



**Universidade de Aveiro** Departamento de Geociências  
**Ano 2019**

**Andres Coelho**

**Estudo hidropedológico de solos graníticos e xistentos  
da Serra da Estrela**

Dezembro 2019





**Andrés Coelho**

**Estudo hidropedológico de solos graníticos e xistentos da Serra da Estrela**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação científica do Professor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e coorientação do Professor Jorge Espinha Marques da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.



Dedico este trabalho.



**o júri**  
presidente

**Prof. Doutor Jorge Manuel Pessoa Girão Medina**  
professor auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor António José Guerner Dias**  
professor auxiliar da Faculdade de Ciências Universidade do Porto (arguente)

**Prof. Doutor Jorge Manuel Espinha Marques**  
professor auxiliar da Faculdade de Ciências Universidade do Porto (coorientados)



## **Agradecimentos**

Agradeço ao orientador Professor Dr. Eduardo Anselmo Ferreira da Silva e coordenador Professor Dr. Jorge Espinha Marques pelo seu apoio, dedicação, paciência, compreensão e orientação, tanto na componente laboratorial como na componente de campo, necessárias para a realização deste trabalho.

Agradeço também a todos os que se disponibilizaram a ajudar-me, não só de forma direta explicando certos conceitos ou procedimentos, mas também facilitando e facultado o acesso ao equipamento/ material e laboratórios utilizados para este estudo.



## Palavras-chave

Serra da Estrela; Solos; Estudo hidrogeológico

## Resumo

A Serra da Estrela, tal como muitas outras regiões montanhosas, tem sido reconhecida como uma importante fonte de recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos. O solo sendo um dos elementos que mais influencia o ciclo subterrâneo da água também tem sido cada vez mais estudado, especialmente nas zonas de alta montanha como é o caso da Serra da Estrela. Nesta dissertação o solo da zona da Bacia do rio Zêzere a Montante de Manteigas foi objeto de estudo, precisamente por este elemento se tornar cada vez mais relevante por si só, mas também por ter um papel fundamental na estabilidade dos ecossistemas, na vida humana, na produtividade agrícola e nos recursos hídricos.

O objetivo deste estudo foi realizar um conjunto de ensaios e determinações, em amostras de solo, para caracterização dos mesmos, contribuindo assim para o conhecimento da área de estudo. Neste trabalho as amostras foram analisadas *in situ* (condutividade hidráulica não saturada) e em laboratório (granulometria e textura, densidade aparente, condutividade hidráulica saturada, condutividade elétrica, pH, Matéria Orgânica, Hidrofobicidade, Carbono Orgânico Total assim como análises químicas, por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente, e mineralogia, por difração de raio-x.

Os solos estudados apresentam uma textura grosseira, sendo compostos maioritariamente por areia. Estes solos apresentam caracter ácido e com altos teores de matéria orgânica e valores de condutividade elétrica media. As análises mineralógicas revelaram a predominância de quartzo, filossilicatos, plagioclase e feldspato nas amostras analisadas, ocorrendo também ilite e clorite, ortóclase e albite em proporções menores nas amostras representativas de contexto xistento. A composição mineralógica das amostras reflete-se na composição química em que se destaca as concentrações de Fe, Al, K, Mg, Ca e P. Em média, no que respeita a condutividade hidráulica, as amostras de contexto granítico apresentam valores da ordem dos 2.88 m/dia e as amostras de contexto xistento 0.42 m/dia. A condutividade hidráulica saturada (lab) calculada foi de 24.1 m/dia (para as amostras de contexto granítico). Relativamente à hidrofobicidade das amostras concluiu-se que as mais hidrofóbicas seriam a 1<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> amostra de contexto granítico, por apresentarem os menores valores de razão MO/CO. Esta conclusão não é concordante com os resultados do MED e da hidrofobicidade medida através do infiltrómetro. Concluiu-se, de forma geral, que a capacidade de repelência das amostras à água é influenciada por diversos parâmetros em simultâneo, e que a interação entre eles podem ter um impacto distinto em cada amostra, pelo que será importante debruçar mais detalhadamente sobre o comportamento individual de cada um destes parâmetros assim como avaliar a interação entre eles



## Keywords

Serra da Estrela; Soils; Characteristics; Hydropedology

## Abstract

Serra da Estrela, like many other mountainous regions, has been recognized as an important source of surface and groundwater resources. Soil, one of the geological compartment that most influences the groundwater cycle, has been increasingly studied, especially in high mountain areas such as Serra da Estrela.

In this Master dissertation the soil of the Basin of the Zêzere river Upstream of Manteigas area has been studied, because it plays a fundamental role in the stability of ecosystems, human life, agricultural productivity and hydrological resources. The objective of this study was to perform a set of tests and determinations in soil samples, in order to characterize them, contributing to the knowledge of the study area.

In this work samples were analysed *in situ* (unsaturated hydraulic conductivity) and in the laboratory (grain size and texture, bulk density, saturated hydraulic conductivity, electrical conductivity, pH, Organic Matter, Hydrophobicity, Total Organic Carbon, as well as Chemical analyses, by inductively coupled plasma mass spectrometry, and mineralogical analyses, by x-ray diffraction).

According to the results the soils studied have a coarse texture, being mostly composed of sand. These soils are acidic and have high organic matter content and average electrical conductivity values of 81  $\mu\text{S} / \text{cm}$  for representative samples of granitic context and 66  $\mu\text{S} / \text{cm}$  for representative samples of schistous context. Mineralogical analyzes revealed a predominance of quartz, phyllosilicates, plagioclase and feldspar in both groups of samples, and also presented illite and chlorite, orthoclase and albite in smaller proportions in the representative samples of. The mineralogical composition of the samples is reflected in the chemical composition. Samples shows high concentrations of Fe, Al, K, Mg, Ca and P. On average, for the hydraulic conductivity ranges between 2.88 m/day (granitic context) and 0.42 m/day (schistous context). The calculated saturated hydraulic conductivity (lab) was 24,1 m/day (granite soils only).

Regarding the samples hydrophobicity, samples regarding granite soils are most hydrophobic as they presents the lowest MO/CO ratio values. This conclusion is inconsistent with the results of MED and hydrophobicity measured through the infiltrometer. According to the results, water repellency is influenced by several parameters simultaneously, and that the interaction between them can have a distinct impact on each sample. So it will be important to look in detail the individual behavior of each of these parameters as well as evaluate the interaction between them.

# Índice

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
Objetivo.....	1
1.1. Enquadramento Geográfico.....	1
1.2. Enquadramento Geológico.....	4
1.2.1. Complexo Xisto-Grauváquico.....	10
1.2.2. Granitoides.....	10
1.2.3. Depósitos de cobertura.....	13
1.2.4. Filões e Massas.....	14
1.3. Enquadramento Geomorfológico.....	16
1.4. Enquadramento Climatológico.....	22
<b>CAPÍTULO 2 – MÉTODOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE.....</b>	<b>28</b>
2.1 – Seleção dos locais e Amostragem.....	28
2.2. Ensaio realizados <i>in situ</i> .....	29
2.2.1. Determinação do teor de humidade.....	29
2.2.2. Determinação da condutividade hidráulica não saturada.....	30
2.3. Determinação de parâmetros em laboratório.....	33
2.3.1. Granulometria e textura.....	33
2.2.2. Densidade Aparente ( $\rho$ ).....	36
2.2.3. Condutividade Hidráulica Saturada.....	36
2.3.4. Determinação da condutividade elétrica e pH.....	41
2.3.5. Determinação dos teores em Matéria Orgânica (MO).....	42
2.2.2. Hidrofobicidade.....	44
2.3.7. Carbono Orgânico Total (COT).....	46
2.3.8. Análises Químicas e Mineralógicas.....	48
<b>CAPÍTULO 3 – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>50</b>
3.1. Definição das curvas granulométricas.....	50
3.2. Densidade Aparente ( $\rho$ ).....	53
3.3. Teor de Humidade (TH).....	54
3.4 Condutividade hidráulica não saturada.....	55
3.5. Condutividade Hidráulica.....	57
3.6. Análises físico-químicas das amostras de solo.....	58
3.6.1. Condutividade Elétrica e pH.....	58
3.6.2. Matéria Orgânica (MO).....	59
3.6.3. Carbono Orgânico Total (COT).....	60
3.6.4. Hidrofobicidade.....	61
3.6.5. Concentração dos elementos maiores e vestigiais.....	62
3.6.6. Análises mineralógicas das amostras de solo.....	63
<b>CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>65</b>
<b>REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização geográfica da área estudada, Bacia do Zêzere a Montante de Manteiga (BZMM), Parque Natural da Serra da Estrela (extraído de Espinha Marques, 2007)	2
Figura 1.2 - Esquema da distribuição das cartas topográficas (escala: 1/25 000) e geológicas (escala 1/50 000) na região do PNSE (extraído de Espinha Marques, 2007)	3
Figura 1.3 - Enquadramento da Serra da Estrela na Península Ibérica (extraído de Espinha Marques, 2007)	4
Figura 1.4 - Geologia da região da Serra da Estrela (simplificado de Oliveira et al. 1992) (extraído de Espinha Marques, 2007)	5
Figura 1.5 - Representação (bloco diagrama) geológica na região da Serra da Estrela (extraído de Ferreira & Vieira 1999)	6
Figura 1.6 - Modelo genético da Cordilheira Central (extraído de Ribeiro,1988)	7
Figura 1.7 - Esquema representativo da evolução da génese da Serra da Estrela (extraído de Carvalho, 2013)	9
Figura 1.8 - Formação de Malpica do Tejo (extraído de Espinha Marques, 2007)	10
Figura 1.9 - Granito da Estrela (extraído de Espinha Marques, 2007)	10
Figura 1.10 - Granito do Curral do Vento (extraído de Espinha Marques, 2007)	11
Figura 1.11 - Granito da Pedrice (extraído de Espinha Marques, 2007)	11
Figura 1.12 -Granito da Covilhã (extraído de Espinha Marques, 2007)	12
Figura 1.13 - Granito de Seia (extraído de Espinha Marques, 2007)	12
Figura 1.14 - Granito de Manteigas (extraído de Espinha Marques, 2007)	13
Figura 1.15 - Depósitos de Cobertura; a- Depósitos fluvioglaciários; b- Depósitos aluvionares (extraído de Espinha Marques, 2007)	13
Figura 1.16 - a- depósitos aluvionares, Q- depósitos glaciares e fluvioglaciárias, γ- cristas graníticas (extraído de Espinha Marques, 2007)	14
Figura 1.17 - Filão de quartzo (extraído de Espinha Marques, 2007)	14
Figura 1.18 - Filão de rocha básica (extraído de Espinha Marques, 2007)	15
Figura 1.19 - Filão pegmatítico (extraído de Espinha Marques, 2007)	15
Figura 1.20 - Relevo da Serra da Estrela e região envolvente (perspetiva 2D) (extraído de Espinha Marques, 2007)	16
Figura 1.21 - Localização dos diversos planaltos da S. Estrela: 1 - Planalto do Curral da Nave; 2 - Planalto do Curral do Vento; 3 - Planalto do Alto da Pedrice; 4 - Planalto das Penhas Douradas; 5 - Planalto do Curral do Martins; 6 - Planalto da Torre	17
Figura 1.22 - Distribuição das principais estruturas tectónicas do Norte/Centro de Portugal (extraído de Espinha Marques, 2007)	18
Figura 1.23 - Modelo esquemático da topografia dos glaciares no Último Máximo da Glaciação. ABL – Alta Barroca das Lameiras; C – Cântaros; CM – Curral do Martins; CP – Cabeço do Picoto; LC – Lagoa Comprida; NSA – Nave de Santo António; P – Piomal; PA – Penha dos Abutres; PG – Penha do Gato; VC – Vale do Conde; Equidistância das curvas de nível 50m (extraído de Espinha Marques, 2007)	20
Figura 1.24 - Modelo dos glaciares da Serra da Estrela (extraído de Vieira 2008)	20
Figura 1.25 - Distribuição espacial da precipitação media anual em Portugal Continental com base nas Normais Climatológicas relativas ao período 1961-1990 (extraído de Espinha Marques, 2007)	23
Figura 1.26 - Distribuição espacial da média anual de temperatura do ar em Portugal Continental com base nas Normais Climatológicas relativas ao período 1961-1990 (extraído de Espinha Marques, 2007)	24
Figura 1.27 - Valores anuais da distribuição da temperatura e precipitação nas estações meteorológicas do Fundão, Guarda, Penhas Douradas, Penhas da Saúde e Lagoa Comprida (extraído de Espinha Marques, 2007)	25
Figura 1.28 – Representação gráfica de Precipitação versus Altitude com base nos valores das normais climatológicas relativas ao período 1953-1983 (extraído de Espinha Marques, 2007)	26
Figura 1.29 – Representação gráfica de Temperatura versus Altitude com base nos valores das normais climatológicas relativas ao período 1953-1983 (extraído de Espinha Marques, 2007)	26
Figura 2.1 – Localização dos locais de amostragem	28

Figura 2.2 – Medidor de teor de humidade da marca Delta-T Devices HH 2	29
Figura 2.3 - Esquema do infiltrómetro minidisco da marca Decagon Devices, Inc [Adaptado de <a href="http://www.decagon.com.br/hidrologia/conductividade/mini-disk/">http://www.decagon.com.br/hidrologia/conductividade/mini-disk/</a> ]	30
Figura 2.4 - Processo de preparação do equipamento para o ensaio de infiltração	31
Figura 2.5 - Tabela que mostra a relação entre a sucção selecionada no infiltrómetro e a dimensão dos poros	32
Figura 2.6- Sequência de peneiros (2 mm; 1 mm; 500 µm; 250 µm; 180 µm; 90 µm; 53 µm; 38 µm) utilizada para a peneiração das amostras colhidas na Serra da Estrela	34
Figura 2.7 -Exemplo de curva granulométrica	35
Figura 2.8 – (a) Anel de amostragem e as suas dimensões; (b) Secagem das amostras recolhidas em estufa	36
Figura 2.9 – (a) Anel de amostragem utilizado na amostragem das amostras não perturbadas de solo; (b) ensaios de; (c) filtro de polipropileno; (d)- filtro próprio do equipamento	37
Figura 2.10 – (a) Permeâmetro de bancada da marca Eijkelkamp: Soil & Water; (b) Esquema do permeâmetro de laboratório utilizado: 1- reservatório; 2 – bomba de circulação; 3 – filtro; 4 – regulador de nível de água; 5 – reservatório de plástico; 6 – amostra calçada; 7 – sifão de plástico; 8 – bureta; 9 – bacia de retenção; (c) Suporte dos anéis de amostragem (adaptado do manual de utilizador da Eijkelkamp Soil & Water, 2017)	38
Figura 2.11 - Sifão utilizado para permitir a passagem da água da amostra ate a buretas de medição	40
Figura 2.12 – (a) Sensor móvel e ponte de medição; (b) Suportes dos cilindros de amostragem	40
Figura 2.13 - Condutivímetro de marca HANNA modelo HI 9835 utilizado nas medições	41
Figura 2.14 - Amostra (As3) pesada para o ensaio de medição do pH em solução de CaCl <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O); (b) Solução de H <sub>2</sub> O ou CaCl <sub>2</sub> utilizadas nos ensaios de determinação do pH	42
Figura 2.15 - Medidor de pH da de marca HANNA, modelo 9025 utilizado nas medições	42
Figura 2.16 – (a) Cadinhos previamente pesados e amostras preparadas para a determinação da matéria orgânica; (b) Amostras dentro do exsiccador apos terem sido colocadas na estufa durante 24 horas	43
Figura 2.17 - Diluições de etanol utilizadas para a realização do teste MED (da esquerda para a direita: 1%, 3%, 5%, 8.5%, 13%, 18%, 24%, 36% de etanol)	45
Figura 2.18 – Cadinhos de cerâmica utilizados nas determinações de COT nas amostras de solo	46
Figura 2.19 - Equipamento da marca TOC-VCPH SHIMADZU com o módulo Solid Sample Module SSM-5000 <sup>a</sup> acoplado utilizado na determinação do COT	47
Figura 2.20 - Dispositivo utilizado para introduzir/retirar as amostras no SSM (a vermelho: calha onde é colocado o cadinho com a amostra; (b) a azul: calha/manivela para a determinação do carbono total (CT); (c) a verde: calha/manivela para a determinação do carbono inorgânico (CI)	47
Figura 2.21- ICP-MS Agilent modelo 7700, utilizado na análise química dos elementos maiores e vestigiais das amostras de águas	48
Figura 3.1 – Curvas granulométricas das amostras As1 e Ax1 (o eixo vertical corresponde ao peso da amostra retida nos peneiros, em percentagem e no eixo horizontal o diâmetro das partículas da amostra, em micras (µm). [As1: Carvalho sobre deposito de vertente; Ax2: Urzal e Giesta]	50
Figura 3.2 – Projção das percentagens de cada grupo textural para a amostra As1. (a) gráfico triangular Cascalho, Areia e Lama; (b) gráfico triangular Areia, Silt e Argila.	52
Figura A.1 – Curva granulométrica da amostra As1	75
Figura A.2 - Curva granulométrica da amostra As2	76
Figura A.3 - Curva granulométrica da amostra As3	77
Figura A.4 - Curva granulométrica da amostra As4	78
Figura A.5 - Curva granulométrica da amostra As5	79
Figura A.6 - Curva granulométrica da amostra Ax1	80
Figura A.7 - Curva granulométrica da amostra Ax2	81
Figura A.8 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra As1	82
Figura A.9 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra As2	83
Figura A.10 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra As3	84
Figura A.11 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra As4	85
Figura A.12 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra As5	86
Figura A.13 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra Ax1	87

Figura A.14 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra Ax2	88
Figura A.15 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra As1. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.	89
Figura A.16 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra As2. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.	90
Figura A.17 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra As3. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.	91
Figura A.18 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra As4. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.	92
Figura A.19 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra As5. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.	93
Figura A.20 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra Ax1. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.	94
Figura A.21 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra Ax2. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.	95
Figura A.22 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As1, 1º ensaio	97
Figura A.23 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As1, 2º ensaio	98
Figura A.24 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As1, 3º ensaio	99
Figura A.25 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As3, 1º ensaio	100
Figura A.26 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As4, 1º ensaio	101
Figura A.27 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As4, 2º ensaio	102
Figura A.28 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As4, 3º ensaio	103
Figura A.29 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As5, 1º ensaio	104
Figura A.30 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As5, 2º ensaio	105
Figura A.31 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As5, 3º ensaio	106
Figura A.32 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax1, 1º ensaio	107
Figura A.33 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax1, 2º ensaio	108
Figura A.34 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax1, 3º ensaio	109
Figura A.35 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax2, 1º ensaio	110
Figura A.36 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax2, 2º ensaio	111
Figura A.37 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax2, 3º ensaio	112
Figura A.22 – Difratoograma de raio-x da amostra As1.	118
Figura A.23 – Difratoograma de raio-x da amostra As2.	119
Figura A.24 – Difratoograma de raio-x da amostra As3.	120
Figura A.25 – Difratoograma de raio-x da amostra As4.	121
Figura A.26 – Difratoograma de raio-x da amostra As5.	122
Figura A.27 – Difratoograma de raio-x da amostra Ax1.	123
Figura A.28 – Difratoograma de raio-x da amostra Ax2.	124

## INDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Parâmetros de Van Genuchten para as 12 classes texturais do solo e os respectivos valores de A para um disco de 2.26 cm de raio (extraído do manual de utilizador do infiltrómetro de minidisco, Decagon Devices, inc.)	32
Tabela 2.2 - Escala granulométrica utilizada pelo GRADISTAT, modificada de Udden (1914) e Wentworth (1922). [retirado do GRADISTAT]	35
Tabela 2.3 – Concentração de etanol e classificação correspondente da hidrofobicidade, segundo Doerr, (1998) (extraído de Leme, 2015).	45
Tabela 3.1 – Parâmetros estatísticos obtidos a partir das curvas granulométricas utilizando o Programa GradiStat	51
Tabela 3.2 – Valores de densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> ) determinadas e amostras de solo recolhidas em contexto granítico	52
Tabela 3.3 – Valores do teor de humidade medio (% de volume) determinados em amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento	54
Tabela 3.4 – Teores de condutividade hidráulica não saturada determinados para as amostras colhidas em contexto granítico e em contexto xistento	55
Tabela 3.5 – Classificação da hidrofobicidade segundo Robichaud et al. (2008)	56
Tabela 3.6 – Classificação das amostras de solo recolhidas em contexto granítico e em contexto xistento quanto à sua hidrofobicidade	56
Tabela 3.7 – Valores de Condutividade Hidráulica nas amostras de solo recolhidas em contexto granítico	57
Tabela 3.8 – Valores de pH e condutividade elétrica (CE) determinados nas amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento	58
Tabela 3.9 – Teores de matéria orgânica (%) determinados e amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistent	59
Tabela 3.10 – Teores de Carbono Total (%) e Carbono Inorgânico determinados para as amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento	60
Tabela 3.11 – Teores de Carbono Orgânico Total (%) determinados para as amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento	60
Tabela 3.12 – Valores da razão MO/CO determinados e amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento	60
Tabela 3.13 – Classificação da hidrofobicidade das amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento de acordo com os valores obtidos pelo ensaio MED	61
Tabela 3.14 – Concentração dos elementos químicos maiores e vestigiais das amostras de solo de contexto granítico e de contexto xistento	62
Tabela A.1 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra As1	89
Tabela A.2 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra As2	90
Tabela A.3 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra As3	91
Tabela A.4 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra As4	92
Tabela A.5 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra As5	93
Tabela A.6 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra Ax1	94
Tabela A.7 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra Ax2	95

Tabela A.8 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As1, 1º ensaio	97
Tabela A.9 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As1, 2º ensaio	98
Tabela A.10 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As1, 3º ensaio	99
Tabela A.11 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As3, 1º ensaio	100
Tabela A.12 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As4, 1º ensaio	101
Tabela A.13 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As4, 2º ensaio	102
Tabela A.14 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As4, 3º ensaio	103
Tabela A.15 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As5, 1º ensaio	104
Tabela A.16 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As5, 2º ensaio	105
Tabela A.17 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As5, 3º ensaio	106
Tabela A.18 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax1, 1º ensaio	107
Tabela A.19 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax1, 2º ensaio	108
Tabela A.20 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax1, 3º ensaio	109
Tabela A.21 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax2, 1º ensaio	110
Tabela A.22 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax2, 2º ensaio	111
Tabela A.23 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax2, 3º ensaio	112
Tabela A.24 – leituras dos níveis de água, volumes e tempos durante o ensaio de permeabilidade	113
Tabela A.18 – leituras dos níveis de água, volume e tempos durante o ensaio de permeabilidade.	114
Tabela A.19 – leituras dos níveis de água, volume e tempos durante o ensaio de permeabilidade.	115
Tabela A.20 – Peso de cada uma das amostras em cada uma das fazes do processo de determinação da M.O.	116
Tabela A.21 – Percentagem do Teor de M.O.	117

## Lista de Acrónimos

As<sub>x</sub> – Amostra Representativas de Contexto Granítico

Ax<sub>x</sub> – Amostras Representativas de Contexto Xistento

BZMM - Bacia do rio Zêzere a Montante de Manteigas

CCI – Cordilheira Centro Ibérica

CE – Condutividade Elétrica

CI – Carbono Inorgânico

CO – Carbono Orgânico

COT – Carbono Orgânico Total

CT – Carbono Total

CXG – Complexo Xisto-Grauvaquico

DRX – Difração de Raio-X

FGSL – Falha Gouveia-Seia-Lousã

FP – Falha do Ponsul

FSL – Falha Seia-Lousã

ICP-MS – Espectrometria de Massa Acoplada a Plasma Indutivo

K<sub>insat</sub> – Condutividade Hidráulica Insaturada

K<sub>sat</sub> – Condutividade Hidráulica Saturada

M.O. – Mateia Orgânica

MED – Molarity of an Ethanol Droplet

SSM - Solid Sample Module

TH – Teor de Humidade

WDPT – Water Droplet Penetration Time

ZC - Zona Centro Ibérica

ZFBVM – Zona de Falha Bragança-Vilariça-Manteigas





## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

### Objetivo

A Serra da Estrela, tal como outras regiões montanhosas, apresenta-se como um local de elevada importância a diferentes níveis. Neste caso o objeto de estudo são os seus solos, uma vez que este tem um papel crucial em diversas áreas, influenciando processos como o ciclo subterrâneo da água, a estabilidade dos ecossistemas, a sustentabilidade da vida humana na terra, a produção agrícola, etc.

O objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização de algumas características do solo da região, neste caso do horizonte A. Isto seria feito com base nalguns ensaios e determinações tanto laboratoriais como de campo.

Também pretendeu-se fazer a comparação dos parâmetros determinados para cada um dos tipos de solos estudados (solos de contexto granítico – As, e solo de contexto xistento - Ax).

### 1.1. Enquadramento Geográfico

A Serra da Estrela, inserida na Cordilheira Central Ibérica e na região centro de Portugal, localiza-se a latitude entre 40°15'N e 40°38'N e longitude entre 7°18'W e 7°47'W, (Fig. 1.1). A Serra da Estrela ocupa cerca de 88291.7 hectares, dos quais 85% pertencem ao distrito da Guarda englobando os municípios da Guarda, Manteigas, Gouveia, Celorico da Beira e Seia. Os restantes 15% pertencem ao distrito de Castelo Branco, município da Covilhã (Fig 1.1). A Serra da Estrela apresenta uma orientação ENE-WSW correspondendo a uma morfoestrutura do tipo “montanha em blocos” (Ribeiro et al. 1954, em Espinha Marques, 2007).

Esta serra corresponde ao ponto mais alto de Portugal continental, com cerca de 1993 m de altura (sendo apenas superado pela montanha do Pico nos Açores). Apresenta orientação de NE-SW e estende-se desde a Guarda até a Serra da Lousã, com um comprimento de 115 km e largura média de aproximadamente 25 km (Lautensach 1932a, Daveau 1969). Esta topografia é cortada pelo vale do rio Zêzere, em forma de “U”, resultando num relevo constituído por um vale e dois planaltos: a planície ocidental (Torre- Penhas Douradas) e a planície oriental (Alto da Pedreira-Curral do vento) (Daveau et al. 1997; Vieira, 2004).

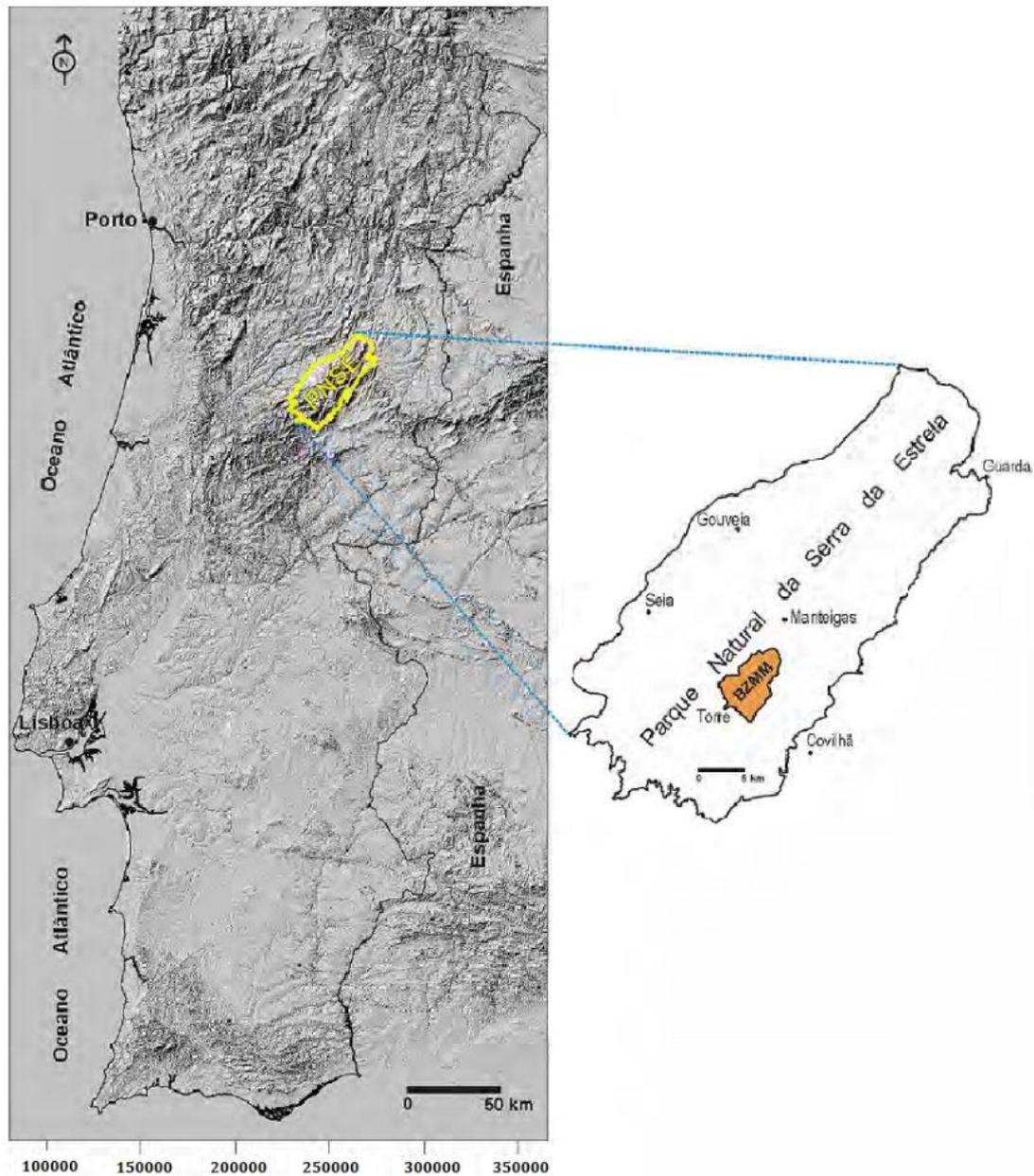


Figura 1.1- Localização geográfica da área estudada, Bacia do Zêzere a Montante de Manteiga (BZMM), Parque Natural da Serra da Estrela (extraído de Espinha Marques, 2007)

Cartograficamente, a topografia da região encontra-se inserida nas folhas 212 (Seia), 213 (Manteigas), 223 (Loriga-Seia) e 224 (Teixoso-Covilhã) à escala 1/25 000 do Instituto Geográfico do Exército. A geologia observa-se nas folhas das Cartas Geológicas de Portugal 17D, Gouveia (Teixeira et al. 1967) e 20B, Covilhã (Teixeira et al. 1974) à escala 1/50 000, dos Serviços Geológicos de Portugal (LNEG) (Fig.1.2)

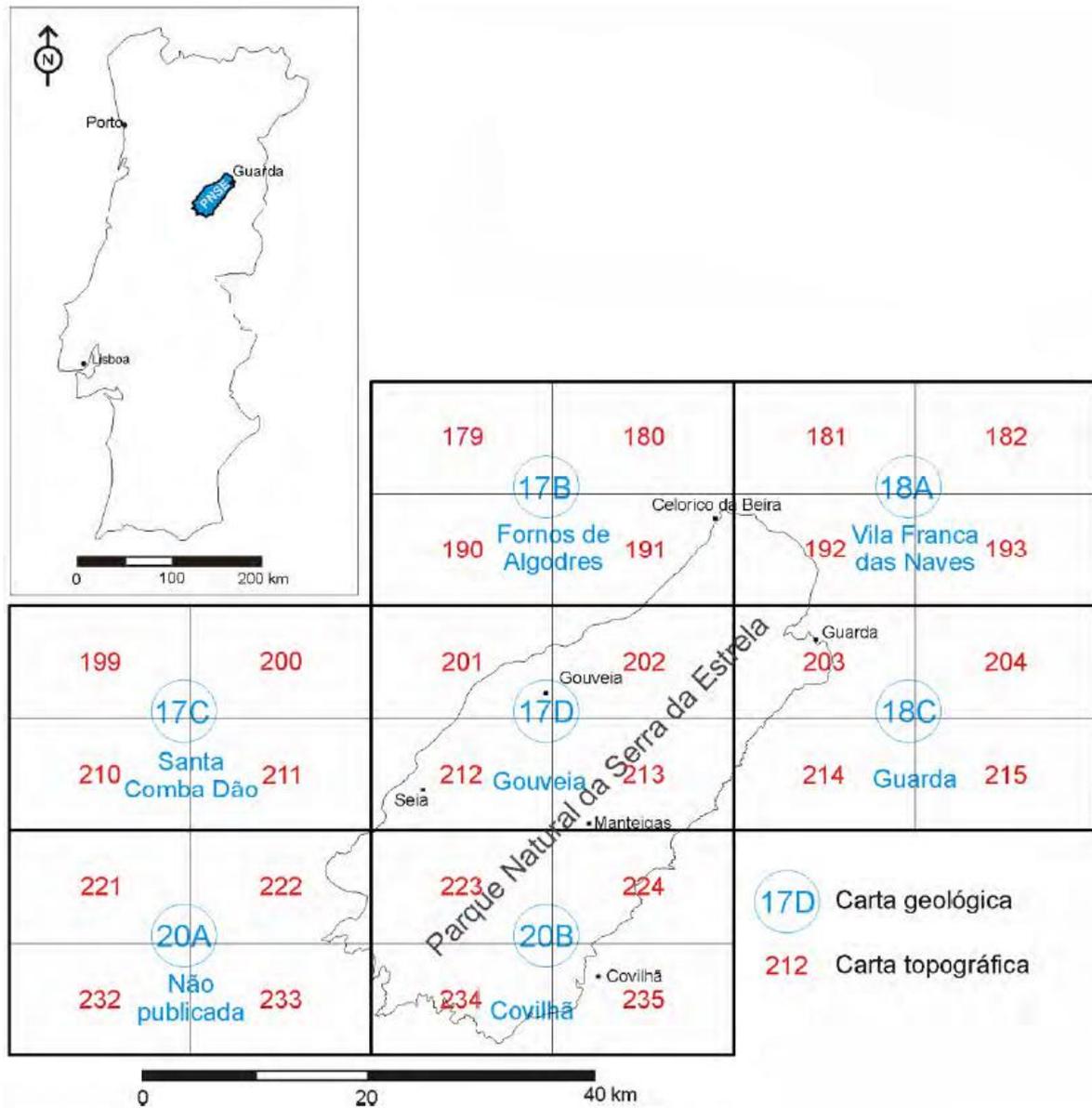


Figura 1.2 - Esquema da distribuição das cartas topográficas (escala: 1/25 000) e geológicas (escala 1/50 000) na região do PNSE (extraído de Espinha Marques, 2007).

A zona da Bacia do rio Zêzere a Montante de Manteigas (BZMM) foi a zona seleccionada para este estudo. A BZMM apresenta cerca de 8.5 km de comprimento, e uma largura de 5.3 km, totalizando uma área de 28.04 km<sup>2</sup> (Fig. 1.1). Nesta área as altitudes variam entre os 875 m, na zona da estação hidrométrica de Manteigas, e os 1993 m no Alto da Torre.

## 1.2. Enquadramento Geológico

Como já foi referido anteriormente a região montanhosa da Serra da Estrela corresponde a um ponto estratégico, para Portugal Continental, no que diz respeito à água. A geologia encontrada no maciço é uma das grandes condicionantes do sistema hidrogeológico, afetando ou influenciando processos como a “infiltração e a recarga dos aquíferos, o tipo de circulação (poroso versus fraturado), os trajetos do fluxo subterrâneo ou a hidrogeoquímica” (Espinha Marques, 2007).

A Serra da Estrela encontra-se na Zona Centro Ibérica (ZCI) e faz parte, maioritariamente, do distrito da Guarda, sendo que se encontra distribuída pelas seguintes Cartas Geológicas de Portugal (escala 1:50 000) publicadas pelos Serviços Geológicos de Portugal: 17B (Fornos de Algodres), 17C (Santa Comba Dão), 17D (Gouveia), 18A (Vila Franca das Neves), 18C (Guarda), 20A (não publicada) e 20B (Covilhã) (Teixeira et al., 1974). A serra também pode ser inserida na chamada Cordilheira Central Ibérica que se estende por mais de 500 km, desde a Serra da Lousã até Somosierra (Espanha), apresentando uma largura de cerca de 40 km (Fig.1.3).

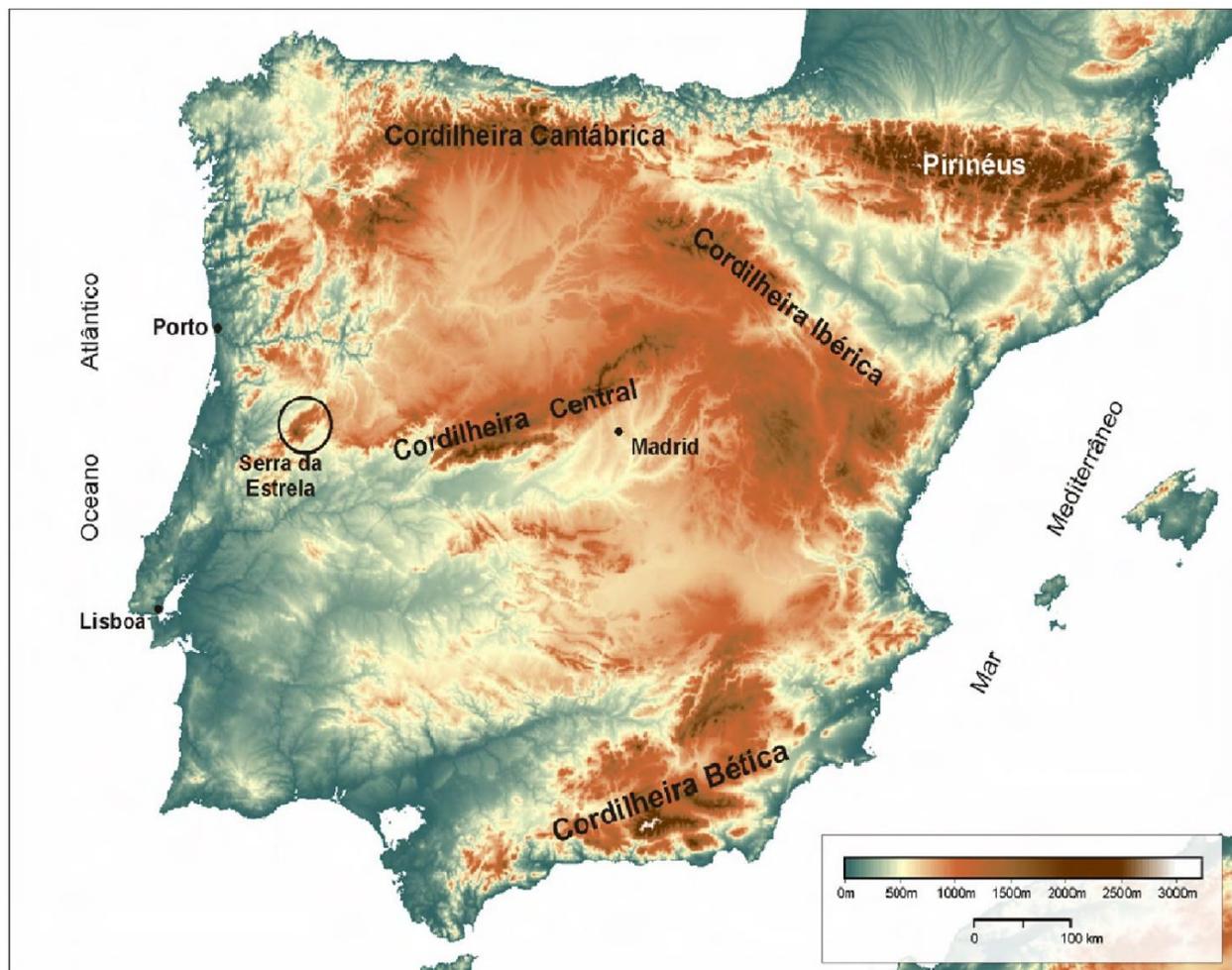


Figura 1.3 - Enquadramento da Serra da Estrela na Península Ibérica (extraído de Espinha Marques, 2007).

Na Serra da Estrela são identificados, essencialmente, 3 litotipos (Fig. 1.3): (a) rochas granitoides de idade Varisca; (b) rochas metassedimentares com idades que variam do Precâmbrico ao Câmbrico, correspondentes ao Complexo Xisto-Grauváquico (CXG); (c) aluviões e depósitos glaciários do Quaternário (Teixeira et al., 1974/1967; Ferreira & Vieira, 1999; Espinha Marques et al., 2007).

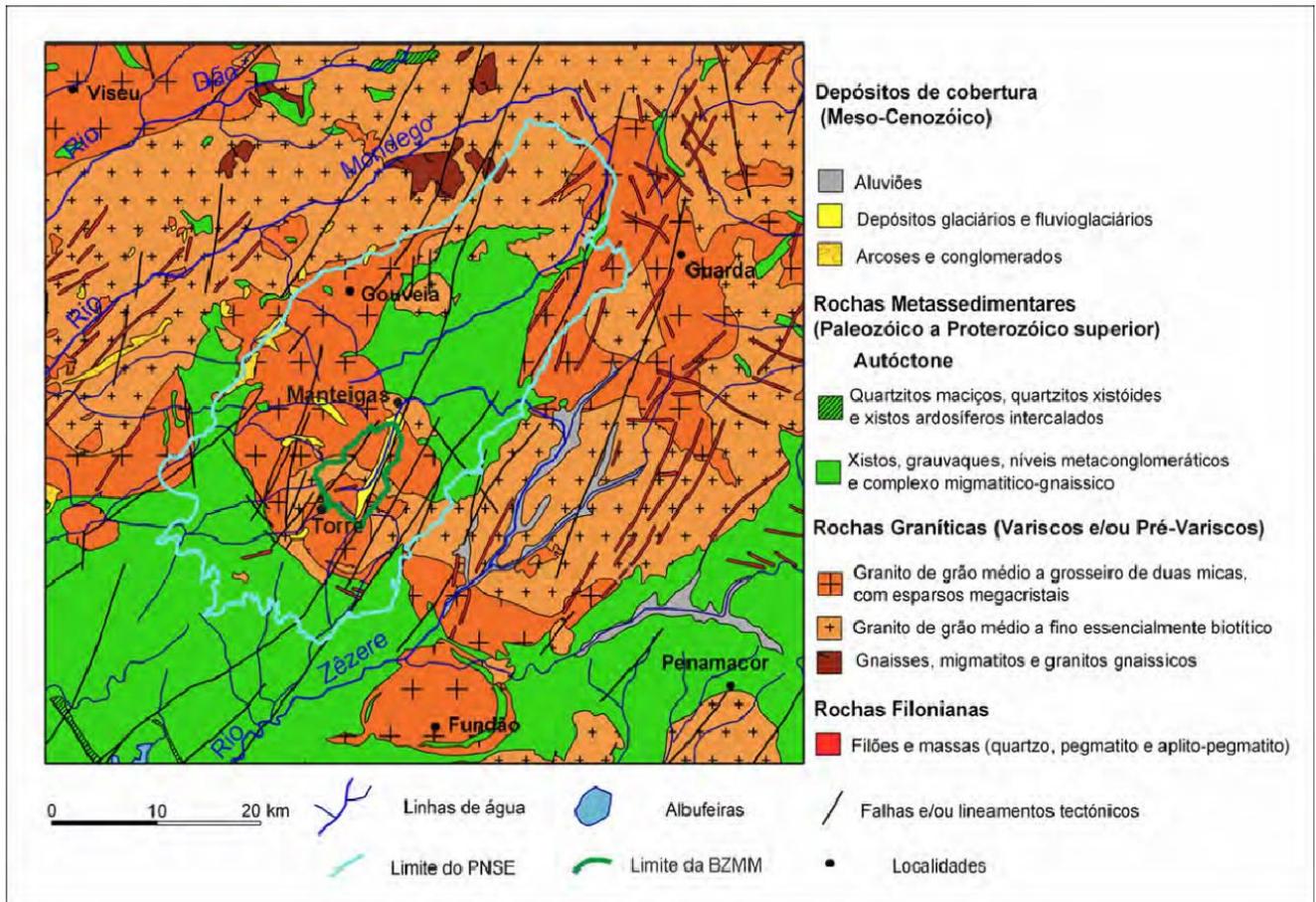


Figura 1.4 - Geologia da região da Serra da Estrela (simplificado de Oliveira et al. 1992) (extraído de Espinha Marques, 2007).

Os metassedimentos que afloram (Fig. 1.4) fazem parte do CXG (Grupo das Beiras) e representam os terrenos mais antigos da região, sendo que esta zona engloba essencialmente formações do Maciço Antigo (Teixeira et al. 1974). Estes são categorizados com base na classificação das estruturas tipo “*Flysch*” (organização dos sedimentos, essencialmente, turbidíticos originários do CXG). De acordo com Ferreira & Vieira (1999), é possível observar duas formações: (a) Formação de Malpica do Tejo, a qual inclui essencialmente metagrauvaques para além de filitos e metaconglomerados; (b) Formação de Rosmaninhal constituída por filitos com intercalações de metagrauvaques. Existem evidências de metamorfismo regional de baixo grau e dobramentos com plano axial de direção NW-SE resultantes da atividade tectónica Varisca (Carvalho, 2013).

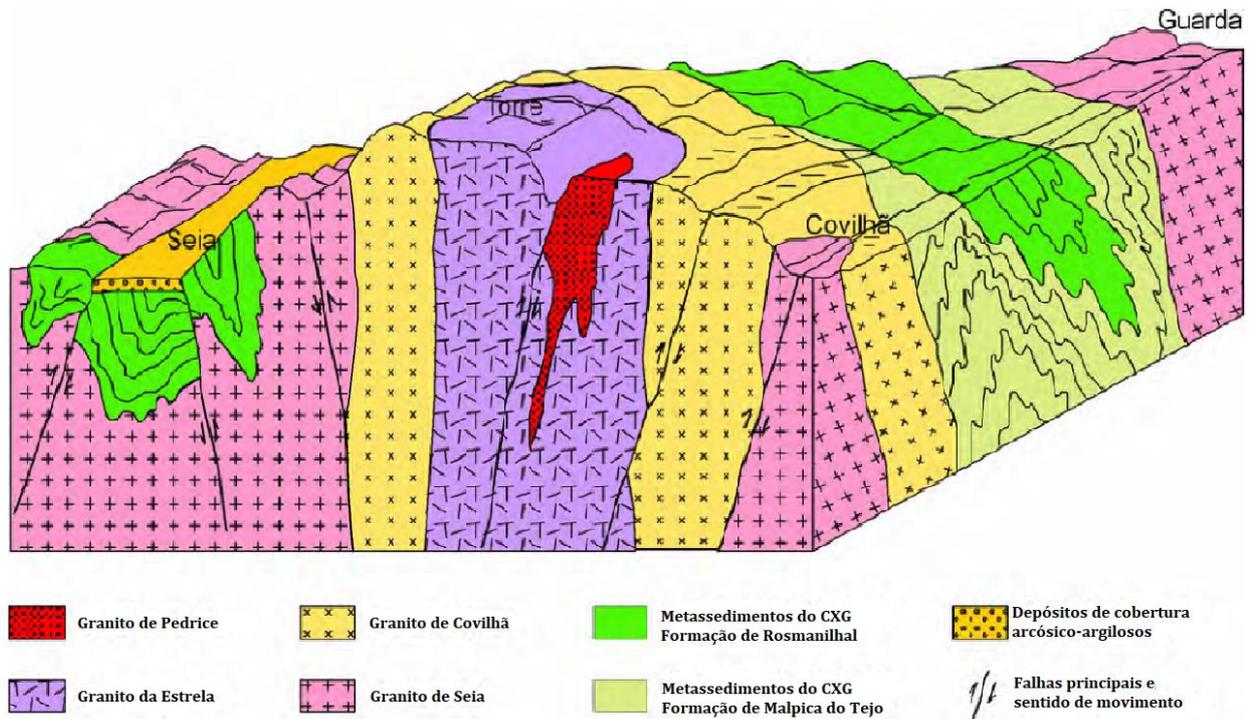


Figura 1.5 - Representação (bloco diagrama) geológica na região da Serra da Estrela (extraído de Ferreira & Vieira 1999).

Sendo estes os terrenos mais antigos da região, é possível observar a influência da instalação dos granitos regionais. Estes instalaram-se causando o dobramento e esmagamento das rochas pré-existentes. Também se evidencia metamorfismo de contacto intenso na zona de interseção entre os dois tipos de rochas (graníticas e metassedimentares).

Em respeito às rochas graníticas (Fig. 1.4), estas situam-se, maioritariamente, entre o Alto do Minho e a região das Beiras e estão associados a uma faixa orientada NW-SE, paralela aos megacisalhamentos do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão e de Vigo-Régua (Ferreira et al., 1987, em Espinha Marques, 2007; Ribeiro et al., 1979; 1990b, em Carvalho, 2013). Os granitoides são limitados, na sua extensão espacial, por sistemas de fraturas de orientação NNE-SSW e NE-SW como as falhas de Penacova-Régua-Verin e Gouveia-Seia-Lousã, respetivamente.

Segundo Oliveira et al. (1992), os granitos da região da serra “são caracterizados e classificados como orogénicos, sendo alguns sin- e outros tardi- a pós-tectónicos, relativamente a fase de deformação  $F_3$ ” (Espinha Marques, 2007). À escala regional verifica-se o domínio de um tipo de granito de duas micas, porfiroide e de grão grosseiro. Para além deste existem outras fácies graníticas, originadas pelo magmatismo Varisco, que foram classificados com base na textura, granulometria e mineralogia (Teixeira et al., 1961, 1963a, 1963b, 1967, 1974; Ferreira e Vieira, 1999) e que serão detalhados mais à frente. O maciço granítico da Serra da Estrela é composto, interiormente, por um plutão zonado, constituído por granitos moscovíticos e granitos de duas micas (Vieira et al., 2005).

