,11) / 5,14 = 6$$

Índice de liquidez:

$$I_L_{MF1} = (w_0 - w_p) / I_p = (6,76 - 21,78) / 4,59 = -3$$

$$I_L_{MF2} = (w_0 - w_p) / I_p = (2,40 - 25,09) / 7,93 = -3$$

$$I_L_{MF3} = (w_0 - w_p) / I_p = (2,28 - 24,28) / 7,44 = -3$$

$$I_L_{MF4} = (w_0 - w_p) / I_p = (1,08 - 22,82) / 7,02 = -3$$

$$I_{L\text{ MF5}} = (w_0 - w_p) / I_p = (1,42 - 23,21) / 5,68 = - 4$$

$$I_{L\text{ MF6}} = (w_0 - w_p) / I_p = (1,45 - 24,37) / 10,42 = - 2$$

$$I_{L\text{ MF7}} = (w_0 - w_p) / I_p = (1,42 - 24,21) / 5,89 = - 4$$

$$I_{L\text{ MF8}} = (w_0 - w_p) / I_p = (1,11 - 25,23) / 5,14 = - 5$$

O solo do maciço granitóide de Évora é muito granular e apresenta fraca plasticidade o que está de acordo com a sua baixa percentagem de argila. Apresenta em geral pouca consistência, tendo sido difícil obter os limites de consistência nos ensaios realizados.

Comparando o método da concha de Casagrande com o método do cone de penetração, verifica-se que os valores do limite de liquidez determinados pelo método do cone são superiores aos valores determinados pela concha de Casagrande.

Com os ensaios de laboratório foi possível determinar os limites de consistência, nomeadamente o limite de liquidez (w_L) e o limite de plasticidade (w_p), a partir dos quais se determinaram outros parâmetros, que foram uma contribuição ao conhecimento dos solos em estudo, como o índice de plasticidade (I_p), o índice de liquidez (I_L), o índice de consistência (I_C), a atividade coloidal (A_c) e o limite de retração (w_R).

Os índices de consistência apresentam resultados superiores a 2, o que significa que os solos têm pouca probabilidade de ficarem instáveis ou de colapsarem por saturação, porque os teores em água naturais também estão muito longe do limite de liquidez.

Os índices de liquidez são sempre negativos devido ao limite de plasticidade ser sempre superior ao teor em água no estado natural.

Os valores da atividade coloidal (que variam entre 0,74 % e 5,11 %) indicam que a pouca argila existente é ativa.

4.1.1.5 - Classificação geotécnica

As classificações de solos de maior interesse para a geotecnia são aquelas que se baseiam nas características de identificação de solos (análise granulométrica e limites de consistência). Neste trabalho são usadas as classificações: **Classificação de solos para fins rodoviários** (AASHTO) segundo a especificação *E-240 – Solos: Classificação para fins rodoviários* e **Classificação de solos para fins de engenharia** (Sistema Unificado) segundo a norma *ASTM D2487-85*.

As classificações geotécnicas (AASHTO e Sistema Unificado) dos solos residuais granitóides do maciço eruptivo de Évora são apresentadas em anexo no Quadro 0.17.

Em relação à classificação AASHTO todos os solos amostrados encontram-se entre os grupos A-1 e A-2, o que significa que para fins rodoviários todos indicam um comportamento na camada sob o pavimento excelente a bom.

Em relação à Classificação do Sistema Unificado, os solos do perfil do Monte das Flores foram classificados como areias bem graduadas argilosas (SW-SC) ou areias bem graduadas com silte (SW-SM).

4.1.1.6 - Teor em água (no estado natural)

Os valores médios dos teores em água aparecem registados no Quadro 0.18 (Anexos). Os valores determinados para o teor em água no estado natural ao longo do perfil são coerentes com a profundidade. Assim, conforme seria expectável, o teor em água é mais alto nos níveis mais superficiais (devido à precipitação) com tendência a diminuir em profundidade. Considera-se portanto, que a percentagem média de teor em água é baixa no perfil analisado.

4.1.1.7 - Expansibilidade

Procede-se à determinação da expansibilidade de cada solo (Quadro 0.20; Quadro 0.21; Quadro 0.22; Quadro 0.23).

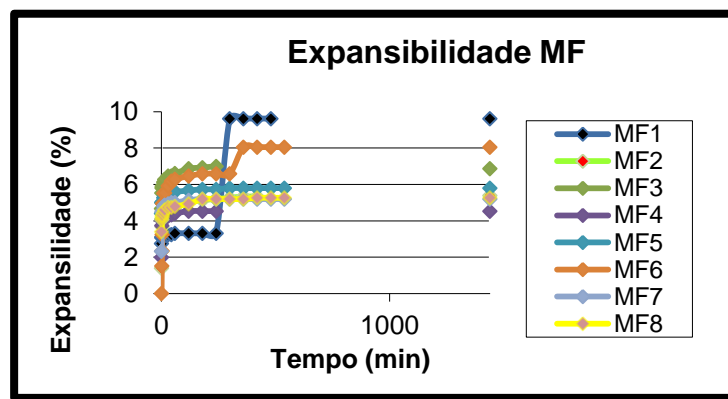


Figura 4.19 - Representação gráfica do ensaio de expansibilidade para o perfil do Monte das Flores.

As expansibilidades obtidas para o perfil do Monte das Flores (Figura 4.19) variam de 4,5 a 9,6 %. Perante estes valores, pode-se afirmar que o solo não apresenta uma grande expansibilidade, o que já seria de esperar, pois, sendo um solo bastante arenoso, contém pouca percentagem de partículas finas, como a argila, não podendo ter valores de expansibilidade muito elevados.

No perfil do Monte das Flores a expansibilidade vai diminuir com a profundidade. Ao longo do perfil nota-se uma variação de expansibilidade, pelo que no solo mais a superfície (MF1) a expansibilidade é de 9,6 %, diminui para 5,4 % (MF2), aumenta para 7 % (MF3), diminui para 4,5 % (MF4), aumenta para 8,1 % (MF6), diminui para 5,2 % (MF7) e termina em 5,3 % no solo mais profundo (MF8).

Os valores do teor em água obtidos no final do ensaio, apresentam-se no Quadro 0.19.

4.1.1.8 - Equivalente de areia

Antes da realização do ensaio do equivalente de areia retirou-se o valor do teor em água de cada amostra (Quadro 0.24).

Os valores determinados para o equivalente de areia e equivalente de areia visual são apresentados em anexo (Quadro 0.25).

Os valores de equivalente de areia variam entre os 33 % e os 89 %, no caso dos solos do Monte das Flores, confirmam tratar-se de materiais, maioritariamente, arenosos cujos finos apresentam baixa plasticidade.

4.1.1.9 - Peso específico das partículas sólidas (densidades)

A determinação do peso específico das partículas sólidas corresponde às suas densidades médias. Os pesos específicos das partículas sólidas (γ_s) do perfil do Monte das Flores (Quadro 0.26), apresentam valores característicos de solos de origem granítica, correspondendo o valor mais baixo ao solo residual de MF7 e o valor mais alto ao solo residual de MF1 (variando de 2,56 a 2,94). Daqui se conclui que os valores de baixa densidade vão corresponder a camadas de solo com maior percentagem de quartzo, feldspato e mica, e, os valores de alta densidade vão corresponder a camadas de solo que contêm maior percentagem de minerais ferromagnesianos. Isto porque os minerais ferromagnesianos possuem densidades superiores aos minerais félsicos.

4.1.1.10 - Permeabilidade

A permeabilidade para os vários níveis recolhidos é descrita no Quadro 0.27, em anexo. O peso do amostrador sem nada é igual a 554,58 g para efeitos de cálculos.

A permeabilidade (k) do perfil do Monte das Flores (Figura 4.20) é considerada média ($k = 10^{-4}$ m/s) a baixa ($k = 10^{-5}$ m/s), típica de solos com areias limpas ou com alguns finos, areias siltosas. Aos solos com permeabilidade superior (neste caso, camada da base do perfil, MF8) correspondem menores quantidades de silte.

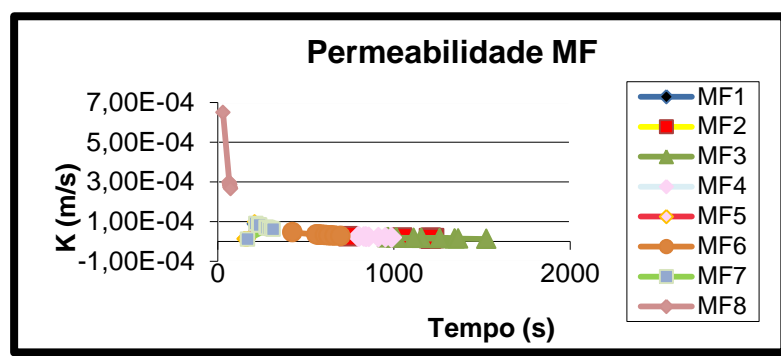


Figura 4.20 – Gráfico mostrando a evolução da permeabilidade ao longo do tempo (K versus t) para o perfil do Monte das Flores.

4.1.1.11 - Teor em matéria orgânica

O teor em matéria orgânica (MO) detetado nos solos do perfil do Monte das Flores (Quadro 0.28) é considerado significativo (variando de 2,6 % a 4,6 %), pois é superior a 2 %, logo, poderá existir alguma influência nas propriedades geotécnicas dos solos.

4.2 - Solos residuais dos granitóides do maciço eruptivo de Montemor-o-Novo

O maciço eruptivo de Montemor-o-Novo é constituído essencialmente por quartzodioritos, com uma área de aproximadamente 70 Km². As rochas ígneas quartzodioríticas são, de modo geral, de grão médio a grosseiro, biotítico, cinzento a cinzento escuro (Carvalhosa *et al.*, 1994).

O maciço eruptivo foi atingido por forte meteorização o que provocou a sua arenização, assim este maciço distingue-se por apresentar afloramentos com caos de blocos (de forma oval) envolvidos por solos residuais de natureza areno-siltosa e areno-argilosa, castanhos a castanhos escuros (Duarte, 2002).

No perfil de solo residual analisado verifica-se a passagem brusca da rocha-mãe para o solo residual, não havendo praticamente rocha alterada nenhuma a fazer essa separação.

4.2.1 - Resultados experimentais

Na mancha dos granitóides do maciço eruptivo de Montemor-o-Novo foi escolhido um perfil de solos residuais na Pedreira de Benafessim.

O perfil de solo residual em causa é sub-vertical, com aproximadamente 10 metros de espessura, apresenta algumas zonas mais heterogéneas, onde são visíveis filões, zonas de maior escorrência de água da chuva. É composto por uma fina camada superficial de terra vegetal (que teve de ser removida para realizar a amostragem) e os níveis médios do perfil não apresentam terra vegetal estando simplesmente expostos. Aqui crescia alguma vegetação de pequena dimensão, verificando-se que algumas raízes penetravam até às camadas de solo residual. Na base do perfil aflorava uma reduzida quantidade de rocha sã e/ou pouco alterada. Após a remoção da terra vegetal foi complicado verificar a passagem da rocha sã ao solo alterado, dado que em algumas zonas a passagem era repentina, sem haver uma transição bem delineada. A zona do perfil mais homogénea, e que à partida apresentava melhores condições de colheita, foi dividida em 8 níveis de amostragem, aproximadamente de metro em metro (designados por: MM1, MM2, MM3, MM4, MM5, MM6, MM7 e MM8, do topo para a base do perfil) de onde foram recolhidos os solos residuais para serem ensaiados. Os níveis definidos apresentam variações de cor e de textura.

4.2.1.1 - Propriedades físicas *in situ*

As propriedades físicas determinadas *in situ*, como sendo o teor em água natural (w_0), peso volúmico no estado natural (γ_0), peso volúmico no estado seco (γ_d), a porosidade (n) e o índice de vazios (e_0), constam no Quadro 4.2 e Quadro 0.29 (anexos).

Quadro 4.2 – Propriedades físicas *in situ* dos solos residuais do maciço de Montemor-o-Novo.

Perfil de solo residual	Teor em água no estado natural W_0 (%)	Peso volúmico no estado natural γ_0 (g/cm ³)	Peso volúmico no estado seco γ_d (g/cm ³)	Porosidade n	índice de vazios "in situ" e_0
MM1	10	2	2	0	1
MM2	10	2	2	0	1
MM3	9	2	2	0	0
MM4	10	2	2	0	0
MM5	9	2	2	0	1
MM6	8	2	2	0	1
MM7	8	2	2	0	1
MM8	8	2	2	0	1

O teor em água natural do perfil de Montemor-o-Novo apresenta valores baixos de teor em água no estado natural que vão dos 8 % até aos 10 %. Destaca-se o solo MM3, com o teor em água natural de 9 %, que apresenta uma maior percentagem de finos, logo uma capacidade de retenção de água superior às amostras mais arenosas.

Neste perfil o peso volúmico no estado natural e o peso volúmico no estado seco são iguais a 2 g/cm³. A porosidade é igual a 0 e o índice de vazios oscila entre o 0 e 1.

Para a propriedade do peso volúmico seco contribui o factor da **densidade dos minerais** que constituem o solo, uma vez que um solo com mais minerais máficos tende a ter um maior peso volúmico seco (*in* Duarte, 2002), como acontece com o solo MM3. Assim, o menor valor do peso volúmico seco, determinado "in situ", pertence ao solo residual MM5, cuja microestrutura se encontra mais aberta devido ao lixiviamento de algumas partículas, facto comprovado pelos valores elevados da porosidade e do índice de vazios (Quadro 0.29 nos anexos).

4.2.1.2 - Composição granulométrica

Para as amostras do perfil do maciço de Montemor-o-Novo foi efetuada a análise granulométrica das partículas com dimensões superiores a 0,075 mm (75 μ m), correspondente ao peneiro número 200 ASTM, por peneiração húmida (Figura 4.21). Abaixo desta dimensão, a distribuição granulométrica foi feita através do ensaio de textura, por sedimentação, aplicando a Lei de Stokes.

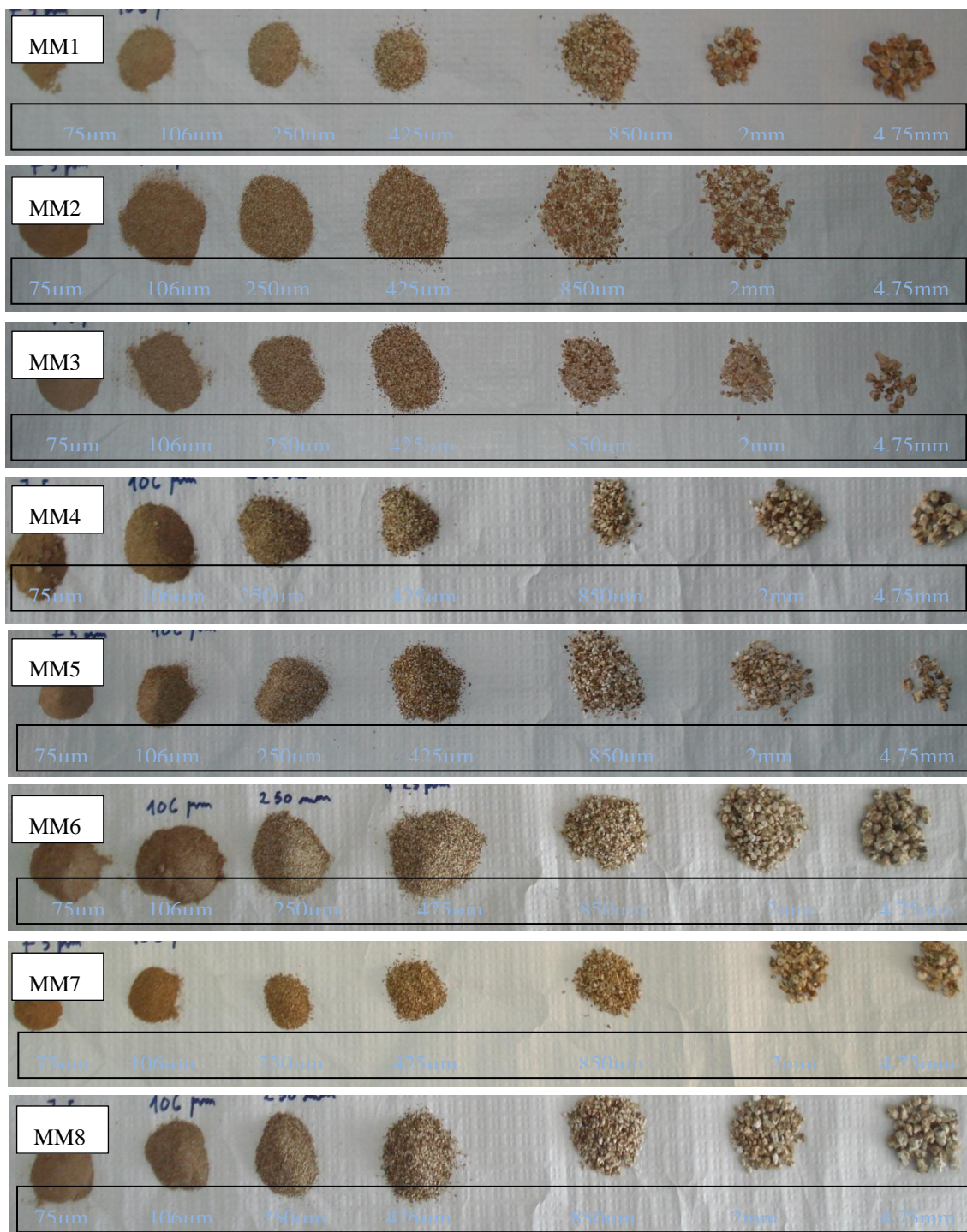


Figura 4.21 – Frações granulométricas nos solos residuais do perfil do maciço de Montemor-o-Novo (MM1 no topo até MM8 na base, sucessivamente).

➤ Amostra MM1:

Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 92,51 % da massa de solo total e que se perdeu 7,49 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 76,08 g (Quadro 0.30).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,12 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,5 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,4 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 1,4/0,12 \leftrightarrow Cu = 12$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,5)^2 / (0,12 \times 1,4) \leftrightarrow Cc = 1,488 \approx 1$$

➤ Amostra MM2:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º16. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 92,65 % da massa de solo total e que se perdeu 7,35 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 30,18 g (Quadro 0.31).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,12 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,55 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,7 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 1,7/0,12 \leftrightarrow Cu = 14$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,55)^2 / (0,12 \times 1,7) \leftrightarrow Cc = 1,483 \approx 1$$

➤ Amostra MM3:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º19. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 79,89 % da massa de solo total e que se perdeu 20,11 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 100,32 g (Quadro 0.32).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (C_u) e o coeficiente de curvatura (C_c):

$$D_{10}^* = 0,002 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,17 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0,5 \text{ mm}$$

$$C_u = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow C_u = 0,5/0,002 \leftrightarrow C_u = 250$$

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow C_c = (0,17)^2 / (0,002 \times 0,5) \leftrightarrow C_c = 29$$

➤ Amostra MM4:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator nº17. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 89,29 % da massa de solo total e que se perdeu 10,71 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 46,41 g (Quadro 0.33).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (C_u) e o coeficiente de curvatura (C_c):

$$D_{10}^* = 0,04 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,38 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,3 \text{ mm}$$

$$C_u = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow C_u = 1,3/0,04 \leftrightarrow C_u = 32$$

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow C_c = (0,38)^2 / (0,04 \times 1,3) \leftrightarrow C_c = 2,777 \approx 3$$

➤ Amostra MM5:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º23. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 87,88 % da massa de solo total e que se perdeu 12,12 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 127,26 g (Quadro 0.34).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (C_u) e o coeficiente de curvatura (C_c):

$$D_{10}^* = 0,02 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,27 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0,7 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 0,7/0,02 \leftrightarrow Cu = 35$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,27)^2 / (0,02 \times 0,7) \leftrightarrow Cc = 5$$

➤ Amostra MM6:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º24. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 92,76 % da massa de solo total e que se perdeu 7,24 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 101,66 g (Quadro 0.35).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,1 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,3 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0,8 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 0,8/0,1 \leftrightarrow Cu = 8$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,3)^2 / (0,1 \times 0,8) \leftrightarrow Cc = 1,125 \approx 1$$

➤ Amostra MM7:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º14. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 96,90 % da massa de solo total e que se perdeu 3,10 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 13,84 g (Quadro 0.36).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,2 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,7 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,8 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 1,8/0,2 \leftrightarrow Cu = 9$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,7)^2 / (0,2 \times 1,8) \leftrightarrow Cc = 1,361 \approx 1$$

➤ Amostra MM8:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º22. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 95,41 % da massa de solo total e que se perdeu 4,59 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 64,53 g (Quadro 0.37).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,15 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

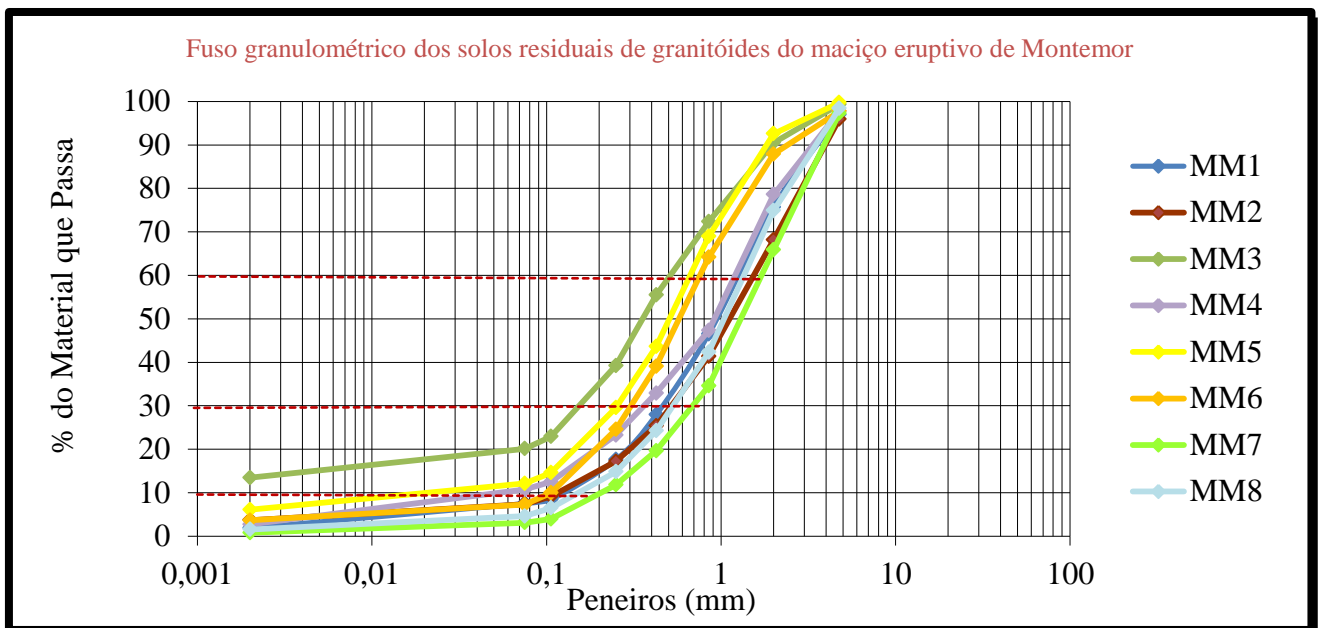
$$D_{30} = 0,59 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,5 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 1,5/0,15 \leftrightarrow Cu = 10$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,59)^2 / (0,15 \times 1,5) \leftrightarrow Cc = 1,547 \approx 1$$

Na Figura 4.22 apresentam-se as 8 curvas granulométricas das amostras do perfil de solos residuais do quartzodiorito de Montemor-o-Novo.



Argila	Silte			Areia			Seixo			Cascalho
	fino	médio	grosso	finas	médias	grossas	finos	médios	grossos	

Figura 4.22 - Curvas granulométricas dos solos residuais do maciço eruptivo de Montemor-o-Novo.

De acordo com o gráfico da figura pode-se determinar a proporção existente dos vários componentes granulométricos (cascalho, areia, silte e argila) como referido atrás. Verifica-se que as curvas dos vários níveis do perfil são mais dispersas que no perfil do Monte das Flores.

Conclui-se que o perfil de Montemor-o-Novo é constituído por uma grande porção de areia e seixo fino a médio, e uma pequena quantidade de silte e argila. A percentagem de argila em geral com valores médios ($< 5\%$), apenas os solos MM3 e MM5 apresentam valores mais elevados, o que significa que é maior que no perfil de Évora ainda assim é considerada baixa.

Pode-se constatar que o solo do perfil de Montemor-o-Novo é bem graduado nos vários níveis do perfil, pois a partir das curvas granulométricas observa-se que estas abrangem grãos de várias dimensões (a granulometria é extensa). Como o Cu está entre 8 e 35 ($Cu > 4$ em seixos ou $Cu > 6$ em areias) e o Cc registado varia entre 1 e 3 ($1 < Cc < 3$), então, globalmente, o solo do perfil de Montemor-o-Novo classifica-se como bem graduado. A única excepção encontrada foi o solo MM3 com valores muito altos de Cu e Cc e o solo MM5 que regista um Cc igual a 5.

A cor escura dos solos resultantes dos quartzodioritos é devida à presença de minerais máficos na constituição destes solos.

4.2.1.3 - Determinação da textura de solos

Os cálculos são feitos através de regras de três simples, considerando que cada colheita corresponde a 24 mL de uma amostra total de 1000 mL. A diferença de peso entre a primeira colheita (silte + argila) e a segunda colheita (argila), corresponde ao peso da **fração silte**. Ao peso de cada fração deve-se retirar o peso do hexametáfosfato adicionado. Para este peso, ou faz-se um ensaio em branco (20 mL numa proveta de 1000 mL, amostragem de 24 mL do total da proveta) seguido de pesagem ou faz-se um cálculo empírico do peso correspondente a 24 mL de uma amostra onde foram adicionados 20 mL de solução dispersante. Fazem-se depois os cálculos tendo em conta o peso de areia ou de fração grosseira, para se obter o peso e as respectivas proporções das várias frações constituintes da amostra.

O Quadro 0.38 (apresentado em anexo) mostra a quantidade de massa obtida retida em crivos de 0,210 mm. No Quadro 0.39 apresenta-se a correcção do teor em água.

Na amostragem de silte + argila os valores da recolha de silte + argila estão descritos em anexo no Quadro 0.40.

Na amostragem de argila os valores da recolha de argila estão descritos em anexo no Quadro 0.41.

Usou-se a correcção do ensaio em branco igual a 0,02 g.

Para a determinação da percentagem de silte recorreu-se à fórmula (2.8) e para a determinação da percentagem de argila recorreu-se à fórmula (2.9).

Na prática considera-se que a colheita feita com a pipeta corresponde a uma esfera de suspensão cujo centro se situa na extremidade da pipeta. Com isto haverá sempre um pequeno erro, uma vez que as partículas são recolhidas abaixo ou acima do plano estabelecido. Por isso, podem-se

recolher algumas partículas maiores que as pretendidas mas, por outro lado, parte da recolha não chega a incluir partículas com o diâmetro máximo pretendido, admitindo-se que esta compensação contribui para minimizar o erro da recolha por pipetagem.

O erro foi calculado pela fórmula (2.10).

4.2.1.4 - Limites de consistência

Os limites de consistência, como referido no capítulo da metodologia, são determinados adicionando água destilada ao solo seco ao ar (fração < 0,425 mm) até encontrar as três fronteiras entre os estados físicos (LR, LP e LL).

- Ensaio para determinação do limite de plasticidade:

O limite de plasticidade da amostra ensaiada é a média dos valores dos teores em água determinados para os quatro provetes (Quadro 0.42).

- Ensaio para determinação do limite de liquidez através da concha de Casagrande:

O limite de liquidez da amostra ensaiada é dado pelo teor em água (Quadro 0.43) correspondente a 25 pancadas, obtido por interpolação na reta traçada (com uma linha tracejada vermelha) (Figura 4.23; Figura 4.24; Figura 4.25; Figura 4.26; Figura 4.27; Figura 4.28; Figura 4.29; Figura 4.30).

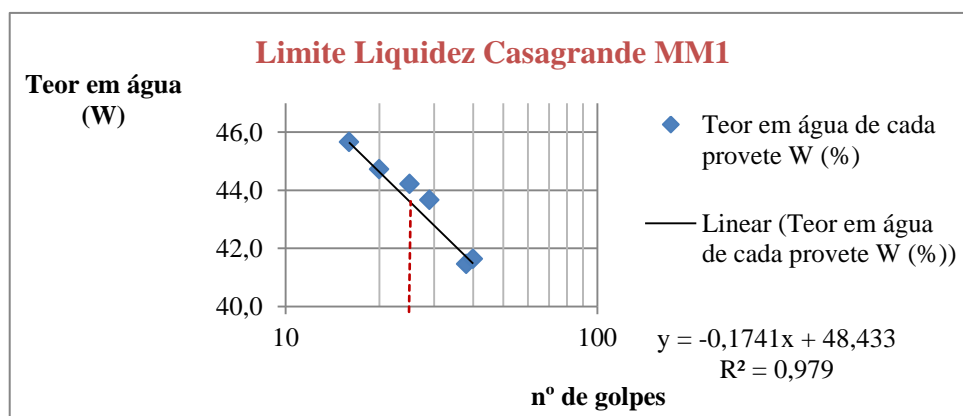


Figura 4.23 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM1.

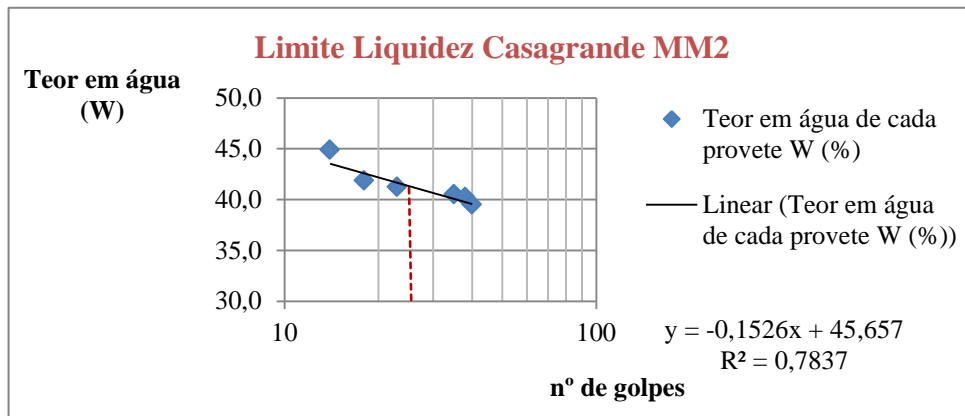


Figura 4.24 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM2.

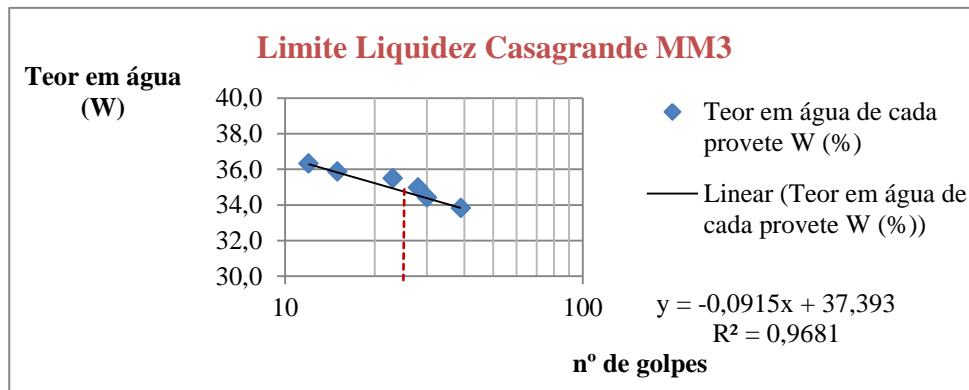


Figura 4.25 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM3.

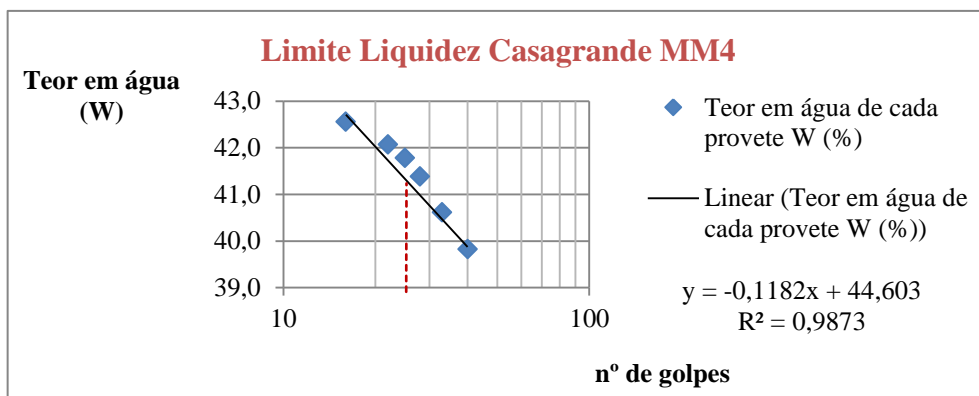


Figura 4.26 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM4.

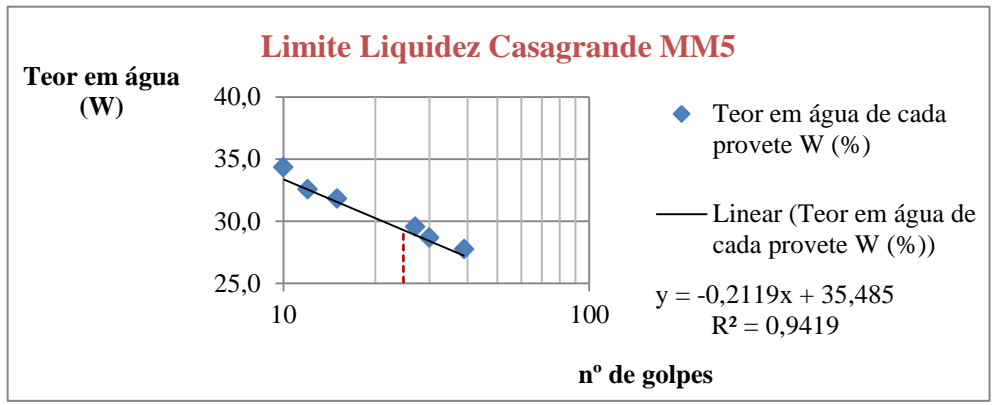


Figura 4.27 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM5.

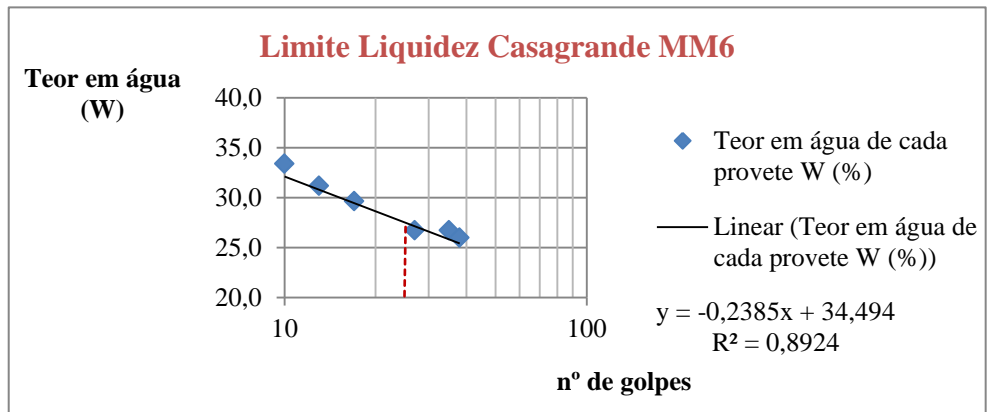


Figura 4.28 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM6.

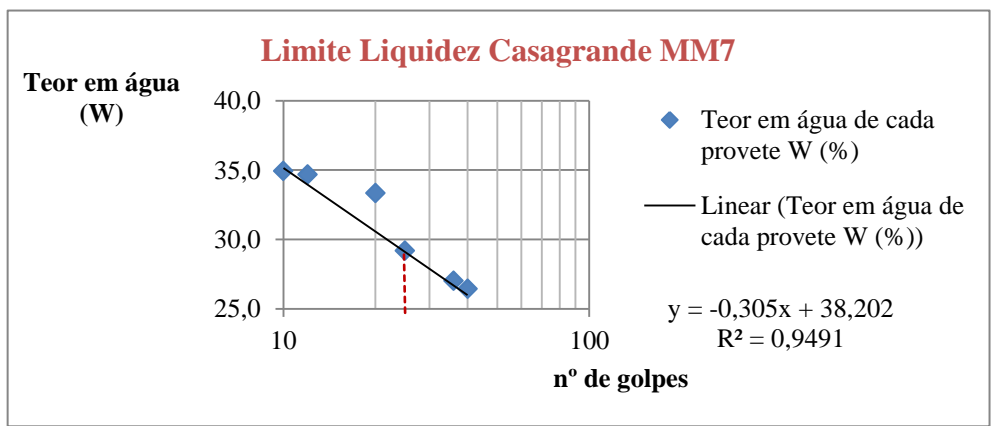


Figura 4.29 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM7.

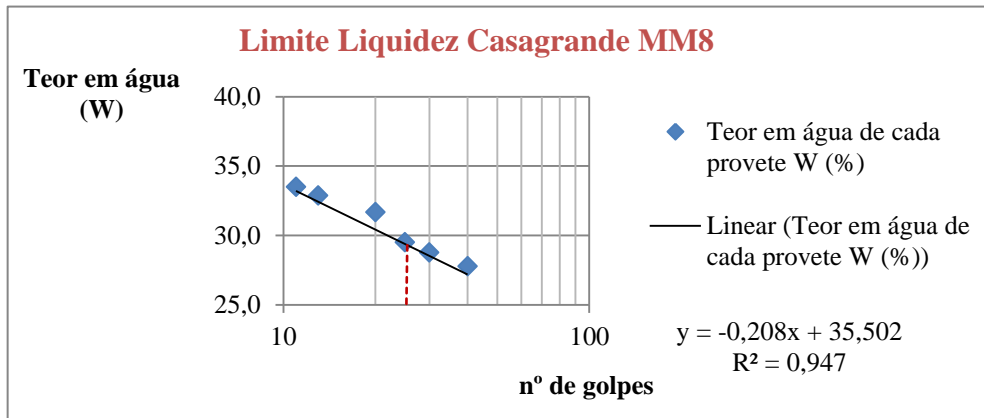


Figura 4.30 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do MM8.

- Ensaio para determinação do limite de liquidez através do cone pentrométrico da *British Standard* (BS):

O limite de liquidez é caracterizado como sendo o teor em água (LL_C) correspondente a uma penetração do cone de 20 mm (Quadro 0.44), cujos gráficos estão representados mais abaixo (Figura 4.31; Figura 4.32; Figura 4.33; Figura 4.34; Figura 4.35; Figura 4.36; Figura 4.37; Figura 4.38).

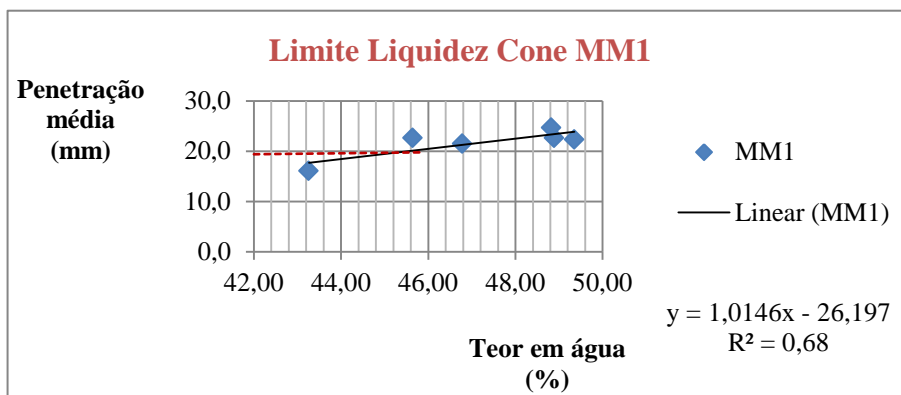


Figura 4.31 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM1.

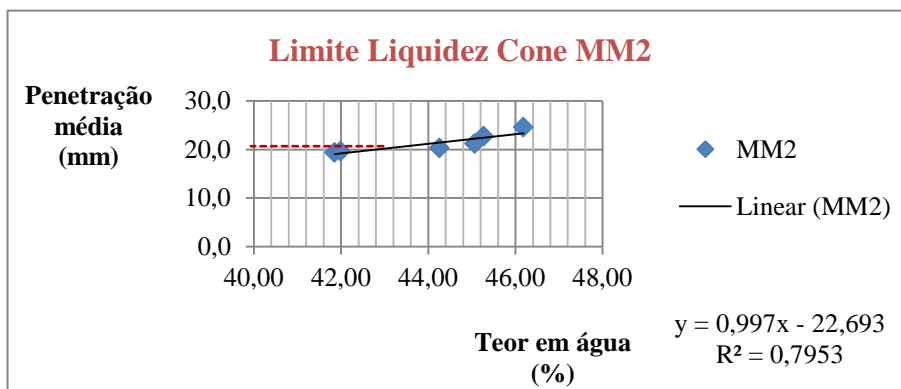


Figura 4.32 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM2.

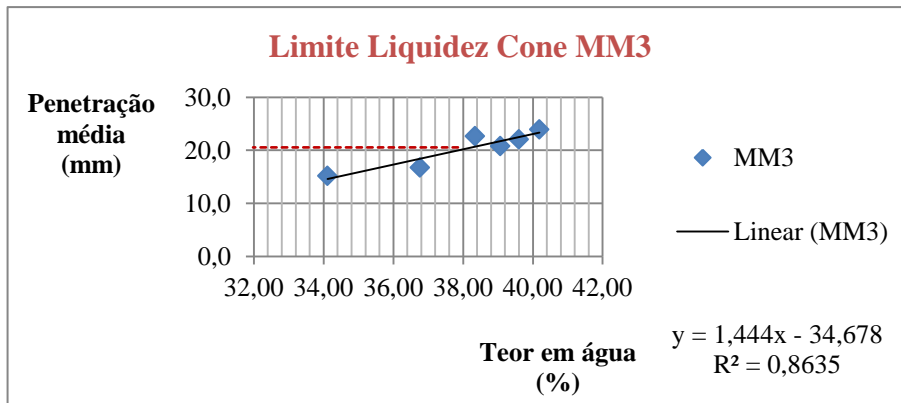


Figura 4.33 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM3.

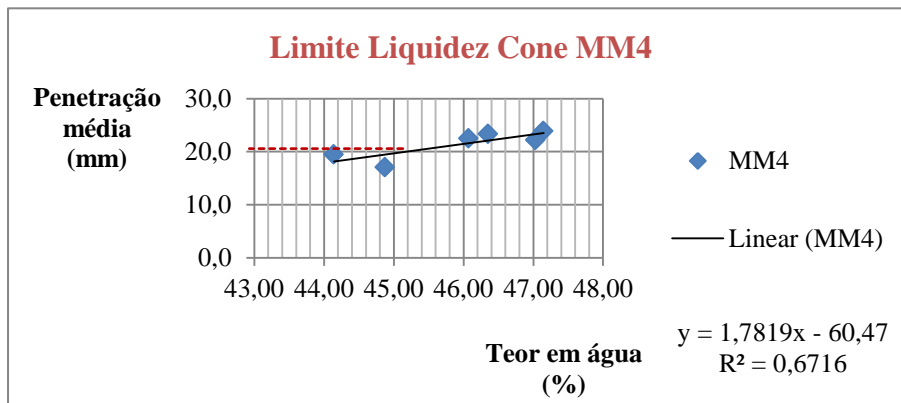


Figura 4.34 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM4.

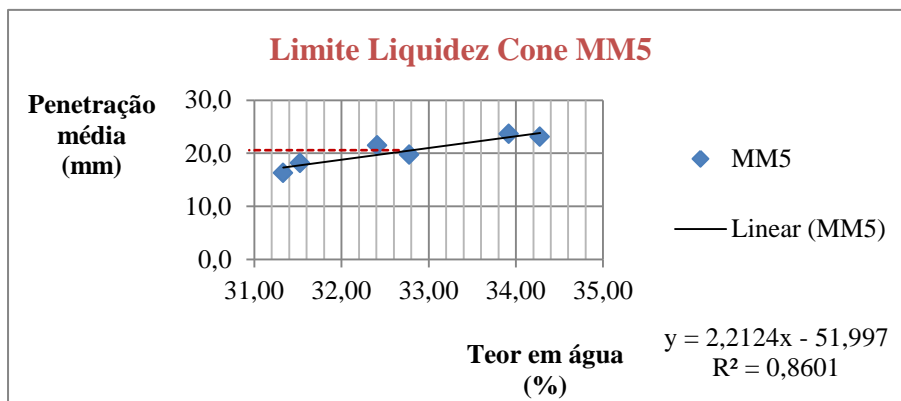


Figura 4.35 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM5.

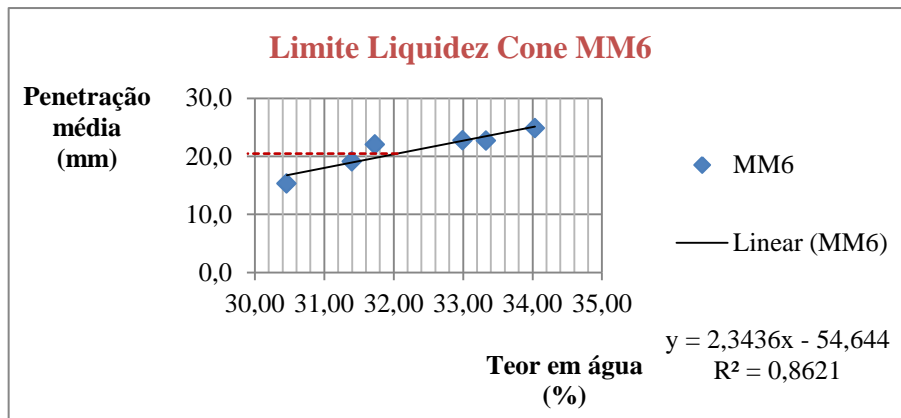


Figura 4.36 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM6.

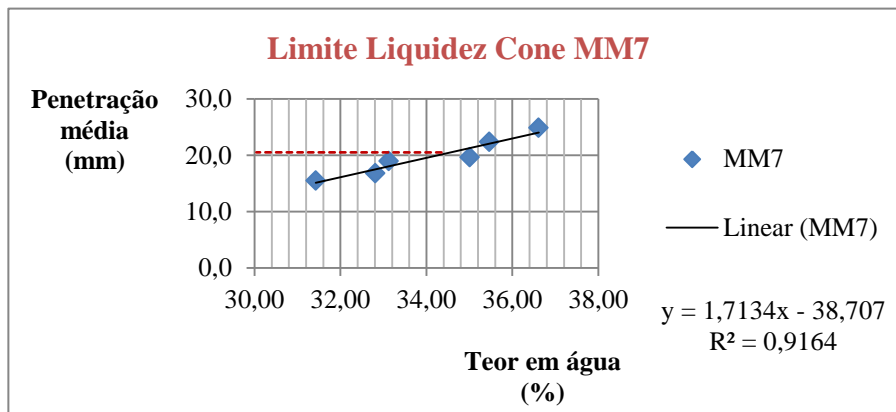


Figura 4.37 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM7.

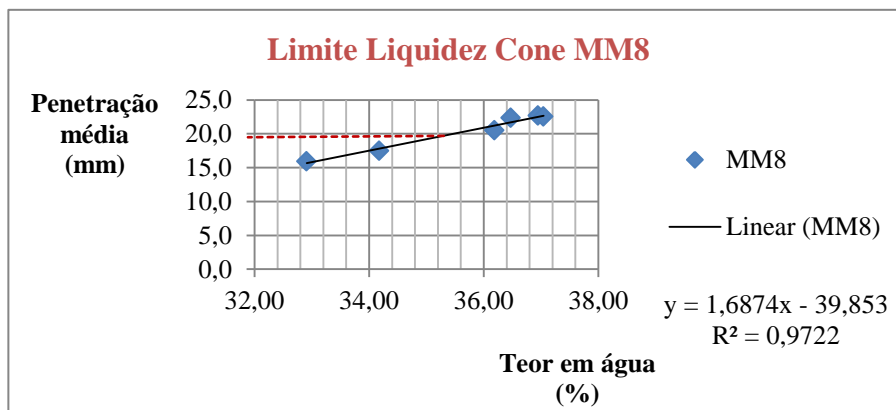


Figura 4.38 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do MM8.

Na determinação do **índice de plasticidade (I_P e I_{Pc})** para cada nível de solo residual foram usados os valores relativos ao limite de liquidez (LL e LLc), respetivamente, através dos métodos da concha de Casagrande e do cone da BS. Apresentam-se de seguida os cálculos para determinação dos índices de plasticidade:

$$I_{P\ MM1} = W_L - W_P = LL - LP = 44,08 - 33,39 = 11 \%$$

$$I_{P\ MM2} = W_L - W_P = LL - LP = 41,84 - 35,70 = 6 \%$$

$$I_{P\ MM3} = W_L - W_P = LL - LP = 35,11 - 29,63 = 5 \%$$

$$I_{P\ MM4} = W_L - W_P = LL - LP = 41,65 - 24,96 = 17 \%$$

$$I_{P\ MM5} = W_L - W_P = LL - LP = 30,19 - 24,34 = 6 \%$$

$$I_{P\ MM6} = W_L - W_P = LL - LP = 28,53 - 22,91 = 6 \%$$

$$I_{P\ MM7} = W_L - W_P = LL - LP = 30,58 - 20,86 = 10 \%$$

$$I_{P\ MM8} = W_L - W_P = LL - LP = 30,30 - 23,35 = 7 \%$$

$$I_{Pc\ MM1} = W_L - W_P = LLc - LP = 45,53 - 33,39 = 12 \%$$

$$I_{Pc\ MM2} = W_L - W_P = LLc - LP = 42,82 - 35,70 = 7 \%$$

$$I_{Pc\ MM3} = W_L - W_P = LLc - LP = 37,87 - 29,63 = 8 \%$$

$$I_{Pc\ MM4} = W_L - W_P = LLc - LP = 45,16 - 24,96 = 20 \%$$

$$I_{Pc\ MM5} = W_L - W_P = LLc - LP = 32,54 - 24,34 = 8 \%$$

$$I_{Pc\ MM6} = W_L - W_P = LLc - LP = 31,85 - 22,91 = 9 \%$$

$$I_{Pc\ MM7} = W_L - W_P = LLc - LP = 34,26 - 20,86 = 13 \%$$

$$I_{Pc\ MM8} = W_L - W_P = LLc - LP = 35,47 - 23,35 = 12 \%$$

Através da concha de Casagrande promovem-se mais erros na leitura do que através do cone BS e também se sabe que em solos lamelares e granulares a concha de Casagrande origina um erro maior, uma vez que condiciona a orientação das partículas durante o deslizamento. Como o método do Cone é um pouco mais preciso que o método da concha de Casagrande, os valores obtidos para o índice de plasticidade I_{Pc} são de maior fiabilidade. Nota-se que os índices de plasticidade I_{Pc} do perfil de solos residuais de Montemor-o-Novo são todos eles mais elevados em comparação com os índices de plasticidade I_P , variando de 7 % a 20 %, enquanto que os I_P variam entre 5 % e 17 %.