O contacto entre os metassedimentos e os granitoides pode ser observado na periferia de Manteigas, sendo representado por uma aureola de contacto (metamorfismo de contacto intenso) que pode atingir até 1 km de largura (Espinha Marques, 2007).

Estruturalmente a região é marcada pelo domínio de acidentes tectónicos de direção NE-SW e alguns de direção NW-SE e E-W (Espinha Marques et al., 2006b, em Espinha Marques, 2007), sendo exemplo disto

a Zona de Falha Bragança-Vilariça-Manteigas (ZFBVM). Esta é uma falha de desligamento de movimento esquerdo com associado deslocamento vertical e orientação NNE-SSW, que corresponde não só a maior e mais importante rutura tectónica do sistema tardi-varisco de fraturas do NW da península ibérica (Paiva, M., 2016), como também a maior zona de falha sísmica, regional, sendo representada localmente por brechas associadas à caixa de falha nas zonas onde o deslizamento é evidenciado (Rockwell et al., 2009; Vicente & Vegas, 2009; Espinha Marques et al., 2013).

A importância desta megaestrutura (ZFBVM) é devida a ligação entre a sua reativação e origem da Serra da Estrela. O Conjunto desta falha com outras de orientação, maioritariamente, NE-SW, tal como a falha de Seia-Lousã (FSL), foram reativadas através de processos associados a orogenia Alpina (tectónica compressiva Alpina) durante o cenozoico. Esta descontinuidades são as responsáveis pela neotectónica da Serra da Estrela e estão associadas ao último episódio de fracturação tardi-varisca (Ribeiro et al., 1979, em Espinha Marques 2007). Foi a reativação destas estruturas que permitiu o levantamento da Cordilheira Central Ibérica como um horst compressivo e consequentemente levantando o maciço da Serra da Estrela “numa estrutura do tipo pop-up” (Ribeiro et al 1990; Ribeiro, 1988, em Geonovas 2007).

A génese da Cordilheira Central Ibérica (CCI) pode ser enquadrada, de acordo com Ribeiro (1988), na colisão entre as placas Euroasiática e Africana. Segundo o mesmo autor a Cordilheira Central Ibérica representa um horst compressivo, orientado (ENE-WSW) sub-paralelamente à Cordilheira Bética, delimitado por dois acidentes paralelos, que provocam o cavalgamento do Soco Varisco Ibérico sobre a cobertura Meso-Cenozoica. Ribeiro (1988) explica que a compressão das Cadeias Béticas causou o descolamento da base da crosta (ao nível do Moho), que devido a um cavalgamento para NNW e um retrocavalgamento para SSE, permite classificar a CCI como uma estrutura “de ressalto” (Fig. 1.6).

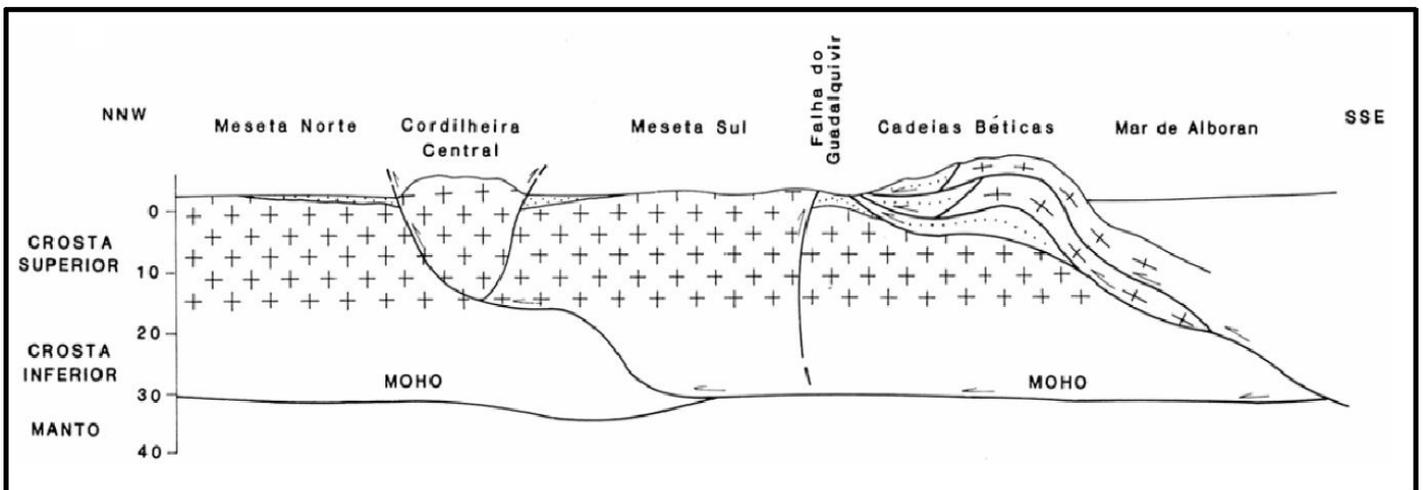


Figura 1.6 - Modelo genético da Cordilheira Central (extraído de Ribeiro,1988).

Neste modelo, maciço da Serra da Estrela é contido por duas estruturas: a Falha Gouveia-Seia-Lousã (FGSL) e a Falha do Ponsul (FP) a NW e SE, respetivamente. É de mencionar que a finais do Mesozoico e início do Cenozoico a região estudada apenas sofria ações erosivas de aplanamento lento. O levantamento da Serra da Estrela só se verificou por volta do Miocénico superior, ou no Plistocénico, como resultado da orogenia Varisca, que provocou movimentos epirogénicos no Maciço Antigo rejuvenescendo o seu relevo (Teixeira et al., 1974).

Segundo os autores Ferreira e Vieira (1999) e Vieira (2004) o maciço montanhoso da Serra da Estrela evoluiu, geologicamente, da seguinte forma:

- “Entre o Pré-Câmbrico e o Câmbrico médio-superior (desde há cerca de 650 Ma até cerca de 500 Ma), deu-se a deposição de sedimentos clásticos em meio marinho. Estes sedimentos, através da diagénese e do metamorfismo, originaram as atuais rochas do CXG.
- Durante a orogenia Varisca ou Hercínica (desde há cerca de 380 Ma, no Devónico médio, até há cerca de 240 Ma, no Pérmico superior) tiveram lugar várias fases compressivas, durante as quais as rochas do CXG foram deformadas por eventos dúcteis e frágeis (dobramentos e falhamentos);
- Durante o Carbonífero (desde há cerca de 330 Ma até há cerca de 290 Ma), deu-se a instalação, por vários impulsos, dos granitos;
- Durante o Mesozoico decorreu um período de erosão dos níveis superiores da crosta, durante o qual, por alívio de carga, teve lugar um soerguimento (*uplift*) através do qual as rochas de zonas mais profundas acabaram por se aproximar da superfície. Este processo deu origem à geoforma aplanada denominada por Superfície Fundamental;
- A partir do início do Cenozoico, as forças compressivas da orogenia Alpina provocaram a reativação de acidentes tectónicos variscos. Desde há cerca de 10 Ma até há cerca de 2 Ma ocorreu, por impulsos, a ascensão dos blocos que compõem a Serra da Estrela. A atividade tectónica mantém-se até à atualidade, manifestando-se, sobretudo, nas principais estruturas regionais, ao longo das quais se situam ocorrências de águas termominerais;
- Durante o Plistocénico superior a região foi afetada por diversas fases frias. Vieira (2004) estimou que o Último Máximo da Glaciação na Serra da Estrela ocorreu há cerca de 30 000 anos (datação por termoluminescência), antes, portanto, do Último Máximo da Glaciação datado de há 18 000 anos (pelo método do  $^{14}\text{C}$ ), como indicam Mix et al. (2001). Durante as referidas fases frias, prevaleceram condições para a existência de neves perenes e de glaciares, dos quais resultou a morfologia característica, atualmente observada” (Espinha Marques, 2007).

A figura 1.7 apresenta um esquema representativo da evolução da génese da Serra da Estrela (adaptado de Ferreira & Vieira, 1999).

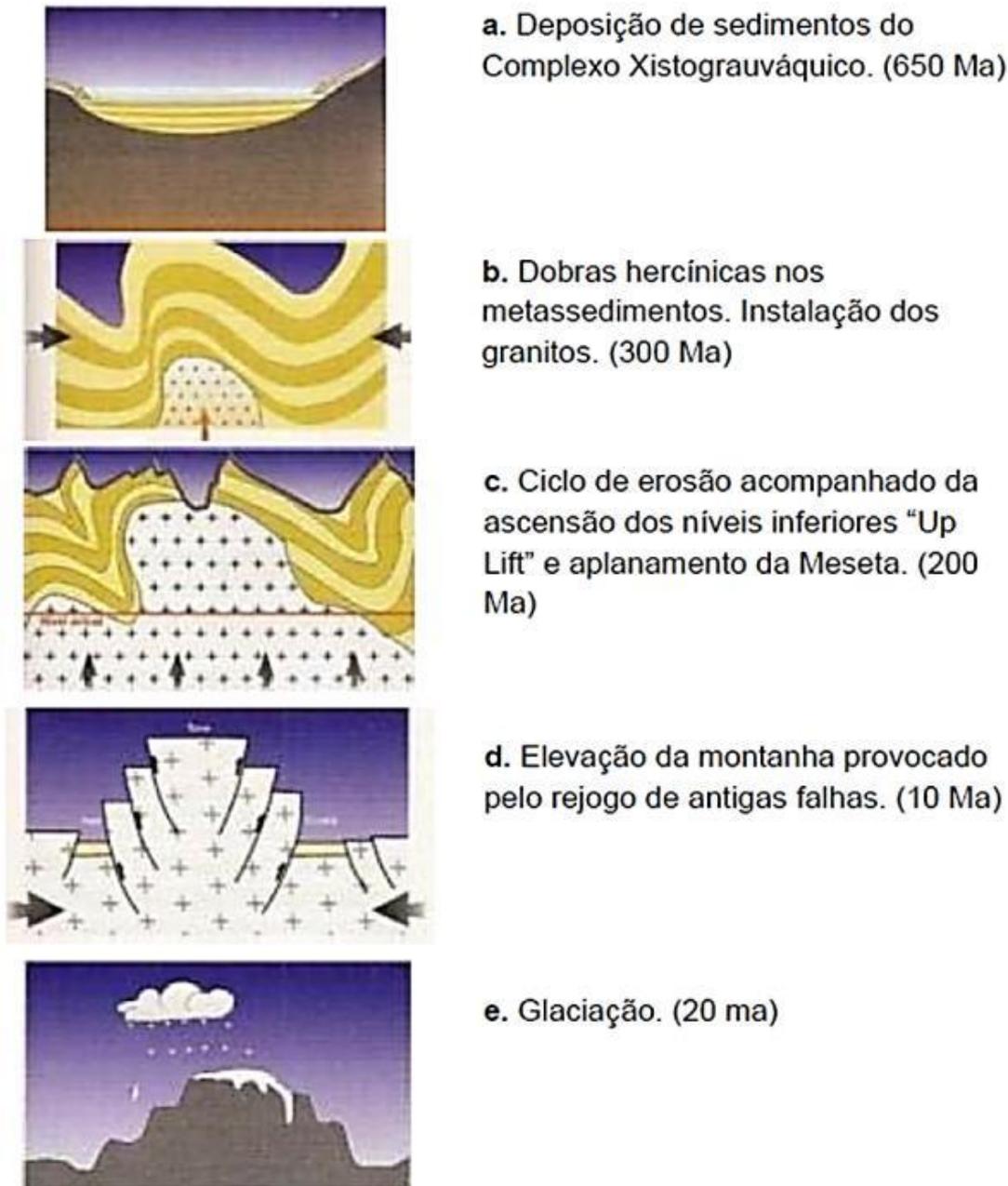


Figura 1.7 - Esquema representativo da evolução da gênese da Serra da Estrela (extraído de Carvalho, 2013).

Localmente verifica-se o domínio dos granitoides de idade varisca, como já foi mencionado, para além da existência de depósitos aluvionares, glaciares e fluvioglaciários, já bastante mais jovens. Os metassedimentos associados ao Complexo Xisto-Grauváquico aparecem mais a norte, não tendo grande representatividade dentro da bacia do rio Zêzere a montante de Manteigas.

No que respeita às unidades geológicas são vários os trabalhos que as descrevem (e.g. Ferreira & Vieira 1999, Teixeira et al., 1961, 1963a, b, 1967, 1974, Espinha Marques, 2007). Baseado em Espinha Marques (2007), de seguida, é apresentado o conjunto de unidades geológicas, que segundo Ferreira & Vieira (1999), são encontradas no local de estudo e nas zonas envolventes.

### 1.2.1. Complexo Xisto-Grauváquico

**Formação de Malpica do tejo (M):** esta é representada por metassedimentos turbidíticos, compostos por alternâncias entre metagrauvaques e xistos, com interestratificações de conglomerados (Fig. 1.8). O metamorfismo de contacto encontrado na periferia da zona estudada deu origem à formação de xistos mosqueados e de corneanas quartzo-micáceas, pelíticas, pneumatolíticas (com turmalinas) e básicas.



Figura 1.8 - Formação de Malpica do Tejo (extraído de Espinha Marques 2007).

### 1.2.2. Granitoides

**Granito da Estrela ( $\gamma mg$ ):** essencialmente composto por quartzo, albite-oligóclase, microclina (Fig. 1.9) (frequentemente perítica) e moscovite. Apresenta granulometria que varia entre média a grosseira, podendo ter como minerais acessórios o zircão, rútilo e minerais opacos de ferro. Os minerais secundários podem ser a caulinite, a sericite e a moscovite. Este granito é principalmente encontrado no Alto da Torre, sendo que na periferia deste local, apresenta um diaclasamento típico sub-horizontal.

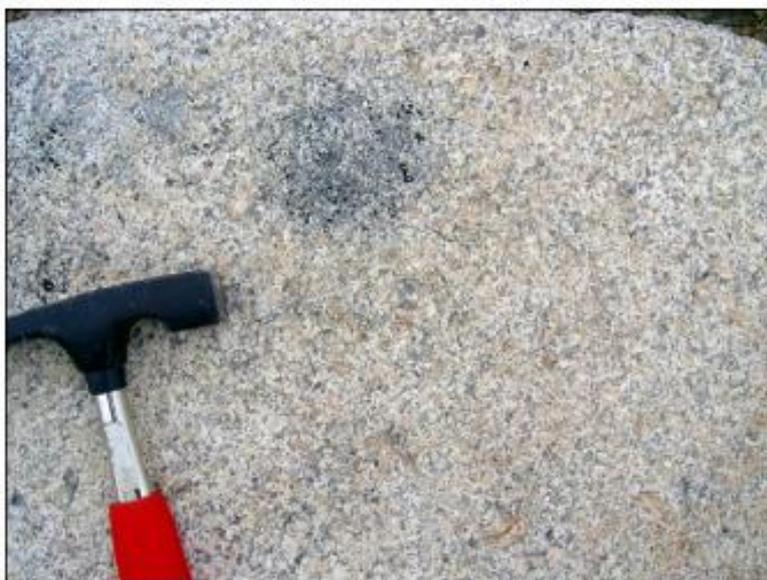


Figura 1.9 - Granito da Estrela (extraído de Espinha Marques 2007).

**Granito do Curral do Vento ( $\gamma\mu\pi$ ):** granito de duas micas composto por quartzo, albite, oligóclase, microclina-pertite, microclina, biotite e moscovite (Figura 1.10). Os minerais secundários podem ser caulinite, sericite, moscovite, clorite, rútilo acicular e produtos ferruginosos. Os minerais acessórios são apatite, zircão, fluorite, turmalina e minerais opacos de ferro. Este tipo de granito aparece entre a Senhora da Boa Estrela, a crista do Espinhaço do Cão e as Penhas da Saúde.



Figura 1.10 - Granito do Curral do Vento (extraído de Espinha Marques, 2007).

**Granito de Pedrice ( $\gamma f$ ):** apesar de também ser um granito de duas micas, apresenta uma preponderância de biotite., sendo os outros minerais principais quartzo, albite-oligóclase, microclina, biotite e moscovite (Fig. 1.11). Apresenta como minerais acessórios turmalina, zircão, apatite e minerais opacos de ferro e como secundários, caulinite, clorite, moscovite, esfena, sericite, óxidos e hidróxidos de ferro e leucoxena. Estes granitos ocorrem na zona do Alto da Pedrice e entre Penhas Douradas e o Vale de Rossim.



Figura 1.11 - Granito da Pedrice (extraído de Espinha Marques, 2007).

**Granito de Covilhã ( $\gamma\pi\mu$ ):** é um granito de duas micas, porfiroide e de grão medio. Ocupa a zona da Covilhã e a encosta oeste da Serra da Estrela, sendo que contacta de forma gradual com o Granito de Seia e pode ocorrer intercalado entre o Granito de Seia e o da Estrela. O Granito de Covilhã corresponde a uma fácies semelhante à do Granito de Agrela que apresenta mineralogia principal composta por quartzo, biotite, oligóclase e moscovite (Ferreira et al., 2000, em Espinha Marques, 2007).



Figura 1.12 -Granito da Covilhã (extraído de Espinha Marques, 2007).

**Granito de Seia ( $\gamma\pi\sigma$ ):** os principais minerais deste tipo de granitos são quartzo, microclina, oligóclase-andesina, albite-oligóclase, biotite e moscovite (Fig. 1.13). Os minerais secundários são a caulinite, sericite, clorite, ilmenite, moscovite, esfena e óxidos e hidróxidos de ferro. os minerais acessórios podem ser zircão, apatite, minerais opacos de ferro, turmalina, andaluzite, silimanite e granada. De forma geral é um granito de duas micas, de grão grosseiro, porfiroide e evidente predominância biotítica. Este tipo de granito ocorre tanto na zona central como na zona norte da região estudada.



Figura 1.13 - Granito de Seia (extraído de Espinha Marques, 2007).

**Granito da Manteigas (ym):** este é um granito biotítico, de grão médio essencialmente composto por quartzo, oligoclase, albite, microclina, albite-oligoclase, biotite e moscovite (Fig. 1.14). Pode apresentar magnetite, apatite rútilo acicular, granada, turmalina fluorite como minerais acessórios e sericite, clorite caulinite, pirite, esfena e óxidos e hidróxidos de ferro como minerais secundários. Este encontra-se numa mancha a sul e sudeste de Manteigas.



Figura 1.14 - Granito de Manteigas (extraído de Espinha Marques, 2007).

### 1.2.3. Depósitos de cobertura

**Aluviões (a):** estes correspondem a depósitos sedimentares de reduzida espessura, que podem ser encontrados ao longo dos vales e cursos de água, e que resultaram da meteorização e erosão dos metassedimentos e granitos existentes na região (Fig. 1.15).



Figura 1.15 - Depósitos de Cobertura; a- Depósitos fluvio-glaciários; b- Depósitos aluvionares (extraído de Espinha Marques, 2007)

**Depósitos Glaciários e Fluvioglaciários (Q):** estes fazem parte das evidências da última glaciação, representando depósitos constituídos por fragmentos graníticos arredondados contemporâneos a glaciação (Fig. 1.16). Estes estão associados a processos de erosão, transporte e deposição pelo gelo dos glaciares. Os depósitos glaciários apresentam um carácter mais heterométrico, sendo compostos por elementos de granulometria variada (desde silte até Boulder). Os depósitos fluvioglaciários, por causa de efeitos fluviais após a fusão do gelo, apresentam-se muito mais calibrados.



Figura 1.16 - a- depósitos aluvionares, Q- depósitos glaciares e fluvioglaciários, γ- cristas graníticas (extraído de Espinha Marques, 2007).

#### 1.2.4. Filões e Massas

**Filões de Quartzo (q):** são essencialmente compostos por quartzo leitoso, ferruginoso ou acinzentado, podendo conter pequenos cristais de turmalina (Fig. 1.17). Por norma encontram-se associados a locais de fraqueza estrutural (falhas), que podem atingir centenas de metros de comprimento. A tendência local destes filões varia entre NE-SW a NNE-SSW.

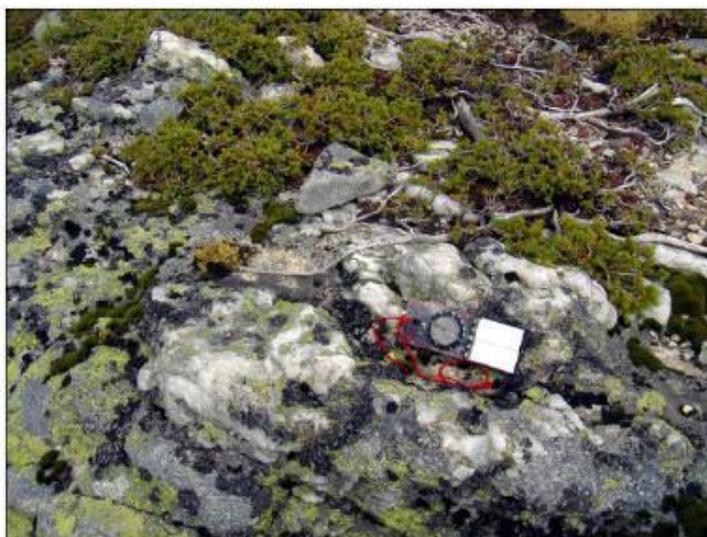


Figura 1.17 - Filão de quartzo (extraído de Espinha Marques, 2007).

**Filões de rochas básicas ( $\delta$ ):** Deste tipo de filões destaca-se o do Cântaro Magro, que corresponde a um dolerito de grão medio, augítico e biotítico, com analcite, e apresenta direção E-W. De forma geral, estes filões são doleritos alterados e que por vezes podem apresentar disjunção esferoidal.



Figura 1.18 - Filão de rocha básica (extraído de Espinha Marques, 2007).

**Filões aplíticos e pegmatíticos ( $\gamma$ ap):** são filões de composição granítica, podendo ser aplitos (cor clara ricos em moscovite) ou pegmatitos (Fig. 1.19).



Figura 1.19 - Filão pegmatítico (extraído de Espinha Marques, 2007).

### 1.3. Enquadramento Geomorfológico

A Serra da Estrela, de orientação geral NE-SW, destaca-se no contexto regional, no que diz respeito ao relevo, elevando-se acima das áreas circundantes - a NE a Plataforma do Mondego; a E a Superfície da Meseta e a SE a Cova da Beira (Fig. 1.20) - sendo que as vertentes que contêm o afloramento da Estrela representam desníveis de 1000 m e 1200 m, no lado SE e NO, respetivamente (Espinha Marques, 2007).

A Serra representa a parte oriental e mais elevada do conjunto montanhoso que se estende ao longo de 115 km desde a Serra de Lousã até a Guarda (SW-NE) e de largura media de 25km (Daveau, 1969; Vieira, 2004).

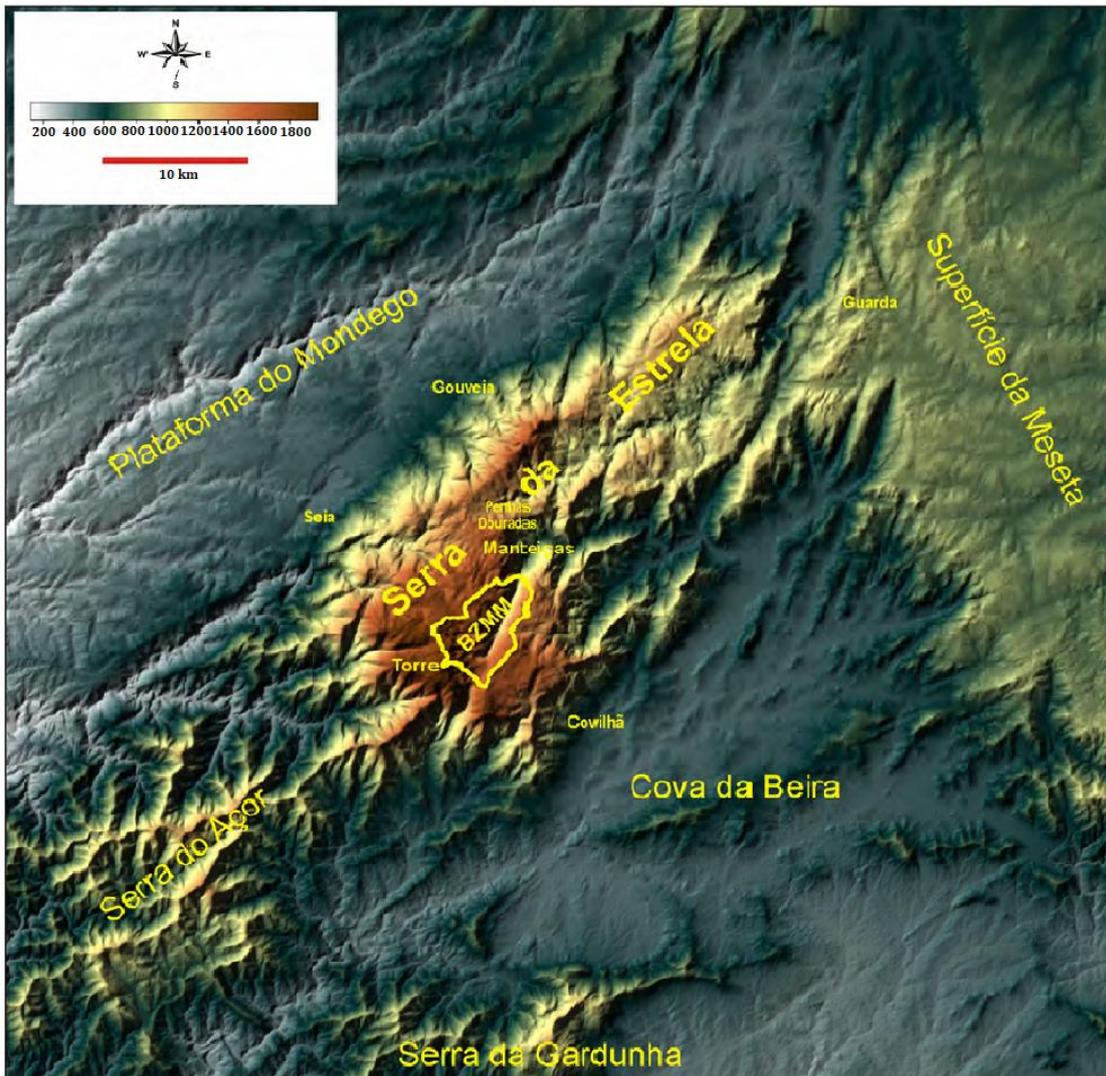


Figura 1.20 - Relevo da Serra da Estrela e região envolvente (perspetiva 2D - extraído de Espinha Marques, 2007)

Este segmento português da Cordilheira Central, que apresenta a altitude máxima para SO (1993 m) no Alto da Torre, encontra-se bem enquadrado, em termos morfológicos, sendo que a SE o relevo granítico, representativo dos pontos mais altos da região, contrasta com as cristas onduladas formadas pelos metassedimentos e para NO, verifica-se uma diminuição gradual da altitude da serra até esta atingir, nas proximidades da Guarda, os planaltos da beira transmontana, e ficar a cerca de 100m acima da Superfície da Meseta (Daveau, 1969; Ferreira & Vieira, 1999; Vieira 2004).

O comportamento planáltico, característico da Serra da Estrela, encontra-se principalmente acima dos 1400m, sendo que esta superfície planáltica é cortada pelos vales do Zêzere e do Alforfa, de alinhamento sub-meridiano, dividindo-a em dois planaltos principais (Fig.1.20), que por sua vez são limitados por escarpas de falhas. A oeste do vale do Zêzere, fica o Planalto Ocidental: entre Penhas Douradas e o Alto da Torre, onde é possível encontrar as partes mais altas (1500 m - 2000 m) e a E o Planalto Oriental: entre o Curral da Nave e o Alto da Pedrice (1450 m - 1760 m) (Vieira, 2004) (Fig. 1.22). Em cada um destes planaltos, Daveau (1969) identificou vários degraus, essencialmente controlados pela tectónica.

No planalto Oriental identificaram-se 3 patamares:

- Planalto do Curral da Nave (1450m)
- Planalto do Curral do Vento (1600m - 1700m)
- Planalto Alto da Pedrice - limite sul do Planalto Ocidental (1700m - 1750m)

No planalto Ocidental identificaram-se 3 patamares:

- Planalto das Penhas Douradas (1500m - 1550m)
- Planalto do Curral do Martins (1650m - 1750m)
- Planalto da Torre (> 1800m)

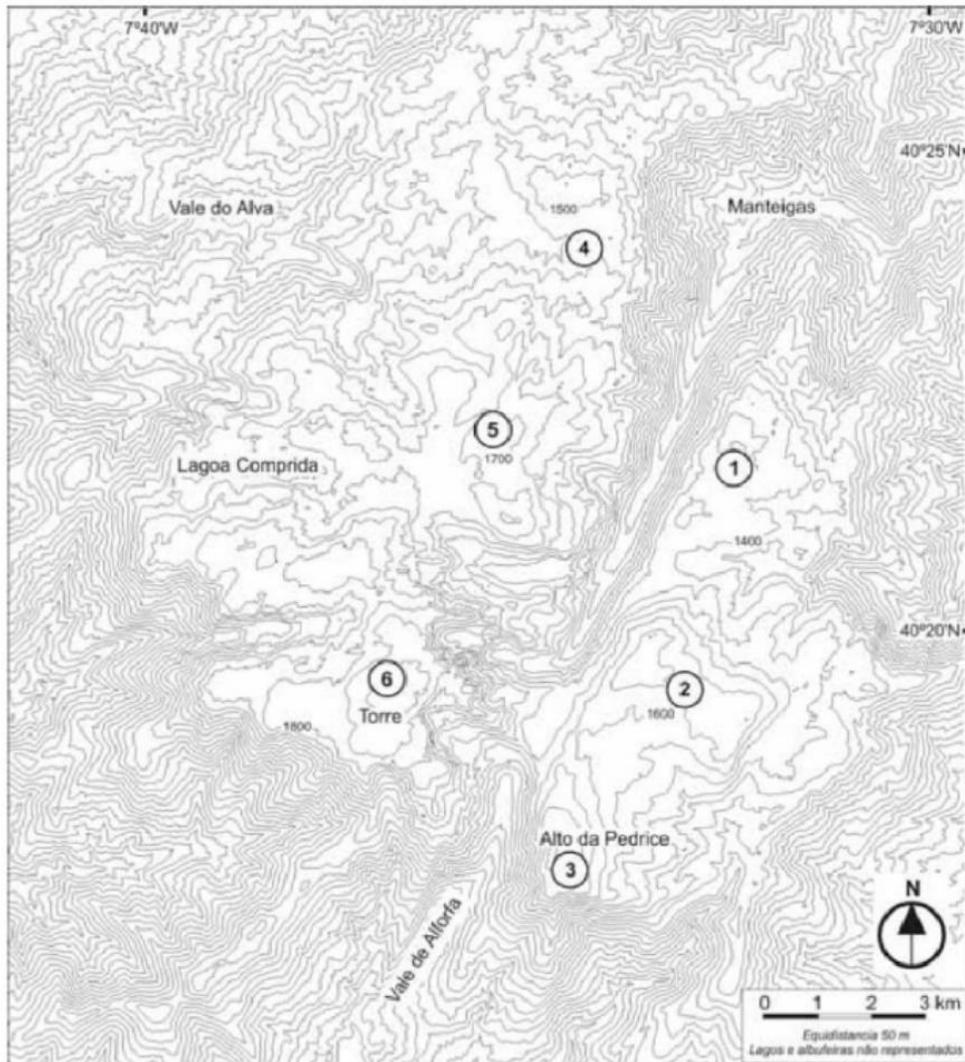


Figura 1.21 - Localização dos diversos planaltos da S. Estrela: 1 - Planalto do Curral da Nave; 2 - Planalto do Curral do Vento; 3 - Planalto do Alto da Pedrice; 4 - Planalto das Penhas Douradas; 5 - Planalto do Curral do Martins; 6 - Planalto da Torre (extraído de Vieira, 2004)

A topografia observada na Serra da Estrela tem origem, essencialmente, na atividade tectónica Alpina, sendo as escarpas que a delimitam, também de origem tectónica. Estas escarpas estendem-se por vários quilómetros apresentando um traçado retilíneo. Na zona sul, as escarpas existentes criam uma “escadaria tectónica” resultante da atividade da FBVM (Daveau, 1969, 1971).

No entanto o relevo atual é devido, não só aos movimentos tectónicos, mas também à erosão fluvial (Brum Ferreira, 1998, em Espinha Marques, 2007). Neste aspeto o vale mais importante é o Vale rio Zêzere, uma vez que é o único que atravessa o maciço da Estrela sem perder vigor. Este apresenta um traçado retilíneo, direção NNE-SSW, vertentes regulares e forma em “U”, típica de vales glaciários, essencialmente, por causa deste se encaixar no acidente tectónico que se estende desde Unhais da Serra até Bragança (Fig. 1.23).

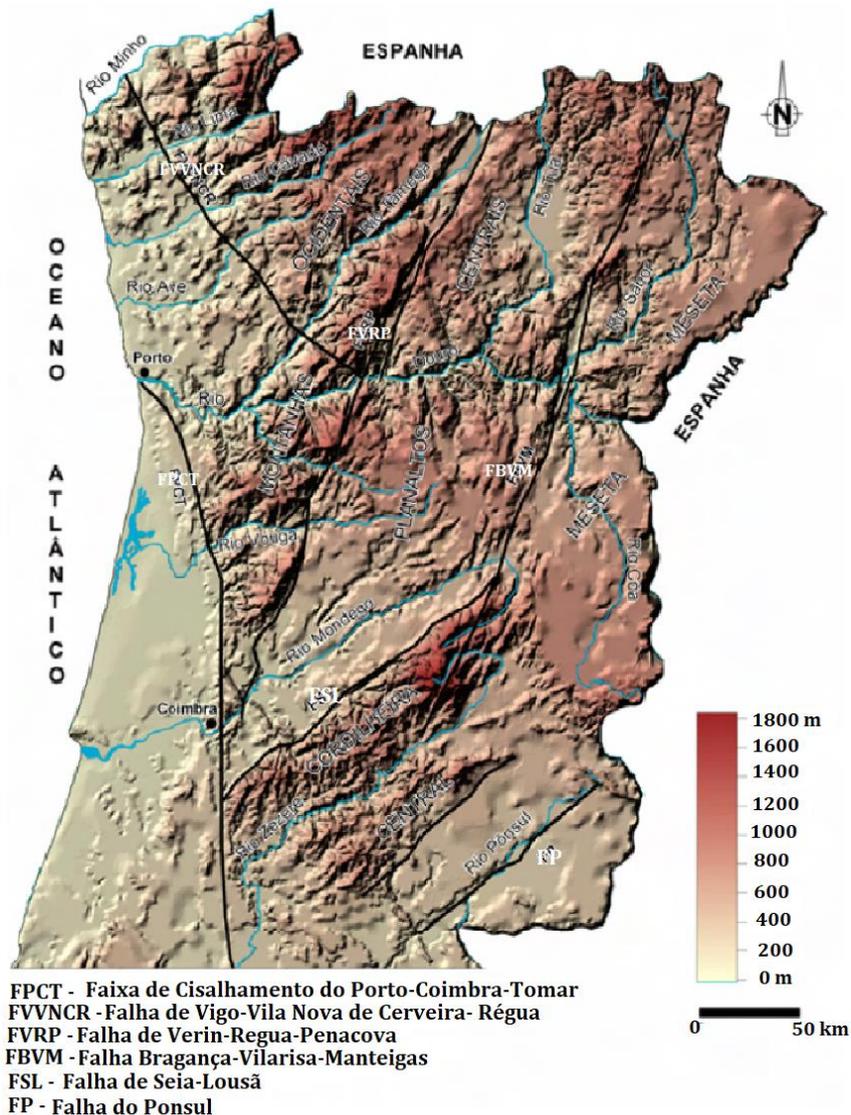


Figura 1.22 - Distribuição das principais estruturas tectónicas do Norte/Centro de Portugal (extraído de Espinha Marques, 2007).

Este alinhamento tectónico facilitou processos glaciários e periglaciários, que por sua vez e em conjunto com o dobramento e esmagamento causado pela instalação dos granitos regionais, facilitaram o encaixe dos rios da zona. É de mencionar que os entalhes dos rios da região foram introduzidos pelo levantamento da própria montanha (Ferreira & Vieira, 1999) e assim colaborando para a diversidade

geomorfológica. Daveau também associa os altos vales do rio Zêzere ao soerguimento do maciço, distinguindo-os dos vales do alto Mondego com origem anterior a reativação das linhas de fraqueza tectónica locais e antes das variadas readaptações sofridas pela rede de drenagem (Daveau 2004).

O vale de Alforfa, a sul do vale do rio Zêzere, apresenta também um traçado retilíneo e simétrico a este, uma vez que se encontra no mesmo alinhamento tectónico que o rio Zêzere e ambos se encontram conectados pela portela aplanada da Nave de Santo António.

Lautensach (1929) foi responsável pelo primeiro estudo geomorfológico da Serra da Estrela. Neste trabalho o autor destacou o impacto que a erosão diferencial tivera no relevo da região, estudando e apontando o contraste entre os granitos e os xistos como sendo um dos fatores determinantes do declive abrupto das vertentes localizadas a SE. A evidência de uma maior conservação das vertentes nos granitos do que nos metassedimentos, sendo estes últimos, mais facilmente, vítima da erosão fluvial, é outro dos aspetos característicos associados ao relevo do maciço da Serra da Estrela (Brum Ferreira, 1998, em Espinha Marques, 2007).

Os granitos, como já foi referido anteriormente, representam as áreas de maior altitude e paisagens com conservação das formas originais, incluindo as zonas planas, vertentes e escarpas. Ao contrário destes, os metassedimentos representam formações que são mais facilmente degradadas por processos erosivos (por exemplo processos associados a uma densa rede de drenagem), resultando numa geomorfologia lisa, monótona e de menor altitude, contrastante por exemplo com os cursos de água típicos das zonas graníticas. Entalhes geométricos de traçado retilíneo resultantes do ajuste destes à tectónica local, como já tinha sido mencionado (Espinha Marques, 2007; Ferreira & Vieira, 1999). Estas diferenças podem ser observadas, segundo Vieira (2004), entre as áreas mais a S e NO do Planalto do Curral da Nave.

Um dos traços fundamentais da morfologia e que mais marcou o relevo da Serra da Estrela é a herança das fases frias do Plistocénico Superior. A morfologia glaciária, evidenciada pela presença dos depósitos glaciários e fluvioglaciários, descritos no enquadramento geológico, já foi estudada por diversos autores (e.g., Lautensach, 1929, 1932; Daveau, 1971, 1973, 1978; Daveau et. al., 1997; Ferreira & Vieira, 1999; Vieira, 2004; Vieira et. al., 2005) e é mencionada como um elemento característico e marcante da região. O primeiro autor a mostrar evidências conclusivas da existência de registos da glaciação na Serra da Estrela foi Cabral (1884). Depois deste, outros têm estudado a glaciação e as suas características.

De acordo com Daveau (1971) a cápsula de gelo encontrada no planalto ocuparia uma área de cerca de 70 km<sup>2</sup> e teria uma espessura máxima de 80m (Vieira e Brum Ferreira, 1998), situando-se, na sua maioria, acima dos 1650 m – nível acima do qual se encontrariam as neves perenes. Ao contrário da calote de gelo no planalto, as línguas glaciárias que dela escoava, apresentariam dimensões variadas e consideravelmente maiores. O glaciar do Zêzere, que teria atingido cerca de 300m de espessura, cerca de 13 km de comprimento e a altitude mínima de 680 m, segundo Daveau (1971) (Vieira e Brum Ferreira, 1998), seria a “língua” glaciária mais extensa sendo alimentada pelos circos da Candeeira (vale tributário suspenso transversal ao Zêzere) e do Alto Zêzere. Estas dimensões, segundo Vieira (2004), seriam ligeiramente diferentes. Aplicando os modelos de Schilling e Hollin (1981), Vieira determinou que a calote de gelo ocupava 66.2 km<sup>2</sup>, tinha uma espessura máxima de 93 m na bacia glaciária da Estrela e 344 m na bacia glaciária do Zêzere (Fig. 1.24 e 1.25).

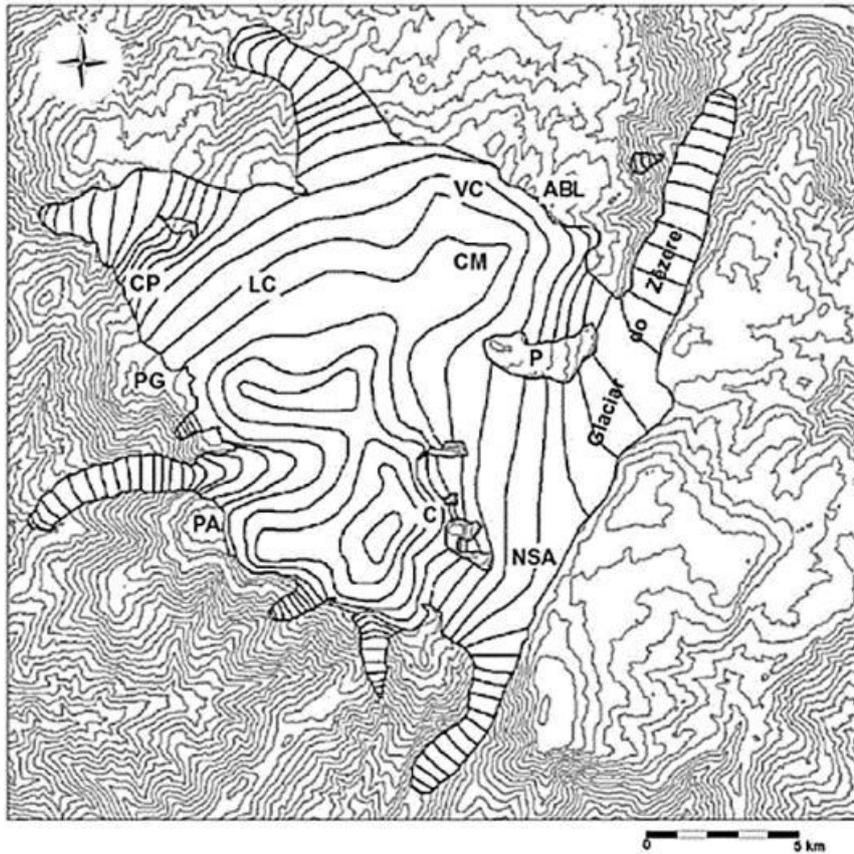


Figura 1.23 - Modelo esquemático da topografia dos glaciares no Último Máximo da Glaciação. ABL - Alta Barroca das Lameiras; C - Cântaros; CM - Curral do Martins; CP - Cabeço do Picoto; LC - Lagoa Comprida; NSA - Nave de Santo António; P - Piomal; PA - Penha dos Abutrers; PG - Penha do Gato; VC - Vale do Conde; Equidistância das curvas de nível 50m (extraído de Espinha Marques, 2007).

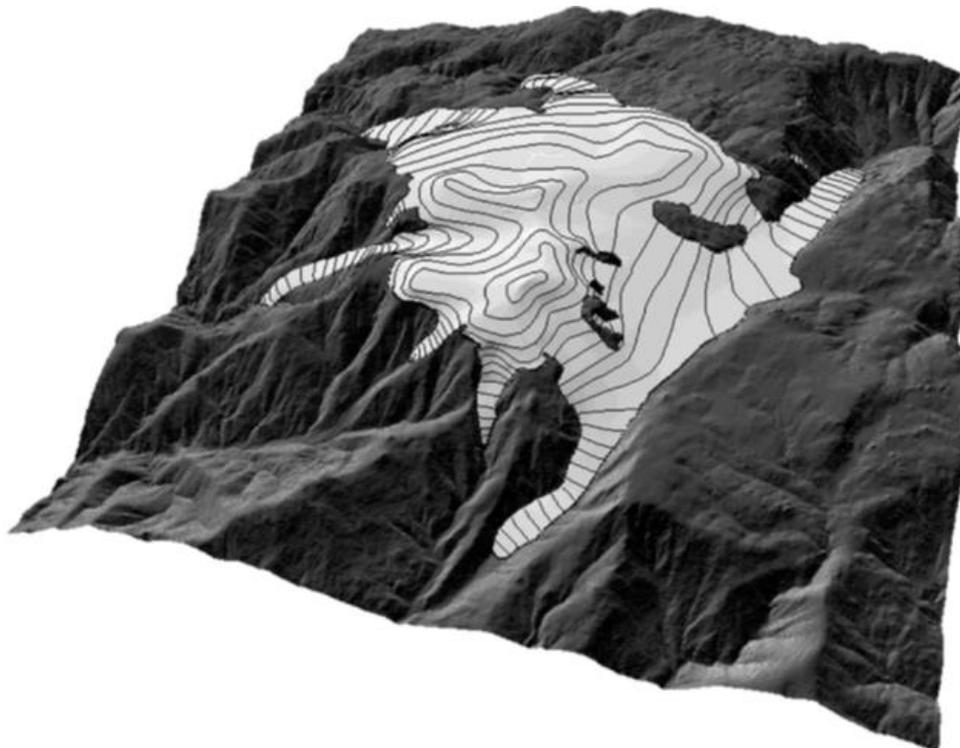


Figura 1.24 - Modelo dos glaciares da Serra da Estrela (extraído de Vieira 2008)

A atividade glacial afetou o relevo da Serra da Estrela não só através da ação erosiva, mas também através da deposição dos sedimentos, como por exemplo, moreias e *tills* que podem ser observados na zona do vale do Zêzere. Destas duas, as estruturas mais comuns são as moreias, sendo possível observar moreiras laterais frequentemente. Estas por norma constituem cristas alongadas e estreitas com alguns metros de altura e várias centenas de metros de comprimentos. A origem destas estruturas, está associada a acumulação de material, no caso da Serra da Estrela, de blocos ou calhaus arredondados, na lateral do glacial e que acabam por se depositar em interflúvios mais ou menos planos ou em vertentes de declive pouco acentuado. Os *tills*, apesar de menos frequentes, também podem ser observados. Verifica-se que os *tills* subglaciares são os mais comuns, correspondendo a depósitos compactos devido a pressão do glacial e são constituídos por areias e calhaus sem estrutura aparente. Existem diversas estruturas, também associadas ao Último Máximo Glaciário, que caracterizam o afloramento da Estrela. Um outro exemplo destas estruturas são os circos (popularmente conhecidos como Covão) – estruturas com forma de anfiteatro rodeado por vertentes abruptas. Estes locais tendem a funcionar como pontos de acumulação de neve sendo que, nos casos em que o circo é fechado, no verão podem formar lagos. Noutras ocasiões, os fundos dos circos podem ser preenchidos por sedimentos, tornando-se locais bastante férteis.

No presente, o relevo existente é descrito por Vieira (2004) salientando o contraste entre os planaltos, situados acima dos 1400 m e os vales e escarpas, acima dos 600 m, para além das heranças das fases frias do Plistocénico Superior. Também é mencionada a ação erosiva causada pelos glaciares, como fonte de contraste, uma vez que esta causou a remoção, quase total, do rególito nos planaltos mais elevados (>1600 m) obtendo superfícies praticamente desprovidas de solo e vegetação. O movimento glacial e a acumulação de detritos e sedimentos ocorria por norma nas zonas marginais dos planaltos e nos vales (Daveau, 1971; Vieira, 2004), razão pela qual esses são os locais de maior número de evidências da glaciação. Para além disto Vieira (2004) destacou um conjunto de elementos de grande importância hidrogeológica, dos quais depende, em grande parte, a dinâmica geomorfológica atual dos planaltos e altos vales da serra. Os fatores distinguidos foram o clima, a distribuição da vegetação e a influência antrópica sobre esta, as particularidades do relevo da montanha e a importância das heranças geomorfológicas paisagem atual.

#### 1.4. Enquadramento Climatológico

Em relação ao clima, Portugal Continental encontra-se entre o anticiclone dos Açores e a zona das depressões subpolares. Esta particularidade, da posição geográfica do território português, indica que, de forma geral, o clima e a sua variabilidade espacial são complexos. O clima é determinado por fatores geográficos como distancia ao oceano, latitude e características do relevo, em particular a orientação e altitude das regiões montanhosas (e.g. Daveau et al., 1977; Ribeiro et al., 1994; Lautensach, 1932). Tendo isto em conta é possível observar que, na zona NW do país, existe uma grande influencia atlântica, ao passo que na zona meridional existe uma marcante influência mediterrânica (Mora 2006).

A Serra da Estrela localiza-se numa zona de transição, onde acaba por desempenhar o papel de “barreira orográfica à circulação de massas de ar húmidas oriundas do Atlântico” (Carvalho, 2013). Esta região é caracterizada como tendo verões secos e quentes, tipicamente mediterrânicos, controlados pela circulação de ar Atlântico e pela altitude do próprio maciço (Daveau et al., 1997; Vieira 2004) e épocas húmidas com precipitação média anual, nos planaltos, superior a 2000 mm, podendo chegar aos 2500 mm na zona do Alto da Torre. Estes fenómenos são influenciados pela altitude do maciço e pela posição/orientação da serra (efeito “barreira”) (Daveau et al., 1997; Vieira 2004; Vieira & Mora, 1998).

Regionalmente observa-se um aumento da precipitação com a altitude, mas à escala local é difícil perceber e interpretar a distribuição espacial da precipitação (Espinha Marques, 2007, Vieira, 2004).

Este facto pode estar associado aos processos de convergência e divergência que regem o fluxo de massa de ar (Daveau et al., 1977), sendo estes processos, também, afetados pela morfologia da serra. Estas condições manifestam-se numa precipitação intensa e concentrada no tempo, no flanco E, ao passo que do lado O da serra a distribuição da precipitação ocorre ao longo de um maior número de dias do que na zona oriental, mas com menor intensidade, resultando num valor médio anual ligeiramente inferior (Fig. 1.26).

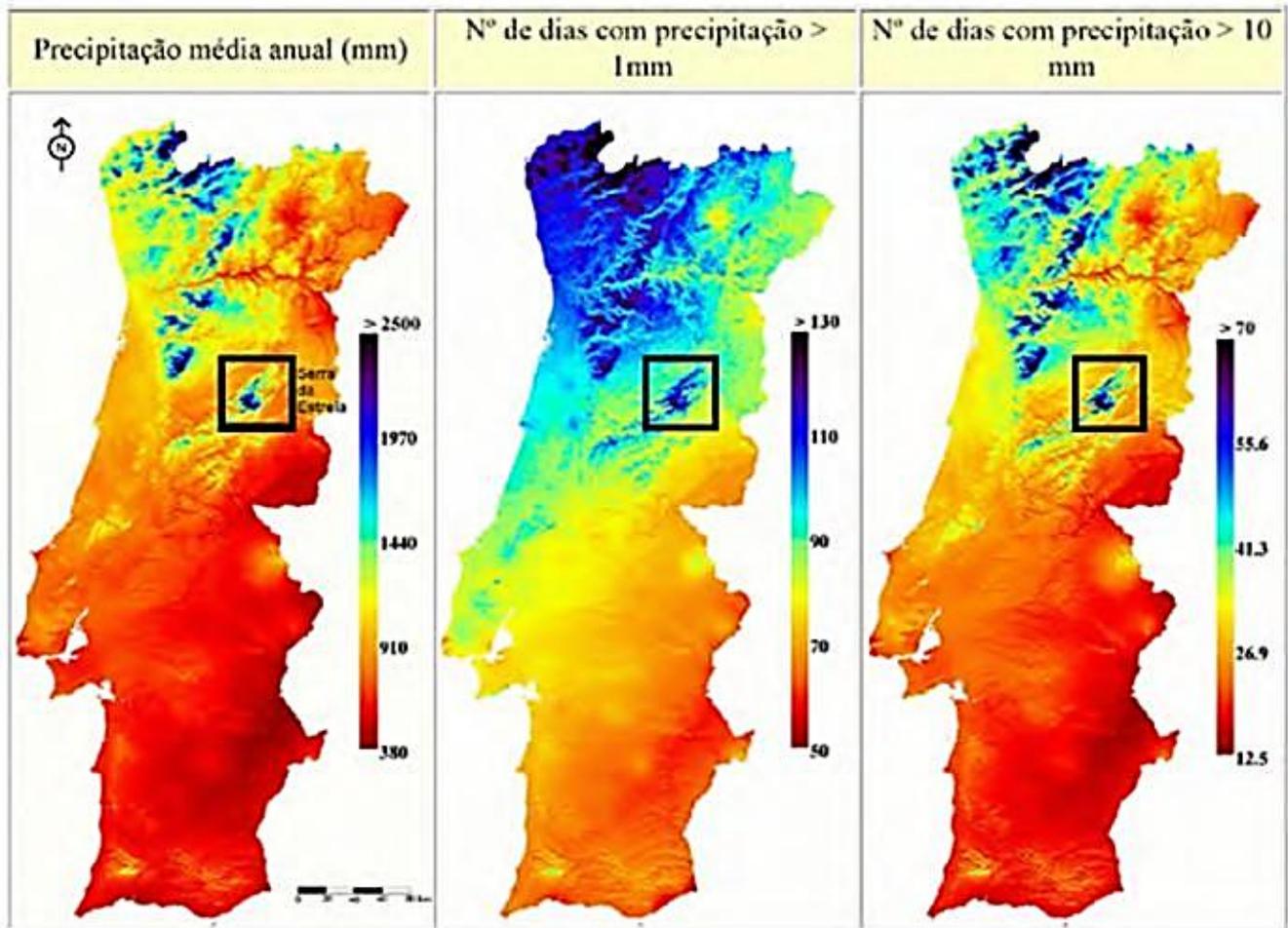


Figura 1.25 - Distribuição espacial da precipitação média anual em Portugal Continental com base nas Normais Climatológicas relativas ao período 1961-1990 (extraído de Espinha Marques, 2007)

Mais uma vez, isto pode estar associado à posição de transição da Serra da Estrela, que permite que haja um domínio de ventos Atlânticos na zona W e influência dominante do clima mediterrânico na zona E e nos vales interiores.

Esta dualidade climática observada no maciço da Estrela também afeta a temperatura, sendo o relevo, a latitude e a proximidade à costa, que determinam, em grande parte, este fator (Fig. 1.27).

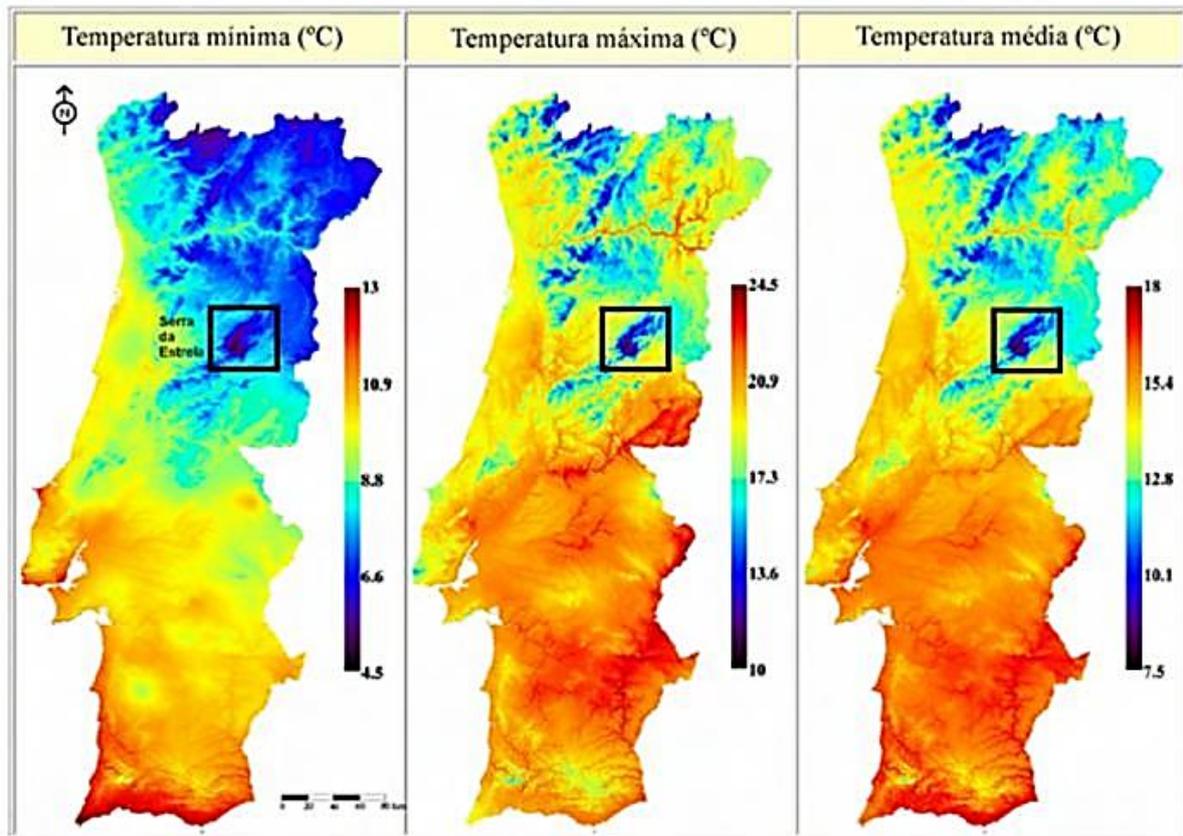


Figura 1.26 - Distribuição espacial da média anual de temperatura do ar em Portugal Continental com base nas Normais Climatológicas relativas ao período 1961-1990 (Extraído de Espinha Marques, 2007)

As características do relevo, como já foi emocionado, controlam o fluxo das massas de ar. À semelhança da precipitação, no que diz respeito a temperatura, as regiões montanhosas também tomam partido na sua distribuição espacial (Fig.1.26), através do referido efeito “barreira”. Neste caso, este manifesta-se por um contraste entre as temperaturas nas zonas a NO (litoral) e as regiões do interior (Espinha Marques, 2007). Segundo Mora (2006) os ventos de O e de NE dominantes no inverno apresentam maiores velocidades do que os registados durante os meses de verão provenientes de SE (influência mediterrânica).

A latitude influencia a temperatura, principalmente, na variação na taxa de incidência solar na serra, determinando a distância do Sol à Terra e o número de horas de exposição solar ao longo do ano (Mora 2006). A Serra da Estrela apresenta como mês mais quente o mês de julho, podendo apresentar temperaturas medias entre 19 °C e 22 °C, e janeiro como o mês mais frio, atingindo temperaturas inferiores a 7 °C e inferiores a 4 °C nos planaltos e na Torre, respetivamente (Vieira & Mora, 1998; Espinha Marques et al., 2009).

Com base nos valores das normais climatológicas (1951-1980) medidos em diversas estações meteorológicas da região é possível evidenciar uma tendência para o aumento da precipitação e diminuição da temperatura (relação inversa evidenciada na Fig.1.28) nas áreas mais elevadas da montanha, revelando-se assim a influência da altitude nestes dois fatores (Espinha Marques, 2007) (Fig. 1.28; 1.29; 1.30).

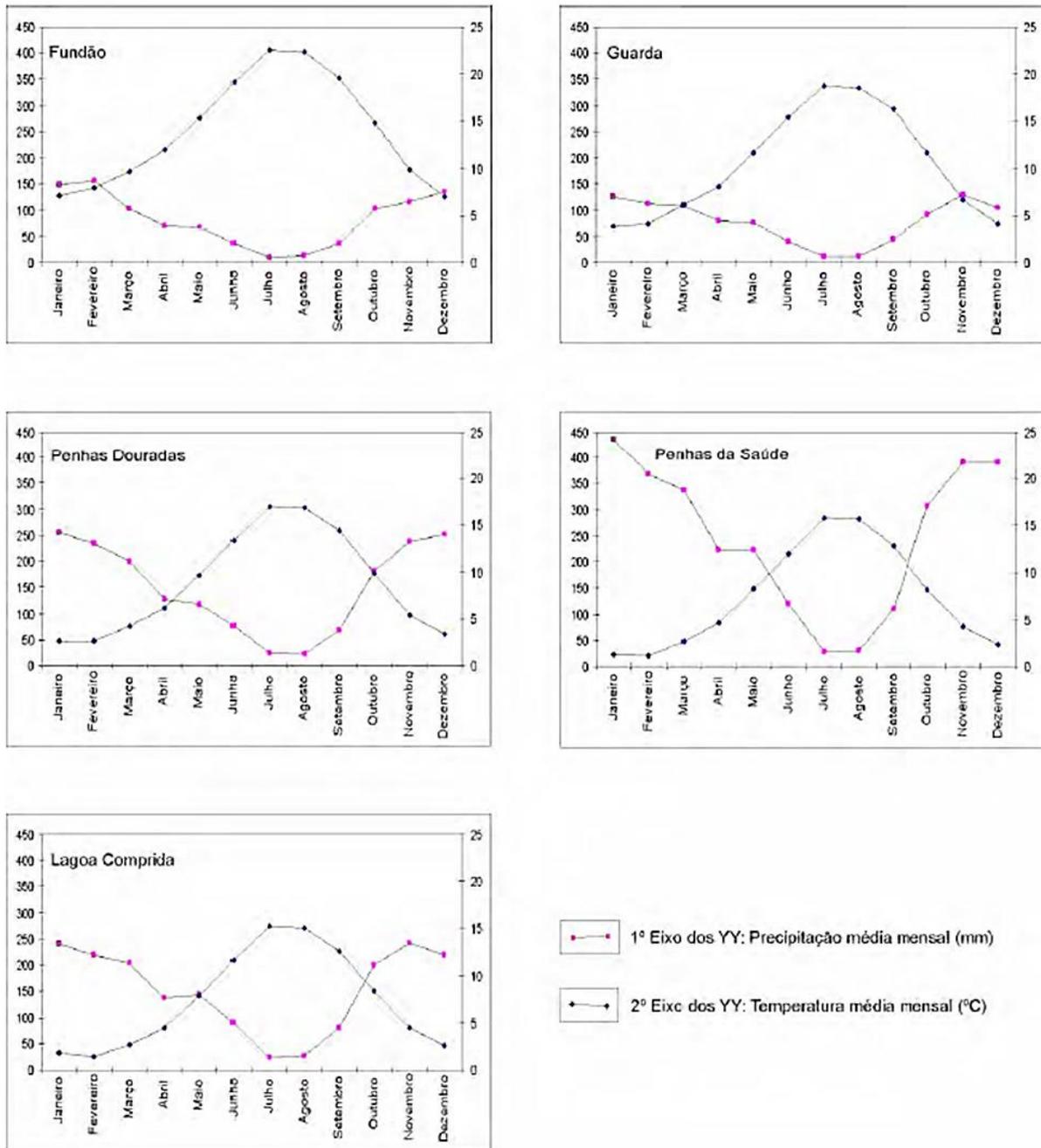


Figura 1.27 - Valores anuais da distribuição da temperatura e precipitação nas estações meteorológicas do Fundão, Guarda, Penhas Douradas, Penhas da Saúde e Lagoa Comprida (extraído de Espinha Marques, 2007).

A particularidade da localização do maciço da Serra da Estrela também é evidenciada quando se estuda a classificação do clima de Portugal continental através do método de Köppen-Geigere com base nas normais climatológicas de 1971-2000 (Instituto de Meteorologia, 2011; IM & AEM, 2001, em Espinha Marques, 2007). Com base nesta classificação verifica-se que na zona S da Serra da Estrela predomina um clima tipo Csa, correspondente a temperaturas amenas e verões quentes e secos, e nas regiões mais a norte do maciço existe o domínio de um clima tipo Csb, caracterizado por temperaturas também amenas e verões amenos e secos. Desta forma percebe-se que o clima da região não chega a ser um clima tipicamente mediterrânico.

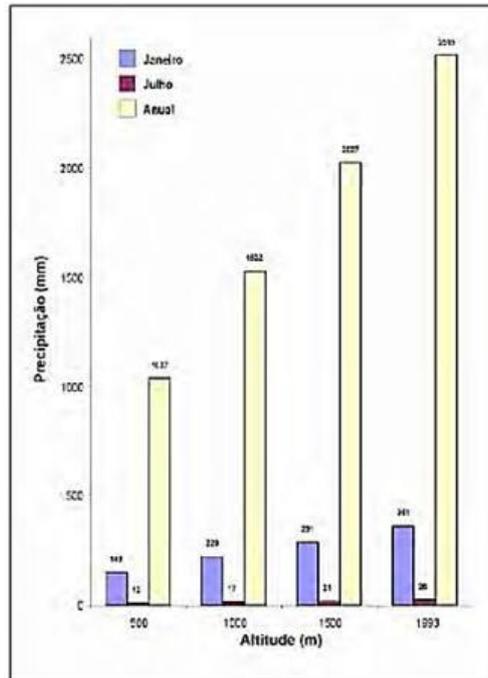


Figura 1.28 – Representação gráfica de Precipitação versus Altitude com base nos valores das normais climatológicas relativas ao período 1953-1983 (extraído de Espinha Marques, 2007).

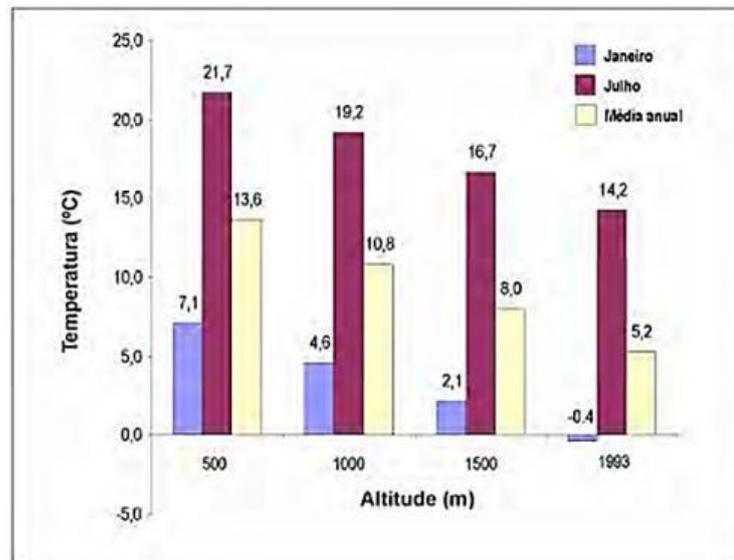


Figura 1.29 – Representação gráfica de Temperatura versus Altitude com base nos valores das normais climatológicas relativas ao período 1953-1983 (extraído de Espinha Marques, 2007).

Dados relativos à queda de neve são referidos por autores como Espinha Marques (2007) e Vieira (2004), como sendo escassos e de baixa qualidade, razão pela qual diversos estudos apontam a queda de neve como um evento irregular, tanto espacial como temporalmente (Andrade et al., 1992, em Espinha Marques, 2007; Mora & Vieira, 2004). Contudo a sua importância hidrológica justifica o interesse no conhecimento do seu padrão de precipitação e evolução sazonal da cobertura nevosa, sendo que este fenómeno afeta a infiltração e recarga de aquíferos (Espinha Marques, 2007). Apesar de existir o interesse de aprofundar o conhecimento sobre este fenómeno, a sua caracterização apresenta alguns desafios, sendo alguns: a não existência de registos relativos a espessura da neve no solo, quantitativos

de neve, das suas características e o facto de não existirem estações meteorológicas situadas acima dos 1610m de altitude, onde a neve se conserva durante mais tempo, impossibilitando a caracterização das áreas mais altas da Serra da Estrela (e.g. Vieira 2004).

A precipitação nevosa, a semelhança da precipitação geral, tende a aumentar com a altitude existindo, no entanto, exceções locais para esta tendência regional. Um exemplo disto é o caso da Penhas da Saúde, onde o número de dias com solo coberto de neve e número de dias com queda de neve é inferior aos números observados nas Penhas Douradas (Espinha Marques, 2007).

## CAPÍTULO 2 – MÉTODOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE

### 2.1 – Seleção dos locais e Amostragem

Os locais de amostragem foram selecionados com base no historial bibliográfico da zona, por forma a garantir a existência de elementos de comparação com os parâmetros que iriam ser determinados. O local selecionado para as primeiras campanhas de amostragem foi o BZMM. Esta zona foi previamente estudada por diversos autores (e.g. Oliveira et al. 1992, Ferreira & Vieira, 1999, Espinha Marques, 2007, Vieira, 2004). Neste estudo foram realizadas 4 campanhas de amostragem nos locais previamente identificados.

A primeira campanha foi realizada em outubro de 2017 tendo sido estabelecidos 5 locais de amostragem (As<sub>1</sub>; As<sub>2</sub>; As<sub>3</sub>; As<sub>4</sub>; As<sub>5</sub> - Fig. 2.1).

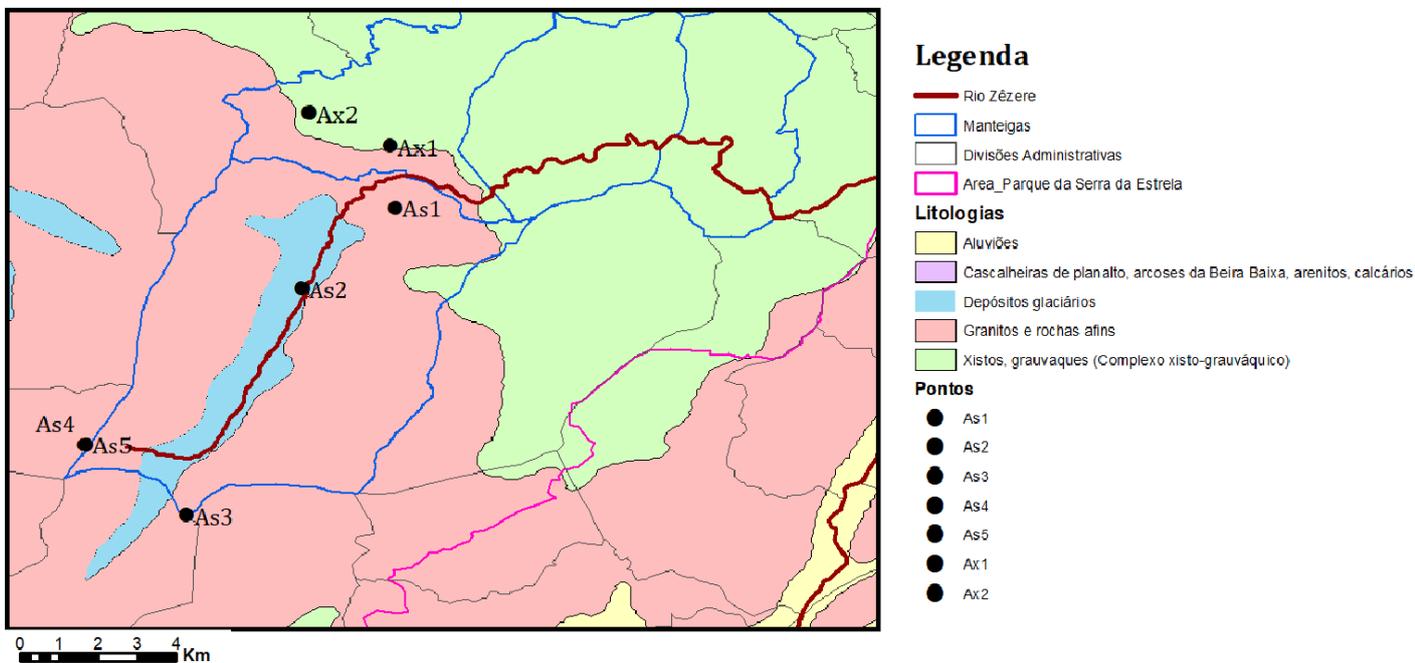


Figura 2.1 – Localização dos locais de amostragem.

Numa primeira campanha de amostragem recolheram-se amostras não perturbadas para a realização de ensaio em laboratório para a determinação de permeabilidade. Com o objetivo de comparar os resultados foi realizada uma segunda campanha de amostragem em abril de 2018. Nesta, o objetivo foi repetir os ensaios de medição de permeabilidade in situ e de realizar a colheita das amostras para a determinação dos restantes parâmetros para caracterização dos solos da área estudada. Nesta segunda campanha foram colhidos entre 1.5 kg e 2 kg de amostra nos primeiros 3 locais (As<sub>1</sub>, As<sub>2</sub> e As<sub>3</sub>).

Uma vez que em abril não foi possível realizar, na totalidade, a amostragem devido ao facto dos locais mais altos da área de estudo (Alto da Torre) estarem cobertos com uma grande espessura de neve realizou-se em junho 2018 a colheita das amostras em falta (As<sub>4</sub> e As<sub>5</sub>)

Em qualquer das campanhas antes da realização da amostragem começou-se por limpar o local com uma enxada, retirando qualquer vegetação, de forma a facilitar obter uma amostra representativa do

horizonte A do solo. Para a obtenção das amostras não perturbadas, com vista à determinação da condutividade saturada em laboratório, foram utilizados anéis biselados. Estes anéis foram cravados no solo, a cerca de 5/7cm de profundidade, com ajuda de um martelo e depois foram retirados, ficando, a amostra, contida dentro do cilindro. De forma a manter a integridade das amostras foi colocada uma tampa em cada uma das extremidades do cilindro garantindo assim que as amostras conservavam a mesma estrutura que tinham no campo. Nas restantes campanhas, começou-se, tal como na primeira, por limpar o local onde se realizaria a amostragem com uma enxada, retirando qualquer vegetação, de forma a facilitar a cravação dos anéis até os 5/7cm (profundidade a partir da qual, em media, se encontra o horizonte A). Posteriormente, com auxílio de uma pá, martelo de geólogo e uma espátula as amostras (cerca de 2kg) foram colocados dentro de sacos devidamente identificados. Este processo foi repetido para cada um dos locais de amostragem selecionados previamente. Adicionalmente recolheram-se amostras remexidas para a determinação do pH, condutividade elétrica, curva granulométrica, textura, hidrofobicidade, e para a caracterização química. A utilização de cilindros de volume conhecido permitiu obter o volume conhecido de solo de forma a determinar a densidade aparente do mesmo.

Por fim na quarta campanha, realizada em março de 2019, foram colhidas amostras de solos numa zona de xistos localizada a NE da BZMM (Fig. 2.1). Tal como nas outras, nesta campanha efetuou-se a amostragem de solos, em que a estrutura deste, foi preservada para a determinação da condutividade hidráulica e densidade aparente. Adicionalmente recolheram-se amostras remexidas para a determinação do pH, condutividade elétrica, curva granulométrica, textura, hidrofobicidade, etc. Esta campanha foi realizada em março de 2019.

No total foram colhidas 7 amostras de solo (5 em contexto granítico e 2 em contexto em contexto xistento)

## 2.2. Ensaios realizados *in situ*

### 2.2.1. Determinação do teor de humidade

Durante estas amostragens, em cada um dos locais foram realizadas medições do teor de humidade com uma sonda de impedância da marca Delta T, modelo ML2X (Fig.2.2).



Figura 2.2 – Medidor de teor de humidade da marca Delta-T Devices HH 2.

### 2.2.2. Determinação da condutividade hidráulica não saturada

Para a determinação da condutividade hidráulica não saturada foi utilizado o infiltrómetro de minidisco da Decagon Devices, Inc (Fig. 2.3). O formato compacto deste equipamento torna-o fácil de transportar, de utilização simples e o facto de não requerer grande montagem nem grandes quantidades de água para o seu funcionamento, tornam este aparelho ideal para a realização de ensaios *in situ*.

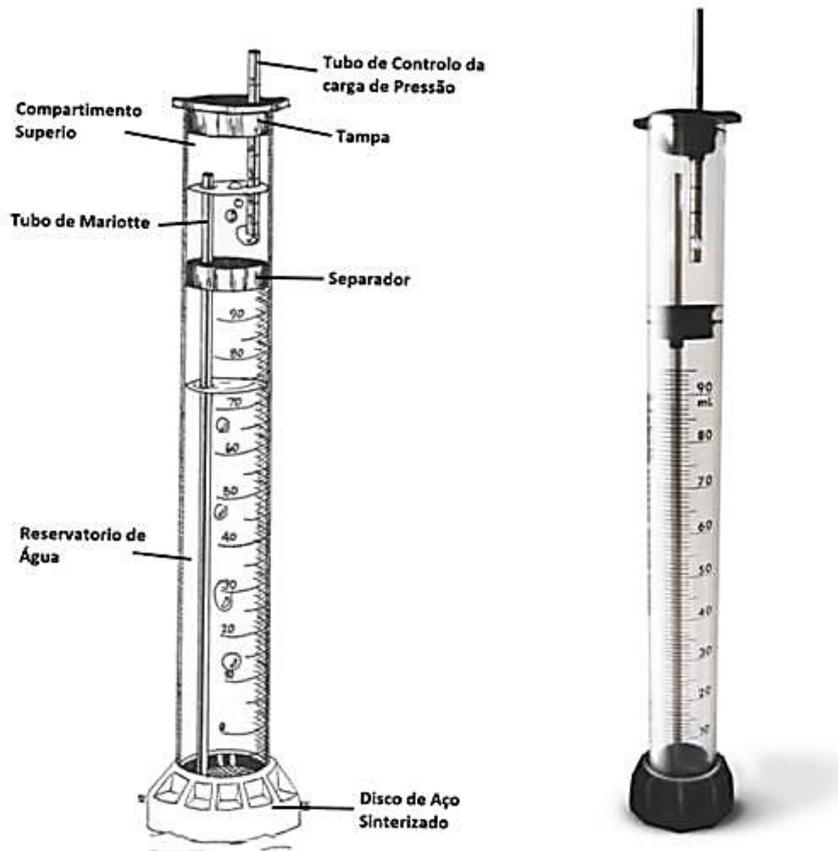


Figura 2.3 - Esquema do infiltrómetro minidisco da Decagon Devices, Inc.

O funcionamento do infiltrómetro é bastante simples. Ambas as câmaras têm de ser preenchidas com água, sendo que o reservatório (inferior) contém a água que se infiltra no solo, e a câmara superior, através do tubo de controlo de carga, permite variar a taxa de sucção que o solo exercerá na água do reservatório. Na base do infiltrómetro encontra-se um disco de aço inox que permite que a água se infiltre no solo, impedindo, ao mesmo tempo, que haja fuga quando o instrumento não se encontra em contacto com o solo. Quando o aparelho se encontra funcional basta colocá-lo em contacto com a superfície do solo, permitindo que a sucção que o solo exerce sobre o disco poroso quebre a tensão superficial da água ao longo da superfície do disco (Robichaud et. al. 2008), ajudando assim, após alguns minutos, à infiltração desta no solo. A taxa de infiltração da água no solo é aumentada pelas características hidráulicas do solo em questão, sendo que para os solos com características mais hidrofóbicas não existe sucção suficiente (carga de pressão) para quebrar a tensão superficial da água no disco (Decagon Devices, Inc., 2016). O procedimento utilizado na realização dos ensaios *in situ* foi o seguinte:

- 1- Encheu-se a camara superior até  $\frac{3}{4}$  da sua capacidade máxima, através do tubo de controlo da carga de pressão ou removendo a tampa. Neste passo teve-se o cuidado de se utilizar água corrente e não água destilada, uma vez que esta pode alterar o balanço iónico e pode flocular ou dispersar as argilas que se encontram no solo (Fig. 2.4a).
- 2- Posteriormente colocou-se a tampa na camara superior e modificou-se a carga de pressão deslizando o tubo de controlo da carga para dentro da camara até este tocar no separador. Este procedimento garante que não há fugas através do disco na base do infiltrómetro. De seguida inverteu-se o aparelho, removeu-se a base que contem o disco de aço para se poder encher o reservatório inferior com água (Fig. 2.4b).
- 3- Verificou-se que o tubo de Mariotte se encontrava 6 mm acima da base.
- 4- Colocou-se a base do infiltrómetro de volta.
- 5- Por último colocou-se o instrumento na vertical (com a base para baixo) de forma a verificar se existiam fugas no equipamento, se não então o aparelho estaria funcional e pronto a ser utilizado.

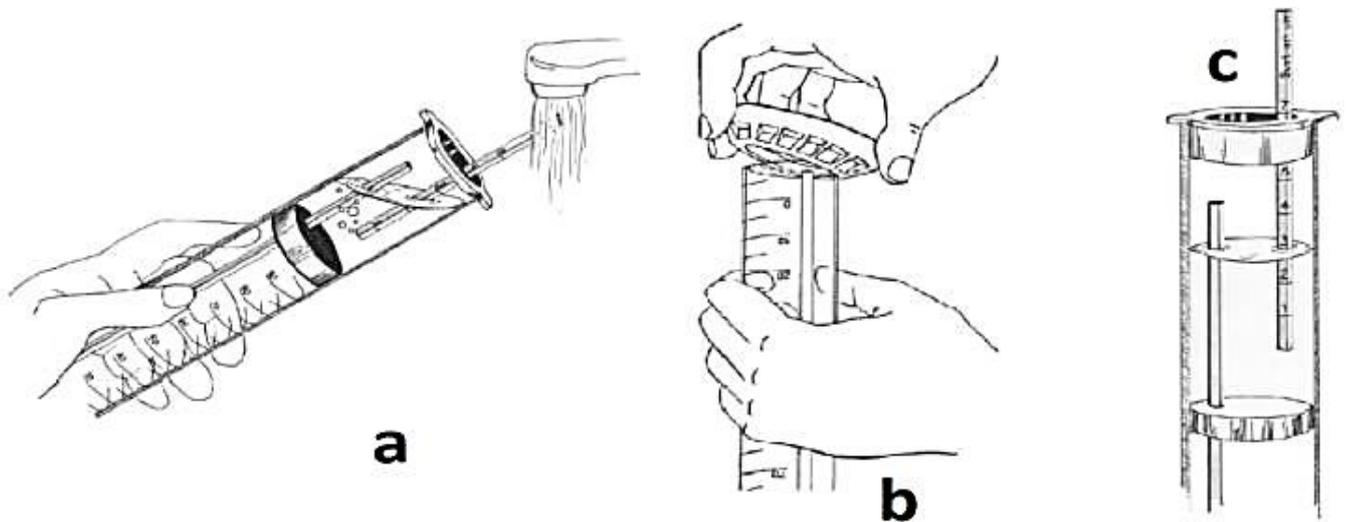


Figura 2.4 - Processo de preparação do equipamento para o ensaio de infiltração.

Antes de colocar o infiltrómetro no solo, selecionou-se a carga de pressão (sucção) pretendida. Neste caso escolheu-se a carga de 1cm (Tabela 2.1), deslizando o tubo de controlo (Fig. 2.4c) da carga até a marca do 1cm estar ao nível da água no compartimento superior. Esta carga foi escolhida de forma a garantir que não haveria fugas através da base do infiltrómetro e ao mesmo tempo porque é sensível o suficiente para permitir medir a infiltração e a hidrofobicidade, seguindo o método de Robichaud et. al., 2008 e utilizando a sua classificação, tendo em conta os valores de infiltração no primeiro minuto.

Tabela 2.1 - Parâmetros de Van Genuchten para as 12 classes texturais do solo e os respetivos valores de A para um disco de 2.26 cm de raio (extraído do manual de utilizador do infiltrómetro de minidisco, Decagon Devices).

Textura									
			-0,5	-1	-2	-3	-4	-5	-6
	$\alpha$	$n$	A						
Areia	0,145	2,68	2,84	2,4	1,73	1,24	0,89	0,64	0,46
Loamy Sand	0,124	2,28	2,99	2,79	2,43	2,12	1,84	1,61	1,40
Sandy Loam	0,075	1,89	3,88	3,89	3,91	3,93	3,95	3,98	4,00
Loam	0,036	1,56	5,46	5,72	6,27	6,87	7,53	8,25	9,05
Silt	0,016	1,37	7,92	8,18	8,71	9,29	9,90	10,55	11,24
Silt Loam	0,020	1,41	7,10	7,37	7,93	8,53	9,19	9,89	10,64
Sandy Clay Loam	0,059	1,48	3,21	3,52	4,24	5,11	6,15	7,41	8,92
Clay Loam	0,019	1,31	5,86	6,11	6,64	7,23	7,86	8,55	9,3
Silty Clay Loam	0,010	1,23	7,89	8,09	8,51	8,95	9,41	9,90	10,41
Argila arenosa	0,027	1,23	3,34	3,57	4,09	4,68	5,36	6,14	7,04
Silt argiloso	0,005	1,09	6,08	6,17	6,36	6,56	6,76	6,97	7,18
Argila	0,008	1,09	4,00	4,10	4,30	4,51	4,74	4,98	5,22

De acordo com a informação disponibilizada no manual do infiltrómetro regra geral uma carga de 2 cm (-2 cm) funciona para a maioria dos solos. É especificado que para solos arenosos (infiltração mais rápida) a carga deve ser mais negativa (-6 cm) ao passo que para solos argilosos compactos a carga deve ser menos negativa (-0.5 cm, por exemplo). A possibilidade de alterar a carga (sucção) permite estudar a influência do diâmetro dos poros na infiltração. Esta relação pode ser observada na figura 2.5. Por exemplo, no caso de se ajustar o tubo de controlo de carga para uma sucção de 7 cm apenas os poros com diâmetros inferiores a 0.41 mm vão ser preenchidos durante a infiltração da água. Ao passo que se for selecionada uma carga de 1 cm, como foi o caso, serão preenchidos poro com diâmetros até 2.90mm.



Figura 2.5 - Tabela que mostra a relação entre a sucção selecionada no infiltrómetro e a dimensão dos poros. (Adaptado de <http://www.decagon.com.br/hidrologia/conductividade/mini-disk/>)

Outro dos cuidados que foi tido em conta foi o de assegurar que o infiltrómetro era pousado em superfícies horizontais de solo, sendo que no campo estas superfícies foram criadas manualmente com a ajuda de uma pá. Por outro lado, teve-se o cuidado de assegurar simultaneamente que o aplanamento do solo não afetava a porosidade do mesmo.

Para a realização da medição propriamente dita bastou colocar o infiltrómetro no solo, garantindo um bom contacto entre a base porosa e a superfície (solo). A infiltração de um determinado volume de água foi cronometrada e o tempo registado. Este volume é representado pela descida da água no reservatório inferior e é medido na régua que se encontra no próprio aparelho. Normalmente para o cálculo rigoroso da condutividade hidráulica não saturada é recomendado que seja permitida a infiltração de 15 ml a 20 ml de água por ensaio. As medições em cada ensaio foram feitas em intervalos de entre 30 s e 1 min.

Com base nos valores de volume (V) e tempo (t), pode-se, então, calcular a condutividade hidráulica, tal como é demonstrado em Olorunfemi e Fasinmirin, 2017 e no manual de utilizador do infiltrómetro, através método de Zhang (1997). Este autor propôs um método que tem em consideração a infiltração acumulada *versus* tempo através da função:

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (1)$$

onde  $C_1$  ( $m s^{-1}$ ) está relacionado com a condutividade hidráulica e  $C_2$  ( $m s^{-1/2}$ ) corresponde a sorvidade do solo. A condutividade hidráulica (k) é, assim, calculada:

$$K = \frac{C_1}{A} \quad (2)$$

onde  $C_1$  é obtido determinando o pendor da curva “infiltração acumulada vs. raiz quadrada do tempo”. E A é um valor relacionado com os parâmetros de Van Genuchten (Tabela 2.1) para um determinado tipo de solo e para a taxa de sucção selecionada e o raio do disco do infiltrómetro. A é calculado através de uma das seguintes equações:

$$A = \frac{11,65 \times (n^{0,1} - 1) \times \exp^{2,92 \times (n-1,9) \times \alpha h_0}}{(\alpha r_0)^{0,91}} \quad \text{para } n \geq 1,9 \quad (3)$$

$$A = \frac{11,65 \times (n^{0,1} - 1) \times \exp^{7,50 \times (n-1,9) \times \alpha h_0}}{(\alpha r_0)^{0,91}} \quad \text{para } n \leq 1,9 \quad (4)$$

As variáveis,  $n$  e  $\alpha$  são os parâmetros de Van Genuchten,  $r_0$  é o raio do disco do infiltrómetro e  $h_0$  é a carga de pressão (sucção). Os valores dos parâmetros de Van Genuchten, a sucção, valores de A, o raio do disco e a textura do solo encontram-se relacionados na tabela 2.1.

Todos estes elementos são calculados automaticamente numa macro de Excel providenciada pela própria empresa Decagon Devices, Inc., sendo apenas necessário fornecer os dados de campo (volume e tempo).

## 2.3. Determinação de parâmetros em laboratório

### 2.3.1. Granulometria e textura

Apos a amostragem foi necessário proceder à determinação dos parâmetros de caracterização das amostras. Começou-se por peneirar as amostras. Este processo teve dois objetivos: (a) determinar a distribuição do tamanho das partículas nas amostras e (b) obtenção da fração inferior a 2 mm.

Para a crivagem das amostras, as amostras foram colocadas numa estufa, a uma temperatura de cerca de 50°C. Após a secagem as amostras foram pesadas e desagregadas com ajuda dum rolo facilitando a futura peneiração das amostras.

### Curvas Granulométricas (textura dos solos)

Para a determinação da curva de distribuição granulométrica foram utilizadas as amostras remexidas. As amostras (As<sub>1</sub>, As<sub>2</sub>, As<sub>3</sub>, As<sub>4</sub>, As<sub>5</sub>, Ax<sub>1</sub> e Ax<sub>2</sub>) foram colocadas na estufa para secarem sendo de seguida desagregadas. Para a construção da curva granulométrica as amostras foram peneiradas utilizando a seguinte sequência de crivos: 2 mm; 1mm; 500 µm; 250 µm; 180 µm; 90 µm; 53 µm; 38 µm (Fig. 2.6).



Figura 2.6- Sequência de peneiros (2 mm; 1 mm; 500 µm; 250 µm; 180 µm; 90 µm; 53 µm; 38 µm) utilizada para a peneiração das amostras colhidas na Serra da Estrela.

A peneiração foi feita num agitador de bancada automático, sendo que no fim de cada ciclo de peneiração, foi necessário pesar o conteúdo retido em cada um dos crivos (quantidade de amostra retida). Este valor foi posteriormente utilizado para a construção do gráfico de distribuição do tamanho das partículas (Fig. 2.7). Este processo foi repetido para cada uma das amostras, sendo que os pesos, correspondentes as quantidades de amostra retida para cada crivo na peneiração de cada amostra, foram anotados.

Com isto, o passo seguinte foi determinar o gráfico de granulometria ao programa *Gradistat*®. Este programa, desenvolvido por Simon Blott, é disponibilizado gratuitamente na internet em formato Microsoft Excel permitindo assim a obtenção de resultados na forma de gráficos e resultados expressos nos quadros (folhas de cálculo) que constituem o programa. Este programa permite não só, representar a distribuição dos diferentes tipos de granulometrias existentes na amostra na forma de uma curva, como permite classificar o solo em relação a sua textura.

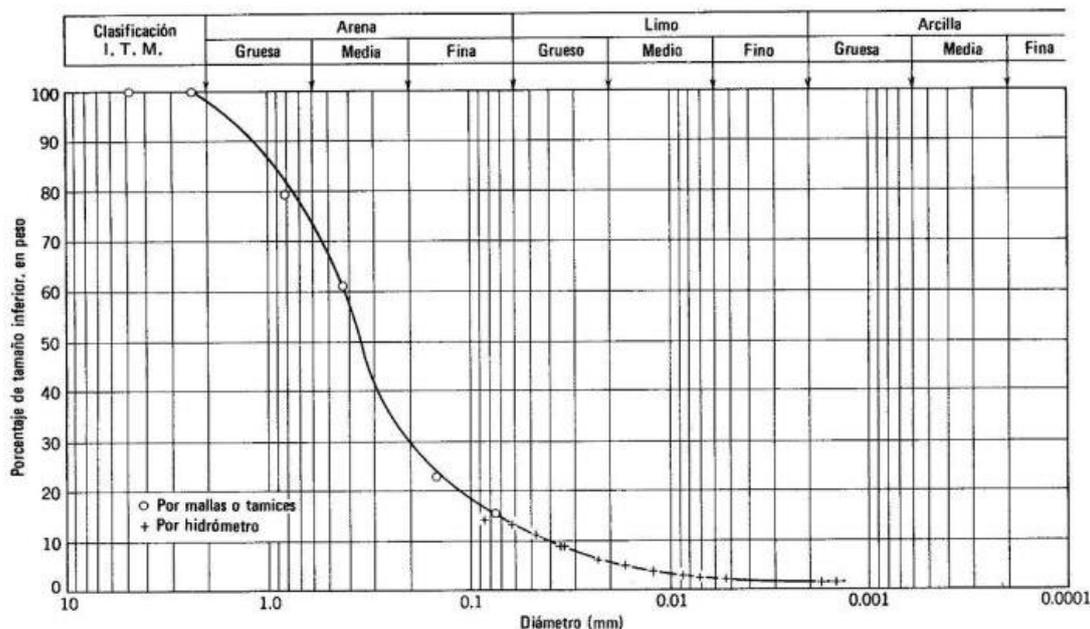


Figura 2.7 -Exemplo de curva granulométrica.

Com base na informação introduzida na folha de Excel, o programa calcula aritmeticamente, geometricamente (em micra) e logaritmicamente, utilizando a escala de phi, (Krumhien e Pettijohn, 1928) os parâmetros estatísticos. Também utiliza a interpolação linear para o cálculo de parâmetros estatísticos (assimetria, curtose,  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{90}/D_{10}$ ,  $D_{90}-D_{10}$ ,  $D_{75}/D_{25}$  e  $D_{75}-D_{25}$ ) pelo método gráfico de Folk e Ward (1957) (Blott, S. 2010, GRADISTAT) e permite obter uma descrição física do grupo textural onde a amostra se encaixa e atribuição do respetivo nome segundo a classificação de Folk (1954) (Blott, S. 2010, GRADISTAT) (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Escala granulométrica utilizada pelo GRADISTAT, modificada de Udden (1914) e Wentworth (1922). (retirado do GRADISTAT).

phi	mm/micra	Descrição	
>-10	>1024mm	Muito grosseira	Pedregulho
[-10; -9]	[1024mm; 512mm]	Grosseira	
[-9; -8]	[512mm; 256mm]	Média	
[-8; -7]	[256mm; 128mm]	Pequena	
[-7; -6]	[128mm; 64mm]	Muito pequena	Cascalho
[-6; -5]	[64mm; 32mm]	Muito grosseira	
[-5; -4]	[32mm; 18mm]	Grosseira	
[-4; -3]	[18mm; 8mm]	Média	
[-3; -2]	[8mm; 4mm]	Fina	
[-2; -1]	[4mm; 2mm]	Muito fina	Areia
[-1; 0]	[2mm; 1mm]	Muito grosseira	
[0; 1]	[1mm; 500 µm]	Grosseira	
[1; 2]	[500 µm; 250]	Média	
[2; 3]	[250 µm; 125 µm]	Fina	
[3; 4]	[125 µm; 63 µm]	Muito fina	Silt
[4; 5]	[63 µm; 31 µm]	Muito grosseira	
[5; 6]	[31 µm; 16 µm]	Grosseira	
[6; 7]	[16 µm; 8 µm]	Média	
[7; 8]	[8 µm; 4 µm]	Fina	
[8; 9]	[4 µm; 2 µm]	Muito fina	Argila
>9	>2 µm	Argila	

Para a obtenção da fração <2 mm, a utilizar para a determinação do pH, CE, análise química e mineralógica, hidrofobicidade, etc., colocou-se uma porção de amostra devidamente pesada num peneiro de malha de abertura de 2 mm e de seguida colocou-se a agitar num agitador automático. O tempo de agitação dependeu do tipo de amostra, bastando, em média, cerca de 40 minutos por amostra. Este processo foi repetido sistematicamente para cada amostra, sendo que a fração obtida, foi guardada em sacos plásticos devidamente referenciados.

### 2.2.2. Densidade Aparente ( $\rho$ )

Com o intuito de determinar a densidade aparente foram colhidas *in situ* amostras utilizando um amostrador cilíndrico (amostras “não perturbadas”). Para a colheita das amostras intactas foram utilizados anéis de amostragem, cilindros metálicos de 5 cm de altura e com 6 cm de diâmetro (Fig. 2.8a), de forma a garantir que a quantidade (volume) de solo amostrado era conhecida.

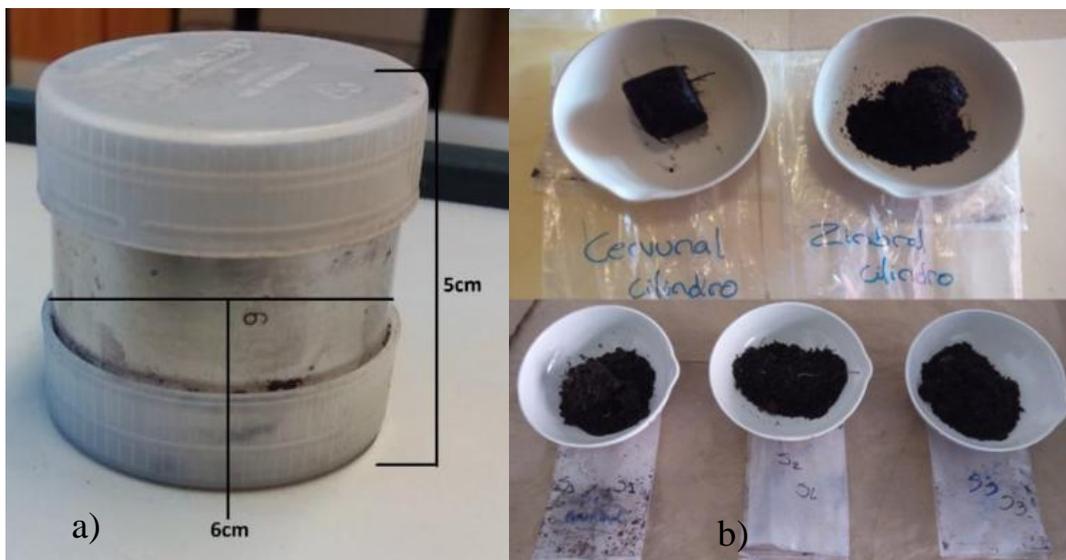


Figura 2.8 - (a) Anel de amostragem e as suas dimensões; (b) Secagem das amostras recolhidas em estufa.

No laboratório todas amostras (Fig. 2.8b) foram levadas a estufa a temperatura de 50 °C, durante algumas horas, de forma a ficarem completamente secas.

As amostras foram pesadas após a respetiva secagem. De seguida, aplicando a fórmula foi possível calcular a densidade aparente das amostras, considerando o peso previamente determinado da amostra ( $M_s$ - massa seca) e o volume inicial ( $V_t$ - volume correspondente ao cilindro de amostragem).

$$\rho = \frac{M_s}{V_t} \quad (5)$$

### 2.2.3. Condutividade Hidráulica Saturada

Para a determinação da condutividade hidráulica saturada (K), foram utilizadas amostras, colhidas *in situ*, não perturbadas, mantendo a estrutura do solo indeformada. Na amostragem foram utilizados cilindros de aço com 5 cm de altura e 6 cm de diâmetro (Fig. 2.9) para a colheita de amostras do horizonte A (a cerca de 5-8 cm da superfície).