Dado que a determinação do limite de retração (LR ou w_R) em solos siltosos é complicada em condições laboratoriais, porque há alguma dispersão e por vezes pode-se aproximar demasiado do limite de plasticidade, optou-se por não realizar este ensaio. Apesar de tudo, determinou-se o

limite de retração das amostras do perfil do Montemor-o-Novo, através do ábaco (apresentado no manual da norma), que conjuga o limite de liquidez pela concha de Casagrande com o índice de plasticidade de cada amostra. Obtiveram-se os seguintes resultados:

$$W_{R\ MM1} = 27$$

$$W_{R\ MM2} = 33$$

$$W_{R\ MM3} = 26$$

$$W_{R\ MM4} = 19$$

$$W_{R\ MM5} = 21$$

$$W_{R\ MM6} = 21$$

$$W_{R\ MM7} = 19$$

$$W_{R\ MM8} = 22$$

Ou ainda, indo pela fórmula:

$$W_{R\ MM1} = w_L - (I_P / 0,73) = 44,08 - (10,69 / 0,73) = 29 \%$$

$$W_{R\ MM2} = w_L - (I_P / 0,73) = 41,84 - (6,14 / 0,73) = 33 \%$$

$$W_{R\ MM3} = w_L - (I_P / 0,73) = 35,11 - (5,48 / 0,73) = 28 \%$$

$$W_{R\ MM4} = w_L - (I_P / 0,73) = 41,65 - (16,69 / 0,73) = 19 \%$$

$$W_{R\ MM5} = w_L - (I_P / 0,73) = 30,19 - (5,85 / 0,73) = 22 \%$$

$$W_{R\ MM6} = w_L - (I_P / 0,73) = 28,53 - (5,62 / 0,73) = 21 \%$$

$$W_{R\ MM7} = w_L - (I_P / 0,73) = 30,58 - (9,72 / 0,73) = 17 \%$$

$$W_{R\ MM8} = w_L - (I_P / 0,73) = 30,30 - (6,95 / 0,73) = 21 \%$$

Apresentam-se também cálculos de outros índices:

Atividade coloidal do solo:

$$Ac_{\ MM1} = I_P / \% < 2\ \mu\text{m} = 10,69 / 5,90 = 1,81 \%$$

$$Ac_{\ MM2} = I_P / \% < 2\ \mu\text{m} = 6,14 / 8,37 = 0,73 \%$$

$$Ac_{\ MM3} = I_P / \% < 2\ \mu\text{m} = 5,48 / 7,91 = 0,69 \%$$

$$Ac_{\ MM4} = I_P / \% < 2\ \mu\text{m} = 16,69 / 5,95 = 2,80 \%$$

$$Ac_{\ MM5} = I_P / \% < 2\ \mu\text{m} = 5,85 / 6,08 = 0,96 \%$$

$$Ac_{\ MM6} = I_P / \% < 2\ \mu\text{m} = 5,62 / 6,11 = 0,92 \%$$

$$Ac_{MM7} = I_p / \% < 2 \mu m = 9,72 / 6,04 = 1,61 \%$$

$$Ac_{MM8} = I_p / \% < 2 \mu m = 6,95 / 6,05 = 1,15 \%$$

Índice de consistência:

$$I_{C_{MM1}} = (w_L - w_0) / I_p = (44,08 - 5,11) / 10,69 = 4$$

$$I_{C_{MM2}} = (w_L - w_0) / I_p = (41,84 - 5,31) / 6,14 = 6$$

$$I_{C_{MM3}} = (w_L - w_0) / I_p = (35,11 - 2,86) / 5,48 = 6$$

$$I_{C_{MM4}} = (w_L - w_0) / I_p = (41,65 - 4,23) / 16,69 = 2$$

$$I_{C_{MM5}} = (w_L - w_0) / I_p = (30,19 - 2,77) / 5,85 = 5$$

$$I_{C_{MM6}} = (w_L - w_0) / I_p = (28,53 - 2,02) / 5,62 = 5$$

$$I_{C_{MM7}} = (w_L - w_0) / I_p = (30,58 - 2,56) / 9,72 = 3$$

$$I_{C_{MM8}} = (w_L - w_0) / I_p = (30,30 - 2,50) / 6,95 = 4$$

Índice de liquidez:

$$I_{L_{MM1}} = (w_0 - w_p) / I_p = (5,11 - 33,39) / 10,69 = -3$$

$$I_{L_{MM2}} = (w_0 - w_p) / I_p = (5,31 - 35,70) / 6,14 = -5$$

$$I_{L_{MM3}} = (w_0 - w_p) / I_p = (2,86 - 29,63) / 5,48 = -5$$

$$I_{L_{MM4}} = (w_0 - w_p) / I_p = (4,23 - 24,96) / 16,69 = -1$$

$$I_{L_{MM5}} = (w_0 - w_p) / I_p = (2,77 - 24,34) / 5,85 = -4$$

$$I_{L_{MM6}} = (w_0 - w_p) / I_p = (2,02 - 22,91) / 5,62 = -4$$

$$I_{L_{MM7}} = (w_0 - w_p) / I_p = (2,56 - 20,86) / 9,72 = -2$$

$$I_{L_{MM8}} = (w_0 - w_p) / I_p = (2,50 - 23,35) / 6,95 = -3$$

Os solos residuais das rochas tonalíticas de Montemor-o-Novo, relativamente aos outros perfis, são os que apresentam maiores plasticidades devido à maior percentagem de finos (nomeadamente de argila).

Nota-se que as propriedades geotécnicas relativas aos limites de consistência não diferem muito umas das outras, o que revela a existência de uma grande uniformidade nas características deste solo.

Quanto ao estado de consistência do solo, comparando o método da concha de Casagrande com o método do Cone de penetração, verifica-se que os valores do limite de liquidez determinados pelo método do Cone são superiores aos valores determinados pela concha de Casagrande.

Com os ensaios de laboratório foi possível determinar os limites de consistência, nomeadamente o limite de liquidez (w_L) e o limite de plasticidade (w_P), a partir dos quais se determinaram outros parâmetros, que foram uma contribuição ao conhecimento dos solos em estudo, como o índice de plasticidade (I_P), o índice de liquidez (I_L), o índice de consistência (I_C), a atividade coloidal (A_c) e o limite de retração (w_R).

O índice de consistência apresenta resultados superiores a 2, o que significa que os solos têm pouca probabilidade de ficarem instáveis ou de colapsarem por saturação, porque os teores em água naturais também estão muito longe do limite de liquidez.

O mesmo acontece com os valores do índice de liquidez, que apesar de serem negativos e próximos de 1, o risco do solo entrar em liquefação é muito reduzido (quase nulo) e para que tal acontecesse o teor em água natural teria de ser igual ou superior a 40 % (o que é bastante improvável).

Os índices de liquidez são sempre negativos devido ao limite de plasticidade ser sempre superior ao teor em água no estado natural.

Os valores da atividade coloidal (que variam entre 0,69 % e 2,80 %) indicam que a pouca argila existente é ativa.

4.2.1.5 - Classificação geotécnica

As classificações geotécnicas (AASHTO e Sistema Unificado) dos solos residuais das rochas ígneas quartzodioríticas do maciço eruptivo de Montemor-o-Novo são apresentados em anexo no Quadro 0.45.

Em relação à Classificação AASHTO, todos os solos amostrados encontram-se entre os grupos A-1 e A-2, o que significa que para fins rodoviários todos indicam um comportamento na camada sob o pavimento excelente a bom.

Em relação à Classificação do Sistema Unificado, os solos do perfil de Montemor-o-Novo foram classificados como areias bem graduadas com silte (SW-SM), areias mal graduadas siltosas (SP-SM) e areias bem graduadas argilosas (SW-SC).

4.2.1.6 - Teor em água

Os valores médios dos teores em água aparecem registados no Quadro 0.46.

Os valores determinados para o teor em água no estado natural ao longo do perfil são coerentes com a profundidade, registrando-se pequenas variações pontuais, como por exemplo no nível MM3, o que pode ser justificado pela heterogeneidade do perfil. O teor em água é mais alto nos níveis mais superficiais, diminuindo com a profundidade do perfil de solo.

4.2.1.7 - Expansibilidade

Seguidamente procede-se à determinação da expansibilidade de cada solo (Quadro 0.48; Quadro 0.49; Quadro 0.50; Quadro 0.51).

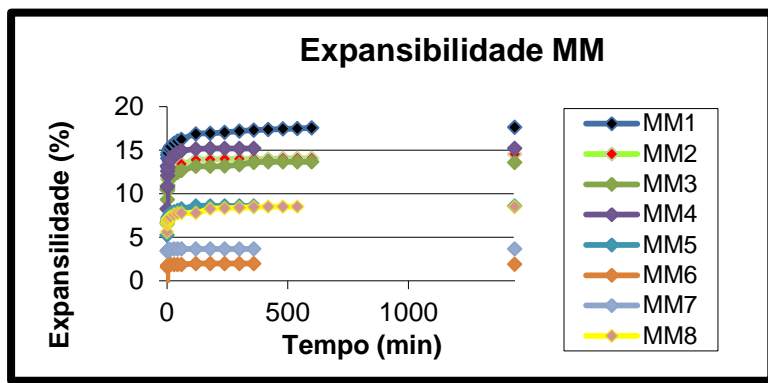


Figura 4.39 - Representação gráfica do ensaio de expansibilidade para o perfil de Montemor-o-Novo.

As expansibilidades obtidas para o perfil de Montemor-o-Novo (Figura 4.39) variam de 2 % a 17,6 %, sendo portanto valores bastante distanciados. Este perfil apresenta expansibilidades altas uma vez que o solo residual de um quartzodiorito é o mais expansivo, o que é justificado graças à sua maior percentagem de finos e maior plasticidade, quando comparado com os valores obtidos para os solos dos outros perfis. Todavia, a expansibilidade não depende tanto da quantidade como depende da qualidade dos minerais argilosos.

Os valores do teor em água obtidos no final do ensaio, apresentam-se no Quadro 0.47.

4.2.1.8 - Equivalente de areia

Antes da realização do ensaio do equivalente de areia determinou-se o valor do teor em água de cada amostra (Quadro 0.52).

Os valores determinados para o equivalente de areia e equivalente de areia visual são apresentados em anexo, Quadro 0.53.

Os valores de equivalente de areia no perfil do Montemor-o-Novo apresentam uma variação entre os 21 % e os 40 %.

4.2.1.9 - Peso específico das partículas sólidas

A determinação do peso específico das partículas sólidas corresponde aos seus valores médios. Os pesos específicos das partículas sólidas (γ_s) do perfil de Montemor-o-novo (Quadro 0.54), são semelhantes e estão acima da média considerada para solos granitóides ($\gamma_s = 25,9 \text{ KN/m}^3$), o que é de esperar uma vez que estes solos têm maior percentagem de minerais ferromagnesianos, portanto mais densos. Apresenta o valor mais baixo o solo residual de MM4 e o valor mais alto o solo residual de MM1 (variando a densidade de 2,66 a 2,98). Daqui se conclui que os valores de baixa densidade, vão corresponder a camadas de solo com maior percentagem de quartzo, feldspato e mica, e os valores de alta densidade vão corresponder a camadas de solo que contêm maior percentagem de minerais ferromagnesianos. Isto porque os minerais ferromagnesianos possuem densidades superiores aos minerais félsicos, como já foi referido anteriormente.

4.2.1.10 - Permeabilidade

A permeabilidade para os vários níveis recolhidos é descrita no Quadro 0.55, em anexo. O peso do amostrador sem nada é igual a 554,58 g para efeitos de cálculos.

A permeabilidade (k) do perfil de Montemor-o-Novo (Figura 4.40) é considerada média ($k = 10^{-4} \text{ m/s}$) a baixa ($k = 10^{-6} \text{ m/s}$), típica de solos com areias finas, ou siltosas. Aos solos com permeabilidade superior (neste caso, a camada MM7) correspondem menores quantidades de silte.

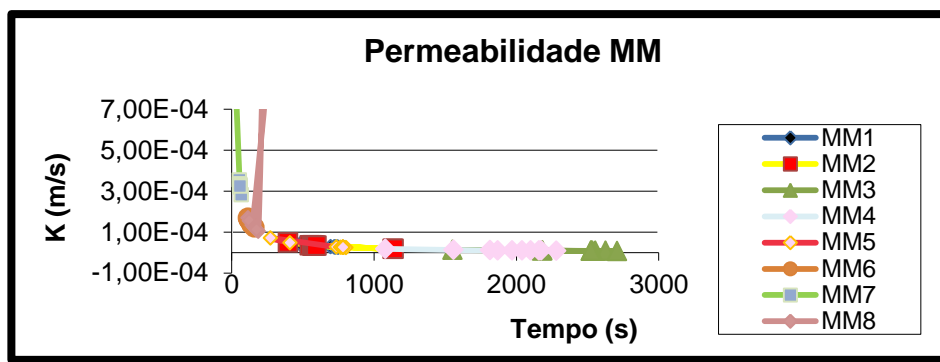


Figura 4.40 - Gráfico mostrando a evolução do coeficiente de permeabilidade ao longo do tempo (K versus t) para o perfil de Montemor-o-Novo.

4.2.1.11 - Teor em matéria orgânica

O teor em matéria orgânica (MO) detetado nos solos dos quartzodioritos do perfil de Montemor-o-Novo (Quadro 0.56) é considerado significativo (variando de 4,4 % a 8,8 %), pois é superior a 2 %, logo, poderá existir alguma influência nas propriedades geotécnicas dos solos.

4.3 - Solos residuais do maciço granítico do Vimieiro

O maciço granítico do Vimieiro abrange uma área aproximadamente de 350 Km². Trata-se, em grande parte, de granitos grosseiros a médios, porfiróides, biotíticos, de composição calco-alcalina e por vezes associados a pegmatitos (Zbyszewski et al., 1980). Este granito de duas micas é essencialmente biotítico, apresentando megacristais de feldspato potássico branco ou rosado e quanto à textura é hipidiomórfica granular, podendo ter vestígios de deformação (Duarte, 2002).

As formações graníticas do maciço do Vimieiro apresentam variações de fácies ao longo da área de afloramento, o que resulta numa diversificada gama de texturas patentes nas amostras analisadas. A cor dos solos analisados é também muito variada, sendo predominantemente de cor creme-amarelada, passando pelo laranja, rosada, acastanhada. Na seleção do perfil como local de amostragem houve a preocupação, quer de abranger o máximo possível de variabilidades texturais, quer de garantir as condições de segurança para o operador nas manobras de recolha de amostras. De notar que se tratam de solos com alguma coesão, uma vez que os taludes de solos residuais em estudo são verticais a sub-verticais.

Na periferia do maciço, do lado leste, junto a Vimieiro, o granito é grosseiro a médio de duas micas, pelo que resulta dele um solo arenoso bem graduado; no centro do maciço, junto a S. Gregório, o granito apresenta grão grosseiro, porfiróide, associado a pegmatitos, pelo que resultam dele solos mal graduados com forte percentagem (> 50 %) de seixo; no lado oeste, junto a Sabugueiro, o granito é de grão médio, biotítico, por vezes porfiróide, tectonizado, com nítida foliação, originando uma areia fina silto-argilosa (Duarte, 2002).

4.3.1 - Resultados experimentais

4.3.1.1 - Propriedades físicas *in situ*

As propriedades físicas determinadas *in situ* como sendo o teor em água natural (w_0), peso volúmico no estado natural (γ_0), peso volúmico no estado seco (γ_d), a porosidade (n) e o índice de vazios (e_0), constam no Quadro 4.3 e Quadro 0.57 (anexos).

Quadro 4.3 – Propriedades físicas *in situ* dos solos residuais do maciço do Vimieiro.

Perfil de solo residual	Teor em água no estado natural W ₀ (%)	Peso volúmico no estado natural γ_0 (g/cm ³)	Peso volúmico no estado seco γ_d (g/cm ³)	Porosidade n	índice de vazios "in situ" e ₀
VM1	5	2	2	0	1
VM2	1	2	2	0	1
VM3	2	2	2	0	1
VM4	1	2	2	0	1
VM5	1	2	2	0	1
VM6	5	2	2	0	1
VM7	1	2	2	0	1
VM8	9	2	2	0	1

O teor em água natural do perfil do Vimieiro apresenta valores baixos de teor em água no estado natural que vão de 1 % até aos 9 %. Destaca-se o solo VM6, com o teor em água natural de 6 %, que apresenta uma maior percentagem de finos, logo uma capacidade de retenção de água superior às amostras mais arenosas.

Neste perfil o peso volúmico no estado natural e o peso volúmico no estado seco são iguais a 2 g/cm³. A porosidade é 0 e o índice de vazios é igual a 1.

O menor valor do peso volúmico seco, determinado *in situ*, pertence ao solo residual VM3, cuja microestrutura se encontra mais aberta devido ao lixiviamento de algumas partículas, facto comprovado pelos valores elevados da porosidade e do índice de vazios (Quadro 0.57 em anexo).

4.3.1.2 - Composição granulométrica

Para as amostras do perfil do maciço do Vimieiro foi efetuada a análise granulométrica das partículas com dimensões superiores a 0,075 mm (75 μ m), correspondente ao peneiro número 200 ASTM, por peneiração húmida (Figura 4.40). Abaixo desta dimensão, a distribuição granulométrica foi feita através do ensaio de textura, por sedimentação, aplicando a lei de Stokes.

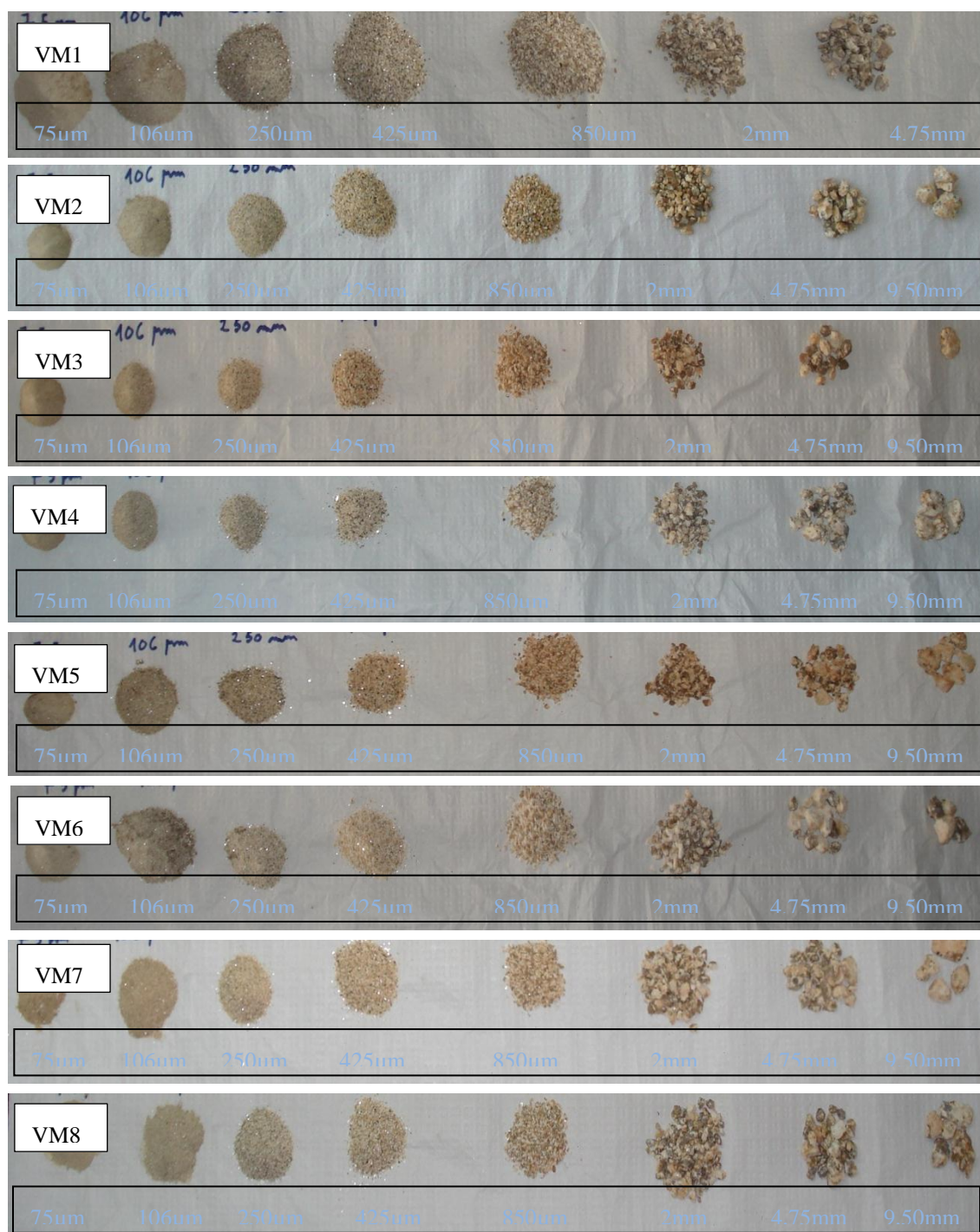


Figura 4.41 - Granulometrias do perfil do maciço do Vimieiro (VM1 no topo até VM8 na base, sucessivamente).

➤ Amostra VM1:

Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 86,35 % da massa de solo total e que se perdeu 13,65 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 109,53 g (Quadro 0.58).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,006 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,25 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,8 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 1,8/0,006 \leftrightarrow Cu = 300$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,25)^2 / (0,006 \times 1,8) \leftrightarrow Cc = 6$$

➤ Amostra VM2:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º17. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 91,59 % da massa de solo total e que se perdeu 8,41 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 33,89 g (Quadro 0.59).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,1 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,5 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,9 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 1,9/0,1 \leftrightarrow Cu = 19$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,5)^2 / (0,1 \times 1,9) \leftrightarrow Cc = 1$$

➤ Amostra VM3:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º 21. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 87,18 % da massa de solo total e que se perdeu 12,82 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 46,68 g (Quadro 0.60).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,005 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,15 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 0,6 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 0,6/0,005 \leftrightarrow Cu = 120$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,15)^2 / (0,005 \times 0,6) \leftrightarrow Cc = 7$$

➤ Amostra VM4:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º18. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 92,75 % da massa de solo total e que se perdeu 7,25 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 28,16 g (Quadro 0.61).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,1 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,6 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 2,2 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 2,2/0,1 \leftrightarrow Cu = 22$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,6)^2 / (0,1 \times 2,2) \leftrightarrow Cc = 2$$

➤ Amostra VM5:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º25. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 91,26 % da massa de solo total e que se perdeu 8,74 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 103,3 g (Quadro 0.62).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,07 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,7 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 2,8 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 2,8/0,07 \leftrightarrow Cu = 40$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,7)^2 / (0,07 \times 2,8) \leftrightarrow Cc = 2$$

➤ Amostra VM6:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º23. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 80,38 % da massa de solo total e que se perdeu 19,62 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 229,37 g (Quadro 0.63).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,002 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,2 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 1,8 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 1,8/0,002 \leftrightarrow Cu = 900$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,2)^2 / (0,002 \times 1,8) \leftrightarrow Cc = 11$$

➤ Amostra VM7:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º24. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 91,56 % da massa de solo total e que se perdeu 8,44 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 96,89 g (Quadro 0.64).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,1 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

$$D_{30} = 0,65 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 2,9 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 2,9/0,1 \leftrightarrow Cu = 29$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,65)^2 / (0,1 \times 2,9) \leftrightarrow Cc = 1,456 \approx 1$$

➤ Amostra VM8:

De forma a obter um resultado mais representativo do solo residual utilizou-se a amostra recolhida no extrator n.º22. Através dos resultados do ensaio granulométrico verifica-se que foram retidos 89,51 % da massa de solo total e que se perdeu 10,49 % durante o ensaio granulométrico, o que corresponde a 130,25 g (Quadro 0.65).

Através da análise do gráfico, podem-se então, definir os parâmetros D_{10} , D_{30} e D_{60} , parâmetros estes que servem para calcular o coeficiente de uniformidade (Cu) e o coeficiente de curvatura (Cc):

$$D_{10}^* = 0,05 \text{ mm} \text{ (* este valor é retirado por aproximação, prolongando a reta para 0)}$$

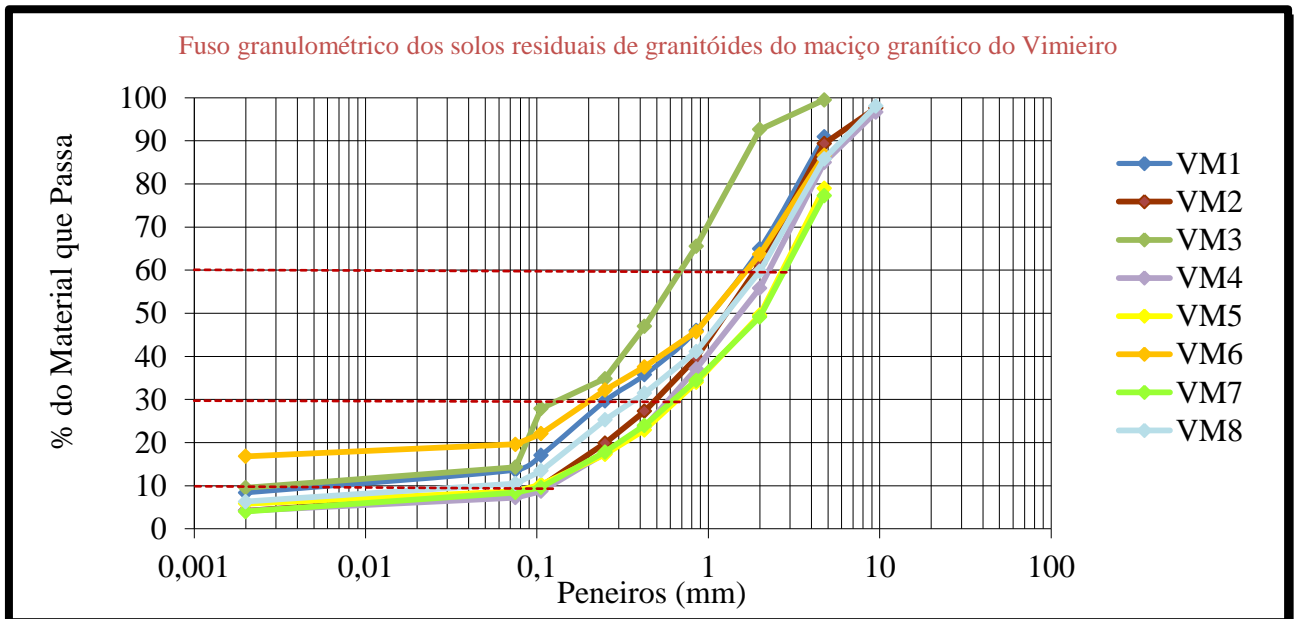
$$D_{30} = 0,4 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 2 \text{ mm}$$

$$Cu = D_{60}/D_{10} \leftrightarrow Cu = 2/0,05 \leftrightarrow Cu = 40$$

$$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \leftrightarrow Cc = (0,4)^2 / (0,05 \times 2) \leftrightarrow Cc = 2$$

Na Figura 4.42 apresentam-se as curvas granulométricas das 8 amostras colhidas no perfil de solos residuais do maciço granítico do Vimieiro.



Argila	Silte			Areia			Seixo			Cascalho
	fino	médio	grosso	fina	média	grossa	fino	médio	grosso	

Figura 4.42 - Curvas granulométricas dos solos residuais do maciço granítico do Vimieiro.

De acordo com o gráfico da Figura 4.42 pode-se determinar a proporção existente dos vários componentes granulométricos (cascalho, areia, silte e argila) como referido atrás. Verifica-se que as curvas dos vários níveis do perfil são bastante concordantes entre si, apenas o VM3 se afasta ligeiramente. Conclui-se que o perfil do Vimieiro é constituído por uma grande porção de areia e seixo fino a médio, e uma pequena quantidade de silte e argila. Na maioria dos níveis de solos a percentagem de argila é alta ($> 5\%$) o que significa que a maior parte dos finos são essencialmente argilosos.

Os solos com maior percentagem de “finos” são típicos dos solos residuais jovens situados logo acima do maciço rochoso e que ainda não sofreram muita lixiviação. Os solos maduros são aqueles que já sofreram uma forte lixiviação, resultando daí uma considerável perda de “finos”.

Pode-se constatar que o solo do perfil do Vimieiro é bem graduado nos vários níveis do perfil, pois a partir das curvas granulométricas observa-se que estas abrangem grãos de várias dimensões (a granulometria é extensa). Como o C_u está entre 19 e 300 ($C_u > 4$ em seixos ou $C_u > 6$ em areias) e o C_c registado varia entre 1 e 7, então, globalmente, o solo do perfil do Vimieiro classifica-se como bem graduado (excepto o solo VM6 cujos valores de C_u e C_c são muito elevados devido ao valor retirado do D_{10}).

A partir do nível VM5 em profundidade nota-se que a coloração do solo residual varia, ficando a sua cor mais alaranjada.

Pela análise dos parâmetros granulométricos do perfil do Vimieiro, verifica-se que os intervalos de variação dos respetivos valores são consideráveis o que reforça a ideia da existência de variabilidade textural associada a estes solos.

4.3.1.3 - Determinação da textura de solos

Os cálculos são feitos através de regras de três simples, considerando que cada colheita corresponde a 24 mL de uma amostra total de 1000 mL. A diferença de peso entre a primeira colheita (silte + argila) e a segunda colheita (argila), corresponde ao peso da **fração silte**. Ao peso de cada fração deve-se retirar o peso do hexametáfosfato adicionado. Para este peso, ou faz-se um ensaio em branco (20 mL numa proveta de 1000 mL, amostragem de 24 mL do total da proveta) seguido de pesagem ou faz-se um cálculo empírico do peso correspondente a 24 mL de uma amostra onde foram adicionados 20 mL de solução dispersante. Efetuam-se depois os cálculos tendo em conta o peso de areia ou de fração grosseira, para se obter o peso e as respetivas proporções das várias frações constituintes da amostra.

O Quadro 0.66 em anexo mostra a quantidade de massa obtida retida em crivos de 0,210 mm.

No Quadro 0.67 apresenta-se a correção do teor em água.

Na amostragem de silte/limo + argila os valores da recolha de silte + argila estão descritos Quadro 0.68, em anexo.

Na amostragem de argila os valores da recolha de argila estão descritos no anexo Quadro 0.69.

Usou-se a correcção do ensaio em branco igual a 0,02 g.

Para a determinação da percentagem de silte recorreu-se à fórmula (2.8) e para a determinação da percentagem de argila recorreu-se à fórmula (2.9).

Na prática considera-se que a colheita feita com a pipeta corresponde a uma esfera de suspensão cujo centro se situa na extremidade da pipeta. Com isto haverá sempre um pequeno erro, uma vez que as partículas são recolhidas abaixo ou acima do plano estabelecido. Por isso, pode-se recolher algumas partículas maiores que as pretendidas mas, por outro lado, parte da recolha não chega a incluir partículas com o diâmetro máximo pretendido, admitindo-se que esta compensação contribui para minimizar o erro da recolha por pipetagem.

O erro foi calculado pela fórmula (2.10).

4.3.1.4 - Limites de consistência

- Ensaio para determinação do limite de plasticidade:

O limite de plasticidade da amostra ensaiada é a média dos teores de humidade determinados para os quatro provetes (Quadro 0.70).

- Ensaio para determinação do limite de liquidez através da concha de Casagrande:

O limite de liquidez da amostra ensaiada é dado pelo teor em água (Quadro 0.71) correspondente a 25 pancadas, obtido por interpolação na reta traçada (com uma linha tracejada vermelha) (

Figura 4.43; Figura 4.44; Figura 4.45; Figura 4.46; Figura 4.47; Figura 4.48; Figura 4.49; Figura 4.50).

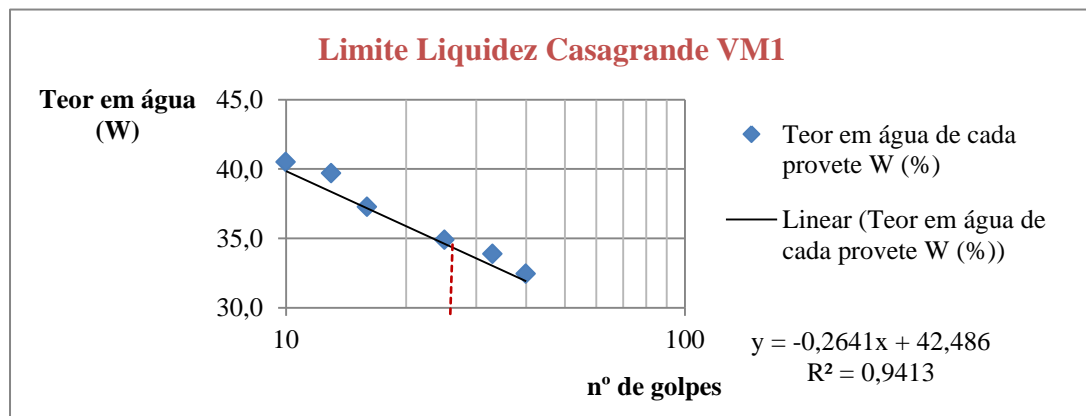


Figura 4.43 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM1.

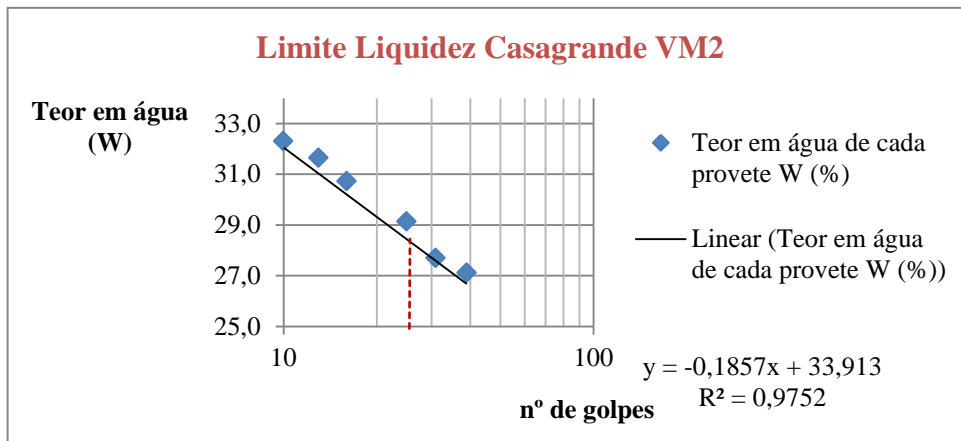


Figura 4.44 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM2.

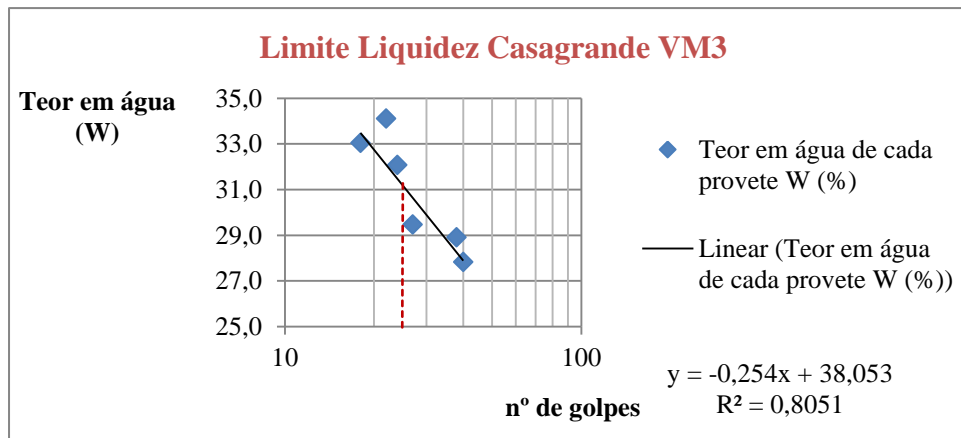


Figura 4.45 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM3.

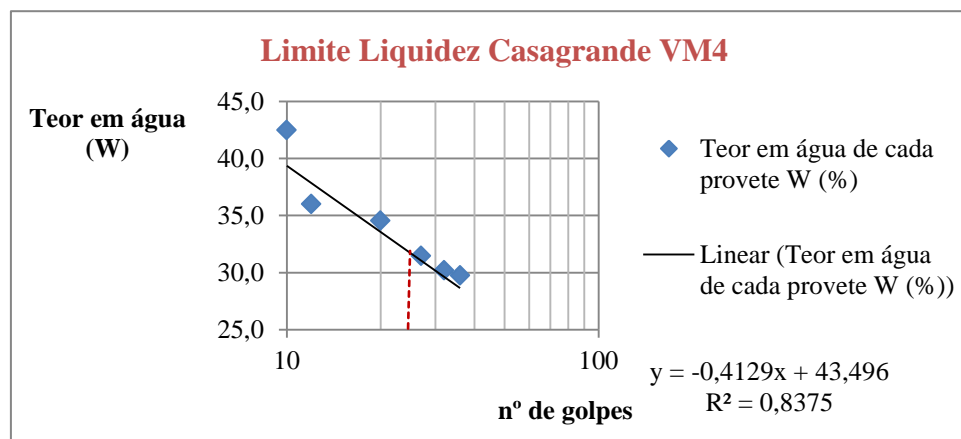


Figura 4.46 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM4.

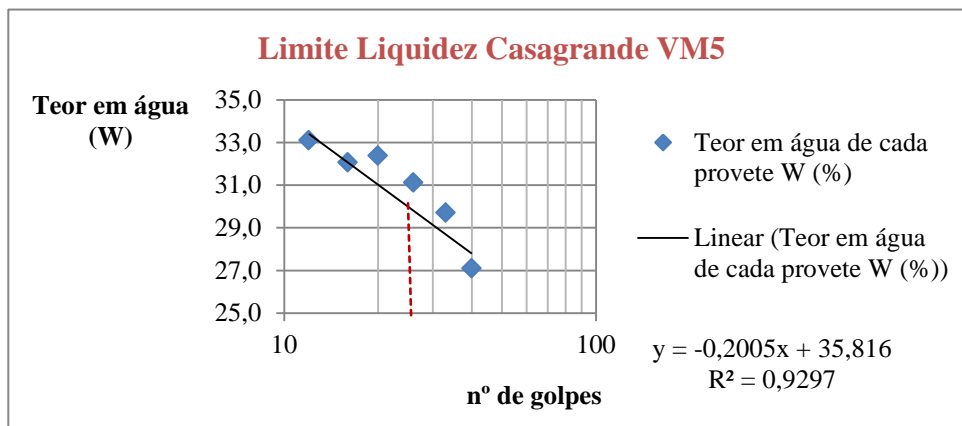


Figura 4.47 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM5.

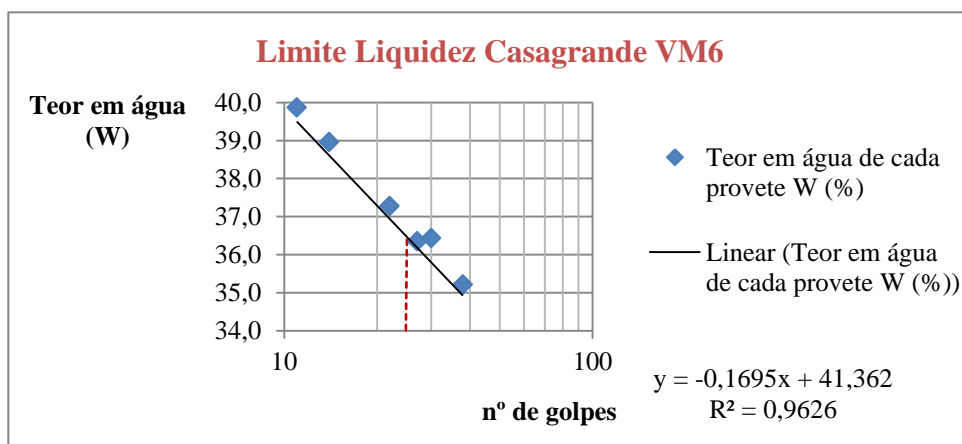


Figura 4.48 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM6.

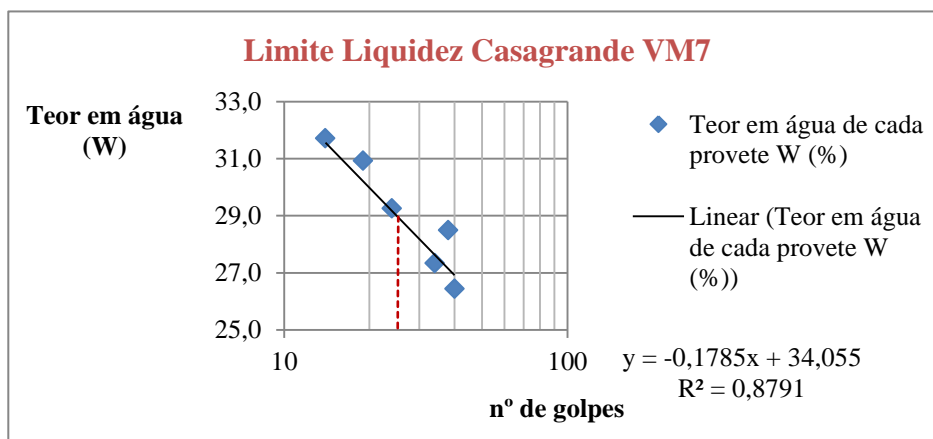


Figura 4.49 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM7.

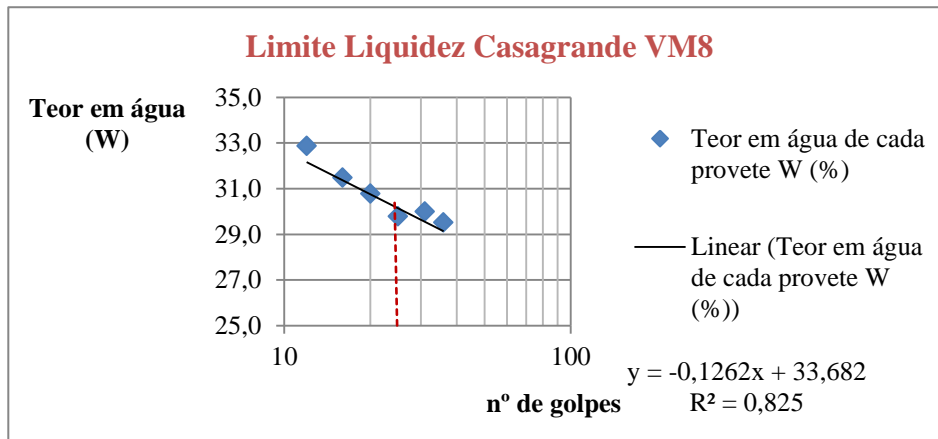


Figura 4.50 - Gráfico do LL pelo método de Casagrande com reta de melhor ajuste para solos do VM8.

- Ensaio para determinação do limite de liquidez através do cone penetrométrico da *British Standard* (BS):

O limite de liquidez é caracterizado como sendo o teor em água (LL_C) correspondente a uma penetração do cone de 20 mm (Quadro 0.72), cujos gráficos estão representados mais abaixo (Figura 4.51; Figura 4.52; Figura 4.53; Figura 4.54; Figura 4.55; Figura 4.56; Figura 4.57; Figura 4.58).

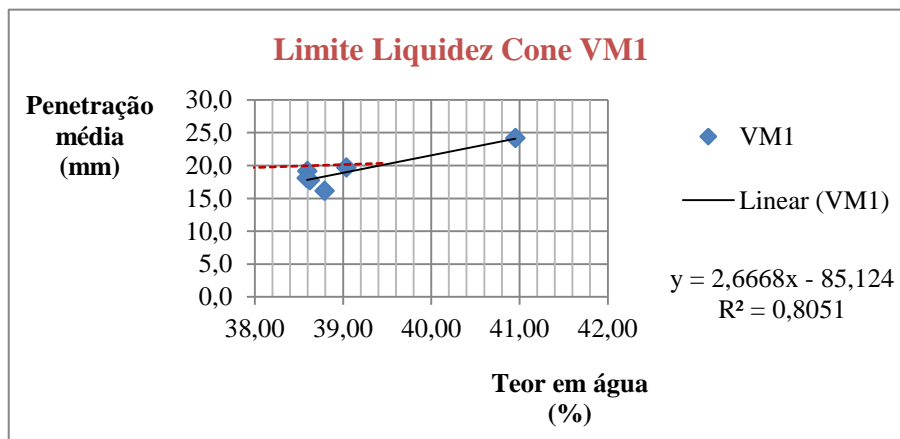


Figura 4.51 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM1.

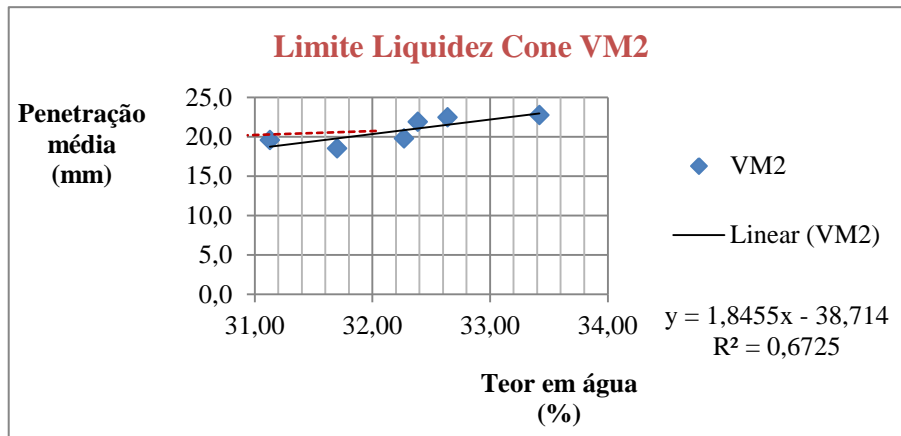


Figura 4.52 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM2.

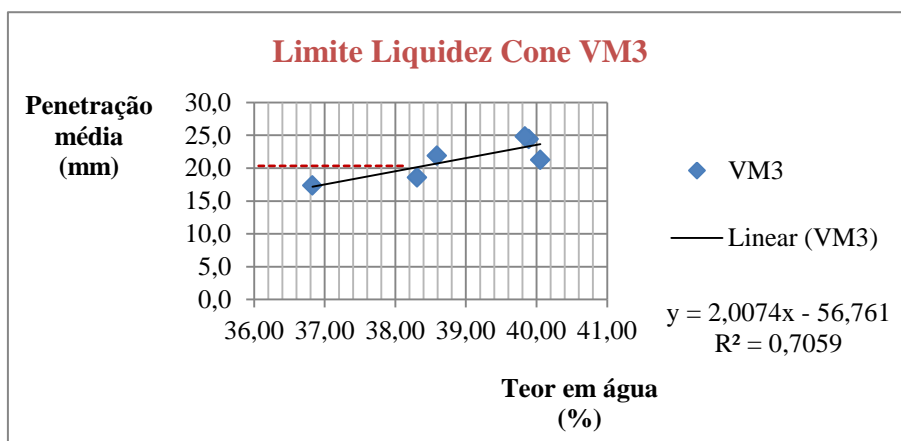


Figura 4.53 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM3.

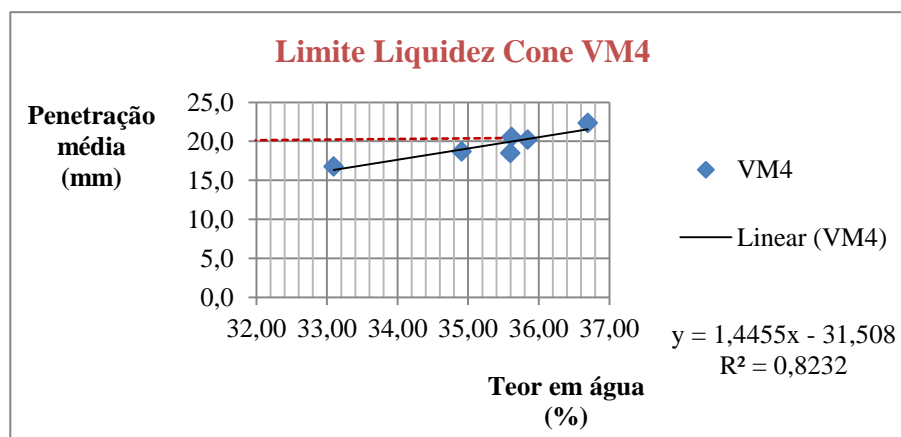


Figura 4.54 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM4.

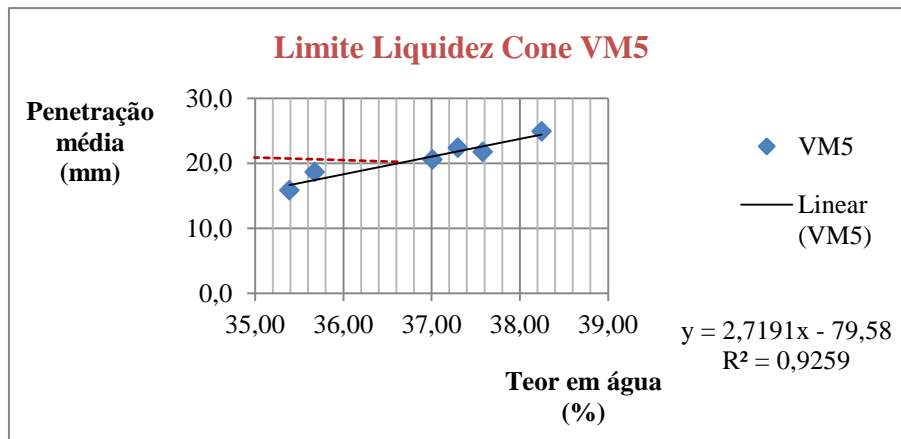


Figura 4.55 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM5.

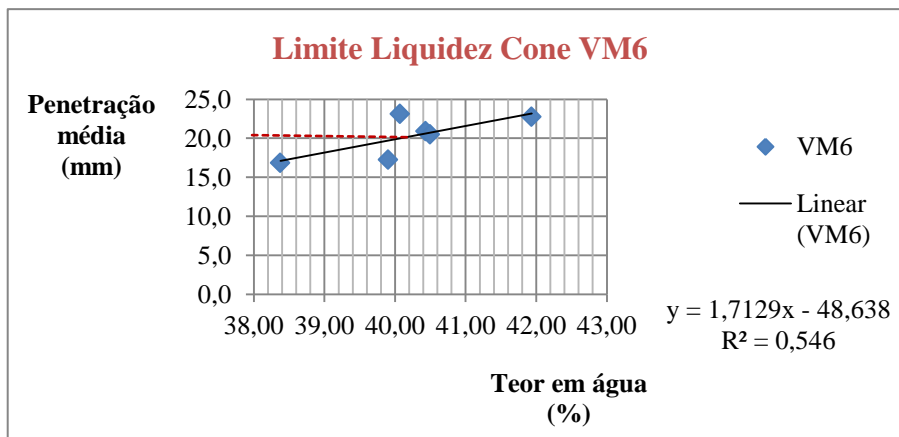


Figura 4.56 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM6.