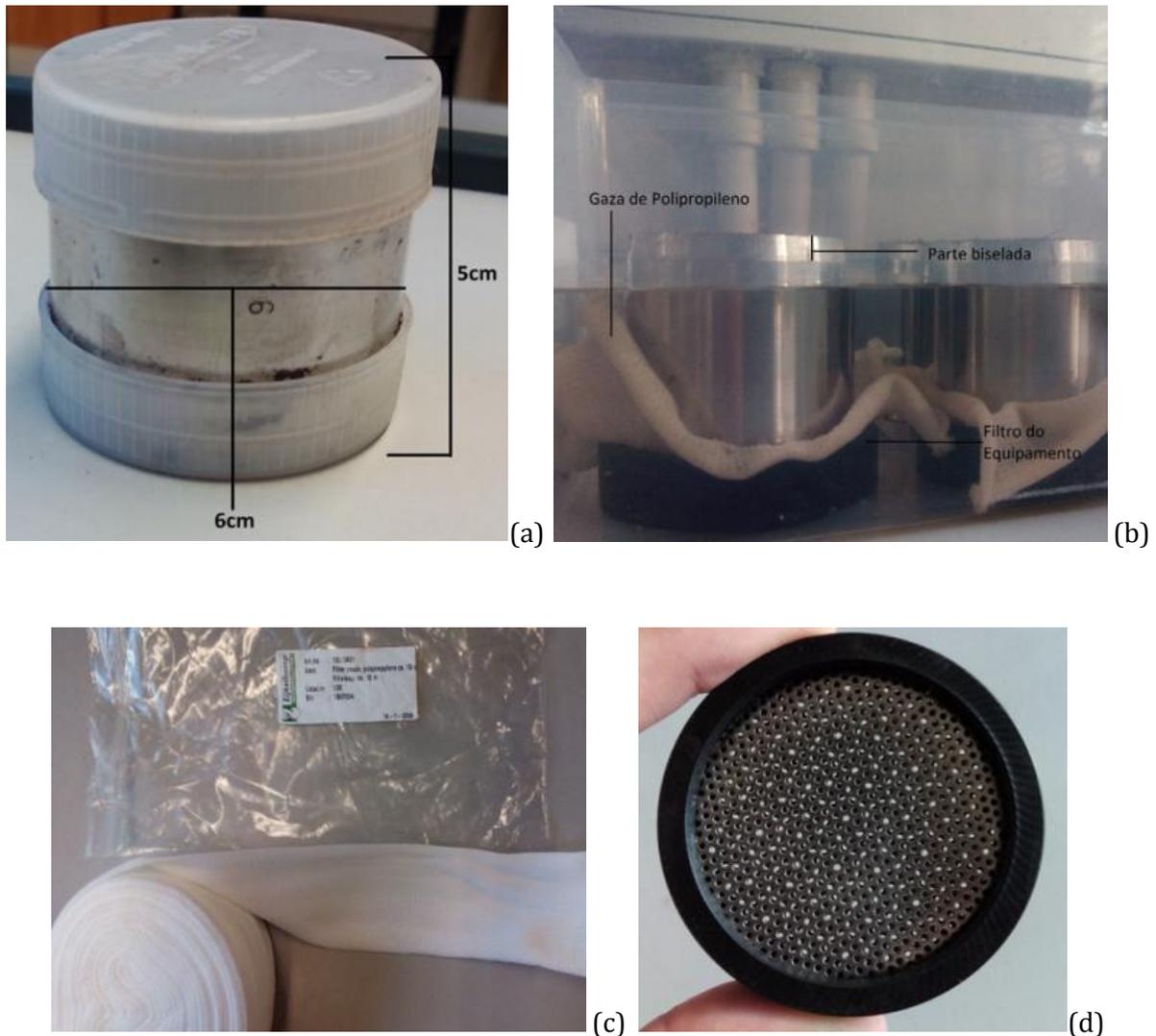


Figura 2.9 – (a) Anel de amostragem utilizado na amostragem das amostras não perturbadas de solo; (b) ensaios de; (c) filtro de polipropileno; (d)- filtro próprio do equipamento.

O anel foi inserido no horizonte alvo, entrando em contacto com o solo, primeiro, com a parte biselada de forma a facilitar a recolha da amostra. Uma vez colhida uma amostra, o cilindro contendo o solo foi selado, com tampas próprias, em ambas pontas do anel. Este processo foi repetido para cada uma das amostras, sendo que para cada um dos locais amostrados foram recolhidas 5 réplicas (com a exceção do primeiro local, As1), perfazendo no total 24 amostras

Antes de realizar os ensaios de permeabilidade em laboratório, num permeâmetro de bancada, as amostras foram previamente preparadas. Esta preparação consistiu na saturação das mesmas, uma vez que estas não se encontravam nesse estado no campo.

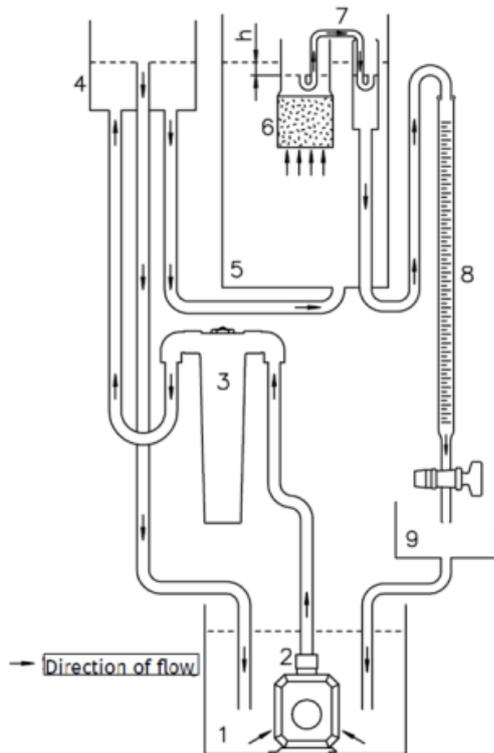
Para tal foram colocados nas primeiras 5 amostras “filtros” de gaze de polipropileno (Fig. 2.9b, c) e os filtros próprios do equipamento, (Fig. 2.9b, d), no topo do cilindro de amostragem (parte não biselada). De seguida as amostras foram colocadas num recipiente com água sem que esta cobrisse os cilindros por completo. Neste procedimento o lado não biselado (com filtro), ou seja, a parte superior em relação a forma como foram colhidas no campo, foi colocada em contacto com a água. O objetivo deste procedimento seria simular o processo de infiltração da água no solo, *in situ*, garantindo também a maior

saturação possível das amostras. Estas foram deixadas em repouso de forma a permitir a sua saturação devido à subida da água dentro dos cilindros.

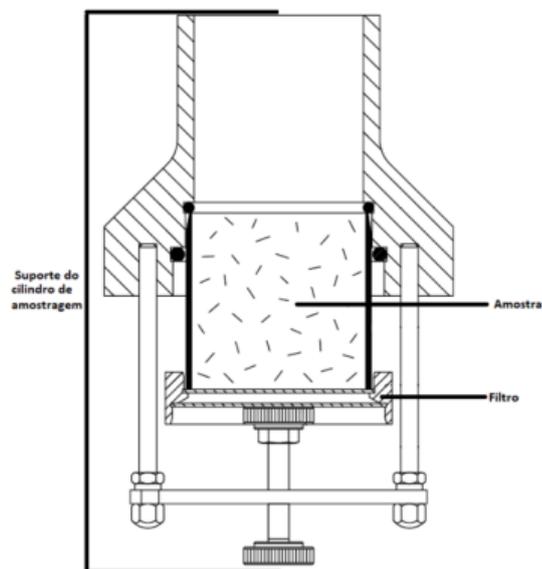
O equipamento utilizado para a determinação da condutividade hidráulica foi um permeâmetro de bancada de carga constante (Fig. 2.10).



(a)



(b)



(c)

Figura 2.10 – (a) Permeâmetro de bancada da marca Eijkelkamp: Soil & Water; (b) Esquema do permeâmetro de laboratório utilizado: 1- reservatório; 2 – bomba de circulação; 3 – filtro; 4 – regulador de nível de água; 5 – reservatório de plástico; 6 – amostra calçada; 7 – sifão de plástico; 8 – bureta; 9 – bacia de retenção; (c) Suporte dos anéis de amostragem (adaptados do manual de utilizador da Eijkelkamp Soil & Water, 2017).

O equipamento funciona de duas formas:

- (a) no sistema fechado a água é bombada de um reservatório (1), para um regulador de nível de água (4), utilizando uma bomba de circulação (2) e passando por um filtro (3). O regulador de nível está ligado a um depósito plástico (5) e tem um tubo que permite a levar a água em excesso de volta ao reservatório (1);
- (b) no sistema aberto a água vai diretamente da fonte de água até o regulador. Uma vez que ambos, o regulador e o depósito, fazem parte do mesmo equipamento e encontram-se conectados o regulador mantém a altura (nível) da água no depósito (Eijkelkamp Soil & Water, 2017).

Quando as amostras nos anéis estão completamente saturadas (6) são colocadas num suporte com o filtro próprio do equipamento (Fig. 2.10c) que tinha sido colocado no topo do anel (parte não biselada). De seguida o suporte contendo a amostra com o filtro (Fig. 2.10c) é calçado no respetivo local (6), dentro do depósito principal. Um sifão de plástico (7) (Fig. 2.10b) permite o fluxo da água, que surge à superfície da amostra, para uma bureta (8). Estas buretas de diferentes comprimentos permitem um manuseamento fácil das torneiras e conseqüentemente medições precisas. Uma bacia de retenção (9) recolhe a água que sai das buretas e conduz essa mesma água de volta ao reservatório. O sifão cria uma diferença na altura da água dentro do suporte onde se encontra a amostra e no depósito. Este diferencial garante que haja fluxo constante de água através da amostra (Eijkelkamp Soil & Water, 2017).

Para as medições do nível de água, tanto dentro como fora da amostra, utiliza-se uma ponte equipada com um sensor. Este sensor desce ou sobe mecanicamente acendendo uma luz quando entra em contato com a água sendo possível medir a altura,  $h$ , da coluna de água, utilizando a régua do próprio sensor (Eijkelkamp Soil & Water, 2017).

Com a acumulação da água “drenada” de uma amostra na bureta, durante um determinado período fixo, pode ser determinado o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) dessa amostra, (Eijkelkamp Soil & Water, 2017).

O permeâmetro de bancada permite classificar as amostras em 3 tipos:

- Amostras de elevada permeabilidade: a altura da água dentro do suporte das amostras mantém-se constante, assim como o nível de água no depósito plástico, no período de uma hora.
- Amostras de moderada permeabilidade: nestes casos a altura da água demora algumas horas a estabilizar.
- Amostras de baixa permeabilidade: estas demoram um dia ou mais até apresentar água na sua superfície. Quando passados 3 dias e ainda não se observa água à superfície, a permeabilidade destas amostras é considerada nula.

Após o tempo necessário de contacto das amostras com a água para saturarem procedeu-se a medição da condutividade hidráulica (permeabilidade), seguindo os passos acima descritos. Os anéis foram colocados nos filitos e suportes adequados. Uma vez dentro do permeâmetro, foi necessário esperar que a água comesse a circular de baixo para cima e que o seu nível estabilizasse ao surgir à superfície das amostras. Depois os sifões (Fig. 2.11) foram submersos em água, preenchendo-os na sua totalidade com água e garantindo a ausência de bolhas, de forma a facilitar a passagem da água, a superfície das amostras, para a tubagem que liga o depósito às buretas de medição.



Figura 2.11 - Sifão utilizado para permitir a passagem da água da amostra até a buretas de medição.

Após a estabilização do nível da água em cada amostra, com a ajuda dos sifões, a água foi sendo conduzida para as buretas de medição. Assim que se verificou a existência de fluxo constante de cada uma das amostras, passou-se a medição propriamente dita. Para tal fecharam-se as torneiras de cada uma das buretas permitindo a acumulação de água, durante um determinado período de tempo, de forma a se conseguir começar a medição no zero (marca dos 0 ml na bureta).

Para cada amostra também foram medidos os níveis da água tanto dentro como fora em cada uma das amostras (no depósito). Como foi referido anteriormente, isto é feito com o sensor móvel localizado na parte superior do aparelho (Fig. 2.12). Este sensor pode ser ajustado verticalmente de forma a permitir que a ponta do mesmo toque na água, momento em que uma luz acende, indicando esse contato. É através destes níveis, mais precisamente a diferença entre eles, que é possível calcular o gradiente hidráulico ( $i$ ) e consequentemente o valor da permeabilidade ( $K$ ) utilizando a fórmula de Darcy ( $Q = K \times A \times i$ ).

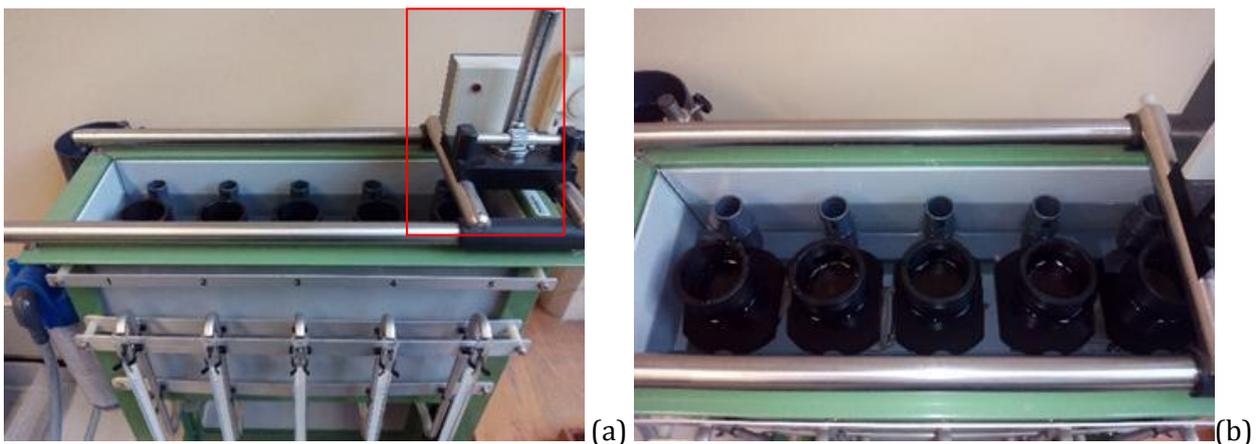


Figura 2.12 – (a) Sensor móvel e ponte de medição; (b) Suportes dos cilindros de amostragem.

### 2.3.4. Determinação da condutividade elétrica e pH

Para a caracterização das amostras de solo da Serra da Estrela determinou-se os valores de Condutividade Elétrica (CE) e o pH utilizando para o efeito a fração <2 mm. Para a determinação da C.E foram pesadas 10 g de amostra em frascos previamente identificados ao qual se adicionaram 20 ml de água desmineralizada (proporção de 1:2). De seguida, todas as amostras foram colocadas num agitador durante 2 h. No final do período de agitação os tubos foram retirados do agitador automático e determinou-se o valor da CE das amostras de solo da Serra da Estrela utilizando um medidor de condutividade elétrica de marca HANNA modelo HI9835 (Fig. 2.13).



Figura 2.13 – Medidor de condutividade elétrica de marca HANNA modelo HI 9835 utilizado nas medições.

Os sensores do equipamento foram inseridos nas amostras dentro dos tubos, garantindo que não havia contacto direto com a amostra que, entretanto, já se pudesse encontrar depositada no fundo do tubo. A leitura foi registada após estabilização dos valores.

Para a determinação dos valores de pH foram pesados, em duplicado, 5 g de amostra (fração < 2 mm), uma para a determinação do pH em H<sub>2</sub>O (pH<sub>H2O</sub>) e outra para a determinação do pH em CaCl<sub>2</sub> (pH<sub>CaCl2</sub>). As amostras foram colocadas em frascos previamente identificados com o nome da amostra (Fig. 2.14). Ao primeiro conjunto de 7 amostras foi adicionado H<sub>2</sub>O e ao segundo conjunto uma solução de CaCl<sub>2</sub> (Fig. 2.14), numa proporção de 1:5. Isto é, às primeiras 7 amostras adicionara-se 25ml de H<sub>2</sub>O e às replicas 25ml de CaCl<sub>2</sub>.

Amostras foram posteriormente colocadas num agitador durante 24h. Após um período de agitação de 24 horas foi efetuada a determinação do pH. O procedimento utilizado foi idêntico ao acima explicado, sendo que neste caso foi utilizado um medidor de pH de marca HANNA, modelo 9025 (Fig. 2.15), para realizar as medições. Os sensores foram mergulhados na amostra agitada, esperou-se pela estabilização do valor observado no visor do equipamento e então, era anotado, esse valor, como sendo o pH da amostra que estivesse a ser testada no momento. O processo foi repetido para cada amostra, tanto em H<sub>2</sub>O como em CaCl<sub>2</sub>, sendo os elétrodos lavados entre cada medição e de mostra para amostra.

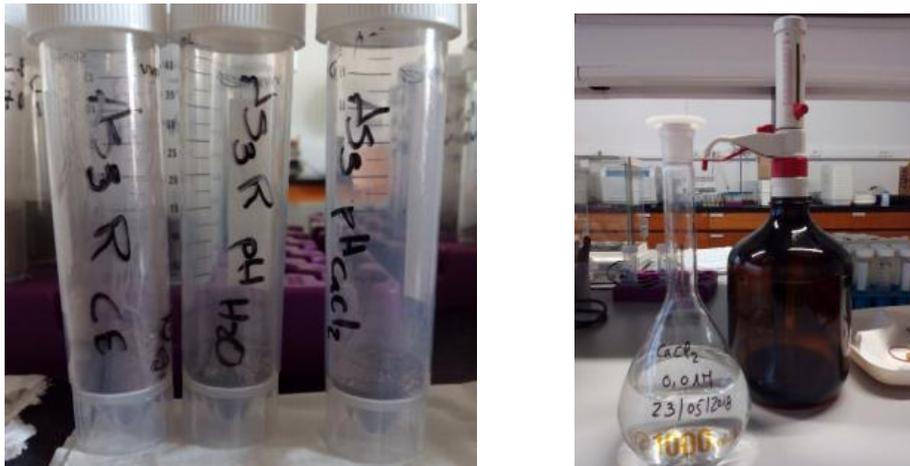


Figura 2.14 - Amostra (As3) pesada para o ensaio de medição do pH em solução de  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ; (direita) Solução de  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CaCl}_2$  utilizadas nos ensaios de determinação do pH.



Figura 2.15 - Medidor de pH da de marca HANNA, modelo 9025 utilizado nas medições.

### 2.3.5. Determinação dos teores em Matéria Orgânica (MO)

Na determinação da percentagem da matéria orgânica (MO), foi adotado o procedimento implementado por Goldin (1987) e explicado em detalhe por Sutherland (1998) - "Loss-on-ignition" (LOI), em inglês - uma versão do método encontrado em Blume (1990). Este método, segundo Wang et al. (1996), é rápido e simples. O método consiste em submeter uma amostra de solo a uma temperatura suficientemente alta de forma a permitir a combustão do carbono orgânico e a libertação do  $\text{CO}_2$  (Sutherland, 1998).

Para a realização deste ensaio pesou-se 6 a 7 g da fração <2 mm de cada amostra, que foram colocadas em cadinhos previamente pesados e identificados com a referência das amostras (Fig. 2.16a). De seguida as amostras foram colocadas na estufa a  $105\text{ }^\circ\text{C}$ , durante 24 horas. Este passo permite eliminar o teor

em água das amostras, sendo isto importante, uma vez que este método de determinação da M.O. baseia-se numa diferença de massas (perda de massa por incineração).

$$MO = \frac{P_{seco}(105\text{ }^{\circ}\text{C}) - P_{seco}(430\text{ }^{\circ}\text{C})}{P_{seco}(105^{\circ})} \times 100 \quad (6)$$

Posteriormente as amostras foram retiradas da estufa e colocadas no exsiccador de forma a arrefecerem sem ganhar humidade (Fig. 2.16b) e poderem ser pesadas.

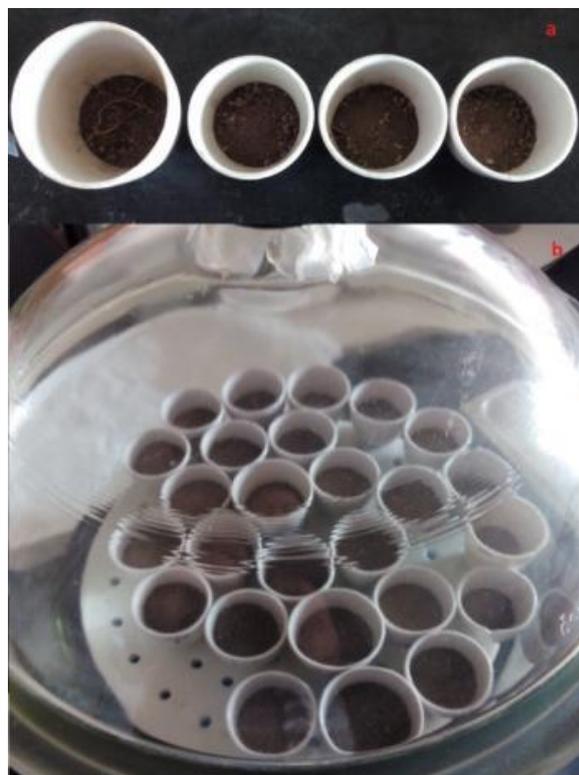


Figura 2.16 - (a) Cadinhos previamente pesados e amostras preparadas para a determinação da matéria orgânica; (b) Amostras dentro do exsiccador apos terem sido colocadas na estufa durante 24 horas.

De seguida as amostras foram colocadas numa mufla a uma temperatura de 430 °C, durante 16 horas, de forma a destruir a matéria orgânica contida em cada uma das amostras, garantindo, no entanto, que nenhum dos restantes constituintes que compõem as amostras sejam destruídos. Esta situação de compromisso, ou seja, maximizar a incineração da matéria orgânica, e minimizar a combustão dos materiais inorgânicos pode ser difícil de alcançar (Abella & Zimmer 2007). Ao fim de 16 horas, as amostras foram novamente pesadas. A diferença de pesos entre as amostras antes de entrarem na mufla e depois de saírem desta, corresponde ao peso da MO (%).

## 2.2.2. Hidrofobicidade

A hidrofobicidade ou repelência à água, no caso dos solos, representa uma redução da afinidade deste com a água, traduzindo-se numa incapacidade ou resistência à absorção de água por parte do solo, que pode durar entre segundos a semanas.

Este é um fenómeno que se tem observado em diferentes tipos de solos, independentemente das condições climáticas, apesar de inicialmente, o conceito, estar associado a climas semiáridos e subtropicais.

A repelência à água pode levar a resistência do solo à infiltração da água, aumento da taxa de erosão causada pelo aumento da escorrência superficial. A hidrofobicidade também pode afetar significativamente diversos processos como por exemplo a germinação das sementes, movimento de fertilizantes e pesticidas, o desenvolvimento de trajetórias de fluxo preferencial e ainda influenciar os recursos aquáticos subterrâneos (Doerr et al., 2000; Moody & Schlossberg, 2010; DeBano, 2000).

Segundo Doerr et al. (2000) as causas associadas a este fenómeno podem ser agrupadas em 5 categorias: (a) atividade microbiana e de fungos; (b) crescimento de espécies específicas de vegetação; (c) matéria orgânica; (d) incêndios e (e) características do solo (Malkinson e Wittenberg, 2011). De forma geral, os componentes orgânicos são, em boa parte, os responsáveis pelo carácter hidrofóbico dos solos, destacando-se os ácidos húmicos, as frações alifáticas e os restos orgânicos, por exemplo de plantas. Isto ocorre devido aos complexos hidrofóbicos que a matéria orgânica forma com as partículas do solo. Dai, esta propriedade, também ser influenciada por algumas das características do próprio solo, como a textura, estrutura e composição mineral (Malkinson e Wittenberg., 2011; Leme, 2015).

Os métodos mais comuns para a determinação da repelência a água são: (a) o método Water Droplet Penetration Time (WDPT) e (b) o método de percentagem de etanol (Molarity Ethanol Droplet -MED) (Doerr et al., 2009; Robichaud et al., 2008; Letey et al., 2000). Neste trabalho utilizou-se o método de percentagem de etanol.

### **Método de percentagem de etanol (MED)**

O MED. é um teste que é utilizado para determinar a hidrofobicidade, ou seja, a dificuldade que o solo apresenta em absorver a água, com que se encontra em contacto, medindo, indiretamente, a tensão superficial da superfície do solo, indicando quão fortemente uma gota de água é repelida pelo solo, quando em contacto com o mesmo. Este ensaio é caracterizado por ser simples e prático, uma vez que permite uma avaliação da hidrofobicidade de um solo de forma mais rápida do que por exemplo o WDPT, sendo também um ensaio fácil de se realizar tanto no campo como no laboratório (Dekker e Ritsema, 1994; Watson e Letey, 1970). Este método permite ainda uma menor variabilidade nos resultados obtidos (Cerdá e Robichaud, 2009, em Leme, J., 2015; Doerr et al., 2009).

Para a realização do ensaio utilizou-se uma escala, constituída por frascos com concentrações diferentes de etanol (0 %, 1 %, 3 %, 5 %, 8.5 %, 13 %, 18 %, 24 %, 36 %) (Tabela 2.3 e Fig. 2.17) para as quais a tensão superficial é conhecida e sucessivamente inferior a anterior.

Tabela 2.3 - Concentrações de etanol e classificação correspondente da hidrofobicidade, segundo Doerr, (1998) (extraído de Leme, 2015).

Porcentagem de Etanol	Classificação da Hidrofobicidade
0	Inexistente
1	
3	
5	Ligeira
8.5	Moderada
13	Forte
18	Muito Forte
24	
36	Extrema

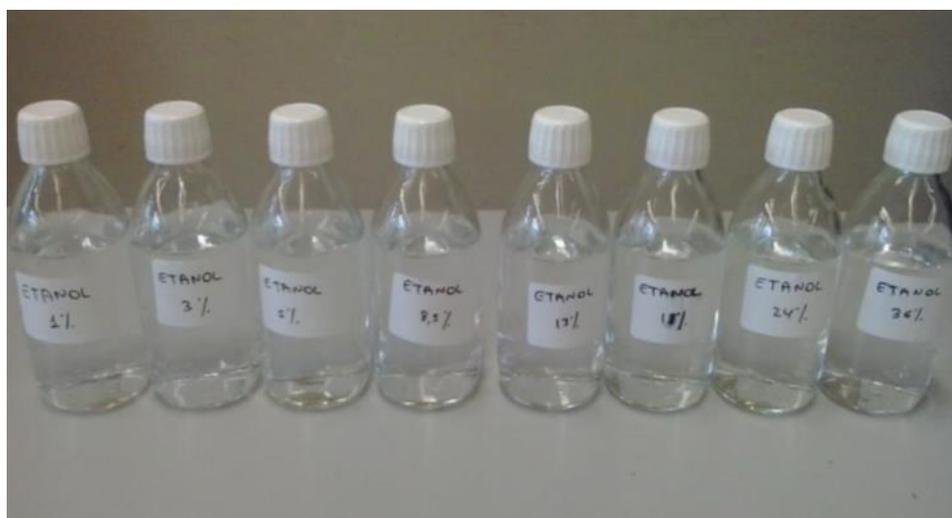


Figura 2.17 - Diluições de etanol utilizadas para a realização do teste M.E.D (da esquerda para a direita: 1%, 3%, 5%, 8.5%, 13%, 18%, 24%, 36% de etanol).

Quando as diferentes diluições referidas anteriormente são aplicadas, se a gota colocada no solo apresentar uma tensão superficial maior do que o solo, esta permanece à superfície por algum tempo, ao passo que se a gota apresentar menor tensão superficial do que o solo esta infiltra-se de forma quase instantânea (Doerr, 1998).

Nos locais de estudo foi criada uma superfície plana para depois com a ajuda de uma pipeta de *Pasteur* ser colocada uma gota da solução. Inicialmente utilizou-se a solução de concentração de 0% de etanol, sendo o tempo que a gota demorou a infiltrar-se no solo cronometrado.

Nos casos em que a gota permanecia na superfície das amostras passou-se para uma concentração intermédia, 8.5%, e repetiu-se o processo. Se a gota da solução de concentração de etanol de 8.5% continuasse sem se infiltrar ou demorasse mais do que 3 segundos, repetia-se o processo, mas com uma concentração maior até se atingir um tempo de penetração da gota no solo de 3 segundos. Nos casos em que a gota (8.5%) se infiltrava de imediato, o processo foi repetido, mas com uma solução de menor concentração até se encontrar a menor concentração de etanol que permitisse a infiltração da água no

solo, dentro do tempo de 3 segundos estipulado por Crockford et al. (1991). É de salientar-se que um tempo de penetração/observação curto é importante uma vez que impede que a decadência da hidrofobicidade afete os resultados (Doerr., 1998; Korenkova Lucia e Urik, M., 2017). A concentração de etanol para a qual a gota se infiltra nos 3 segundos corresponde ao resultado do teste, sendo possível, de seguida, recorrendo à classificação proposta na tabela 2.3 quantificar a hidrofobicidade de cada uma das amostras.

### 2.3.7. Carbono Orgânico Total (COT)

A determinação do carbono orgânico total teve como objetivo perceber se o tipo de ligação química entre os C teria influência na hidrofobicidade das amostras. Esta determinação foi feita através de cálculo subtraindo o valor do carbono inorgânico (CI) ao carbono total (CT).

$$CO = CT - CI \quad (7)$$

Para a determinação deste parâmetro foi utilizado a fração <2mm de cada uma das amostras, sendo que estas foram moídas de forma a obter uma granulometria inferior a 0.05 mm. Uma vez pulverizadas foram pesadas numa microbalança cerca de 30 mg de cada uma das amostras com erro de  $\pm 0.001$ .

As amostras foram de seguida colocadas em cadinhos de cerâmica próprios do equipamento a ser utilizado (Fig. 2.18).



Figura 2.18 – Cadinhos de cerâmica utilizados nas determinações de COT nas amostras de solo.

Para a determinação do valor de COT de fizeram-se 3 réplicas de cada uma das amostras, sendo que tanto para a determinação do Carbono Total (CT) e do Carbono Inorgânico (CI) foi feito um teste com um cadinho vazio.

A determinação dos teores de CT e CI foi efetuada utilizando um analisador de TOC-VCPH da marca SHIMADZU com um SOLID SAMPLE MODULE SSM-5000<sup>a</sup> (Fig. 2.19).



Figura 2.19 - Equipamento da marca TOC-VCPH SHIMADZU com o módulo Solid Sample Module SSM-5000ª acoplado utilizado na determinação do COT.

A primeira determinação foi a do carbono total (CT). Nesta primeira etapa começou-se por definir a curva de calibração, utilizando 30 mg de Glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ), sendo um composto com um teor em carbono de 40 %. Mais tarde no caso do carbono inorgânico o composto padrão utilizado foi o carbonato de sódio ( $Na_2CO_3$ ) com 11 % de carbono (Dias, 2018).

Colocou-se a primeira amostra na calha do lado esquerdo (Fig. 2.20) do SSM, destacada para o cálculo da percentagem de CT.

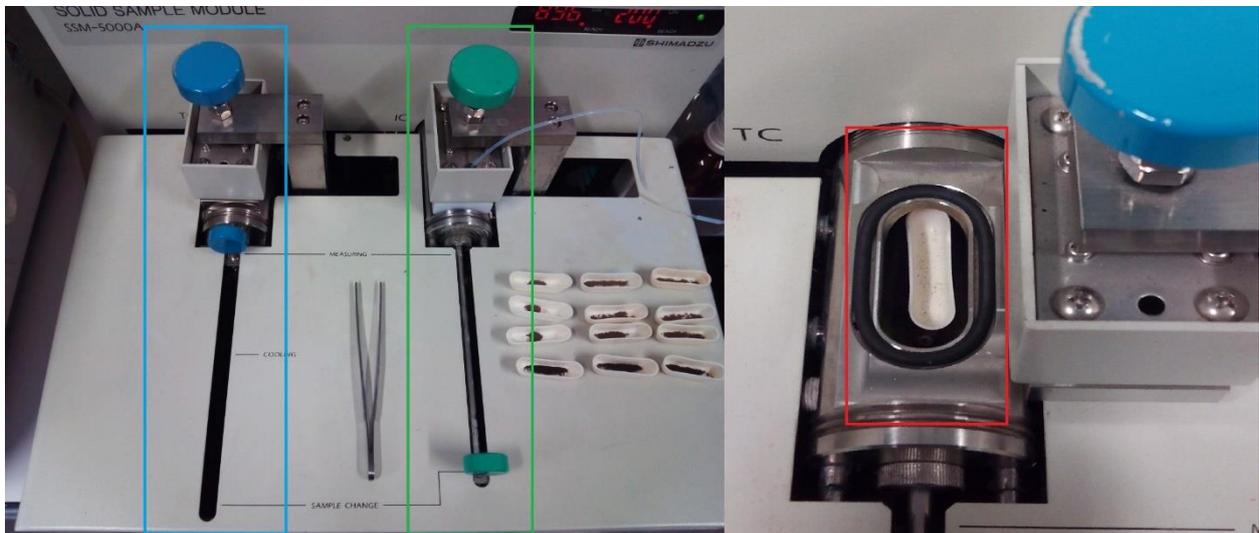


Figura 2.20 - Dispositivo utilizado para introduzir/retirar as amostras no SSM (a vermelho: calha onde é colocado o cadinho com a amostra; b) a azul: calha/manivela para a determinação do carbono total (CT); c) a verde: calha/manivela para a determinação do carbono inorgânico (CI).

O cadinho foi inserido e de seguida a respetiva manivela foi empurrada, introduzindo a amostra no equipamento e permitindo o início da determinação. O processo de cálculo do CT foi automático e o resultado apresentado no computador associado ao equipamento. No final do processo a manivela foi puxada retirando a amostra de dentro do SSM. O processo foi repetido para cada uma das amostras e as suas respetivas réplicas.

Terminada a 1ª etapa procedeu-se à pesagem de cerca de 30 mg de cada amostra em triplicado. Para a determinação do carbono inorgânico (CI) foram inseridas na calha do lado direito do SSM (Fig. 2.20). Para este processo foi adicionada uma solução de ácido fosfórico comercial 85% ( $H_3PO_4$ ) com água ultrapura, numa proporção de 1:2, antes de introduzir a amostra no SSM. Este ácido é adicionado de forma a promover a eliminação do carbono orgânico.

Para o CI também se começou por se inserir um cadinho com aproximadamente 30 mg dum padrão, neste caso,  $Na_2CO_3$ . Ao verificar que o resultado se encontrava dentro do aceitável procedeu-se a idêntico procedimento com as amostras. A primeira foi colocada na respetiva calha sendo de seguida adicionado o ácido fosfórico. De seguida foi dada indicação no computador para se iniciar a entrada da amostra no SSM para a respetiva análise. A medição demorou apenas alguns minutos. Tal como com o CT, este processo foi repetido para cada amostra e as sua replicas.

Os resultados foram registados no computador, através do programa TOC-Control V software para mais tarde serem interpretados, confirmados ou comparados com outros possíveis resultados.

### **2.3.8. Análises Químicas e Mineralógicas**

Para a análise química das amostras de solo utilizaram-se as frações <2 mm que foram previamente moídas de forma a garantir a granulometria adequada para as respetivas análises. Depois de moídas pesou-se cerca de 1 g de cada amostra que foram colocadas em recipientes próprios para depois proceder a respetiva decomposição química. Por último foram mandados para o laboratório responsável pelas análises, onde estas sofreram a decomposição química com água regia (ácido nítrico e ácido clorídrico na proporção 1:3). As amostras foram posteriormente analisadas por Espectrometria de Massa Acoplada a Plasma Indutivo (ICP-MS), utilizando um equipamento da marca Agilent Technologies 7700Series ICP-MS® (Figura 2.21).



Figura 2.21- ICP-MS Agilent modelo 7700, utilizado na análise química dos elementos maiores e vestigiais das amostras.

A ICP-MS é uma técnica analítica multielementar, rápida, precisa e exata para a quantificação de elementos maiores e vestigiais em amostras líquidas e sólidas. Os espectros gerados durante as análises são obtidos de forma rápida, facilitando a sua aplicação no controle de processos em tempo real (analísadores em linha).

O método consiste na introdução da amostra a analisar, por ação de uma bomba peristáltica, num plasma de uma determinada radiofrequência. Os processos de transferência de energia causam dissolução, atomização e ionização dos elementos. A extração dos iões do plasma é feita através de uma interface em vácuo com um sistema de iões integrado e a sua separação é feita com base na razão massa/ carga por um espectrómetro de massa através do transporte sob ação de campos elétricos e magnéticos que modificam as suas trajetórias (ISO 17294, 2004).

Nestas amostras analisou-se um total de 22 elementos: Ag, Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Th, Ti, Tl, V, Zn (limites de deteção: Ag, Co < 0,002 µg/L; Cd, Mg, V < 0,004 µg/L; Sb < 0,005 µg/L; Tl < 0,006 µg/L; Cr < 0,025 µg/L; Be < 0,03 µg/L; Pb < 0,032 µg/L; K < 0,047 µg/L; Mn < 0,063 µg/L; As < 0,094 µg/L; Ca < 0,122 µg/L; Th < 0,126 µg/L; Ni < 0,178 µg/L; Cu < 0,224 µg/L; Ba < 0,970 µg/L; Fe < 1,115 µg/L; Al < 1,237 µg/L; Zn < 1,921 µg/L; Li; Na < 0,019 mg/L; K < 0,047 mg/L).

As análises mineralógicas foram realizadas utilizando o método de Difração de Raios-X (DRX). Para este método utilizou-se a fração inferior a 63 µm. A fração <2mm que tinha sido peneirada e guardada previamente foi, de seguida, utilizada para a peneiração por via húmida, passando-a pelo crivo de 63 µm. As amostras retidas (fração <63 µm) foram colocadas numa estufa. Após a secagem das amostras foram pesados cerca de 15 g, o suficiente para encher o portador de amostras, que foram colocadas em frascos devidamente identificados.

## CAPÍTULO 3 – ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios e análises realizadas nas amostras em estudo e que são representativas de zonas graníticas e xistentas.

### 3.1. Definição das curvas granulométricas

As curvas granulométricas para cada uma das amostras colhidas no campo foram construídas recorrendo ao programa Gradistat. Estas curvas individuais estão apresentadas no Anexo 1. A análise das curvas relativas às amostras As<sub>1</sub>, As<sub>2</sub>, As<sub>3</sub>, As<sub>4</sub>, As<sub>5</sub>, Ax<sub>1</sub> e Ax<sub>2</sub> mostram a presença de solos predominantemente arenosos, existindo um “predomínio de texturas arenosas, comuns no caso de solos graníticos (cf. Martins 1992, MMA 2000)” (Espinha Marques, 2007).

A figura 3.1 apresenta uma curva obtida para um solo em contexto granítico (a – exemplo do solo As<sub>1</sub>) e para um solo em contexto xistento (b– exemplo do solo Ax<sub>1</sub>).

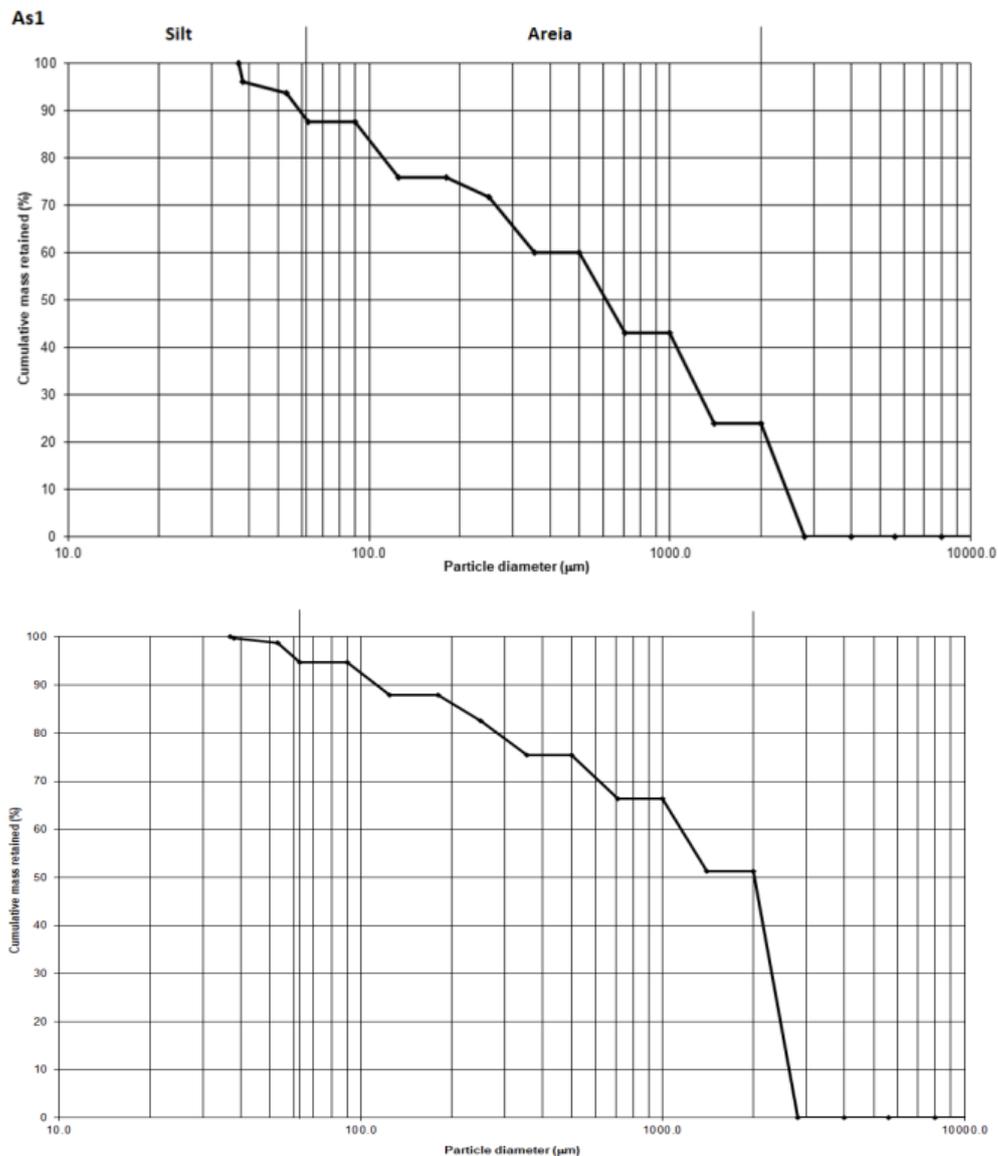


Figura 3.1 – Curvas granulométricas das amostras As<sub>1</sub> e Ax<sub>1</sub> (o eixo vertical corresponde ao peso da amostra retida nos peneiros, em percentagem e no eixo horizontal o diâmetro das partículas da amostra, em micras (µm)) (As<sub>1</sub>: Carvalhal sobre depósito de vertente; Ax<sub>2</sub>: Urzal e Giesta).

Através das curvas granulométricas concluiu-se, como já foi referido anteriormente, que as amostras são maioritariamente arenosas, sendo de maior expressão as frações de areia grosseira e muito grosseira (Espinha Marques, 2007; Espinha Marques et al., 2007), mantendo-se estes valores, de forma geral, acima dos 10% em termos de constituição das amostras. De entre as amostras analisadas existem algumas (As<sub>2</sub> e Ax<sub>1</sub>) que se distinguem das restantes por serem constituídas principalmente por frações mais grosseiras (com dimensões superiores a 2mm – cascalho). Nestes casos a diferença entre as percentagens de cascalho e areia não é, significativa sendo a diferença obtida para a amostra As<sub>2</sub> de 11,3 % (cascalho – 52.6 %; areia – 41.3 %) e para a Ax<sub>1</sub> de 7.6 % (cascalho – 51.3%; areia – 43.7 %). As amostras de solo representativas de um contexto granítico (As) apresentam uma maior diferença entre as percentagens de cascalho e areia, podendo esta diferença variar entre 26.6 e 41,4 %.

Na fração cascalho todas as amostras são dominadas por cascalho muito fino, ao passo que na fração da areia domina a areia muito grosseira e grosseira com exceção da amostra Ax<sub>2</sub> que revelou o predomínio das frações areia fina a muito fina.

Para além das curvas granulométricas apresentadas na figura 3.1 e no Anexo 1, o programa utilizado na análise dos resultados calculou alguns parâmetros estatísticos, que podem ser observados na tabela 3.1. Os resultados completos podem se consultados no Anexo 2.

Tabela 3.1 – Parâmetros estatísticos obtidos a partir das curvas granulométricas utilizando o Programa GradiStat.

		Granitos					Xistos	
		As <sub>1</sub>	As <sub>2</sub>	As <sub>3</sub>	As <sub>4</sub>	As <sub>5</sub>	Ax <sub>1</sub>	Ax <sub>2</sub>
	<b>D<sub>10</sub></b>	58.91	108.7	91.08	103.8	58.52	113.2	93.64
	<b>D<sub>50</sub></b>	616.1	2034.0	584.8	680.7	612.5	2017.3	678.4
	<b>D<sub>90</sub></b>	2433.7	26126.6	2442.6	2506.9	2508.5	2622.3	2574.7
	<b>D<sub>90</sub>/D<sub>10</sub></b>	41.31	24.17	26.82	24.16	42.87	23.17	27.5
	<b>D<sub>90</sub>-D<sub>10</sub></b>	2374.8	2517.9	2351.5	2403.2	2450.0	2509.1	2481.1
	<b>D<sub>75</sub>/D<sub>25</sub></b>	7.11	6.834	6.400	7.844	10.24	4.676	12.16
	<b>D<sub>75</sub>-D<sub>25</sub></b>	1182.0	2037.2	1173.0	1853.1	1919.5	1868.4	2083.5
Aritmética	<b>Média</b>	971.1	1516.8	966.4	1107.5	1053.1	1510.5	1185.3
	<b>Desvio padrão (σ)</b>	889.3	979.1	898.4	924.8	959.7	966.5	1037.2
	<b>Assimetria (Sk)</b>	0.67	-0.36	0.69	0.45	0.49	-0.34	0.21
	<b>Curtose (K)</b>	1.91	1.34	1.88	1.54	1.53	1.36	1.19
Geométrica	<b>Média</b>	500.3	930.2	510.4	637.0	525.0	946.7	579.8
	<b>Desvio padrão (σ)</b>	3.758	3.437	3.547	3.303	3.898	3.305	3.97
	<b>Assimetria (Sk)</b>	-0.46	-1.10	-0.36	-0.53	-0.43	-1.08	-0.32
	<b>Curtose (K)</b>	1.98	2.94	1.97	2.17	1.90	2.88	1.56

As<sub>1</sub>: Carvalhal s/ sob. Vertente; As<sub>2</sub>: Pinhal s/ Moreia; As<sub>3</sub>: Urzal s/ Granito; As<sub>4</sub>: Cervunal de Altitude; As<sub>5</sub>: Zimbral de Altitude; Ax<sub>1</sub>: Castelejo s/ vertente; Ax<sub>2</sub>: Urzal e Giesta.

Os resultados obtidos permitem-nos afirmar que, de forma geral, todas as amostras apresentam uma clara tendência textural. No Anexo 2 apresentam-se as percentagens correspondentes a cada uma das classes granulométricas e aos seus subgrupos.



Na primeira classificação (Fig.3.2b) a fração cascalho foi descartada. A projeção dos resultados no primeiro diagrama mostra que a maioria das amostras são classificadas como areia siltosa (*Silty Sand*), sendo a amostra As<sub>4</sub> a única exceção e que é classificada como areia (*Sand*). Para além deste gráfico triangular também foi utilizado um segundo diagrama em que se teve em consideração a fração cascalho. De acordo com os resultados verifica-se que as amostras foram agrupadas em três categorias: As<sub>1</sub> e As<sub>3</sub> foram classificadas como “*Gravelly Muddy Sand*”, classificadas como “*Muddy Sandy Gravel*” e As<sub>4</sub> como sendo “*Sandy Gravel*”. De acordo com as classificações texturais dos solos propostas por Espinha (2007), com base nos critérios SSDS (2017), é possível agrupar as amostras em: solo arenoso, solo arenoso-franco e solo franco-arenoso.

### 3.2. Densidade Aparente ( $\rho$ )

Para a determinação do valor da densidade inicialmente calculou-se o volume da amostra colhida no campo. Conhecidas as dimensões do cilindro de amostragem verificou-se que o volume total era de 141.37 cm<sup>3</sup>, valor esse considerado igual para todas as amostras em virtude de se ter utilizado anéis de amostragem idênticos. Seguindo o procedimento referido anteriormente obtiveram-se os seguintes valores de densidade aparente (Tabela 3.2). No Anexo 3 apresentam-se os cálculos que foram efetuados.

Tabela 3.2 – Valores de densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>) determinados para amostras de solo recolhidas em contexto granítico.

Ref <sup>a</sup>	Granitos
As <sub>1</sub>	0.77
As <sub>2</sub>	0.95
As <sub>3</sub>	0.80
As <sub>4</sub>	0.69
As <sub>5</sub>	1.04
<b>Média</b>	<b>0,85</b>

As<sub>1</sub>: Carvalhal s/ sob. Vertente; As<sub>2</sub>: Pinhal s/ Moreia; As<sub>3</sub>: Urzal s/ Granito; As<sub>4</sub>: Cervunal de Altitude; As<sub>5</sub>: Zimbral de Altitude; Ax<sub>1</sub>: Castiçal s/ vertente; Ax<sub>2</sub>: Urzal e Giesta.

De acordo com a tabela 3.2 os valores variam de 0,69 g/cm<sup>3</sup> a 1,04 g/cm<sup>3</sup> correspondendo a um valor médio de 0,85 g/cm<sup>3</sup>. Os resultados obtidos são semelhantes aos obtidos por Espinha Marques (2007), que refere um valor medio é de 1.03g/cm<sup>3</sup>, ou os mencionados por Porta *et al* (2003) para solos arenosos, que variam entre 1.45 a 1.60 g/cm<sup>3</sup>.

Espinha (2007) aponta a existência de uma correlação negativa (-0.79) entre a densidade aparente dos solos e a altitude fato esse que não é observado no presente trabalho. O mesmo autor também verificou a existência de uma correlação negativa deste mesmo parâmetro com a matéria orgânica podendo, esta correlação, estar na origem dos valores obtidos no estudo de 2007 como no presente trabalho.

### 3.3. Teor de Humidade (TH)

Como foi explicado no capítulo anterior o teor de humidade (TH) foi determinado *in situ*, quer nas amostras representativas do contexto granítico como xistento. A tabela 3.3 apresenta os resultados obtidos nas amostras estudadas.

Tabela 3.3 – Valores do teor de humidade medio (%) determinados em amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento.

Ref <sup>a</sup>	Granitos	Ref <sup>a</sup>	Xistos
As <sub>1</sub>	23	Ax <sub>1</sub>	21
As <sub>2</sub>	8	Ax <sub>2</sub>	17
As <sub>3</sub>	35		
As <sub>4</sub>	67		
As <sub>5</sub>	17		
<b>Média</b>	<b>30</b>	<b>Média</b>	<b>19</b>

As<sub>1</sub>: Carvalhal s/ sob. Vertente; As<sub>2</sub>: Pinhal s/ Moreia; As<sub>3</sub>: Urzal s/ Granito; As<sub>4</sub>: Cervunal de Altitude; As<sub>5</sub>: Zimbral de Altitude; Ax<sub>1</sub>: Castiçal s/ vertente; Ax<sub>2</sub>: Urzal e Giesta.

Tendo em consideração os resultados obtidos verifica-se que os locais que se destacam são o de Cervonal de Altitude (As<sub>4</sub>) com aproximadamente 67% e Pinhal sobre Moreia (As<sub>2</sub>) com aproximadamente 8%. Os restantes locais apresentam valores que variam entre os 17 e 35 %.

Os valores encontrados nos primeiros 3 locais, que correspondem às zonas mais baixas da Serra da Estrela não apresentam, como seria expectável, os valores mais elevados (já que a amostragem foi realizada em abril - época de chuva e depois do degelo nas zonas mais baixas). Na terceira campanha de amostragem foi possível aceder aos locais mais altos da Serra da Estrela (As<sub>4</sub> e As<sub>5</sub>) para a amostragem e realização de ensaios *in situ*. No caso destas duas amostras os valores registados para ambos locais foram medidos em julho (época seca). No entanto verifica-se que um dos locais (As<sub>4</sub>) apresenta os valores mais elevados em termos de teor de humidade. Na quarta campanha em que se realizou a amostragem na zona dos xistos (Ax<sub>1</sub> e Ax<sub>2</sub>), os valores de teor de humidade obtidos apresentaram menor variação. De referir que estas amostras apresentam valores de TH semelhantes aos observados nas amostras As<sub>1</sub> e As<sub>5</sub>.

Doerr e Thomas (2000) constataram que, uma vez atingido um TH superior a 28%, existia uma menor tendência para um solo de textura grosseira se mostrar repelente à água, sendo que, das amostras estudadas, apenas duas revelaram apresentar um valor de TH superior a 28%. Estes valores de humidade podem ter influência e/ou estar relacionados com a hidrofobicidade observada no ensaio para a determinação da condutividade hidráulica no laboratório.

MacDonald e Huffman (2004) mencionam que o modelo linear generalizado desenvolvido por Huffman et al. (2001), menciona a influência do teor de humidade do solo na hidrofobicidade, indicando que esta será tanto menor quanto maior for o humedecimento da superfície do solo. Alguns autores referem também um threshold de TH para os quais os solos deixam de ser hidrofóbicos (DeBano, 1981).

### 3.4 Condutividade hidráulica não saturada

A condutividade hidráulica não saturada do solo foi determinada com base em ensaios de campo, utilizando para o efeito um infiltrómetro de minidisco. Introduzindo os valores do volume de água infiltrada e os outros dados de campo na macro de Excel associada ao próprio equipamento calculou-se os valores da condutividade hidráulica.

As tabelas (Tempo/Volume de água infiltrada), assim como os gráficos “*Cumulative Infiltration/ Square Root of Time*”, podem ser consultados no Anexo 4.

A tabela 3.4 apresenta os resultados obtidos para as amostras estudadas. Os resultados da determinação da condutividade hidráulica (K) não saturada mostram que os locais (amostras) que apresentam maior valor de condutividade hidráulica são os locais As<sub>4</sub> e As<sub>5</sub>, contrastando com os valores observados nos restantes locais estudados (em contexto granítico e xistento). O valor médio calculado para os solos estudados é de 2.06 m/dia (sendo o valor médio para as amostras As<sub>x</sub> = 2.88 m/dia e para as amostras Ax<sub>x</sub> = 0.42 m/dia).

Tabela 3.4 – Teores de condutividade hidráulica não saturada determinados nas amostras de solo recolhidas em contexto granítico e em contexto xistento.

Ref <sup>a</sup>	Ensaio	C <sub>1</sub> (cm/s)	K (cm/s)	K (m/dia)	K <sub>médio</sub> (m/dia)
As <sub>1</sub>	1	0.000952097	0.000341641	0.295178	0.2735
	2	0.000742463	0.000266418	0.230186	
	3	0.000952097	0.000341641	0.295178	
As <sub>2</sub>	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	
	3	-	-	-	
As <sub>3</sub>	1	0.001060677	0.000380603	0.328841	0.3288
	2				
	3				
As <sub>4</sub>	1	0.020246370	0.007265015	6.276973	6.6669
	2	0.018249554	0.006548496	5.657901	
	3	0.026016166	0.009335394	8.06578	
As <sub>5</sub>	1	0.013934115	0.004999985	4.319987	4.2340
	2	0.015215675	0.005459848	4.717309	
	3	0.011820760	0.004241649	3.664785	
Ax <sub>1</sub>	1	0.001003409	0.00036005	0.3110832	0.3012
	2	0.001482811	0.00053208	0.45971712	
	3	0.000428425	0.00015373	0.13282272	
Ax <sub>2</sub>	1	0.002411558	0.00086534	0.74765376	0.5475
	2	0.000960978	0.00034483	0.29793312	
	3	0.001924842	0.00069069	0.59675616	

As<sub>1</sub>: Carvalhal s/ sob. Vertente; As<sub>2</sub>: Pinhal s/ Moreia; As<sub>3</sub>: Urzal s/ Granito; As<sub>4</sub>: Cervunal de Altitude; As<sub>5</sub>: Zimbral de Altitude; Ax<sub>1</sub>: Castiçal s/ vertente; Ax<sub>2</sub>: Urzal e Giesta.

As medições realizadas utilizando o infiltrómetro de minidisco permitiram também estimar a hidrofobicidade utilizando a classificação (tabela 3.5) proposta por Robichaud et al. (2008). Segundo

estes autores, através da análise da quantidade de água que se infiltra no solo nos primeiros 60 segundos é possível inferir quanto ao grau de repelência do solo em relação a água.

Tabela 3.5 – Classificação da hidrofobicidade segundo Robichaud et al. (2008).

<b>Classe de Hidrofobicidade</b>	<b>V<sub>H2O</sub> Infiltrado (ml)</b>
Inexistente	> 8
Fraca	3 < X < 8
Forte	0 < X < 3

A tabela 3.6 apresenta os valores de água infiltrada no primeiro minuto assim como a classificação de cada um dos locais estudados quanto à sua hidrofobicidade (ver Tabela 3.5).

Tabela 3.6 – Classificação das amostras de solo recolhidas em contexto granítico e em contexto xistento quanto à sua hidrofobicidade.

<b>Ref<sup>a</sup></b>	<b>Ensaio</b>	<b>V<sub>60s</sub>(ml)</b>	<b>Hidrofobicidade</b>
As <sub>1</sub>	1	1.5	Forte
	2	6.5	Fraca
	3	4.0	Fraca
As <sub>2</sub>	1	-	-
	2	-	-
	3	-	-
As <sub>3</sub>	1	4.5	Fraca
	2		
	3		
As <sub>4</sub>	1	19.0	Inexistente
	2	23.0	Inexistente
	3	25.0	Inexistente
As <sub>5</sub>	1	16.5	Inexistente
	2	18.0	Inexistente
	3	15.0	Inexistente
Ax <sub>1</sub>	1	4.5	Fraca
	2	3.5	Fraca
	3	3.0	Fraca
Ax <sub>2</sub>	1	5.0	Fraca
	2	2.0	Forte
	3	5.0	Fraca

As<sub>1</sub>: Carvalhal s/ sob. Vertente; As<sub>2</sub>: Pinhal s/ Moreia; As<sub>3</sub>: Urzal s/ Granito; As<sub>4</sub>: Cervunal de Altitude; As<sub>5</sub>: Zimbral de Altitude; Ax<sub>1</sub>: Castiçal s/ vertente; Ax<sub>2</sub>: Urzal e Giesta

De forma geral verifica-se que, através deste método, há uma diferença entre as amostras As<sub>1</sub>, As<sub>3</sub>, e As<sub>4</sub> e As<sub>5</sub>. De acordo com os resultados, os locais de maior altitude (Cervunal de Altitude e Zimbral de Altitude) são os que se destacam por não apresentarem hidrofobicidade. Nas primeiras amostras a hidrofobicidade classifica-se de forte a fraca apresentando valores de água infiltrada no primeiro minuto que variam entre 1.5 e 6.5 ml. No caso das amostras Ax<sub>1</sub> e Ax<sub>2</sub> verifica-se a existência de alguma hidrofobicidade sendo maioritariamente fraca. O volume de água infiltrado nos solos representativos

do contexto xistento varia entre 2 e 5 ml. Os resultados obtidos nas amostras As<sub>3</sub> e As<sub>4</sub> podem, talvez, ser justificados pelo facto de ambas amostras apresentarem valores de TH mais elevados (35% e 67%) respetivamente que, como já foi mencionado anteriormente, é umas das características que pode influenciar a capacidade de o solo repelir a água. Desta forma, o facto das restantes amostras apresentarem valores semelhantes de TH poderia indicar que os resultados da hidrofobicidade, determinada através do infiltrómetro, também seriam semelhantes, o que não se verifica na sua totalidade já que as amostras As<sub>4</sub> e As<sub>5</sub> não mostraram sinais de hidrofobicidade.

### 3.5. Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica saturada foi determinada no laboratório, em amostras não perturbadas, através do uso dum permeâmetro de bancada. Durante a realização dos ensaios para a determinação da condutividade hidráulica foi possível constatar que algumas amostras apresentavam dificuldades em ficarem saturadas. Algumas das amostras em estudo evidenciaram apenas a presença de zonas humedecidas na periferia do cilindro de amostragem.

A tabela 3.7 apresenta os resultados dos ensaios de condutividade hidráulica para as amostras de solo recolhidas em contexto granítico (As).

Tabela 3.7 – Valores de Condutividade Hidráulica nas amostras de solo recolhidas em contexto granítico.

Ref <sup>a</sup>	Cilindro	K <sub>sat</sub> (m/dia)	K <sub>média</sub> (m/dia)
As <sub>1</sub>	1	23.012	64.705
	2	190.954	
	3	9.207	
	4	35.645	
As <sub>2</sub>	5	92.581	27.772
	6	17.614	
	7	9.549	
	8	5.327	
	9	13.791	
As <sub>3</sub>	10	4.196	12.939
	11	19.197	
	12	35.439	
	13	1.035	
	14	4.827	
As <sub>4</sub>	15	0.700	9.007
	16	39.566	
	17	0.695	
	18	1.402	
	19	2.672	
As <sub>5</sub>	20	4.585	6.207
	21	19.232	
	22	4.534	
	23	0.694	
	24	1.988	

As<sub>1</sub>: Carvalhal s/ sob. Vertente; As<sub>2</sub>: Pinhal s/ Moreia; As<sub>3</sub>: Urzal s/ Granito; As<sub>4</sub>: Cervunal de Altitude; As<sub>5</sub>: Zimbral de Altitude.

O Anexo 5 apresenta em detalhe os cálculos que foram efetuados com base nos resultados obtidos em laboratório.

Nas amostras colhidas no local  $As_1$  apenas uma das amostras (Cilindro 2) apresentou problemas. A amostra em causa mostrou, após o período de saturação e a realização do ensaio de condutividade hidráulica, que a mesma apresentava pequenos volumes não saturados. As restantes amostras ficaram saturadas. Contrariamente ao local  $As_1$ , as amostras do local  $As_2$  mostraram um comportamento heterogéneo entre as amostras e com dificuldades em saturar (as amostras 5 e 6 não saturaram de todo, estando completamente secas por dentro; as amostras 8 e 9 ficaram bem saturadas e a amostra 7 estava maioritariamente seca com algumas zonas humedecidas).

As restantes amostras não evidenciaram problemas na saturação, sendo possível verificar, através do tempo que demoraram a saturar, alguma facilidade no humedecimento. As únicas exceções a isto foram a amostra 12 (Urzal) que apenas saturou até meio do cilindro de amostragem, sendo que a metade superior se encontrava apenas humedecida na periferia. A amostra 24 (Zimbral) apesar de bem saturada, apresentava uma raiz de cerca de 7 mm de diâmetro que atravessava o cilindro horizontalmente, podendo isto ter tido alguma influência no cálculo do valor final.

De acordo com os resultados obtidos estimou-se como valor médio de  $K_{sat}$  o valor de 24.126 m/dia, que é equivalente a 100.525 cm/h. De acordo com os critérios do SSDS (2017) as condutividades hidráulicas podem ser consideradas muito altas (>36 cm/h) com exceção dos valores obtidos na amostra do local  $As_5$  que variaram entre 3.6 e 36 cm/h (alto). A comparação dos valores obtidos neste trabalho com os valores médios propostos por Espinha Marques (2007) e Espinha Marques et al., (2013) em trabalhos anteriores (6.31 cm/h, e 7.855 cm/h respetivamente), mostra claramente que os valores obtidos no presente trabalho são significativamente superiores. Este resultado deve-se, provavelmente, ao fato do valor ter sido determinado em laboratório e os citados terem sido determinados *in situ* refletindo, portanto, condições de saturação bastante diferentes as geradas de forma artificial no laboratório.

### 3.6. Análises físico-químicas das amostras de solo

Os resultados das análises físico-químicas das amostras de solo podem ser consultados nas Tabelas 3.8 a 3.14.

#### 3.6.1. Condutividade Elétrica e pH

Os resultados obtidos na determinação da condutividade elétrica (CE) e do pH são apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Valores de pH e condutividade elétrica (CE) determinados nas amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento.

	$As_1$	$As_2$	$As_3$	$As_4$	$As_5$	$Ax_1$	$Ax_2$
pH ( $H_2O$ )	5.5	4.8	4.8	4.2	4.6	5.0	4.7
pH ( $CaCl_2$ )	4.5	3.6	3.7	4.2	3.4	4.2	3.8
CE ( $\mu S\ cm^{-1}$ )	89.7	61.2	56.6	150.0	48.0	75.5	56.5

$As_1$ : Carvalhal s/ sob. Vertente;  $As_2$ : Pinhal s/ Moreia;  $As_3$ : Urzal s/ Granito;  $As_4$ : Cervunal de Altitude;  $As_5$ : Zimbral de Altitude;  $Ax_1$ : Castiçal s/ vertente;  $Ax_2$ : Urzal e Giesta.

Relativamente aos valores de pH as amostras apresentam um carácter ácido. Como pode ser observado da análise da tabela 3.10 a amostra  $As_1$  é aquela que apresenta um valor ligeiramente mais elevado de pH, sendo também esta a amostra com o segundo maior valor de condutividade elétrica. As amostras de

forma geral apresentam um valor de  $pH_{H_2O}$  superior ao de  $pH_{CaCl_2}$  com a exceção de  $As_4$ . Esta última amostra é também a que apresenta o maior valor de condutividade elétrica.

No que diz respeito às amostras representativas do contexto xistento verifica-se que ambas as amostras apresentam um valor de pH semelhante não havendo também uma variação significativa do valor de condutividade.

Segundo a classificação SSDS (2017) as amostras estudadas encontram-se inseridas nas categorias desde extremamente ácidas [3.5-4.4] a fortemente ácidas [5.1-5.5]. Os resultados medidos em  $H_2O$  e em  $CaCl_2$  são semelhantes aos apresentados por Costa (2004) e Espinha Marques (2007) que classificam os solos como ácidos e hiperácidos. No que diz respeito aos valores de condutividade elétrica o valor médio obtido foi de  $76.8 \mu S/cm$ .

### 3.6.2. Matéria Orgânica (MO)

Tal como foi referido anteriormente a determinação da MO foi feita com base na diferença de pesos. Os teores de MO (Tabela 3.9) foram calculados através da equação (2). O Anexo 6 apresenta em detalhe os cálculos que foram efetuados com base nos resultados obtidos em laboratório.

Tabela 3.9 – Teores de matéria orgânica (%) determinados e amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento.

Ref <sup>a</sup>	Granitos	Ref <sup>a</sup>	Xistos
As <sub>1</sub>	10.4	Ax <sub>1</sub>	19.1
As <sub>2</sub>	10.4	Ax <sub>2</sub>	13.9
As <sub>3</sub>	8.4		
As <sub>4</sub>	15.8		
As <sub>5</sub>	10.3		
<b>Média</b>	<b>11,1</b>	<b>Média</b>	<b>16.6</b>

As<sub>1</sub>: Carvalhal s/ sob. Vertente; As<sub>2</sub>: Pinhal s/ Moreia; As<sub>3</sub>: Urzal s/ Granito;  
As<sub>4</sub>: Cervunal de Altitude; As<sub>5</sub>: Zimbral de Altitude; Ax<sub>1</sub>: Castiçal s/ vertente;  
Ax<sub>2</sub>: Urzal e Giesta.

Os valores de MO permitem perceber que as amostras  $As_3$  e  $As_4$  destacam-se das restantes por apresentarem o valor mais elevado (15.8 %) e o mais baixo (8,4 %), respetivamente. As duas amostras representativas do contexto xistento apresentam também valores distintos.

Espinha Marques (2007) refere a existência duma correlação negativa da MO com a densidade aparente e duma correlação positiva da MO com a altitude. Estas correlações apesar de serem observadas no presente estudo apresentam, no entanto, valores relativamente mais baixos. O valor médio de MO nas amostras representativas do contexto granítico é semelhante ao proposto pelo mesmo autor (11.4 %). Espinha Marques et al. (2013) refere que de forma geral os solos da zona mais alta da montanha apresentam teores de MO (180 g/kg e 240 g/kg) superiores aos das amostras das zonas mais baixas (49 e 89 g/kg).

De acordo com os critérios encontrados em Costa (2004) as amostras estudadas neste trabalho classificam-se como tendo um teor de matéria orgânica muito alto (10 %-20 %), com a exceção da amostra  $As_3$  que se classifica como tendo um teor de matéria orgânica alto (5 %-10 %).

No que diz respeito a existência duma correlação entre a MO e a hidrofobicidade, não parece haver, nem para as amostras de contexto xistento nem para as amostras de contexto granítico, nenhuma relação da

MO com hidrofobicidade determinada com o infiltrómetro. No entanto deve-se referir que alguns autores consideram a presença de MO como uma das causas da repelência à água (Jaramillo et al., 2000). Em relação a hidrofobicidade (MED), parece haver uma certa influência da MO. Considerando os resultados das amostras, As<sub>3</sub> e As<sub>4</sub> (amostra As<sub>3</sub> com hidrofobicidade muito forte e a amostra As<sub>4</sub> com hidrofobicidade inexistente) verifica-se que há uma tendência semelhante para os valores de MO podendo significar que esta relação pode ser influenciada pelo tipo de matéria orgânica presente nas amostras.

### 3.6.3. Carbono Orgânico Total (COT)

Os resultados da determinação do COT [carbono total (CT) e carbono inorgânico (CI)] são apresentados na tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Teores médios de Carbono Total (%) e Carbono Inorgânico (%) determinados para as amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento.

	As <sub>1</sub>	As <sub>2</sub>	As <sub>3</sub>	As <sub>4</sub>	As <sub>5</sub>	Ax <sub>1</sub>	Ax <sub>2</sub>
CT	7,195	6,492	4,852	12,247	6,354	8,268	9,089
CI	0,046	0,044	0,051	0,039	0,054	0,053	0,040

As<sub>1</sub>: Carvalhal s/ sob. Vertente; As<sub>2</sub>: Pinhal s/ Moreia; As<sub>3</sub>: Urzal s/ Granito; As<sub>4</sub>: Cervunal de Altitude; As<sub>5</sub>: Zimbral de Altitude; Ax<sub>1</sub>: Castiçal s/ vertente; Ax<sub>2</sub>: Urzal e Giesta.

Uma vez conhecidas as percentagens de Carbono Total (CT), Carbono Inorgânico (CI) e Carbono Orgânico (CO) foi possível determinar a razão MO/CO de forma a compreender como a percentagem de carbono orgânico em cada amostra afeta a hidrofobicidade. A relação MO/CO permite inferir quanto à existência, ou não, de mais ou menos componentes aromáticos ou alifáticos. Um valor baixo da razão MO/CO indica que a MO é mais rica em compostos aromáticos (mais condensados devido a sua estrutura em anel), ou seja, mais carbono por unidade de massa de matéria orgânica. As tabelas 3.11 e 3.12 mostram os valores de carbono orgânico (CO) e a razão MO/CO, respetivamente.

Tabela 3.11 – Teores de Carbono Orgânico Total (%) determinados para as amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento.

	As <sub>1</sub>	As <sub>2</sub>	As <sub>3</sub>	As <sub>4</sub>	As <sub>5</sub>	Ax <sub>1</sub>	Ax <sub>2</sub>
1	7.1	6.5	4.1	12.3	5.8	8.2	9.0
2	6.9	6.3	5.21	12.2	7.1	8.6	9.1
3	7.4	6.6	5.1	12.0	6.0	7.9	9.1
<b>Média</b>	<b>7,1</b>	<b>6,5</b>	<b>4,8</b>	<b>12,2</b>	<b>6,3</b>	<b>8,2</b>	<b>9,1</b>

Tabela 3.12 – Valores da razão MO/CO determinados e amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento.

	As <sub>1</sub>	As <sub>2</sub>	As <sub>3</sub>	As <sub>4</sub>	As <sub>5</sub>	Ax <sub>1</sub>	Ax <sub>2</sub>
1	1,47	1,61	2,06	1,28	1,75	2,33	1,60
2	1,50	1,66	1,60	1,29	1,44	2,23	1,58
3	1,40	1,58	1,65	1,31	1,70	2,43	1,59
<b>Média</b>	<b>1,46</b>	<b>1,62</b>	<b>1,77</b>	<b>1,29</b>	<b>1,63</b>	<b>2,33</b>	<b>1,59</b>

As<sub>1</sub>: Carvalhal s/ sob. Vertente; As<sub>2</sub>: Pinhal s/ Moreia; As<sub>3</sub>: Urzal s/ Granito; As<sub>4</sub>: Cervunal de Altitude; As<sub>5</sub>: Zimbral de Altitude; Ax<sub>1</sub>: Castiçal s/ vertente; Ax<sub>2</sub>: Urzal e Giesta.

Com isto os solos ricos em matéria aromática (mais hidrofóbica) apresentam maior carbono por massa de MO. Por exemplo, algumas experiências mostram que os hidrocarbonetos alifáticos libertados durante o processo de aquecimento do solo podem gerar hidrofobicidade (Malkinson e Wittenberg, 2011), apesar de que de forma geral na matéria orgânica do solo os compostos aromáticos são mais hidrofóbicos.

Da análise da tabela 3.12 verifica-se que o valor mais elevado da relação MO/CO corresponde a uma amostra de contexto xistento (2.33). No caso dos solos graníticos a amostra As<sub>3</sub> é aquela que apresentou um valor ligeiramente superior (1.77) aos valores das restantes amostras quer em contexto granítico como xistento. Tendo em atenção os valores da razão MO/CO determinados neste trabalho, constata-se que a amostra As<sub>4</sub> é a mais hidrofóbica e a amostra Ax<sub>1</sub> é a menos hidrofóbica.

### 3.6.4. Hidrofobicidade

Os resultados obtidos no ensaio do MED são apresentados na tabela 3.13. Estes valores são expressos em percentagem e classificados de acordo com os escalões definidos no protocolo.

Tabela 3.13 – Classificação da hidrofobicidade das amostras de solo recolhidas em contexto granítico e xistento de acordo com os valores obtidos pelo ensaio MED.

Ref <sup>a</sup>	Etanol (%)	Hidrofobicidade	Ref <sup>a</sup>	Etanol (%)	Hidrofobicidade
As <sub>1</sub>	13.5	Forte	Ax <sub>1</sub>	0	Inexistente
As <sub>2</sub>	24	Muito Forte	Ax <sub>2</sub>	1	Inexistente
As <sub>3</sub>	18	Muito Forte			
As <sub>4</sub>	1	Inexistente			
As <sub>5</sub>	0	Inexistente			

As<sub>1</sub>: Carvalhal s/ sob. Vertente; As<sub>2</sub>: Pinhal s/ Moreia; As<sub>3</sub>: Urzal s/ Granito; As<sub>4</sub>: Cervunal de Altitude; As<sub>5</sub>: Zimbral de Altitude; Ax<sub>1</sub>: Castiçal s/ vertente; Ax<sub>2</sub>: Urzal e Giesta

O ensaio MED permitiu perceber que a amostras colhidas na 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> campanha de amostragem não revelaram hidrofobicidade ao contrário das colhidas na amostragem anterior. A diferença verificada na hidrofobicidade de umas amostras para as outras pode estar relacionada com a altura do ano em que as amostras foram colhidas. As amostras As<sub>1</sub>, As<sub>2</sub> e As<sub>3</sub> foram colhidas em abril de 2018, época de frio e chuva, ao passo que As<sub>4</sub> e As<sub>5</sub>, assim como as amostras Ax<sub>1</sub> e Ax<sub>2</sub>, foram colhidas época seca, como tinha sido mencionado no subcapítulo 3.3.

A hidrofobicidade revelada pelas amostras no ensaio de permeabilidade em laboratório é observada nas primeiras 3 amostra (As). Nas últimas duas, As<sub>4</sub> e As<sub>5</sub>, apesar de se ter observado dificuldade no momento de saturação, este processo foi significativamente mais fácil nestas amostras. Estas facilidade foi também evidenciada nos resultados do ensaio MED. Comparando estes resultados com os valores de hidrofobicidade (infiltrómetro) verifica-se que não há correlação. No entanto há que ter em conta que um dos ensaios foi realizado *in situ* e que o outro foi realizado em laboratório, e que ambos apesar de determinarem a capacidade dum solo repelir a água os resultados são obtidos com abordagens diferentes e com diferentes teores de água.

### 3.6.5. Concentração dos elementos maiores e vestigiais

Na tabela 3.14 podem ser consultados os resultados das análises de ICP-MS tanto para as amostras representativas do contexto granítico como para as de contexto xistento.

Tabela 3.14 – Concentração dos elementos químicos maiores e vestigiais das amostras de solo de contexto granítico e de contexto xistento.

Elemento	Unidade	L.D.	As <sub>1</sub>	As <sub>2</sub>	As <sub>3</sub>	As <sub>4</sub>	As <sub>5</sub>	Ax <sub>1</sub>	Ax <sub>2</sub>
Ag	mg/Kg	0.01	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.56	0.33
Al	mg/Kg	2	25381	16172	16415	10772	8359	38953	35750
As	mg/Kg	0.5	1.9	6.1	15.6	7.1	2.0	27.7	21.5
Ba	mg/Kg	0.5	56	23	11	17	14	111	82
Be	mg/Kg	0.1	0.86	1.57	1.16	1.77	1.00	2.29	1.21
Bi	mg/Kg	0,1	0.1	0.6	2.2	7.32	3.72		
Ca	mg/Kg	50	2047	887	339	1413	775	1219	472
Cd	mg/Kg	0.05	<0.05	<0.05	0.12	0.06	0.07	0.14	0.14
Co	mg/Kg	0.05	4.5	2.5	0.6	0.6	0.2	14.2	8.7
Cu	mg/Kg	0.2	3.3	3.0	2.0	1.4	2.1	22.8	20.6
Cr	mg/Kg	0.3	29.8	8.7	3.3	4.8	3.6	152.1	264.6
Fe	mg/Kg	4	18553	16913	5930	2503	2646	34175	32589
K	mg/Kg	80	3598	4995	2998	1426	2754	4038	6044
Li	mg/Kg	0.1	33.6	83.4	82.1	63.8	159.8	65.8	38.7
Mg	mg/Kg	5	7221	3341	812	280	251	6694	4120
Mn	mg/Kg	1	408	147	48	26	44	1204	253
Mo	mg/Kg	0.4	0.4	0.6	0.4	0.2	0.7	6.3	8.0
Na	mg/Kg	20	135	527	361	274	231	484	359
Ni	mg/Kg	0.3	17.3	7.4	3.3	4.6	2.9	38.5	29.2
P	mg/Kg	50	279	462	241	590	316	1052	474
Pb	mg/Kg	0.05	7.6	9.8	10.5	17.1	18.0	29.4	29.2
Sb	mg/Kg	0.02	0.06	0.07	0.16	0.04	0.04	1.55	0.82
Sn	mg/Kg	0.05	0.28	1.54	0.50	0.53	0.26	4.27	3.66
Th	mg/Kg	0.2	15,6	3,6	4,6	2,1	2,1	8.5	5.5
Tl	mg/Kg	0.02	0.16	0.54	0.33	0.40	0.84	0.60	0.37
V	mg/Kg	0.1	38.3	16.3	3.2	3.7	2.4	51.4	58.7
W	mg/Kg	0.1	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	2.1	1.4
Zn	mg/Kg	0.5	34	63	38	19	24	127	69

As<sub>1</sub>: Carvalhal s/ sob. Vertente; As<sub>2</sub>: Pinhal s/ Moreia; As<sub>3</sub>: Urzal s/ Granito; As<sub>4</sub>: Cervunal de Altitude; As<sub>5</sub>: Zimbral de Altitude; Ax<sub>1</sub>: Castiçal s/ vertente; Ax<sub>2</sub>: Urzal e Giesta

Da tabela 3.14 destacam-se os elementos Al, Fe e K, como sendo os elementos químicos de maior concentração para as amostras graníticas. Os elementos Ca, Mg, Na e P apresentam valores mais baixos aos anteriores. Esta associação geoquímica é encontrada nos resultados obtido em Espinha Marque (2007) onde também o ferro e o alumínio são os elementos de maior concentração.

Na tabela 3.14, tal como nos solos representativos de contexto granítico, verifica-se que as amostras de solo em contexto xistento apresentam um enriquecimento em Al, Fe, seguidos pelo K, Mg, Mn, Ca e P, mas em concentrações mais baixas.

### 3.6.6. Análises mineralógicas das amostras de solo

As amostras também foram analisadas através do método de DRX de forma determinara as suas composições mineralógicas. Os resultados podem ser consultados no Anexo 9.

De forma geral as amostras de solo colhidas em contexto granítico apresentam quartzo, plagioclase (sódica) e feldspato (microclina), filossilicatos como moscovite, montmorilonite, vermiculite e caulinite, sendo estes dois últimos encontrados na fração argilosa. Rocha et al. (2005), refere também a presença de minerais acessórios como a siderite, opala, hematite, anidrite, etc.

No que diz respeito as amostras colhidas em contexto xistento, estes solos revelaram uma constituição mineralógica semelhante às amostras anteriores. Nestes solos para além do quartzo e dos filossilicatos já mencionados anteriormente, detetou-se também a presença de illite e clorite. Nas amostras também foi possível identificar, em menores proporções, a presença de feldspato (ortoclase) e albite.

Os resultados obtidos estão de acordo com de Espinha Marques (2007), sendo que este autor também indicou, com base nas proporções relativas que as amostras colhidas sobre substrato granítico, um relativo empobrecimento em illite, e enriquecimento nos restantes minerais argilosos (Espinha Marques, 2007).

De forma geral observou-se que os dados geoquímicos refletem a composição mineralógica das amostras, traduzida na maior abundância de Al, Fe, K, Mg, que constituem os minerais destacados dos contextos geológicos locais (Rocha et al. 2005). Com base na informação disponível é inferida uma origem detrítica para estes solos justificada pela predominância de filossilicatos, quartzo e feldspato (Espinha Marque, 2007)



## CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise das amostras e concluída a análise e discussão dos resultados, foi possível tirar algumas conclusões que se apresentam de seguida.

Quanto a caracterização das amostras de solo pode-se concluir que as amostras estudadas são, do ponto de vista granulométrico, caracterizadas por possuírem uma textura grosseira, com partículas cujas dimensões variam entre 2mm e 63 $\mu$ m, sendo que ocorre um predomínio de areia grosseira e muito grosseira. As únicas amostras que são exceção são as amostras  $As_2$  e  $Ax_1$  que apresentam na sua composição maior percentagem de cascalho do que de areia. Todas as amostras, com a exceção de  $As_4$ , são classificadas no diagrama triangular (areia, silt e argila) como areia siltosa.

As amostras de solo, de forma geral, apresentam carácter ácido. Contudo pode-se concluir que as amostras representativas de contexto granítico revelaram valores de pH mais baixos (solos mais ácidos) do que as amostras de contexto xistento.

Quanto aos valores de condutividade elétrica verifica-se que na generalidade as amostras representativas do contexto granítico ( $As_x$ ) apresentam um valor médio mais elevado (81.1 $\mu$ S/cm) do que as representativas de contexto xistento ( $Ax_x$ ) com um valor médio de C.E. de 66 $\mu$ S/cm.

Segundo a classificação proposta por Costa (2004) os valores de percentagem de matéria orgânica determinados, em ambos grupos de amostras, permitiram classificá-las como sendo tendo teores de MO muito alto e alto. Em média os valores determinados para as amostras colhidas em contexto xistento são maiores do que os valores obtidos nas amostras colhidas em contexto granítico. O teor de matéria orgânica determinado nestas últimas amostras está de acordo com o valor médio de 11.4% encontrado em Espinha Marques (2007).

No que respeita a condutividade hidráulica, esta foi determinada em laboratório e *in situ*, sendo que no campo o ensaio foi realizado com um infiltrómetro de minidisco que, através do volume de água infiltrada num certo período de tempo, permitiu determinar a condutividade hidráulica insaturada. Em média as amostras  $As_x$  revelaram uma maior condutividade hidráulica ( $K=2.88$  m/dia; 0,0033 cm/s), do que as amostras  $Ax_x$  ( $K=0.42$ m/dia; 0,00049 cm/s).

Os resultados obtidos no laboratório indicam para as amostras  $As_x$  um valor médio para a condutividade hidráulica saturada de aproximadamente  $K_{sat}=24.126$  m/dia (0,028 cm/s). Ao analisar os dados em detalhe percebe-se que os valores de  $K_{sat}$  diminuem de  $As_1$  para  $As_5$ . Este resultado pode ser explicado pelo movimento da água ocorrer por meio de macroporos e não microporos, traduzindo-se assim numa maior facilidade para a água circular. A comparação do valor médio determinado no presente trabalho com o apresentado em Espinha Marques (2007) mostra que este é superior, possivelmente pelo facto de neste estudo o valor de  $K_{sat}$  ter sido determinado em laboratório ao passo que o valor de referência foi obtido *in situ*, onde as condições de saturação nunca são iguais a aquelas obtidas em laboratório. Para além disso, ambos valores de K foram obtidos através de métodos diferentes e instrumentos diferentes.

Quanto ao teor de humidade as amostras  $As_x$  revelaram um valor médio mais elevado (30%) do que as amostras  $Ax$  (19%). A amostra  $As_4$  destaca-se das restantes por apresentar o valor de teor de humidade mais elevado. Se se descartar esta amostra, o valor médio das amostras  $As_x$  passa a ser 21%, valor este muito semelhante ao obtido para as amostras  $Ax_x$ . Em termos de densidade aparente as amostras  $As_x$

apresentam um valor médio de  $0.85\text{g/cm}^3$ , que se encontra concordante com o valor médio de  $1.03\text{g/cm}^3$  proposto por Espinha Marques (2007) para solos da mesma área.

No que respeita à composição mineralógica, as amostras de contexto granítico são compostas essencialmente por quartzo, filossilicatos, plagióclase e feldspato. Nas amostras representativas de contexto xistento a mineralogia observada é composta essencialmente por quartzo, filossilicatos, plagióclase e feldspato verificando-se também a presença de illite e clorite, ortóclase e albite em proporções menores. De forma geral a mineralogia aponta para uma origem detrítica tal como é mencionado na literatura (e.g. Rocha et al. 2005, Espinha Marques, 2007). A composição mineralógica reflete-se nos resultados das análises geoquímicas, de onde se destacam como elementos dominantes nas amostras  $As_x$  os elementos maiores Al, Fe e K, seguidos de Ca, Mg, Na e P em concentrações menores. No caso das amostras  $Ax_x$ , dominam os elementos Fe e Al e ainda K, Mg, Mn, Ca e P em menor concentração.

O cálculo da razão MO/CO permitiu inferir quanto a hidrofobicidade das amostras. Com base nos resultados concluiu-se que a amostra que mais se destaca por apresentar o valor mais elevado (2.33) é a amostra  $Ax_1$ . Nas amostras de contexto granítico sobressaem  $As_3$  e  $As_4$  por apresentarem o valor mais alto e baixo, respetivamente. A partir da razão pôde-se concluir que as amostras mais hidrofóbicas são  $As_4$  e  $As_1$ . Contudo, ao comparar estes resultados com os do teste MED, as amostras,  $Ax_1$ ,  $Ax_2$ ,  $As_4$  e  $As_5$  revelaram falta de hidrofobicidade (inexistente), confirmando a incoerência na relação entre a aromaticidade (obtida através da razão) e a hidrofobicidade das amostras. A amostra  $Ax_1$  corresponde a uma amostra cuja hidrofobicidade foi descrita como inexistente no MED, como era de esperar segundo o valor obtido na razão. No caso de  $As_4$  esta amostra não demonstrou qualquer repelência a água, o que seria precisamente o contrário do que era suposto, uma vez que é a amostra que apresenta o menor valor da razão. A amostra  $As_3$  (maior valor de entre as amostras  $As_x$ ), mostrou hidrofobicidade muito forte no MED. Este comportamento também foi observado nos valores de hidrofobicidade calculados através do ensaio do infiltrómetro, sendo que se concluiu que as únicas amostras não hidrofóbicas seriam as  $As_4$  e  $As_5$ .

A hidrofobicidade é influenciada por diversos parâmetros sendo um deles o teor de humidade no solo, apresentando entre elas uma relação inversa (Howell et al., 2006, in Exposito A. 2016). Os autores Doerr & Thomas (2000) referiram para solos de textura grosseira a ausência de repelência à água, uma vez atingidos valores de teor de humidade superiores a 28%, o que no presente estudo não se verifica. Apenas duas das amostras analisadas apresentam valores de teor de humidade superiores a 28%, sendo que destas duas apenas  $As_4$  (T.H.=67%) foi classificada como não hidrofóbica. A segunda amostra,  $As_3$  (T.H.=35%), mostrou-se fracamente hidrofóbica no infiltrómetro e muito fortemente hidrofóbica no MED. Neste caso em específico trata-se de amostras colhidas em épocas do ano diferentes, inclusive em anos diferentes, o que pode estar na origem da discrepância destes resultados. É de mencionar que uma das únicas amostras descritas como não hidrofóbica pelo MED e pelo método do infiltrómetro apresenta um teor de humidade inferior a 28% ( $As_5$  T.H.=17%).

A relação entre a repelência à água e o teor de humidade, reportada por diversos autores (e.g. Espinha Marques, 2007; Howell et al., 2006, em Exposito A. 2016), também não é clara nos resultados obtidos. Este fato pode ser devido ao reduzido número de amostras analisadas e/ou ao facto de as amostragens terem decorrido em diferentes períodos do ano e mesmo em anos diferentes. Um exemplo que ilustra a afirmação anterior refere-se às amostras  $As_4$  e  $As_5$  que apresentam teores de humidade muito diferentes, mas apresentam intensidades de hidrofobicidade idênticas. Outro exemplo reporta-se às

amostras  $As_3$  e  $As_2$  que em termos de repelência são classificadas como tendo hidrofobicidade muito forte (MED) mas que apresentam teores de humidade bastante dispares (35% e 8%, respetivamente) enquanto a amostra  $As_1$ , com um teor de humidade da ordem dos 23%, foi classificada como tendo hidrofobicidade forte.

Os resultados obtidos confirmam, tal como é mencionado na bibliografia, que existem diversos parâmetros e fatores que influenciam a hidrofobicidade para além do teor de humidade, tais como o teor de matéria orgânica, o tipo de matéria orgânica, e que em caso de ocorrer um incêndio a presença de cinzas e a severidade do incêndio, entre outros, podem também constituir parâmetros a ter em consideração na análise dos resultados.



## REFÊRENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Blott, S., 2010. GRADISTAT

Carvalho, A., 2013. Hidrogeologia Ambiental da Região do Parque Natural da Serra da Estrela (sector de Seia – Torre – Covilhã): uma abordagem multidisciplinar. Tese submetida à Universidade do Porto e à Universidade de Aveiro para a obtenção do grau de Doutor em Geociencias

Costa, J.B. 2004. Caracterização e constituição do solo. 7ed., Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkain.

Daveau, S., 1969. Structure et relief de la Serra da Estrela. Finisterra, Lisboa, 4, 7-8: 33-197.

Daveau, S., 1971. La glaciation de la Serra da Estrela. Finisterra, Lisboa, 6, 11: 5-40

Daveau, S., Brum Ferreira, A., Ferreira, N., Vieira, G.T. 1997. Novas Observações Acerca da Glaciação da Serra da Estrela. Estudos do Quaternário, 1. APEQ, Lisboa, pp.41-51.

DeBano, L.F. 2000. Water Repellency in Soils: A Historical Overview. Journal of Hydrology, 231-232, pp. 4-32.

Decagon, 2016. Minidisk Infiltrometer User's Manual (Version: September 2, 2016). Devices Devices, inc., Pullman, WA, USA.

Dias, S.R. 2018. Produção de Carvões Ativados por Pirolise em Micro-ondas de Resíduos Industriais para a Remoção de Fármacos da Água.

Doerr, S., 1998. Short Communication on Standardizing the “Water Drop Penetration Time” and the “Molarity of an Ethanol Droplet” Techniques to Classify Soil Hydrophobicity: A Case Study Using Medium Textured Soils. Earth Surface Processes and Landforms 23, 663-668.

Doerr, S.H., Shakesby, R.A., MacDonald, L.H. 2009. Soil Water Repellency: A Key Factor in Post-Fire Erosion? Em Cerda, A. & Robichaud, P. (Eds) Restoration Strategies After Forest Fires.

Doerr, S.H., Thomas, A.D. 2000. The Role of Soil Moisture in Controlling Water Repellency: New Evidence from Forest Soils in Portugal. Journal of Hydrology, 231-232, pp. 134-147.

Eijkelkamp Soil & Water. Laboratory permeameters, User Manual. 2017.

Espinha Marques J.E., Marques J.M., Carvalho J.M., Samper J., Carreira P.M., Fonseca P.E., Santos F.M., Chaminé H.; Almeida P.G., Moura R.M., Sodrê Borges F., Pinto de Jesus A., 2008. Modelação conceptual em Hidrogeologia: um caso de estudo no Parque Natural da Serra da Estrela. Geonovas nº 21, pp. 41 a 51

Espinha Marques, J., 2007. Contribuição para o Conhecimento da Hidrogeologia da Região do Parque Natural da Serra da Estrela (Sector de Manteigas – Neve de Santo António – Torre).

Espinha Marques, J., Duarte, J.H.M., Constantino, A.T., Aguiar, C., Rocha, F.T., Marques, J.M., Samper, J., Borger, F.S., Carvalho, J.M., Chaminé, H.I. 2009. Avaliação *in situ* da Condutividade Hidráulica de Solos de Montanha: um Caso de Estudo na Serra da Estrela (Centro de Portugal). Cadernos Lab. Xeoloxicos de Laxe Coruña.

Espinha Marques, J., Marques, J. M., Carreira, P. M., Fonseca, P. E., Monteiro Santos, F. A., Moura, R., Samper, J., Pisani, B., Teixeira, J., Carvalho, J. M., Rocha, F., Borges, F. S., 2013. Conceptualizing a mountain hydrogeologic system by using na integrated groundwater assessment (Serra da Estrela, Central Portugal): a review. Geosciences Journal, Vol. 17, No. 3, pp.371-386.

Espinha Marques, J.; Duarte, J.M., Constantino, A.T., Martins, A.A., Aguiar, C., Rocha, F.T., Inácio, M., Marques, J.M., Chaminé, H.I., Teixeira, J., Samper, J., Borges, F.S., Carvalho, J.M. (2007). Vadose zone characterisation of a hydrogeologic system in a mountain region: Serra da Estrela case study (Central Portugal). In L. Chery, L.; de Marsilly, G. Aquifer systems management: Darcy's legacy in a world of impending water shortage. London: Taylor & Francis. p. 207-221.

Exposito, A. 2016. Estudio de Algunas Propiedades Físicas en Suelos Bajo Pinar Destinados a Tratamientos Silvícola.

Ferreira, N.; Vieira, G., 1999. Guia geológico e geomorfológico do Parque Natural da Serra da Estrela. Locais de interesse geológico e geomorfológico, 112 pp.; 1 mapa. Parque Natural da Serra da Estrela. Edição Instituto da Conservação da Natureza/Instituto Geológico e Mineiro. Lisboa.

ISSO 1729-1. 2004. Water Quality – Application of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) – Part 1: General Guidelines.

Jaramillo, D.F, Dekker, L.W., Ritsema, C.J., Hendrickx, J.M.H. 2000. Occurrence of Soil Water Repellency in Arid and Humid Climates. *Journal of Hydrology* 231-232, pp. 105-111.

Korenkova, L., Urik, M. 2017. Effect of Soil Properties and Utilization on Water Repellency in Cambisols in White Carpathians, Slovakia. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, vol. 21, pp. 42-48.

Lautensach, H., 1932. Estudos dos Glaciares da Serra da Estrela. Publicações do Museu Mineralógico

Leme, J. 2015. Efeito dos Incêndios Florestais Sobre os Solos da Região da Serra do Caramulo.

Letey, J., Carrillo, M.L.K, Pang, X.P. 2000. Approaches to Characterize the Degree of Water Repellency. *Journal of Hydrology* 231-232, pp. 61-65.

Malkinson, D., Wittenberg, L. 2011. Post Fire Water Repellency – Modeling Short and Long-Term Processes. *Geomorphology*, vol. 125, pp. 186-192.

Mendes E.G., Ferreira Gomes L.M., Condesso de Melo M.T. 2008. Contributo para a caracterização hidrogeológica das águas subterrâneas do maciço granítico da Serra da Estrela. *Comunicações Geológicas*, 2008, t. 95, pp. 61-71

Moody, D.R., Schlossberg, M.J. 2010. Soil Water Repellency Index Prediction Using the Molarity of Ethanol Droplet Test.

Mora, C. A. 2006. Climas da Serra da Estrela. Características Regionais Particularidades locais dos Planaltos e do Alto Vale do Zêzere.

Mora, C. & Vieira, G.T., 2004. Balance radiactivo de los altiplanos de la Sierra de Estrella (Portugal) en una mañana de invierno. *Metodología y primeros resultados*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Natur., Sec. Geol., 99, 1-4: 37-45.

Oliveira, J. T.; Pereira, E.; Ramalho, M.; Antunes, M. T., & Monteiro, J. H., Coords, 1992. Carta Geológica de Portugal à escala 1/500 000. 5ª Ed., 2 folhas. Serviços Geológicos de Portugal.

Olorunfemi, I.E., Fasinmirin, J.T. 2017. Land Use Management Effects on Soil Hydrophobicity Properties in Ekiti State, Forest Vegetation Zone of Nigeria. *Catena*, vol. 155, pp. 170-182.

Paiva, M., 2016. Estudo Morfométrico e Hidrogeoquímico de Lagoas da Serra da Estrela. Mestrado em Geologia da Universidade do Porto

- Porta, J., López-Acevedo Reguerin, M., Laburu, C. 2003. Edafologia para la Agricultura y el Medio Ambient. 3ed.
- Ribeiro, A., Kullberg, M. C., Kullberg, J. C., Manuppella, G. & Phipps, S., 1990. A review of Alpine tectonics in Portugal: Foreland detachment in basement and cover rocks, Tectonophysics, 184: 357-366.
- Robichaud, P.R., Lewis, S.A., Ashmun, L.E. 2008. New Procedure for Sampling Infiltration to Assess Post-Fire Soil Water Repellency. United States Department of Agriculture.
- Rocha, F., Inácio, M., Espinha Marques, J., Gonçalves, P., Aguiar, C., Chaminé, H.I. 2005. Clay Mineralogy and Geochemistry of Soils from Serra da Estrela Natural Park (Central Portugal): Preliminary Results. In XIV Semana de Geoquímica, VIII Gogresso de Goequímica dos Países de Língua Portuguesa. Universidade de Aveiro. Actas, Vol. 2, pp.611-614.
- Rockwell, T., Fonseca, J., Madden, C., Dawson, T., Owen, L.A., Vilanova, S., Figueiredo, P. 2009. Palaeoseismology of the Vilarça Segment of the Manteigas – Bragança Fault in Northeastern Portugal.
- Romeo, R., Vita, A., Manuelli, S., Zanini, E., Freppaz, M. & Stanchi, S. 2015. *FAO. Understanding Mountain Soils: A contribution from mountain areas to the International Year of Soils.*
- Shimadzu Corporation, Analytical & Measuring Instruments Division. PC-Controlled Total Organic Carbon Analyzer, TOC-Vcph/cpn & TOC-Control V Software, User Manual.
- Silvia A.P., Santo Coelho M.F.E., Pires V.C., Mendes L., Atlas Climatológico de Portugal Continental 1971-2000: Cartografia da temperatura do ar e da precipitação. Conferencia iberica ESIG 2010, Oeiras, Portugal
- Soil Science Division Staff. 2017. Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Sutherland, R.A. 1998. Loss – On – Ignition estimates of organic Matter and Relationships to Organic Carbon in Fluvial Bed Sediments. *Hidrogeologia*, Vol. 389, pp. 153-167.
- Teixeira C.; Brito de Carvalho, L. H.; Paula Santos, J.; Martins Peres, A.; Barros, R. F.; Pilar, L.; Fernandes, A.P. & Rocha, A.T., 1967. Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia Explicativa da folha nº 17-D – Gouveia, 28 pp. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Teixeira, C.; Brito de Carvalho, L.H.; Barros, R.F.; Martins, J.A.; Haas, W.E.L.; Pilar, L. & Rocha, A.T., 1961. Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50.000. Notícia Explicativa da folha 17-C – Santa Comba Dão, 31 pp. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Teixeira C.; Martins, J. Ávila; Medeiros, A. C.; Pilar L.; Mesquita, L. Pinto de., Ferro, M. Neves, Fernandes A.P & Rocha A., 1963a. Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia Explicativa da folha 18-C – Guarda, 25 pp. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa
- Teixeira C.; Medeiros, A.C.; Pilar L.; Carvalhosa, A.; Ferro, M.N. & Rocha, A.T., 1963b. Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha 18-A – Vila Franca das Naves, 27 pp. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Teixeira, C.; Santos, J. Paula; Carvalho, H.F., Fernandes, A. Peinador & Vairinho, M. Margarida, 1974. Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia Explicativa da folha 20-B – Covilhã, 52 pp. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Vieira, G. T. 2004. Geomorfologia dos planaltos e altos vales da Serra da Estrela. Ambientes frios do Plistocénico Superior e dinâmica atual. Tese de Doutoramento em Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa

Vieira, G., Jansen, J., Ferreira, N., 2005. Environmental Setting of the Serra da Estrela, Portugal: a short note. *Landscape Ecology and Management of Atlantic Mountains*.