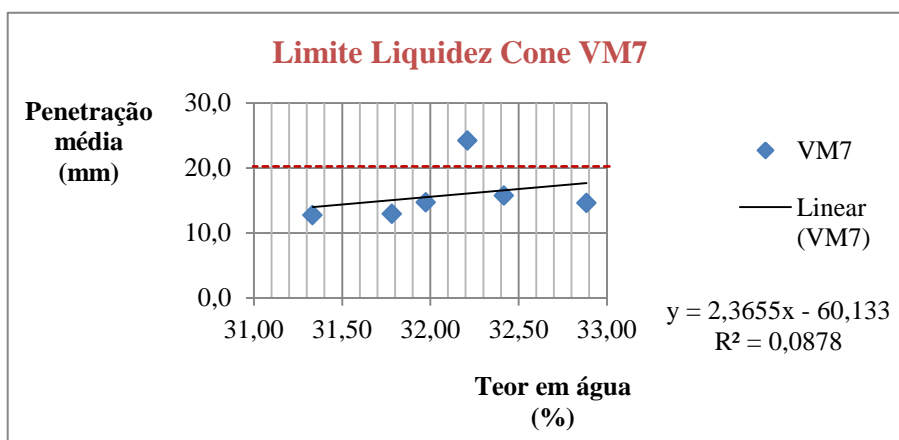


Figura 4.57 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM7.

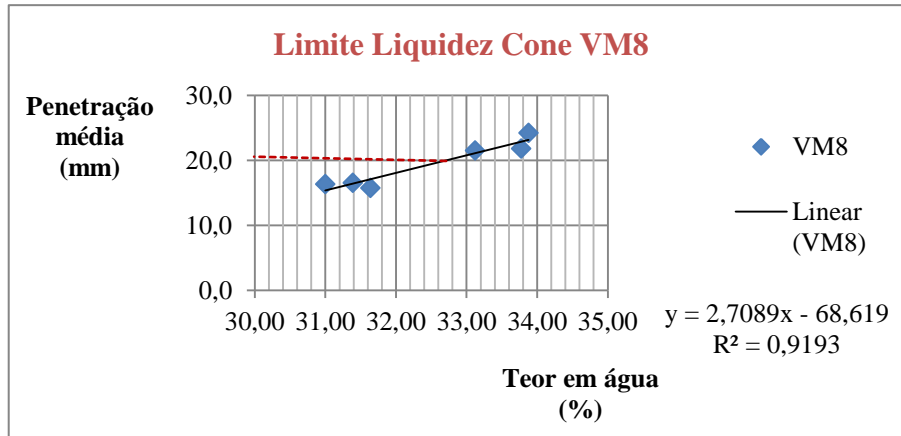


Figura 4.58 - Gráfico do LL pelo método do Cone com reta de melhor ajuste para solos do VM8.

Na determinação do **índice de plasticidade (I_P e I_{Pc})** para cada nível de solo residual foram usados os valores relativos ao limite de liquidez (LL e LLc), respetivamente, através dos métodos da concha de Casagrande e do cone da BS. Apresentam-se de seguida os cálculos para determinação dos índices de plasticidade:

$$I_{P\text{ VM1}} = W_L - W_P = LL - LP = 35,88 - 22,51 = 13 \%$$

$$I_{P\text{ VM2}} = W_L - W_P = LL - LP = 29,27 - 22,01 = 7 \%$$

$$I_{P\text{ VM3}} = W_L - W_P = LL - LP = 31,70 - 22,79 = 9 \%$$

$$I_{P\text{ VM4}} = W_L - W_P = LL - LP = 33,17 - 24,58 = 9 \%$$

$$I_{P\text{ VM5}} = W_L - W_P = LL - LP = 30,80 - 19,64 = 11 \%$$

$$I_{P\text{ VM6}} = W_L - W_P = LL - LP = 37,12 - 29,40 = 8 \%$$

$$I_{P\text{ VM7}} = W_L - W_P = LL - LP = 29,59 - 24,50 = 5 \%$$

$$I_{P\text{ VM8}} = W_L - W_P = LL - LP = 30,53 - 26,03 = 5 \%$$

$$I_{Pc\text{ VM1}} = W_L - W_P = LLc - LP = 39,42 - 22,51 = 17 \%$$

$$I_{Pc\text{ VM2}} = W_L - W_P = LLc - LP = 31,81 - 22,01 = 10 \%$$

$$I_{Pc\text{ VM3}} = W_L - W_P = LLc - LP = 38,24 - 22,79 = 15 \%$$

$$I_{Pc\text{ VM4}} = W_L - W_P = LLc - LP = 35,63 - 24,58 = 11 \%$$

$$I_{Pc\text{ VM5}} = W_L - W_P = LLc - LP = 36,62 - 19,64 = 17 \%$$

$$I_{Pc\text{ VM6}} = W_L - W_P = LLc - LP = 40,07 - 29,40 = 11 \%$$

$$I_{Pc\text{ VM7}} = W_L - W_P = LLc - LP = 33,88 - 24,50 = 9 \%$$

$$I_{Pc\text{ VM8}} = W_L - W_P = LLc - LP = 32,71 - 26,03 = 7 \%$$

Através da concha de Casagrande promovem-se mais erros na leitura do que através do cone BS como já foi referido anteriormente. Uma vez que o método do cone é um pouco mais preciso que o método da concha de Casagrande, os valores obtidos para o índice de plasticidade I_{Pc} são de maior fiabilidade. Nota-se que os índices de plasticidade I_{Pc} do perfil de solos residuais do Vimieiro são todos eles mais elevados em comparação com os índices de plasticidade I_P , variando de 7 a 17, enquanto o I_P varia de 5 a 13.

Dado que a determinação do limite de retração (LR ou w_R) em solos siltosos é complicada em condições laboratoriais, porque há alguma dispersão e, por vezes, pode-se aproximar demasiado do limite de plasticidade, optou-se por não realizar este ensaio. Apesar de tudo, determinou-se o limite de retração das amostras de solo do perfil do Vimieiro, através do ábaco, apresentado no manual da norma, a partir do limite de liquidez pela concha de Casagrande e do índice de plasticidade de cada amostra. Obtiveram-se os seguintes resultados:

$$W_{R\ VM1} = 18$$

$$W_{R\ VM2} = 19$$

$$W_{R\ VM3} = 20$$

$$W_{R\ VM4} = 21$$

$$W_{R\ VM5} = 16$$

$$W_{R\ VM6} = 26$$

$$W_{R\ VM7} = 20$$

$$W_{R\ VM8} = 24$$

Ou ainda, indo pela fórmula:

$$W_{R\ VM1} = w_L - (I_P / 0,73) = 35,88 - (13,37 / 0,73) = 18 \%$$

$$W_{R\ VM2} = w_L - (I_P / 0,73) = 29,27 - (7,26 / 0,73) = 19 \%$$

$$W_{R\ VM3} = w_L - (I_P / 0,73) = 31,70 - (8,91 / 0,73) = 20 \%$$

$$W_{R\ VM4} = w_L - (I_P / 0,73) = 33,17 - (8,59 / 0,73) = 21 \%$$

$$W_{R\ VM5} = w_L - (I_P / 0,73) = 30,80 - (11,16 / 0,73) = 16 \%$$

$$W_{R\ VM6} = w_L - (I_P / 0,73) = 37,12 - (7,72 / 0,73) = 27 \%$$

$$W_{R\ VM7} = w_L - (I_P / 0,73) = 29,59 - (5,09 / 0,73) = 23 \%$$

$$W_{R\ VM8} = w_L - (I_P / 0,73) = 30,53 - (4,5 / 0,73) = 24 \%$$

Apresentam-se também cálculos de outros índices:

Atividade coloidal do solo:

$$Ac_{VM1} = I_P / \% < 2 \mu m = 13,37 / 12,44 = 1,07 \%$$

$$Ac_{VM2} = I_P / \% < 2 \mu m = 7,26 / 12,42 = 0,58 \%$$

$$Ac_{VM3} = I_P / \% < 2 \mu m = 8,91 / 8,28 = 1,08 \%$$

$$Ac_{VM4} = I_P / \% < 2 \mu m = 8,59 / 8,28 = 1,04 \%$$

$$Ac_{VM5} = I_P / \% < 2 \mu m = 11,16 / 8,28 = 1,35 \%$$

$$Ac_{VM6} = I_P / \% < 2 \mu m = 7,72 / 16,28 = 0,47 \%$$

$$Ac_{VM7} = I_P / \% < 2 \mu m = 5,09 / 6,22 = 0,82 \%$$

$$Ac_{VM8} = I_P / \% < 2 \mu m = 4,5 / 10,33 = 0,43 \%$$

Índice de consistência:

$$I_C_{VM1} = (w_L - w_0) / I_P = (35,88 - 0,46) / 13,37 = 3$$

$$I_C_{VM2} = (w_L - w_0) / I_P = (29,27 - 0,40) / 7,26 = 4$$

$$I_C_{VM3} = (w_L - w_0) / I_P = (31,70 - 0,41) / 8,91 = 4$$

$$I_C_{VM4} = (w_L - w_0) / I_P = (33,17 - 0,36) / 8,59 = 4$$

$$I_C_{VM5} = (w_L - w_0) / I_P = (30,80 - 0,34) / 11,16 = 3$$

$$I_C_{VM6} = (w_L - w_0) / I_P = (37,12 - 1,73) / 7,72 = 5$$

$$I_C_{VM7} = (w_L - w_0) / I_P = (29,59 - 0,39) / 5,09 = 6$$

$$I_C_{VM8} = (w_L - w_0) / I_P = (30,53 - 0,66) / 4,5 = 7$$

Índice de liquidez:

$$I_L_{VM1} = (w_0 - w_P) / I_P = (0,46 - 22,51) / 13,37 = -2$$

$$I_L_{VM2} = (w_0 - w_P) / I_P = (0,40 - 22,01) / 7,26 = -3$$

$$I_L_{VM3} = (w_0 - w_P) / I_P = (0,41 - 22,79) / 8,91 = -3$$

$$I_L_{VM4} = (w_0 - w_P) / I_P = (0,36 - 24,58) / 8,59 = -3$$

$$I_L_{VM5} = (w_0 - w_P) / I_P = (0,34 - 19,64) / 11,16 = -2$$

$$I_L_{VM6} = (w_0 - w_P) / I_P = (1,73 - 29,40) / 7,72 = -4$$

$$I_{L\text{ VM7}} = (w_0 - w_p) / I_p = (0,39 - 24,50) / 5,09 = -5$$

$$I_{L\text{ VM8}} = (w_0 - w_p) / I_p = (0,66 - 26,03) / 4,5 = -6$$

O solo do maciço do Vimieiro é muito granular e apresenta plasticidade baixa a média o que está de acordo com a sua baixa percentagem de argila. Apresenta em geral pouca consistência, tendo sido difícil obter os limites de consistência nos ensaios realizados.

Comparando o método da concha de Casagrande com o método do Cone de penetração da BS, verifica-se que os valores do limite de liquidez (w_L) determinados pelo método do Cone são superiores aos valores determinados pela concha de Casagrande. Esta situação explica-se pelo facto de para os valores mais altos do limite de liquidez, o método do cone ser mais conservativo, passando-se o inverso para os valores mais baixos do referido limite.

Com os ensaios de laboratório foi possível determinar os limites de consistência, nomeadamente o limite de liquidez (w_L) e o limite de plasticidade (w_p), a partir dos quais se determinaram outros parâmetros, que foram uma contribuição ao conhecimento dos solos em estudo, como o índice de plasticidade (I_p), o índice de liquidez (I_L), o índice de consistência (I_c), a atividade coloidal (A_c) e o limite de retração (w_R).

Os índices de consistência apresentam resultados superiores a 2, o que significa que os solos têm pouca probabilidade de ficarem instáveis ou de colapsarem por saturação, porque os teores em água naturais também estão muito longe do limite de liquidez.

Os índices de liquidez são sempre negativos devido ao limite de plasticidade ser sempre superior ao teor em água no estado natural.

Os valores da atividade coloidal (que variam entre 0,43 % e 1,35 %) indicam que a pouca argila existente é ativa.

4.3.1.5 - Classificação geotécnica

As classificações geotécnicas (AASHTO e Sistema Unificado) dos solos residuais do maciço granítico do Vimieiro são apresentados em anexo, Quadro 0.73.

Em relação à Classificação AASHTO, todos os solos amostrados encontram-se entre os grupos A-1 e A-2, o que significa que para fins rodoviários todos indicam um comportamento na camada sob o pavimento excelente a bom.

No que concerne à Classificação do Sistema Unificado, os solos do perfil do Vimieiro foram classificados como areias bem graduadas argilosas (SW-SC) ou areias bem graduadas com silte (SW-SM).

4.3.1.6 - Teor em água

Os valores médios dos teores em água aparecem registados em anexo, Quadro 0.74.

Os valores determinados para o teor em água no estado natural ao longo do perfil são coerentes com a profundidade, registando-se pequenas variações pontuais o que pode ser justificado pela heterogeneidade do perfil. O teor em água é mais alto nos níveis mais superficiais, diminuindo com a profundidade do perfil de solo. Ainda assim este perfil do Vimieiro apresenta valores muito baixos, quando comparados com os outros locais, devido à época da colheita de amostras ter sido mais tardia, num mês de mais calor, encontrando-se o perfil bastante seco e rijo.

4.3.1.7 - Expansibilidade

As leituras entre cada ensaio foram distanciadas em 5 minutos de diferença para ser mais fácil de realizar as leituras.

Seguidamente procedeu-se à determinação da expansibilidade de cada solo (Quadro 0.76; Quadro 0.77; Quadro 0.78; Quadro 0.79).

As expansibilidades obtidas para o perfil do Vimieiro (Figura 4.59) variam de 5,8 a 11,1%, que também se podem considerar médias, mais uma vez graças à sua elevada percentagem de finos e grande plasticidade.

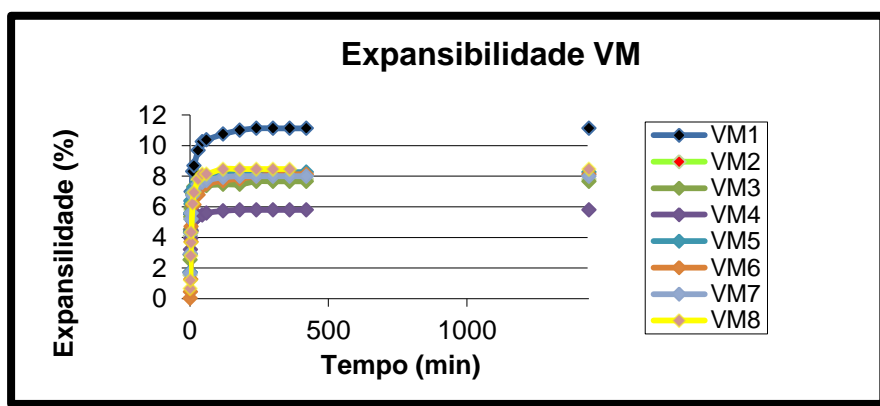


Figura 4.59 - Representação gráfica do ensaio de expansibilidade para o perfil do Vimieiro.

No perfil do Vimieiro a expansibilidade vai diminuir com a profundidade. Ao longo do perfil nota-se uma variação de expansibilidade, pelo que no solo mais a superfície (VM1) a expansibilidade é de 11,1 %, diminui até aos 5,8 % (VM4), aumenta para 8,3 % (VM5), diminui para 8 % (VM7) e termina em 8,5 % no solo mais profundo (VM8).

Os valores do teor em água obtidos no final do ensaio, apresentam-se no Quadro 0.75.

4.3.1.8 - Equivalente de areia

Antes da realização do ensaio do equivalente de areia determinou-se o valor do teor em água de cada amostra (Quadro 0.80).

Os valores determinados para o equivalente de areia e equivalente de areia visual são apresentados no Quadro 0.81.

No que concerne ao equivalente de areia, relativamente a este perfil do Vimieiro nota-se alguma dispersão de valores, estes apresentam uma variação entre os 23 % e os 70 %.

Ao longo do perfil os valores de equivalente de areia apresentam uma variabilidade significativa o que reflete, de certa forma, a heterogeneidade textural vertical do mesmo. Os valores para o equivalente de areia visual têm sido superiores aos registados para o equivalente de areia. Nota-se também que o parâmetro do equivalente de areia é mais influenciável pela qualidade dos “finos” e não tanto pela sua quantidade.

4.3.1.9 - Peso específico das partículas sólidas

A determinação do peso específico das partículas sólidas corresponde ao valor médio obtido no ensaio. Os pesos específicos das partículas sólidas (γ_s) do perfil do Vimieiro (Quadro 0.82), são semelhantes e a variação dos valores é reduzida porque, apesar da variedade textural, os aspectos químicos e mineralógicos são análogos. Daqui resulta que a densidade dos minerais é semelhante e reproduz a natureza da rocha-mãe bem como a evolução/alteração que nela ocorreu. O valor mais baixo para este parâmetro corresponde ao solo residual da amostra VM2 (2,53) e o valor mais alto ao solo residual da amostra VM1 (2,73). Assim, os valores da densidade para o perfil do Vimieiro são mais baixos porque refletem a composição mineralógica do solo rica em minerais félsicos (menos densos).

4.3.1.10 - Permeabilidade

Os valores para o coeficiente de permeabilidade obtidos para os vários níveis recolhidos são apresentados em anexo (Quadro 0.83).

O coeficiente de permeabilidade (k) do perfil do Vimieiro (Figura 4.60) é considerado médio ($k = 10^{-4}$ m/s) a baixo ($k = 10^{-6}$ m/s), típico de solos com areias finas, ou siltosas, sendo também muito baixo ($k = 10^{-7}$ m/s) para alguns casos. Assim, os valores de permeabilidade obtidos, apesar de terem um intervalo de valores superior às outras manchas de solos residuais, traduzem uma permeabilidade média a muito baixa, correspondendo aos valores mais baixos uma maior percentagem argilosa (as partículas finas vão colmatando gradualmente os vazios entre os grãos mais grosseiros devido à circulação de água). Aos solos com permeabilidade superior (neste caso, a camada VM2) correspondem menores percentagens de “finos”. Globalmente, os valores apresentam grande variabilidade ao longo do perfil do Vimieiro o que reflete uma heterogeneidade textural em todo o perfil e controle do parâmetro pela macroestrutura do solo.

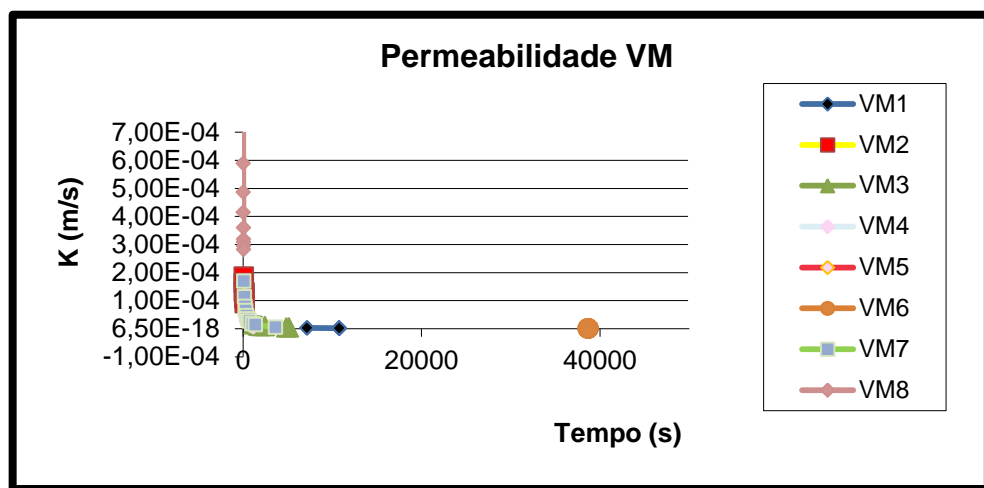


Figura 4.60 - Gráfico mostrando a evolução da permeabilidade ao longo do tempo (K versus t) para o perfil do Vimieiro.

4.3.1.11 - Teor em matéria orgânica

O teor em matéria orgânica (MO) detetado nos solos do perfil do Vimieiro (Quadro 0.84) é considerado significativo (variando de 1,6 % a 3 %), pois é superior a 2 %, logo, poderão existir algumas influências nas propriedades geotécnicas dos solos.

5 - ENSAIOS LABORATORIAIS DE CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA

Para uma boa caracterização completa dos solos residuais é fundamental o contributo dos dados químicos em concordância com a análise dos dados mineralógicos.

Os resultados obtidos permitem contribuir para o conhecimento dos fenómenos de alteração geoquímica, em zonas de clima temperado, como é o caso das regiões do Alentejo em estudo.

Estas regiões caracterizam-se pela grande concentração de rochas graníticas que geram solos residuais devido à sua alteração “in situ”, os quais têm características físico-químicas semelhantes às rochas que deram origem. As propriedades texturais, geoquímicas e mineralógicas destes solos não dependem apenas da composição química da rocha-mãe, uma vez que também dependem das características geomorfológicas e climáticas associadas, como já referido.

5.1 - Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX)

Através da FRX pode-se realizar uma análise das amostras para se perceber as suas composições químicas e, deste modo, aferir se existem indícios de alteração.

Foram-me facultados, tanto para as rochas como para os solos, os elementos maiores com as respetivas concentrações em percentagem (%) e os elementos menores com as concentrações em ppm.

No caso dos **elementos maiores**, somaram-se as percentagens das concentrações e, como não se obteve no final 100%, foi necessário multiplicar o total obtido pela concentração de cada elemento, isto é $(\frac{100}{\%[\]_{Total}}) \times [\]_{Elemento}$. Seguidamente, foram tratados os dados para os solos das amostras e, considerando o Alumínio (Al_2O_3) imóvel, utiliza-se a concentração de Al_2O_3 , no qual dividimos a concentração de Al_2O_3 da rocha pelo solo, com posterior multiplicação pela concentração de cada elemento, ou seja: $(\frac{[\]_{Al_2O_3\ Rocha}}{[\]_{Al_2O_3\ Solo}}) \times [\]_{Elemento\ solo}$. De seguida, foi possível obter a perda em absoluto para a execução do respetivo gráfico através da subtração dos valores obtidos de cada elemento considerando o Alumínio imóvel nos solos (x) pela concentração desses elementos na rocha, isto é, $x_{Elemento\ no\ solo} - [\]_{Elemento\ na\ Rocha}$. Após esse cálculo, foi possível obter a perda percentual através da divisão dos valores obtidos de cada elemento da perda em absoluto (y) pela concentração dos respetivos elementos na rocha, com posterior multiplicação por 100, isto é $(\frac{y_{Elementos\ do\ Solo}}{[\]_{Elementos\ na\ Rocha}}) \times 100$.

Para os **elementos menores**, cuja concentração é apresentada em ppm, realizaram-se os mesmos cálculos considerando também o Al_2O_3 imóvel.

5.1.1 - Monte das Flores

Em termos de **elementos maiores** foram registadas no Quadro 0.85, em anexo, as percentagens químicas para as amostras de solo do perfil do Monte das Flores.

Apresentam-se também as percentagens de elementos maiores para a rocha (MFR) do perfil do Monte das Flores e o ajuste das percentagens para um total de 100 % (Quadro 0.86).

Verifica-se uma diminuição de concentração da rocha para os solos de Na_2O , SiO_2 e CaO , e um aumento de concentração nos restantes casos.

Considerando o Al imóvel estimou-se a concentração para cada um dos elementos maiores se não houvesse perda de massa por alteração, para os solos do perfil do Monte das Flores constantes no Quadro 0.87.

A partir dos dados anteriores foi calculada a perda em absoluto e a perda percentual de elementos maiores para os solos do perfil do Monte das Flores (Quadro 0.88 e Quadro 0.89).

Como se pode verificar através da análise gráfica (Figura 5.1), nos solos do perfil do Monte das Flores, existe uma maior concentração de SiO_2 e Al_2O_3 .

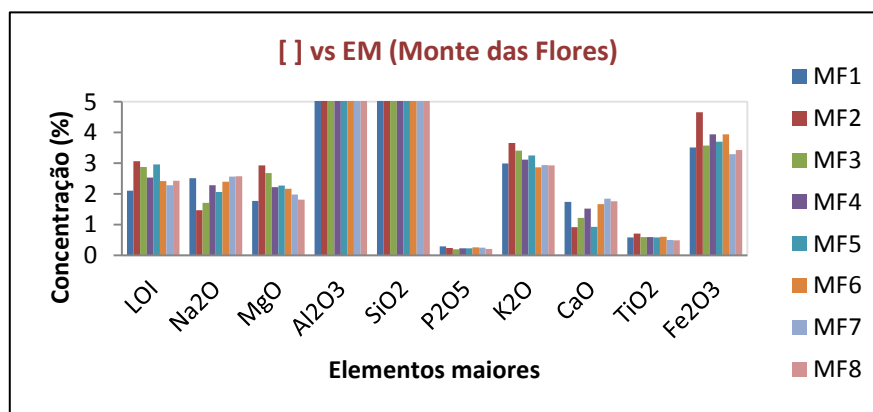


Figura 5.1 - Concentração vs elementos maiores para o perfil de solos do Monte das Flores.

Quanto à perda absoluta (Figura 5.2) verifica-se que são positivos os elementos LOI, MgO , P_2O_5 , K_2O , TiO_2 e Fe_2O_3 . O Al_2O_3 dos solos tem uma perda absoluta igual a zero uma vez que se considerou esse elemento como imóvel. É no SiO_2 que se verifica uma perda absoluta negativa superior.

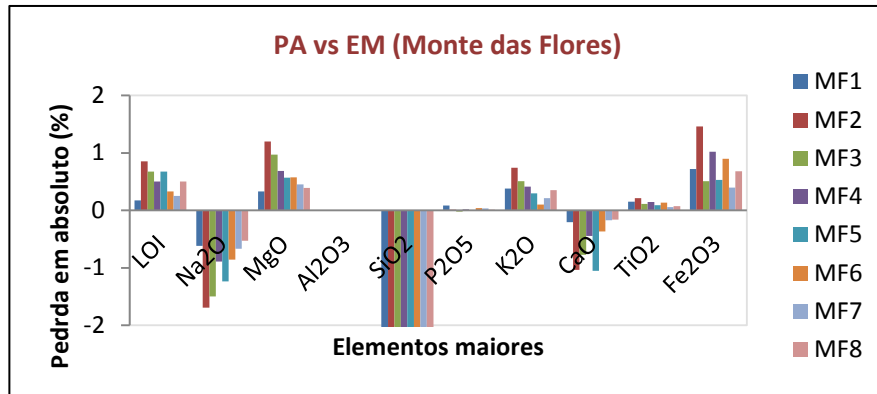


Figura 5.2 - Perda em absoluto vs elementos maiores para o perfil de solos do Monte das Flores.

A partir dos dados obtidos nos gráficos anteriores foi possível realizar a perda percentual (Figura 5.3), da qual se podem retirar as mesmas considerações da situação anterior.

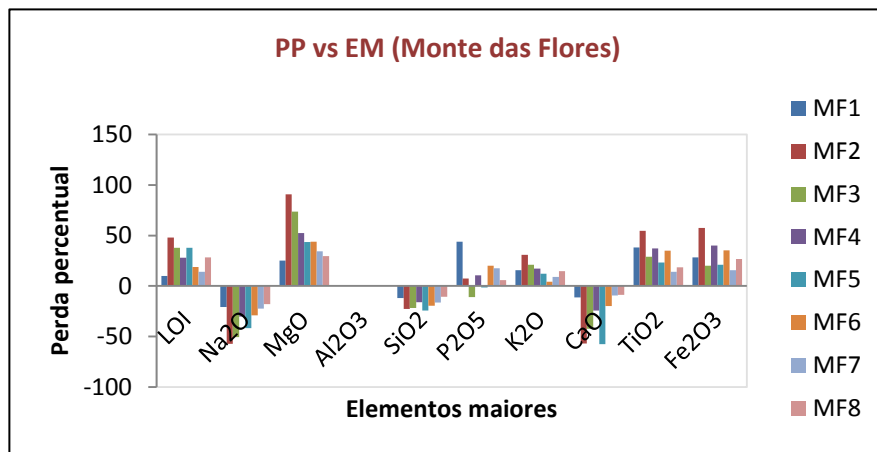


Figura 5.3 - Perda percentual vs elementos maiores para o perfil de solos do Monte das Flores.

Em termos de elementos menores foram registadas no Quadro 0.90 as percentagens químicas, para as amostras de solo do perfil do Monte das Flores. Nos ensaios realizados alguns elementos foram apontados como não definidos (*nd), porque não se encontram na composição da amostra.

Apresentam-se também as percentagens de elementos menores para a rocha (MFR) do perfil do Monte das Flores e o ajuste das percentagens para um total de 100 % (Quadro 0.91). Nota-se que nos solos deste perfil não está presente o elemento Sr.

Verifica-se uma diminuição de concentração da rocha para os solos de Cs, notando-se pequenas variações nas restantes concentrações.

Considerando o Al imóvel obtiveram-se os valores de elementos menores para os solos do perfil do Monte das Flores apresentados no Quadro 0.91.

A partir dos dados anteriores foram calculadas a perda em absoluto e a perda percentual de elementos menores para os solos do perfil do Monte das Flores (Quadro 0.92; Quadro 0.93; Quadro 0.94).

Como se pode verificar através da análise gráfica, nos solos do perfil do Monte das Flores, existe uma maior concentração de Mn e Ba (Figura 5.4).

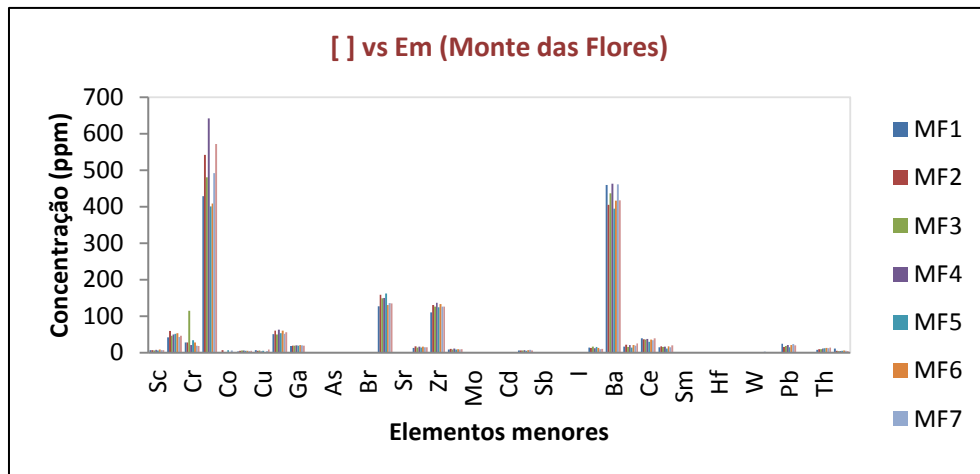


Figura 5.4 - Concentração vs elementos menores para o perfil de solos do Monte das Flores.

Em relação à perda em absoluto (Figura 5.5), apresentam valores todos negativos os elementos Co, Ga, Br, Sr, Zr e Cs, dos quais o Sr tem uma perda absoluta negativa superior aos restantes solos.

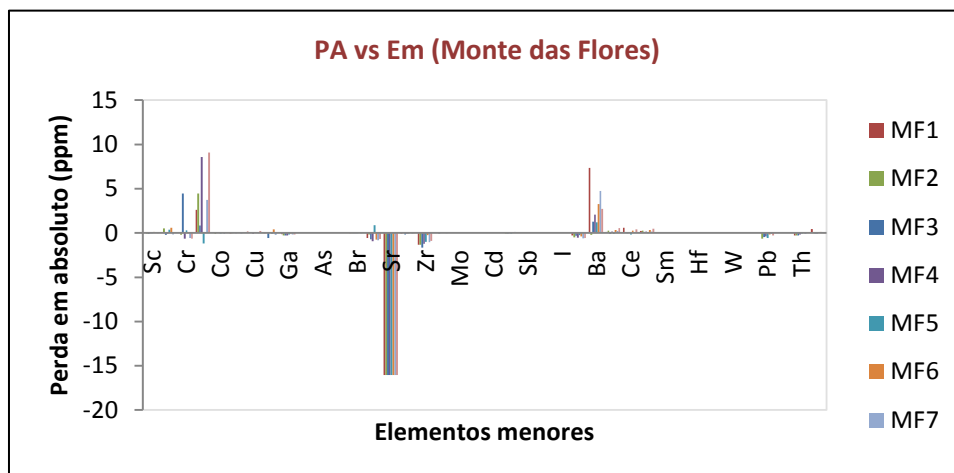


Figura 5.5 - Perda em absoluto vs elementos menores para o perfil de solos do Monte das Flores.

A partir dos dados obtidos nos gráficos anteriores foi possível realizar a perda percentual (Figura 5.6), da qual podemos tirar as mesmas considerações da situação anterior.

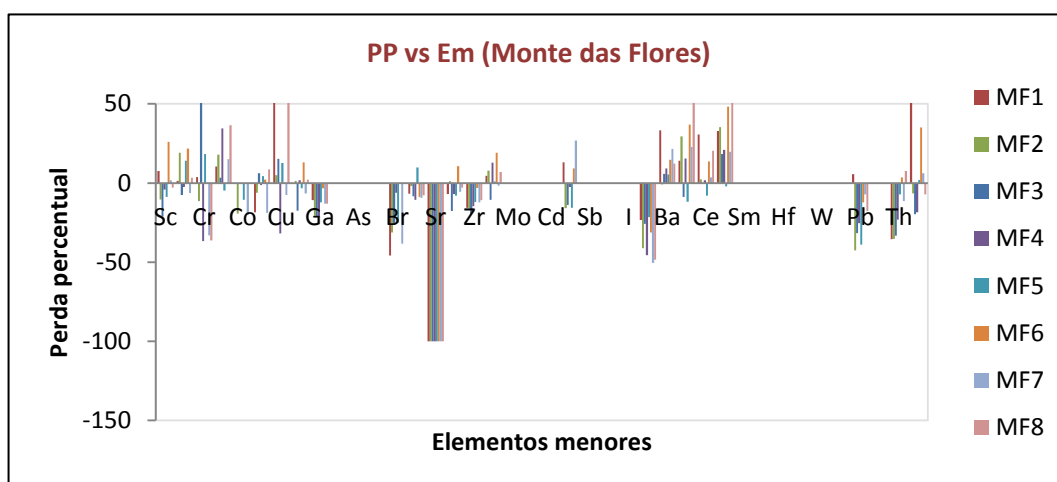


Figura 5.6 - Perda percentual vs elementos menores para o perfil de solos do Monte das Flores.

5.1.2 - Montemor-o-Novo

Em termos de **elementos maiores** foram registadas no Quadro 0.95 as percentagens químicas, para as amostras de solo do perfil de Montemor-o-Novo.

Apresentam-se também as percentagens de elementos maiores para a rocha (MMR) do perfil de Montemor-o-Novo e o ajuste das percentagens para um total de 100 % (Quadro 0.96).

Verifica-se uma diminuição de concentração da rocha para os solos de Na_2O , SiO_2 , P_2O_5 , Cl, K_2O , CaO, TiO_2 e um aumento de concentração nos restantes casos. O elemento SO_3 não consta na composição da rocha e o elemento Cl não aparece na totalidade dos solos do perfil analisado.

Considerando o Al imóvel estimou-se a concentração para cada um dos elementos maiores se não houvesse perda de massa por alteração, para os solos do perfil de Montemor-o-Novo assinalados no Quadro 0.97.

A partir dos dados anteriores foram calculadas a perda em absoluto e a perda percentual de elementos maiores para os solos do perfil de Montemor-o-Novo (Quadro 0.98 e Quadro 0.99).

Como se pode verificar através da análise gráfica (Figura 5.7), nos solos dos perfil de Montemor-o-Novo, existe uma maior concentração de SiO_2 e Al_2O_3 .

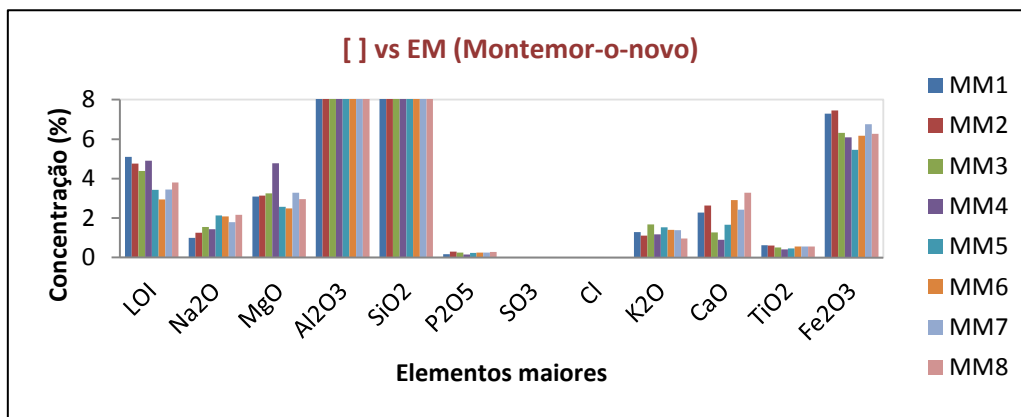


Figura 5.7 - Concentração vs elementos maiores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo.

Relativamente à perda absoluta (Figura 5.8) verifica-se que são positivos apenas os elementos LOI e MgO. O Al_2O_3 dos solos tem uma perda absoluta igual a zero uma vez que se considerou esse elemento como imóvel. É no SiO_2 que se verifica uma perda absoluta negativa superior.

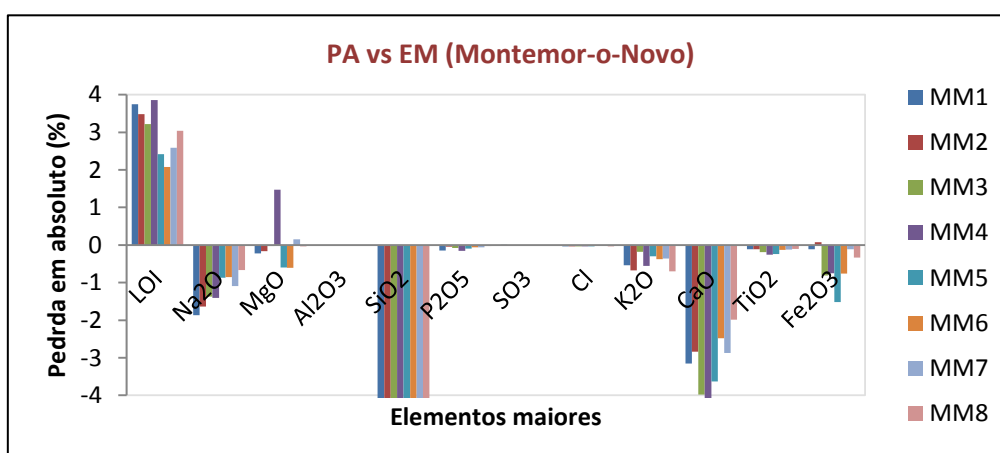


Figura 5.8 - Perda em absoluto vs elementos maiores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo.

A partir dos dados obtidos nos gráficos anteriores, foi possível realizar a perda percentual (Figura 5.9), da qual se podem retirar as mesmas considerações da situação anterior.

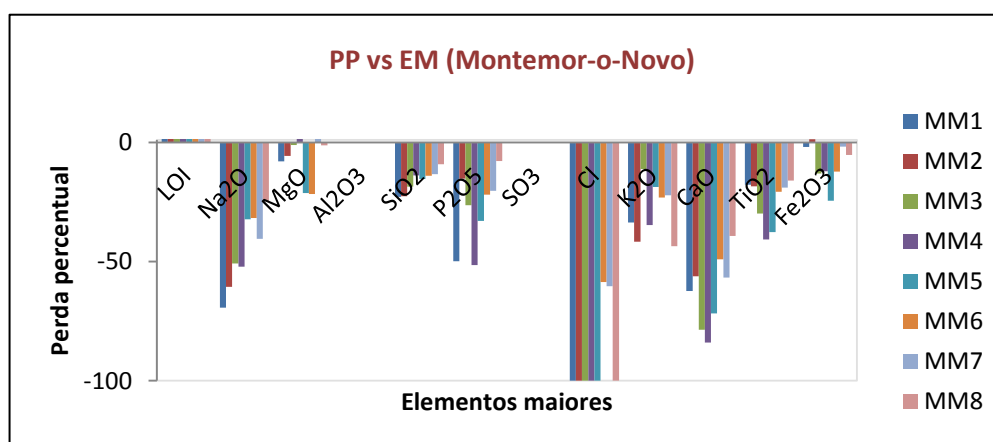


Figura 5.9 - Perda percentual vs elementos maiores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo.

Em termos de **elementos menores**, foram registadas no Quadro 0.100 as percentagens químicas, para as amostras de solo do perfil de Montemor-o-Novo. Nos ensaios realizados alguns elementos foram apontados como não definidos (*nd), porque não se encontram na composição da amostra.

Apresentam-se também as percentagens de elementos menores para a rocha (MMR) do perfil de Montemor-o-Novo e o ajuste das percentagens para um total de 100 % (Quadro 0.101).

Verifica-se um aumento de concentração da rocha para os solos de Ni, Br, Rb, Ce, Nd, notando-se pequenas variações nas restantes concentrações.

Considerando o Al imóvel obtiveram-se os valores de elementos menores para os solos do perfil de Montemor-o-Novo que constam do Quadro 0.102.

A partir dos dados anteriores foram calculadas a perda em absoluto e a perda percentual de elementos menores para os solos do perfil de Montemor-o-Novo (Quadro 0.103; Quadro 0.104; Quadro 0.105).

Como se pode verificar através da análise gráfica (Figura 5.10), nos solos dos perfil de Montemor-o-Novo, existe uma maior concentração de Mn e Ba.

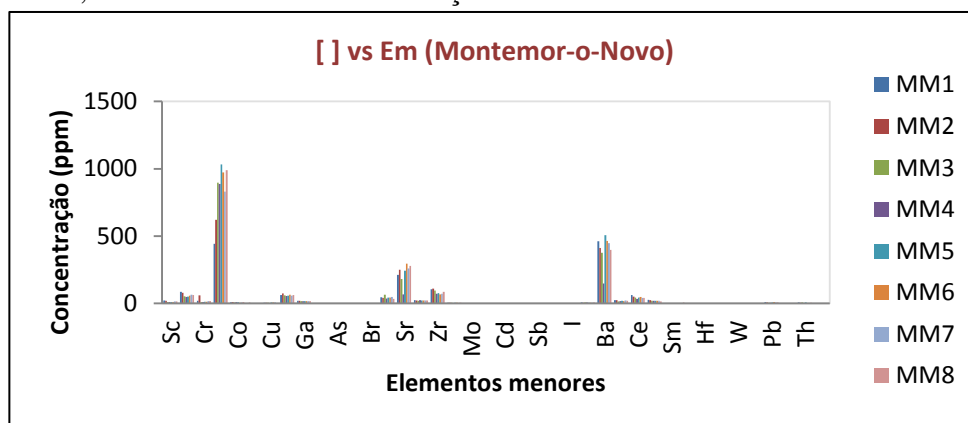


Figura 5.10 - Concentração vs elementos menores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo.

Em relação à perda em absoluto (Figura 5.11), apresentam valores todos negativos os elementos Sr, Nb e Ba, dos quais o Mn e o Ba têm uma perda absoluta negativa superior aos restantes solos.

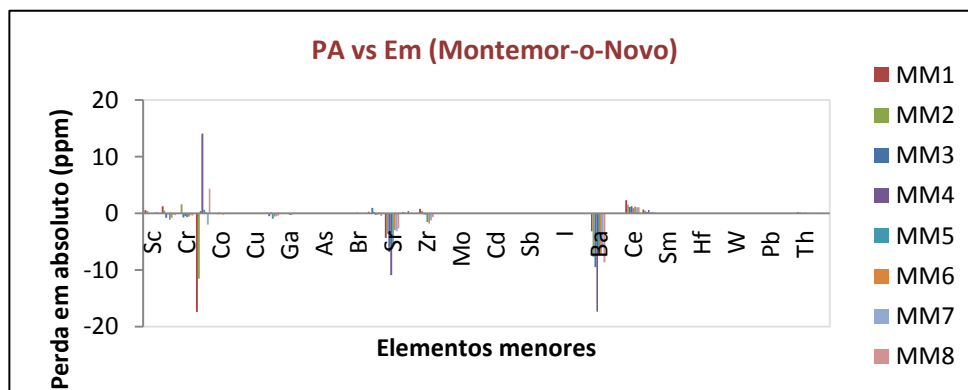


Figura 5.11 - Perda em absoluto vs elementos menores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo.

A partir dos dados obtidos nos gráficos anteriores, foi possível realizar a perda percentual (Figura 5.12), da qual podemos tirar as mesmas considerações da situação anterior.

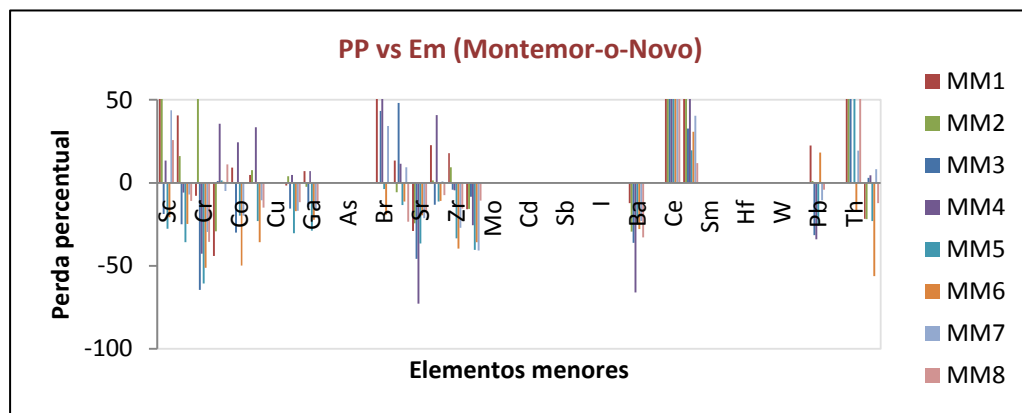


Figura 5.12 - Perda percentual vs elementos menores para o perfil de solos de Montemor-o-Novo.

5.1.3 - Vimieiro

Em termos de **elementos maiores** encontram-se registadas no Quadro 0.106 as percentagens químicas, para as amostras de solo do perfil do Vimieiro.

Apresentam-se também as percentagens de elementos maiores para a rocha (VMR) do perfil do Vimieiro e o ajuste das percentagens para um total de 100 % (Quadro 0.107).

Verifica-se uma diminuição de concentração da rocha para os solos de SiO_2 e um aumento de concentração em todos os outros casos. Os elementos SO_3 e Cl não constam na composição da rocha.

Considerando o Al imóvel estimou-se a concentração para cada um dos elementos maiores se não houvesse perda de massa por alteração, para os solos do perfil do Vimieiro apresentados no Quadro 0.108.

A partir dos dados anteriores foram calculadas a perda em absoluto e a perda percentual de elementos maiores para os solos do perfil do Vimieiro (Quadro 0.109 e Quadro 0.110).

Como se pode verificar através da análise gráfica (Figura 5.13), nos solos dos perfil do Vimieiro existe uma maior concentração de SiO_2 e Al_2O_3 .

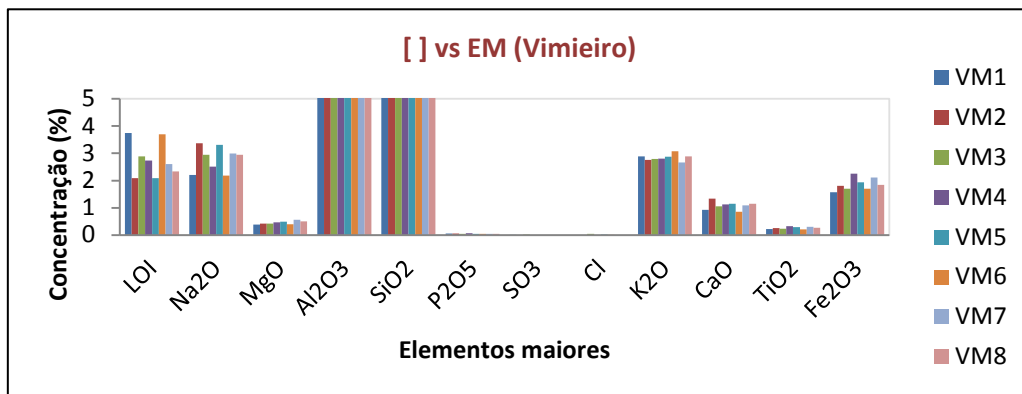


Figura 5.13 - Concentração vs elementos maiores para o perfil de solos do Vimieiro.

Quanto à perda absoluta (Figura 5.14) verifica-se que são positivos os elementos LOI, MgO, TiO₂ e Fe₂O₃. O Al₂O₃ dos solos tem uma perda absoluta igual a zero uma vez que se considerou esse elemento como imóvel. É no SiO₂ que se verifica uma perda absoluta negativa superior.

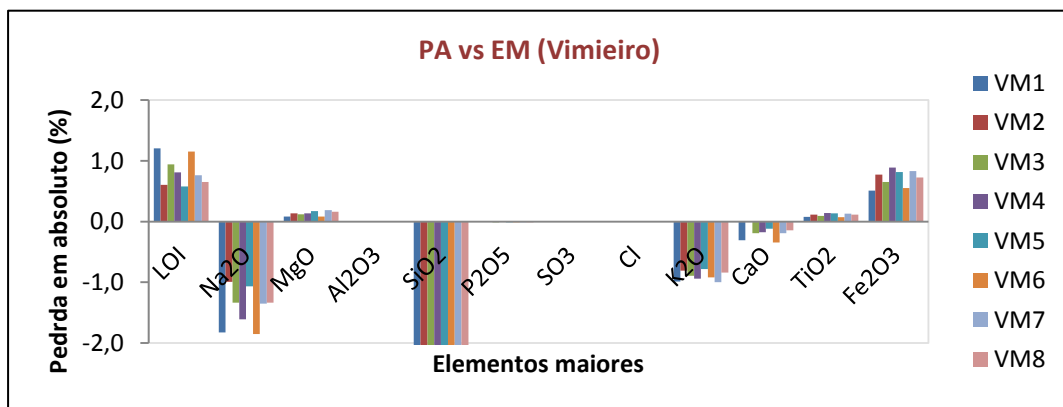


Figura 5.14 - Perda em absoluto vs elementos maiores para o perfil de solos do Vimieiro.

A partir dos dados obtidos nos gráficos anteriores foi possível realizar a perda percentual (Figura 5.15), da qual se pode retirar as mesmas considerações da situação anterior.

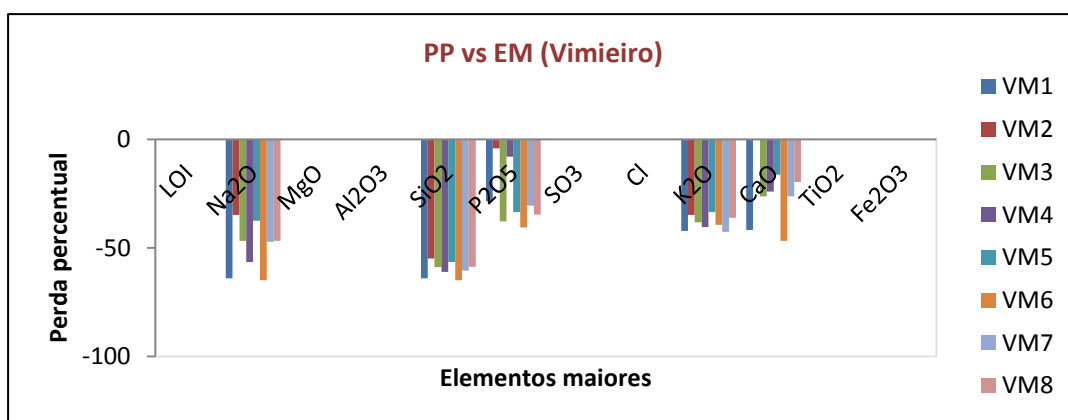


Figura 5.15 - Perda percentual vs elementos maiores para o perfil de solos do Vimieiro.

Em termos de **elementos menores** foram registadas as percentagens químicas, para as amostras de solo do perfil do Vimieiro no Quadro 0.111. Nos ensaios realizados alguns elementos foram apontados como não definidos (*nd), porque não se encontram na composição da amostra.

Apresentam-se também as percentagens de elementos menores para a rocha (VMR) do perfil do Vimieiro e o ajuste das percentagens para um total de 100 % (Quadro 0.112).

Os elementos Sc, V, Nb, Sn e Ti não estão presentes na composição da rocha apenas aparecendo nas concentrações dos solos analisados.

Verifica-se um aumento de concentração da rocha para os solos de Mn, Zn, Ga, Rb, La e U notando-se pequenas variações nas restantes concentrações.

Considerando o Al imóvel obtiveram-se os valores de elementos menores para os solos do perfil do Vimieiro apresentados no Quadro 0.113. A partir dos dados anteriores foram calculadas a perda em absoluto e a perda percentual de elementos menores para os solos do perfil do Vimieiro (Quadro 0.114; Quadro 0.115; Quadro 0.116).

Como se pode verificar através da análise gráfica (Figura 5.16), nos solos do perfil do Vimieiro existe uma maior concentração de Mn e Ba.

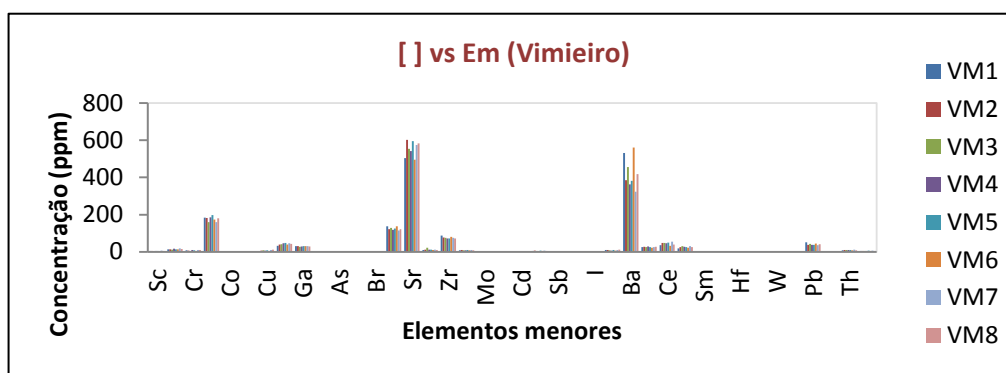


Figura 5.16 - Concentração vs elementos menores para o perfil de solos do Vimieiro.

Em relação à perda em absoluto (Figura 5.17), apresentam valores todos negativos os elementos Cr, Cu, Ga, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Pb, Th e U. Os elementos Cr e Cu têm uma perda absoluta negativa superior aos restantes solos.

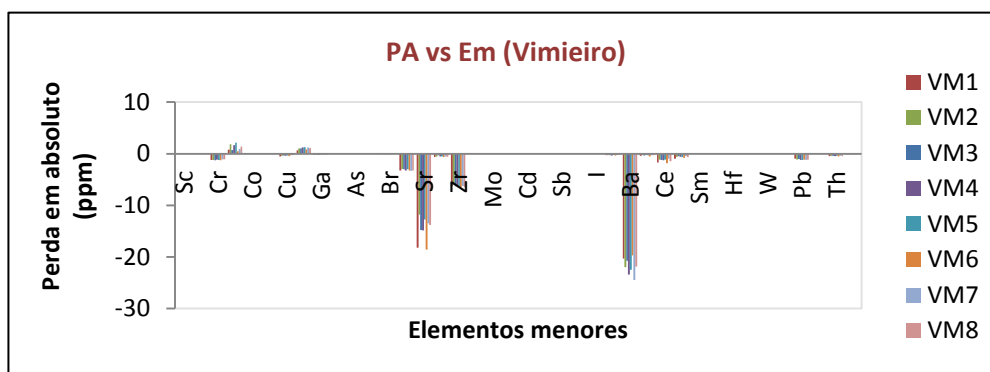


Figura 5.17 - Perda em absoluto vs elementos menores para o perfil de solos do Vimieiro.

A partir dos dados obtidos nos gráficos anteriores foi possível realizar a perda percentual (Figura 5.18), da qual podemos tirar as mesmas considerações da situação anterior.

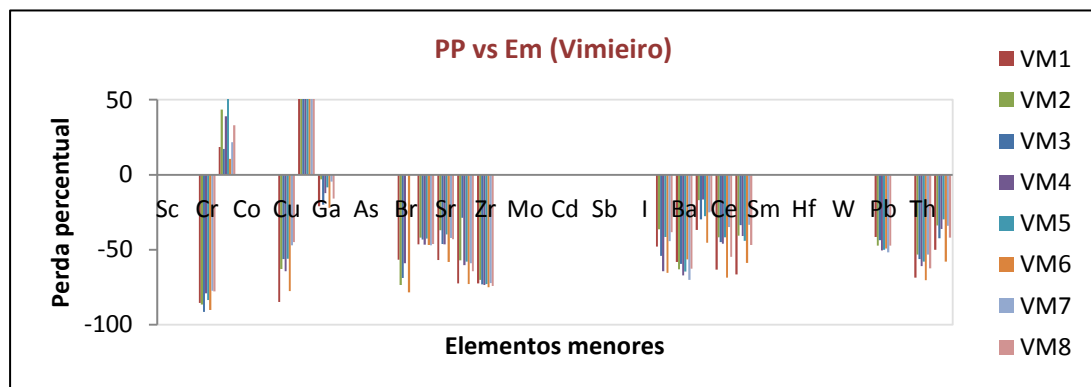


Figura 5.18 - Perda percentual vs elementos maiores para o perfil de solos do Vimieiro.

5.2 - Difracção de raios-X (DRX)

A difracção de raios-X foi efetuada num difractómetro Bruker D8 Advance, utilizando radiação de cobre, varrimentos de 3° a 75° em 2 θ , com um passo de 0,05° e um tempo em cada ponto de 1s.

Os difractogramas foram tratados com o software X'pert High Score (Panalytical). Cada uma das fases presentes foi identificada recorrendo à base de dados de PDF-2 do "International Centre for Diffraction Data". A avaliação semi-quantitativa recorre à intensidade de cada reflexão e deve ser tomada apenas como indicativa e sobretudo, para efeitos de comparação entre as amostras.

Inicialmente definiu-se um "background" para cada difractograma a analisar a fim de, posteriormente se marcarem manualmente os picos. A intensidade é definida até à linha de "background". Procede-se então a uma pesquisa de correspondência "match", neste caso de minerais, para definir os diferentes minerais presentes em cada amostra, obtendo-se uma lista de minerais numa escala de probabilidade "score" que irá facilitar a escolha dos minerais, nunca esquecendo que se deve ter em conta a lógica e o bom senso. Cada fase tem um padrão típico, daí ser possível a sua identificação. Em cada quadro é apresentado o código de referência que distingue cada mineral identificado.

De seguida apresentam-se os resultados obtidos na difracção de Raios-X das rochas e solos dos 3 perfis de granitóides em estudo.

5.2.1 - Perfil do Monte das Flores

Na Figura 5.19 está ilustrado a sobreposição dos difractogramas para o perfil do Monte das Flores e está identificado um pico para cada fase.

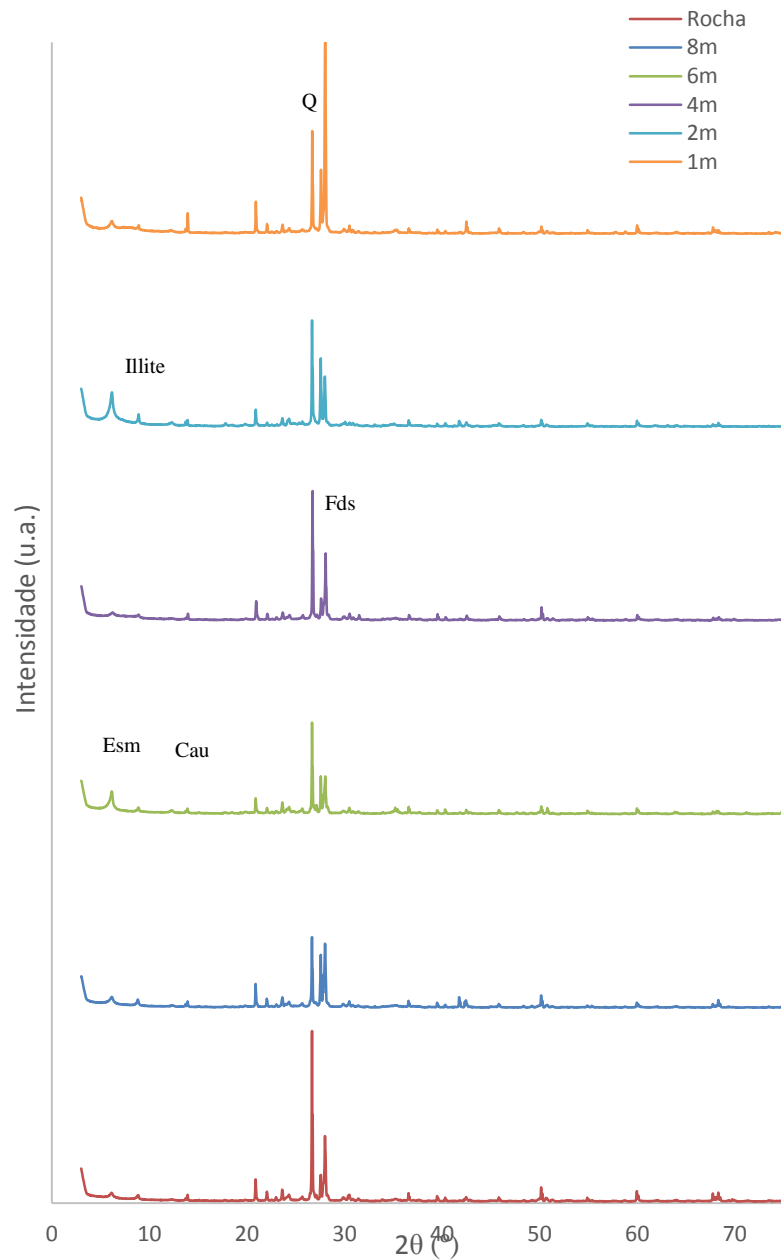


Figura 5.19 - Sobreposição dos difractogramas para o perfil do Monte das Flores.

No perfil do Monte das Flores as fases de minerais (Quartzo, Feldspato potássico, Illite, Caulinite) mantiveram-se pouco inalteradas da rocha para os solos em profundidade. Ou seja a variação da mineralogia ao longo do perfil é pouco acentuada (ver Quadro 5.1).

Quadro 5.1 - Dados consolidados da análise da difracção de Raios-X (DRX) para o perfil do Monte das Flores.

Nome do composto	Fórmula química	Amostra/Fase // "Score"					
		MF1	MF2	MF4	MF6	MF8	MF rocha
Quartzo	SiO_2	65	59	63	66	66	57
Plagióclase	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	46	58	47	52	54	50
Feldspato potássico	$\text{K}_{.931}\text{Na}_{0.055}\text{Ca}_{.009}\text{Ba}_{.005}\text{Al}_{0.97}\text{Si}_{3.03}\text{O}_8$	47	51	43	48	54	46
Illite	$(\text{K},\text{Na})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si}_{3.1}\text{Al}_{0.9})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	24	30	8	29	30	21
Caulinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"
Esmectite	$\text{NaMgAlSi}_2\text{O}_7(\text{OH})\text{H}_2\text{O}$	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"

O Quadro 5.2 apresenta a abundância dos minerais para as várias fases do perfil do Monte das Flores.

Quadro 5.2 - Tabela de abundâncias dos compostos químicos no perfil do Monte das Flores.

Amostra / fase	Quartzo (Si O ₂)	Plagioclase ((Na , Ca) Al (Si , Al) ₃) ₃	Feldspato potássico (K Si ₃ Al O ₈)	Illite	Caulinite
MF1	++++	+++	+++	++	+
MF2	++++	++++	+++	+++	+
MF4	++++	+++	++	+	+
MF6	++++	+++	+++	++	+
MF8	++++	+++	+++	+++	+
MFRocha	+++	+++	+++	++	+

++++ (proporção muito elevada (composto predominante));

+++ (proporção elevada);

++ (proporção média);

+ (existe em fraca proporção);

vtg (vestígios);

? (dúvidas na presença)

Como se pode ver (no Quadro 5.2) o quartzo aumenta de proporção da rocha inicial para os solos mais à superfície. O Feldspato potássico tem uma ligeira quebra na sua proporção no solo MF4. A proporção da illite aumenta da rocha para o MF8 voltando depois a diminuir até ao solo MF4 e no solo MF2 aumenta ligeiramente. A caulinite existe na rocha e nos solos em fraca proporção.

5.2.2 - Perfil de Montemor-o-Novo

Na Figura 5.20 está ilustrado a sobreposição dos difractogramas para o perfil de Montemor-o-Novo e está identificado um pico para cada fase.

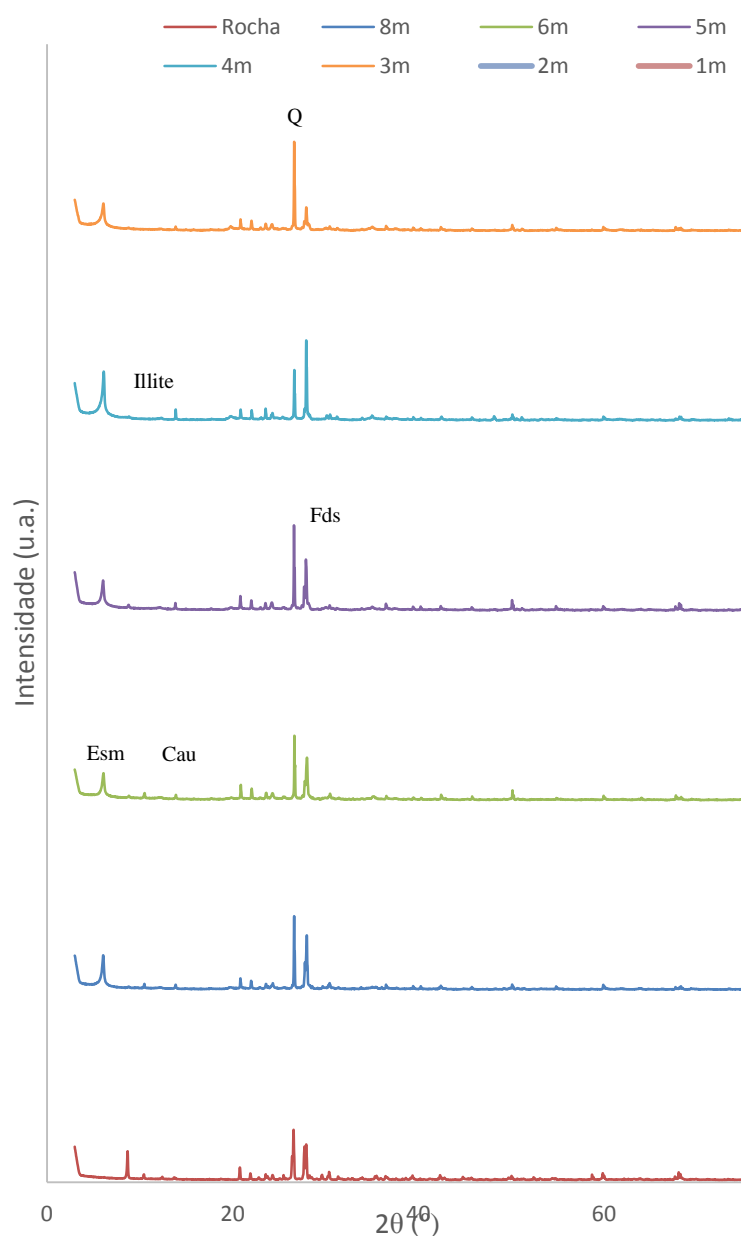


Figura 5.20 - Sobreposição dos difractogramas para o perfil de Montemor-o-Novo.

No perfil de Montemor-o-Novo a fases de minerais quartzo e plagioclase cálcica mantiveram-se abundantes da rocha para os solos residuais. A fase do mineral anfíbola só se manteve da rocha para o solo MM8 tendo alterado nos restantes solos. Presume-se que as fases mineralógicas feldspato potássico, flogopite e clorite (presentes na rocha) tenham alterado para illite, esmectite e caulinite que vão apresentar algumas variações de abundancia ao longo do perfil (Quadro 5.3).

Quadro 5.3 - Dados consolidados da análise da difracção de Raios-X (DRX) para o perfil de Montemor-o-Novo.

Nome do composto	Fórmula química	Amostra/Fase // "Score"							
		MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM8	MM rocha
Quartzo	SiO ₂	70	67	65	64	69	60	71	62
Plagioclase cálcica	(Na _{0.75} Ca _{0.25})(Al _{1.2} ₆ Si _{2.74} O ₈)	54	54	36	37	43	43	53	61
Feldspato potássico	K _{0.931} Na _{0.055} Ca _{0.009} Ba _{0.005} Al _{0.97} Si _{3.0} O ₈								54
Flogopite	K(Mg,Fe) ₃ (Al,Fe)Si ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂								38
Anfíbola	Na ₂ Fe ₃ Fe ₂ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂							33	31
Clorite	Mg ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈								28
Illite	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	16		27	21	33	22	24	
Esmectite	NaMgAlSiO ₂ (OH) ₂ O	22	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	16	"Unmatched Strong"	
Caulinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄		"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	23	"Unmatched Strong"	

O Quadro 5.4 apresenta a abundância dos minerais para as várias fases do perfil de Montemor-o-Novo.

Quadro 5.4 - Tabela de abundâncias dos compostos químicos no perfil de Montemor-o-Novo.

Amostra / fase	Quartzo (Si O ₂)	Plagioclase cálcica	Feldspato potássico (K, Si ₃ Al)	Flogopite	Anfíbola	Clorite	Esmectite	Illite	Caulinite
MM1	++++	+++					++	+	
MM2	++++	+++					+		+
MM3	++++	+++					+	++	+
MM4	++++	+++					+	++	+
MM5	++++	+++					+	+++	+
MM6	++++	+++					+	++	++
MM8	++++	+++			+++		+	++	+
MMRocha	++++	++++	+++	+++	+++	++			

++++ (proporção muito elevada (composto predominante));

+++ (proporção elevada);

++ (proporção média);

+ (existe em fraca proporção);

vtg (vestígios);

? (dúvidas na presença)

Como se pode ver (no Quadro 5.4) o quartzo mantém a sua proporção da rocha inicial para os solos mais à superfície. O Feldspato da rocha mãe é alterado em profundidade para os solos seguintes. A esmectite é ligeiramente mais abundante no solo MM1 à superfície do perfil. A illite é mais abundante na sua proporção no solo MM5 e não apresenta abundância no solo MM2. A caulinite é mais abundante no MM6 e não apresenta abundância no solo MM1 à superfície do perfil.

5.2.3 - Perfil do Vimieiro

Na Figura 5.21 está ilustrado a sobreposição dos difractogramas para o perfil do Vimieiro e está identificado um pico para cada fase.

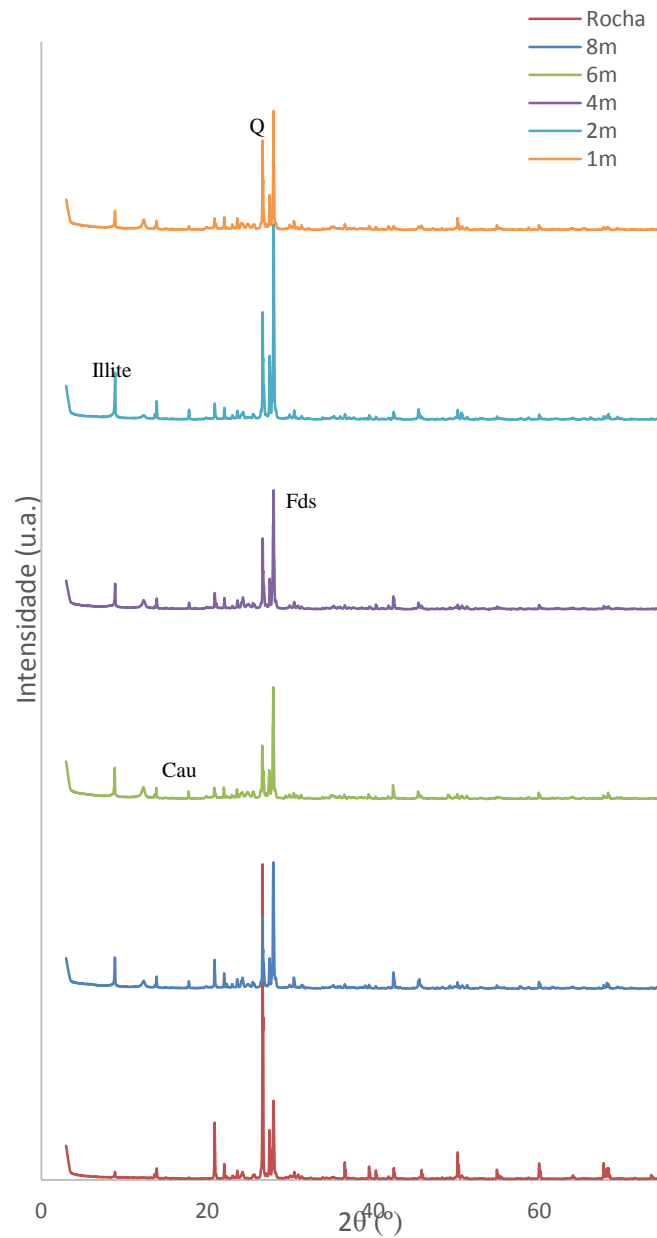


Figura 5.21 - Sobreposição dos difractogramas para o perfil do Vimieiro.

No perfil do Vimieiro as fases de minerais quartzo e plagioclase cálcica são predominantes na rocha e diminuem ligeiramente a sua abundancia nos solos residuais, ainda assim com uma proporção elevada. As fases da microclina e da illite aumentam na sua proporção ao se degradarem da rocha em solos residuais. Verifica-se ainda que, embora em pequenas proporções, as fases feldspato potássico, caulinite, anortoclase e zinnwaldite são minerais de formação posterior à rocha de origem pelo que apenas aparecem nalguns solos residuais deste perfil (Quadro 5.5).

Quadro 5.5 - Dados consolidados da análise da difracção de Raios-X (DRX) para o perfil do Vimieiro.

Nome do composto	Fórmula química	Amostra/Fase // "Score"					
		VM1	VM2	VM4	VM6	VM8	VM rocha
Quartzo	SiO ₂	54	46	45	50	38	70
Plagioclase cálcica	(Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈	37	35	35	36	39	54
Microclina	KAlSi ₃ O ₈	29			35	23	46
Illite	(K,Ba,Na) _{0.75} (Al,Mg,Cr,V) ₄ O ₁₀ (OH,O) ₂	19	20		27	30	33
Caulinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	20	"Unmatched Strong"	"Unmatched Strong"	18	"Unmatched Strong"	
Anortoclase	(Na,K)(Si ₃ Al)O ₈		22				
Zinnwaldite	KLiFeAl(AlSi ₃)O ₁₀ (F,OH)			29			
Feldspato potássico	KS ₃ AlO ₈					25	

O quadro Quadro 5.6 apresenta a abundância dos minerais para as várias fases do perfil do Vimieiro.

Quadro 5.6 - Tabela de abundâncias dos compostos químicos no perfil do Vimieiro.

Amostra / fase	Quartzo (Si O2)	Plagioclase ((Na , Ca) Al (Si Al)3	Feldspato potássico (K Si3 Al	Illite	Caulinite	Zinnwaldite
VM1	+++	++++	++	++	+	
VM2	+++	++++	+	+++	+	
VM4	+++	++++			+	++
VM6	+++	++++	++	+++	+	
VM8	+++	++++	++	+++	+	
VMRocha	++++	+++	+	+		

++++ (proporção muito elevada (composto predominante));

+++ (proporção elevada);

++ (proporção média);

+ (existe em fraca proporção);

vtg (vestígios);

? (dúvidas na presença)

Como se pode ver (no Quadro 5.6) o quartzo diminui ligeiramente a sua proporção da rocha inicial para os solos mais à superfície. O Feldspato aumenta a sua proporção da rocha inicial para os solos mais à superfície. A illite aumenta a sua proporção da rocha inicial para os solos mais à superfície, só não foi quantificada no solo VM4. A caulinite existe nos solos do Vimieiro em fraca proporção.

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho pretende ser mais um contributo para a caracterização geológico-geotécnica dos solos residuais de rochas granitóides da região do Alentejo. Os escassos estudos publicados sobre os granitóides do Alentejo incidem, essencialmente, na Paleogeografia e Tectónica na Zona de Ossa Morena (ZOM) e na Zona Centro Ibérica (ZCI). A composição física, química e mineralógica dos granitóides do Alentejo, bem como de outros granitóides da Península Ibérica, apresentam variações distintas conforme a sua localização paleo-geográfica e ação tectónica de cada local.

Devido às diversas alterações que ocorrem na formação dos perfis de solos residuais pretendeu-se com esta dissertação comparar as principais características (a nível da microestrutura, da macroestrutura e/ou da composição mineralógica) que se desenvolvem no seu comportamento geotécnico em caso de solicitações *in situ* (por exemplo, como material de fundação) ou noutros locais (como material de construção, em aterros).

A finalidade deste trabalho passou também pela abordagem aos métodos tradicionais de ensaio para determinação das características químicas e mineralógicas dos solos residuais, recorrendo à análise química por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) e análise mineralógica por difração de raio-X (DRX). Em simultâneo, foram obtidas as várias propriedades físicas e mecânicas, tanto *in situ* como no laboratório, recorrendo para tal, à execução de diferentes ensaios, tais como: análise granulométrica, composição textural, limites de consistência, teor em água (no estado natural), expansibilidade, equivalente de areia, densidade, permeabilidade e teor em matéria orgânica.

As observações de campo sistemáticas, a colheita de amostras representativas das manchas de solo e todo o seu estudo laboratorial permitem agora apresentar conclusões sobre as várias propriedades (físicas, químicas, mineralógicas e geotécnicas) e comportamento geomecânico dos solos residuais graníticos dos locais analisados.

O processo de formação de um perfil de solo residual, embora bastante complexo e de difícil compreensão, permite relacionar algumas propriedades na tentativa de criar conclusões válidas.

A análise e interpretação dos resultados experimentais descritos nos capítulos anteriores, bem como a observação direta dos perfis de solos residuais estudados permitem esclarecer alguns pontos importantes sobre a temática desta dissertação.

6.1 - Perfis de alteração e locais de amostragem

Nos perfis estudados verificou-se que as propriedades macroscopicamente observáveis (cor, textura, etc.) variavam gradualmente ou não ao longo do perfil, embora não sejam evidentes a existência de horizontes de alteração bem demarcados.

A maior parte dos maciços de solos residuais granitóides apresenta uma estrutura e textura bem definidas herdadas da rocha-mãe, onde se salientam as diaclases 'reliquia', que são responsáveis por uma heterogeneidade comum nas propriedades destes solos residuais.

As dificuldades sentidas na execução da amostragem foram, por um lado, a fraca coesão entre partículas e a baixa percentagem de argila que dificultaram a obtenção de amostras indeformadas, por outro lado, o forte imbricamento das partículas grosseiras (feldspato e quartzo) dos solos dificultaram a extração de amostras levando à existência de alguma perturbação (como no caso do perfil do Vimieiro). Não houve grande dificuldade na recolha de amostras remexidas, tendo-se tido o cuidado de colher as amostras durante a primavera, garantindo desta forma um certo comportamento friável dos mesmos. Se esta recolha de amostras fosse realizada na época seca do verão as dificuldades seriam muito mais agravadas porque os solos poderiam adquirir um comportamento próximo da rocha pouco alterada, por apresentarem boa coesão entre as partículas devido ao cimento intergranular estar seco e rígido.

Relativamente aos solos residuais granitóides, estes, podem apresentar características geotécnicas no estado indeformado (*in situ*) diferentes das do estado remoldado (no laboratório), também comprovado com a ajuda da inspeção visual feita nos perfis e nas amostras de mão. A heterogeneidade existente dentro do mesmo maciço granítico (verificado nos três perfis em estudo) reflete, tanto a existência de vários microambientes controlados pela sua estrutura, diaclases e filões que geraram diferentes produtos de alteração a partir do mesmo tipo litológico, como também a ocorrência de variações geoquímicas e mineralógicas que se desenvolveram ao longo do perfil de alteração.

Também se verificou que, nos maciços de rochas mais básicas, tonalitos (por exemplo no caso do perfil de Montemor-o-Novo), a passagem de rocha sã para solo residual é repentina, não existindo praticamente rocha alterada.

Embora a geologia de campo tenha muitas variáveis na sua conceção e disposição dos solos residuais, pode-se generalizar que os solos residuais com as maiores espessuras correspondem aos granitos (por exemplo o perfil de solos do Vimieiro), enquanto que as menores espessuras estão associadas aos tonalitos (por exemplo o perfil de Montemor-o-Novo). Os solos residuais dos tonalitos são mais suscetíveis à erosão, uma vez que são constituídos por partículas mais finas e com maior mobilidade, que resultam de minerais menos resistentes como silicatos ferromagnesianos e cálcicos. Os solos residuais dos granitos apresentam predominância de grãos de quartzo e feldspato potássico, com pouca alteração e melhor imbricados. Apesar de poderem

ter uma porosidade por vezes maior, as ligações entre as partículas são sempre mais fortes. Estas observações já tinham sido referidas por Duarte (2002) e confirmam-se neste estudo.

É importante referir a influência da exposição ao sol nos perfis de solo residual, uma vez que o mesmo tipo de solo residual, com uma distribuição homogénea, pode variar significativamente na percentagem de teor em água natural. O teor em água tem, por sua vez, uma grande influência na resistência e deformabilidade dos perfis de solos residuais, contribuindo para a variabilidade das propriedades geotécnicas do maciço.

O comportamento de colapso dos solos residuais granitóides ocorre com maior frequência em zonas climáticas semi-áridas, estando relacionado com a existência de precipitações sazonais ou aumento de precipitação anual durante muito tempo, dando-se um aumento na lixiviação dos solos dos granitóides alterados e um aumento do índice de vazios o que os torna colapsáveis (Duarte, 2002). No Alentejo isto raramente acontece, excepto, ocasionalmente durante grandes períodos de chuva.

A diversidade dos perfis de solos residuais granitóides estudados, e de muitos outros da região do Alentejo, deve-se à variedade da natureza da rocha-mãe e ao seu grau de alteração. Acontece que, em alguns perfis, os minerais como os feldspatos podem estar decompostos e os grãos de quartzo vizinhos não estarem alterados ou, noutros perfis, os feldspatos não estarem muito alterados e juntamente com os grãos de quartzo formarem solos coesos e com grande resistência favorável na estabilidade de taludes (adaptado de Duarte, 2002).

6.2 - Características geotécnicas

Fazendo a comparação entre os ensaios de laboratório *versus* ensaios *in situ*, sabe-se que os ensaios *in situ* permitem resultados mais representativos do maciço porque o volume de solo analisado é maior que no caso dos provetes testados nos ensaios laboratoriais. Os ensaios de laboratório permitem, ainda assim, definir bem as condições de fronteira e as condições de drenagem (Duarte, 2002).

Nos solos onde a fração grosseira é a mais importante, as características das suas partículas (como sejam a sua dimensão e forma) vão condicionar o seu comportamento global. Por outro lado, se o solo for representado por uma grande quantidade de fração fina, devem-se considerar as características das partículas e também a sua consistência (ou seja a interação entre as partículas do solo). Desta forma, a consistência de um solo reflete as suas condições físicas (ou comportamento reológico) de acordo com a variação do teor em água. Pode-se concluir que solos diferentes apresentam consistências diferentes para os mesmos valores de teor em água, daí a importância na determinação destas características para que se possam caracterizar os vários tipos de solos residuais (Duarte, 2002).

O ensaio para **determinação do teor em água** utiliza-se na determinação de propriedades geotécnicas em laboratório como procedimento de rotina (no início e/ou final do ensaio) e na determinação dos limites de consistência. Também se efetuou a determinação do teor em água do solo no estado natural, isto é, em amostras intactas ou remexidas, convenientemente isoladas e trazidas para o laboratório, logo após a sua colheita *in situ* ao longo do perfil (Figura 6.1).

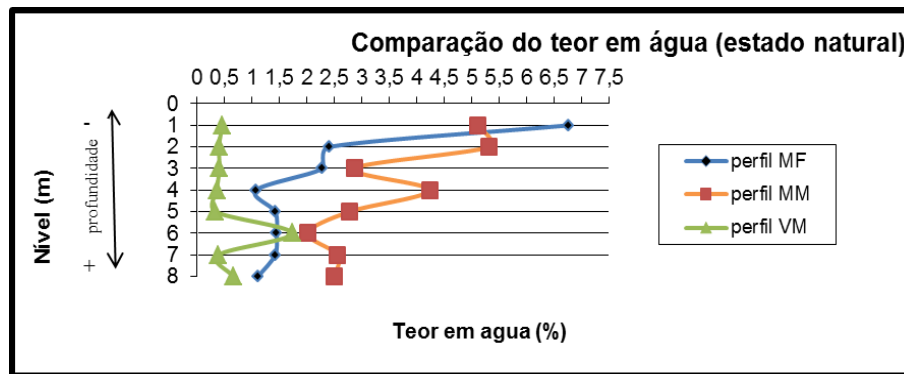


Figura 6.1 - Evolução em profundidade do teor em água no estado natural, para os 3 perfis em estudo.

Fazendo a comparação dos 3 perfis verifica-se que o perfil do Vimieiro apresenta teores em água (no estado natural) mais baixos e o perfil de Montemor-o-Novo apresenta na sua generalidade valores mais elevados. Esta conclusão está também relacionada com a altura da colheita de amostras, dado que, as de Montemor-o-Novo e Évora foram feitas nos meses de alguma precipitação ao contrario da colheita do Vimieiro que foi feita nos meses de fraca precipitação.

A evolução do teor em água (no estado natural) ao longo do perfil do Monte das Flores apresenta valores elevados de teor em água nos níveis de solos superficiais e decresce nos níveis mais profundos (como logicamente seria de esperar devido à capacidade decrescente de infiltração e armazenamento de água em níveis de solos mais profundos e sujeitos a maiores pressões litostáticas). A evolução do teor em água ao longo do perfil de Montemor-o-Novo também mostra uma curva de teores que decresce em profundidade (Figura 6.1). A evolução do teor em água ao longo do perfil do Vimieiro decresce desde os níveis de solos superficiais ate ao solo VM5, depois tem uma aumento mais brusco (possivelmente devido à existência de diaclases), voltando a diminuir no nível do solo VM7.

Relativamente às **propriedades físicas determinadas *in situ***, dos 24 solos residuais estudados (Quadro 0.117), ao longo dos 3 perfis de granitóides (Évora, Montemor-o-Novo e Vimieiro) apresenta-se uma análise global dos resultados obtidos:

i) Pode-se constatar que a média dos **teores em água no estado natural** (w_0) no perfil de Montemor-o-Novo é ligeiramente superior à dos solos de outros granitóides, o que possivelmente se relaciona com a maior percentagem de finos, maior superfície específica e, conseqüentemente, maior capacidade de retenção de água por parte dos solos quartzodioríticos. Há a salientar que os valores do teor em água que os solos possuíam no campo, que são na

generalidade superiores no perfil de Montemor-o-Novo, devem-se às condições meteorológicas que precederam a ocasião da colheita e a uma percentagem superior de “finos”.

ii) Os valores do **peso volúmico no estado natural** (γ_0) e do **peso volúmico no estado seco** (γ_d) não se distanciam muito entre perfis, sendo ligeiramente mais baixos no caso do perfil do Vimieiro. Baixos valores de peso volúmico *in situ* traduzem, por um lado, a estrutura tipicamente aberta destes solos e, por outro, a composição mineralógica constituída por minerais pouco densos (quartzo, feldspatos e micas, restantes essencialmente da alteração das rochas mais ácidas) e minerais argilosos de neoformação.

iii) Os valores do **índice de vazios *in situ*** (e_0) e da **porosidade** (n), relativos aos três perfis de solos residuais não variam muito uns dos outros, sendo que, os solos do perfil de Montemor-o-Novo apresentam valores ligeiramente superiores aos restantes solos residuais. Os solos que apresentam menores valores de porosidade correspondem a materiais resultantes de granitos ou granodioritos onde a alteração foi fraca, mantendo o solo a sua estrutura herdada da rocha-mãe com os respetivos minerais inalterados (quartzo) ou pouco alterados (feldspatos e micas).

Conclui-se que as amostras que apresentam menores percentagens de “finos” e, simultaneamente, menor teor em água no estado natural (w_0) e menor peso volúmico seco *in situ* (γ_d), logicamente também vão ter maior índice de vazios (e_0) e porosidade (n) *in situ*.

No que respeita à preparação das amostras para **ensaios de identificação**, há a referir que nos solos residuais dos granitóides, a secagem prévia dos provetes não influencia significativamente a composição granulométrica do solo (Duarte, 2002).

Relativamente às **propriedades físicas determinadas no laboratório**, dos 24 solos residuais estudados, ao longo dos 3 perfis de granitóides (Évora, Montemor-o-Novo e Vimieiro) apresenta-se, igualmente, uma análise global dos resultados obtidos (Quadro 6.1).

Quadro 6.1– Propriedades gerais de caracterização geotécnica dos 3 perfis em estudo.

	W ₀ (estado natural)	e ₀	W _L	W _{Lc}	Cu	Cc	Ip (%)	Wr	% Argila	% finos	Expansibilidade	E. A.	Densidade	Permeabilidade	M. O
MF1	7	0	26	30	10	2	5	19	1,94	3,9	9,6	33	2,9	8,52E-05	2,8
MF2	2	1	33	33	10	2	8	22	2,69	5,4	5,4	68	2,7	1,73E-05	4,6
MF3	2	1	32	36	9	2	7	22	4,28	4,7	7	75	2,6	1,70E-05	4,2
MF4	1	1	30	36	9	1	7	20	4,23	5,2	4,5	76	2,6	2,22E-05	2,8
MF5	1	1	29	33	10	1	6	23	2,11	4,5	5,8	89	2,6	2,05E-05	4,6
MF6	1	1	35	35	11	1	10	20	2,12	6,5	8,1	34	2,6	3,32E-05	3,2
MF7	1	0	30	37	11	1	6	22	2,12	5,7	5,2	83	2,6	6,66E-05	2,6
MF8	1	1	30	35	12	2	5	22	1,44	5,8	5,3	85	2,8	3,20E-04	3,6
MM ₁	5	1	44	46	12	1	11	27	1,87	7,5	17,6	22	3,0	2,88E-05	8,8
MM ₂	5	1	42	43	14	1	6	33	3,67	7,4	14,5	21	2,7	3,21E-05	4,4
MM ₃	3	0	35	38	25 0	29	5	26	13,42	20,1	13,7	31	2,7	8,33E-06	6,8
MM ₄	4	1	42	45	32	3	17	19	2,68	10,7	15,2	21	2,7	1,07E-05	8
MM ₅	3	1	30	33	35	5	6	21	6,06	12,1	8,6	31	2,7	3,19E-05	5,2
MM ₆	2	1	29	32	8	1	6	21	3,62	7,2	2	29	2,7	1,47E-04	4,6
MM ₇	3	1	31	34	9	1	10	19	0,77	3,1	3,7	40	2,7	3,89E-04	5,4
MM ₈	3	1	30	36	10	1	7	22	1,53	4,6	8,5	40	2,7	2,73E-04	4,6
VM1	0	1	36	39	30 0	6	13	18	8,37	13,7	11,1	25	2,7	1,98E-06	3
VM2	0	1	29	32	19	1	7	19	4,19	8,4	7,8	45	2,5	1,28E-04	2
VM3	0	1	32	38	12 0	7	9	20	9,53	14,3	7,7	29	2,5	9,38E-06	2
VM4	0	1	33	36	22	2	9	21	4,19	7,3	5,8	34	2,6	1,79E-05	2,4
VM5	0	1	31	37	40	2	11	16	5,83	8,7	8,3	52	2,6	1,67E-05	2,2
VM6	2	1	37	40	90 0	11	8	26	16,82	19,6	8,1	23	2,6	5,03E-07	2,4
VM7	0	1	30	34	29	1	5	20	4	8,4	8	70	2,6	5,69E-05	1,6
VM8	1	1	31	33	40	2	5	24	6,3	10,5	8,5	31	2,6	4,73E-04	2,2

Em relação à **análise granulométrica** a peneiração foi feita por lavagem uma vez que o solo apresenta alguma plasticidade. Sabe-se que um solo é bem graduado ou não uniforme quando os valores do coeficiente de uniformidade são $C_u > 4$ (em seixos) ou $C_u > 6$ (em areias) e os valores do coeficiente de curvatura são compreendidos entre $1 < C_c < 3$.

Relacionando a acção geotécnica dos solos com a sua apreciação qualitativa em termos granulométricos, verifica-se que um solo bem graduado adquire uma maior compacidade, e consequentemente, maior resistência, do que um outro solo que fosse mal graduado (Duarte, 2002).

Os solos residuais granitóides dos perfis analisados apresentam uma distribuição granulométrica extensa, uma vez que são materiais bem graduados, pois são constituídos por partículas que abrangem várias dimensões, desde as partículas mais finas (fração argilosa), aos siltes, areias e, por vezes, seixo fino. Pela comparação dos fusos granulométricos dos solos residuais de granitóides em estudo é possível verificar uma maior dispersão no perfil de Montemor-o-Novo e no perfil do Vimieiro relativamente ao perfil do Monte das Flores devido à sua grande variabilidade textural.

Através da **textura dos solos** após calculadas as percentagens de silte e percentagens de argila, registaram-se as percentagens de finos que variam entre os 3,9 % e os 6,5 % (perfil do Monte das Flores), entre os 3,1 % e os 20,1 % (perfil de Montemor-o-Novo) e entre os 7,3 % e os 19,6 % (perfil do Vimieiro).

De uma forma geral pode-se considerar que a percentagem de finos (silte + argila; $< 0,075$ mm) é crescente numa sequência que siga a ordem: granitos (Vimieiro), granodioritos (Évora) e tonalitos (Montemor-o-Novo). A fração fina menor que 0,002 mm (argila) é crescente numa sequência que siga a ordem: granodioritos (Évora), tonalitos (Montemor-o-Novo) e perfil do Vimieiro.

Uma possível justificação para as discrepâncias obtidas nos resultados do ensaio da textura de solos deve-se possivelmente a parâmetros como:

- as partículas dos solos residuais podem não ser esféricas, rígidas e lisas (condição válida para a lei de Stokes);
- os solos residuais graníticos de clima temperado (saprólito) não têm todos a mesma densidade;
- os solos residuais podem ter partículas coloidais (o que implica que a lei de Stokes não possa ser aplicada neste caso).

No comportamento dos solos pode notar-se alguma influência das partículas mais finas, nomeadamente, na permeabilidade, na coesão e na deformabilidade.

A percentagem de finos não é inversamente proporcional ao índice de vazios (e_0), o que comprova a estrutura `alveolar' inerente a grande parte destes solos residuais, assim, o solo pode ser silto-argiloso e ter um índice de vazios razoável (Duarte, 2002).

Convém referir que os parâmetros granulométricos obtidos (para os solos residuais) não são tão correlacionáveis com as propriedades geomecânicas, como o seriam para o caso de solos sedimentares. Sabe-se que estes solos residuais não traduzem a disposição natural das partículas *in situ*, pois existe um aglomerado de material mais grosseiro que permite a formação de uma estrutura porosa que se adapta ao comportamento mecânico dos solos residuais *in situ* (Duarte, 2002).

Os **limites de consistência** (limites de liquidez e limites de plasticidade) foram determinados através de ensaios no laboratório, enquanto que o limite de retracção foi determinado com recurso a cálculos e ábacos.

Na determinação do limite de liquidez foram utilizados o método da concha de Casagrande (w_L) e o método do cone penetrométrico da BS (w_{LC}). No Quadro 0.118 são apresentados os resultados obtidos através dos dois métodos de determinação do limite de liquidez para os perfis analisados.

Verificou-se que a utilização do método do cone penetrométrico tem maior reprodutibilidade do que a utilização do método da concha de Casagrande, devido à maior subjetividade dos resultados obtidos, causada pela grande dependência do operador (como a apreciação visual do fecho do sulco na concha, velocidade de aplicação de cada golpe, volume de solo colocado na concha, etc.). Apesar de tudo isto, por vezes, tem-se grande dificuldade na obtenção do limite de liquidez em solos siltosos e arenosos.

Nos solos residuais em estudo admite-se uma maior dispersão de valores, principalmente em solos residuais com grande percentagem de micas (bem preservadas nestes solos), porque as micas orientam-se com mais facilidade segundo a superfície da concha de Casagrande aumentando a velocidade de fecho do sulco. Posto isto aconselha-se o uso do cone de penetração como método preferível na determinação do limite de liquidez nos solos residuais graníticos (Duarte, 2002).

Nos solos residuais menos alterados, a elevada percentagem de minerais micáceos, contrariamente, ao que acontece com os solos sedimentares, compromete a sua plasticidade. Desta forma a subavaliação do valor do índice de plasticidade (I_p), deve ser levada em conta quando se correlacionar o I_p com outros parâmetros geotécnicos (nomeadamente a expansibilidade, equivalente de areia, atividade, coesão, etc.).

O maior valor de índice de plasticidade (I_p) dos 3 perfis foi registado no solo MM4 (17 %) onde também se constata que o mesmo solo apresenta uma percentagem de argila baixa (Quadro 6.1).

A atividade coloidal no perfil do Monte das Flores varia de 0,74 % a 5,11%; no perfil de Montemor-o-Novo varia de 0,69 % a 2,80 % e no perfil do Vimieiro apresenta uma variação dos

0,43 % aos 1,35 %. Daqui percebe-se que a variação da actividade coloidal é maior no perfil do Monte das Flores possivelmente também relacionada com a menor percentagem de finos.

Quanto ao limite de retração calculado por método gráfico, conclui-se que os solos do perfil de Évora têm menores valores ($19 < W_R < 23$), os solos do perfil do Vimieiro têm valores intermédios ($18 < W_R < 26$) e os solos do perfil de Montemor-o-Novo apresentam valores superiores ($19 < W_R < 27$).

No perfil de Évora registaram-se valores do índice de consistência que variam entre $3 < I_c < 6$ e valores do índice de liquidez entre $-5 < I_L < -2$. No perfil de Montemor-o-Novo registaram-se valores do índice de consistência que variam entre $2 < I_c < 6$ e valores do índice de liquidez entre $-5 < I_L < -1$. No perfil do Vimieiro registaram-se valores do índice de consistência que variam entre $3 < I_c < 7$ e valores do índice de liquidez entre $-6 < I_L < -2$. Os valores do índice de consistência e do índice de liquidez para os três perfis em estudo, ainda assim um pouco elevados, justificam-se pelos baixos teores em água *in situ* afetados pelo clima da região. Os valores do índice de liquidez calculados para os três perfis levam a crer que os solos terão muito pouca tendência para entrarem em liquefação, dado que os teores em água, quando sobem, é apenas por curtos períodos de tempo, devido a fracas precipitações e condições de drenagem favoráveis (geralmente com valores de índice de vazios *in situ* elevados).

A **classificação geotécnica** de solos pretende descrever a aptidão do solo como material de construção e prever o seu comportamento em obra.

Os solos residuais que foram classificados em relação à Classificação AASHTO encontram-se entre os grupos A-1 e A-2 (com diversos subgrupos tais como: A-1-b, A-2-4, A-2-7, A-2-5, A-2-6 e A-1-a), o que significa que para fins rodoviários todos indicam um comportamento na camada sob o pavimento excelente a bom.

Em relação à Classificação do Sistema Unificado, a maioria dos solos foram classificados como areias bem graduadas argilosas (SW-SC) ou areias bem graduadas com silte (SW-SM).

Salienta-se o facto de que, nas características geotécnicas dos solos residuais dos granitóides de clima temperado o controlo macro e microestrutural é bastante forte com uma menor influência dos minerais argilosos, ao contrário do que acontece nos solos residuais dos climas tropicais (Blight, 1997).

Os valores determinados para o **teor em água** (no estado natural w_0) ao longo de cada perfil são, na sua globalidade, coerentes com a profundidade, havendo exceções pontuais. No perfil de Évora os valores variam entre $1 \% < w_0 < 7 \%$, no perfil de Montemor-o-Novo entre $2 \% < w_0 < 5 \%$ e no perfil do Vimieiro os valores variam entre $0 \% < w_0 < 2 \%$.

Quanto às **expansibilidades**, foram obtidas para o perfil do Monte das Flores expansibilidades que variam de 4,5 a 9,6%, para o perfil de Montemor-o-Novo de 2 a 17,6%, e para o perfil do Vimieiro oscilações de 5,8 a 11,1%. Portanto o solo residual de um quartzodiorito é o mais expansivo (como verificado com os solos de Montemor-o-Novo), o que é justificado pela sua

maior percentagem de finos e maior plasticidade. A comparação da expansibilidade em profundidade para cada perfil pode ser visualizada na Figura 6.2. Também se verifica que os solos mais expansivos (neste caso o de Montemor-o-Novo) são os que apresentam maior percentagem de matéria orgânica (Quadro 6.1).

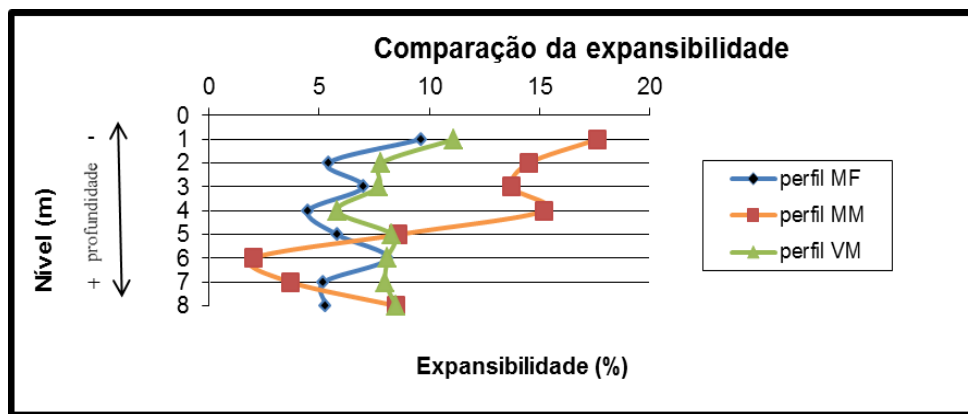


Figura 6.2 - Análise comparativa da expansibilidade para os 3 perfis em estudo, e em profundidade.