Vieira, G.T., Brum Ferreira, A., 1998. General Characteristics of the Glacial Geomorphology of the Serra da Estrela. In: *Glacial and Periglacial Geomorphology of the Serra da Estrela. Guidebook for the fieldtrip. IGU Commission on the Climate Change and Periglacial Environments, 26-28 August 1998, Published: CEG, Universidade de Lisboa, Editors: Vieira G., pp.37-48*

Vicente, G., Vegas, R. 2009. Large-scale distributed deformation-controlled topography along the western Africa–Eurasia limit: Tectonic constraints. *Tectonophysics*, 474, pp. 124-143.

### **Cartas Geológicas e Topográficas consultadas no âmbito do trabalho**

Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000, Folha 17-C – Santa Comba Dão. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1962.

Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000, Folha 17-D – Gouveia. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1966.

Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000, Folha 18-A – Vila Franca das Naves. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1962.

Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000, Folha 18-C – Guarda. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1963.

Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000, Folha 20-B – Covilhã. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1975.

Carta Militar de Portugal na escala 1/25 000, Folha 212 (Seia), Instituto Geográfico do Exército, Ed. 2, Lisboa, 1993.

Carta Militar de Portugal na escala 1/25 000, Folha 213 (Manteigas), Instituto Geográfico do Exército, Ed. 3, Lisboa, 1998

Carta Militar de Portugal na escala 1/25 000, Folha 223 (Loriga – Seia), Instituto Geográfico do Exército, Ed. 2, Lisboa, 1993.

Carta Militar de Portugal na escala 1/25 000, Folha 224 (Teixoso – Covilhã), Instituto Geográfico do Exército, Ed. 3, Lisboa, 1998.

### **Páginas Web Consultadas**

<http://www.decagon.com.br/hidrologia/conductividade/mini-disk/>



**ANEXOS**

ANEXO 1

As1

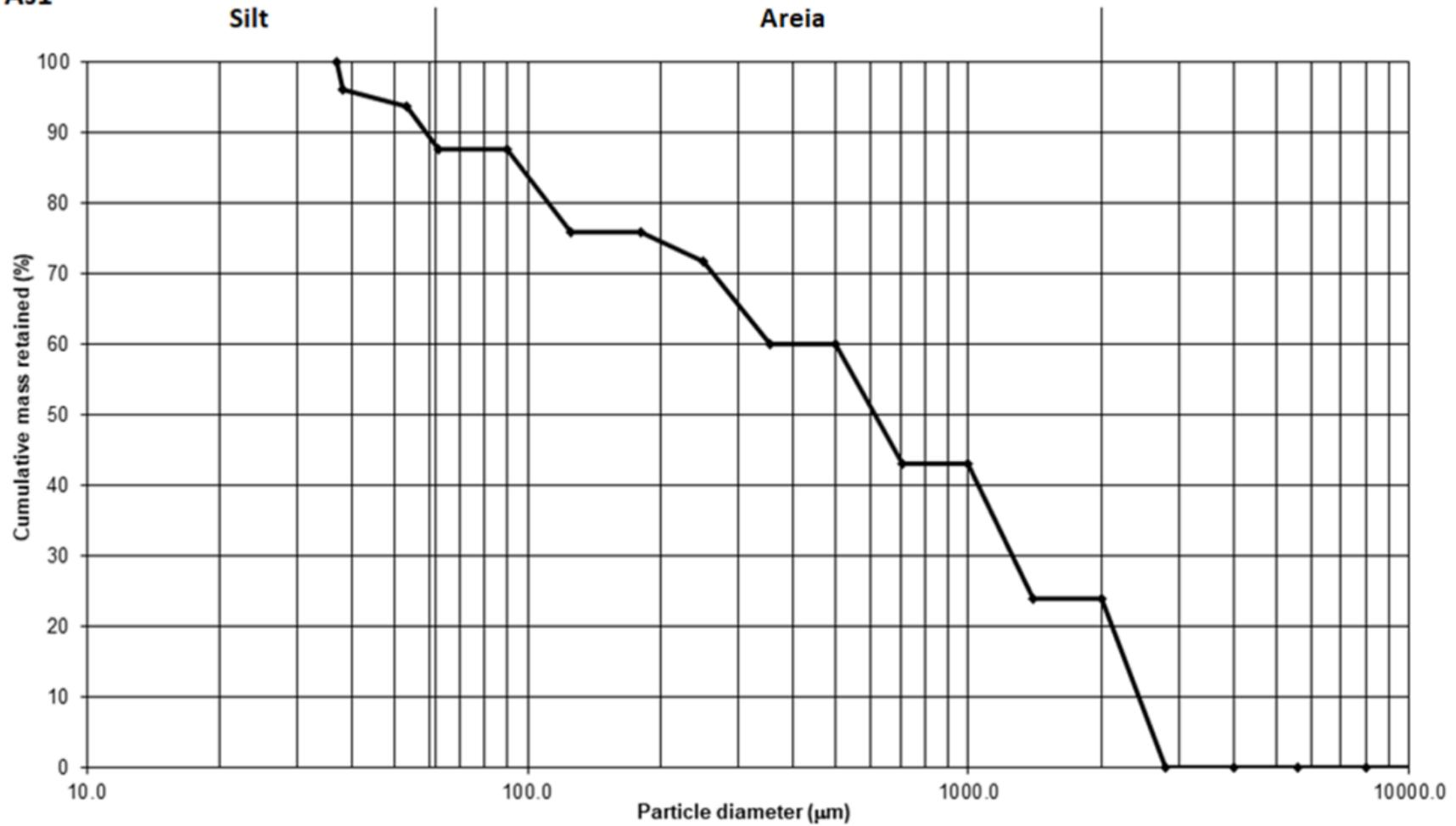


Figura A.1 - Curva granulométrica da amostra As1

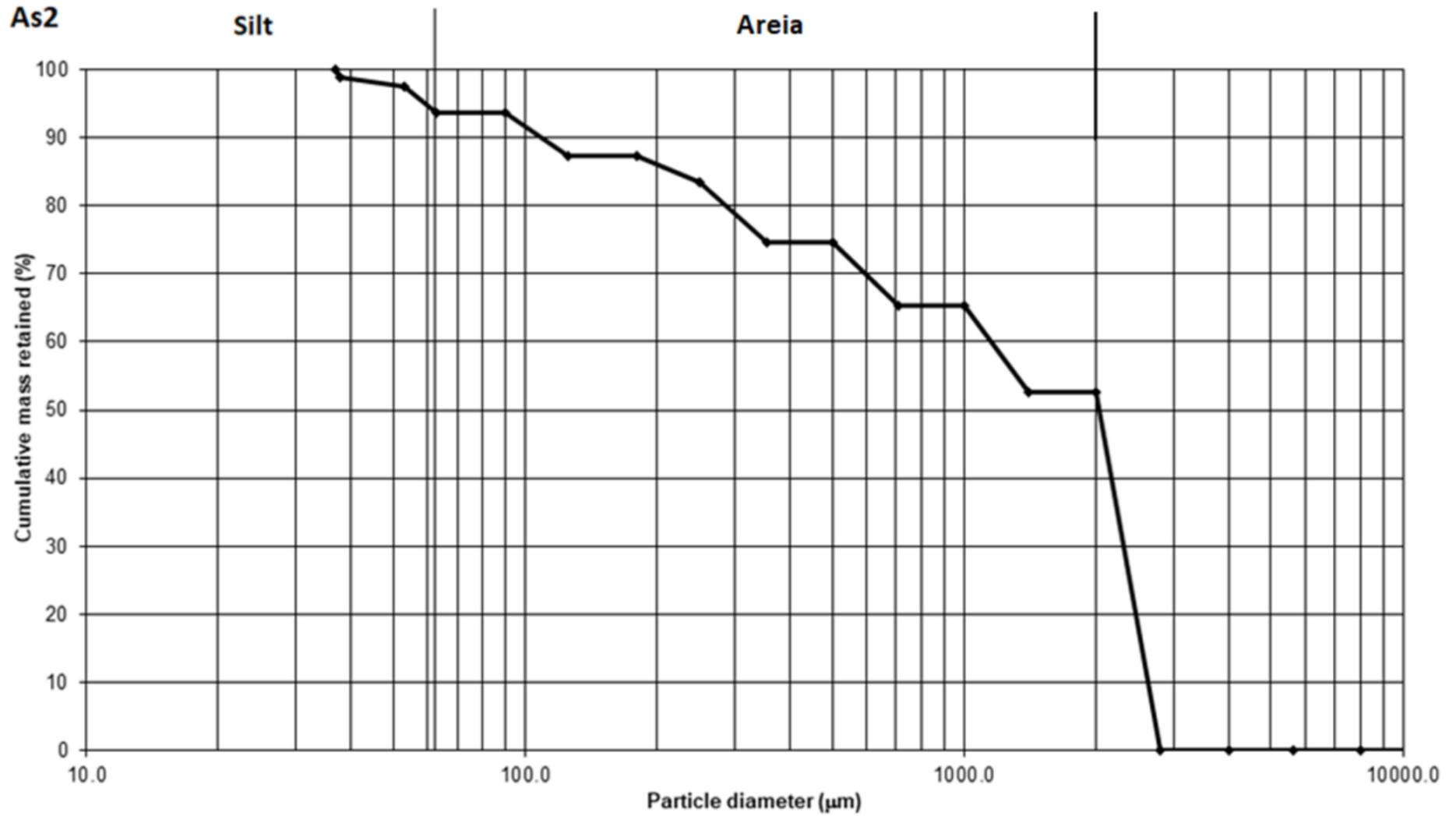


Figura A.2 - Curva granulométrica da amostra As2.

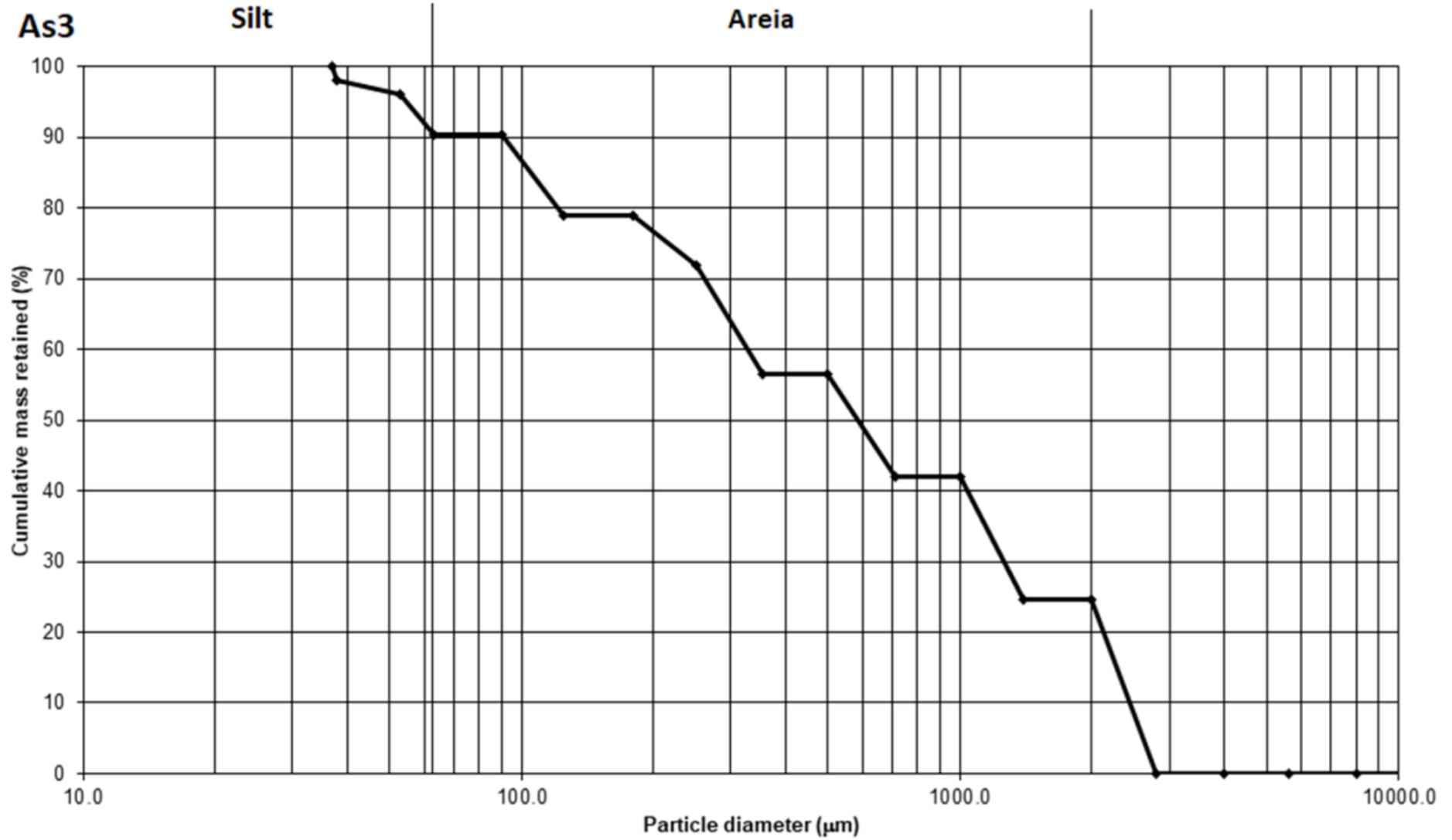


Figura A.3 - Curva granulométrica da amostra As3

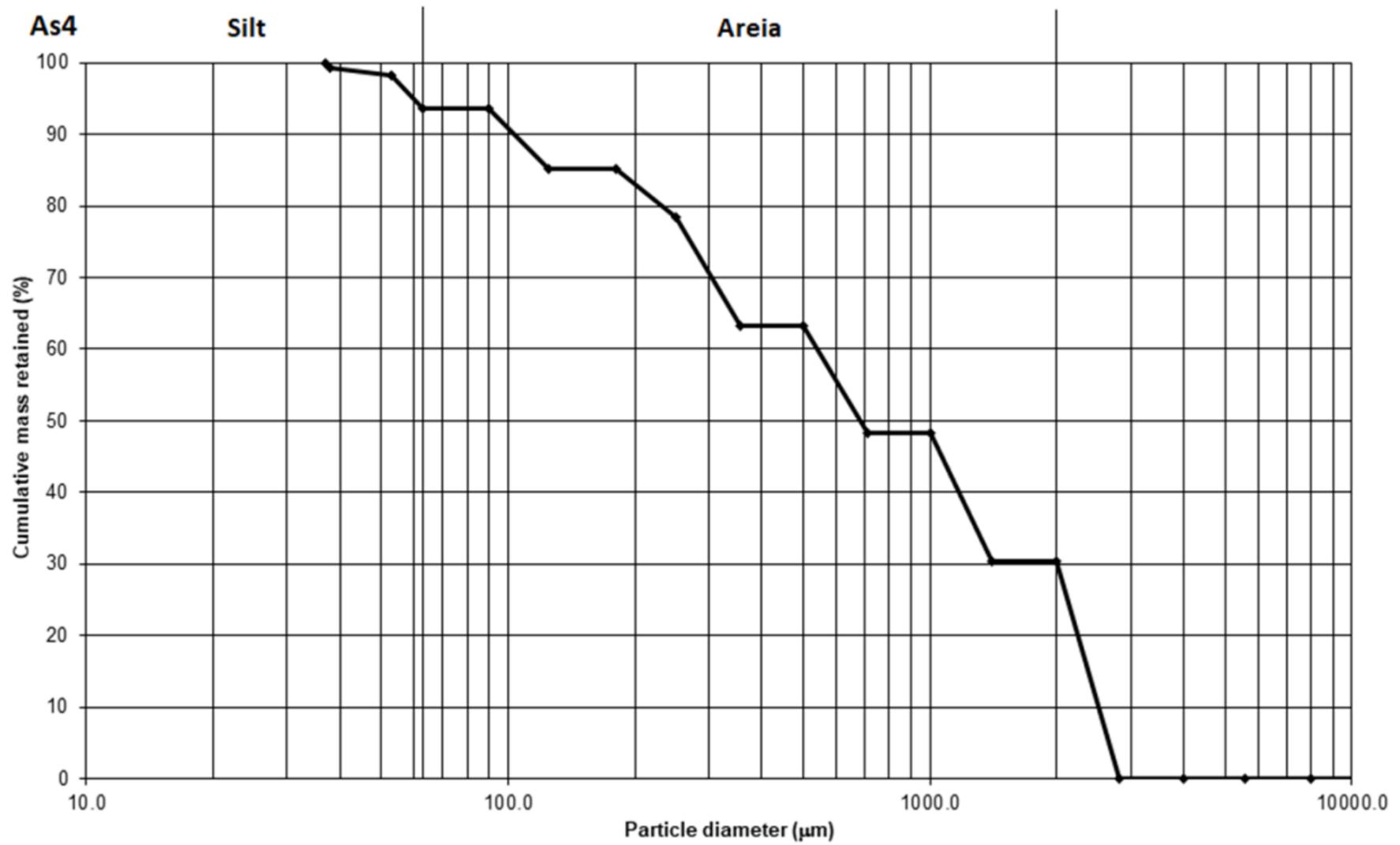


Figura A.4 - Curva granulométrica da amostra As4

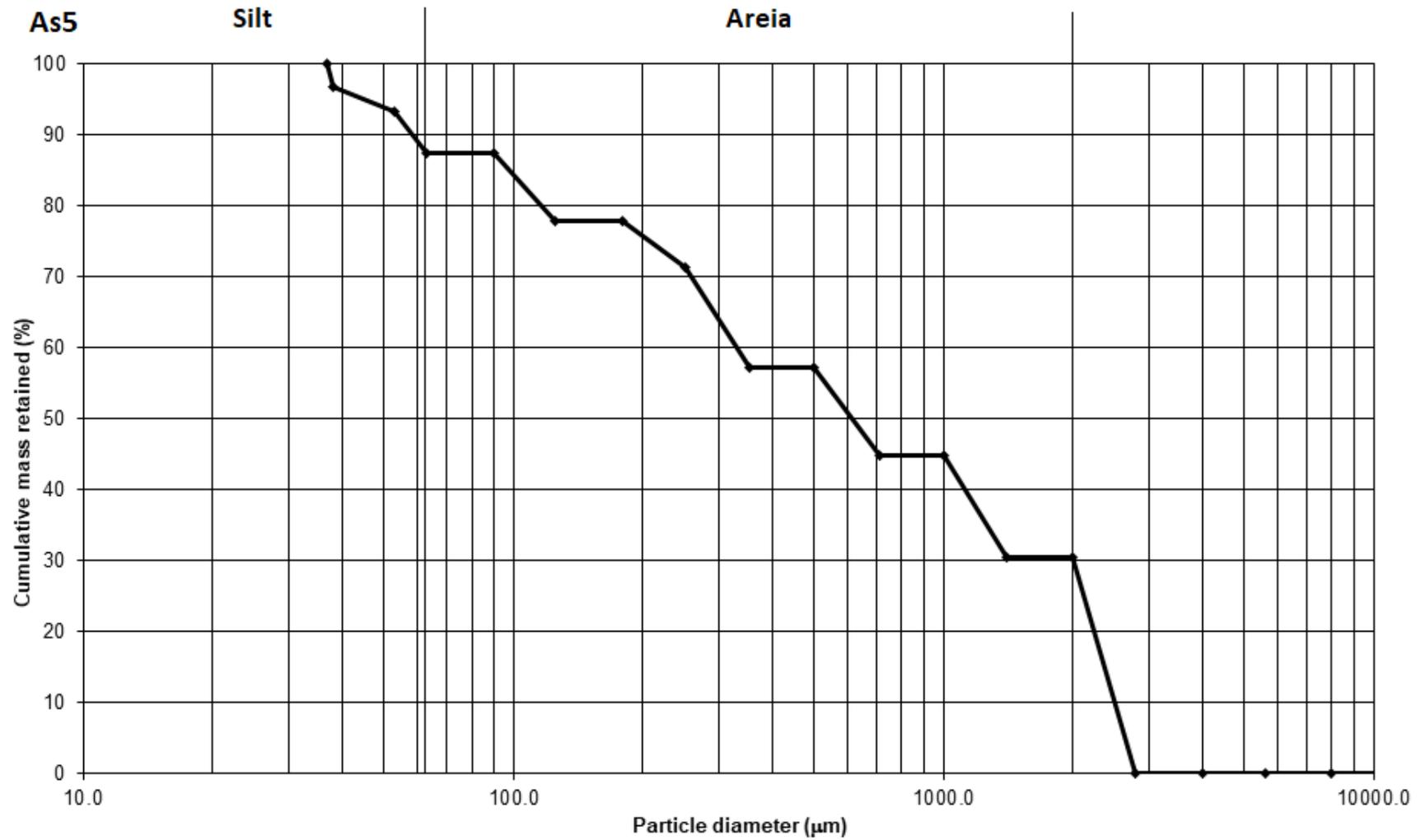


Figura A.5 - Curva granulométrica da amostra As5

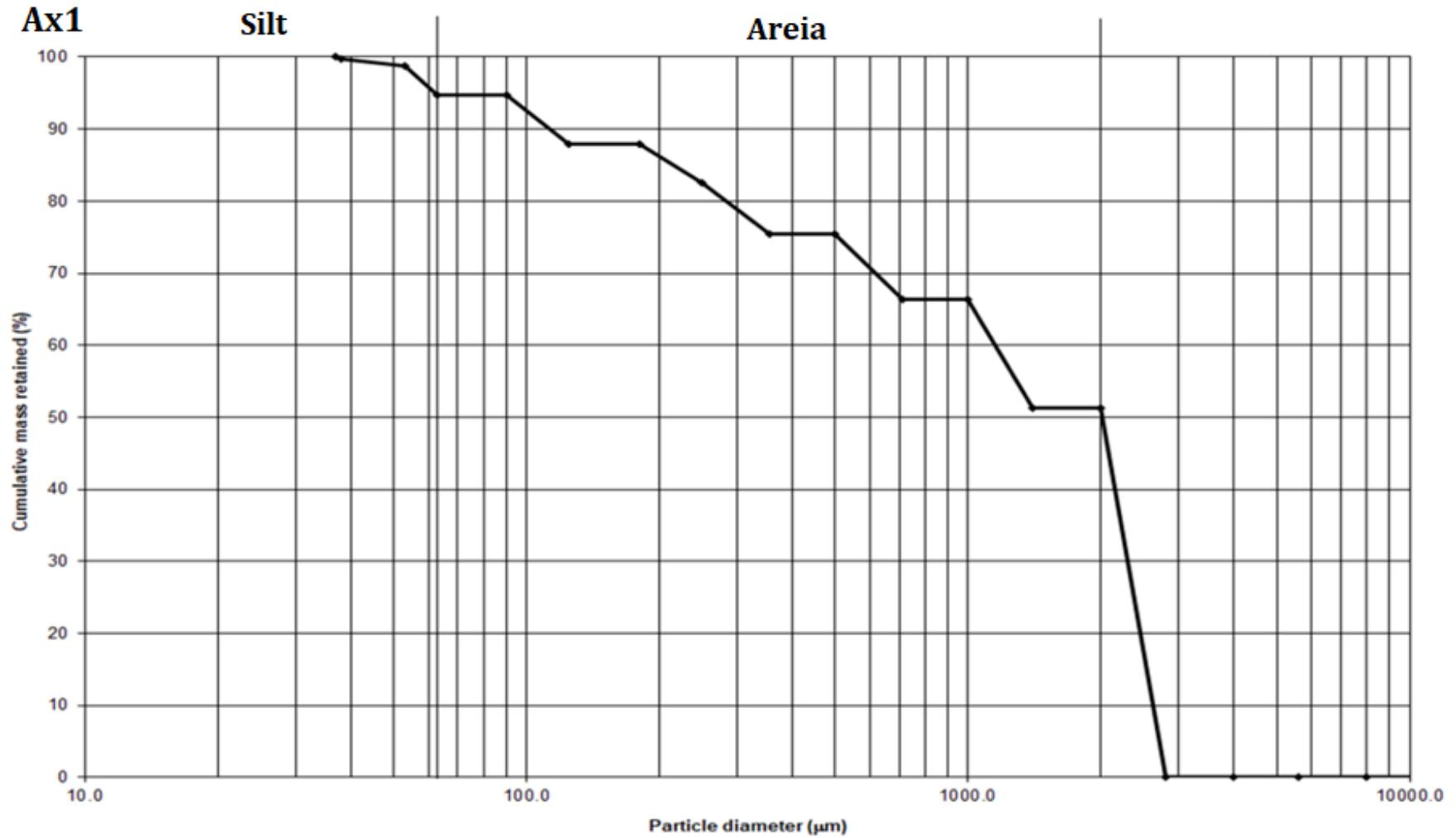


Figura A.6 - Curva granulométrica da amostra Ax1

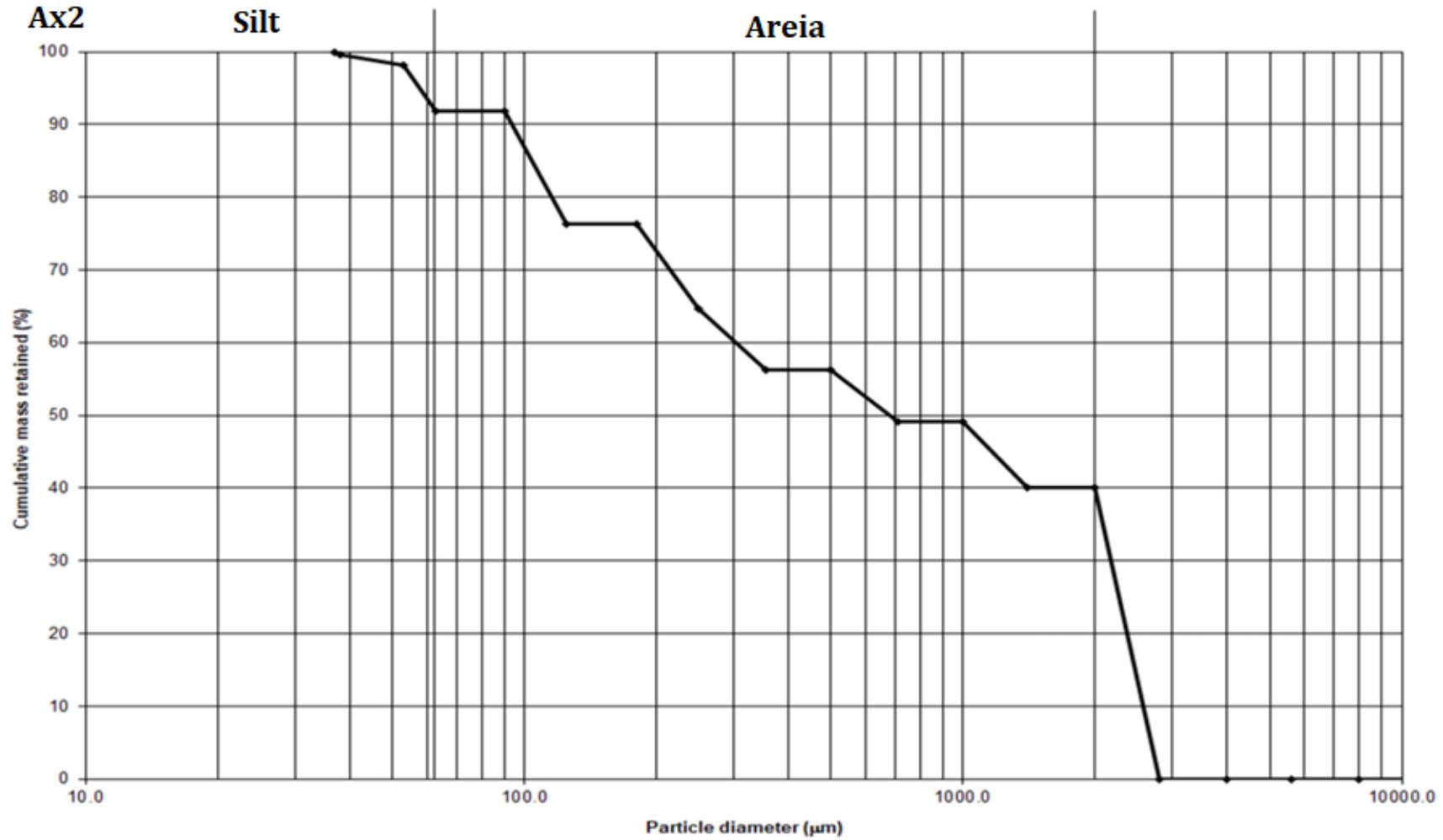


Figura A.7 - Curva granulométrica da amostra Ax2

## Anexo 2 – Estatísticas sobre a granulometria das amostras

### As1

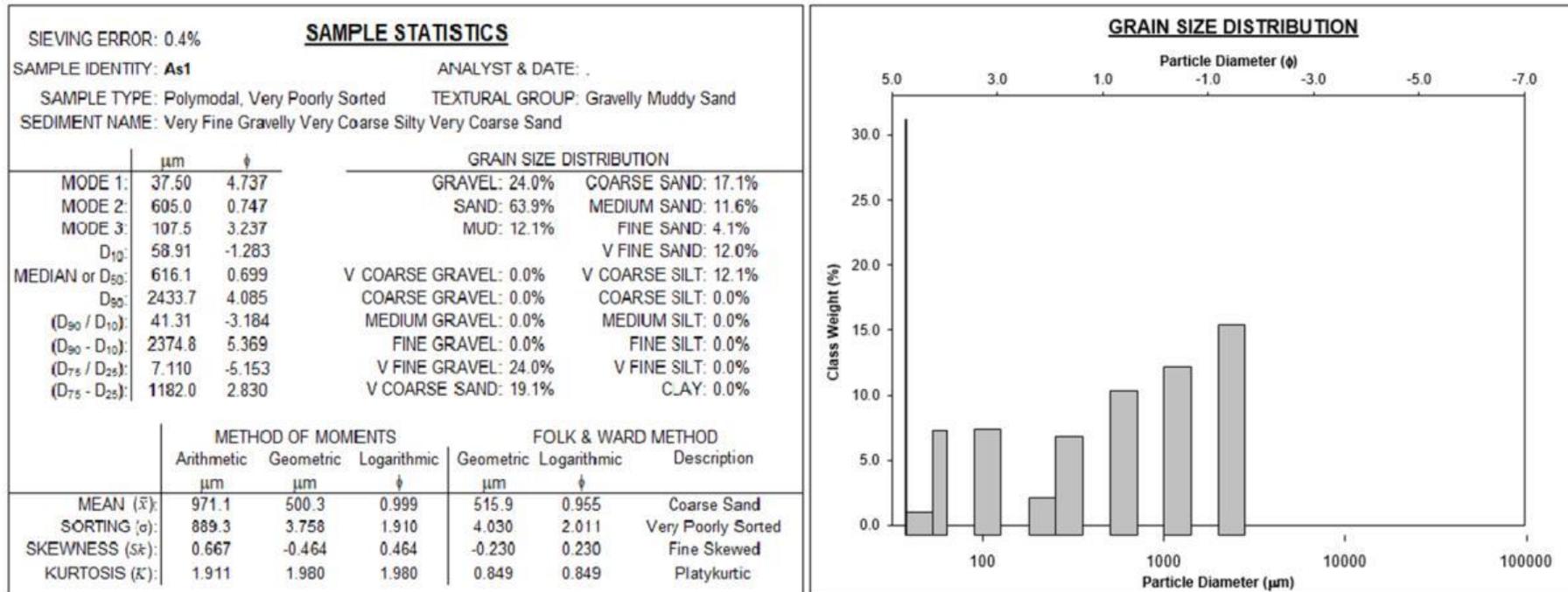


Figura A.8 – Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra As1

As2

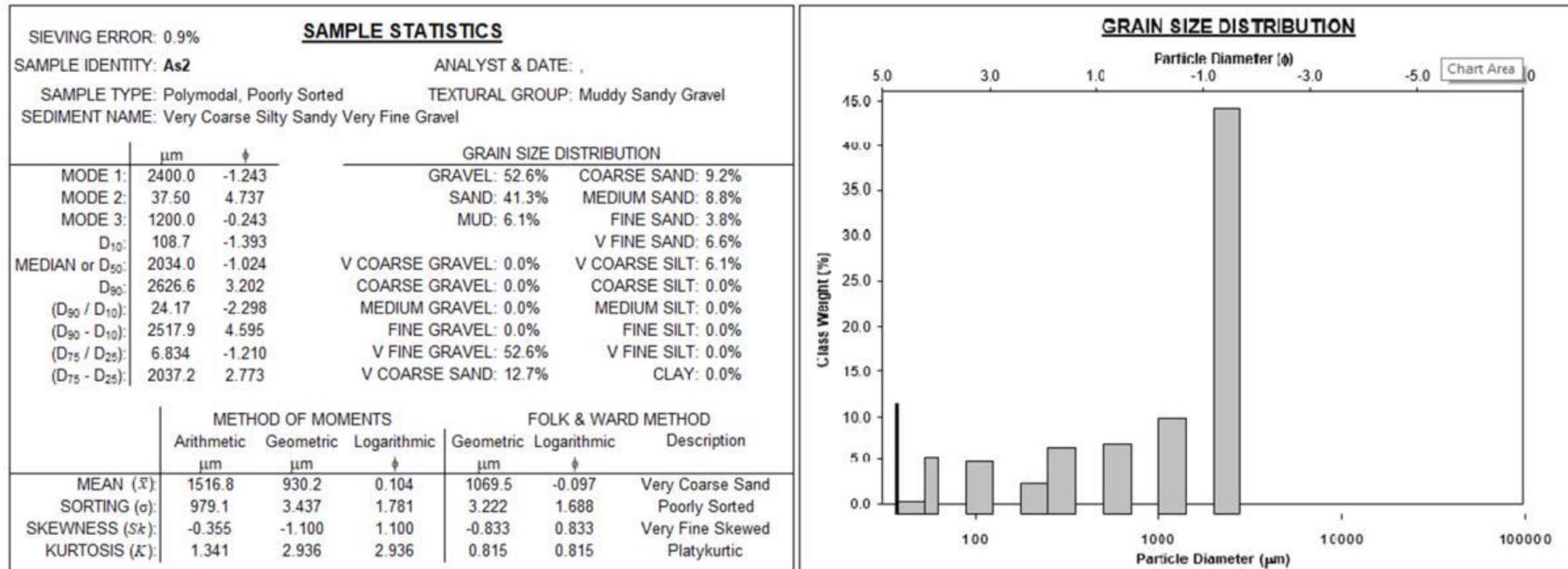


Figura A.9 – Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra As2

As3

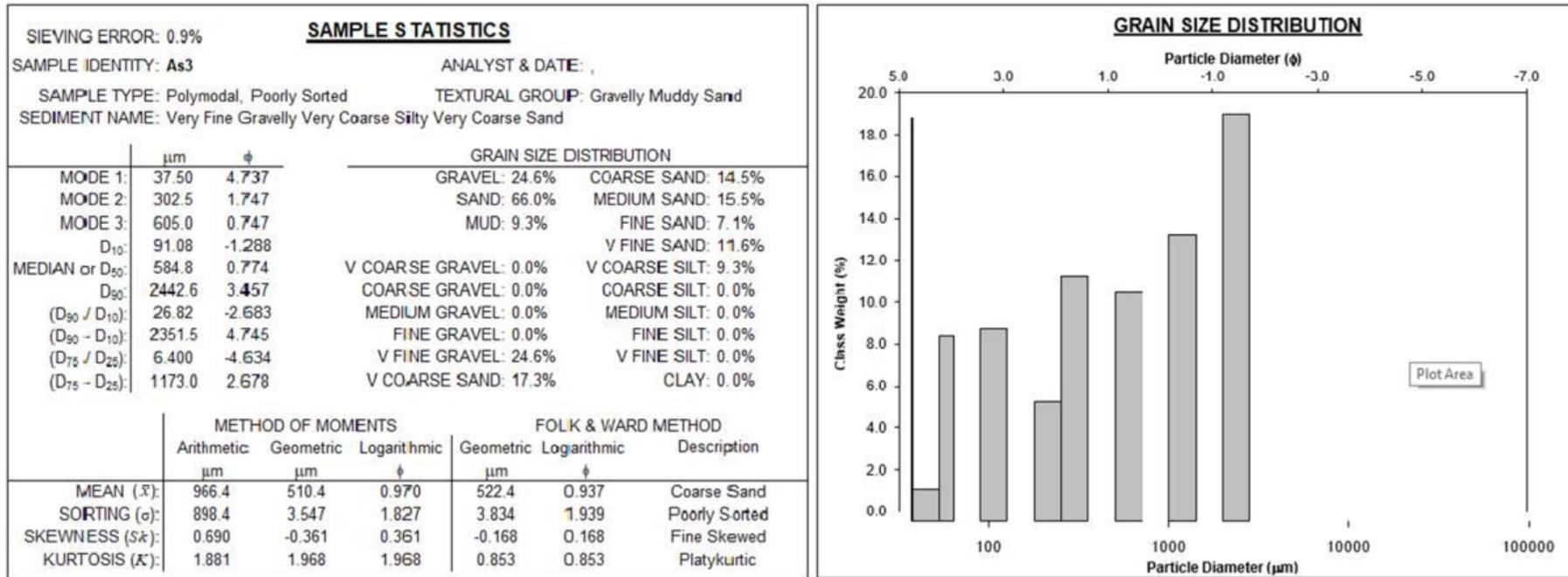


Figura A.10 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra As3

As4

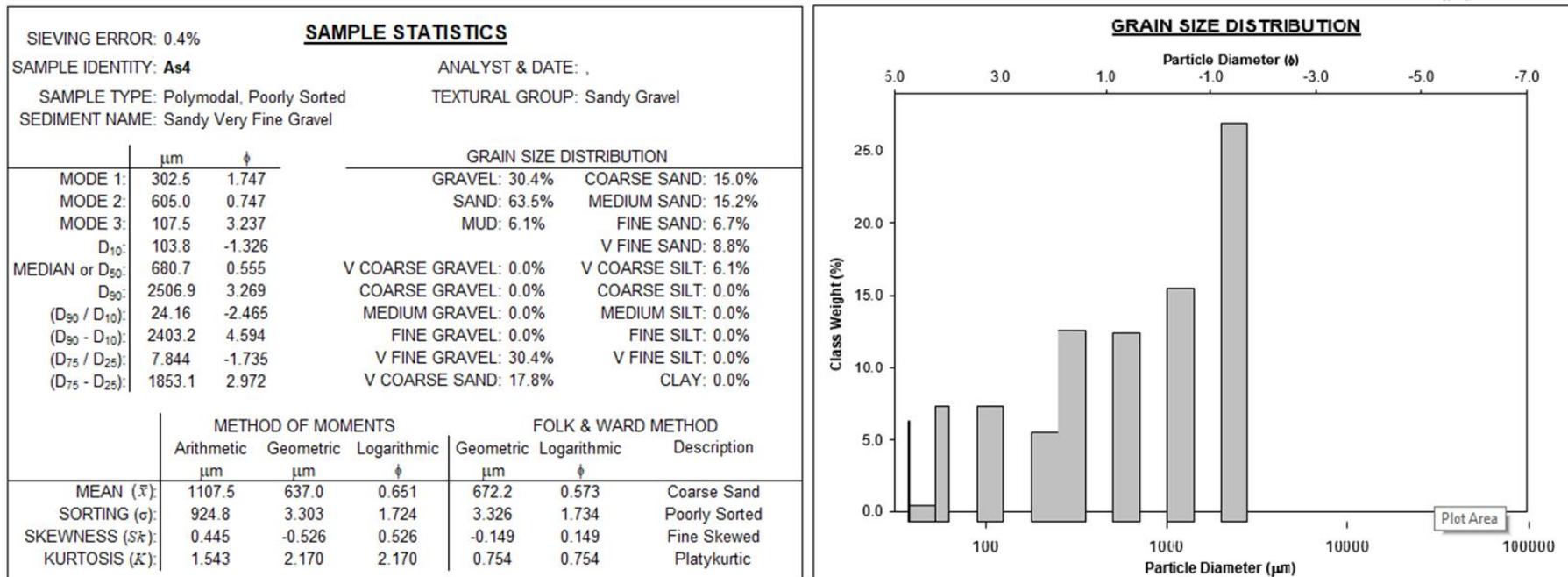


Figura A.11 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra As4

As5

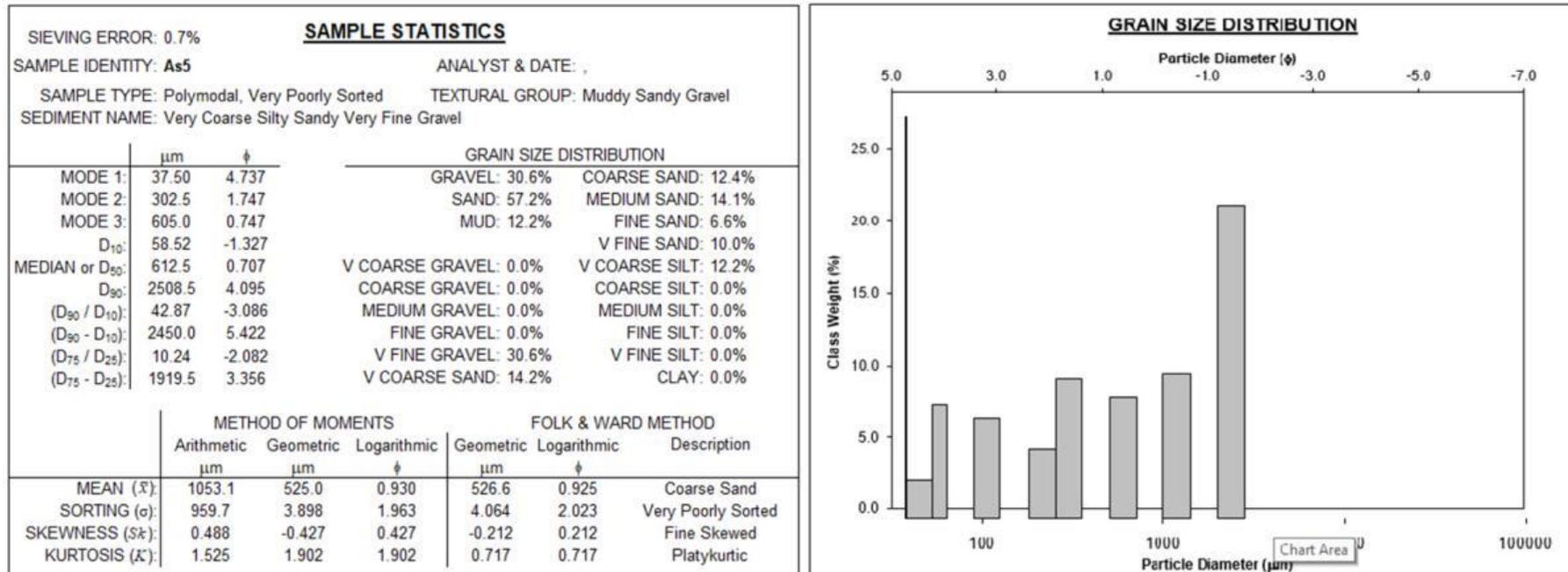


Figura A.12 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra As5

Ax1

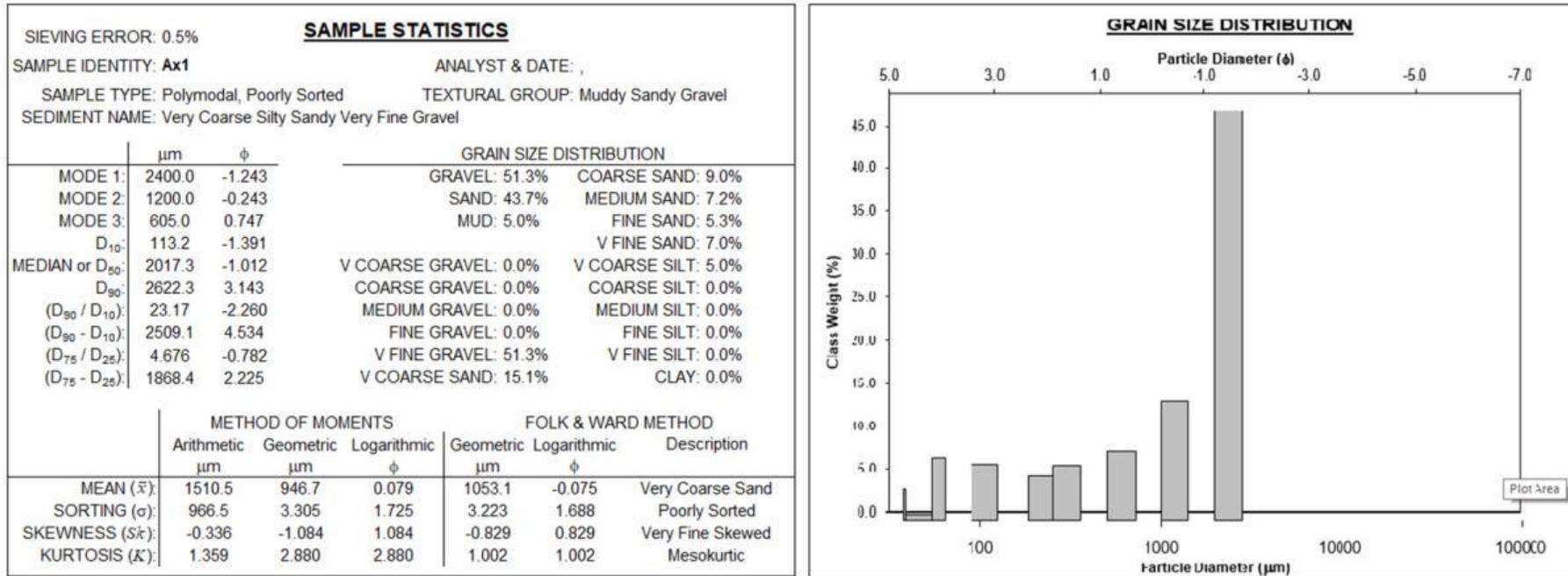


Figura A.13 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra Ax1

Ax2

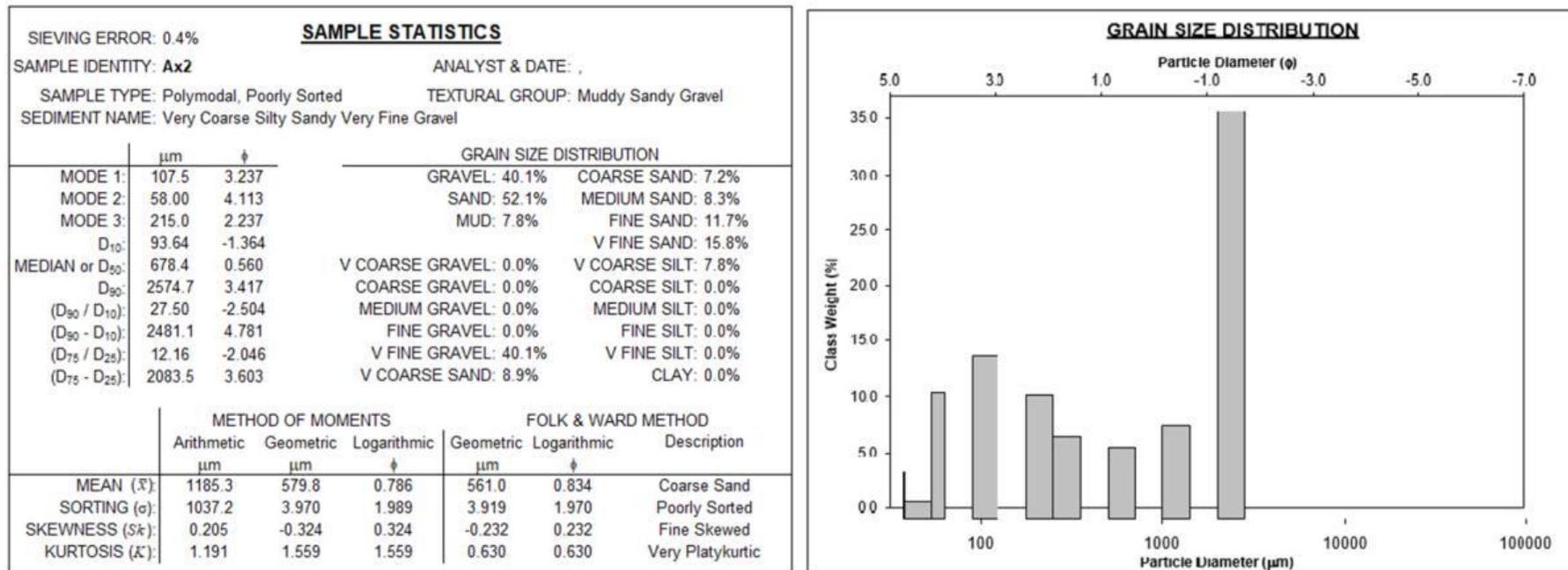


Figura A.14 - Dados estatísticos sobre a granulometria da amostra Ax2

### Anexo 3 – Classificação da textura das amostras

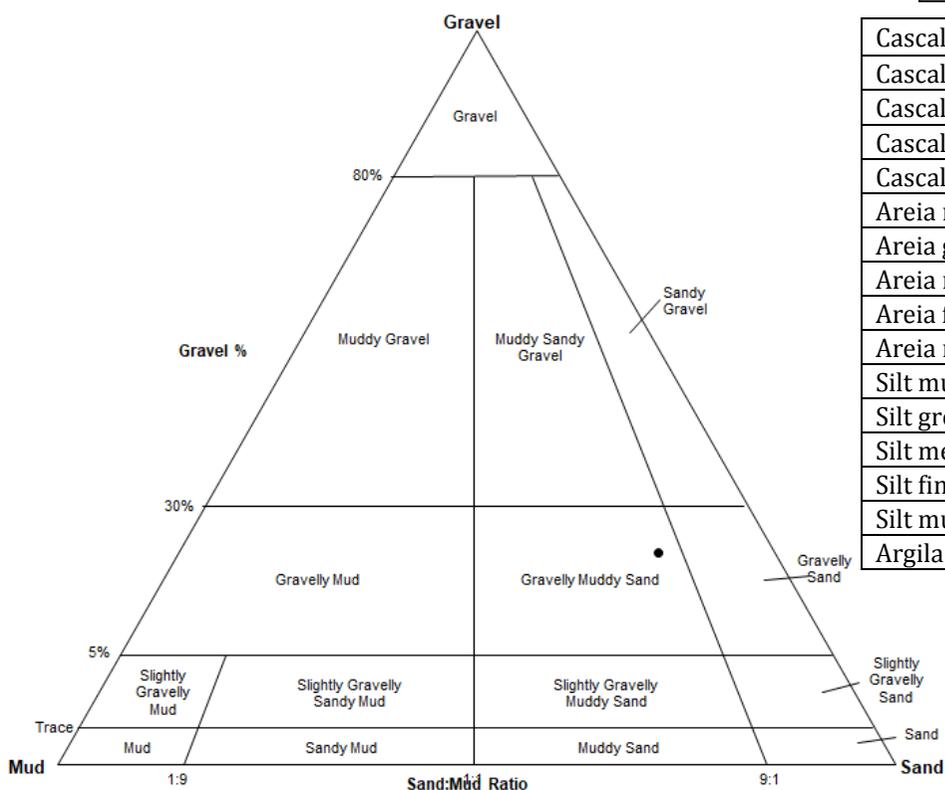
Amostra: As1

Tabela A.1 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra As1

Cascalho:	24%
Areia:	63.9%
“Mud”:	12.1%

Cascalho muito grosseiro:	0%
Cascalho grosseiro:	0%
Cascalho medio:	0%
Cascalho fino:	0%
Cascalho muito fino:	24%
Areia muito grosseira:	19.1%
Areia grosseira:	17.1%
Areia media:	11.6%
Areia fina:	4.1%
Areia muito fina:	12%
Silt muito grosseira:	12.1%
Silt grosseira:	0%
Silt medio:	0%
Silt fino:	0%
Silt muito fino:	0%
Argila:	0%

Classificação: “Gravelly Muddy Sand”



Classificação: Areia Siltosa

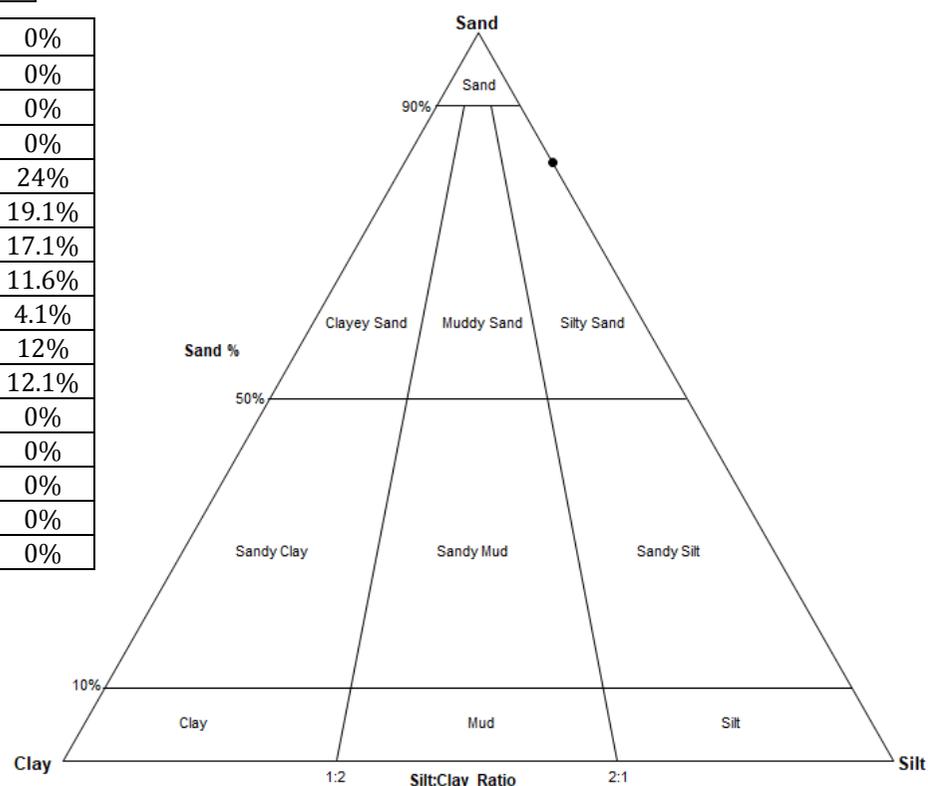


Figura A.15 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra As1. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.