Por vezes, durante o a realização do ensaio de expansibilidade, quando terminado o processo de expansão do solo, dá-se uma ligeira retração, talvez devido a um melhor rearranjo das partículas.

O ensaio de **equivalente de areia** permite analisar a quantidade e a qualidade de material fino numa amostra. É fácil deduzir que um solo com elevada percentagem de argila, por exemplo, irá ter propriedades diferentes de um solo em que essa percentagem seja menos elevada. Fazendo uma comparação do equivalente de areia em profundidade para os 3 perfis (Figura 6.3), verifica-se que o perfil do Monte das Flores apresenta valores de equivalente de areia mais elevados ao longo de todo o perfil variando de 33 % a 89 %.

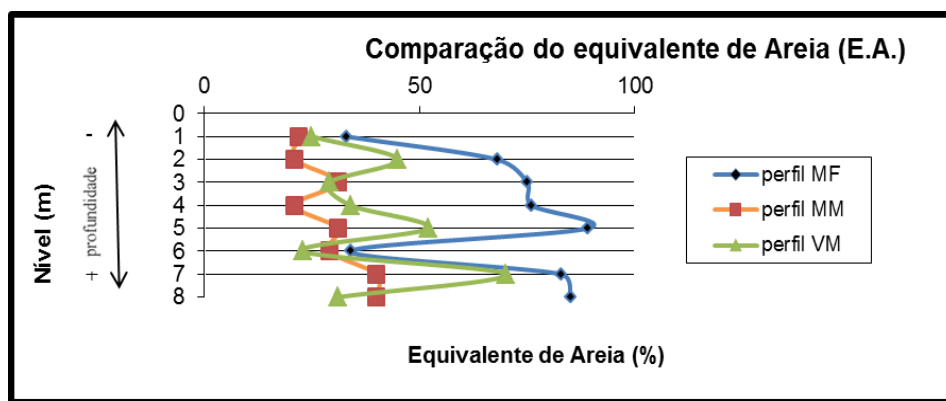


Figura 6.3 - Comparação em profundidade do equivalente de areia para os 3 perfis em estudo.

Verifica-se que a menor gama de valores de E.A. pertence ao maciço eruptivo de Montemor-o-Novo, cuja percentagem de finos é superior, assim como é maior a quantidade de materiais silto-

argilosos (produtos da alteração mais evoluída). Conclui-se que, à partida, os valores de E.A. determinados ao longo dos perfis deveriam ser maiores, mas, tal não acontece provavelmente devido à influência das micas e ao tipo de minerais argilosos existentes nestes solos.

O **peso específico das partículas sólidas** situa-se entre 25,6 KN/m³ e 29,4 KN/m³ nos solos granodioríticos, entre 26,6 KN/m³ e 29,8 KN/m³ nos solos tonalíticos e entre 25,3 KN/m³ e 27,3 KN/m³ nos solos graníticos. Este parâmetro apresenta valores mais baixos nos solos residuais de granitos relativamente aos solos de granodioritos, devido à menor densidade dos minerais félsicos e minerais argilosos resultantes da alteração do feldspato potássico (Figura 6.4). As maiores densidades são típicas dos solos tonalíticos, onde subsistem minerais ferromagnesianos.

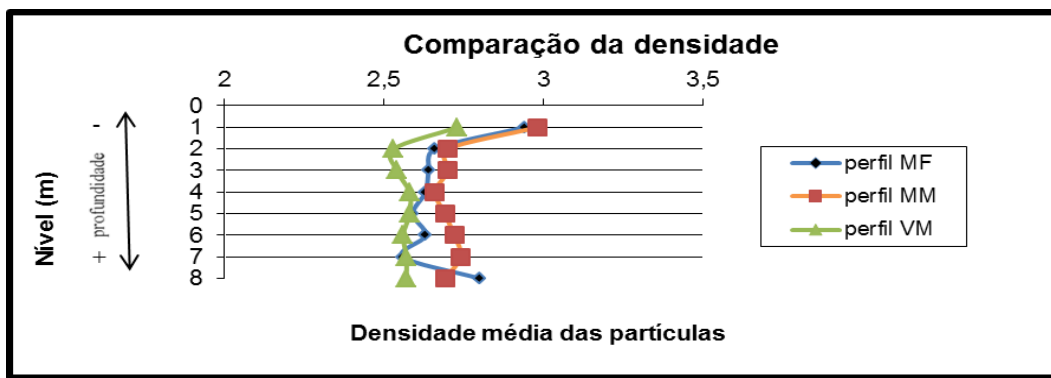


Figura 6.4 - Comparação em profundidade da densidade para os 3 perfis em estudo.

Conclui-se que os valores de menor densidade vão corresponder a camadas de solo com maior percentagem de quartzo, feldspato e mica, e os valores de maior densidade vão corresponder a camadas de solo que contêm maior percentagem de minerais ferromagnesianos. Isto porque os minerais ferromagnesianos possuem densidades superiores aos minerais félsicos, como já foi referido anteriormente.

A **permeabilidade** (k) dos perfis em estudo é considerada média ($k = 10^{-4}$ m/s) a baixa ($k = 10^{-5}$ m/s), típica de solos com areias e siltes (Figura 6.5). Os valores de permeabilidade obtidos para o perfil do Vimieiro, apesar de terem um intervalo de valores superior às outras manchas de solos residuais, traduzem uma permeabilidade média a baixa, correspondendo aos valores mais baixos uma maior percentagem argilosa (as partículas finas vão colmatando gradualmente os vazios entre os grãos mais grosseiros devido à circulação de água).

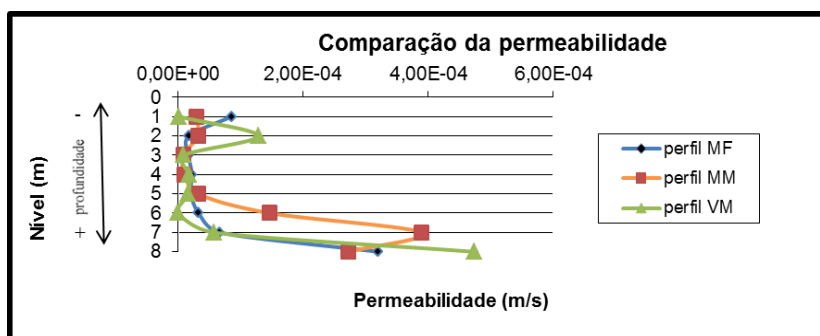


Figura 6.5 - Comparação em profundidade da permeabilidade para os 3 perfis em estudo.

Seria mais correto avaliar este parâmetro “in situ”, até porque a permeabilidade das descontinuidades não é tida em conta nos ensaios laboratoriais, contudo prevê-se que a grande variabilidade deste parâmetro aumente ainda mais no campo devido à heterogeneidade micro e macroestrutural existente na maioria destes solos residuais.

Verifica-se que quanto menor for a dimensão das partículas, menores serão os vazios entre elas, logo aumenta a resistência à passagem da água, ou seja, conclui-se que a permeabilidade diminui com a diminuição do tamanho das partículas.

O **teor em matéria orgânica** (MO) detetado nos solos dos perfis em estudo é considerado significativo, pois é superior a 2 %, logo, poderão existir algumas influências nas propriedades geotécnicas dos solos (Figura 6.6). Pode-se inferir que os solos mais argilosos retêm maior quantidade de matéria orgânica, conforme se pode verificar pelos valores de MO no perfil de Montemor-o-Novo.

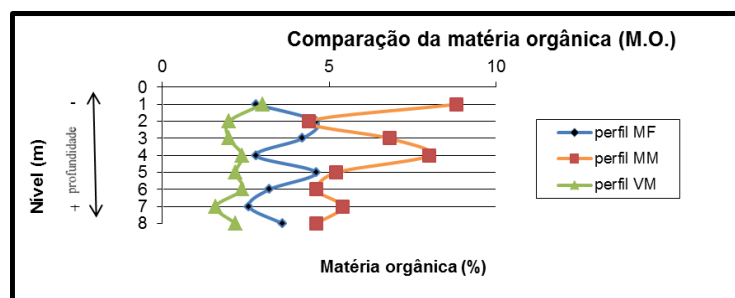


Figura 6.6 - Comparação em profundidade da matéria orgânica para os 3 perfis em estudo.

6.3 - Geoquímica e mineralogia

As rochas graníticas caracterizam-se, essencialmente, por possuírem os seguintes minerais: quartzo, feldspatos e micas. Estes minerais apresentam diferentes graus de resistência à alteração. A relação seguinte apresenta, de forma crescente, a resistência destes minerais:

Feldspato Ca (olivinas) → feldspato Na (piroxênas) → Anfibolas → Biotite → Moscovite → quartzo

A análise de resultados da composição química das rochas e solos residuais permite tirar algumas conclusões, apresentadas de seguida.

Salienta-se que, quanto mais avançado é o estado de alteração do solo residual (consoante os seus índices de alteração), maior é a quantidade de água retida nas estruturas dos minerais secundários de neoformação.

Em termos de **elementos maiores**:

- verifica-se uma diminuição de concentração da rocha para os solos de Na₂O, SiO₂ e CaO (perfil do Monte das Flores);
- verifica-se uma diminuição de concentração da rocha para os solos de Na₂O, SiO₂, P₂O₅, Cl, K₂O, CaO, TiO₂ (perfil de Montemor-o-Novo);
- verifica-se uma diminuição de concentração da rocha para os solos de SiO₂ (perfil do Vimieiro).

Em termos de **elementos menores**:

- verifica-se uma diminuição de concentração da rocha para os solos de Cs (perfil do Monte das Flores);
- verifica-se um aumento de concentração da rocha para os solos de Ni, Br, Rb, Ce, Nd (perfil de Montemor-o-Novo);
- verifica-se um aumento de concentração da rocha para os solos de Mn, Zn, Ga, Rb, La e U (perfil do Vimieiro).

Com a realização deste trabalho constatou-se que fatores predominantes como o relevo e o clima, controlam fortemente o tipo de minerais de neoformação existentes nos produtos de alteração e, conseqüentemente, as respetivas propriedades mecânicas e físicas, não influenciam muito o tipo de rocha-mãe.

Nos resultados obtidos no ensaio do DRX observa-se que para a rocha e os solos do **perfil do Monte das Flores** predominam os seguintes minerais: quartzo, feldspato potássico, illite e caulinite. No perfil do Monte das Flores a composição mineralógica inicial do quartzo, plagioclase e feldspato potássico da rocha mãe evolui para uma formação de solos mais ricos em illite e caulinite.

O ensaio do DRX mostra que no caso do **perfil de Montemor-o-Novo** a rocha apresenta quartzo e plagioclase cálcica que se vão manter nos solos residuais deste perfil e ainda em menor abundância feldspato potássico, flogopite, anfíbola e clorite (verifica-se um empobrecimento destes últimos uma vez que não são identificados nos solos). Os solos do perfil de Montemor-o-Novo apresentam também esmectite, illite e caulinite (à exceção do MM1 onde não foi identificada a caulinite). Podemos portanto observar uma mudança nas características relativamente às da rocha inicial. O solo MM8 por estar próximo da rocha-mãe ainda apresenta na sua composição anfíbola.

Para o **perfil do Vimieiro** o ensaio do DRX mostra que tanto a rocha como os solos são caracterizados por maiores abundâncias de quartzo, plagioclase cálcica, microclina e illite (a exceção do VM4 onde não foi identificada illite). O solo VM2 é o único composto por anortoclase, no solo VM4 é identificada zinnwaldite e no solo VM8 está presente o feldspato potássico (o Quadro 5.5 esquematiza a proporção dos compostos químicos do perfil do Vimieiro).

6.4 - Conclusões gerais

Com esta dissertação pretendeu-se estabelecer uma análise comparativa das propriedades geoquímicas, mineralógicas, físicas e mecânicas, obtidas para os solos residuais de rochas granitóides do Alentejo ao longo dos respetivos perfis de alteração e avaliar e testar a capacidade de antecipar o comportamento geotécnico, em tempo real, pelo conhecimento da variação da composição química dos solos residuais.

Como os solos dos maciços escolhidos foram caracterizados seguindo metodologias semelhantes é possível retirarem-se algumas conclusões gerais para os solos residuais destes granitóides (Quadro 0.119).

O estudo dos solos residuais deve ter um especial cuidado quanto aos aspetos geológicos, contrariamente ao que acontece na Mecânica dos Solos em relação aos solos sedimentares. Devem ser estudados todos os processos de meteorização, pois estes são responsáveis pelos perfis de alteração e influenciam na qualidade da estabilidade de taludes em solos residuais.

O trabalho de campo realizado assume uma importância acrescida para a caracterização dos solos, pois sabe-se que a função da microestrutura e da macroestrutura, em particular das discontinuidades relíquia, vão influenciar fortemente o comportamento geotécnico dos taludes dos solos saprolíticos de granitóides. Em determinados solos residuais de granitóides menos evoluídos, a estrutura cimentada do solo está relacionada com o enfraquecimento das ligações existentes na rocha original e não tanto com as ligações formadas pelos minerais secundários resultantes do processo de meteorização (as quais predominam onde a meteorização química se desenvolveu mais), como já foi referido por Duarte (2002).

As condições de fraca meteorização, onde as discontinuidades relíquia favorecem a ocorrência de ambientes de alteração (devido à variação da composição e da estrutura da rocha-mãe) das quais resultam produtos (rochas alteradas e solos residuais) com diferentes características geotécnicas, servem de justificação para a dispersão verificada nos resultados obtidos (por vezes até verificada num único maciço).

As discontinuidades herdadas da rocha-mãe, a precipitação anual, a drenagem, a exposição solar, a natureza da rocha-mãe e outras propriedades geotécnicas, são determinantes nas profundidades dos perfis de alteração de solos granitóides.

Os limites de consistência não informam sobre o arranjo estrutural dos solos ou ligações residuais entre partículas que existam nos solos no estado natural (sem ser remexido) e estas ligações estão sujeitas a serem destruídas durante a preparação das amostras para a execução dos ensaios.

Comparando os 3 perfis de solos residuais verifica-se que pela composição granulométrica o perfil do Vimieiro apresenta solos mais finos, principalmente com grande percentagem de argila (Quadro 0.119) para além de que pela composição mineralógica este perfil tem minerais com grande plasticidade (como por exemplo a esmectite).

No ensaio do limite de plasticidade houve alguma dificuldade em fazer “rolos” com a mistura do provete mais água destilada, significando pois, que o solo é ainda um solo residual jovem (porque ainda contém muitos minerais primários) como acontece no caso das amostras da pedreira do Monte das Flores.

Na região do Alentejo é comum encontrar-se manchas de minerais secundários que vão substituir sob a forma de pseudomorfozes os minerais primários (como por exemplo o caso dos feldspatos nos solos estudados).

A permeabilidade é bastante difícil de avaliar (devido às fraturas, veios, blocos rochosos, variações repentinas de porosidade, etc.), por isso mesmo, alguns autores recomendam, sempre que possível, a medição da permeabilidade “in situ” em maciços de solos residuais.

A variação do índice de vazios e da textura ocorre em volumes pequenos, tornando assim a heterogeneidade vertical e horizontal de um perfil como característica comum nos solos residuais. Pelo exposto, cada local deve ser considerado individualmente para efeitos de projecto de fundações, taludes ou outras obras geotécnicas, não sendo aconselhável adotar os mesmos resultados de um local para outro em que o solo tenha as mesmas características.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYNES, F. J. & DEARMAN, W. R. (1978) – The microfabric of a chemically weathered granite. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 18: 91-100.

BISHOP, A. W. & BLIGHT, G. E. (1963) - Some aspects of effective stress in saturated and partly saturated soils. *Géotechnique* 13 (3), pp. 177-197.

BLIGHT, G. E. (1967) - Effective stress evaluation for unsaturated soils. *Jour, Soil Mech. & Found. Eng. Div.*, ASCE 93 (SM2), pp. 125-148.

BLIGHT, G. E. (1983) – Aspects of the capillary model for unsaturated soils. *Proc. Asia Reg. Conf. Soil Mech. & Found. Eng.*, Haifa, Israel.

BLIGHT, G. E. (1997) – Mechanics of Residual Soils. Blight, G. E., (editor). *Technical Committee 25 on The Properties of Tropical and Residual Soils of the Int. Soc. For Soil Mech. And Found. Eng.* Balkema, Rotterdam. 237p.

BRAND, E. W. & PHILLIPSON, H. B. (1985) – *Sampling and testing of residual soils*. Hong Kong: Scorpion Press.

BRAND, E. W. (1988) – Evolution of a classification scheme for weathered rock. Written discussion, Geomechanics in Tropical Soils. *Proceedings of the 2nd International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Singapore 2*: 515-518. Rotterdam: Balkema.

CAIXEIRO, E. & DUARTE, I. M. R (2001) - “Permeabilidade in situ e no laboratório de solos graníticos s.l.”, *Acta das II Jornadas Ibéricas de Jovens Geólogos*. H. Alvalade, S. Gonçalves & R. Dias (eds.). Núcleo de Geologia da Universidade de Évora, pp. 86-92. Évora, 2001.

CARVALHOSA, A. B.; CARVALHO, A. M. G.; ALVES, C. A. M. & PINA, H. L. (1969) – Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. *Notícia explicativa da folha 40-A, Évora. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 26 p.

CARVALHOSA, A. & ZBYSZEWSKI, G. (1969) – Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. *Notícia explicativa da folha 35-D, Montemor-O-Novo. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 86 p.

CARVALHOSA, A. & ZBYSZEWSKI, G. (1980) – Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000. *Notícia explicativa da folha 36-A, Pavia. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 39 p.

COLLINS, K. (1985) – Towards characterization of tropical soil microstructure. *Proceedings of the 1st International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, Brasilia 1*: 85-96.

COOK, J. R. & NEWILL, D. (1988) – The field description and identification of tropical residual soils. *2nd Int. Conf. on Geomechanics in Tropical Soils, Singapore* 1: 3-10.

CORREIA, A. G. (1980) – Ensaios para controlo de terraplenagens. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, Lisboa, pp. 64.

CORREIA, A. G. (1988) – Revisão da Classificação de Solos para Propósitos de Engenharia. *Geotecnia n^o52*, pp. 75-90.

DUARTE, I. M. R. (2002) - “Solos Residuais de Rochas Granitóides a Sul do Tejo - Características Geológicas e Geotécnicas.” *Tese de Doutoramento*. Universidade de Évora. 373 p. Évora. 2002.

DUARTE, I. M. R.; Ladeira, F. L. & Gomes, C. F (2004) - “ Chemical Indices and the assessment of the weathering state of residual granitic soils from temperate climates. “- *Abstr. Book 32nd International Geological Congress - Florence 2004*.

DUARTE, I. M. R.; LADEIRA, F. L. & GOMES, C. F. (2004) - “ Influência das propriedades químicas e mineralógicas no comportamento geotécnico de dois solos residuais graníticos.” *9^o Congresso Nacional de Geotecnia. Passado, Presente e Futuro da Geotecnia*. Soc. Portuguesa de Geotecnia/Univ. Aveiro. Vol.1, pp. 229-238.

DUARTE, I. M.R.; PINHO, A. B. & SERAFIM, H. A. M. (2006) – “*In situ* and laboratory permeability of residual soils from granitic rocks in Évora Region”. *10th National Congress of Geotechnics*. Lisboa. 22-25 May 2006.

DUARTE, I. M. R.; PINHO, A. B. & GOMES, C. F. (2008) – Residual soils on granitoids from Alentejo, Portugal: typology based on mineralogical and geochemical data. *GEOQUÍMICA 2008 - IX Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa*. Cabo Verde, 15 a 20 de Março 2008, Livro de Resumos. pp 91.

DUARTE, I.M.R.; MIRÃO, J.A.P; ROCHA, F.T.F.; BONITO, F.; QUETA, F. & FALCÃO, W. – *Pathway Weathering in Granitoid Rocks from Central Region of Angola: Geochemical and Mineralogical Data*. Angolan Journal of Science. EDUAN. Luanda. Angola. 28p.(in publication)

DUARTE, I.M.R.; MIRÃO, J.A.P; ROCHA, F.T.F.; BONITO, F.; QUETA, F. & FALCÃO, W. (2012): Alteração em Rochas Granitóides em Angola: Dados Geoquímicos e Mineralógicos, XI Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa. Faculdade de Ciências da Universidade Agostinho Neto. Novembro 2012, Luanda. Angola. 28p.

FALLA, W. J. (1985) – On the significance of climate and weathering in predicting geotechnical characteristics of residual soils developed on igneous rocks. PhD Thesis, Witwatersrand University, Johannesburg, South Africa.

FREDLUND, D. G. & MORGENSTERN, N. R. (1977) – Stress state variables for unsaturated soils. *Jour. Geotech. Eng. Div., ASCE* 103 (GT5), pp. 447-466.

- FREDLUND, D. G. & RAHARDJO, H. (1993) – *Soil Mechanics for unsaturated soils*. J. Wiley. New York.
- QUEIROZ DE CARVALHO, J. B. (1981) – Study of the microstructure of lateritic soils using Scanning Electron Microscope. *Proceedings of the International Seminar on Lateritization Processes*, Sao Paulo I: 563-568.
- QUEIROZ DE CARVALHO, J. B. (1985) – Effects of deferation and removal of amorphous silica and alumina on selected properties of Brazilian lateritic soils. *Proceedings of the International Seminar on Laterite*, Tokyo II: 559-567.
- QUEIROZ DE CARVALHO, J. B. (1991) – Microstructure of concretionary lateritic soils. *Proceedings of the IX Panamerican Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering I*: 117-128.
- LITTLE, A. L. (1969) – The engineering classification of residual tropical soils. *Proc. Spec. Session on Eng. Props. Lateritic Soils*. 7th Int. Conf. Soil. Mech. & Found. Eng., Mexico City, pp. 1-10.
- LNEC E 15 (1953) – Solos. Determinação do peso específico das partículas de um solo. LNEC, Lisboa.
- LNEC E 195 (1966) – Solos. Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação. LNEC, Lisboa.
- LNEC E 200 (1967) – Solos. Ensaio de expansibilidade. LNEC, Lisboa.
- LNEC E 199 (1967) – Solos. Ensaio de equivalente de areia. LNEC, Lisboa.
- LNEC E 201 (1967) – Solos. Determinação do teor da matéria orgânica. LNEC, Lisboa.
- LNEC E 218 (1968) – Prospecção geotécnica de terrenos. Colheita de amostras. LNEC, Lisboa.
- LNEC E 219 (1968) – Prospecção geotécnica de terrenos - vocabulário. LNEC, Lisboa.
- LNEC E 239 (1970) – Solos. Análise granulométrica por peneiração húmida. LNEC, Lisboa.
- LNEC E 240 (1970) – Classificação para fins rodoviários. LNEC, Lisboa.
- LNEC NP 83 (1965) – Solos. Determinação da densidade das partículas. LNEC, Lisboa.
- LNEC NP 84 (1965) – Solos. Determinação do teor em água. LNEC, Lisboa.
- LNEC NP 143 (1969) – Solos. Determinação dos limites de consistência. LNEC, Lisboa.
- LUMB, P. (1961) – The properties of decomposed granite. *Géotechnique* (3), pp. 226-242.

- MORIN, W. J. & AYETÉY, J. (1971) – Formation and properties of red tropical soils. *Proc. 5th Reg. Conf. For Africa on Soil Mech. & Found. Eng.*, Luanda, Angola (1), pp.45-53.
- RICHARDS, B. G. (1985) – Residual Soils of Australia. In Brand E W & H B Phillipson (eds), *Sampling and Testing of Residual Soils*. Hong Kong: Scorpion Press, pp. 23-30.
- RUXTON, G. P. & BERRY, L. (1957) – Weathering of granite and association erosional features in Hong Kong. *Bulletin, Geol. Soc. Amer.* (68), pp. 1263-1292.
- SIMMONS, J. V. (1989) – Preliminary Studies of Dispersive Soil Fabrics from the Burdekin River Irrigation Area using the Scanning Electron Microscope. *Research Bulletin Number CS38, Department of Civil and Systems Engineering*, James Cook University of North Queensland, Townsville, Australia, pp. 43.
- STRAKHOV, N. M. (1967) – The principles of lithogenesis, Vol. 1, Edinburg, Oliver and Boyd.
- UEHARA, G. (1982) – Soil science for the tropics. Engineering and construction in tropical and residual soils. *ASCE Geotech. Div. Spec. Conf.*, Honolulu, Hawaii, pp. 13-26.
- VAN DER MERWE, D. H. (1965) – The soils and their engineering properties of an area between Pretoria North and Brits, Transvaal. DSc Thesis, University of Pretoria.
- VARGAS, M. & PICHLER, E. (1957) – Residual soil and rock slides in Santos, Brazil. *Proc. 4th Int. Conf. for Soil Mech. & Found. Eng.*, London II, pp. 394-398.
- WEINERT, H. H. (1964) – Basic igneous rocks in road foundations, C.S.I.R. Research Report 218, CSIR, Pretoria, South Africa.
- WEINERT, H. H. (1974) – A climatic index of weathering and its application in road construction. *Géotechnique* 24 (4), pp. 475-488.
- WESLEY, L. D. (1988) – Engineering classification of residual soils. *Proc. Second Int. Conf. On Geomechanics in Tropical Soils*, Singapore (1), pp. 77-84.
- WESLEY, L. D. (2010) – Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils. *John Wiley & sons, INC.*, Hoboken, New Jersey, pp. 431.

❖ http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/estradas2/1_NOCOES_DE_SOLOS.pdf

(Noções de solos)

❖ http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/11888/11888_3.PDF

(Caracterização dos solos residuais: Gênese, composição e comportamento observado)

❖ <http://www.ebah.com.br/content/ABAAA0VcAL/mecanica-dos-solos-i>

(Conceitos introdutórios de Mecânica dos solos)

- ❖ http://www.monte-ace.pt/site/Caracterizacao_ZI.pdf

(Caracterização da região Alentejo central, Zona de intervenção do Monte)

- ❖ <http://www.cm-redondo.pt/pt/conteudos/o%20concelho/geografia/clima.htm>

(Câmara Municipal do Redondo, Climatologia do Alentejo)

- ❖ http://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen-Geiger

(Classificação climática de Köppen)

- ❖ [http://www.infopedia.pt/\\$series-de-bowen](http://www.infopedia.pt/$series-de-bowen)

(Séries de Bowen)

- ❖ <https://sites.google.com/site/isabelserio/rochasmagm%C3%A1ticas>

(Isabel Faria, Séries de Bowen)

- ❖ http://pt.wikipedia.org/wiki/Rocha_%C3%ADgnea

(Wikipedia, Séries de Bowen)

- ❖ <https://library.gl.ciw.edu/GLHistory/pgbowen.html>

(Séries de Bowen)

- ❖ <http://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4516/1/Forma%C3%A7%C3%A3o%20do%20solo-meteoriza%C3%A7%C3%A3o.pdf>

ANEXOS

Quadro 0.1 – Propriedades físicas *in situ* dos solos residuais do maciço granitóide de Évora.

Perfil de solo residual	Extrator n°	Peso do extrator (C) (gramas)	Peso do extrator + solo húmido (A) (gramas)	Peso do extrator + solo seco (B) (gramas)	Volume do extrator (cm ³)	Teor em água no estado natural W ₀ (%)	Peso volúmico no estado natural γ_0 (g/cm ³)	Peso volúmico no estado seco γ_d (g/cm ³)	Porosidade n	Índice de vazios "in situ" e ₀
MF1	4	202,13	330,23	321,78	60,04	7	2	2	0	1
	6	194,79	321,6	314,15	57,98	6	2	2	0	0
MF2	23	1360,76	2702,63	2612,34	768,04	7	2	2	0	1
	20	911,52	1460,56	1426,57	259,54	7	2	2	0	0
MF3	22	1371,4	2599,41	2523,52	761,01	7	2	2	0	1
	8	199,52	314,84	305,06	57,19	9	2	2	0	0
MF4	2	195,16	307,02	299,47	59,36	7	2	2	0	1
	21	905,21	1347,94	1307,79	260,45	10	2	2	0	1
MF5	16	914,44	1406,56	1382,77	256,26	5	2	2	0	0
	17	908,04	1357,37	1336,06	260,92	5	2	2	0	1
MF6	24	1369,73	2803,39	2723,84	763,51	6	2	2	0	1
	19	914,74	1345,07	1305,24	261,74	10	2	2	0	1
MF7	25	1362,18	2765,29	2695,81	763,88	5	2	2	0	1
	1	196,64	311,78	305,89	57,65	5	2	2	0	0
MF8	14	919,99	1402,8	1381,63	263,08	5	2	2	0	1
	18	913,5	1414,37	1368,32	261	10	2	2	0	1

Quadro 0.2 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF1.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
N°	mm						
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	97,8	110,7	12,9	1,23	1,23	98,77
(6) #10	2	273,68	624,48	350,8	33,52	34,75	65,25
(5) #20	0,85	90,4	412,18	321,78	30,75	65,50	34,50
(4) #40	0,425	90,53	253,44	162,91	15,57	81,06	18,94
(3) #60	0,25	91,71	169,99	78,28	7,48	88,54	11,46
(2) #140	0,106	169,34	235,86	66,52	6,36	94,90	5,10
(1) #200	0,075	195,05	207,72	12,67	1,21	96,11	3,89
< #200	< 0,075			TOTAL	1005,86		
				Massa total (mt)	1046,57		

Quadro 0.3 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF2.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	119,02	124,13	5,11	0,45	0,45	99,55
(7) #4	4,75	101,74	145,31	43,57	3,86	4,31	95,69
(6) #10	2	260,75	656,46	395,71	35,03	39,34	60,66
(5) #20	0,85	182,22	516,77	334,55	29,61	68,95	31,05
(4) #40	0,425	199,11	349,52	150,41	13,31	82,26	17,74
(3) #60	0,25	203,3	271,61	68,31	6,05	88,31	11,69
(2) #140	0,106	336,98	395,89	58,91	5,21	93,52	6,48
(1) #200	0,075	296,75	308,99	12,24	1,08	94,61	5,39
< #200	< 0,075			TOTAL	1068,81		
				Massa total (mt)	1129,73		

Quadro 0.4 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF3.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	97,8	146,22	48,42	3,83	3,83	96,17
(6) #10	2	273,68	703,84	430,16	34,03	37,86	62,14
(5) #20	0,85	182,22	563,83	381,61	30,19	68,05	31,95
(4) #40	0,425	90,53	265,81	175,28	13,87	81,92	18,08
(3) #60	0,25	91,71	169,46	77,75	6,15	88,07	11,93
(2) #140	0,106	169,34	245,15	75,81	6,00	94,07	5,93
(1) #200	0,075	195,05	210,23	15,18	1,20	95,27	4,73
< #200	< 0,075			TOTAL	1204,21		
				Massa total (mt)	1263,97		

Quadro 0.5 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF4.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)		% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm							
(8) #	9,5	48,68	50,33	1,65		0,17	0,17	99,83
(7) #4	4,75	97,8	112,94	15,14		1,56	1,73	98,27
(6) #10	2	273,68	515,98	242,3		25,00	26,74	73,26
(5) #20	0,85	182,22	483,44	301,22		31,08	57,82	42,18
(4) #40	0,425	90,53	261,17	170,64		17,61	75,43	24,57
(3) #60	0,25	91,71	180,03	88,32		9,11	84,54	15,46
(2) #140	0,106	169,34	254,88	85,54		8,83	93,37	6,63
(1) #200	0,075	195,05	208,87	13,82		1,43	94,79	5,21
< #200	< 0,075			TOTAL	918,63			
				Massa total (mt)	969,09			

Quadro 0.6 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF5.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)		% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm							
(8) #	9,5	-	-	-		-	-	-
(7) #4	4,75	94,39	117,59	23,2		2,22	2,22	97,78
(6) #10	2	199,1	565,49	366,39		35,12	37,35	62,65
(5) #20	0,85	105,66	423,27	317,61		30,45	67,80	32,20
(4) #40	0,425	119,58	268,97	149,39		14,32	82,12	17,88
(3) #60	0,25	120,3	187,78	67,48		6,47	88,59	11,41
(2) #140	0,106	88,22	149,04	60,82		5,83	94,42	5,58
(1) #200	0,075	100,31	111,36	11,05		1,06	95,48	4,52
< #200	< 0,075			TOTAL	995,94			
				Massa total (mt)	1043,14			

Quadro 0.7 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF6.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)		% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumula da que passa (Nx) (%)
Nº	mm							
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	116,55	141,93	25,38	2,19	2,19	97,81	
(6) #10	2	302,02	625,53	323,51	27,89	30,08	69,92	
(5) #20	0,85	245,53	594,59	349,06	30,09	60,17	39,83	
(4) #40	0,425	119,58	314,1	194,52	16,77	76,94	23,06	
(3) #60	0,25	101,72	186,26	84,54	7,29	84,23	15,77	
(2) #140	0,106	88,22	175,77	87,55	7,55	91,78	8,22	
(1) #200	0,075	100,31	119,92	19,61	1,69	93,47	6,53	
< #200	< 0,075			TOTAL	1084,17			
				Massa total (mt)	1159,89			

Quadro 0.8 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF7.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)		% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm							
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	90,31	118,38	28,07	2,27	2,27	97,73	
(6) #10	2	246,57	652,56	405,99	32,89	35,16	64,84	
(5) #20	0,85	290,34	661,99	371,65	30,10	65,26	34,74	
(4) #40	0,425	118,91	294,82	175,91	14,25	79,51	20,49	
(3) #60	0,25	119,48	205,38	85,9	6,96	86,47	13,53	
(2) #140	0,106	117,03	198,12	81,09	6,57	93,04	6,96	
(1) #200	0,075	104,91	119,91	15	1,22	94,26	5,74	
< #200	< 0,075			TOTAL	1163,61			
				Massa total (mt)	1234,53			

Quadro 0.9 – Tabela da análise granulométrica da amostra MF8.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)		% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm							
(8) #	9,5	98,26	99,88	1,62		0,14	0,14	99,86
(7) #4	4,75	102,49	146,47	43,98		3,87	4,02	95,98
(6) #10	2	236,98	640,48	403,5		35,54	39,56	60,44
(5) #20	0,85	260,75	580,09	319,34		28,13	67,69	32,31
(4) #40	0,425	96,75	248,43	151,68		13,36	81,05	18,95
(3) #60	0,25	119,62	190,01	70,39		6,20	87,25	12,75
(2) #140	0,106	117,47	184,78	67,31		5,93	93,18	6,82
(1) #200	0,075	120,08	132,14	12,06		1,06	94,25	5,75
< #200	< 0,075			TOTAL	1069,88			
				Massa total (mt)	1135,19			

Quadro 0.10 – Tabela da massa retida no ensaio de determinação da textura de solos de Monte das Flores.

Nome da amostra	Peso da cápsula/crivo 0,210 mm (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)
MF1	142,94	156,68	13,74	68,70
MF2	181,11	196,45	15,34	76,70
MF3	177,06	192,07	15,01	75,05
MF4	182,38	198,72	16,34	81,70
MF5	182,76	199,38	16,62	83,10
MF6	184,6	201,25	16,65	83,25
MF7	142,94	159,89	16,95	84,75
MF8	181,11	197,27	16,16	80,80
			Massa total (mt)	20

Quadro 0.11 – Tabela da correção do teor em água para os solos de Monte das Flores.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água de cada provete (W) (%)	Peso de cada toma_correção teor água (gramas)
MF1	48,86	68,87	68,57	1,52	20,30
MF2	48,72	68,74	68,12	3,20	20,64
MF3	40,18	60,19	59,64	2,83	20,57
MF4	43,84	63,84	63,54	1,52	20,30
MF5	37,92	57,94	57,64	1,52	20,30
MF6	38,52	58,54	58,14	2,04	20,41
MF7	40,47	60,47	60,15	1,63	20,33
MF8	37,57	57,57	57,25	1,63	20,33

Quadro 0.12 - Tabela da recolha silte + argila (L+A) para os solos de Monte das Flores.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)
MF1	35,87	56,96	35,91
MF2	35,57	56,49	35,61
MF3	38,09	58,96	38,13
MF4	28,04	49,05	28,07
MF5	42,62	63,54	42,64
MF6	36,08	56,8	36,13
MF7	37,26	58,34	37,29
MF8	37,54	58,57	37,6

Quadro 0.13 – Tabela da recolha Argila (A) para os solos de Monte das Flores.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provetete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provetete seco (B) (gramas)
MF1	35,79	56,56	35,82
MF2	44,19	65,13	44,22
MF3	37,54	58,33	37,58
MF4	28,27	49,15	28,3
MF5	37,26	58,09	37,27
MF6	35,35	56,35	35,36
MF7	41,03	61,84	41,06
MF8	43,96	65,14	43,99

Quadro 0.14 – Tabela dos valores do limite de plasticidade para os solos de Monte das Flores.

Nome da amostra	Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provetete húmido (gramas)	Peso da cápsula + provetete seco (gramas)	Teor em água de cada provete (%)		LP (média do teor em água) (%)	
MF1	35,8	37,36	37,06	W1	23,81	LPMF1	22
	28,05	29,46	29,21	W2	21,55		
	45,03	47,25	46,84	W3	22,65		
	28,78	30,14	29,91	W4	20,35		
	44,45	46,35	46	W5	22,58		
	35,76	38,05	37,65	W6	21,16		
	35,71	37,44	37,13	W7	21,83		
MF2	35,89	37,95	37,49	W8	28,75	LPMF2	25
	45,03	47,46	46,97	W9	25,26		
	28,78	30,9	30,46	W10	26,19		
	28,05	30,19	29,75	W11	25,88		
	44,45	46,02	45,71	W12	24,60		
	36,14	38,67	38,17	W13	24,63		
MF3	36,02	37,93	37,54	W14	25,66	LPMF3	24
	41,54	44	43,48	W15	26,80		
	41,57	43,95	43,47	W16	25,26		
	43,3	45,41	45	W17	24,12		
	35,6	37,41	37,07	W18	23,13		
	47,52	49,9	49,43	W19	24,61		
MF4	50,85	53,69	53,12	W20	25,11	LPMF4	23

	47,24	49,78	49,29	W21	23,90		
	48,56	50,24	49,91	W22	24,44		
	46,76	48,7	48,34	W23	22,78		
	48,85	51,74	51,21	W24	22,46		
	49,21	51,03	50,7	W25	22,15		
MF5	35,79	36,77	36,57	W26	25,64	LPMF5	23
	35,9	37,55	37,19	W27	27,91		
	40,47	42,28	41,95	W28	22,30		
	35,91	37,95	37,59	W29	21,43		
	35,94	38,48	37,94	W30	27,00		
	35,63	38,5	37,98	W31	22,13		
MF6	40,47	41,94	41,66	W32	23,53	LPMF6	24
	35,96	38,08	37,65	W33	25,44		
	35,79	37,36	37,05	W34	24,60		
	41,54	43,46	43,08	W35	24,68		
	35,9	37,31	37,04	W36	23,68		
	35,63	37,61	37,22	W37	24,53		
MF7	35,91	37,78	37,42	W38	23,84	LPMF7	24
	43,3	44,61	44,35	W39	24,76		
	36,37	38,35	37,95	W40	25,32		
	36,02	37,58	37,29	W41	22,83		
	35,6	37,56	37,18	W42	24,05		
	47,52	49,06	48,76	W43	24,19		
MF8	35,63	37,55	37,17	W44	24,68	LPMF8	25
	43,3	44,67	44,37	W45	28,04		
	35,91	37,75	37,42	W46	21,85		
	40,47	42,45	42,03	W47	26,92		
	41,54	43,49	43,1	W48	25,00		
	35,8	38,15	37,69	W49	24,34		

Quadro 0.15 – Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método da concha de Casagrande para os solos de Monte das Flores.

Nome da amostra	Nº de pancadas	Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	LL (através da reta) (%)	
MF1	12	36,03	55,06	50,96	LLMF1	26
	15	41,54	57,85	54,34		
	17	35,57	49,41	46,48		
	30	35,51	49,33	46,50		
	35	43,96	60,56	57,16		
	37	37,24	54,83	51,28		
MF2	8	48,56	64,02	60,04	LLMF2	33
	10	48,85	65,60	61,30		
	13	46,76	62,21	58,26		
	15	47,24	62,66	58,71		
	31	47,52	60,94	57,67		
	34	35,60	51,94	47,98		
	39	48,33	64,40	60,54		
MF3	12	50,85	68,39	64,04	LLMF3	32
	17	49,21	66,19	62,04		
	20	36,02	50,55	47,02		
	26	43,30	59,97	55,99		
	31	41,57	56,92	53,28		
	38	41,54	57,63	53,83		
MF4	14	36,37	51,95	48,23	LLMF4	30
	16	35,70	49,77	46,43		
	20	35,34	48,74	45,62		
	28	28,93	42,17	39,16		
	33	43,42	57,05	54,01		
	38	28,75	44,57	41,09		
MF5	11	45,02	61,49	57,51	LLMF5	29
	14	37,49	52,50	48,93		
	19	36,10	51,28	47,80		
	27	41,45	55,33	52,30		
	35	28,58	42,88	39,82		
	38	35,76	50,93	47,75		
MF6	12	28,13	37,09	34,86	LLMF6	35
	15	43,42	52,16	49,72		
	18	35,70	47,10	44,09		
	25	28,75	41,88	38,47		
	30	41,45	53,34	50,31		
	39	36,10	47,54	44,71		
MF7	10	28,58	41,11	37,96	LLMF7	30

	12	37,49	56,56	51,83		
	20	45,02	57,86	54,76		
	26	35,34	46,47	43,90		
	30	35,76	49,36	46,37		
	35	41,57	56,23	53,02		
MF8	10	36,37	52,36	48,25	LLMF8	30
	12	35,96	49,73	46,32		
	18	35,60	46,66	43,93		
	27	35,79	48,86	45,86		
	30	35,90	48,88	45,99		
	35	36,02	46,51	44,21		

Quadro 0.16 - Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método do Cone de penetração para os solos de Monte das Flores.

Nome da amostra	Ensaio	Peso do copo do amostrador (gramas)	Penetração média P (mm)	Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Teor em água de cada provete W (%)	LLc (através da reta) (%)
MF1	1	73,05	18,9	41,57	58,08	54,18	30,93	LLc MF1
	2		15	36,14	56,48	51,98	28,41	
	3		19,45	36,02	49,84	46,65	30,01	
	4		15,35	28,75	45,46	41,74	28,64	
	5		20,5	38,05	61,40	55,98	30,23	
	6		24,2	35,60	50,77	47,26	30,10	
MF2	1	73,05	17,2	36,01	53,12	48,88	32,94	LLc MF2
	2		17,3	35,60	46,62	43,93	32,29	
	3		18,25	41,57	56,30	52,72	32,11	
	4		21,15	38,08	54,92	50,74	33,02	
	5		24,15	28,75	49,00	43,75	35,00	
MF3	1	22,45	16,25	28,93	35,33	33,77	32,23	LLc MF3
	2		18,05	36,37	43,91	42,00	33,93	
	3		17,15	35,34	44,04	41,87	33,23	
	4		18,6	43,42	55,15	52,03	36,24	
	5		24,6	28,75	42,72	38,87	38,04	
	6		21,25	35,70	51,22	46,97	37,71	
MF4	1	22,45	17,55	47,24	55,82	53,58	35,33	LLc MF4
	2		22,8	46,76	53,59	51,78	36,06	
	3		23,35	48,56	62,93	59,24	34,55	
	4		24,45	48,33	57,46	55,15	33,87	
MF5	1	72,97	15,25	36,09	44,07	42,18	31,03	LLc

	2		19,25	44,22	55,11	52,39	33,29	MF5	
	3		21,1	36,14	45,45	43,10	33,76		
	4		22,9	36,00	44,62	42,44	33,85		
MF6	1	72,97	16,7	36,01	44,24	42,16	33,82	LLc	35
	2		19,7	41,59	47,80	46,22	34,13		
	3		22,9	47,69	58,67	55,74	36,40	MF6	
	4		24,45	48,42	63,90	59,54	39,21		
MF7	1	72,97	15,5	48,42	57,07	54,92	33,08	LLc	37
	2		18,7	47,69	57,62	55,03	35,29		
	3		20,2	36,00	44,87	42,46	37,31	MF7	
	4		22,6	36,14	50,49	46,43	39,46		
	5		22,55	41,59	52,81	49,64	39,38		
MF8	1	21,84	15	44,22	55,42	52,67	32,54	LLc	35
	2		17,55	36,01	45,67	43,25	33,43		
	3		20,3	36,14	43,06	41,30	34,11	MF8	
	4		20,75	36,37	45,13	42,84	35,39		
	5		24,1	48,42	62,38	58,67	36,20		
	6		24,3	36,00	50,71	46,71	37,35		

Quadro 0.17 - Classificações geotécnicas (AASHTO e Sistema Unificado) dos solos residuais granitóides do maciço eruptivo de Évora.

Perfil	Material passa # 10 (%)	Material passa # 40 (%)	Material passa # 200 (%)	LL	IP (%)	I G	Classificação de solos AASHTO		Classificação do sistema unificado	
							Grupo	Subgrupo	Símbolo do grupo	Nome do grupo
MF1	65,25	18,94	3,89	26	5	0	A-1	A-1-b	SW - SC	areia argilosa
MF2	60,66	17,74	5,39	33	8	0	A-2	A-2-4	SW - SM	areia siltosa
MF3	62,14	18,08	4,73	32	7	0	A-2	A-2-4	SW - SM	areia siltosa
MF4	73,26	24,57	5,21	30	7	0	A-2	A-2-4	SW - SM	areia siltosa
MF5	62,65	17,88	4,52	29	6	0	A-1	A-1-b	SW	areia bem graduada
MF6	69,92	23,06	6,53	35	10	0	A-2	A-2-4	SW - SM	areia siltosa
MF7	64,84	20,49	5,74	30	6	0	A-1	A-1-b	SW - SM	areia siltosa
MF8	60,44	18,95	5,75	30	5	0	A-1	A-1-b	SW - SM	areia siltosa

Quadro 0.18 - Teor em água para os solos de Monte das Flores.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água de cada provete (%)		Teor em água médio (%)	
				W	Teor (%)	WMF	Repetições
MF1	90,25	372,49	354,49	W1	6,81	WMF1	7
	100,2	378,83	361,24	W2	6,74		
	102,47	400,1	381,33	W3	6,73		
MF2	90,25	421,01	413,19	W4	2,42	WMF2	2
	99,22	408,33	401,28	W5	2,33		
	88,2	413,57	405,78	W6	2,45		
MF3	99,13	423,27	415,98	W7	2,30	WMF3	2
	98,07	409,09	402,01	W8	2,33		
	105,66	446,21	438,81	W9	2,22		
MF4	99,13	452,55	448,77	W10	1,08	WMF4	1
	98,07	395,39	392,32	W11	1,04		
	105,66	466,54	462,56	W12	1,12		
MF5	99,21	442,83	438,35	W13	1,32	WMF5	1
	119,01	421,81	417,43	W14	1,47		
	101,74	425,48	420,79	W15	1,47		
MF6	101,74	449,57	444,83	W16	1,38	WMF6	1
	119,01	425,27	421,4	W17	1,28		
	99,21	422,96	417,62	W18	1,68		
MF7	100,21	434,64	430,1	W19	1,38	WMF7	1
	90,25	435,51	430,51	W20	1,47		
	118,12	435,93	431,48	W21	1,42		
MF8	94,39	429,71	426,24	W22	1,05	WMF8	1
	120,3	439,98	436,1	W23	1,23		
	105,66	447,4	443,82	W24	1,06		

Quadro 0.19 - Tabela do teor em água para os solos de Monte das Flores.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água (%)
EXP1_MF1	28,93	113,52	92,31	33,46
EXP2_MF2	29,21	107,39	86,31	36,92
EXP3_MF3	36,44	114,97	93,04	38,75
EXP4_MF4	46,81	125,19	104,31	36,31
EXP5_MF5	29,12	105,07	84,75	36,53
EXP6_MF6	36,74	112,54	92,32	36,38
EXP7_MF7	39,69	119,15	98,12	35,99

EXP1_MF8	64,2	150,56	128,85	33,58
----------	------	--------	--------	-------

Quadro 0.20 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP1 e EXP2) usando os solos de Monte das Flores (MF1 e MF2).

Tempo (min)	EXP1_MF1 (3/5/2013)				EXP2_MF2 (3/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade de $(Exp = (\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100)$ (%)	Expansibilidade total $(Exp = ((11 - 10)/h_0) \times 100)$ (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade de $(Exp = (\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100)$ (%)	Expansibilidade total $(Exp = ((11 - 10)/h_0) \times 100)$ (%)
(Seco) 0	230	2,3		9,6	243	2,43		5,4
1	274	2,74	2,75		264	2,64	1,4	
2	279	2,79	3,0625		278	2,78	2,3	
3	280	2,8	3,125		298	2,98	3,7	
4	280	2,8	3,125		305	3,05	4,1	
5	280	2,8	3,125		308	3,08	4,3	
10	281	2,81	3,1875		311	3,11	4,5	
15	281	2,81	3,1875		313	3,13	4,7	
30	282	2,82	3,25		314	3,14	4,7	
45	282	2,82	3,25		314	3,14	4,7	
1 h	283	2,83	3,3125		314	3,14	4,7	
2 h	283	2,83	3,3125		318	3,18	5,0	
3 h	283	2,83	3,3125		320	3,2	5,1	
4 h	283	2,83	3,3125		321	3,21	5,2	
5 h	384	3,84	9,625		322	3,22	5,3	
6 h	384	3,84	9,625		323	3,23	5,3	
7 h	384	3,84	9,625		323	3,23	5,3	
8 h	384	3,84	9,625					
9 h								
...								
24 h	384	3,84	9,625	324	3,24	5,4		

Quadro 0.21 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP3 e EXP4) usando os solos de Monte das Flores (MF3 e MF4).

Tempo (min)	EXP3_MF3 (3/5/2013)				EXP4_MF4 (4/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade de $(Exp = (\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100)$ (%)	Expansibilidade total $(Exp = ((11 - 10)/h_0) \times 100)$ (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade de $(Exp = (\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100)$ (%)	Expansibilidade total $(Exp = ((11 - 10)/h_0) \times 100)$ (%)
(Seco) 0	225	2,25		7,0	240	2,4		4,5
1	295	2,95	4,7		270	2,7	2,0	
2	308	3,08	5,5		296	2,96	3,7	
3	312	3,12	5,8		300	3	4,0	
4	313	3,13	5,9		301	3,01	4,1	
5	314	3,14	5,9		301	3,01	4,1	
10	317	3,17	6,1		302	3,02	4,1	
15	319	3,19	6,3		302	3,02	4,1	
30	322	3,22	6,5		304	3,04	4,3	
45	322	3,22	6,5		305	3,05	4,3	
1 h	324	3,24	6,6		306	3,06	4,4	
2 h	328	3,28	6,9		308	3,08	4,5	
3 h	329	3,29	6,9		308	3,08	4,5	
4 h	330	3,3	7,0		308	3,08	4,5	
5 h								
6 h								
7 h								
8 h								
9 h								
...								
24 h	328	3,28	6,9	308	3,08	4,5		

Quadro 0.22 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP5 e EXP6) usando os solos de Monte das Flores (MF5 e MF6).

Tempo (min)	EXP5_MF5 (4/5/2013)				EXP6_MF6 (4/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade de (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)
(Seco) 0	245	2,45		5,8	5133	1,13		8,1
1	311	3,11	4,4		5133	1,13	0,0	
2	320	3,2	5,0		616	1,36	1,5	
3	320	3,2	5,0		785	1,49	2,3	
4	320	3,2	5,0		82	1,62	3,2	
5	321	3,21	5,1		975	1,88	4,9	
10	324	3,24	5,3		9161	1,96	5,5	
15	326	3,26	5,4		9162	1,96	5,5	
30	328	3,28	5,5		1021	2,02	5,9	
45	329	3,29	5,6		1061	2,06	6,2	
1 h	329	3,29	5,6		1076	2,08	6,3	
2 h	330	3,3	5,7		10102	2,10	6,5	
3 h	331	3,31	5,7		10121	2,12	6,6	
4 h	331	3,31	5,7		10122	2,12	6,6	
5 h	332	3,32	5,8		10122	2,12	6,6	
6 h	332	3,32	5,8		11141	2,34	8,1	
7 h	332	3,32	5,8		11141	2,34	8,1	
8 h	332	3,32	5,8		11141	2,34	8,1	
9 h	332	3,32	5,8		11141	2,34	8,1	
...								
24 h	332	3,32	5,8	11141	2,34	8,1		

Quadro 0.23 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP7 e EXP1) usando os solos de Monte das Flores (MF7 e MF8).

Tempo (min)	EXP7_MF7 (4/5/2013)				EXP1_MF8 (28/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade de (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)
(Seco) 0	945	9,45		5,2	114	1,14		5,3
1	980	9,8	2,3		165	1,65	3,4	
2	1006	10,06	4,1		175	1,75	4,1	
3	1012	10,12	4,5		177	1,77	4,2	
4	1013	10,13	4,5		178	1,78	4,3	
5	1013	10,13	4,5		179	1,79	4,3	
10	1017	10,17	4,8		181	1,81	4,5	
15	1018	10,18	4,9		183	1,83	4,6	
30	1019	10,19	4,9		185	1,85	4,7	
45	1020	10,2	5,0		185	1,85	4,7	
1 h	1020	10,2	5,0		186	1,86	4,8	
2 h	1022	10,22	5,1		188	1,88	4,9	
3 h	1023	10,23	5,2		192	1,92	5,2	
4 h	1023	10,23	5,2		192	1,92	5,2	
5 h	1023	10,23	5,2		192	1,92	5,2	
6 h	1023	10,23	5,2		192	1,92	5,2	
7 h	1023	10,23	5,2		193	1,93	5,3	
8 h	1023	10,23	5,2		193	1,93	5,3	
9 h	1023	10,23	5,2		193	1,93	5,3	
...								
24 h	1023	10,23	5,2	193	1,93	5,3		

Quadro 0.24 – Estimativa do peso de cada toma através do teor em água de cada provete (do perfil do Monte das Flores).

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água de cada provete (W) (%)	Peso de cada toma (gramas)
MF1	49,49	196,1	195	0,76	120,91
MF2	50,9	174,43	171,54	2,39	122,87
MF3	48,85	172,76	170,5	1,86	122,23
MF4	48,85	179,04	177,63	1,09	121,31
MF5	46,76	190,71	188,89	1,28	121,54
MF6	47,24	180,04	178,17	1,43	121,71
MF7	49,21	190,06	188,42	1,18	121,41
MF8	48,56	177,56	176,13	1,12	121,35

Quadro 0.25 – Determinação do Equivalente de Areia (E.A.) e do Equivalente de Areia Visual (E.A.V.) para o perfil do Monte das Flores.

Nº ensaio	Altura do nível superior da suspensão argilosa em relação ao fundo da proveta	Altura do nível superior do sedimento em relação ao fundo da proveta	Base do pistão assente no fundo da proveta	Base do pistão assente no sedimento	Altura do sedimento (cm)	Equivalente de areia	Equivalente de areia visual	E. A. (%)	E. A. V. (%)	
			Medição entre a face sup. da peça guia e a face inferior do peso do pistão	Medição entre a face sup. da peça guia e a face inferior do peso do pistão						
	h1 (cm)	h'2 (cm)	K (cm)	h3 (cm)	h2 = h3 - K	E.A. = (h2/h1)*100	E.A.V. = (h'2/h1)*100			
MF1	provete 1	27,2	8	K1 = 5,3	14,30	9,00	33,09	29,41	33	30
	provete 2	26,9	8	K2 = 5,3	14,4	9,10	33,83	29,74		
MF2	provete 3	11,9	8,2	K1 = 5,8 (pistão 1)	13,83	8,03	67,48	68,91	68	69
	provete 4	12	8,3	K2 = 5,77 (pistão 2)	13,96	8,19	68,25	69,17		
MF3	provete 5	11,9	8,7	K1 = 5,8 (pistão 1)	14,8	9,00	75,63	73,11	75	74
	provete 6	12,3	9,1	K2 = 5,77 (pistão 2)	15	9,23	75,04	73,98		
MF4	provete 7	11	8,5	K1 = 5,8 (pistão 1)	14,05	8,25	75,00	77,27	76	78
	provete 8	11,7	9,1	K2 = 5,77 (pistão 2)	14,79	9,02	77,09	77,78		
MF5	provete 9	10,1	7,5	K1 = 5,3	14,3	9,00	89,11	74,26	89	74
	provete 10	10,1	7,5	K2 = 5,3	14,3	9,00	89,11	74,26		
MF6	provete 11	23,4	7	K1 = 5,3	13,2	7,90	33,76	29,91	34	30
	provete 12	23,3	7,2	K2 = 5,3	13,2	7,90	33,91	30,90		
MF7	provete 13	10,3	7,4	K1 = 5,3	13,9	8,60	83,50	71,84	83	72
	provete 14	10,5	7,5	K2 = 5,3	13,9	8,60	81,90	71,43		
MF8	provete 15	10,3	7,3	K1 = 5,3	14	8,70	84,47	70,87	85	71
	provete 16	10,3	7,4	K2 = 5,3	14,2	8,90	86,41	71,84		

Quadro 0.26 – Tabela com a determinação dos valores das densidades para os solos de Monte das Flores.

Nome da amostra	Provete	Picnómetro nº	Peso do picnómetro (gramas)	Picnómetro + água destilada (m3) (gramas)	Picnómetro + provete seco (gramas)	Provete seco (m4) (gramas)	Temperatura do ensaio (t) (° C)	Picnómetro + provete + água destilada (m5) (gramas)	Razão entre as densidades da água à temperatura do ensaio e a 20° C (K)	Densidade das partículas (d)	Densidade média das partículas
MF1	1	2	77,90	177,39	107,52	29,62	23	195,98	0,999	2,684	2,94
	2	7	61,81	161,31	91,71	29,90	23	180,17	0,999	2,707	
	3	8	49,92	146,36	80,34	30,42	23	168,57	0,999	3,703	
	4	9	61,51	161,13	91,6	30,09	23	179,99	0,999	2,678	
MF2	5	10	77,04	176,70	107,45	30,41	23	195,65	0,999	2,652	2,66
	6	11	47,30	147,03	77,3	30,00	23	165,75	0,999	2,658	
	7	13	62,95	162,62	92,99	30,04	23	181,41	0,999	2,668	
	8	17	54,05	154,06	84,38	30,33	23	172,92	0,999	2,643	
MF3	9	22	55,87	156,09	85,53	29,66	23	174,41	0,999	2,614	2,64
	10	23	56,78	157,00	86,7	29,92	23	175,54	0,999	2,627	
	11	24	55,46	155,62	85,47	30,01	23	174,26	0,999	2,638	
	12	25	55,63	155,90	85,72	30,09	23	174,7	0,999	2,663	
MF4	13	26	55,97	156,11	85,97	30,00	23	174,7	0,999	2,628	2,63
	14	27	56,01	156,23	86,16	30,15	23	175,01	0,999	2,650	
	15	28	55,74	155,99	85,74	30,00	23	174,5	0,999	2,609	
	16	29	55,85	156,16	85,86	30,01	23	174,8	0,999	2,638	
MF5	17	30	55,56	155,80	85,55	29,99	23	174,52	0,999	2,659	2,59
	18	31	56,92	157,13	86,92	30,00	23	174,8	0,999	2,431	
	19	32	56,08	156,37	86,1	30,02	23	175,06	0,999	2,648	
	20	34	56,24	156,49	86,23	29,99	23	175,03	0,999	2,617	
MF6	21	35	55,46	155,65	85,48	30,02	23	174,2	0,999	2,616	2,63
	22	36	55,36	155,69	85,36	30,00	23	174,2	0,999	2,609	
	23	37	52,90	153,05	82,91	30,01	23	171,62	0,999	2,622	
	24	38	56,61	156,78	86,63	30,02	23	175,54	0,999	2,664	
MF7	25	41	55,77	155,97	85,77	30,00	23	174,53	0,999	2,621	2,56
	26	43	55,51	155,73	85,53	30,02	23	173,34	0,999	2,417	
	27	44	56,90	157,18	86,91	30,01	23	175,45	0,999	2,555	
	28	45	56,09	156,29	86,13	30,04	23	174,96	0,999	2,640	
MF8	29	33	55,82	156,03	85,85	30,03	23	175,25	0,999	2,776	2,80
	30	39	52,17	152,31	82,17	30,00	23	174,4	0,999	3,790	
	31	40	55,76	155,70	85,79	30,03	23	174,67	0,999	2,713	
	32	42	56,48	156,63	86,5	30,02	23	171,12	0,999	1,932	

Quadro 0.27 – Tabela com os valores da permeabilidade para os solos de Monte das Flores.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água (%)		Tempo (t) (s)	Volume (V) (cm ³)	Permeabilidade K (cm/s)	Permeabilidade de K (m/s)	Permeabilidade média $\underline{\underline{K}}$
MF1	52,50	478,3	414,85	<u>WMF1</u>	18	221	655	8,24E-03	8,24E-05	8,52E-05
						246	730	8,25E-03	8,25E-05	
						231	680	8,18E-03	8,18E-05	
						229	680	8,25E-03	8,25E-05	
						214	640	8,31E-03	8,31E-05	
						217	655	8,39E-03	8,39E-05	
						213	670	8,74E-03	8,74E-05	
						209	670	8,91E-03	8,91E-05	
						223	710	8,85E-03	8,85E-05	
						217	705	9,03E-03	9,03E-05	
MF2	303,86	728,39	663,94	<u>WMF2</u>	18	742	700	2,62E-03	2,62E-05	1,73E-05
						1048	700	1,86E-03	1,86E-05	
						1200	700	1,62E-03	1,62E-05	
						1230	700	1,58E-03	1,58E-05	
						1210	700	1,61E-03	1,61E-05	
						1211	700	1,61E-03	1,61E-05	
						1213	700	1,60E-03	1,60E-05	
						1211	700	1,61E-03	1,61E-05	
						1215	700	1,60E-03	1,60E-05	
						1210	700	1,61E-03	1,61E-05	
MF3	238,33	673,41	597,44	<u>WMF3</u>	21	970	700	2,01E-03	2,01E-05	1,70E-05
						1345	700	1,45E-03	1,45E-05	
						1365	700	1,42E-03	1,42E-05	
						1260	700	1,54E-03	1,54E-05	
						1157	700	1,68E-03	1,68E-05	

									05	
						1113	700	1,75E-03	1,75E-05	
						1012	700	1,92E-03	1,92E-05	
						962	700	2,02E-03	2,02E-05	
						1016	700	1,91E-03	1,91E-05	
						1525	700	1,28E-03	1,28E-05	
MF4	246,57	681,41	608,73	<u>WMF4</u>	20	805	700	2,42E-03	2,42E-05	2,22E-05
						986	700	1,97E-03	1,97E-05	
						989	700	1,97E-03	1,97E-05	
						953	700	2,04E-03	2,04E-05	
						914	700	2,13E-03	2,13E-05	
						840	700	2,32E-03	2,32E-05	
						844	700	2,30E-03	2,30E-05	
						797	700	2,44E-03	2,44E-05	
						830	700	2,34E-03	2,34E-05	
						859	700	2,26E-03	2,26E-05	
MF5	187,2	604,44	529,8	<u>WMF5</u>	22	160	670	1,16E-02	1,16E-05	2,05E-05
						171	720	1,17E-02	1,17E-05	
						166	705	1,18E-02	1,18E-05	
						171	735	1,19E-02	1,19E-05	
						176	895	1,41E-02	1,41E-05	
						211	740	9,74E-03	9,74E-05	
						171	665	1,08E-02	1,08E-05	
						160	650	1,13E-02	1,13E-05	
						151	660	1,21E-02	1,21E-05	
						153	700	1,27E-02	1,27E-05	
MF6	211,09	629,08	563,05	<u>WMF6</u>	19	425	700	4,58E-03	4,58E-05	3,32E-05
						577	700	3,37E-03	3,37E-05	
						571	700	3,41E-03	3,41E-05	

									05	
						589	700	3,30E-03	3,30E-05	
						645	700	3,02E-03	3,02E-05	
						560	700	3,47E-03	3,47E-05	
						610	700	3,19E-03	3,19E-05	
						629	700	3,09E-03	3,09E-05	
						664	700	2,93E-03	2,93E-05	
						697	700	2,79E-03	2,79E-05	
MF7	267,87	695,13	629,75	WMF7	18	170	700	1,14E-02	1,14E-05	6,66E-05
						285	700	6,82E-03	6,82E-05	
						217	700	8,96E-03	8,96E-05	
						233	700	8,35E-03	8,35E-05	
						239	700	8,14E-03	8,14E-05	
						275	700	7,07E-03	7,07E-05	
						279	700	6,97E-03	6,97E-05	
						293	700	6,64E-03	6,64E-05	
						307	700	6,34E-03	6,34E-05	
						315	700	6,17E-03	6,17E-05	
MF8	290,35	754,31	657,53	WMF8	26	30	700	6,48E-02	6,48E-04	3,20E-04
						66	700	2,95E-02	2,95E-04	
						66	700	2,95E-02	2,95E-04	
						65	700	2,99E-02	2,99E-04	
						69	700	2,82E-02	2,82E-04	
						68	700	2,86E-02	2,86E-04	
						68	700	2,86E-02	2,86E-04	
						71	700	2,74E-02	2,74E-04	
						72	700	2,70E-02	2,70E-04	
						73	700	2,66E-02	2,66E-04	

Quadro 0.28 - Valores do ensaio para determinação do teor em matéria orgânica do perfil do Monte das Flores.

ÉVORA					
Amostra (m)	Peso da Cápsula (gramas)	Peso da cápsula + solo húmido (gramas)	Peso da cápsula + solo seco (gramas)	Cinzas (gramas)	M.O. (%)
MF1	26,4	31,4	31,26	0,14	2,8
MF2	25,37	30,37	30,14	0,23	4,6
MF3	24,62	29,62	29,41	0,21	4,2
MF4	24,68	29,58	29,44	0,14	2,8
MF5	14,17	19,17	18,94	0,23	4,6
MF6	17,53	22,53	22,37	0,16	3,2
MF7	45,71	50,71	50,58	0,13	2,6
MF8	46,17	51,17	50,99	0,18	3,6

Quadro 0.29 – Propriedades físicas *in situ* dos solos residuais do maciço eruptivo de Montemor-o-Novo.

Perfil de solo residual	Extrator nº	Peso do extrator (C) (gramas)	Peso do extrator + solo húmido (A) (gramas)	Peso do extrator + solo seco (B) (gramas)	Volume do extrator (cm ³)	Teor em água no estado natural W ₀ (%)	Peso volúmico no estado natural γ_0 (g/cm ³)	Peso volúmico no estado seco γ_d (g/cm ³)	Porosidade n	índice de vazios "in situ" e ₀
MM1	5	199,02	315,49	304,89	59,05	10	2	2	0	1
	2	195,16	310,08	299,21	59,36	10	2	2	0	1
MM2	1	196,64	307,55	298,69	57,65	9	2	2	0	1
	16	914,44	1369,09	1324,82	256,26	11	2	2	0	1
MM3	8	199,52	321,68	312,59	57,19	8	2	2	0	0
	19	914,74	1467,47	1413,63	261,74	11	2	2	0	0
MM4	4	202,13	329,12	317,38	60,04	10	2	2	0	0
	17	908,04	1381,74	1341,57	260,92	9	2	2	0	1
MM5	20	911,52	1429,63	1399,55	259,54	6	2	2	0	0
	23	1360,76	2533,81	2410,43	768,04	12	2	2	0	1
MM6	24	1369,73	2911,27	2773,86	763,51	10	2	2	0	0
	21	905,21	1334,56	1311,29	260,45	6	2	2	0	1
MM7	18	913,5	1444,16	1404,7	261	8	2	2	0	0
	14	919,99	1401,12	1366,24	263,08	8	2	2	0	1
MM8	22	1371,4	2858,27	2778,05	761,01	6	2	2	0	0
	25	1362,18	2573,79	2466,44	763,88	10	2	1	0	1

Quadro 0.30 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM1.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	102,49	133,8	31,31	3,08	3,08	96,92
(6) #10	2	236,98	452,6	215,62	21,23	24,32	75,68
(5) #20	0,85	260,75	557,66	296,91	29,24	53,55	46,45
(4) #40	0,425	96,75	284,93	188,18	18,53	72,08	27,92
(3) #60	0,25	119,62	224,32	104,7	10,31	82,39	17,61
(2) #140	0,106	117,47	210,94	93,47	9,20	91,60	8,40
(1) #200	0,075	120,08	129,33	9,25	0,91	92,51	7,49
< #200	< 0,075			TOTAL	939,44		
				Massa total (mt)	1015,52		

Quadro 0.31 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM2.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	90,39	107,13	16,74	4,08	4,08	95,92
(6) #10	2	246,57	360,51	113,94	27,76	31,84	68,16
(5) #20	0,85	290,34	400,32	109,98	26,80	58,64	41,36
(4) #40	0,425	118,91	184,76	65,85	16,05	74,69	25,31
(3) #60	0,25	119,48	152,81	33,33	8,12	82,81	17,19
(2) #140	0,106	117,03	150,13	33,1	8,07	90,88	9,12
(1) #200	0,075	104,91	112,17	7,26	1,77	92,65	7,35
< #200	< 0,075			TOTAL	380,2		
				Massa total (mt)	410,38		

Quadro 0.32 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM3.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	102,49	105,96	3,47	0,70	0,70	99,30
(6) #10	2	236,98	280,87	43,89	8,80	9,49	90,51
(5) #20	0,85	260,75	351,42	90,67	18,17	27,67	72,33
(4) #40	0,425	96,75	180,95	84,2	16,88	44,54	55,46
(3) #60	0,25	119,62	200,64	81,02	16,24	60,78	39,22
(2) #140	0,106	117,47	198,93	81,46	16,33	77,11	22,89
(1) #200	0,075	120,08	133,94	13,86	2,78	79,89	20,11
< #200	< 0,075			TOTAL	398,57		
				Massa total (mt)	498,89		

Quadro 0.33 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM4.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	116,55	126,47	9,92	2,29	2,29	97,71
(6) #10	2	302,02	384,91	82,89	19,12	21,41	78,59
(5) #20	0,85	245,53	381,34	135,81	31,33	52,73	47,27
(4) #40	0,425	119,58	182,03	62,45	14,41	67,14	32,86
(3) #60	0,25	101,72	143,52	41,8	9,64	76,78	23,22
(2) #140	0,106	88,22	134,77	46,55	10,74	87,52	12,48
(1) #200	0,075	100,31	108,01	7,7	1,78	89,29	10,71
< #200	< 0,075			TOTAL	387,12		
				Massa total (mt)	433,53		

Quadro 0.34 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM5.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	102,49	105,3	2,81	0,27	0,27	99,73
(6) #10	2	236,98	312,27	75,29	7,17	7,44	92,56
(5) #20	0,85	260,75	508,65	247,9	23,62	31,06	68,94
(4) #40	0,425	96,75	362,84	266,09	25,35	56,41	43,59
(3) #60	0,25	119,62	267,32	147,7	14,07	70,48	29,52
(2) #140	0,106	117,47	274,4	156,93	14,95	85,43	14,57
(1) #200	0,075	120,08	145,77	25,69	2,45	87,88	12,12
< #200	< 0,075			TOTAL	922,41		
				Massa total (mt)	1049,67		

Quadro 0.35 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM6.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	102,49	134,54	32,05	2,28	2,28	97,72
(6) #10	2	236,98	375,03	138,05	9,83	12,11	87,89
(5) #20	0,85	260,75	594,23	333,48	23,75	35,86	64,14
(4) #40	0,425	96,75	448,64	351,89	25,06	60,93	39,07
(3) #60	0,25	119,62	323,88	204,26	14,55	75,47	24,53
(2) #140	0,106	117,47	322,26	204,79	14,58	90,06	9,94
(1) #200	0,075	120,08	158,03	37,95	2,70	92,76	7,24
< #200	< 0,075			TOTAL	1302,47		
				Massa total (mt)	1404,13		

Quadro 0.36 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM7.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	90,39	102,69	12,3	2,76	2,76	97,24
(6) #10	2	246,57	386,7	140,13	31,40	34,16	65,84
(5) #20	0,85	290,34	430,13	139,79	31,33	65,48	34,52
(4) #40	0,425	119,48	186	66,52	14,91	80,39	19,61
(3) #60	0,25	117,03	151,97	34,94	7,83	88,22	11,78
(2) #140	0,106	118,91	153,95	35,04	7,85	96,07	3,93
(1) #200	0,075	104,91	108,6	3,69	0,83	96,90	3,10
< #200	< 0,075			TOTAL	432,41		
				Massa total (mt)	446,25		

Quadro 0.37 – Tabela da análise granulométrica da amostra MM8.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	90,39	112,89	22,5	1,60	1,60	98,40
(6) #10	2	246,57	577,29	330,72	23,51	25,11	74,89
(5) #20	0,85	290,34	749,18	458,84	32,62	57,73	42,27
(4) #40	0,425	119,48	373,3	253,82	18,04	75,77	24,23
(3) #60	0,25	117,03	249,59	132,56	9,42	85,20	14,80
(2) #140	0,106	118,91	235,97	117,06	8,32	93,52	6,48
(1) #200	0,075	104,91	131,53	26,62	1,89	95,41	4,59
< #200	< 0,075			TOTAL	1342,12		
				Massa total (mt)	1406,65		

Quadro 0.38 – Tabela da massa retida no ensaio de determinação da textura de solos de Montemor-o-Novo.

Nome da amostra	Peso da cápsula/crivo 0,210 mm (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)
MM1	142,94	156,93	13,99	69,95
MM2	181,11	197,1	15,99	79,95
MM3	177,06	191,48	14,42	72,10
MM4	182,38	195,78	13,4	67,00
MM5	182,76	197,34	14,58	72,90
MM6	184,6	200,04	15,44	77,20
MM7	177,06	192,69	15,63	78,15
MM8	182,38	199,36	16,98	84,90
			Massa total (mt)	20

Quadro 0.39 - Tabela da correção do teor em água para os solos de Montemor-o-Novo.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água de cada provete (W) (%)	Peso de cada toma_correção teor água (gramas)
MM1	46,20	66,2	65,08	5,93	21,19
MM2	44,44	64,44	64,53	0,45	19,91
MM3	35,63	55,64	54,63	5,32	21,06
MM4	28,78	48,79	47,82	5,09	21,02
MM5	41,54	61,54	61,01	2,72	20,54
MM6	35,91	55,91	55,46	2,30	20,46
MM7	41,03	61,03	60,37	3,41	20,68
MM8	49,5	69,52	68,87	3,36	20,67

Quadro 0.40 - Tabela da recolha Silte + Argila (L+A) para os solos de Montemor-o-Novo.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)
MM1	35,87	57	35,93
MM2	35,57	56,77	35,63
MM3	38,09	59,33	38,14
MM4	28,04	49,19	28,1
MM5	42,62	63,72	42,66
MM6	36,08	57,24	36,12
MM7	28,26	49,34	28,32
MM8	44,19	65,23	44,24

Quadro 0.41 - Tabela da recolha Argila (A) para os solos de Montemor-o-Novo.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)
MM1	46,20	67,48	46,23
MM2	44,44	65,64	44,48
MM3	35,63	56,5	35,67
MM4	28,78	49,89	28,81
MM5	41,54	62,63	41,57
MM6	35,91	56,99	35,94
MM7	40,47	61,56	40,5
MM8	49,13	70,36	49,16

Quadro 0.42 – Tabela dos valores do limite de plasticidade para os solos de Montemor-o-Novo.

Nome da amostra	Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Teor em água de cada provete (%)		LP (média do teor em água) (%)	
MM1	35,6	38,21	37,52	W1	35,94	LPMM1	33
	35,79	37,82	37,3	W2	34,44		
	35,91	37,43	37,05	W3	33,33		
	35,96	37,96	37,44	W4	35,14		
	47,52	49,1	48,73	W5	30,58		
	36,02	38,15	37,65	W6	30,67		
MM2	35,91	39,8	38,75	W8	36,97	LPMM2	36
	37,57	40,42	39,67	W9	35,71		
	43,3	45,5	44,93	W10	34,97		
	35,63	37,91	37,33	W11	34,12		
	41,54	44,13	43,44	W12	36,32		
	40,47	43,2	42,48	W13	35,82		
MM3	36,07	38,14	37,67	W14	29,37	LPMM3	30
	35,5	38,4	37,74	W15	29,46		
	35,89	37,89	37,45	W16	28,21		
	35,53	39,1	38,25	W17	31,25		
	42,39	45	44,4	W18	29,85		
	44,16	46,77	46,17	W19	29,85		
MM4	36,14	37,28	37,02	W20	29,55	LPMM4	25
	35,89	36,97	36,73	W21	28,57		
	42,22	45,24	45,02	W22	7,86		
	36	37,22	36,98	W23	24,49		
	36,01	36,86	36,72	W24	19,72		
	36,37	38,06	37,7	W25	27,07		
MM5	43,3	45,46	45,04	W26	24,14	LPMM5	24
	35,91	36,85	36,69	W27	20,51		
	35,63	37,16	36,86	W28	24,39		
	40,47	41,78	41,52	W29	24,76		
	37,57	39,29	38,95	W30	24,64		
	41,54	42,67	42,45	W31	24,18		
MM6	36,02	37,56	37,25	W32	25,20	LPMM6	23
	28,75	30,71	30,33	W33	24,05		
	36,1	37,53	37,26	W34	23,28		
	35,7	36,88	36,67	W35	21,65		
	41,45	42,64	42,42	W36	22,68		
	28,13	30,51	30,22	W37	13,88		
MM7	36,1	37,09	36,92	W38	20,73	LPMM7	21
	28,75	29,53	29,41	W39	18,18		

	28,93	30,06	29,86	W40	21,51		
	36,02	37,53	37,27	W41	20,80		
	41,45	42,82	42,58	W42	21,24		
	35,7	37,16	36,91	W43	20,66		
MM8	43,42	45,1	44,79	W44	22,63	LPMM8	23
	28,58	30,04	29,76	W45	23,73		
	35,35	37,09	36,76	W46	23,40		
	35,79	36,64	36,5	W47	19,72		
	47,35	48,71	48,45	W48	23,64		
	46,05	47,73	47,4	W49	24,44		

Quadro 0.43 – Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método de Casagrande para os solos de Montemor-o-Novo.

Nome da amostra	Nº de pancadas	Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	LL (através da reta) (%)	
MM1	16	41,59	52,82	49,30	LLMM <u>1</u>	44
	20	41,57	53,09	49,53		
	25	37,49	49,20	45,61		
	29	35,76	47,21	43,73		
	38	47,69	59,70	56,18		
	40	45,02	61,35	56,55		
MM2	14	41,45	56,23	51,65	LLMM <u>2</u>	42
	18	36,10	46,33	43,31		
	23	28,93	42,01	38,19		
	35	43,42	59,89	55,14		
	38	28,75	39,52	36,43		
	40	35,70	44,07	41,70		
MM3	12	41,59	54,50	51,06	LLMM <u>3</u>	35
	15	35,76	51,67	47,47		
	23	45,02	57,12	53,95		
	28	37,49	53,43	49,30		
	30	41,57	57,19	53,19		
	39	47,69	62,25	58,57		
MM4	16	35,70	47,29	43,83	LLMM <u>4</u>	42
	22	41,45	60,26	54,69		
	25	28,75	38,15	35,38		
	28	28,93	41,40	37,75		
	33	36,10	46,21	43,29		
	40	43,42	59,36	54,82		
MM5	10	37,49	50,87	47,45	LLMM	30

	12	35,76	46,18	43,62	<u>5</u>	
	15	41,57	52,92	50,18		
	27	41,59	58,99	55,02		
	30	45,02	57,63	54,82		
	39	47,69	62,60	59,36		
MM6	10	43,42	60,88	56,51	LLMM <u>6</u>	29
	13	41,45	59,88	55,50		
	17	35,70	53,73	49,61		
	27	36,10	48,43	45,83		
	35	28,93	43,07	40,09		
	38	28,75	42,67	39,80		
MM7	10	41,57	54,55	51,19	LLMM <u>7</u>	31
	12	41,59	52,27	49,52		
	20	45,02	58,86	55,40		
	25	35,76	47,27	44,67		
	36	47,69	60,71	57,94		
	40	37,49	54,51	50,95		
MM8	11	37,57	54,55	50,29	LLMM <u>8</u>	30
	13	35,91	51,31	47,50		
	20	43,30	59,30	55,45		
	25	41,54	59,62	55,50		
	30	35,63	51,30	47,80		
	40	40,47	52,75	50,08		

Quadro 0.44 - Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método do Cone de penetração para os solos de Montemor-o-Novo.

Nome da amostra	Ensaio	Peso do copo do amostrador (gramas)	Penetração média P (mm)	Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Teor em água de cada provete W (%)	LLc (através da reta) (%)	
MM1	1	21,81	16,05	36,00	45,14	42,38	43,26	LLc <u>MM</u> <u>1</u>	46
	2		22,6	41,59	51,13	48,14	45,65		
	3		22,65	44,22	51,62	49,19	48,89		
	4		21,45	36,01	45,36	42,38	46,78		
	5		24,65	36,14	46,29	42,96	48,83		
	6		22,3	47,69	55,77	53,10	49,35		
MM2	1	21,81	19,35	35,81	45,30	42,50	41,85	LLc <u>MM</u> <u>2</u>	43
	2		19,6	36,37	43,20	41,18	42,00		
	3		20,3	44,22	50,38	48,49	44,26		
	4		22,7	36,00	44,92	42,14	45,28		
	5		21,2	36,14	43,64	41,31	45,07		
	6		24,55	36,01	45,98	42,83	46,19		
MM3	1	21,81	15,15	35,91	45,62	43,15	34,12	LLc <u>MM</u> <u>3</u>	38
	2		16,75	37,57	46,72	44,26	36,77		
	3		20,8	40,47	52,43	49,07	39,07		
	4		22,65	35,63	45,01	42,41	38,35		
	5		22,05	41,54	51,34	48,56	39,60		
	6		23,9	43,30	53,73	50,74	40,19		
MM4	1	21,81	17,05	36,37	46,12	43,10	44,87	LLc <u>MM</u> <u>4</u>	45
	2		19,45	36,14	45,12	42,37	44,14		
	3		22,5	36,00	42,88	40,71	46,07		
	4		23,3	44,22	53,25	50,39	46,35		
	5		23,85	35,81	44,58	41,77	47,15		
	6		22,15	36,01	46,17	42,92	47,03		
MM5	1	22,42	18,1	36,08	44,34	42,36	31,53	LLc <u>MM</u> <u>5</u>	33
	2		16,25	42,39	52,45	50,05	31,33		
	3		21,45	35,53	47,50	44,57	32,41		
	4		19,7	35,50	45,10	42,73	32,78		
	5		23,1	35,89	45,84	43,30	34,28		
	6		23,6	36,07	45,94	43,44	33,92		
MM6	1	22,42	19,1	44,16	53,91	51,58	31,40	LLc <u>MM</u> <u>6</u>	32
	2		15,3	35,91	44,69	42,64	30,46		
	3		22	35,79	46,21	43,70	31,73		
	4		22,7	47,52	58,36	55,65	33,33		
	5		22,75	35,96	50,35	46,78	32,99		

	6		24,85	35,60	47,69	44,62	34,04		
MM7	1	21,73	15,5	35,53	43,10	41,29	31,42	LLc MM 7	34
	2		16,8	42,39	50,00	48,12	32,81		
	3		18,95	35,89	46,46	43,83	33,12		
	4		19,6	35,60	43,39	41,37	35,01		
	5		22,35	47,52	59,82	56,60	35,46		
	6		24,85	35,96	53,31	48,66	36,61		
MM8	1	21,73	15,95	35,50	46,97	44,13	32,91	LLc MM 8	36
	2		17,5	44,16	56,37	53,26	34,18		
	3		20,5	35,79	49,00	45,49	36,19		
	4		22,35	36,08	48,54	45,21	36,47		
	5		22,7	35,91	46,14	43,38	36,95		
	6		22,55	36,07	49,61	45,95	37,04		

Quadro 0.45 - Classificações geotécnicas (AASHTO e Sistema Unificado) dos solos residuais das rochas ígneas quartzodioríticas do maciço eruptivo de Montemor-o-Novo.

Perfil	Material passa # 10 (%)	Material passa # 40 (%)	Material passa # 200 (%)	LL	IP (%)	I G	Classificação de solos AASHTO		Classificação do sistema unificado	
							Grup o	Subgrupo	Símbolo do grupo	Nome do grupo
MM1	75,68	27,92	7,49	44	11	0	A-2	A-2-7	SW - SM	areia bem graduada siltosa
MM2	68,16	25,31	7,35	42	6	0	A-2	A-2-5	SW - SM	areia bem graduada siltosa
MM3	90,51	55,46	20,11	35	6	0	A-1	A-1-b	SP - SM	areia mal graduada siltosa
MM4	78,59	32,86	10,71	42	17	0	A-2	A-2-7	SW - SM	areia bem graduada siltosa
MM5	92,56	43,59	12,12	30	6	0	A-1	A-1-b	SW - SM	areia bem graduada siltosa
MM6	87,89	39,07	7,24	29	6	0	A-1	A-1-b	SW - SM	areia bem graduada siltosa
MM7	65,84	19,61	3,1	31	10	0	A-2	A-2-4	SW - SC	areia bem graduada argilosa
MM8	74,89	24,23	4,59	30	7	0	A-2	A-2-4	SW - SM	areia bem graduada siltosa

Quadro 0.46 - Teor em água para os solos do perfil de Montemor-o-Novo.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água de cada provete (%)		Teor em água médio (%)	
MM1	94,39	392,86	377,16	W1	5,55	WMM1	5
	120,3	395,94	382,86	W2	4,98		
	105,66	411,33	397,36	W3	4,79		
MM2	99,66	395,46	380,52	W4	5,32	WMM2	5
	99,31	381,12	365,57	W5	5,84		
	100,2	379,48	366,74	W6	4,78		
MM3	120,3	395,17	387,24	W7	2,97	WMM3	3
	94,39	400,84	392,62	W8	2,76		
	105,66	417,9	409,27	W9	2,84		
MM4	91,77	366,7	355,65	W10	4,19	WMM4	4
	97,8	359,94	349,27	W11	4,24		
	90,53	387,8	375,69	W12	4,25		
MM5	118,86	388,9	381,73	W13	2,73	WMM5	3
	98,99	402,2	394,04	W14	2,77		
	101,46	399,62	391,49	W15	2,80		
MM6	119,01	402,6	396,83	W16	2,08	WMM6	2
	100,2	394,53	388,79	W17	1,99		
	99,31	400,83	394,9	W18	2,01		
MM7	101,46	417,15	409,1	W19	2,62	WMM7	3
	118,86	399,46	392,41	W20	2,58		
	98,99	404,55	397,18	W21	2,47		
MM8	90,53	404,28	396,81	W22	2,44	WMM8	3
	97,8	392,03	384,75	W23	2,54		
	91,71	394,52	387,06	W24	2,53		

Quadro 0.47 - Tabela do teor em água para os solos de Montemor-o-Novo.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água (%)
EXP1_MM1	64,20	147,02	116,41	58,63
EXP2_MM2	66,5	142,08	114,98	55,90
EXP3_MM3	46,32	121,65	96,2	51,02
EXP4_MM4	60,17	133,45	106,24	59,06
EXP5_MM5	58,7	133,57	110,94	43,32
EXP6_MM6	39,4	107,02	87,23	41,38
EXP7_MM7	51	123,24	101,1	44,19
EXP2_MM8	66,5	142,06	119,45	42,70

Quadro 0.48 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP1 e EXP2) usando os solos de Montemor-o-Novo (MM1 e MM2).

Tempo (min)	EXP1_MM1 (24/5/2013)				EXP2_MM2 (24/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade de total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade de total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)
(Seco) 0	91	0,91		17,6	104	1,04		14,5
1	259	2,59	10,5		268	2,68	10,9	
2	302	3,02	13,1875		280	2,8	11,7	
3	316	3,16	14,0625		285	2,85	12,1	
4	322	3,22	14,4375		286	2,86	12,1	
5	326	3,26	14,6875		290	2,9	12,4	
10	334	3,34	15,1875		295	2,95	12,7	
15	338	3,38	15,4375		296	2,96	12,8	
30	344	3,44	15,8125		302	3,02	13,2	
45	348	3,48	16,0625		305	3,05	13,4	
1 h	351	3,51	16,25		305	3,05	13,4	
2 h	361	3,61	16,875		312	3,12	13,9	
3 h	362	3,62	16,9375		313	3,13	13,9	
4 h	364	3,64	17,0625		314	3,14	14,0	
5 h	366	3,66	17,1875		314	3,14	14,0	
6 h	368	3,68	17,3125		314	3,14	14,0	
7 h	369	3,69	17,375		314	3,14	14,0	
8 h	370	3,7	17,4375		315	3,15	14,1	
9 h	371	3,71	17,5		315	3,15	14,1	
10 h	372	3,72	17,5625		315	3,15	14,1	
...								
24 h	373	3,73	17,625	322	3,22	14,5		

Quadro 0.49 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP3 e EXP4) usando os solos de Montemor-o-Novo (MM3 e MM4).

Tempo (min)	EXP3_MM3 (24/5/2013)				EXP4_MM4 (24/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade de total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade de (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade de total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)
(Seco) 0	204	2,04		13,7	253	2,53		15,2
1	304	3,04	6,7		377	3,77	8,3	
2	344	3,44	9,3		415	4,15	10,8	
3	360	3,6	10,4		434	4,34	12,1	
4	363	3,63	10,6		442	4,42	12,6	
5	368	3,68	10,9		448	4,48	13,0	
10	378	3,78	11,6		459	4,59	13,7	
15	382	3,82	11,9		461	4,61	13,9	
30	389	3,89	12,3		470	4,7	14,5	
45	391	3,91	12,5		473	4,73	14,7	
1 h	394	3,94	12,7		477	4,77	14,9	
2 h	401	4,01	13,1		480	4,8	15,1	
3 h	401	4,01	13,1		481	4,81	15,2	
4 h	402	4,02	13,2		481	4,81	15,2	
5 h	404	4,04	13,3		481	4,81	15,2	
6 h	408	4,08	13,6		481	4,81	15,2	
7 h	409	4,09	13,7					
8 h	409	4,09	13,7					
9 h	409	4,09	13,7					
10 h	409	4,09	13,7					
...								
24 h	408	4,08	13,6	481	4,81	15,2		

Quadro 0.50 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP5 e EXP6) usando os solos de Montemor-o-Novo (MM5 e MM6).

Tempo (min)	EXP5_MM5 (24/5/2013)				EXP6_MM6 (24/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)
(Seco) 0	191	1,91		8,6	18021	3,62		2,0
1	270	2,7	5,3		18016	3,62	0,0	
2	289	2,89	6,5		19055	3,86	1,6	
3	294	2,94	6,9		19084	3,88	1,8	
4	297	2,97	7,1		19085	3,89	1,8	
5	300	3	7,3		19086	3,89	1,8	
10	304	3,04	7,5		19096	3,90	1,8	
15	307	3,07	7,7		19104	3,90	1,9	
30	310	3,1	7,9		19104	3,90	1,9	
45	312	3,12	8,1		19104	3,90	1,9	
1 h	315	3,15	8,3		19104	3,90	1,9	
2 h	320	3,2	8,6		19120	3,92	2,0	
3 h	320	3,2	8,6		19120	3,92	2,0	
4 h	320	3,2	8,6		19120	3,92	2,0	
5 h	320	3,2	8,6		19120	3,92	2,0	
6 h	320	3,2	8,6		19120	3,92	2,0	
7 h								
8 h								
9 h								
10 h								
...								
24 h	320	3,2	8,6	19109	3,91	1,9		

Quadro 0.51 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP7 e EXP2) usando os solos de Montemor-o-Novo (MM7 e MM8).

Tempo (min)	EXP7_MM7 (24/5/2013)				EXP2_MM8 (24/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade de (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade de total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)
(Seco) 0	181	1,81		3,7	197	1,97		8,5
1	232	2,32	3,4		281	2,81	5,6	
2	233	2,33	3,5		295	2,95	6,5	
3	234	2,34	3,5		297	2,97	6,7	
4	234	2,34	3,5		301	3,01	6,9	
5	234	2,34	3,5		303	3,03	7,1	
10	235	2,35	3,6		305	3,05	7,2	
15	235	2,35	3,6		307	3,07	7,3	
30	236	2,36	3,7		311	3,11	7,6	
45	236	2,36	3,7		313	3,13	7,7	
1 h	236	2,36	3,7		314	3,14	7,8	
2 h	236	2,36	3,7		314	3,14	7,8	
3 h	236	2,36	3,7		321	3,21	8,3	
4 h	236	2,36	3,7		322	3,22	8,3	
5 h	236	2,36	3,7		323	3,23	8,4	
6 h	236	2,36	3,7		324	3,24	8,5	
7 h					325	3,25	8,5	
8 h					325	3,25	8,5	
9 h					325	3,25	8,5	
10 h								
...								
24 h	236	2,36	3,7	325	3,25	8,5		

Quadro 0.52 – Estimativa do peso de cada toma através do teor em água de cada provete (do perfil de Montemor-o-Novo).

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + proвете húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + proвете seco (B) (gramas)	Teor em água de cada provete (W) (%)	Peso de cada toma (gramas)
MM1	47,94	139,67	134,59	5,86	127,04
MM2	50,9	138,77	134,75	4,79	125,75
MM3	48,85	135,21	132,17	3,65	124,38
MM4	48,62	129,9	126,77	4,01	124,81
MM5	46,76	143,69	141,13	2,71	123,26
MM6	47,24	130,62	129,06	1,91	122,29
MM7	49,21	139,93	137,39	2,88	123,46
MM8	48,56	143,41	140,8	2,83	123,40

Quadro 0.53 – Determinação do Equivalente de Areia (E.A.) e do Equivalente de Areia Visual (E.A.V.) para o perfil de Montemor-o-Novo.

Nº ensaio		Altura do nível superior da suspensão argilosa em relação ao fundo da proveta	Altura do nível superior do sedimento em relação ao fundo da proveta	Base do pistão assente no fundo da proveta	Base do pistão assente no sedimento	Altura do sedimento (cm)	Equivalente de areia	Equivalente de areia visual	E. A. (%)	E. A. V. (%)
				Medição entre a face sup. da peça guia e a face inferior do peso do pistão	Medição entre a face sup. da peça guia e a face inferior do peso do pistão					
		h1 (cm)	h'2 (cm)	K (cm)	h3 (cm)	h2 = h3 - K	E.A. = (h2/h1)*100	E.A.V. = (h'2/h1)*100		
MM1	provete 1	32,5	8,5	K1 = 5,8 (pistão 1)	12,9	7,10	21,85	26,15	22	27
	provete 2	32,9	8,9	K2 = 5,77 (pistão 2)	12,8	7,03	21,37	27,05		
MM2	provete 3	32,7	8,5	K1 = 5,8 (pistão 1)	12,67	6,87	21,01	25,99	21	27
	provete 4	32,9	8,9	K2 = 5,77 (pistão 2)	12,94	7,17	21,79	27,05		
MM3	provete 5	27	7,1	K1 = 5,3	13,5	8,20	30,37	26,30	31	27
	provete 6	26,5	7,1	K2 = 5,3	13,6	8,30	31,32	26,79		
MM4	provete 7	29,3	7	K1 = 5,8 (pistão 1)	11,66	5,86	20,00	23,89	21	26
	provete 8	31,2	8,5	K2 = 5,77 (pistão 2)	12,92	7,15	22,92	27,24		
MM5	provete 9	24	7,1	K1 = 5,3	12,7	7,40	30,83	29,58	31	30
	provete 10	23,4	7,1	K2 = 5,3	12,8	7,50	32,05	30,34		
MM6	provete 11	25	8,5	K1 = 5,8 (pistão 1)	12,87	7,07	28,28	34,00	29	34
	provete 12	24,2	8,4	K2 = 5,77 (pistão 2)	13,06	7,29	30,12	34,71		
MM7	provete 13	19,1	8,5	K1 = 5,8 (pistão 1)	13,51	7,71	40,37	44,50	40	44
	provete 14	20	8,5	K2 = 5,77 (pistão 2)	13,5	7,73	38,65	42,50		
MM8	provete 15	19	8,5	K1 = 5,8 (pistão 1)	13,4	7,60	40,00	44,74	40	44
	provete 16	19,4	8,5	K2 = 5,77 (pistão 2)	13,7	7,93	40,88	43,81		

Quadro 0.54 - Tabela com a determinação dos valores das densidades para os solos de Montemor-o-Novo.

Nome da amostra	Provete	Picnómetro nº	Peso do picnómetro (gramas)	Picnómetro + água destilada (m3) (gramas)	Picnómetro + provete seco (gramas)	Provete seco (m4) (gramas)	Temperatura do ensaio (t) (° C)	Picnómetro + provete + água destilada (m5) (gramas)	Razão entre as densidades da água à temperatura do ensaio e a 20° C (K)	Densidade das partículas (d)	Densidade média das partículas
MM1	1	2	77,90	177,39	107,92	30,02	22	196,36	1,000	2,716	2,98
	2	7	61,81	161,31	91,82	30,01	22	180,36	1,000	2,737	
	3	8	49,92	146,36	79,92	30,00	22	168,49	1,000	3,810	
	4	9	61,51	161,13	91,51	30,00	22	179,91	1,000	2,673	
MM2	5	10	77,04	176,70	107,04	30,00	22	195,69	1,000	2,724	2,70
	6	11	47,30	147,03	77,31	30,01	22	165,85	1,000	2,681	
	7	13	62,95	162,62	92,96	30,01	22	181,53	1,000	2,702	
	8	17	54,05	154,06	84,06	30,01	22	172,96	1,000	2,700	
MM3	9	22	55,87	156,09	85,88	30,01	22	175	1,000	2,702	2,70
	10	23	56,78	157,00	86,78	30,00	22	175,9	1,000	2,702	
	11	24	55,46	155,62	85,48	30,02	22	174,49	1,000	2,691	
	12	25	55,63	155,90	85,63	30,00	22	174,77	1,000	2,694	
MM4	17	30	55,56	155,80	85,57	30,01	22	174,61	1,000	2,678	2,66
	18	31	56,92	157,13	86,92	30,00	22	175,8	1,000	2,647	
	19	32	56,08	156,37	86,08	30,00	22	175,17	1,000	2,677	
	20	34	56,24	156,49	86,25	30,01	22	175,18	1,000	2,650	
MM5	13	26	55,97	156,11	85,98	30,01	22	174,93	1,000	2,681	2,69
	14	27	56,01	156,23	86,01	30,00	22	175,09	1,000	2,692	
	15	28	55,74	155,99	85,74	30,00	22	174,96	1,000	2,719	
	16	29	55,85	156,16	85,85	30,00	22	174,94	1,000	2,673	
MM6	21	35	55,46	155,65	85,47	30,01	22	174,77	1,000	2,755	2,72
	22	36	55,36	155,69	85,36	30,00	22	174,58	1,000	2,699	
	23	37	52,90	153,05	82,91	30,01	22	172,03	1,000	2,720	
	24	38	56,61	156,78	86,63	30,02	22	175,78	1,000	2,723	
MM7	25	41	55,77	155,97	85,77	30,00	22	174,96	1,000	2,724	2,74
	26	43	55,51	155,73	85,52	30,01	22	174,74	1,000	2,727	
	27	44	56,90	157,18	86,91	30,01	22	176,34	1,000	2,765	
	28	45	56,09	156,29	86,1	30,01	22	175,31	1,000	2,729	
MM8	29	33	55,82	156,03	85,82	30,00	22	174,97	1,000	2,711	2,69
	30	39	52,17	152,31	82,18	30,01	22	171,31	1,000	2,725	
	31	40	55,76	155,70	85,77	30,01	22	174,39	1,000	2,650	
	32	42	56,48	156,63	86,48	30,00	22	175,48	1,000	2,689	

Quadro 0.55 – Tabela com os valores da permeabilidade para os solos de Montemor-o-Novo.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água (%)		Tempo (t) (s)	Volume (V) (cm ³)	Permeabilidade K (cm/s)	Permeabilidade K (m/s)	Permeabilidade média \underline{K}
MM1	258,82	682,93	563,67	<u>WMM1</u>	39	483	700	4,03E-03	4,03E-05	2,88E-05
						630	700	3,09E-03	3,09E-05	
						625	700	3,11E-03	3,11E-05	
						695	700	2,80E-03	2,80E-05	
						720	700	2,70E-03	2,70E-05	
						749	700	2,60E-03	2,60E-05	
						728	700	2,67E-03	2,67E-05	
						743	700	2,62E-03	2,62E-05	
						730	700	2,66E-03	2,66E-05	
						785	700	2,48E-03	2,48E-05	
MM2	118,91	515,56	427,84	<u>WMM2</u>	28	397	700	4,90E-03	4,90E-05	3,21E-05
						549	700	3,54E-03	3,54E-05	
						566	700	3,44E-03	3,44E-05	
						1132	700	1,72E-03	1,72E-05	
						573	700	3,39E-03	3,39E-05	
						570	700	3,41E-03	3,41E-05	
						578	700	3,37E-03	3,37E-05	
						1139	700	1,71E-03	1,71E-05	
						587	700	3,31E-03	3,31E-05	
						597	700	3,26E-03	3,26E-05	
MM3	169,34	631,6	508,72	<u>WMM3</u>	36	2184	700	8,91E-04	8,91E-06	8,33E-06
						2180	700	8,92E-04	8,92E-06	
						2555	700	7,61E-04	7,61E-06	
						2626	700	7,41E-04	7,41E-06	
						2708	700	7,18E-04	7,18E-06	

									06	
						1553	700	1,25E-03	1,25E-05	
						2526	700	7,70E-04	7,70E-06	
						2528	700	7,69E-04	7,69E-06	
						2535	700	7,67E-04	7,67E-06	
						2524	700	7,71E-04	7,71E-06	
MM4	195,05	809,37	529,04	WMM4	84	1080	700	1,80E-03	1,80E-05	1,07E-05
						1560	700	1,25E-03	1,25E-05	
						1815	700	1,07E-03	1,07E-05	
						1870	700	1,04E-03	1,04E-05	
						1970	700	9,87E-04	9,87E-06	
						2040	700	9,53E-04	9,53E-06	
						2100	700	9,26E-04	9,26E-06	
						2160	700	9,00E-04	9,00E-06	
						2175	700	8,94E-04	8,94E-06	
						2280	700	8,53E-04	8,53E-06	
MM5	102,59	530,1	442,65	WMM5	26	410	700	4,74E-03	4,74E-05	3,19E-05
						273	700	7,12E-03	7,12E-05	
						736	700	2,64E-03	2,64E-05	
						781	700	2,49E-03	2,49E-05	
						783	700	2,48E-03	2,48E-05	
						804	700	2,42E-03	2,42E-05	
						766	700	2,54E-03	2,54E-05	
						780	700	2,49E-03	2,49E-05	
						782	700	2,49E-03	2,49E-05	
						784	700	2,48E-03	2,48E-05	
MM6	109,07	566,66	456,92	WMM6	32	120	700	1,62E-02	1,62E-04	1,47E-04
						119	700	1,63E-02	1,63E-04	
						124	700	1,57E-02	1,57E-04	

									04	
						115	700	1,69E-02	1,69E-04	
						160	700	1,22E-02	1,22E-04	
						137	700	1,42E-02	1,42E-04	
						135	700	1,44E-02	1,44E-04	
						140	700	1,39E-02	1,39E-04	
						143	700	1,36E-02	1,36E-04	
						141	700	1,38E-02	1,38E-04	
MM7	182,23	664,89	513,61	<u>WMM7</u>	46	20	700	9,73E-02	9,73E-04	3,89E-04
						55	700	3,54E-02	3,54E-04	
						58	700	3,35E-02	3,35E-04	
						59	700	3,30E-02	3,30E-04	
						61	700	3,19E-02	3,19E-04	
						60	700	3,24E-02	3,24E-04	
						60	700	3,24E-02	3,24E-04	
						60	700	3,24E-02	3,24E-04	
						69	700	2,82E-02	2,82E-04	
						60	700	3,24E-02	3,24E-04	
MM8	199,1	612,73	551,6	<u>WMM8</u>	17	115	700	1,69E-02	1,69E-04	2,73E-04
						158	700	1,23E-02	1,23E-04	
						187	700	1,04E-02	1,04E-04	
						220	700	8,84E-03	8,84E-04	
						240	700	8,10E-03	8,10E-04	
						145	700	1,34E-02	1,34E-04	
						125	700	1,56E-02	1,56E-04	
						160	700	1,22E-02	1,22E-04	
						170	700	1,14E-02	1,14E-04	
						176	700	1,11E-02	1,11E-04	

Quadro 0.56 - Valores do ensaio para determinação do teor em matéria orgânica do perfil de Montemor-o-Novo.