## Estudo Hidropedológico de Solos Graníticas e Xistentos da Serra da Estrela

Amostra: **As2**

Classificação: "Muddy Sandy Gravel"

Tabela A.2 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra As2

Cascalho:	52.6%
Areia:	41.3%
"Mud":	6.1%

Classificação: Areia Siltosa

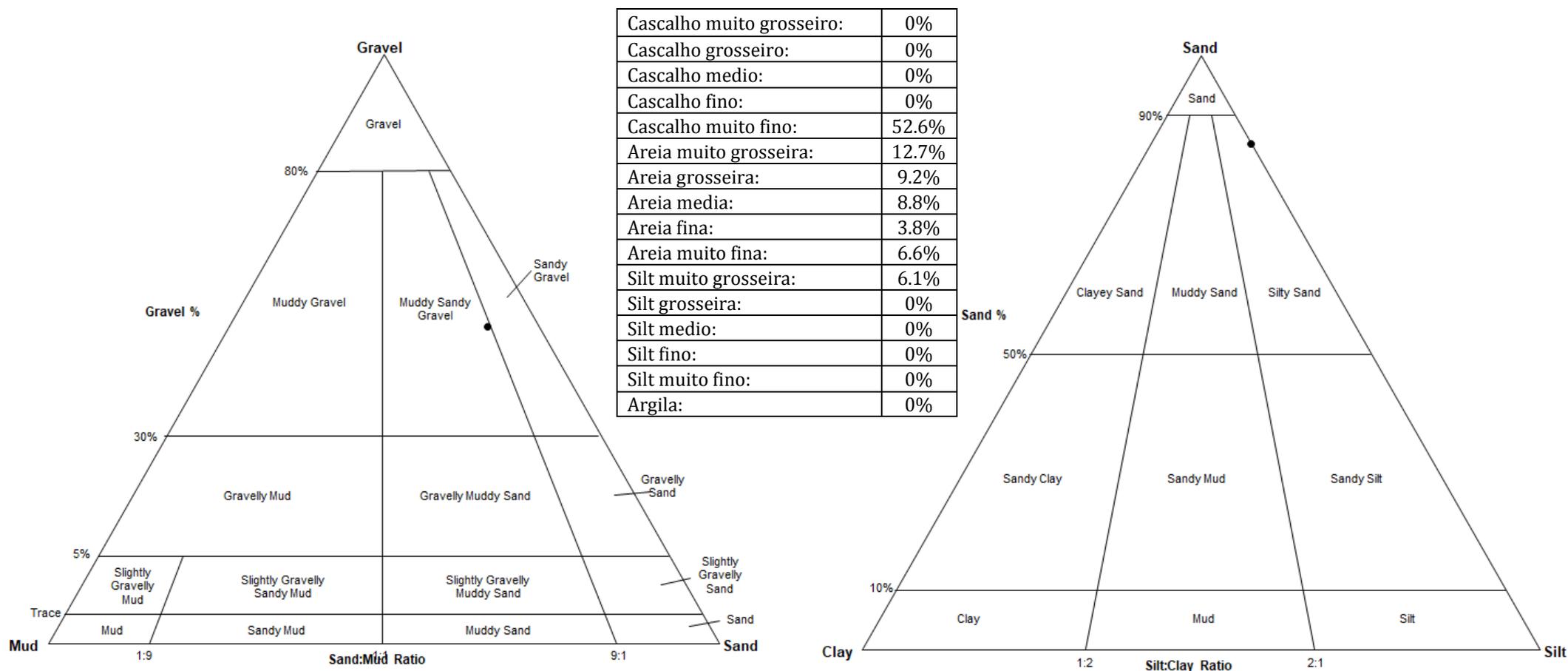


Figura A.16 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra As2. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e "Mud"; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.

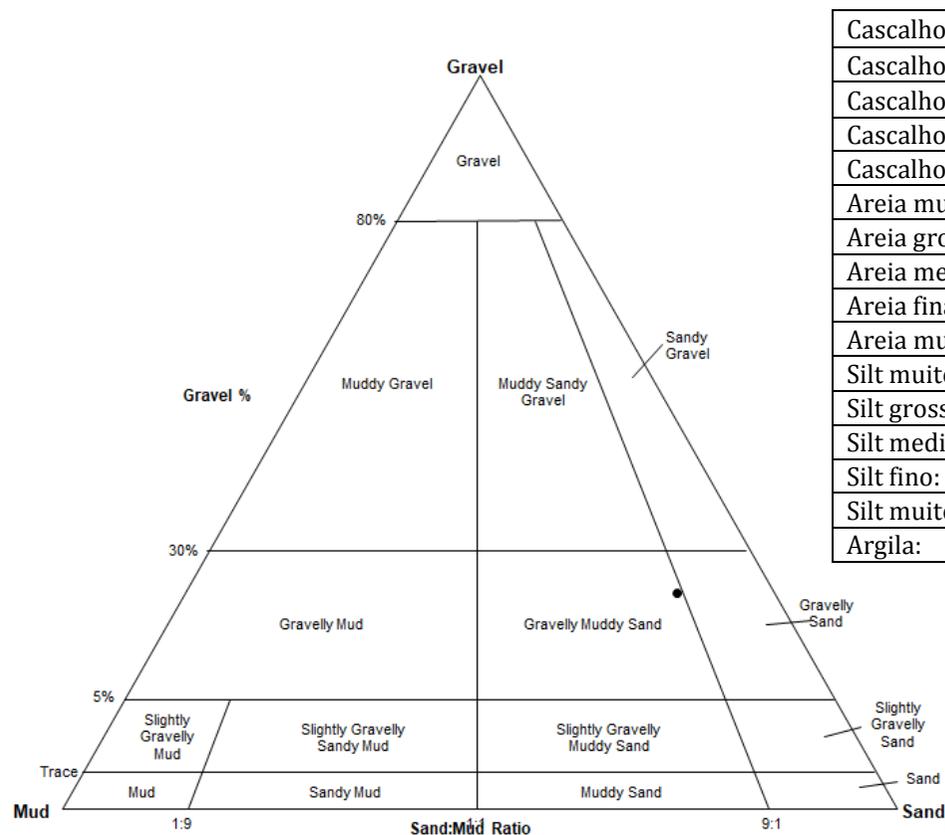
Amostra: **As3**

Classificação: “Gravelly Muddy Sand”

Tabela A.3 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra As3

Cascalho:	24.6%
Areia:	66%
“Mud”:	9.3%

Classificação: Areia Siltosa



Cascalho muito grosseiro:	0%
Cascalho grosseiro:	0%
Cascalho medio:	0%
Cascalho fino:	0%
Cascalho muito fino:	24.6%
Areia muito grosseira:	17.3%
Areia grosseira:	14.5%
Areia media:	15.5%
Areia fina:	7.1%
Areia muito fina:	11.6%
Silt muito grosseira:	9.3%
Silt grosseira:	0%
Silt medio:	0%
Silt fino:	0%
Silt muito fino:	0%
Argila:	0%

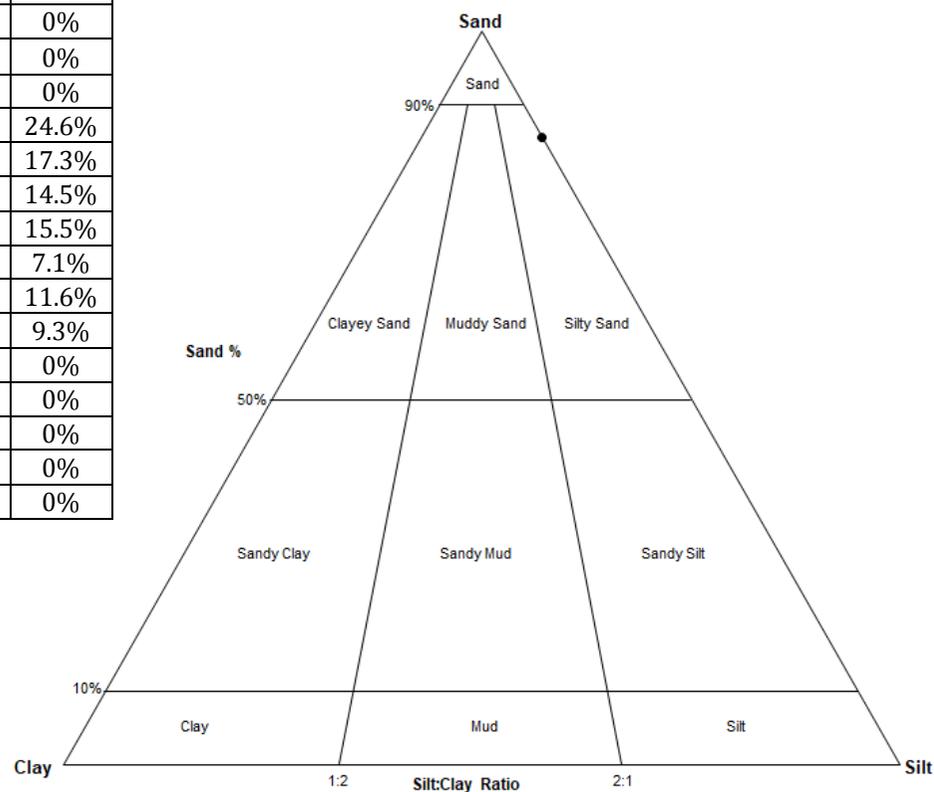


Figura A.17 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra As3. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.

## Estudo Hidropedológico de Solos Graníticas e Xistentos da Serra da Estrela

Amostra: **As4**

Tabela A.4 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra As4

Cascalho:	30.4%
Areia:	63.5%
“Mud”:	6.1%

Classificação: “sandy Gravel”

Classificação: Areia

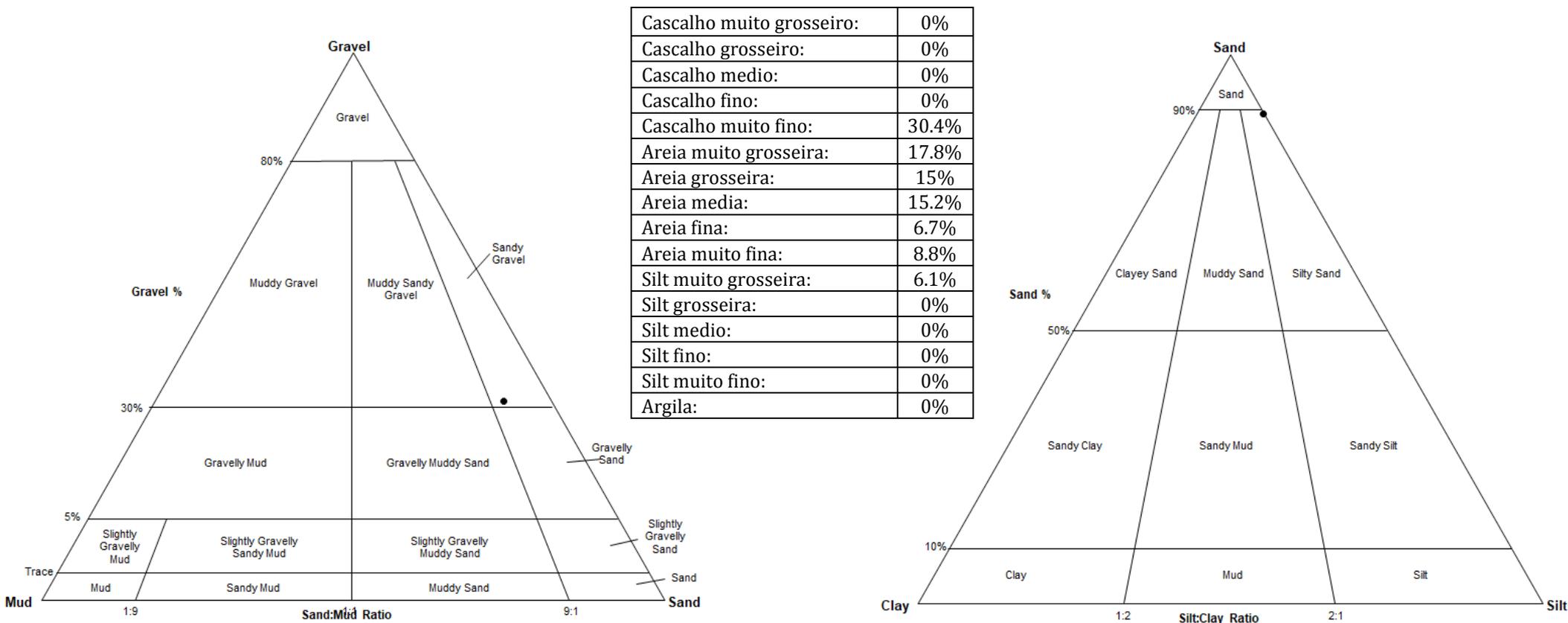
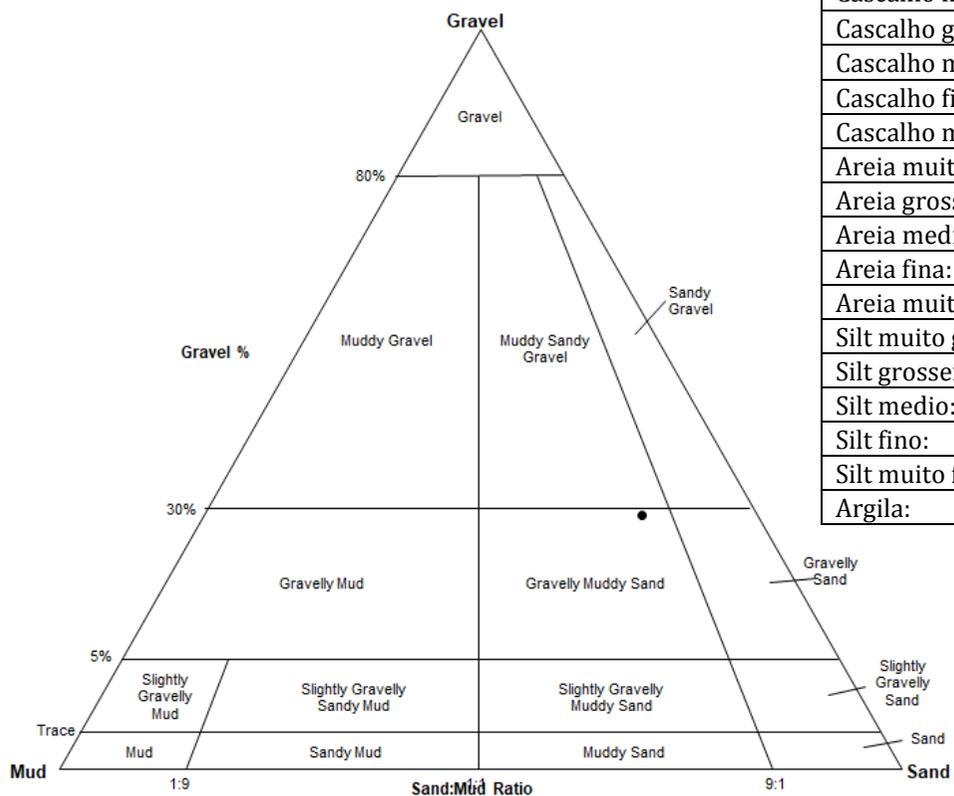


Figura A.18 – Projção das percentagens de cada grupo textural para a amostra As4. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.

Amostra: As5

Tabela A.5 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra As5

Classificação: “Muddy Sandy Gravel”



Cascalho:	30.6%
Areia:	57.2%
“Mud”:	12.2%

Cascalho muito grosseiro:	0%
Cascalho grosseiro:	0%
Cascalho medio:	0%
Cascalho fino:	0%
Cascalho muito fino:	30.6%
Areia muito grosseira:	14.2%
Areia grosseira:	12.4%
Areia media:	14.1%
Areia fina:	6.6%
Areia muito fina:	10%
Silt muito grosseira:	12.2%
Silt grosseira:	0%
Silt medio:	0%
Silt fino:	0%
Silt muito fino:	0%
Argila:	0%

Classificação: Areia Siltosa

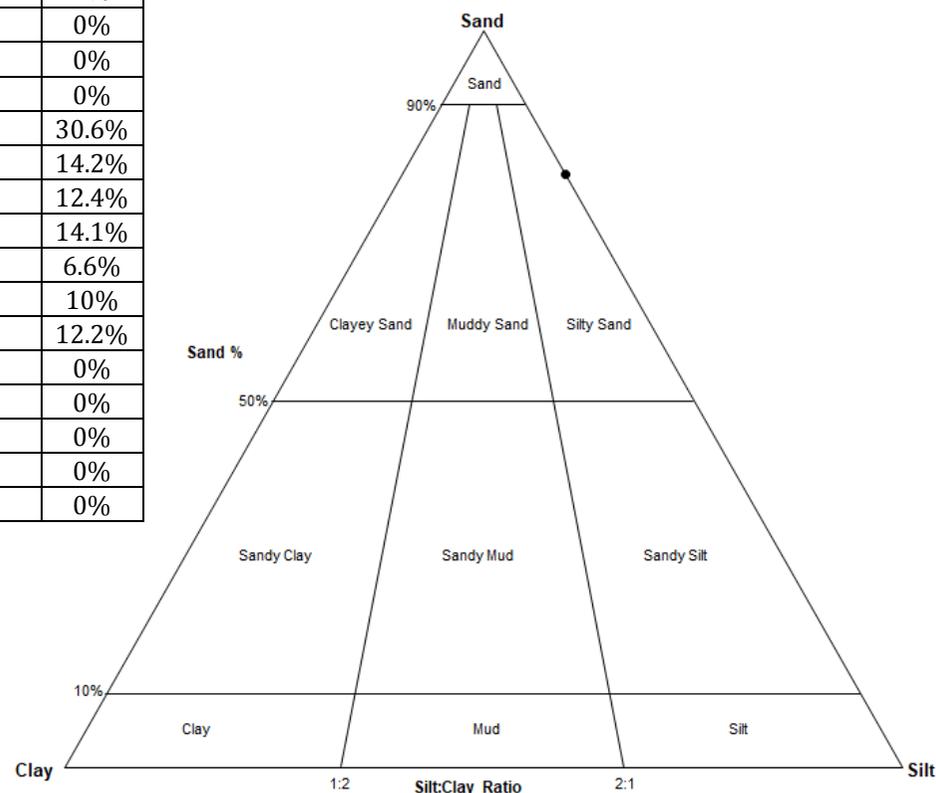


Figura A.19 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra As5. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.

## Estudo Hidropedológico de Solos Graníticas e Xistentos da Serra da Estrela

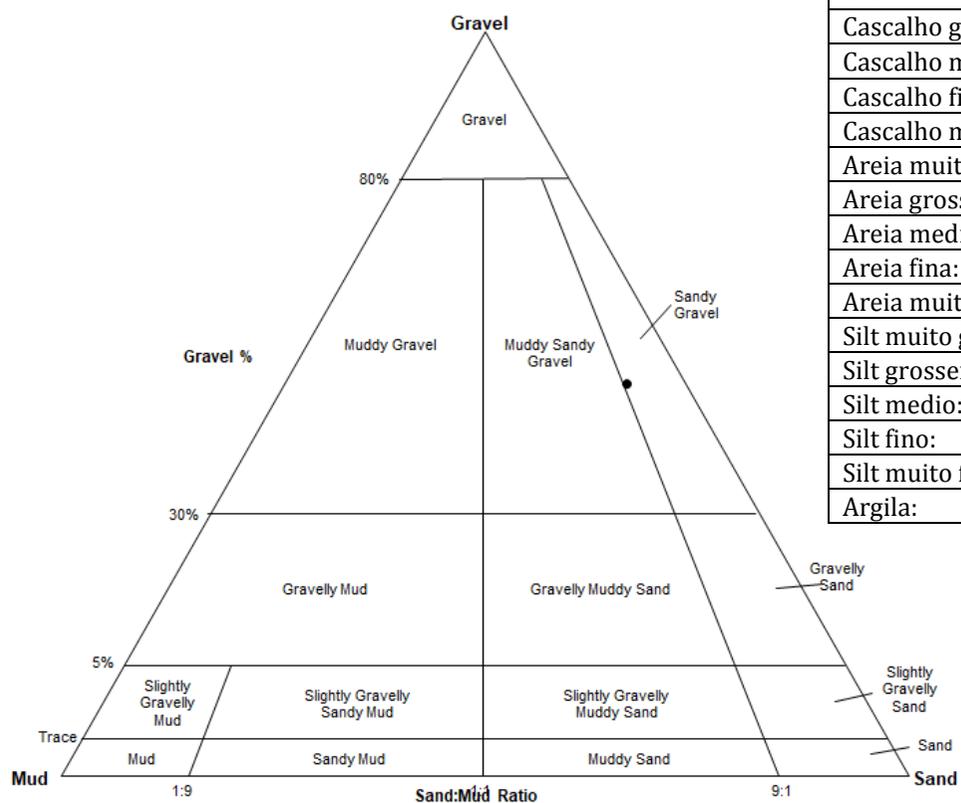
Amostra: **Ax1**

Tabela A.6 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra Ax1

Cascalho:	51.3%
Areia:	43.7%
“Mud”:	5%

Cascalho muito grosseiro:	0%
Cascalho grosseiro:	0%
Cascalho medio:	0%
Cascalho fino:	0%
Cascalho muito fino:	51.3%
Areia muito grosseira:	15.1%
Areia grosseira:	9%
Areia media:	7.2%
Areia fina:	5.3%
Areia muito fina:	7%
Silt muito grosseira:	5%
Silt grosseira:	0%
Silt medio:	0%
Silt fino:	0%
Silt muito fino:	0%
Argila:	0%

Classificação: “Muddy Sandy Gravel”



Classificação: Areia Siltosa

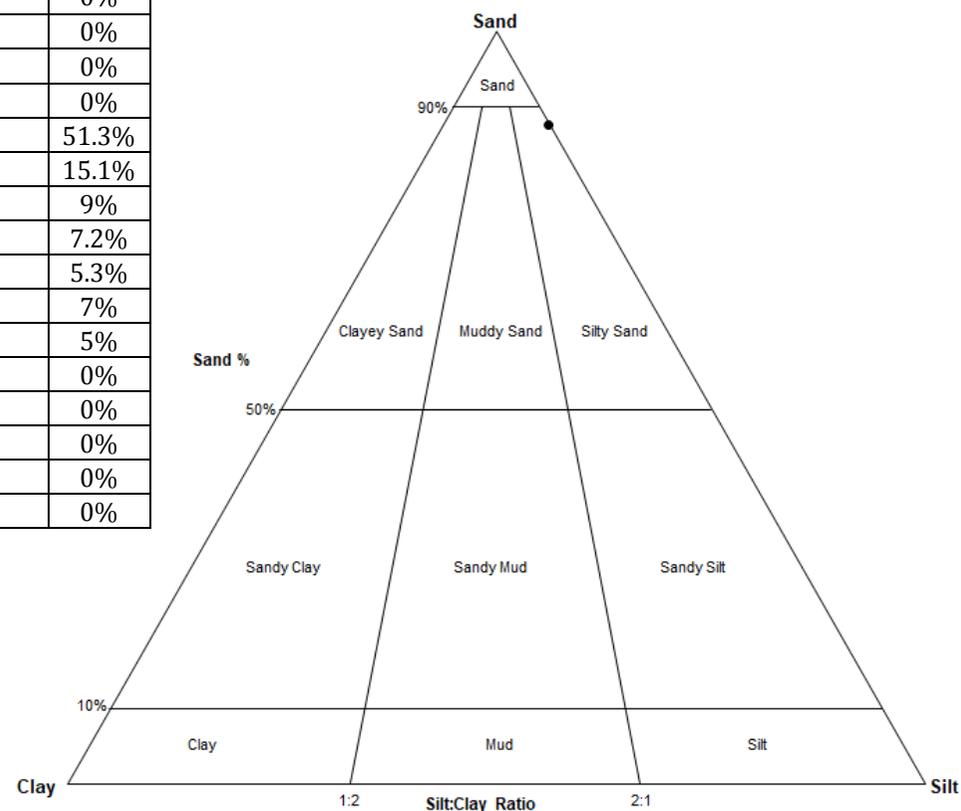


Figura A.20 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra Ax1. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.

Amostra: Ax2

Tabela A.7 – Distribuição granulométrica das partículas da amostra Ax2

Classificação: “Muddy Sandy Gravel”

Classificação: Areia Siltosa

Cascalho:	40.1%
Areia:	52.1%
“Mud”:	7.8%

Cascalho muito grosseiro:	0%
Cascalho grosseiro:	0%
Cascalho medio:	0%
Cascalho fino:	0%
Cascalho muito fino:	40.1%
Areia muito grosseira:	8.9%
Areia grosseira:	7.2%
Areia media:	8.3%
Areia fina:	11.7%
Areia muito fina:	15.8%
Silt muito grosseira:	7.8%
Silt grosseira:	0%
Silt medio:	0%
Silt fino:	0%
Silt muito fino:	0%
Argila:	0%

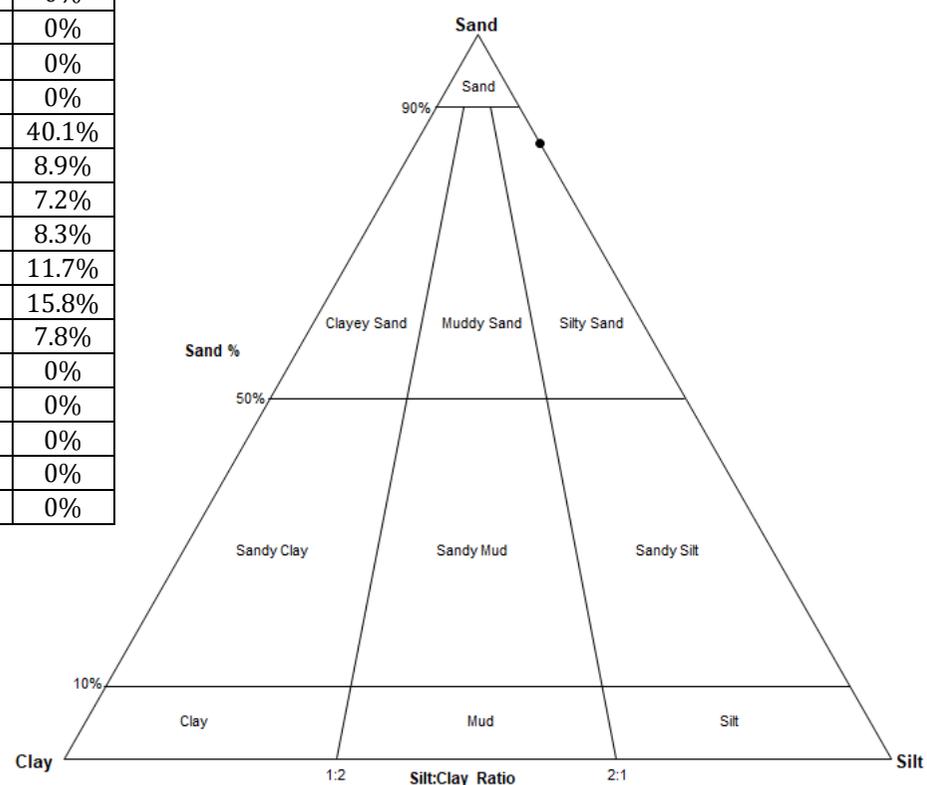
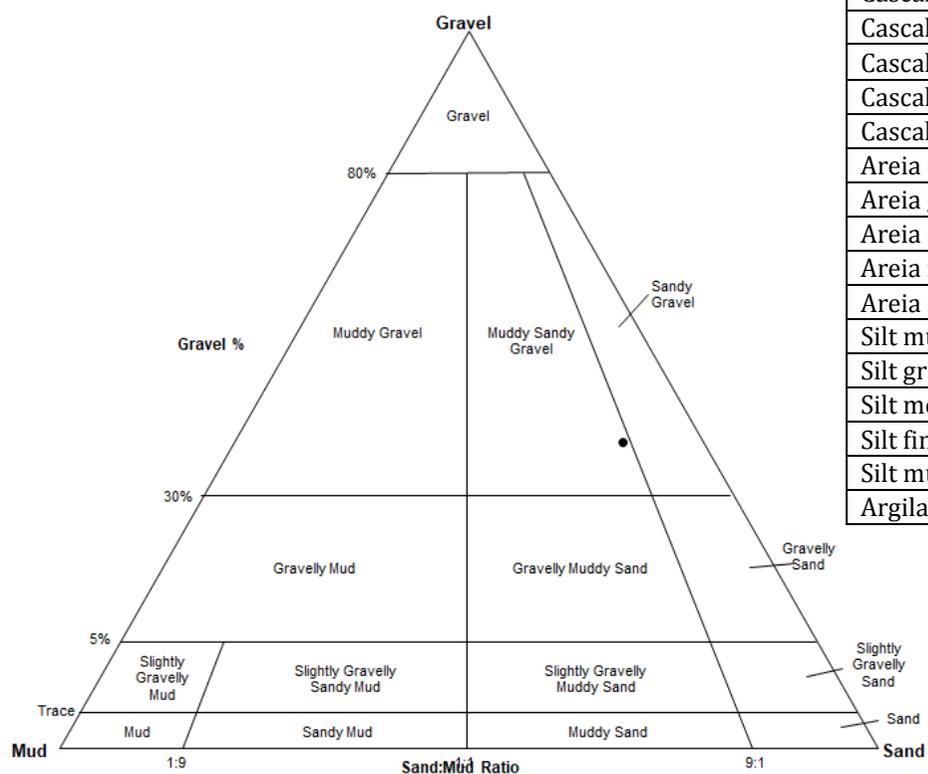


Figura A.21 – Projeção das percentagens de cada grupo textural para a amostra Ax2. (esquerda) gráfico triangular Cascalho, Areia e “Mud”; (direita) gráfico triangular Areia, Silte, Argila.

## Anexo 4 – Cálculo da densidade aparente

$$\rho = \frac{Ms}{Vt}$$

### As1

Peso da amostra seca: 108.8g

$$\rho = \frac{108.8}{141.37} = 0.77g/cm^3$$

### As2

Peso da amostra seca: 133.7g

$$\rho = \frac{133.7}{141.37} = 0.95g/cm^3$$

### As3

Peso da amostra seca: 113.6g

$$\rho = \frac{113.6}{141.37} = 0.80g/cm^3$$

### As4

Peso da amostra seca: 98g

$$\rho = \frac{98}{141.37} = 0.69g/cm^3$$

### As5

Peso da amostra seca: 146.4g

$$\rho = \frac{146.4}{141.37} = 1.04g/cm^3$$

## ANEXO 5 – Determinação da condutividade hidráulica

### As1 – Carvalhal s/ dep. Vertente - Ensaio 1

Tabela A.8 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As1, 1º ensaio

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)	Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	86	0.00	630	25.10	75.2	0.68
30	5.48	85.5	0.03	660	25.69	75	0.69
60	7.75	84.5	0.09	690	26.27	74.5	0.72
90	9.49	83.5	0.16	720	26.83	74	0.75
120	10.95	83	0.19	750	27.39	73.5	0.79
150	12.25	82.5	0.22	780	27.93	73	0.82
180	13.42	82	0.25	810	28.46	72.8	0.83
210	14.49	81.5	0.28	840	28.98	72.2	0.87
240	15.49	81	0.31	870	29.50	72	0.88
270	16.43	80.75	0.33	900	30.00	71.5	0.91
300	17.32	80	0.38	930	30.50	71	0.94
330	18.17	79.75	0.39	960	30.98	70.5	0.97
360	18.97	79	0.44	990	31.46	70	1.01
390	19.75	78.8	0.45	1020	31.94	69.8	1.02
420	20.49	78	0.50	1050	32.40	69	1.07
450	21.21	77.9	0.51	1080	32.86	68.8	1.08
480	21.91	77.5	0.53	1110	33.32	68.2	1.12
510	22.58	77	0.57	1140	33.76	68	1.13
540	23.24	76.8	0.58	1170	34.21	67	1.19
570	23.87	76	0.63	1200	34.64	66.8	1.21
600	24.49	75.8	0.64	1230	35.07	66	1.26

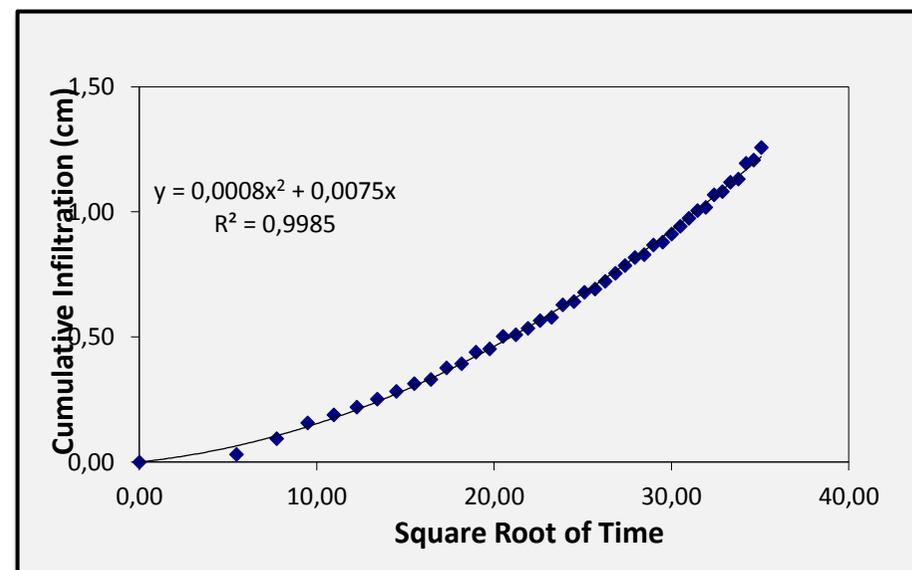


Figura A.22 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As1, 1º ensaio

As1 - Carvalhal s/ dep. Vertente - Ensaio 2

Tabela A.9 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As1, 2º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	88	0.00
60	7.75	81.5	0.41
120	10.95	77	0.69
180	13.42	75	0.82
240	15.49	73	0.94
300	17.32	71	1.07
360	18.97	68.5	1.23
420	20.49	67.5	1.29
480	21.91	65	1.45
540	23.24	63	1.57
600	24.49	61	1.70

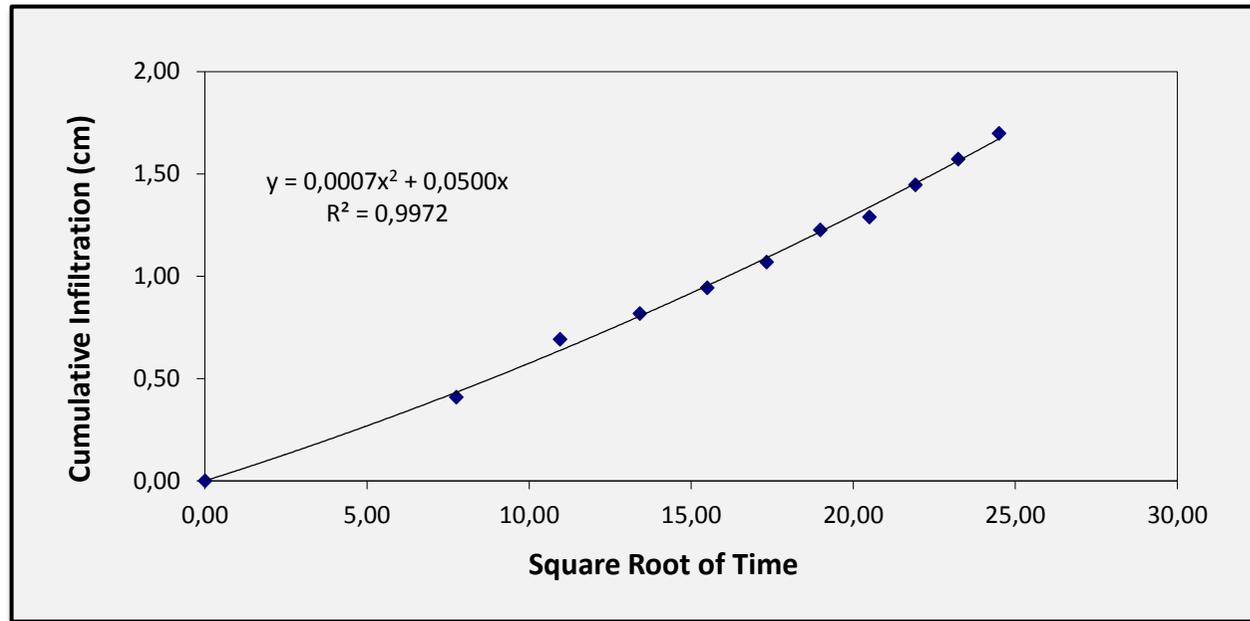


Figura A.23 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As1, 2º ensaio

As1 - Carvalhal s/ dep. Vertente - Ensaio 3

Tabela A.10 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As1, 3º ensaio

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	86	0.00
60	7.75	82	0.25
120	10.95	80	0.38
180	13.42	78	0.50
240	15.49	77	0.57
300	17.32	76	0.63
360	18.97	74	0.75
420	20.49	73	0.82
480	21.91	72	0.88
540	23.24	70	1.01
600	24.49	68.5	1.10
660	25.69	67	1.19
720	26.83	65	1.32

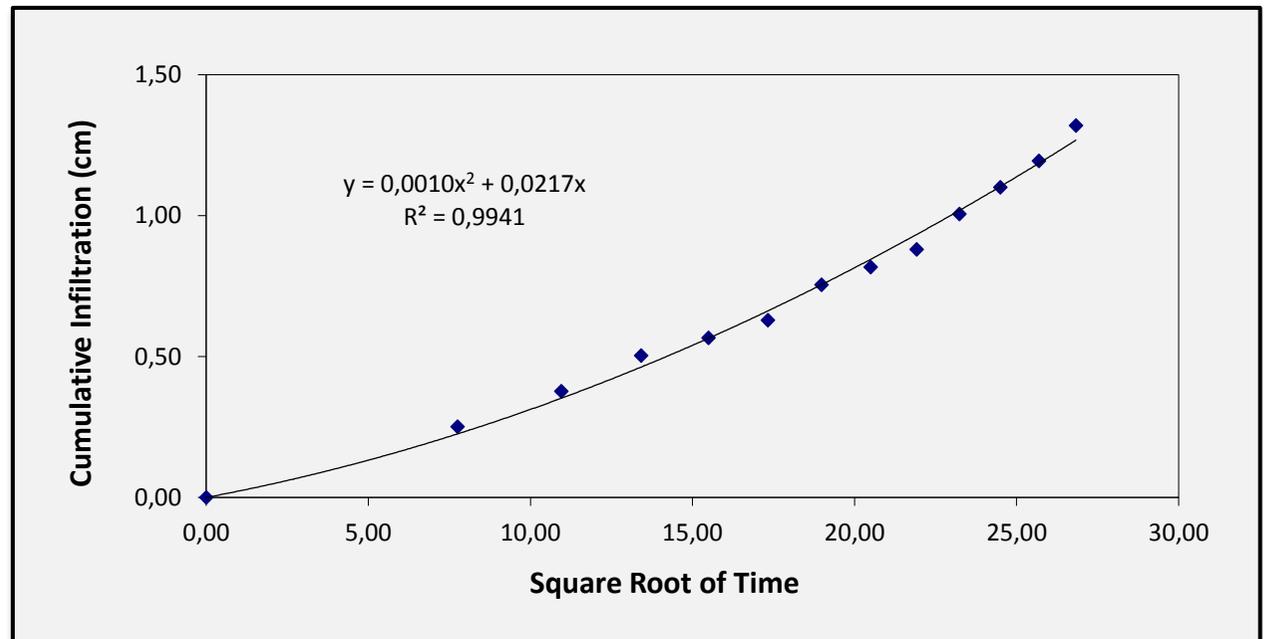


Figura A.24 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As1, 3º ensaio

As3 - Urzal

Tabela A.11 - Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As3, 1º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	89.5	0.00
60	7.75	85	0.28
120	10.95	83	0.41
180	13.42	81	0.53
240	15.49	80	0.60
300	17.32	78	0.72
360	18.97	76	0.85
420	20.49	75	0.91
480	21.91	73	1.04
540	23.24	71.5	1.13
600	24.49	70	1.23
660	25.69	68	1.35
720	26.83	67	1.41

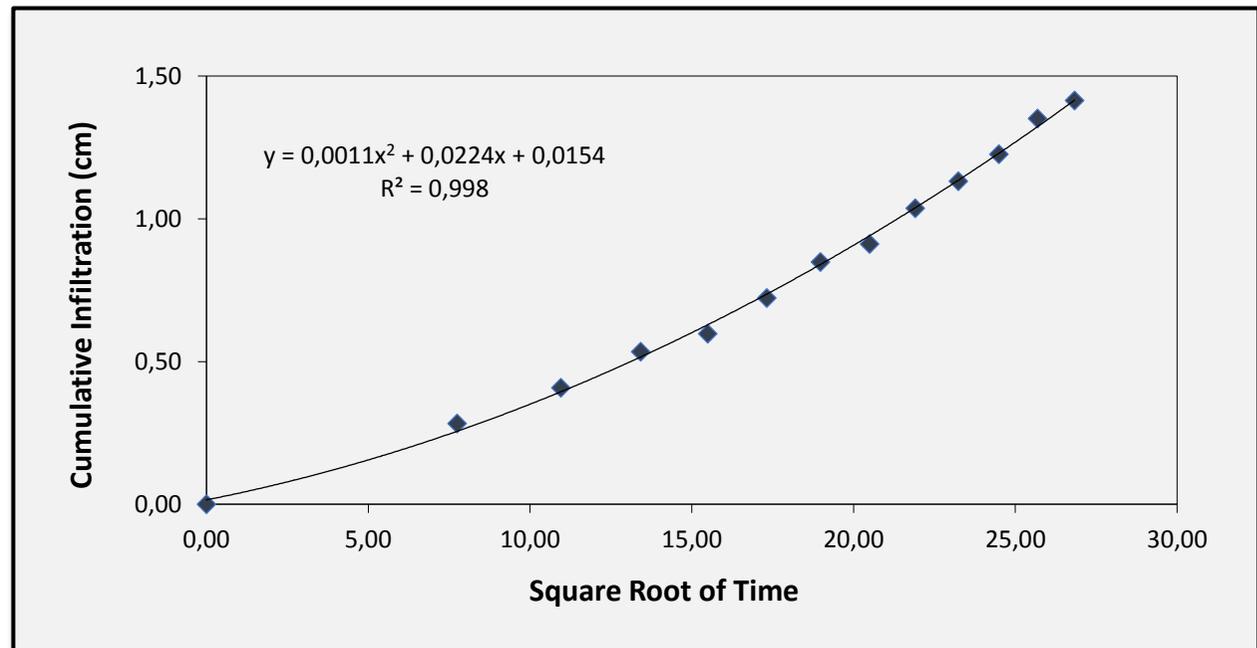


Figura A.25 - Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As3, 1º ensaio

As4 - Cervunal da Altitude - Ensaio 1

Tabela A.12 - Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As4, 1º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	84	0.00
30	5.48	75	0.57
60	7.75	65	1.19
90	9.49	55	1.82
120	10.95	46	2.39
150	12.25	36	3.02
180	13.42	27	3.58
210	14.49	17	4.21