MONTEMOR-O-NOVO					
Amostra (m)	Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + solo húmido (gramas)	Peso da cápsula + solo seco (gramas)	Cinzas (gramas)	M.O. (%)
MM1	26,28	31,38	30,94	0,44	8,8
MM2	25,35	30,35	30,13	0,22	4,4
MM3	24,62	29,62	29,28	0,34	6,8
MM4	24,58	29,58	29,18	0,40	8
MM5	14,15	19,15	18,89	0,26	5,2
MM6	17,53	22,53	22,3	0,23	4,6
MM7	45,71	50,71	50,44	0,27	5,4
MM8	46,16	51,16	50,93	0,23	4,6

Quadro 0.57 – Propriedades físicas *in situ* dos solos residuais do maciço granítico do Vimieiro.

Perfil de solo residual	Extrator n°	Peso do extrator (C) (gramas)	Peso do extrator + solo húmido (A) (gramas)	Peso do extrator + solo seco (B) (gramas)	Volume do extrator (cm ³)	Teor em água no estado natural W ₀ (%)	Peso volúmico no estado natural γ_0 (g/cm ³)	Peso volúmico no estado seco γ_d (g/cm ³)	Porosidade n	índice de vazios "in situ" e ₀
VM1	8	199,52	307,09	302,33	57,19	5	2	2	0	1
	4	202,13	314,65	308,35	60,04	6	2	2	0	1
VM2	2	195,16	300,55	299,72	59,36	1	2	2	0	0
	17	908,04	1317,14	1311,25	260,92	1	2	2	0	1
VM3	1	196,64	307,71	305,66	57,65	2	2	2	0	0
	21	905,21	1275,83	1269,44	260,45	2	2	1	0	1
VM4	5	199,02	312,3	311,75	59,05	1	2	2	0	0
	18	913,5	1303,91	1301,8	261	1	2	2	0	1
VM5	25	1362,18	2557,47	2543,87	763,88	1	2	2	0	1
	16	914,44	1334,43	1328,57	256,26	1	2	2	0	1
VM6	20	911,52	1349,95	1328,1	259,54	5	2	2	0	1
	23	1360,76	2592,43	2529,83	768,04	5	2	2	0	1
VM7	24	1369,73	2531,62	2518,38	763,51	1	2	2	0	1
	19	914,74	1403,04	1394,42	261,74	2	2	2	0	0
VM8	22	1371,4	2693,34	2613,39	761,01	6	2	2	0	1
	14	919,99	1437,84	1387,93	263,08	11	2	2	0	0

Quadro 0.58 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM1.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	-	-	-	-	-	-
(7) #4	4,75	101,46	174,38	72,92	9,09	9,09	90,91
(6) #10	2	99,31	307,92	208,61	25,99	35,08	64,92
(5) #20	0,85	308,22	459,9	151,68	18,90	53,98	46,02
(4) #40	0,425	169,34	251,77	82,43	10,27	64,25	35,75
(3) #60	0,25	118,86	167,88	49,02	6,11	70,35	29,65
(2) #140	0,106	98,99	199,82	100,83	12,56	82,92	17,08
(1) #200	0,075	119,01	146,6	27,59	3,44	86,35	13,65
< #200	< 0,075			TOTAL	693,08		
				Massa total (mt)	802,61		

Quadro 0.59 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM2.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	91,71	101,31	9,6	2,38	2,38	97,62
(7) #4	4,75	116,55	149,78	33,23	8,24	10,62	89,38
(6) #10	2	302,02	414,42	112,4	27,88	38,50	61,50
(5) #20	0,85	245,53	333,69	88,16	21,86	60,36	39,64
(4) #40	0,425	119,58	169,46	49,88	12,37	72,73	27,27
(3) #60	0,25	101,72	131,51	29,79	7,39	80,12	19,88
(2) #140	0,106	88,22	128,47	40,25	9,98	90,10	9,90
(1) #200	0,075	100,31	106,32	6,01	1,49	91,59	8,41
< #200	< 0,075			TOTAL	369,32		
				Massa total (mt)	403,21		

Quadro 0.60 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM3.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	48,85	50,62	1,77	0,49	0,49	99,51
(7) #4	4,75	90,39	115,43	25,04	6,87	7,36	92,64
(6) #10	2	246,57	345,36	98,79	27,12	34,48	65,52
(5) #20	0,85	290,34	361,25	70,91	19,47	53,95	46,05
(4) #40	0,425	119,48	160,41	40,93	11,24	65,19	34,81
(3) #60	0,25	117,03	142,11	25,08	6,89	72,08	27,92
(2) #140	0,106	118,91	168,49	49,58	13,61	85,69	14,31
(1) #200	0,075	120,08	125,53	5,45	1,50	87,18	12,82
< #200	< 0,075			TOTAL	317,55		
				Massa total (mt)	364,23		

Quadro 0.61 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM4.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	48,68	61,73	13,05	3,36	3,36	96,64
(7) #4	4,75	102,49	147,78	45,29	11,66	15,02	84,98
(6) #10	2	236,98	350,13	113,15	29,14	44,16	55,84
(5) #20	0,85	260,75	333,57	72,82	18,75	62,92	37,08
(4) #40	0,425	96,75	148,9	52,15	13,43	76,35	23,65
(3) #60	0,25	119,62	143,43	23,81	6,13	82,48	17,52
(2) #140	0,106	117,47	151,62	34,15	8,79	91,27	8,73
(1) #200	0,075	104,91	110,63	5,72	1,47	92,75	7,25
< #200	< 0,075			TOTAL	360,14		
				Massa total (mt)	388,3		

Quadro 0.62 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM5.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	101,46	121,36	19,9	1,68	1,68	98,32
(7) #4	4,75	99,31	327,55	228,24	19,31	21,00	79,00
(6) #10	2	308,22	655,4	347,18	29,38	50,38	49,62
(5) #20	0,85	303,86	488,98	185,12	15,67	66,04	33,96
(4) #40	0,425	100,2	230,42	130,22	11,02	77,06	22,94
(3) #60	0,25	118,86	186,1	67,24	5,69	82,75	17,25
(2) #140	0,106	98,99	181,4	82,41	6,97	89,73	10,27
(1) #200	0,075	119,01	137,09	18,08	1,53	91,26	8,74
< #200	< 0,075			TOTAL	1078,39		
				Massa total (mt)	1181,69		

Quadro 0.63 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM6.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	107,98	114,75	6,77	0,58	0,58	99,42
(7) #4	4,75	109,03	258,18	149,15	12,76	13,34	86,66
(6) #10	2	273,68	542,22	268,54	22,97	36,31	63,69
(5) #20	0,85	182,23	392,24	210,01	17,96	54,27	45,73
(4) #40	0,425	199,11	294,6	95,49	8,17	62,44	37,56
(3) #60	0,25	267,87	330,71	62,84	5,38	67,81	32,19
(2) #140	0,106	169,34	287,27	117,93	10,09	77,90	22,10
(1) #200	0,075	195,05	224,02	28,97	2,48	80,38	19,62
< #200	< 0,075			TOTAL	939,7		
				Massa total (mt)	1169,07		

Quadro 0.64 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM7.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	48,68	79,21	30,53	2,66	2,66	97,34
(7) #4	4,75	102,49	332,65	230,16	20,04	22,70	77,30
(6) #10	2	236,98	560,1	323,12	28,13	50,83	49,17
(5) #20	0,85	260,75	429,76	169,01	14,71	65,54	34,46
(4) #40	0,425	96,75	216,93	120,18	10,46	76,00	24,00
(3) #60	0,25	119,62	190,45	70,83	6,17	82,17	17,83
(2) #140	0,106	117,47	211,39	93,92	8,18	90,35	9,65
(1) #200	0,075	104,91	118,92	14,01	1,22	91,56	8,44
< #200	< 0,075			TOTAL	1051,76		
				Massa total (mt)	1148,65		

Quadro 0.65 – Tabela da análise granulométrica da amostra VM8.

Peneiros		Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)	% Acumulada retida (Nx) (%)	% Acumulada que passa (Nx) (%)
Nº	mm						
(8) #	9,5	48,85	73,12	24,27	1,95	1,95	98,05
(7) #4	4,75	90,39	242,04	151,65	12,21	14,16	85,84
(6) #10	2	246,57	570,18	323,61	26,06	40,22	59,78
(5) #20	0,85	290,34	521,73	231,39	18,63	58,85	41,15
(4) #40	0,425	119,48	240,23	120,75	9,72	68,57	31,43
(3) #60	0,25	117,03	193,22	76,19	6,13	74,71	25,29
(2) #140	0,106	118,91	265,53	146,62	11,81	86,51	13,49
(1) #200	0,075	120,08	157,34	37,26	3,00	89,51	10,49
< #200	< 0,075			TOTAL	1111,74		
				Massa total (mt)	1241,99		

Quadro 0.66 – Tabela da massa retida no ensaio de determinação da textura de solos do Vimieiro.

Nome da amostra	Peso da cápsula/crivo 0,210 mm (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Massa retida (mx) (gramas)	% Retida (Nx) (%)
VM1	142,94	152,25	9,31	46,55
VM2	181,11	193,66	12,55	62,75
VM3	177,06	190,9	13,84	69,20
VM4	182,38	193,89	11,51	57,55
VM5	182,76	195,46	12,7	63,50
VM6	184,6	194,52	9,92	49,60
VM7	182,76	198,94	16,18	80,90
VM8	184,6	198,32	13,72	68,60
			Massa total (mt)	20

Quadro 0.67 - Tabela da correção do teor em água para os solos do Vimieiro.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água de cada provete (W) (%)	Peso de cada toma_correção teor água (gramas)
VM1	43,96	63,96	63,87	0,45	20,09
VM2	42,37	62,37	62,24	0,65	20,13
VM3	29,07	49,08	48,95	0,65	20,13
VM4	49,13	69,14	69,02	0,60	20,12
VM5	46,79	66,8	66,68	0,60	20,12
VM6	49,74	69,75	69,29	2,35	20,47
VM7	47,5	67,52	67,41	0,55	20,11
VM8	48,79	68,79	68,62	0,86	20,17

Quadro 0.68 - Tabela da recolha Silte + Argila (L+A) para os solos do Vimieiro.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + proвете húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + proвете seco (B) (gramas)
VM1	35,87	57,53	35,93
VM2	35,57	56,67	35,63
VM3	38,09	59,15	38,14
VM4	28,04	49,39	28,11
VM5	42,62	63,75	42,67
VM6	36,08	58,4	36,17
VM7	35,79	56,83	35,86
VM8	35,35	56,25	35,4

Quadro 0.69 - Tabela da recolha Argila (A) para os solos do Vimieiro.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + proвете húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + proвете seco (B) (gramas)
VM1	48,85	69,57	48,91
VM2	48,72	69,46	48,8
VM3	40,18	60,96	40,22
VM4	43,84	64,7	43,88
VM5	37,92	58,89	37,96
VM6	38,52	59,65	38,6
VM7	42,37	63,66	42,4
VM8	29,07	50,08	29,12

Quadro 0.70 – Tabela dos valores do limite de plasticidade para os solos do Vimieiro.

Nome da amostra	Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Teor em água de cada provete (%)		LP (média do teor em água (%))	
VM1	46,05	46,99	46,83	W1	20,51	LPVM1	23
	47,35	48,43	48,24	W2	21,35		
	43,42	44,41	44,25	W3	19,28		
	35,35	36,33	36,15	W4	22,50		
	28,58	29,51	29,32	W5	25,68		
	35,79	36,7	36,51	W6	26,39		
VM2	35,7	36,89	36,67	W8	22,68	LPVM2	22
	41,45	42,69	42,44	W9	25,25		
	36,02	37,36	37,12	W10	21,82		
	36,1	37,16	36,98	W11	20,45		
	28,93	29,9	29,73	W12	21,25		
	28,75	30,34	30,05	W13	22,31		
VM3	35,79	37	36,77	W14	23,47	LPVM3	23
	35,35	36,82	36,5	W15	27,83		
	28,58	29,71	29,54	W16	17,71		
	43,42	44,32	44,18	W17	18,42		
	46,05	47	46,82	W18	23,38		
	47,35	48,76	48,47	W19	25,89		
VM4	36,02	37,22	36,98	W20	25,00	LPVM4	25
	28,75	30,16	29,88	W21	24,78		
	41,45	42,82	42,52	W22	28,04		
	36,1	37,47	37,22	W23	22,32		
	35,7	37	36,74	W24	25,00		
	28,93	29,98	29,78	W25	23,53		
VM5	35,35	36,45	36,27	W26	19,57	LPVM5	20
	43,42	44,4	44,26	W27	16,67		
	28,58	30	29,8	W28	16,39		
	47,35	48,75	48,52	W29	19,66		
	35,79	36,98	36,76	W30	22,68		
	46,05	47,31	47,07	W31	23,53		
VM6	35,7	36,8	36,56	W32	27,91	LPVM6	29
	28,75	30,02	29,71	W33	32,29		
	41,45	42,51	42,27	W34	29,27		
	36,02	37,44	37,08	W35	33,96		
	28,93	30,57	30,21	W36	28,12		
	36,1	37,8	37,43	W37	27,82		
VM7	35,89	37,86	37,45	W38	26,28	LPVM7	25
	36,02	37,75	37,3	W39	35,16		

	36,02	37,63	37,42	W40	15,00		
	38,33	40,76	40,28	W41	24,62		
	28,58	30,52	30,14	W42	24,36		
	41,45	43,23	42,9	W43	22,76		
VM8	35,7	37,97	37,52	W44	24,73	LPVM8	26
	43,41	45,25	44,9	W45	23,49		
	35,79	37,74	37,32	W46	27,45		
	28,91	30,51	30,18	W47	25,98		
	35,34	37,33	36,92	W48	25,95		
	36,11	38,22	37,76	W49	27,88		

Quadro 0.71 – Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método da concha de Casagrande para os solos do Vimieiro.

Nome da amostra	Nº de pancadas	Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	LL (através da reta) (%)	
VM1	10	35,63	52,66	47,75	LLVM1	36
	13	35,91	49,07	45,33		
	16	43,30	55,38	52,10		
	25	40,47	53,03	49,78		
	33	37,57	51,99	48,34		
	40	41,54	58,60	54,42		
VM2	10	47,69	58,83	56,11	LLVM2	29
	13	45,02	57,75	54,69		
	16	37,49	54,47	50,48		
	25	41,57	55,18	52,11		
	31	35,76	48,90	46,05		
	39	35,96	47,54	45,07		
VM3	18	41,57	53,41	50,47	LLVM3	32
	22	35,96	51,49	47,54		
	24	47,69	60,25	57,20		
	27	35,76	47,45	44,79		
	38	37,49	53,10	49,60		
	40	45,02	62,25	58,50		
VM4	10	41,59	57,39	52,68	LLVM4	33
	12	35,53	45,92	43,17		
	20	35,60	49,78	46,14		
	27	42,39	56,89	53,42		
	32	35,89	49,13	46,06		
	36	47,52	59,86	57,03		
VM5	12	35,96	55,10	50,34	LLVM5	31

	16	47,69	60,83	57,64		
	20	45,02	60,56	56,76		
	26	37,49	51,82	48,42		
	33	35,76	47,29	44,65		
	40	41,57	55,41	52,46		
VM6	11	44,16	54,93	51,86	LLVM6	37
	14	35,91	49,75	45,87		
	22	35,79	48,57	45,10		
	27	36,08	52,81	48,35		
	30	35,50	50,44	46,45		
	38	36,07	50,20	46,52		
VM7	14	47,69	65,34	61,09	LLVM7	30
	19	45,02	55,90	53,33		
	24	41,57	58,80	54,90		
	34	35,76	50,48	47,32		
	38	37,49	56,88	52,58		
	40	43,30	64,01	59,68		
VM8	12	49,50	67,49	63,04	LLVM8	31
	16	46,79	62,62	58,83		
	20	48,79	64,64	60,91		
	25	49,74	63,42	60,28		
	31	37,57	49,79	46,97		
	36	47,50	68,30	63,56		

Quadro 0.72 - Tabela dos valores do limite de liquidez pelo método do Cone de penetração para os solos do Vimieiro.

Nome da amostra	Ensaio	Peso do copo do amostrador (gramas)	Penetração média P (mm)	Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (gramas)	Teor em água de cada provete W (%)	LLc (através da reta) (%)	
VM1	1	21,73	16,1	35,89	44,62	42,18	38,79	LLc VM1	39
	2		19,15	47,52	60,95	57,21	38,60		
	3		18,05	42,39	52,23	49,49	38,59		
	4		17,75	35,53	45,22	42,52	38,63		
	5		19,7	41,59	48,82	46,79	39,04		
	6		24,15	35,60	50,95	46,49	40,96		
VM2	1	21,73	19,55	36,08	42,82	41,22	31,13	LLc VM2	32
	2		18,5	44,16	53,84	51,51	31,70		
	3		19,75	35,79	46,16	43,63	32,27		
	4		21,9	35,91	46,17	43,66	32,39		
	5		22,75	36,07	51,56	47,68	33,42		
	6		22,45	35,50	49,52	46,07	32,64		
VM3	1	21,73	21,25	41,59	51,52	48,68	40,06	LLc VM3	38
	2		18,55	35,60	49,21	45,44	38,31		
	3		17,35	47,52	57,44	54,77	36,83		
	4		21,85	42,39	52,84	49,93	38,59		
	5		24,4	35,53	46,19	43,15	39,90		
	6		24,8	35,89	46,21	43,27	39,84		
VM4	1	21,68	16,75	35,89	43,29	41,45	33,09	LLc VM4	36
	2		18,7	35,60	43,60	41,53	34,91		
	3		18,5	41,59	51,57	48,95	35,60		
	4		20,2	42,39	52,13	49,56	35,84		
	5		20,55	35,53	43,45	41,37	35,62		
	6		22,35	47,52	62,16	58,23	36,69		
VM5	1	21,68	15,8	35,96	45,18	42,77	35,39	LLc VM5	37
	2		18,65	42,39	53,00	50,21	35,68		
	3		21,75	35,89	53,06	48,37	37,58		
	4		22,35	35,53	44,88	42,34	37,30		
	5		20,55	41,59	49,66	47,48	37,01		
	6		24,9	47,52	59,52	56,20	38,25		
VM6	1	21,68	17,25	35,91	44,64	42,15	39,90	LLc VM6	40
	2		16,85	35,79	48,05	44,65	38,37		
	3		20,9	36,08	46,43	43,45	40,43		
	4		20,5	48,50	57,59	54,97	40,49		
	5		22,75	44,16	51,64	49,43	41,94		

	6		23,1	35,60	47,66	44,21	40,07		
VM7	1		14,7	35,62	58,28	52,79	31,97	LLc VM7	34
	2		12,9	41,57	58,57	54,47	31,78		
	3		12,7	35,87	50,54	47,04	31,33		
	4		24,2	37,52	50,08	47,02	32,21		
	5		14,6	36,09	53,87	49,47	32,88		
	6		15,7	35,57	49,54	46,12	32,42		
VM8	1		16,5	35,96	52,2	48,32	31,39	LLc VM8	33
	2		15,7	44,15	64,37	59,51	31,64		
	3		16,3	29,04	43,45	40,04	31,00		
	4		24,2	35,57	60,9	54,49	33,88		
	5		21,8	35,74	60,93	54,57	33,78		
	6		21,5	37,89	58,99	53,74	33,12		

Quadro 0.73 - Classificações geotécnicas (AASHTO e Sistema Unificado) dos solos residuais do maciço granítico do Vimieiro.

Perfil	Material passa # 10 (%)	Material passa # 40 (%)	Material passa # 200 (%)	LL	IP (%)	I G	Classificação de solos AASHTO		Classificação do sistema unificado	
							Grup o	Subgrupo	Símbolo do grupo	Nome do grupo
VM1	64,92	35,75	13,65	36	13	0	A-2	A-2-6	SW - SC	areia bem graduada argilosa
VM2	61,5	27,27	8,41	29	7	0	A-2	A-2-4	SW - SC	areia bem graduada argilosa
VM3	65,52	34,81	12,82	32	9	0	A-2	A-2-4	SW - SC	areia bem graduada argilosa
VM4	55,84	23,65	7,25	33	9	0	A-2	A-2-4	SW - SC	areia bem graduada argilosa
VM5	49,62	22,94	8,74	31	11	0	A-2	A-2-6	SW - SC	areia bem graduada argilosa
VM6	63,69	37,56	19,62	37	8	0	A-2	A-2-4	SW - SM	areia bem graduada siltosa
VM7	49,17	24	8,44	30	5	0	A-1	A-1-a	SW - SM	areia bem graduada siltosa
VM8	59,78	31,43	10,49	31	5	0	A-1	A-1-b	SW - SM	areia bem graduada siltosa

Quadro 0.74 - Teor em água para os solos do perfil do Vimieiro.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água de cada provete (%)		Teor em água médio (%)	
				W	W	WVM	W
VM1	99,31	416,03	414,53	W1	0,48	WVM1	1
	100,2	406,63	405,28	W2	0,44		
	119,01	406,69	405,34	W3	0,47		
VM2	98,99	430,76	429,38	W4	0,42	WVM2	0
	118,86	424,42	423,22	W5	0,39		
	101,46	411,21	410,02	W6	0,39		
VM3	119,01	400,73	399,49	W7	0,44	WVM3	0
	99,31	365,12	364,08	W8	0,39		
	100,2	396,93	395,72	W9	0,41		
VM4	119,01	373,59	372,78	W10	0,32	WVM4	0
	99,31	409,48	408,25	W11	0,40		
	100,2	365,87	364,89	W12	0,37		
VM5	118,86	382,51	381,67	W13	0,32	WVM5	0
	101,46	318,75	318,08	W14	0,31		
	98,99	362,59	361,6	W15	0,38		
VM6	169,34	465,69	460,38	W16	1,82	WVM6	2
	182,23	554,06	547,42	W17	1,82		
	109,03	300,26	297,37	W18	1,53		
VM7	119,01	400,28	399,34	W19	0,34	WVM7	0
	99,31	404,73	403,29	W20	0,47		
	100,2	422,72	421,54	W21	0,37		
VM8	101,46	404,13	402,01	W22	0,71	WVM8	1
	118,86	433,37	431,36	W23	0,64		
	98,99	435,36	433,22	W24	0,64		

Quadro 0.75 - Tabela do teor em água para os solos do Vimieiro.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água (%)
EXP1_VM1	64,20	147,44	122,56	42,63
EXP2_VM2	66,5	143,42	123,01	36,12
EXP3_VM3	46,32	122,74	100,32	41,52
EXP4_VM4	60,17	132,16	110,79	42,22
EXP5_VM5	34,78	113,69	92,58	36,52
EXP6_VM6	39,4	109,6	86,78	48,16
EXP7_VM7	51	129,19	107,03	39,55
EXP5_VM8	65,61	141,05	118,99	41,33

Quadro 0.76 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP1 e EXP2) usando os solos do Vimieiro (VM1 e VM2).

Tempo (min)	EXP1_VM1 (27/5/2013)				EXP2_VM2 (27/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)
(Seco) 0	232	2,32		11,1	228	2,28		7,8
1	278	2,78	2,875		251	2,51	1,5	
2	297	2,97	4,0625		289	2,89	4,1	
3	320	3,2	5,5		306	3,06	5,2	
4	334	3,34	6,375		315	3,15	5,8	
5	344	3,44	7		320	3,2	6,1	
10	365	3,65	8,3125		332	3,32	6,9	
15	371	3,71	8,6875		337	3,37	7,3	
30	387	3,87	9,6875		344	3,44	7,7	
45	396	3,96	10,25		344	3,44	7,7	
1 h	398	3,98	10,375		344	3,44	7,7	
2 h	404	4,04	10,75		345	3,45	7,8	
3 h	408	4,08	11		345	3,45	7,8	
4 h	410	4,1	11,125		345	3,45	7,8	
5 h	410	4,1	11,125		345	3,45	7,8	
6 h	410	4,1	11,125		345	3,45	7,8	
7 h	410	4,1	11,125		345	3,45	7,8	
8 h								
9 h								
10 h								
...								
24 h	410	4,1	11,125		345	3,45	7,8	

Quadro 0.77 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP3 e EXP4) usando os solos do Vimieiro (VM3 e VM4).

Tempo (min)	EXP3_VM3 (27/5/2013)				EXP4_VM4 (27/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)
(Seco) 0	280	2,8		7,7	164	1,64		5,8
1	318	3,18	2,5		190	1,9	1,7	
2	348	3,48	4,5		212	2,12	3,2	
3	360	3,6	5,3		223	2,23	3,9	
4	364	3,64	5,6		230	2,3	4,4	
5	369	3,69	5,9		231	2,31	4,5	
10	382	3,82	6,8		240	2,4	5,1	
15	390	3,9	7,3		241	2,41	5,1	
30	390	3,9	7,3		245	2,45	5,4	
45	390	3,9	7,3		246	2,46	5,5	
1 h	391	3,91	7,4		248	2,48	5,6	
2 h	392	3,92	7,5		250	2,5	5,7	
3 h	392	3,92	7,5		251	2,51	5,8	
4 h	395	3,95	7,7		251	2,51	5,8	
5 h	395	3,95	7,7		251	2,51	5,8	
6 h	395	3,95	7,7		251	2,51	5,8	
7 h	395	3,95	7,7		251	2,51	5,8	
8 h								
9 h								
10 h								
...								
24 h	395	3,95	7,7		251	2,51	5,8	

Quadro 0.78 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP5 e EXP6) usando os solos do Vimieiro (VM5 e VM6).

Tempo (min)	EXP5_VM5 (27/5/2013)				EXP6_VM6 (27/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)
(Seco) 0	246	2,46		8,3	706	1,41		8,1
1	272	2,72	1,7		709	1,41	0,0	
2	311	3,11	4,3		772	1,47	0,4	
3	330	3,3	5,6		7194	1,59	1,3	
4	339	3,39	6,2		9162	1,96	3,7	
5	342	3,42	6,4		10112	2,11	4,7	
10	351	3,51	7,0		11123	2,32	6,1	
15	355	3,55	7,3		11125	2,33	6,1	
30	360	3,6	7,6		12023	2,42	6,8	
45	363	3,63	7,8		12104	2,50	7,3	
1 h	365	3,65	7,9		12130	2,53	7,5	
2 h	370	3,7	8,3		12163	2,56	7,7	
3 h	370	3,7	8,3		12182	2,58	7,8	
4 h	370	3,7	8,3		1305	2,61	8,0	
5 h	370	3,7	8,3		1325	2,63	8,1	
6 h	370	3,7	8,3		1325	2,63	8,1	
7 h	370	3,7	8,3		1325	2,63	8,1	
8 h								
9 h								
10 h								
...								
24 h	370	3,7	8,3		1325	2,63	8,1	

Quadro 0.79 - Tabela do tempo e respetivas leituras registados nos expansímetros (EXP7 e EXP5) usando os solos do Vimieiro (VM7 e VM8).

Tempo (min)	EXP7_VM7 (27/5/2013)				EXP5_VM8 (27/5/2013)			
	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Leitura do deflectómetro (div)	Leitura do deflectómetro (mm)	Expansibilidade (Exp = $(\Delta h/h_0) \times 100 = ((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)	Expansibilidade total (Exp = $((11 - 10)/h_0) \times 100$) (%)
(Seco) 0	430	4,3		8,0	158	1,58		8,5
1	455	4,55	1,7		168	1,68	0,7	
2	474	4,74	2,9		176	1,76	1,2	
3	494	4,94	4,3		200	2	2,8	
4	508	5,08	5,2		213	2,13	3,7	
5	514	5,14	5,6		223	2,23	4,3	
10	531	5,31	6,7		251	2,51	6,2	
15	535	5,35	7,0		262	2,62	6,9	
30	542	5,42	7,5		275	2,75	7,8	
45	544	5,44	7,6		280	2,8	8,1	
1 h	546	5,46	7,7		280	2,8	8,1	
2 h	549	5,49	7,9		285	2,85	8,5	
3 h	550	5,5	8,0		285	2,85	8,5	
4 h	550	5,5	8,0		285	2,85	8,5	
5 h	550	5,5	8,0		285	2,85	8,5	
6 h	550	5,5	8,0		285	2,85	8,5	
7 h	550	5,5	8,0					
8 h								
9 h								
10 h								
...								
24 h	550	5,5	8,0		285	2,85	8,5	

Quadro 0.80 – Estimativa do peso de cada toma através do teor em água de cada provete (do perfil do Vimieiro).

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + proвете húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + proвете seco (B) (gramas)	Teor em água de cada provete (W) (%)	Peso de cada toma (gramas)
VM1	47,94	149,1	148,58	0,52	120,62
VM2	50,85	172,52	171,96	0,46	120,55
VM3	48,85	156,2	155,57	0,59	120,71
VM4	48,62	151,57	151,07	0,49	120,59
VM5	46,76	163,46	162,95	0,44	120,53
VM6	47,24	155,12	153,51	1,52	121,82
VM7	49,21	170,69	170,12	0,47	120,57
VM8	48,56	159,36	158,64	0,65	120,78

Quadro 0.81– Determinação do Equivalente de Areia (E.A.) e do Equivalente de Areia Visual (E.A.V.) para o perfil do Vimieiro.

Nº ensaio		Altura do nível superior da suspensão argilosa em relação ao fundo da proveta	Altura do nível superior do sedimento em relação ao fundo da proveta	Base do pistão assente no fundo da proveta	Base do pistão assente no sedimento	Altura do sedimento (cm)	Equivalente de areia	Equivalente de areia visual	E. A. (%)	E. A. V. (%)
		h1 (cm)	h'2 (cm)	Medição entre a face sup. da peça guia e a face inferior do peso do pistão	Medição entre a face sup. da peça guia e a face inferior do peso do pistão					
VM1	provete 1	27,7	8	K1 = 5,8 (pistão 1)	12,4	6,60	23,83	28,88	25	29
	provete 2	27	8	K2 = 5,77 (pistão 2)	12,6	6,83	25,30	29,63		
VM2	provete 3	17	9,3	K1 = 5,8 (pistão 1)	13,6	7,80	45,88	54,71	45	54
	provete 4	17	9,1	K2 = 5,77 (pistão 2)	13,2	7,43	43,71	53,53		
VM3	provete 5	24,2	8,5	K1 = 5,8 (pistão 1)	12,54	6,74	27,85	35,12	29	35
	provete 6	22,8	8	K2 = 5,77 (pistão 2)	12,59	6,82	29,91	35,09		
VM4	provete 7	22	8	K1 = 5,8 (pistão 1)	13,23	7,43	33,77	36,36	34	37
	provete 8	21,3	8	K2 = 5,77 (pistão 2)	12,95	7,18	33,71	37,56		
VM5	provete 9	14,8	7,5	K1 = 5,8 (pistão 1)	13,5	7,70	52,03	50,68	52	53
	provete 10	14,7	8	K2 = 5,77 (pistão 2)	13,4	7,63	51,90	54,42		
VM6	provete 11	29,5	6,5	K1 = 5,8 (pistão 1)	12,43	6,63	22,47	22,03	23	24
	provete 12	28,2	7,5	K2 = 5,77 (pistão 2)	12,3	6,53	23,16	26,60		
VM7	provete 13	11	7,5	K1 = 5,8 (pistão 1)	13,4	7,60	69,09	68,18	70	73
	provete 14	10,4	8	K2 = 5,77 (pistão 2)	13,24	7,47	71,83	76,92		
VM8	provete 15	23,8	7,5	K1 = 5,8 (pistão 1)	12,95	7,15	30,04	31,51	31	32
	provete 16	23	7,5	K2 = 5,77 (pistão 2)	12,97	7,20	31,30	32,61		

Quadro 0.82 - Tabela com a determinação dos valores das densidades para os solos do Vimieiro.

Nome da amostra	Provete	Picnómetro nº	Peso do picnómetro (gramas)	Picnómetro + água destilada (m3) (gramas)	Picnómetro + provete seco (gramas)	Provete seco (m4) (gramas)	Temperatura do ensaio (t) (° C)	Picnómetro + provete + água destilada (m5) (gramas)	Razão entre as densidades da água à temperatura do ensaio e a 20° C (K)	Densidade das partículas (d)	Densidade média das partículas
VM1	1	2	77,90	177,39	107,9	30,00	27	195,14	0,998	2,445	2,73
	2	7	61,81	161,31	91,82	30,01	27	179,7	0,998	2,578	
	3	8	49,92	146,36	79,94	30,02	27	167,48	0,998	3,367	
	4	9	61,51	161,13	91,52	30,01	27	179,21	0,998	2,511	
VM2	5	10	77,04	176,70	107,04	30,00	27	194,89	0,998	2,536	2,53
	6	11	47,30	147,03	77,31	30,01	27	165	0,998	2,488	
	7	13	62,95	162,62	92,95	30,00	27	180,93	0,998	2,562	
	8	17	54,05	154,06	84,05	30,00	27	172,25	0,998	2,536	
VM3	9	22	55,87	156,09	85,87	30,00	27	174,38	0,998	2,558	2,54
	10	23	56,78	157,00	86,8	30,02	27	175,25	0,998	2,546	
	11	24	55,46	155,62	85,48	30,02	27	173,76	0,998	2,523	
	12	25	55,63	155,90	85,64	30,01	27	174,17	0,998	2,552	
VM4	17	26	55,97	156,11	85,98	30,01	27	174,79	0,998	2,644	2,58
	18	27	56,01	156,23	86,01	30,00	27	174,62	0,998	2,580	
	19	28	55,74	155,99	85,76	30,02	27	174,33	0,998	2,566	
	20	29	55,85	156,16	85,86	30,01	27	174,38	0,998	2,541	
VM5	13	30	55,56	155,80	85,56	30,00	27	173,87	0,998	2,510	2,58
	14	31	56,92	157,13	86,93	30,01	27	175,67	0,998	2,612	
	15	32	56,08	156,37	86,08	30,00	27	174,87	0,998	2,604	
	16	34	56,24	156,49	86,26	30,02	27	174,87	0,998	2,575	
VM6	21	35	55,46	155,65	85,46	30,00	27	174,08	0,998	2,589	2,56
	22	36	55,36	155,69	85,39	30,03	27	173,86	0,998	2,528	
	23	37	52,90	153,05	82,9	30,00	27	171,4	0,998	2,571	
	24	38	56,61	156,78	86,61	30,00	27	175,09	0,998	2,562	
VM7	25	41	55,77	155,97	85,78	30,01	27	174,37	0,998	2,580	2,57
	26	43	55,51	155,73	85,51	30,00	27	174,03	0,998	2,560	
	27	44	56,90	157,18	86,9	30,00	27	175,5	0,998	2,564	
	28	45	56,09	156,29	86,09	30,00	27	174,7	0,998	2,584	
VM8	29	33	55,82	156,03	85,83	30,01	27	174,38	0,998	2,569	2,57
	30	39	52,17	152,31	82,17	30,00	27	170,81	0,998	2,604	
	31	40	55,76	155,70	85,77	30,01	27	173,73	0,998	2,501	
	32	42	56,48	156,63	86,5	30,02	27	175,06	0,998	2,586	

Quadro 0.83 – Tabela com os valores da permeabilidade para os solos do Vimieiro.

Nome da amostra	Peso da cápsula (C) (gramas)	Peso da cápsula + provete húmido (A) (gramas)	Peso da cápsula + provete seco (B) (gramas)	Teor em água (%)		Tempo (t) (s)	Volume (V) (cm ³)	Permeabilidade K (cm/s)	Permeabilidade K (m/s)	Permeabilidade média \underline{K}
VM1	101,72	520,46	467,77	<u>WVM1</u>	14	7200	700	2,70E-04	2,70E-06	1,98E-06
						7160	700	2,72E-04	2,72E-06	
						10804	700	1,80E-04	1,80E-06	
						10805	700	1,80E-04	1,80E-06	
						10807	700	1,80E-04	1,80E-06	
						10806	700	1,80E-04	1,80E-06	
						10805	700	1,80E-04	1,80E-06	
						10800	700	1,80E-04	1,80E-06	
						10801	700	1,80E-04	1,80E-06	
						10802	700	1,80E-04	1,80E-06	
VM2	100,31	516,82	447,83	<u>WVM2</u>	20	105	700	1,85E-02	1,85E-04	1,28E-04
						120	700	1,62E-02	1,62E-04	
						150	700	1,30E-02	1,30E-04	
						150	700	1,30E-02	1,30E-04	
						150	700	1,30E-02	1,30E-04	
						160	700	1,22E-02	1,22E-04	
						180	700	1,08E-02	1,08E-04	
						170	700	1,14E-02	1,14E-04	
						180	700	1,08E-02	1,08E-04	
						215	700	9,05E-03	9,05E-05	
VM3	98,26	523,57	450,22	<u>WVM3</u>	21	1230	700	1,58E-03	1,58E-05	9,38E-06
						1680	700	1,16E-03	1,16E-05	
						1740	700	1,12E-03	1,12E-05	
						2100	700	9,26E-04	9,26E-06	
						1920	700	1,01E-03	1,01E-05	

									05	
						1920	700	1,01E-03	1,01E-05	
						1920	700	1,01E-03	1,01E-05	
						5160	700	3,77E-04	3,77E-06	
						2460	700	7,91E-04	7,91E-06	
						4860	700	4,00E-04	4,00E-06	
VM4	88,22	518,29	448,57	<u>WVM4</u>	19	1132	700	1,72E-03	1,72E-05	1,79E-05
						900	700	2,16E-03	2,16E-05	
						990	700	1,96E-03	1,96E-05	
						1002	700	1,94E-03	1,94E-05	
						1111	700	1,75E-03	1,75E-05	
						1130	700	1,72E-03	1,72E-05	
						1150	700	1,69E-03	1,69E-05	
						1172	700	1,66E-03	1,66E-05	
						1187	700	1,64E-03	1,64E-05	
						1193	700	1,63E-03	1,63E-05	
VM5	119,58	565,75	496,42	<u>WVM5</u>	18	570	700	3,41E-03	3,41E-05	1,67E-05
						1162	700	1,67E-03	1,67E-05	
						1087	700	1,79E-03	1,79E-05	
						1288	700	1,51E-03	1,51E-05	
						1422	700	1,37E-03	1,37E-05	
						1425	700	1,36E-03	1,36E-05	
						1350	700	1,44E-03	1,44E-05	
						1382	700	1,41E-03	1,41E-05	
						1408	700	1,38E-03	1,38E-05	
						1420	700	1,37E-03	1,37E-05	
VM6	101,72	535,91	466,64	<u>WVM6</u>	19	38640	700	5,03E-05	5,03E-07	5,03E-07
						38680	700	5,03E-05	5,03E-07	
						38700	700	5,03E-05	5,03E-07	

									07	
						38690	700	5,03E-05	5,03E-07	
						38706	700	5,03E-05	5,03E-07	
						38720	700	5,02E-05	5,02E-07	
						38725	700	5,02E-05	5,02E-07	
						38695	700	5,03E-05	5,03E-07	
						38710	700	5,02E-05	5,02E-07	
						38712	700	5,02E-05	5,02E-07	
VM7	91,71	517,18	449,86	<u>WVM7</u>	19	115	700	1,69E-02	1,69E-04	5,69E-05
						172	700	1,13E-02	1,13E-04	
						246	700	7,91E-03	7,91E-05	
						304	700	6,40E-03	6,40E-05	
						423	700	4,60E-03	4,60E-05	
						558	700	3,49E-03	3,49E-05	
						744	700	2,61E-03	2,61E-05	
						1088	700	1,79E-03	1,79E-05	
						1390	700	1,40E-03	1,40E-05	
						3660	700	5,31E-04	5,31E-06	
VM8	238,33	876,94	623,15	<u>WVM8</u>	66	21	700	9,26E-02	9,26E-04	4,73E-04
						26	700	7,48E-02	7,48E-04	
						33	700	5,89E-02	5,89E-04	
						40	700	4,86E-02	4,86E-04	
						47	700	4,14E-02	4,14E-04	
						54	700	3,60E-02	3,60E-04	
						61	700	3,19E-02	3,19E-04	
						63	700	3,09E-02	3,09E-04	
						66	700	2,95E-02	2,95E-04	
						69	700	2,82E-02	2,82E-04	

Quadro 0.84 - Valores do ensaio para determinação do teor em matéria orgânica do perfil do Vimieiro.

VIMIEIRO					
Amostra (m)	Peso da cápsula (gramas)	Peso da cápsula + solo húmido (gramas)	Peso da cápsula + solo seco (gramas)	Cinzas (gramas)	M.O. (%)
VM1	26,37	31,37	31,22	0,15	3
VM2	25,36	30,36	30,26	0,10	2
VM3	24,62	29,62	29,52	0,10	2
VM4	24,58	29,58	29,46	0,12	2,4
VM5	45,72	50,72	50,61	0,11	2,2
VM6	44,06	49,06	48,94	0,12	2,4
VM7	46,17	51,17	51,09	0,08	1,6
VM8	44,99	49,99	49,88	0,11	2,2

Quadro 0.85 – Percentagens de elementos maiores de solo do perfil do Monte das Flores.

	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	MF7	MF8
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
LOI	2,11	3,07	2,88	2,53	2,96	2,42	2,28	2,43
Na₂O	2,52	1,47	1,71	2,28	2,07	2,40	2,57	2,58
MgO	1,77	2,93	2,68	2,22	2,28	2,17	1,99	1,82
Al₂O₃	17,86	19,30	19,42	18,37	19,98	18,98	18,60	17,64
SiO₂	66,45	62,90	64,11	65,00	63,88	64,55	65,55	66,54
P₂O₅	0,30	0,24	0,20	0,23	0,23	0,26	0,25	0,22
K₂O	3,00	3,66	3,41	3,12	3,25	2,87	2,94	2,93
CaO	1,74	0,91	1,23	1,52	0,93	1,67	1,85	1,76
TiO₂	0,58	0,71	0,59	0,60	0,58	0,61	0,50	0,49
Fe₂O₃	3,51	4,66	3,58	3,95	3,70	3,94	3,30	3,43
Total	99,84	99,84	99,80	99,82	99,86	99,86	99,83	99,84

Quadro 0.86 – Percentagens ajustadas de elementos maiores para a rocha e solo do perfil do Monte das Flores.

	MFR	MFR	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	MF7	MF8
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
LOI	1,78	1,78	2,11	3,08	2,89	2,53	2,96	2,42	2,28	2,43
Na₂O	2,95	2,95	2,52	1,47	1,71	2,29	2,07	2,41	2,57	2,59
MgO	1,32	1,32	1,78	2,93	2,68	2,22	2,28	2,17	1,99	1,82
Al₂O₃	16,56	16,58	17,89	19,33	19,46	18,40	20,01	19,01	18,64	17,67
SiO₂	69,92	70,01	66,56	63,00	64,24	65,12	63,97	64,64	65,66	66,65
P₂O₅	0,19	0,19	0,30	0,24	0,20	0,23	0,23	0,26	0,25	0,22
K₂O	2,40	2,41	3,00	3,67	3,42	3,13	3,26	2,87	2,94	2,94
CaO	1,82	1,82	1,74	0,92	1,23	1,53	0,93	1,67	1,85	1,77
TiO₂	0,39	0,39	0,58	0,71	0,59	0,60	0,58	0,61	0,50	0,49
Fe₂O₃	2,54	2,54	3,52	4,66	3,58	3,95	3,71	3,94	3,31	3,44
Total	99,87	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Quadro 0.87 – Elementos maiores considerando o Al imóvel para os solos do perfil do Monte das Flores.

	Considerando Al imóvel							
	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	MF7	MF8
LOI	1,96	2,64	2,46	2,28	2,46	2,11	2,03	2,28
Na₂O	2,34	1,26	1,46	2,06	1,72	2,10	2,29	2,43
MgO	1,65	2,51	2,29	2,01	1,89	1,89	1,77	1,71
Al₂O₃	16,58	16,58	16,58	16,58	16,58	16,58	16,58	16,58
SiO₂	61,70	54,04	54,74	58,68	53,02	56,40	58,43	62,56
P₂O₅	0,27	0,21	0,17	0,21	0,19	0,23	0,22	0,20
K₂O	2,78	3,15	2,91	2,82	2,70	2,51	2,62	2,76
CaO	1,62	0,79	1,05	1,37	0,77	1,46	1,65	1,66
TiO₂	0,54	0,61	0,51	0,54	0,48	0,53	0,45	0,46
Fe₂O₃	3,26	4,00	3,05	3,56	3,07	3,44	2,94	3,23
Total	91,22	85,78	85,22	90,12	82,88	87,25	88,98	93,86

Quadro 0.88 – Perda em absoluto de elementos maiores nos solos do perfil do Monte das Flores.

	Perda em absoluto							
	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	MF7	MF8
LOI	-1,31	0,86	0,68	0,50	0,67	0,33	0,25	0,50
Na₂O	-0,62	-1,69	-1,50	-0,89	-1,24	-0,86	-0,67	-0,53
MgO	0,33	1,20	0,97	0,69	0,57	0,58	0,45	0,39
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO₂	-8,31	-15,97	-15,27	-11,33	-17,00	-13,61	-11,58	-7,45
P₂O₅	0,08	0,01	-0,02	0,02	0,00	0,04	0,03	0,01
K₂O	0,38	0,74	0,51	0,41	0,29	0,10	0,21	0,35
CaO	-0,20	-1,04	-0,77	-0,45	-1,05	-0,36	-0,17	-0,16
TiO₂	0,15	0,21	0,11	0,15	0,09	0,14	0,05	0,07
Fe₂O₃	0,72	1,46	0,51	1,02	0,53	0,90	0,40	0,68
Total	-8,78	-14,22	-14,78	-9,88	-17,12	-12,75	-11,02	-6,14

Quadro 0.89 – Perda percentual de elementos maiores nos solos do perfil do Monte das Flores.

	Perda percentual							
	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	MF7	MF8
LOI	-73,43	48,00	37,98	28,14	37,84	18,64	14,02	28,18
Na₂O	-20,91	-57,31	-50,64	-30,22	-41,86	-28,94	-22,53	-17,88
MgO	25,10	90,93	73,60	52,27	43,46	43,74	34,37	29,59
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO₂	-11,87	-22,81	-21,81	-16,18	-24,28	-19,44	-16,54	-10,65
P₂O₅	43,71	7,37	-11,15	10,45	-1,49	20,16	17,45	5,69
K₂O	15,70	30,78	21,17	17,11	12,25	4,23	8,81	14,57
CaO	-11,25	-56,86	-42,49	-24,47	-57,74	-20,03	-9,37	-8,95
TiO₂	38,15	54,54	29,00	37,31	23,27	34,90	14,00	18,33
Fe₂O₃	28,27	57,39	20,07	40,08	20,89	35,35	15,70	26,88

Quadro 0.90 - Percentagens de elementos menores de solo do perfil do Monte das Flores.

	MF1 (ppm)	MF2 (ppm)	MF3 (ppm)	MF4 (ppm)	MF5 (ppm)	MF6 (ppm)	MF7 (ppm)	MF8 (ppm)
Sc	7,4	7,3	6,5	8,1	6,8	9,1	7,7	7,2
V	42,7	59,5	46,6	50,5	52,1	53,9	43,4	47,0
Cr	27,9	28,2	115,4	20,9	34,5	28,2	19,8	18,5
Mn	429,5	542,7	481,1	642,2	401,3	409,3	492,2	572,6
Co	nd	7,4	nd	nd	7,5	nd	6,8	nd
Ni	4,1	5,6	6,4	6,1	5,7	5,4	4,5	5,9
Cu	7,1	5,5	6,1	3,7	5,4	nd	4,5	8,9
Zn	50,8	61,2	50,3	63,7	53,4	60,5	52,4	56,2
Ga	18,6	19,6	19,6	20,2	19,9	21,2	20,0	19,6
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	0,8	1,2	1,3	1,7	1,2	nd	1,0	nd
Rb	127,4	158,7	149,8	150,1	162,8	130,9	136,3	135,7
Sr								
Y	13,6	17,5	14,4	16,7	14,6	17,0	15,2	15,3
Zr	110,5	130,9	126,3	137,5	125,1	133,6	126,6	126,2
Nb	8,6	10,5	8,8	11,4	9,0	10,3	8,9	9,5
Mo	nd	nd	nd	0,8	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	6,8	6,0	6,2	7,2	5,5	6,9	8,4	6,5
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	14,3	13,0	16,6	12,5	15,9	13,5	10,2	10,4
Ba	460,2	405,7	437,1	463,8	394,9	416,6	462,1	418,3
La	16,8	22,6	16,1	20,9	14,1	21,2	19,9	25,3
Ce	39,8	36,9	36,4	38,1	30,4	36,4	34,7	39,5
Nd	15,0	18,1	16,0	16,8	12,0	17,6	14,9	20,2
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	2,7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	24,5	15,8	19,0	21,3	15,4	21,4	23,7	20,6
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	8,0	9,5	9,9	11,7	12,5	13,5	12,1	14,4
U	11,7	5,3	4,6	4,8	5,3	6,8	5,6	4,8
Total	1448,80	1588,70	1594,50	1730,70	1405,30	1433,30	1530,90	1582,60

Quadro 0.91 - Percentagens ajustadas de elementos menores para a rocha e solo do perfil do Monte das Flores.

	MFR (ppm)	MFR (ppm)	MF1 (%)	MF2 (%)	MF3 (%)	MF4 (%)	MF5 (%)	MF6 (%)	MF7 (%)	MF8 (%)
Sc	5,6	0,44	0,51	0,46	0,41	0,47	0,48	0,63	0,50	0,45
V	34,3	2,69	2,95	3,75	2,92	2,92	3,71	3,76	2,83	2,97
Cr	21,9	1,72	1,93	1,78	7,24	1,21	2,45	1,97	1,29	1,17
Mn	316,5	24,86	29,65	34,16	30,17	37,11	28,56	28,56	32,15	36,18
Co	6,3	0,49	nd	0,47	nd	nd	0,53	nd	0,44	nd
Ni	4,1	0,32	0,28	0,35	0,40	0,35	0,41	0,38	0,29	0,37
Cu	3,6	0,28	0,49	0,35	0,38	0,21	0,38	nd	0,29	0,56
Zn	41,5	3,26	3,51	3,85	3,15	3,68	3,80	4,22	3,42	3,55
Ga	17,0	1,34	1,28	1,23	1,23	1,17	1,42	1,48	1,31	1,24
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	1,2	0,09	0,06	0,08	0,08	0,10	0,09	nd	0,07	nd
Rb	111,2	8,73	8,79	9,99	9,39	8,67	11,58	9,13	8,90	8,57
Sr	204,2	16,04								
Y	11,9	0,93	0,94	1,10	0,90	0,96	1,04	1,19	0,99	0,97
Zr	106,8	8,39	7,63	8,24	7,92	7,94	8,90	9,32	8,27	7,97
Nb	6,7	0,53	0,59	0,66	0,55	0,66	0,64	0,72	0,58	0,60
Mo	nd	nd	nd	nd	nd	0,05	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	4,9	0,38	0,47	0,38	0,39	0,42	0,39	0,48	0,55	0,41
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	15,2	1,19	0,99	0,82	1,04	0,72	1,13	0,94	0,67	0,66
Ba	281,3	22,10	31,76	25,54	27,41	26,80	28,10	29,07	30,18	26,43
La	12,0	0,94	1,16	1,42	1,01	1,21	1,00	1,48	1,30	1,60
Ce	24,8	1,95	2,75	2,32	2,28	2,20	2,16	2,54	2,27	2,50
Nd	9,2	0,72	1,04	1,14	1,00	0,97	0,85	1,23	0,97	1,28
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	nd	nd	0,19	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	18,9	1,48	1,69	0,99	1,19	1,23	1,10	1,49	1,55	1,30
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	10,1	0,79	0,55	0,60	0,62	0,68	0,89	0,94	0,79	0,91
U	3,9	0,31	0,81	0,33	0,29	0,28	0,38	0,47	0,37	0,30
Total	1273,10	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Quadro 0.91 - Elementos menores considerando o Al imóvel para os solos do perfil do Monte das Flores.

	Considerando Al imóvel							
	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	MF7	MF8
Sc	0,47	0,39	0,35	0,42	0,40	0,55	0,45	0,43
V	2,73	3,21	2,49	2,63	3,07	3,28	2,52	2,79
Cr	1,79	1,52	6,17	1,09	2,03	1,72	1,15	1,10
Mn	27,48	29,30	25,71	33,44	23,67	24,92	28,61	33,96
Co	nd	0,40	nd	nd	0,44	nd	0,40	nd
Ni	0,26	0,30	0,34	0,32	0,34	0,33	0,26	0,35
Cu	0,45	0,30	0,33	0,19	0,32	nd	0,26	0,53
Zn	3,25	3,30	2,69	3,32	3,15	3,68	3,05	3,33
Ga	1,19	1,06	1,05	1,05	1,17	1,29	1,16	1,16
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	0,05	0,06	0,07	0,09	0,07	nd	0,06	nd
Rb	8,15	8,57	8,01	7,82	9,60	7,97	7,92	8,05
Sr								
Y	0,87	0,94	0,77	0,87	0,86	1,03	0,88	0,91
Zr	7,07	7,07	6,75	7,16	7,38	8,13	7,36	7,48
Nb	0,55	0,57	0,47	0,59	0,53	0,63	0,52	0,56
Mo	nd	nd	nd	0,04	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	0,44	0,32	0,33	0,37	0,32	0,42	0,49	0,39
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	0,91	0,70	0,89	0,65	0,94	0,82	0,59	0,62
Ba	29,45	21,91	23,36	24,15	23,29	25,36	26,86	24,81
La	1,07	1,22	0,86	1,09	0,83	1,29	1,16	1,50
Ce	2,55	1,99	1,95	1,98	1,79	2,22	2,02	2,34
Nd	0,96	0,98	0,86	0,87	0,71	1,07	0,87	1,20
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	0,17	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	1,57	0,85	1,02	1,11	0,91	1,30	1,38	1,22
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	0,51	0,51	0,53	0,61	0,74	0,82	0,70	0,85
U	0,75	0,29	0,25	0,25	0,31	0,41	0,33	0,28
Total	92,70	85,78	85,22	90,12	82,88	87,25	88,98	93,86

Quadro 0.92 - Perda em absoluto de elementos menores nos solos do perfil do Monte das Flores.

	Perda em absoluto							
	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	MF7	MF8
Sc	0,03	-0,05	-0,09	-0,02	-0,04	0,11	0,01	-0,01
V	0,04	0,52	-0,20	-0,06	0,38	0,59	-0,17	0,09
Cr	0,06	-0,20	4,45	-0,63	0,31	0,00	-0,57	-0,62
Mn	2,62	4,44	0,85	8,58	-1,19	0,06	3,75	9,10
Co	nd	-0,10	nd	nd	-0,05	nd	-0,10	nd
Ni	-0,06	-0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	-0,06	0,03
Cu	0,17	0,01	0,04	-0,09	0,04	nd	-0,02	0,25
Zn	-0,01	0,04	-0,57	0,06	-0,11	0,42	-0,21	0,07
Ga	-0,15	-0,28	-0,29	-0,28	-0,16	-0,04	-0,17	-0,17
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	-0,04	-0,03	-0,02	-0,01	-0,02	nd	-0,04	nd
Rb	-0,58	-0,17	-0,73	-0,92	0,87	-0,77	-0,81	-0,69
Sr	-16,04	-16,04	-16,04	-16,04	-16,04	-16,04	-16,04	-16,04
Y	-0,06	0,01	-0,17	-0,07	-0,07	0,10	-0,05	-0,03
Zr	-1,32	-1,32	-1,64	-1,23	-1,01	-0,26	-1,03	-0,90
Nb	0,02	0,04	-0,06	0,07	0,00	0,10	-0,01	0,04
Mo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	0,05	-0,06	-0,05	-0,01	-0,06	0,04	0,10	0,00
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	-0,28	-0,49	-0,31	-0,54	-0,26	-0,37	-0,60	-0,58
Ba	7,35	-0,19	1,27	2,05	1,19	3,27	4,76	2,71
La	0,13	0,28	-0,08	0,15	-0,11	0,35	0,21	0,56
Ce	0,60	0,04	0,00	0,04	-0,16	0,27	0,07	0,39
Nd	0,24	0,25	0,13	0,15	-0,01	0,35	0,14	0,48
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	0,08	-0,63	-0,47	-0,38	-0,58	-0,18	-0,11	-0,26
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	-0,28	-0,28	-0,26	-0,18	-0,06	0,03	-0,09	0,06
U	0,44	-0,02	-0,06	-0,06	0,01	0,11	0,02	-0,02
Total	-6,98	-14,22	-14,28	-9,43	-17,12	-11,88	-11,02	-5,55

Quadro 0.93 - Perda percentual de elementos menores nos solos do perfil do Monte das Flores.

	Perda percentual							
	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	MF7	MF8
Sc	7,64	-10,39	-21,02	-4,12	-8,83	25,94	1,75	-2,92
V	1,41	19,24	-7,56	-2,40	14,04	21,79	-6,37	3,47
Cr	3,78	-11,49	258,55	-36,74	18,28	-0,20	-33,10	-36,21
Mn	10,54	17,87	3,43	34,51	-4,80	0,22	15,08	36,61
Co	nd	-19,26	nd	nd	-10,62	nd	-20,13	nd
Ni	-18,54	-6,11	6,21	-1,37	4,38	2,07	-18,78	8,66
Cu	60,66	5,02	15,30	-31,87	12,62	nd	-7,50	86,67
Zn	-0,29	1,37	-17,53	1,75	-3,39	12,98	-6,57	2,25
Ga	-10,87	-20,75	-21,55	-21,23	-12,11	-3,35	-12,94	-12,94
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	-45,69	-31,26	-26,29	-6,09	-24,92	nd	-38,33	nd
Rb	-6,67	-1,90	-8,34	-10,52	9,92	-8,77	-9,30	-7,86
Sr	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00
Y	-6,90	1,09	-17,66	-6,97	-7,88	10,72	-5,48	-2,92
Zr	-15,72	-15,75	-19,53	-14,65	-12,05	-3,05	-12,28	-10,78
Nb	4,56	7,73	-10,63	12,79	0,85	19,14	-1,70	7,06
Mo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	13,05	-15,83	-13,90	-2,59	-15,73	9,13	26,85	0,16
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	-23,36	-41,21	-25,69	-45,48	-21,46	-31,17	-50,34	-48,34
Ba	33,27	-0,86	5,73	9,30	5,40	14,78	21,56	12,28
La	14,04	29,46	-8,71	15,46	-11,78	36,92	22,71	59,20
Ce	30,73	2,28	-0,13	1,84	-7,97	13,75	3,54	20,26
Nd	32,81	35,24	18,34	21,05	-2,07	48,26	19,85	65,79
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	5,60	-42,53	-31,60	-25,29	-38,82	-12,25	-7,21	-17,70
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	-35,48	-35,34	-33,30	-23,21	-7,08	3,59	-11,35	7,66
U	144,38	-6,58	-19,74	-18,41	2,03	35,13	6,25	-7,07

Quadro 0.94 – Outras variáveis calculadas para o perfil do Monte das Flores.

	MFR	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	MF7	MF8
R	4,2	3,7	3,3	3,3	3,5	3,2	3,4	3,5	3,8
WIP	4013,7	4281,6	4223,3	4179,0	4265,5	4170,6	4147,0	4301,2	4273,2
V	3,1	3,5	4,3	4,1	3,6	4,4	3,5	3,4	3,3
CIA	69,8	71,1	76,2	75,4	72,6	76,2	73,2	71,7	70,8
CIW	77,6	80,8	89,0	86,9	82,8	87,0	82,3	80,8	80,2
PIA	74,8	77,7	86,8	84,5	80,0	84,8	79,8	78,0	77,2
STI	58,1	49,8	44,9	48,2	48,8	48,1	48,1	51,9	52,9

Quadro 0.95 - Percentagens de elementos maiores de solo do perfil de Montemor-o-Novo.

	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
LOI	5,11	4,76	4,39	4,90	3,43	2,94	3,45	3,80
Na₂O	0,99	1,26	1,56	1,44	2,13	2,09	1,79	2,17
MgO	3,09	3,14	3,26	4,78	2,57	2,49	3,28	2,96
Al₂O₃	21,37	21,20	20,94	19,95	20,80	20,21	19,82	19,05
SiO₂	57,63	57,34	59,60	60,01	61,50	60,71	60,01	60,42
P₂O₅	0,18	0,30	0,25	0,16	0,23	0,26	0,26	0,29
SO₃	0,01							
Cl						0,02	0,02	
K₂O	1,28	1,12	1,68	1,18	1,53	1,40	1,39	0,97
CaO	2,28	2,63	1,27	0,91	1,66	2,92	2,43	3,28
TiO₂	0,62	0,61	0,52	0,42	0,46	0,56	0,57	0,56
Fe₂O₃	7,29	7,46	6,32	6,09	5,46	6,17	6,76	6,27
Total	99,84	99,82	99,79	99,83	99,77	99,76	99,77	99,76

Quadro 0.96 - Percentagens ajustadas de elementos maiores para a rocha e solo do perfil do Montemor-o-Novo.

	MMR	MMR	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
LOI	0,52	0,52	5,12	4,77	4,40	4,91	3,44	2,95	3,46	3,81
Na₂O	2,69	2,70	0,99	1,27	1,56	1,44	2,13	2,09	1,79	2,17
MgO	2,80	2,80	3,09	3,15	3,26	4,79	2,58	2,49	3,29	2,96
Al₂O₃	17,80	17,84	21,40	21,24	20,99	19,98	20,85	20,26	19,86	19,09
SiO₂	62,19	62,33	57,72	57,44	59,73	60,11	61,64	60,86	60,15	60,56
P₂O₅	0,29	0,29	0,18	0,30	0,25	0,16	0,23	0,26	0,26	0,29
SO₃			0,01							
Cl	0,03	0,03						0,02	0,02	
K₂O	1,61	1,61	1,29	1,12	1,68	1,18	1,53	1,41	1,40	0,97
CaO	5,04	5,06	2,28	2,64	1,27	0,91	1,67	2,92	2,43	3,29
TiO₂	0,63	0,63	0,62	0,61	0,52	0,42	0,46	0,57	0,57	0,56
Fe₂O₃	6,18	6,20	7,30	7,47	6,34	6,10	5,48	6,18	6,78	6,28
Total	99,78	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Quadro 0.97 - Elementos maiores considerando o Al imóvel para os solos do perfil de Montemor-o-Novo.

	Considerando Al imóvel							
	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8
LOI	4,27	4,00	3,74	4,38	2,94	2,59	3,11	3,56
Na₂O	0,83	1,06	1,33	1,29	1,83	1,84	1,61	2,03
MgO	2,58	2,64	2,77	4,27	2,20	2,19	2,96	2,77
Al₂O₃	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84
SiO₂	48,11	48,24	50,76	53,65	52,73	53,57	54,01	56,58
P₂O₅	0,15	0,25	0,22	0,14	0,20	0,23	0,23	0,27
SO₃	0,01							
Cl						0,01	0,01	
K₂O	1,07	0,94	1,43	1,05	1,31	1,24	1,25	0,91
CaO	1,90	2,21	1,08	0,81	1,43	2,57	2,19	3,07
TiO₂	0,52	0,51	0,44	0,37	0,39	0,50	0,51	0,53
Fe₂O₃	6,08	6,28	5,38	5,45	4,68	5,44	6,09	5,87
Total	83,34	83,97	84,99	89,25	85,55	88,03	89,80	93,42

Quadro 0.98 - Perda em absoluto de elementos maiores nos solos do perfil de Montemor-o-Novo.

	Perda em absoluto							
	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8
LOI	3,74	3,48	3,22	3,86	2,42	2,07	2,58	3,04
Na₂O	-1,87	-1,63	-1,37	-1,41	-0,87	-0,86	-1,09	-0,67
MgO	-0,22	-0,16	-0,03	1,47	-0,60	-0,61	0,15	-0,03
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO₂	-14,22	-14,09	-11,56	-8,68	-9,60	-8,75	-8,31	-5,75
P₂O₅	-0,15	-0,04	-0,08	-0,15	-0,10	-0,06	-0,06	-0,02
SO₃	0,01							
Cl	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03
K₂O	-0,54	-0,67	-0,18	-0,56	-0,30	-0,37	-0,36	-0,70
CaO	-3,15	-2,84	-3,98	-4,25	-3,63	-2,48	-2,87	-1,98
TiO₂	-0,11	-0,12	-0,19	-0,26	-0,24	-0,13	-0,12	-0,10
Fe₂O₃	-0,11	0,08	-0,81	-0,75	-1,51	-0,76	-0,11	-0,33
Total	-16,66	-16,03	-15,01	-10,75	-14,45	-11,97	-10,20	-6,58

Quadro 0.99 - Perda percentual de elementos maiores nos solos do perfil de Montemor-o-Novo.

	Perda percentual							
	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8
LOI	718,43	668,30	617,38	740,57	464,33	397,83	495,86	582,74
Na₂O	-69,32	-60,56	-50,85	-52,18	-32,29	-31,75	-40,40	-24,74
MgO	-7,96	-5,68	-1,04	52,46	-21,30	-21,68	5,52	-1,19
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO₂	-22,81	-22,61	-18,55	-13,92	-15,40	-14,04	-13,33	-9,22
P₂O₅	-49,80	-15,21	-26,38	-51,43	-32,90	-21,90	-20,34	-7,85
SO₃								
Cl	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-58,56	-60,38	-100,00
K₂O	-33,55	-41,64	-11,17	-34,65	-18,70	-23,12	-22,20	-43,58
CaO	-62,39	-56,19	-78,66	-83,98	-71,81	-49,11	-56,77	-39,21
TiO₂	-17,78	-18,48	-29,82	-40,72	-37,68	-20,67	-18,94	-15,97
Fe₂O₃	-1,85	1,25	-13,12	-12,09	-24,42	-12,19	-1,79	-5,32

Quadro 0.100 - Percentagens de elementos menores de solo do perfil do Montemor-o-Novo.

	MM1 (ppm)	MM2 (ppm)	MM3 (ppm)	MM4 (ppm)	MM5 (ppm)	MM6 (ppm)	MM7 (ppm)	MM8 (ppm)
Sc	20,8	19,5	9,1	9,4	9,3	9,7	15,9	14,2
V	86,9	79,7	52,1	48,2	51,0	56,9	63,5	62,1
Cr	20,4	60,2	8,8	10,5	11,2	13,2	17,2	16,1
Mn	441,6	621,1	896,4	888,3	1031,9	973,5	830,4	990,5
Co	10,7	10,8	7,7	10,1	10,1	6,0	8,7	11,1
Ni	3,6	4,1	nd	3,8	3,4	2,7	3,4	3,3
Cu	6,4	5,0	6,3	nd	7,6	6,8	8,5	3,1
Zn	62,3	73,1	60,0	55,0	56,6	64,2	58,2	63,2
Ga	19,8	20,0	17,7	16,4	16,9	17,6	17,2	18,2
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	1,9	nd	1,3	2,6	1,0	0,8	1,2	nd
Rb	44,8	41,3	65,7	36,5	44,0	42,9	47,8	34,1
Sr	212,3	250,9	181,8	67,0	243,7	294,4	260,2	277,6
Y	24,3	22,3	19,3	23,1	22,6	21,6	22,1	20,7
Zr	105,9	108,9	96,5	71,0	76,8	66,3	72,3	85,7
Nb	4,5	5,0	5,5	3,3	4,1	4,2	3,5	5,4
Mo	1,1	1,0	1,3	0,9	1,7	1,5	1,2	1,6
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,0	nd
Sn	nd	3,2	3,8	nd	nd	3,3	3,8	3,7
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	7,9	4,8	7,0	6,6	5,5	5,5	5,0	8,0

Ba	461,5	411,7	375,9	147,7	505,9	463,4	446,7	398,1
La	24,9	23,9	15,9	17,7	19,3	17,5	22,1	18,5
Ce	61,2	50,8	42,3	33,5	42,6	48,2	40,2	41,9
Nd	25,9	24,3	18,5	19,5	19,1	19,9	19,3	15,7
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	5,8	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	nd	nd	nd	2,6	nd	nd	nd	nd
Pb	9,4	8,6	5,9	4,2	7,3	11,1	7,6	8,3
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	7,5	5,8	6,5	nd	6,5	3,1	4,0	5,9
U	1,9	2,1	2,8	2,1	2,4	1,3	2,9	2,4
Total	1667,50	1863,90	1908,10	1480,00	2200,50	2155,60	1986,90	2109,40

Quadro 0.101 - Percentagens ajustadas de elementos menores para a rocha e solo do perfil de Montemor-o-Novo.

	MMR (ppm)	MMR (ppm)	MM1 (%)	MM2 (%)	MM3 (%)	MM4 (%)	MM5 (%)	MM6 (%)	MM7 (%)	MM8 (%)
Sc	9,9	0,50	1,25	1,05	0,48	0,64	0,42	0,45	0,80	0,67
V	61,2	3,09	5,21	4,28	2,73	3,26	2,32	2,64	3,20	2,94
Cr	21,9	1,11	1,22	3,23	0,46	0,71	0,51	0,61	0,87	0,76
Mn	782,5	39,51	26,48	33,32	46,98	60,02	46,89	45,16	41,79	46,96
Co	9,7	0,49	0,64	0,58	0,40	0,68	0,46	0,28	0,44	0,53
Ni	3,4	0,17	0,22	0,22	nd	0,26	0,15	0,13	0,17	0,16
Cu	nd	nd	0,38	0,27	0,33	nd	0,35	0,32	0,43	0,15
Zn	62,7	3,17	3,74	3,92	3,14	3,72	2,57	2,98	2,93	3,00
Ga	18,3	0,92	1,19	1,07	0,93	1,11	0,77	0,82	0,87	0,86
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	0,8	0,04	0,11	nd	0,07	0,18	0,05	0,04	0,06	nd
Rb	39,1	1,97	2,69	2,22	3,44	2,47	2,00	1,99	2,41	1,62
Sr	295,9	14,94	12,73	13,46	9,53	4,53	11,07	13,66	13,10	13,16
Y	19,6	0,99	1,46	1,20	1,01	1,56	1,03	1,00	1,11	0,98
Zr	88,9	4,49	6,35	5,84	5,06	4,80	3,49	3,08	3,64	4,06
Nb	5,3	0,27	0,27	0,27	0,29	0,22	0,19	0,19	0,18	0,26
Mo	1,0	nd	0,07	0,05	0,07	0,06	0,08	0,07	0,06	0,08
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,20	nd
Sn	nd	nd	nd	0,17	0,20	nd	nd	0,15	0,19	0,18
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Cs	nd	nd	0,47	0,26	0,37	0,45	0,25	0,26	0,25	0,38
Ba	520,1	26,26	27,68	22,09	19,70	9,98	22,99	21,50	22,48	18,87
La	nd	nd	1,49	1,28	0,83	1,20	0,88	0,81	1,11	0,88
Ce	15,1	0,76	3,67	2,73	2,22	2,26	1,94	2,24	2,02	1,99
Nd	12,3	0,62	1,55	1,30	0,97	1,32	0,87	0,92	0,97	0,74
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	0,31	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	nd	nd	nd	nd	nd	0,18	nd	nd	nd	nd
Pb	7,6	0,38	0,56	0,46	0,31	0,28	0,33	0,51	0,38	0,39
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	3,0	0,15	0,45	0,31	0,34	nd	0,30	0,14	0,20	0,28
U	2,4	0,12	0,11	0,11	0,15	0,14	0,11	0,06	0,15	0,11
Total	1980,70	99,95	100	100	100	100	100	100	100	100

Quadro 0.102 - Elementos menores considerando o Al imóvel para os solos do perfil de Montemor-o-Novo.

	Considerando Al imóvel							
	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8
Sc	1,04	0,88	0,41	0,57	0,36	0,40	0,72	0,63
V	4,34	3,59	2,32	2,91	1,98	2,32	2,87	2,75
Cr	1,02	2,71	0,39	0,63	0,44	0,54	0,78	0,71
Mn	22,07	27,98	39,93	53,57	40,12	39,76	37,53	43,86
Co	0,53	0,49	0,34	0,61	0,39	0,25	0,39	0,49
Ni	0,18	0,18	nd	0,23	0,13	0,11	0,15	0,15
Cu	0,32	0,23	0,28	nd	0,30	0,28	0,38	0,14
Zn	3,11	3,29	2,67	3,32	2,20	2,62	2,63	2,80
Ga	0,99	0,90	0,79	0,99	0,66	0,72	0,78	0,81
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	0,09	nd	0,06	0,16	0,04	0,03	0,05	nd
Rb	2,24	1,86	2,93	2,20	1,71	1,75	2,16	1,51
Sr	10,61	11,30	8,10	4,04	9,47	12,02	11,76	12,29
Y	1,21	1,00	0,86	1,39	0,88	0,88	1,00	0,92
Zr	5,29	4,91	4,30	4,28	2,99	2,71	3,27	3,80
Nb	0,22	0,23	0,24	0,20	0,16	0,17	0,16	0,24
Mo	0,05	0,05	0,06	0,05	0,07	0,06	0,05	0,07
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,18	nd
Sn	nd	0,14	0,17	nd	nd	0,13	0,17	0,16
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	0,39	0,22	0,31	0,40	0,21	0,22	0,23	0,35
Ba	23,07	18,55	16,74	8,91	19,67	18,92	20,19	17,63
La	1,24	1,08	0,71	1,07	0,75	0,71	1,00	0,82
Ce	3,06	2,29	1,88	2,02	1,66	1,97	1,82	1,86
Nd	1,29	1,09	0,82	1,18	0,74	0,81	0,87	0,70
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	0,26	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	nd	nd	nd	0,16	nd	nd	nd	nd
Pb	0,47	0,39	0,26	0,25	0,28	0,45	0,34	0,37
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	0,37	0,26	0,29	nd	0,25	0,13	0,18	0,26
U	0,09	0,09	0,12	0,13	0,09	0,05	0,13	0,11
Total	83,34	83,97	84,99	89,25	85,55	88,03	89,80	93,42

Quadro 0.103 - Perda em absoluto de elementos menores nos solos do perfil de Montemor-o-Novo.

	Perda em absoluto							
	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8
Sc	0,54	0,38	-0,09	0,07	-0,14	-0,10	0,22	0,13
V	1,25	0,50	-0,77	-0,18	-1,11	-0,77	-0,22	-0,34
Cr	-0,09	1,61	-0,71	-0,47	-0,67	-0,57	-0,33	-0,39
Mn	-17,44	-11,52	0,42	14,06	0,61	0,25	-1,97	4,36
Co	0,05	0,00	-0,15	0,12	-0,10	-0,24	-0,10	0,00
Ni	0,01	0,01	nd	0,06	-0,04	-0,06	-0,02	-0,03
Cu	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Zn	-0,05	0,13	-0,49	0,15	-0,97	-0,54	-0,54	-0,37
Ga	0,07	-0,02	-0,14	0,07	-0,27	-0,21	-0,15	-0,12
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	0,05	nd	0,02	0,12	0,00	-0,01	0,01	nd
Rb	0,27	-0,11	0,95	0,23	-0,26	-0,22	0,19	-0,46
Sr	-4,33	-3,64	-6,84	-10,90	-5,47	-2,92	-3,18	-2,65
Y	0,22	0,02	-0,13	0,40	-0,11	-0,11	0,01	-0,07
Zr	0,80	0,42	-0,19	-0,21	-1,50	-1,78	-1,22	-0,69
Nb	-0,04	-0,04	-0,02	-0,07	-0,11	-0,10	-0,11	-0,03
Mo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ba	-3,19	-7,71	-9,52	-17,35	-6,59	-7,33	-6,07	-8,63
La	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ce	2,30	1,53	1,12	1,26	0,89	1,21	1,05	1,09
Nd	0,67	0,47	0,20	0,55	0,12	0,19	0,25	0,07
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	0,09	0,00	-0,12	-0,13	-0,10	0,07	-0,04	-0,02
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	0,22	0,11	0,14	nd	0,10	-0,02	0,03	0,11
U	-0,03	-0,03	0,00	0,01	-0,03	-0,07	0,01	-0,01
Total	-18,62	-17,91	-16,32	-12,22	-15,73	-13,33	-12,16	-8,04

Quadro 0.104 - Perda percentual de elementos menores nos solos do perfil de Montemor-o-Novo.

	Perda percentual							
	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8
Sc	107,99	75,77	-18,91	13,42	-27,67	-20,74	43,78	25,82
V	40,56	16,21	-24,90	-5,93	-35,83	-24,79	-7,11	-10,99
Cr	-7,79	145,29	-64,55	-42,73	-60,62	-51,24	-29,69	-35,51
Mn	-44,13	-29,17	1,06	35,60	1,54	0,63	-5,00	11,03
Co	9,20	-0,65	-29,97	24,37	-19,82	-49,96	-19,71	0,38
Ni	4,82	7,61	nd	33,50	-23,00	-35,76	-10,48	-14,86
Cu	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Zn	-1,64	4,04	-15,58	4,78	-30,49	-17,17	-16,90	-11,58
Ga	7,11	-2,48	-14,67	7,05	-28,89	-22,20	-15,86	-12,76
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	135,11	nd	43,36	288,21	-3,75	-19,11	34,28	nd
Rb	13,42	-5,74	48,24	11,51	-13,35	-11,25	9,44	-23,50
Sr	-28,97	-24,34	-45,80	-72,95	-36,58	-19,52	-21,28	-17,71
Y	22,73	1,53	-13,13	40,78	-11,21	-10,86	0,94	-7,36
Zr	17,92	9,31	-4,24	-4,60	-33,48	-39,67	-27,19	-15,44
Nb	-15,95	-15,82	-8,45	-25,63	-40,43	-35,90	-40,88	-10,63
Mo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ba	-12,16	-29,36	-36,24	-66,08	-25,10	-27,93	-23,11	-32,86
La	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ce	301,22	200,21	147,13	165,00	117,23	158,21	138,33	143,40
Nd	108,45	76,29	32,69	89,37	19,57	30,87	40,47	11,96
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	22,44	0,98	-31,51	-33,99	-26,04	18,14	-10,48	-4,20
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	147,48	72,52	91,14	nd	66,84	-16,41	19,36	72,51
U	-21,63	-21,92	2,92	4,52	-23,00	-56,18	8,17	-12,28

Quadro 0.105 – Outras variáveis calculadas para o perfil de Montemor-o-Novo.

	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8	MMR
R	2,7	2,7	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0	3,2	3,5
WIP	2261,3	2341,8	2776,6	2426,6	2962,1	3007,3	2846,1	2812,4	3854,7
V	3,6	3,2	3,7	3,0	3,5	2,9	2,8	2,4	1,8
CIA	86,7	84,5	88,1	89,5	84,6	80,2	82,5	77,8	69,7
CIW	86,7	84,5	88,1	89,5	84,6	80,2	82,5	77,8	69,7
PIA	86,0	83,8	87,2	88,9	83,6	79,0	81,4	76,8	67,7
STI	71,4	71,5	72,7	73,9	73,5	73,5	73,6	74,4	75,7

Quadro 0.106 - Percentagens de elementos maiores de solo do perfil do Vimieiro.

	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM7	VM8
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
LOI	3,75	2,09	2,89	2,74	2,09	3,70	2,61	2,33
Na₂O	2,20	3,37	2,95	2,51	3,32	2,18	3,00	2,95
MgO	0,38	0,42	0,42	0,46	0,49	0,39	0,56	0,50
Al₂O₃	25,33	21,42	22,95	23,86	21,98	25,75	23,57	22,94
SiO₂	62,51	66,35	64,76	63,68	65,62	61,91	63,90	64,93
P₂O₅	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04
SO₃	0,01		0,01					
Cl			0,05		0,02	0,01		
K₂O	2,89	2,76	2,80	2,80	2,88	3,08	2,66	2,89
CaO	0,92	1,33	1,05	1,13	1,15	0,86	1,08	1,15

TiO₂	0,22	0,25	0,23	0,33	0,30	0,20	0,30	0,27
Fe₂O₃	1,58	1,81	1,70	2,25	1,94	1,70	2,11	1,84
Total	99,83	99,85	99,84	99,82	99,82	99,83	99,84	99,83

Quadro 0.107 - Percentagens ajustadas de elementos maiores para a rocha e solo do perfil do Vimieiro.

	VMR	VMR	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM7	VM8
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
LOI	0,55	0,55	3,76	2,09	2,89	2,74	2,09	3,71	2,61	2,33
Na₂O	2,86	2,86	2,21	3,38	2,95	2,51	3,32	2,19	3,00	2,95
MgO	0,10	0,10	0,38	0,42	0,42	0,46	0,49	0,39	0,56	0,50
Al₂O₃	11,85	11,86	25,37	21,45	22,98	23,90	22,02	25,80	23,60	22,97
SiO₂	81,18	81,27	62,61	66,45	64,87	63,79	65,74	62,02	64,00	65,04
P₂O₅	0,03	0,03	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04
SO₃			0,01		0,01		0,00			
Cl					0,05		0,02	0,01	0,00	
K₂O	2,33	2,34	2,89	2,76	2,80	2,81	2,89	3,08	2,67	2,89
CaO	0,74	0,74	0,92	1,33	1,06	1,13	1,15	0,86	1,08	1,15
TiO₂	0,02	0,02	0,22	0,25	0,23	0,33	0,30	0,20	0,30	0,27
Fe₂O₃	0,23	0,23	1,58	1,81	1,71	2,25	1,94	1,70	2,11	1,84
Total	99,89	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Quadro 0.108 - Elementos maiores considerando o Al imóvel para os solos do perfil do Vimieiro.

	Considerando Al imóvel							
	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM7	VM8
LOI	1,76	1,16	1,49	1,36	1,13	1,70	1,31	1,21
Na₂O	1,03	1,87	1,52	1,25	1,79	1,01	1,51	1,52
MgO	0,18	0,23	0,21	0,23	0,27	0,18	0,28	0,26
Al₂O₃	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86	11,86
SiO₂	29,27	36,74	33,48	31,66	35,42	28,52	32,16	33,58
P₂O₅	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
SO₃	0,01		0,01					
Cl			0,02		0,01	0,01		
K₂O	1,35	1,53	1,44	1,39	1,55	1,42	1,34	1,49
CaO	0,43	0,74	0,54	0,56	0,62	0,39	0,55	0,59
TiO₂	0,10	0,14	0,12	0,16	0,16	0,09	0,15	0,14
Fe₂O₃	0,74	1,00	0,88	1,12	1,05	0,78	1,06	0,95
Total	46,76	55,29	51,61	49,63	53,87	45,98	50,25	51,63

Quadro 0.109 - Perda em absoluto de elementos maiores nos solos do perfil do Vimieiro.

	Perda em absoluto							
	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM7	VM8
LOI	1,21	0,61	0,94	0,81	0,58	1,15	0,76	0,65
Na₂O	-1,83	-0,99	-1,33	-1,61	-1,07	-1,85	-1,35	-1,33
MgO	0,08	0,14	0,12	0,13	0,17	0,08	0,19	0,16
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO₂	-52,00	-44,53	-47,79	-49,61	-45,85	-52,75	-49,11	-47,69
P₂O₅	-0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
SO₃	0,01		0,01					
Cl			0,02		0,01	0,01		
K₂O	-0,99	-0,81	-0,89	-0,94	-0,78	-0,92	-1,00	-0,84
CaO	-0,31	0,00	-0,19	-0,18	-0,12	-0,35	-0,19	-0,14
TiO₂	0,08	0,11	0,09	0,14	0,14	0,07	0,13	0,12
Fe₂O₃	0,51	0,77	0,65	0,89	0,82	0,55	0,83	0,72
Total	-53,24	-44,71	-48,39	-50,37	-46,13	-54,02	-49,75	-48,37

Quadro 0.110 - Perda percentual de elementos maiores nos solos do perfil do Vimieiro.

	Perda percentual							
	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM7	VM8
LOI	218,97	110,20	171,31	147,41	104,87	209,51	138,60	118,86
Na₂O	-63,91	-34,71	-46,68	-56,41	-37,38	-64,83	-47,20	-46,67
MgO	85,18	142,58	123,21	140,04	176,87	87,87	194,35	168,53
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO₂	-63,98	-54,79	-58,81	-61,04	-56,42	-64,91	-60,42	-58,68
P₂O₅	-28,45	-4,01	-37,74	-7,98	-33,40	-40,46	-30,50	-34,66
SO₃								
Cl								
K₂O	-42,17	-34,71	-38,17	-40,34	-33,47	-39,35	-42,65	-36,03
CaO	-41,68	-0,31	-26,26	-24,03	-16,14	-46,70	-26,22	-19,57
TiO₂	330,79	476,20	384,07	576,65	562,68	289,15	530,60	483,34
Fe₂O₃	223,37	337,91	285,90	390,09	358,02	242,24	365,09	316,91

Quadro 0.111 - Percentagens de elementos menores de solo do perfil do Vimieiro.

	VM1 (ppm)	VM2 (ppm)	VM3 (ppm)	VM4 (ppm)	VM5 (ppm)	VM6 (ppm)	VM7 (ppm)	VM8 (ppm)
Sc	3,7	3,6	3,3	4,4	3,9	3,4	6,0	3,9
V	12,4	13,8	10,4	16,6	13,7	13,0	19,0	14,6
Cr	7,4	5,6	3,9	9,3	7,1	5,1	9,9	10,0
Mn	183,1	181,6	159,9	185,6	198,1	172,6	160,1	180,4
Co	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	2,4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cu	3,3	6,6	8,4	6,7	8,1	4,9	9,8	10,5
Zn	31,6	38,1	41,1	45,1	47,5	39,1	45,3	41,5
Ga	30,1	30,2	26,9	28,9	29,5	30,0	30,9	28,1
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	2,2	1,1	1,4	1,8	nd	1,1	nd	nd
Rb	136,9	121,8	128,5	117,9	124,3	137,4	115,2	120,8
Sr	503,4	602,5	554,6	541,8	595,6	494,9	574,7	583,6
Y	9,1	11,6	20,8	11,3	11,7	9,0	11,5	10,3
Zr	86,7	76,7	74,7	72,0	72,3	79,6	74,4	71,0
Nb	8,0	9,3	7,2	8,6	9,2	7,8	10,1	8,2
Mo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	4,5	5,3	3,5	nd	6,7	3,6	6,3	4,6
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	10,0	10,0	7,8	5,9	9,5	6,7	9,1	10,4
Ba	532,0	385,0	455,9	362,3	382,3	561,6	322,9	417,9
La	25,0	26,9	24,5	28,5	24,2	21,8	25,2	26,2
Ce	36,1	47,1	47,9	46,1	48,6	31,3	54,7	39,2
Nd	17,4	25,2	30,4	26,5	24,5	21,6	29,4	24,2
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	2,8	2,6	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	50,4	37,2	42,9	37,0	36,4	44,2	35,4	40,0
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	8,2	10,0	10,1	8,8	9,3	7,8	10,4	8,6
U	4,7	5,1	4,8	5,2	5,6	4,0	5,3	4,8
Total	1711,40	1656,90	1668,90	1570,30	1668,10	1700,50	1565,60	1658,80

Quadro 0.112 - Percentagens ajustadas de elementos menores para a rocha e solo do perfil do Vimieiro.

	VMR (ppm)	VMR (ppm)	VM1 (%)	VM2 (%)	VM3 (%)	VM4 (%)	VM5 (%)	VM6 (%)	VM7 (%)	VM8 (%)
Sc	nd	nd	0,22	0,22	0,20	0,28	0,23	0,20	0,38	0,24
V	nd	nd	0,72	0,83	0,62	1,06	0,82	0,76	1,21	0,88
Cr	14,2	1,41	0,43	0,34	0,23	0,59	0,43	0,30	0,63	0,60
Mn	42,6	4,22	10,70	10,96	9,58	11,82	11,88	10,15	10,23	10,88
Co	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	nd	0,14	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cu	6,0	0,59	0,19	0,40	0,50	0,43	0,49	0,29	0,63	0,63
Zn	2,3	0,23	1,85	2,30	2,46	2,87	2,85	2,30	2,89	2,50
Ga	10,5	1,04	1,76	1,82	1,61	1,84	1,77	1,76	1,97	1,69
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	1,4	0,14	0,13	0,07	0,08	0,11	nd	0,06	nd	nd
Rb	70,6	7,00	8,00	7,35	7,70	7,51	7,45	8,08	7,36	7,28
Sr	322,4	31,95	29,41	36,36	33,23	34,50	35,71	29,10	36,71	35,18
Y	9,1	0,90	0,53	0,70	1,25	0,72	0,70	0,53	0,73	0,62
Zr	86,9	8,61	5,07	4,63	4,48	4,59	4,33	4,68	4,75	4,28
Nb	nd	nd	0,47	0,56	0,43	0,55	0,55	0,46	0,65	0,49
Mo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	nd	nd	0,26	0,32	0,21	nd	0,40	0,21	0,40	0,28
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	5,3	0,53	0,58	0,60	0,47	0,38	0,57	0,39	0,58	0,63
Ba	351,8	34,86	31,09	23,24	27,32	23,07	22,92	33,03	20,62	25,19
La	10,9	1,08	1,46	1,62	1,47	1,81	1,45	1,28	1,61	1,58
Ce	27,2	2,70	2,11	2,84	2,87	2,94	2,91	1,84	3,49	2,36
Nd	14,3	1,42	1,02	1,52	1,82	1,69	1,47	1,27	1,88	1,46
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	nd	nd	0,16	0,16	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	23,8	2,36	2,94	2,25	2,57	2,36	2,18	2,60	2,26	2,41
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	7,2	0,71	0,48	0,60	0,61	0,56	0,56	0,46	0,66	0,52
U	2,6	0,26	0,27	0,31	0,29	0,33	0,34	0,24	0,34	0,29
Total	1009,10	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Quadro 0.113 - Elementos menores considerando o Al imóvel para os solos do perfil do Vimieiro.

	Considerando Al imóvel							
	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM7	VM8
Sc	0,10	0,12	0,10	0,14	0,13	0,09	0,19	0,12
V	0,34	0,46	0,32	0,52	0,44	0,35	0,61	0,45
Cr	0,20	0,19	0,12	0,29	0,23	0,14	0,32	0,31
Mn	5,00	6,06	4,94	5,87	6,40	4,67	5,14	5,62
Co	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	0,07	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cu	0,09	0,22	0,26	0,21	0,26	0,13	0,31	0,33
Zn	0,86	1,27	1,27	1,43	1,53	1,06	1,45	1,29
Ga	0,82	1,01	0,83	0,91	0,95	0,81	0,99	0,87
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	0,06	0,04	0,04	0,06	nd	0,03	nd	nd
Rb	3,74	4,06	3,97	3,73	4,01	3,72	3,70	3,76
Sr	13,75	20,11	17,15	17,12	19,24	13,38	18,45	18,17
Y	0,25	0,39	0,64	0,36	0,38	0,24	0,37	0,32
Zr	2,37	2,56	2,31	2,28	2,34	2,15	2,39	2,21
Nb	0,22	0,31	0,22	0,27	0,30	0,21	0,32	0,26
Mo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	0,12	0,18	0,11	nd	0,22	0,10	0,20	0,14
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	0,27	0,33	0,24	0,19	0,31	0,18	0,29	0,32
Ba	14,53	12,85	14,10	11,45	12,35	15,19	10,36	13,01
La	0,68	0,90	0,76	0,90	0,78	0,59	0,81	0,82
Ce	0,99	1,57	1,48	1,46	1,57	0,85	1,76	1,22
Nd	0,48	0,84	0,94	0,84	0,79	0,58	0,94	0,75
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	0,08	0,09	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	1,38	1,24	1,33	1,17	1,18	1,20	1,14	1,25
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	0,22	0,33	0,31	0,28	0,30	0,21	0,33	0,27
U	0,13	0,17	0,15	0,16	0,18	0,11	0,17	0,15
Total	46,76	55,29	51,61	49,63	53,87	45,98	50,25	51,63

Quadro 0.114 - Perda em absoluto de elementos menores nos solos do perfil do Vimieiro.

	Perda em absoluto							
	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM7	VM8
Sc	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
V	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr	-1,21	-1,22	-1,29	-1,11	-1,18	-1,27	-1,09	-1,10
Mn	0,78	1,84	0,72	1,64	2,18	0,45	0,92	1,39
Co	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cu	-0,50	-0,37	-0,33	-0,38	-0,33	-0,46	-0,28	-0,27
Zn	0,64	1,04	1,04	1,20	1,31	0,83	1,23	1,06
Ga	-0,22	-0,03	-0,21	-0,13	-0,09	-0,23	-0,05	-0,17
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	-0,08	-0,10	-0,10	-0,08	nd	-0,11	nd	nd
Rb	-3,26	-2,93	-3,02	-3,27	-2,98	-3,28	-3,30	-3,24
Sr	-18,20	-11,84	-14,80	-14,83	-12,71	-18,57	-13,50	-13,78
Y	-0,65	-0,51	-0,26	-0,54	-0,52	-0,66	-0,53	-0,58
Zr	-6,24	-6,05	-6,30	-6,34	-6,28	-6,46	-6,22	-6,40
Nb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Mo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	-0,25	-0,19	-0,28	-0,34	-0,22	-0,34	-0,23	-0,20
Ba	-20,33	-22,01	-20,76	-23,41	-22,52	-19,68	-24,50	-21,85
La	-0,40	-0,18	-0,32	-0,18	-0,30	-0,49	-0,27	-0,26
Ce	-1,71	-1,12	-1,21	-1,24	-1,13	-1,85	-0,94	-1,48
Nd	-0,94	-0,58	-0,48	-0,58	-0,63	-0,83	-0,47	-0,66
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	-0,98	-1,12	-1,03	-1,19	-1,18	-1,16	-1,22	-1,11
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	-0,49	-0,38	-0,40	-0,44	-0,41	-0,50	-0,38	-0,45
U	-0,13	-0,09	-0,11	-0,09	-0,08	-0,15	-0,09	-0,11
Total	-54,17	-45,86	-49,14	-51,31	-47,07	-54,77	-50,94	-49,20

Quadro 0.115 - Perda percentual de elementos menores nos solos do perfil do Vimieiro.

	Perda percentual							
	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM7	VM8
Sc	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
V	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr	-85,63	-86,72	-91,43	-79,11	-83,70	-90,20	-77,42	-77,88
Mn	18,50	43,56	17,13	38,95	51,55	10,55	21,73	33,01
Co	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ni	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cu	-84,84	-62,96	-56,31	-64,39	-56,00	-77,72	-47,09	-45,03
Zn	278,78	457,85	457,64	525,37	573,07	363,86	537,97	466,75
Ga	-20,97	-3,14	-20,05	-12,22	-8,44	-22,04	-4,68	-15,94
Ge	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Se	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Br	-56,68	-73,54	-68,79	-59,00	nd	-78,56	nd	nd
Rb	-46,54	-41,90	-43,20	-46,74	-42,62	-46,90	-47,15	-46,26
Sr	-56,95	-37,07	-46,32	-46,40	-39,79	-58,11	-42,26	-43,14
Y	-72,43	-57,07	-28,67	-60,40	-58,10	-73,01	-59,07	-64,45
Zr	-72,49	-70,28	-73,17	-73,58	-72,88	-75,01	-72,27	-74,34
Nb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Mo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Te	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
I	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cs	-47,98	-36,46	-54,07	-64,50	-41,58	-65,51	-44,38	-38,37
Ba	-58,31	-63,15	-59,56	-67,16	-64,58	-56,44	-70,27	-62,69
La	-36,77	-16,89	-29,86	-16,61	-27,64	-45,43	-25,11	-24,50
Ce	-63,41	-41,69	-45,04	-45,95	-41,77	-68,60	-34,86	-54,73
Nd	-66,45	-40,66	-33,66	-40,90	-44,16	-58,78	-33,41	-46,84
Sm	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Yb	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ta	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
W	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Pb	-41,62	-47,36	-43,75	-50,42	-50,16	-49,33	-51,82	-47,21
Bi	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Th	-68,60	-53,23	-56,22	-61,02	-57,90	-70,44	-53,21	-62,48
U	-50,16	-33,94	-42,39	-36,21	-29,80	-58,02	-33,97	-42,01

Quadro 0.116 – Outras variáveis calculadas para o perfil do Vimieiro.

	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM7	VM8	VMR
R	2,5	3,1	2,8	2,7	3,0	2,4	2,7	2,8	6,9
WIP	3740,5	4367,1	4117,8	3888,6	4418,2	3874,7	4060,5	4216,2	3615,3
V	8,1	4,7	5,8	6,5	5,0	8,4	5,6	5,6	3,8
CIA	89,0	82,0	85,1	86,8	83,1	89,4	85,2	84,8	76,7
CIW	89,0	82,0	85,1	86,8	83,1	89,4	85,2	84,8	76,7
PIA	87,8	79,9	83,4	85,3	81,1	88,2	83,7	83,0	72,6
STI	70,7	74,9	73,3	72,0	74,2	70,2	72,4	73,3	87,1

Quadro 0.117 – Comparação entre as propriedades físicas “in situ” para os 3 perfis de solos residuais.

Perfil de solo residual	Teor em água no estado natural W ₀ (%)	Peso volúmico no estado natural γ_0 (g/cm ³)	Peso volúmico no estado seco γ_d (g/cm ³)	Porosidade n	índice de vazios "in situ" e ₀
MF	5-10	2	2	0	0-1
MM	6-12	2	1-2	0-1	0-1
VM	1-11	1-2	1-2	0	0-1

Quadro 0.118 - Tabela com a correlação entre os resultados obtidos por ambos os métodos.

	MF1	MF2	MF3	MF4	MF5	MF6	MF7	MF8
W _L (CasaGrande)	26	33	32	30	29	35	30	30
w _{LC} (Cone)	30	33	36	36	33	35	37	35
	MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MM7	MM8
W _L (CasaGrande)	44	42	35	42	30	29	31	30
w _{LC} (Cone)	46	43	38	45	33	32	34	36
	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5	VM6	VM7	VM8
W _L (CasaGrande)	36	29	32	33	31	37	30	31
w _{LC} (Cone)	39	32	38	36	37	40	34	33

Quadro 0.119 - Caracterização geral dos 3 perfis de solos residuais em estudo.

	% Teor em água (estado natural)	Cu	Cc	Ip (%)	Wr	Ic	I L	% finos	% Argila	Expansibilidade (%)	E. A. (%)	Densidade	Permeabilidade (m/s)	M.O. (%)
MF1	7	10	2	5	19	4	-3	3,9	1,94	9,6	33	2,94	8,52E-05	2,8
MF2	2	10	2	8	22	4	-3	5,4	2,69	5,4	68	2,66	1,73E-05	4,6
MF3	2	9	2	7	22	4	-3	4,7	4,28	7	75	2,64	1,70E-05	4,2
MF4	1	9	1	7	20	4	-3	5,2	4,23	4,5	76	2,63	2,22E-05	2,8
MF5	1	10	1	6	23	5	-4	4,5	2,11	5,8	89	2,59	2,05E-05	4,6
MF6	1	11	1	10	20	3	-2	6,5	2,12	8,1	34	2,63	3,32E-05	3,2
MF7	1	11	1	6	22	5	-4	5,7	2,12	5,2	83	2,56	6,66E-05	2,6
MF8	1	12	2	5	22	6	-5	5,8	1,44	5,3	85	2,8	3,20E-04	3,6
MM1	5	12	1	11	27	4	-3	7,5	1,87	17,6	22	2,98	2,88E-05	8,8
MM2	5	14	1	6	33	6	-5	7,4	3,67	14,5	21	2,7	3,21E-05	4,4
MM3	3	250	29	5	26	6	-5	20,1	13,42	13,7	31	2,7	8,33E-06	6,8
MM4	4	32	3	17	19	2	-1	10,7	2,68	15,2	21	2,66	1,07E-05	8
MM5	3	35	5	6	21	5	-4	12,1	6,06	8,6	31	2,69	3,19E-05	5,2
MM6	2	8	1	6	21	5	-4	7,2	3,62	2	29	2,72	1,47E-04	4,6
MM7	3	9	1	10	19	3	-2	3,1	0,77	3,7	40	2,74	3,89E-04	5,4
MM8	3	10	1	7	22	4	-3	4,6	1,53	8,5	40	2,69	2,73E-04	4,6
VM1	0	300	6	13	18	3	-2	13,7	8,37	11,1	25	2,73	1,98E-06	3
VM2	0	19	1	7	19	4	-3	8,4	4,19	7,8	45	2,53	1,28E-04	2
VM3	0	120	7	9	20	4	-3	14,3	9,53	7,7	29	2,54	9,38E-06	2
VM4	0	22	2	9	21	4	-3	7,3	4,19	5,8	34	2,58	1,79E-05	2,4
VM5	0	40	2	11	16	3	-2	8,7	5,83	8,3	52	2,58	1,67E-05	2,2
VM6	2	900	11	8	26	5	-4	19,6	16,82	8,1	23	2,56	5,03E-07	2,4
VM7	0	29	1	5	20	6	-5	8,4	4	8	70	2,57	5,69E-05	1,6
VM8	1	40	2	5	24	7	-6	10,5	6,3	8,5	31	2,57	4,73E-04	2,2