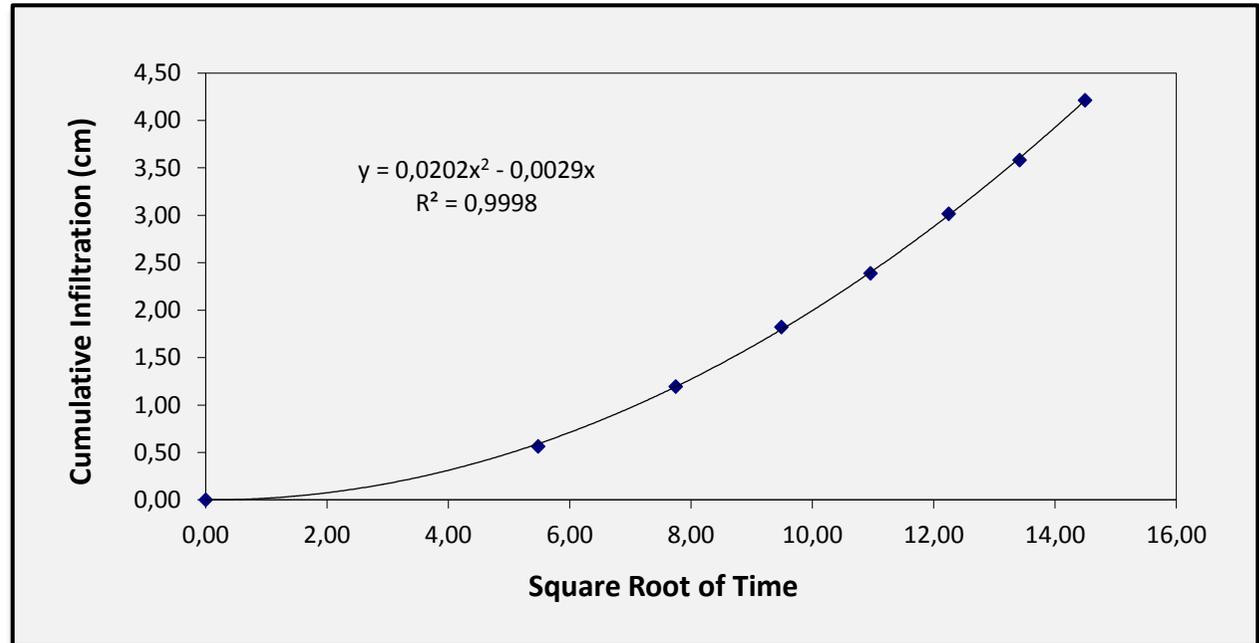


Figura A.26 - Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As4, 1º ensaio

As4 – Cervunal da Altitude – Ensaio 2

Tabela A.13 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As4, 2º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	85	0.00
30	5.48	73	0.75
60	7.75	62	1.45
90	9.49	52	2.07
120	10.95	42	2.70
150	12.25	32	3.33
180	13.42	24	3.84

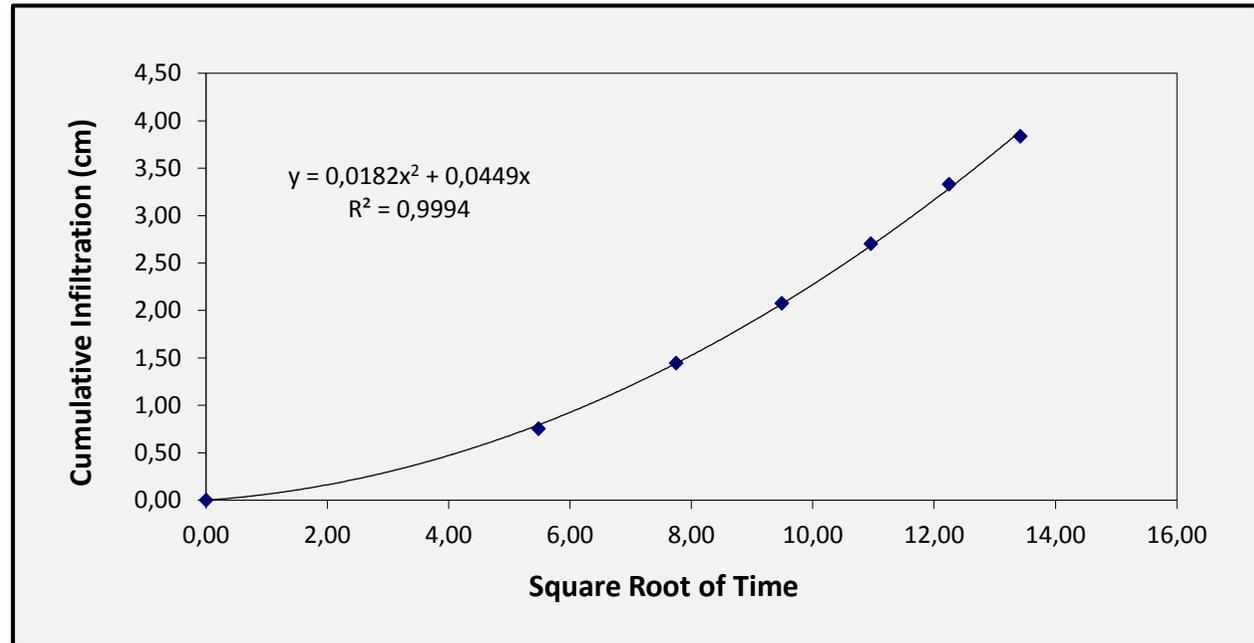


Figura A.27 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As4, 2º ensaio

As4 – Cervunal da Altitude – Ensaio 3

Tabela A.14 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As4, 3º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	86	0.00
30	5.48	73	0.82
60	7.75	61	1.57
90	9.49	48	2.39
120	10.95	36	3.14
150	12.25	23	3.96

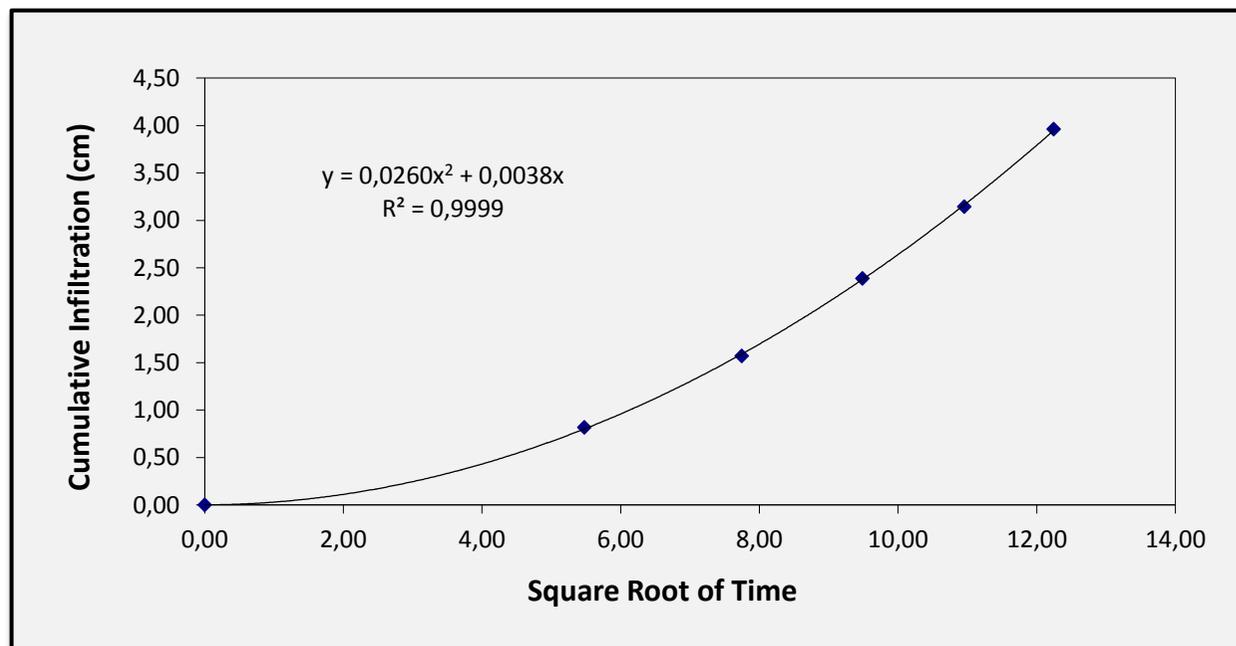


Figura A.28 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As4, 3º ensaio

As5 – Zimbral da Altitude – Ensaio 1

Tabela A.15 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As5, 1º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	83.5	0.00
30	5.48	75	0.53
60	7.75	67	1.04
90	9.49	61	1.41
120	10.95	54	1.85
150	12.25	46	2.36
180	13.42	40	2.74
210	14.49	29	3.43
240	15.49	27	3.55

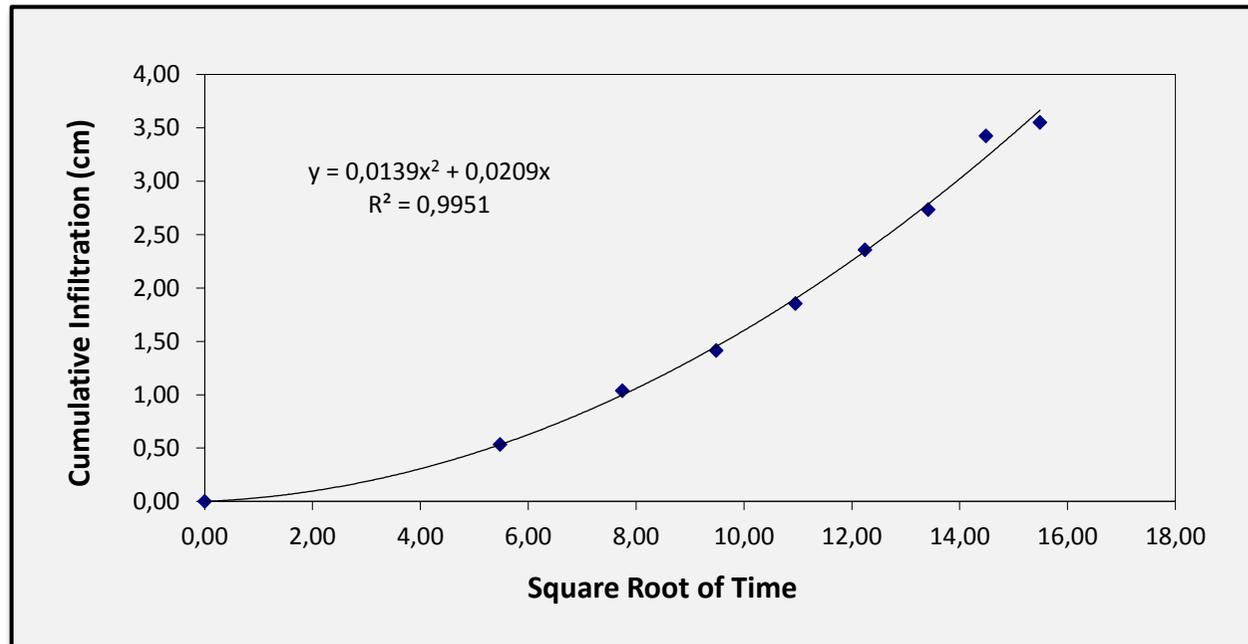


Figura A.29 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As5, 1º ensaio

As5 – Zimbral da Altitude – Ensaio 2

Tabela A.16 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As5, 2º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	87	0.00
30	5.48	77	0.63
60	7.75	69	1.13
90	9.49	61	1.63
120	10.95	54	2.07
150	12.25	46	2.58
180	13.42	38	3.08
210	14.49	30	3.58
240	15.49	22	4.09

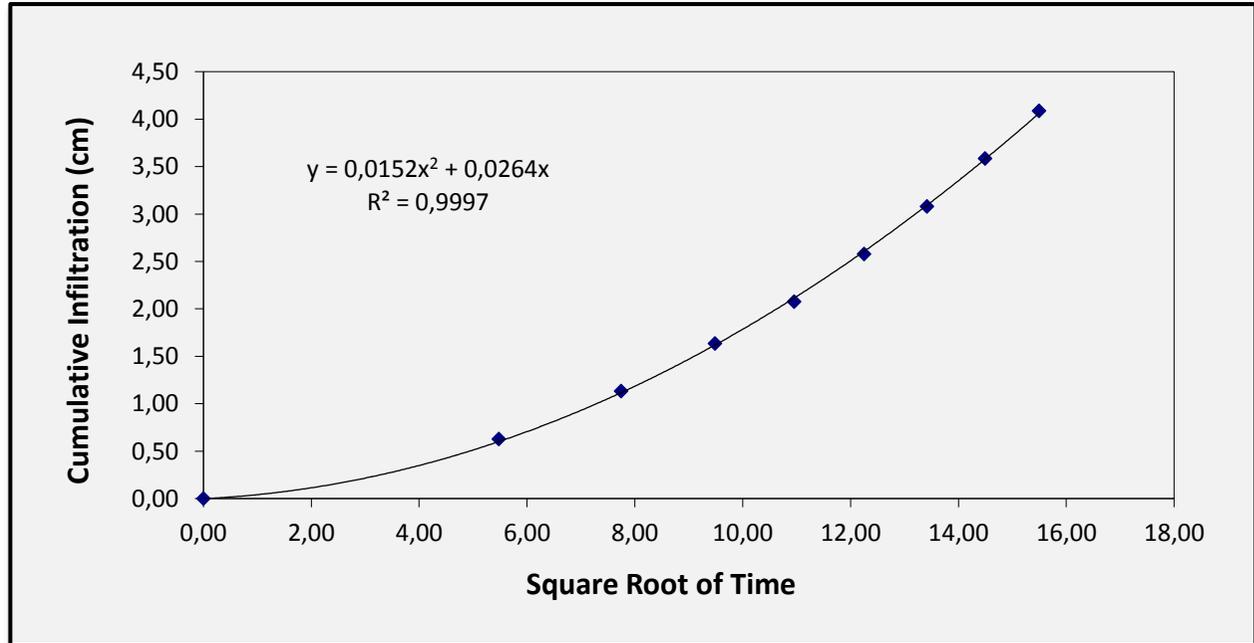


Figura A.30 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As5, 2º ensaio

As5 – Zimbral da Altitude – Ensaio 3

Tabela A.17– Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para As5, 3º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	87	0.00
30	5.48	78	0.57
60	7.75	72	0.94
90	9.49	66	1.32
120	10.95	59	1.76
150	12.25	53	2.14
180	13.42	47	2.52
210	14.49	41	2.89
240	15.49	35	3.27
270	16.43	28	3.71
300	17.32	22	4.09

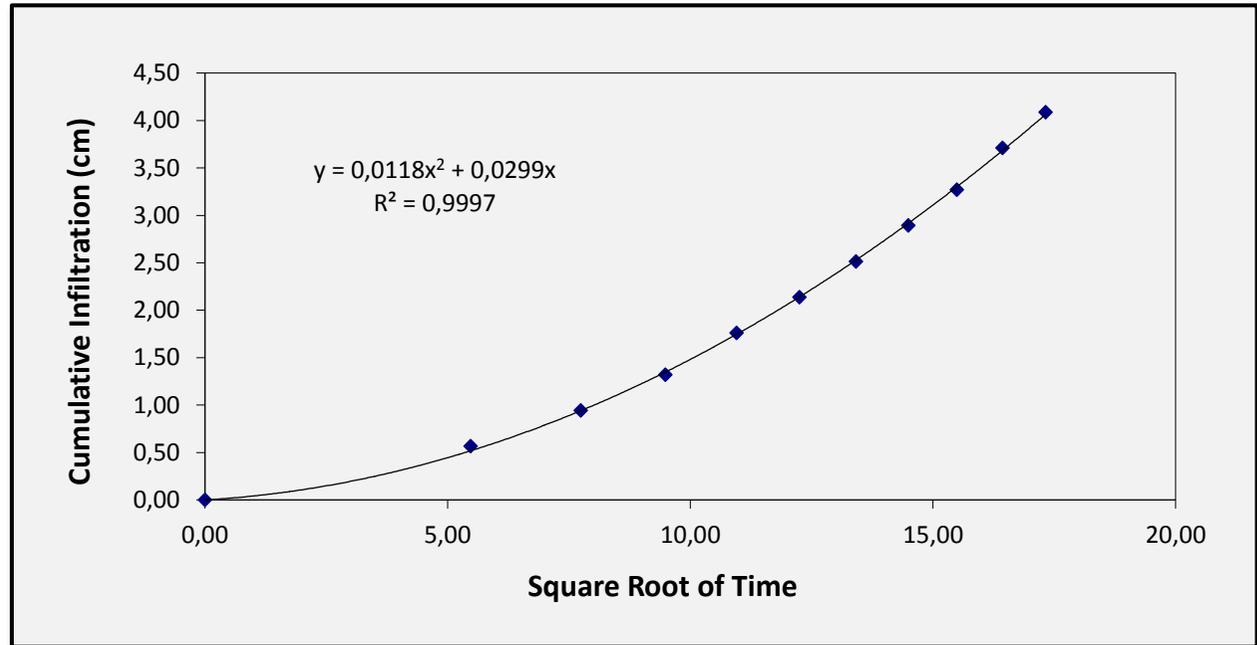


Figura A.31 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para As5, 3º ensaio

**Ax1 – Castiçal sobre vertente – Ensaio 1**

Tabela A.18 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax1, 1º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	85	0.00
30	5.48	82	0.19
60	7.75	80.5	0.28
90	9.49	79	0.38
120	10.95	78	0.44
150	12.25	77	0.50
180	13.42	76	0.57
210	14.49	75	0.63
240	15.49	74.5	0.66
270	16.43	73.5	0.72
300	17.32	73	0.75
330	18.17	72	0.82
360	18.97	71	0.88
390	19.75	70	0.94
420	20.49	69	1.01
450	21.21	68.5	1.04
480	21.91	67.5	1.10
510	22.58	66.5	1.16
540	23.24	66	1.19
570	23.87	65	1.26

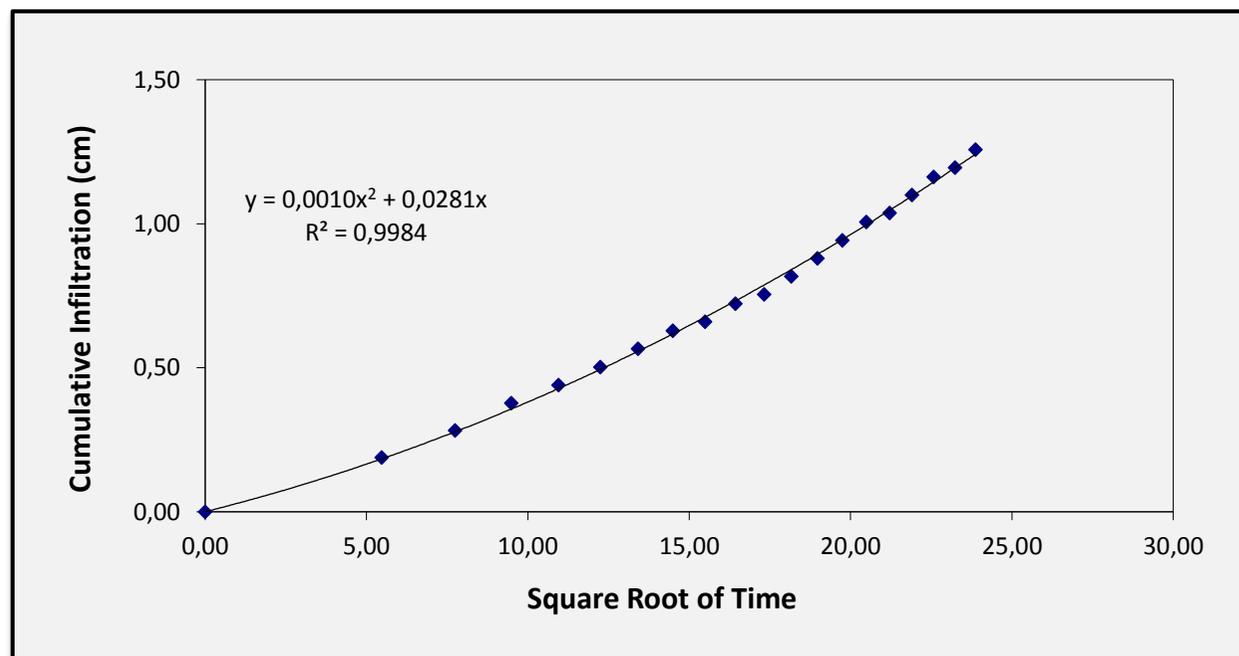


Figura A.32 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax1, 1º ensaio

**Ax1 – Castiçal sobre vertente – Ensaio 2**

Tabela A.19 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax1, 2º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	84	0.00
30	5.48	83	0.06
60	7.75	80.5	0.22
90	9.49	79.5	0.28
120	10.95	78.5	0.35
150	12.25	77.5	0.41
180	13.42	76.5	0.47
210	14.49	75.5	0.53
240	15.49	75	0.57
270	16.43	74	0.63
300	17.32	72.5	0.72
330	18.17	72	0.75
360	18.97	71	0.82
390	19.75	70	0.88
420	20.49	69	0.94
450	21.21	68.5	0.97
480	21.91	68	1.01
510	22.58	66.5	1.10
540	23.24	66	1.13
570	23.87	65	1.19
600	24.49	64	1.26

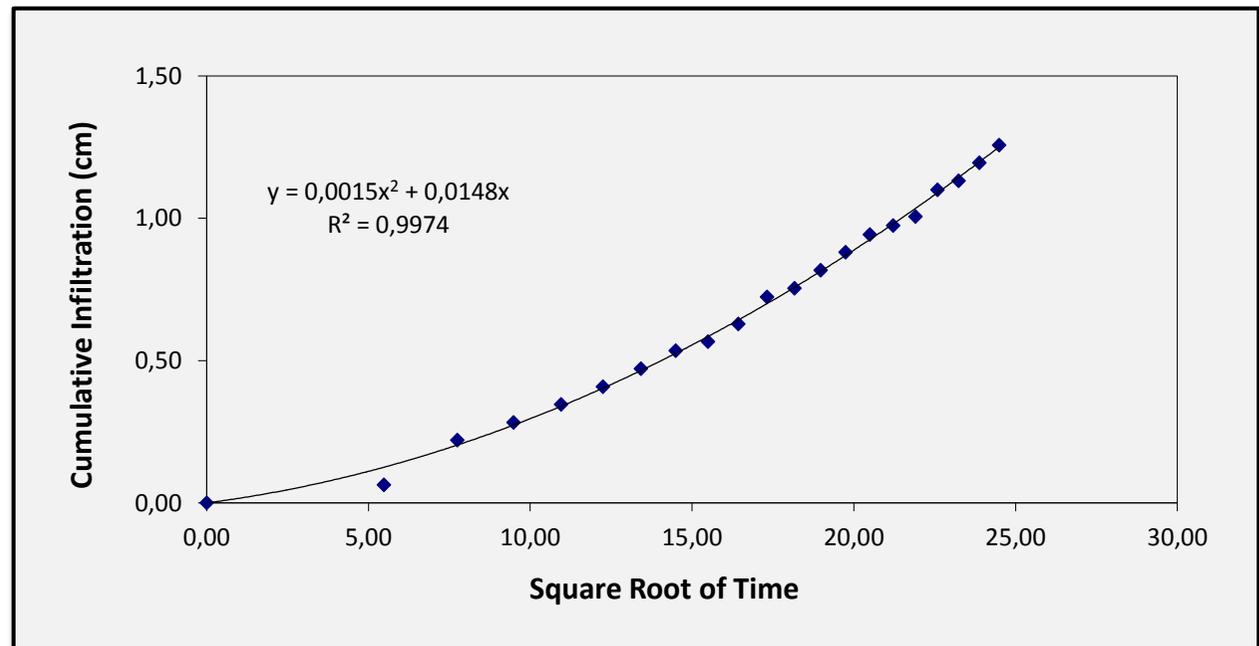


Figura A.33 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax1, 2º ensaio

Ax1 – Castiçal sobre vertente – Ensaio 3

Tabela A.20 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax1, 3º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)	Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	85	0.00	480	21.91	76	0.57
30	5.48	83	0.13	510	22.58	75.5	0.60
60	7.75	82	0.19	540	23.24	75	0.63
90	9.49	81.5	0.22	570	23.87	74.5	0.66
120	10.95	81	0.25	600	24.49	74.5	0.66
150	12.25	80.5	0.28	630	25.10	74	0.69
180	13.42	80	0.31	660	25.69	73.5	0.72
210	14.49	79.5	0.35	690	26.27	73	0.75
240	15.49	79.5	0.35	720	26.83	73	0.75
270	16.43	79	0.38	750	27.39	72.5	0.79
300	17.32	78.5	0.41	780	27.93	72.5	0.79
330	18.17	78	0.44	810	28.46	72	0.82
360	18.97	77.5	0.47	840	28.98	72	0.82
390	19.75	77	0.50	870	29.50	71	0.88
420	20.49	76.5	0.53	900	30.00	70	0.94
450	21.21	76.5	0.53	930	30.50	70	0.94

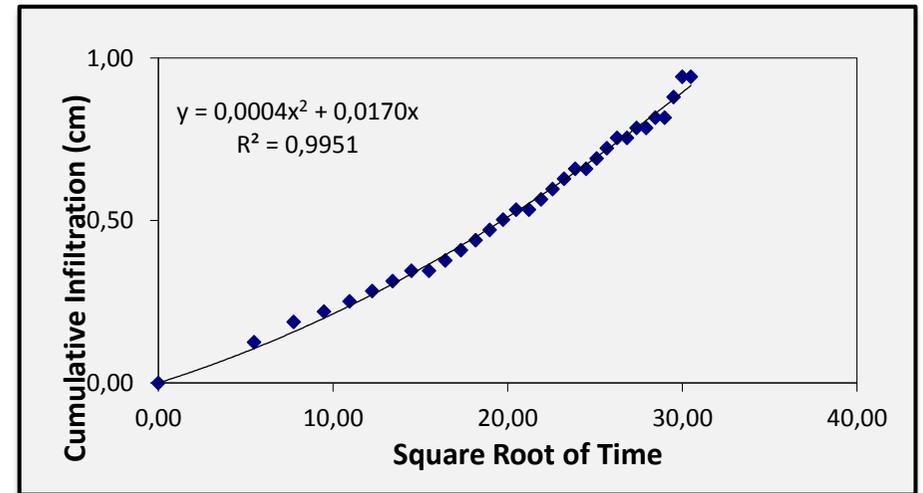


Figura A.34 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax1, 3º ensaio

**Ax2 – Urzal e Giesta – Ensaio 1**

Tabela A.21 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax2, 1º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	85	0.00
30	5.48	82	0.19
60	7.75	80	0.31
90	9.49	77	0.50
120	10.95	76.5	0.53
150	12.25	74.4	0.67
180	13.42	74	0.69
210	14.49	71	0.88
240	15.49	69.5	0.97
270	16.43	68	1.07
300	17.32	67	1.13
330	18.17	65.5	1.23
360	18.97	64	1.32

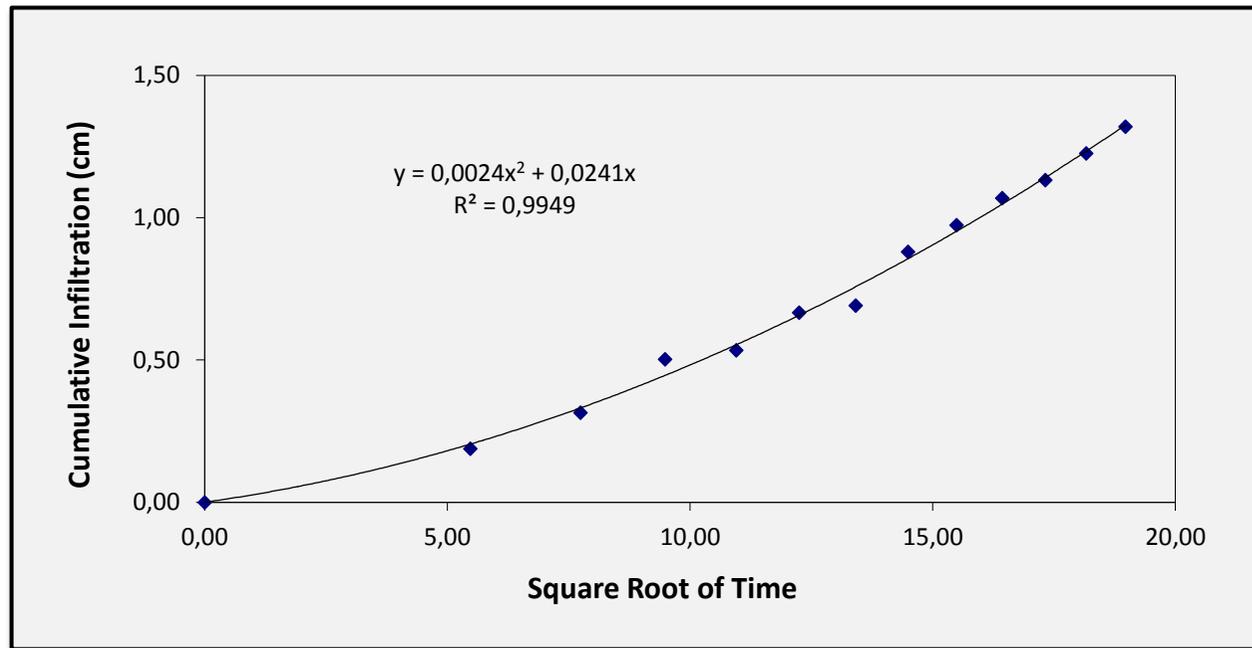


Figura A.35 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax2, 1º ensaio

Ax2 – Urzal e Giesta – Ensaio 2

Tabela A.22 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax2, 2º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)	Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	85	0.00	540	23.24	73	0.75
30	5.48	84	0.06	570	23.87	72.5	0.79
60	7.75	83	0.13	600	24.49	72	0.82
90	9.49	82.5	0.16	630	25.10	71.5	0.85
120	10.95	81	0.25	660	25.69	71	0.88
150	12.25	80	0.31	690	26.27	70.5	0.91
180	13.42	80	0.31	720	26.83	70	0.94
210	14.49	79.5	0.35	750	27.39	69.5	0.97
240	15.49	79	0.38	780	27.93	69	1.01
270	16.43	78.5	0.41	810	28.46	68	1.07
300	17.32	78	0.44	840	28.98	67.5	1.10
330	18.17	77.5	0.47	870	29.50	67	1.13
360	18.97	76.5	0.53	900	30.00	66.5	1.16
390	19.75	76	0.57	930	30.50	66	1.19
420	20.49	75	0.63	960	30.98	65.5	1.23
450	21.21	75	0.63	990	31.46	65	1.26
480	21.91	74.5	0.66	1020	31.94	64.5	1.29
510	22.58	74	0.69	1050	32.40	64	1.32

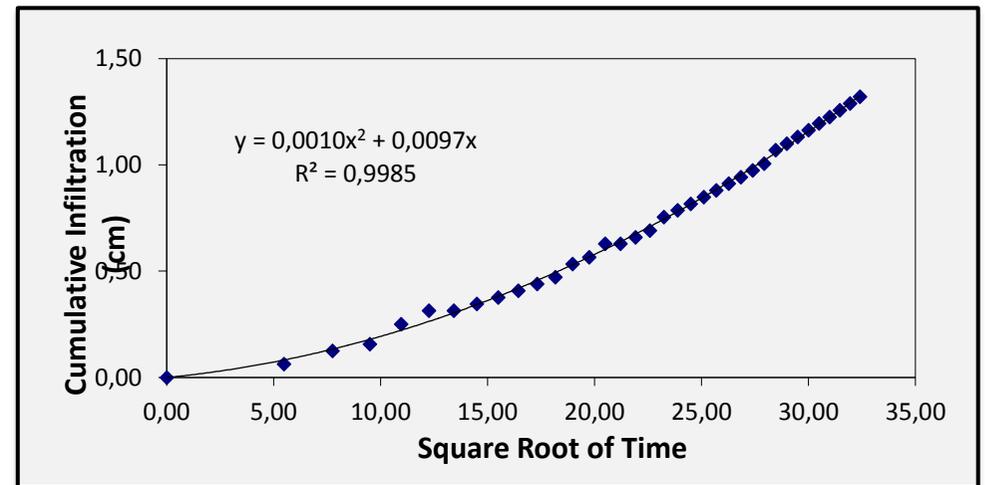


Figura A.36 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax2, 2º ensaio

**Ax2 – Urzal e Giesta – Ensaio 3**

Tabela A.23 – Tabela tempo vs. Volume de água infiltrado, para Ax2, 3º ensaio.

Tempo (s)	SQRT (t)	Volume (mL)	Infiltração (cm)
0	0.00	85	0.00
30	5.48	82	0.19
60	7.75	80	0.31
90	9.49	78.5	0.41
120	10.95	77	0.50
150	12.25	75.5	0.60
180	13.42	74.5	0.66
210	14.49	73	0.75
240	15.49	72	0.82
270	16.43	71	0.88
300	17.32	69.5	0.97
330	18.17	68	1.07
360	18.97	66.5	1.16
390	19.75	65.5	1.23
420	20.49	64	1.32

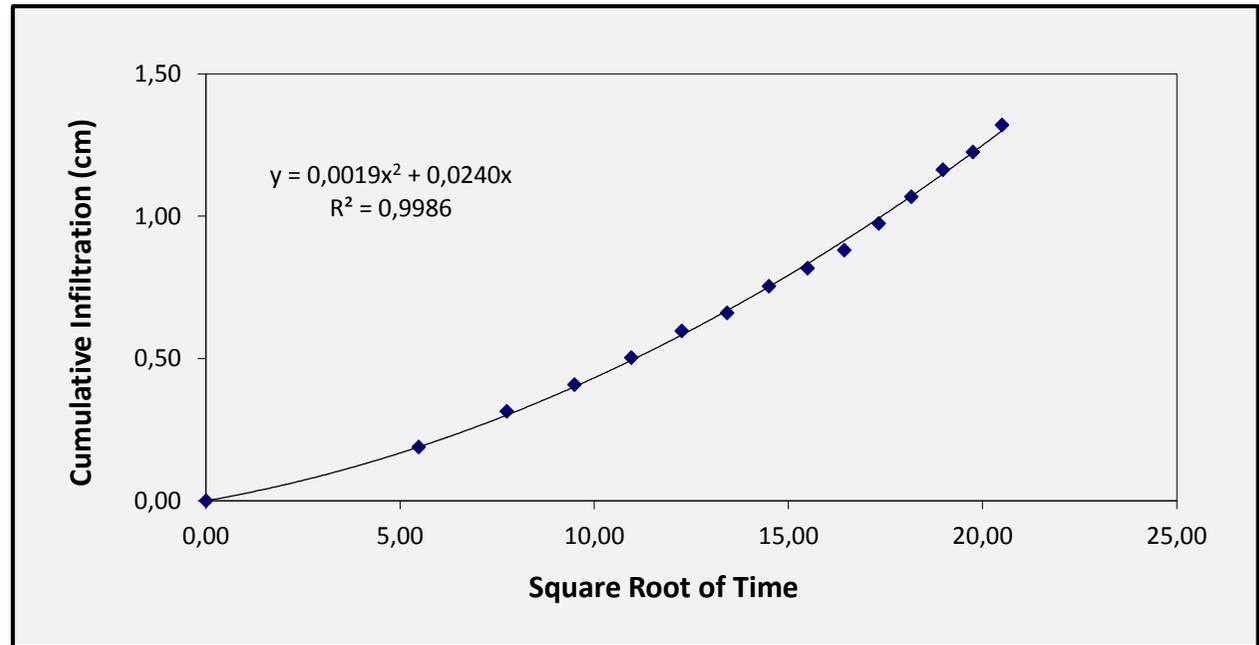


Figura A.37 – Raiz quadrada do tempo vs. Volume acumulado de água infiltrado, para Ax2, 3º ensaio

Anexo 6 – Determinação da condutividade hidráulica saturada

Local	Cilindro	Leitura	Nível no cilindro (cm)	Nível externo (cm)	h (cm)	t (seg)	V (cm <sup>3</sup> )	Ks (cm/seg)	Ks (cm/dia)	Ks (cm/h)	Ks (m/dia)	Média (m/dia)
Carvalho s/ dep. Vertente	1	A	6.2	5.8	0.4	172	7	0.026	2239.098	93.296	22.391	64.705
	1	B	6.2	5.8	0.4	166	7	0.027	2320.029	96.668	23.200	
	1	C	6.2	5.8	0.4	176	7.5	0.027	2344.510	97.688	23.445	
	2	A	6	5.8	0.2	167	29.3	0.223	19305.658	804.402	193.057	
	2	B	6	5.8	0.2	162	28	0.220	19018.509	792.438	190.185	
	2	C	6	5.8	0.2	159	27.4	0.219	18962.120	790.088	189.621	
	3	A	6.2	5.8	0.4	330	5	0.010	833.603	34.733	8.336	
	3	B	6.15	5.8	0.35	271	4	0.011	928.081	38.670	9.281	
	3	C	6.2	5.8	0.4	275	5	0.012	1000.324	41.680	10.003	
	4	A	6.2	5.8	0.4	166	10.7	0.041	3546.330	147.764	35.463	
	4	B	6.2	5.8	0.4	169	10.9	0.041	3548.487	147.854	35.485	
4	C	6.2	5.8	0.4	159	10.4	0.042	3598.651	149.944	35.987		
Pinhal s/Moreia	5	A	6.2	5.8	0.4	180	30.5	0.108	9322.466	388.436	93.225	27.772
	5	B	6.2	5.8	0.4	180	31	0.110	9475.293	394.804	94.753	
	5	C	6.2	5.8	0.4	190	31	0.104	8976.593	374.025	89.766	
	6	A	6.2	5.7	0.5	177	6.5	0.019	1616.343	67.348	16.163	
	6	B	6.2	5.7	0.5	60	2.5	0.021	1833.928	76.414	18.339	
	6	C	6.2	5.7	0.5	60	2.5	0.021	1833.928	76.414	18.339	
	7	A	6.1	5.7	0.4	114	2	0.011	965.225	40.218	9.652	
	7	B	6.1	5.7	0.4	112	2	0.011	982.461	40.936	9.825	
	7	C	6.1	5.7	0.4	120	2	0.011	916.964	38.207	9.170	
	8	A	6.1	5.7	0.4	231	2.3	0.006	547.797	22.825	5.478	
	8	B	6.1	5.7	0.4	110	1	0.006	500.162	20.840	5.002	
	8	C	6.1	5.7	0.4	100	1	0.006	550.178	22.924	5.502	
	9	A	6.2	5.7	0.5	169	4.8	0.014	1250.109	52.088	12.501	
9	B	6.2	5.7	0.5	85	3	0.018	1553.445	64.727	15.534		
9	C	6.2	5.7	0.5	99	3	0.015	1333.766	55.574	13.338		

Tabela A.24 – leituras dos níveis de água, volume e tempos durante o ensaio de permeabilidade.

**Estudo Hidropedológico de Solos Graníticas e Xistentos da Serra da Estrela**

Local	Amostra	Leitura	Nível no cilindro (cm)	Nível externo (cm)	h (cm)	t (seg)	V (cm <sup>3</sup> )	Ks (cm/seg)	Ks (cm/dia)	Ks (cm/h)	Ks (m/dia)	Média (m/dia)
Urzal sobre granito	10	A	6.5	5.7	0.8	120	2	0.005	458.482	19.103	4.585	12.939
	10	B	6.5	5.7	0.8	136	2	0.005	404.543	16.856	4.045	
	10	C	6.5	5.7	0.8	139	2	0.005	395.812	16.492	3.958	
	11	A	6.2	5.7	0.5	120	5.4	0.023	1980.642	82.527	19.806	
	11	B	6.2	5.7	0.5	75	3.2	0.022	1877.942	78.248	18.779	
	11	C	6.2	5.7	0.5	88	3.8	0.022	1900.616	79.192	19.006	
	12	A	6.35	5.7	0.65	95	10	0.041	3563.908	148.496	35.639	
	12	B	6.35	5.7	0.65	45	4.8	0.042	3611.427	150.476	36.114	
	12	C	6.35	5.7	0.65	48	4.9	0.040	3456.248	144.010	34.562	
	13	A	6.4	5.7	0.7	322	0.8	0.001	78.109	3.255	0.781	
	13	B	6.4	5.7	0.7	283	1	0.001	111.091	4.629	1.111	
	13	C	6.4	5.7	0.7	311	1.2	0.001	121.307	5.054	1.213	
	14	A	6.2	5.7	0.5	133	1.2	0.005	397.121	16.547	3.971	
	14	B	6.2	5.7	0.5	93	1.1	0.006	520.599	21.692	5.206	
14	C	6.2	5.7	0.5	83	1	0.006	530.292	22.096	5.303		
Cervunal de altitude	15	A	6.2	5.7	0.5	336	0.3	0.000	37.727	1.572	0.377	9.007
	15	B	6.2	5.7	0.5	300	0.55	0.001	80.693	3.362	0.807	
	15	C	6.2	5.7	0.5	288	0.6	0.001	91.696	3.821	0.917	
	16	A	6	5.6	0.4	229	16.2	0.045	3892.091	162.170	38.921	
	16	B	6	5.6	0.4	120	8.8	0.047	4034.641	168.110	40.346	
	16	C	6	5.6	0.4	120	8.6	0.046	3942.944	164.289	39.429	
	17	A	6.2	5.6	0.6	256	0.5	0.001	71.638	2.985	0.716	
	17	B	6.2	5.6	0.6	260	0.5	0.001	70.536	2.939	0.705	
	17	C	6.2	5.6	0.6	276	0.5	0.001	66.447	2.769	0.664	
	18	A	6.2	5.6	0.6	170	0.6	0.001	129.454	5.394	1.295	
	18	B	6.2	5.6	0.6	119	0.5	0.002	154.112	6.421	1.541	
	18	C	6.2	5.6	0.6	214	0.8	0.002	137.116	5.713	1.371	
	19	A	6.25	5.6	0.6	208	2	0.004	352.678	14.695	3.527	
	19	B	6.25	5.6	0.65	208	1.9	0.004	309.272	12.886	3.093	
19	C	6.25	5.6	0.65	218	0.9	0.002	139.777	5.824	1.398		

Tabela A.25 – leituras dos níveis de água, volume e tempos durante o ensaio de permeabilidade.

**Estudo Hidropedológico de Solos Graníticas e Xistentos da Serra da Estrela**

Local	Amostra	Leitura	Nível no cilindro (cm)	Nível externo (cm)	h (cm)	t (seg)	V (cm <sup>3</sup> )	Ks (cm/seg)	Ks (cm/dia)	Ks (cm/h)	Ks (m/dia)	Média (m/dia)
Zimbral de altitude	20	A	6	5.6	0.4	60	0.5	0.005	458.482	19.103	4.585	6.207
	20	B	6	5.6	0.4	60	0.5	0.005	458.482	19.103	4.585	
	20	C	6	5.6	0.4	60	0.5	0.005	458.482	19.103	4.585	
	21	A	6.2	4.4	1.8	60	10.1	0.024	2058.074	85.753	20.581	
	21	B	6.2	4.4	1.8	60	9	0.021	1833.928	76.414	18.339	
	21	C	6.2	4.4	1.8	56	8.6	0.022	1877.593	78.233	18.776	
	22	A	6.1	4.4	1.7	85	3	0.005	456.895	19.037	4.569	
	22	B	6.1	4.4	1.7	87	3	0.005	446.392	18.600	4.464	
	22	C	6.1	4.4	1.7	85	3	0.005	456.895	19.037	4.569	
	23	A	6.1	4.4	1.7	89	0.5	0.001	72.727	3.030	0.727	
	23	B	6.1	4.4	1.7	70	0.5	0.001	92.467	3.853	0.925	
	23	C	6.1	4.4	1.7	180	0.6	0.000	43.151	1.798	0.432	
	24	A	6.5	4.4	2.1	102	2	0.002	205.482	8.562	2.055	
	24	B	6.5	4.4	2.1	112	2	0.002	187.135	7.797	1.871	
	24	C	6.5	4.4	2.1	180	3.5	0.002	203.770	8.490	2.038	

Tabela A.26 - leituras dos níveis de água, volume e tempos durante o ensaio de permeabilidade.

## Anexo 7 – Determinação da Matéria Orgânica (MO)

	Massa do Cadinho (g)	M. Seco (105°)	M. Seco (430°)
As1	17.2085	23.9582	23.2555
As2	17.5381	23.9359	23.2693
As3	17.3834	23.797	23.2542
As3R	30.2972	36.9917	36.4386
As4	17.4503	23.6556	22.6736
As5	30.1189	36.6342	35.9665
Ax1	17.5523	24.2877	22.9955
Ax1R	17.4651	24.2717	22.9712
Ax2	27.5683	29.4810	28.4743
Ax2R	22.6770	34.3059	33.3686

Tabela A.27 – Peso de cada uma das amostras em cada uma das fazes do processo de determinação da M.O.

$$Materia\ Organica = \frac{Pseco(105^\circ) - Pseco(430^\circ) \times 100}{Pseco(105^\circ)}$$

### As1

Peso cadinho 73: 17.2085g

Peso amostra seca a 105° + cadinho: 23.9582g

Peso amostra seca a 430° + cadinho: 23.2555g

$$M.O. = \frac{(23.9582 - 17.2085) - (23.2555 - 17.2085) \times 100}{(23.9582 - 17.2085)} = 10,4\%$$

### As2

Peso cadinho 26: 17.5381g

Peso amostra seca a 105° + cadinho: 23.9359g

Peso amostra seca a 430° + cadinho: 23.2693g

$$M.O. = \frac{(23.9359 - 17.5381) - (23.2693 - 17.5381) \times 100}{(23.9359 - 17.5381)} = 10,4\%$$

### As3

Peso cadinho 68: 17.3834g

Peso amostra seca a 105° + cadinho: 23.7970g

Peso amostra seca a 430° + cadinho: 23.2542g

$$M.O. = \frac{(23.7970 - 17.3834) - (23.2542 - 17.3834) \times 100}{(23.7970 - 17.3834)} = 8,5\%$$

**As3 replica**

Peso cadinho 1x: 30.2972g

Peso amostra seca a 105° + cadinho: 36.9917g

Peso amostra seca a 430° + cadinho: 36.4386g

$$M.O. = \frac{(36.9917 - 30.2972) - (36.4386 - 30.2972) \times 100}{(36.9917 - 30.2972)} = 8,3\%$$

**As4**

Peso cadinho 56: 17.4503g

Peso amostra seca a 105° + cadinho: 23.6556g

Peso amostra seca a 430° + cadinho: 22.6736g

$$M.O. = \frac{(23.6556 - 17.4503) - (22.6736 - 17.4503) \times 100}{(23.6556 - 17.4503)} = 15,8\%$$

**As5**

Peso cadinho 10: 30.1189g

Peso amostra seca a 105° + cadinho: 36.6342g

Peso amostra seca a 430° + cadinho: 35.9665g

$$M.O. = \frac{(36.6342 - 30.1189) - (35.9665 - 30.1189) \times 100}{(36.6342 - 30.1189)} = 10,2\%$$

	<b>M. O. (%)</b>
As1	10.41%
As2	10.42%
As3	8.46%
As3R	8.26%
As4	15.83%
As5	10.25%
Ax1	19.19%
Ax1R	19.11%
Ax2	14.80%
Ax2R	13.91%

Tabela A.28 - Percentagem do Teor de M.O.

### Anexo 8 – Análise mineralógica das amostras

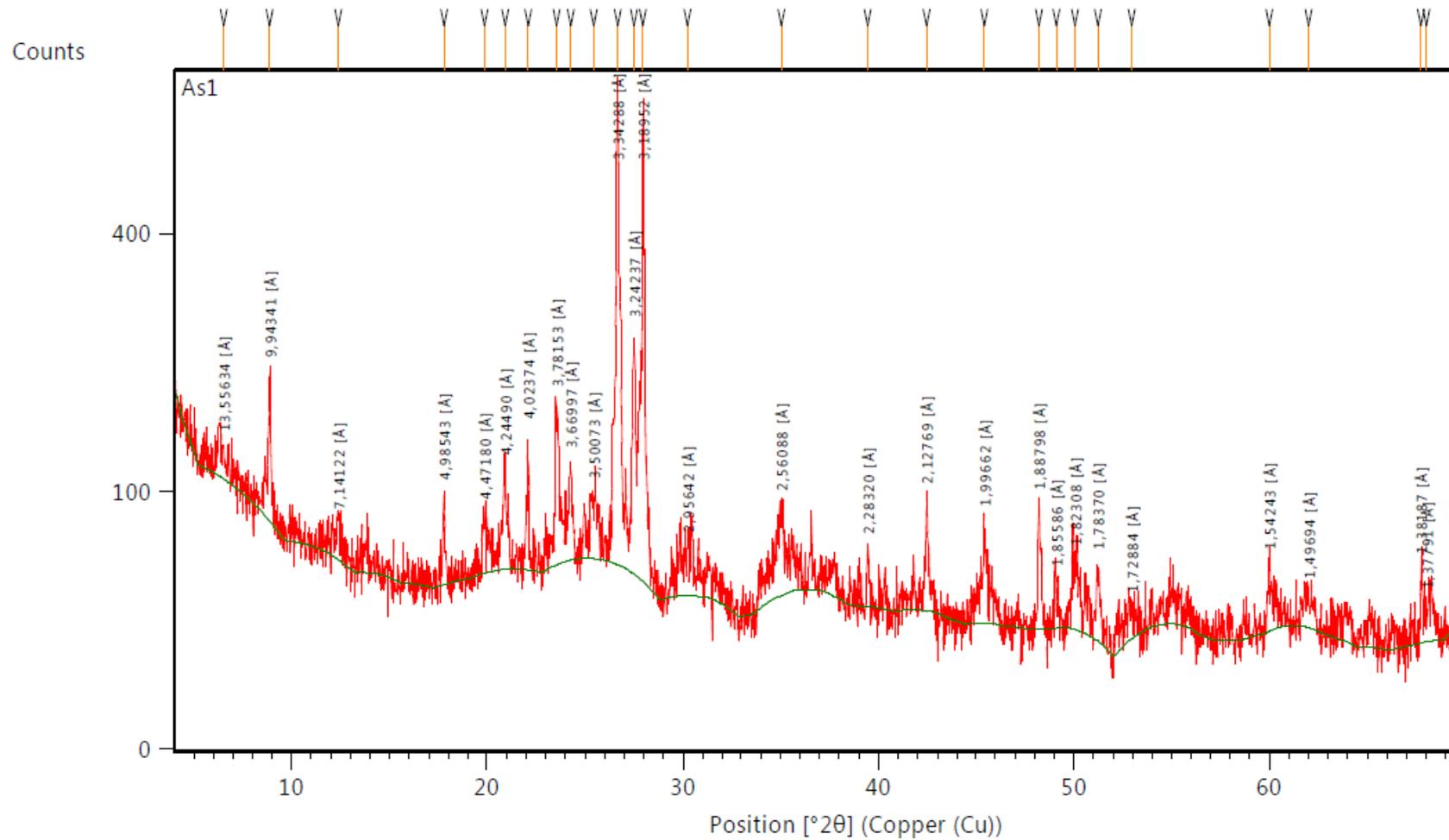


Figura A.38 – Difratoograma de raio-x da amostra AS1.

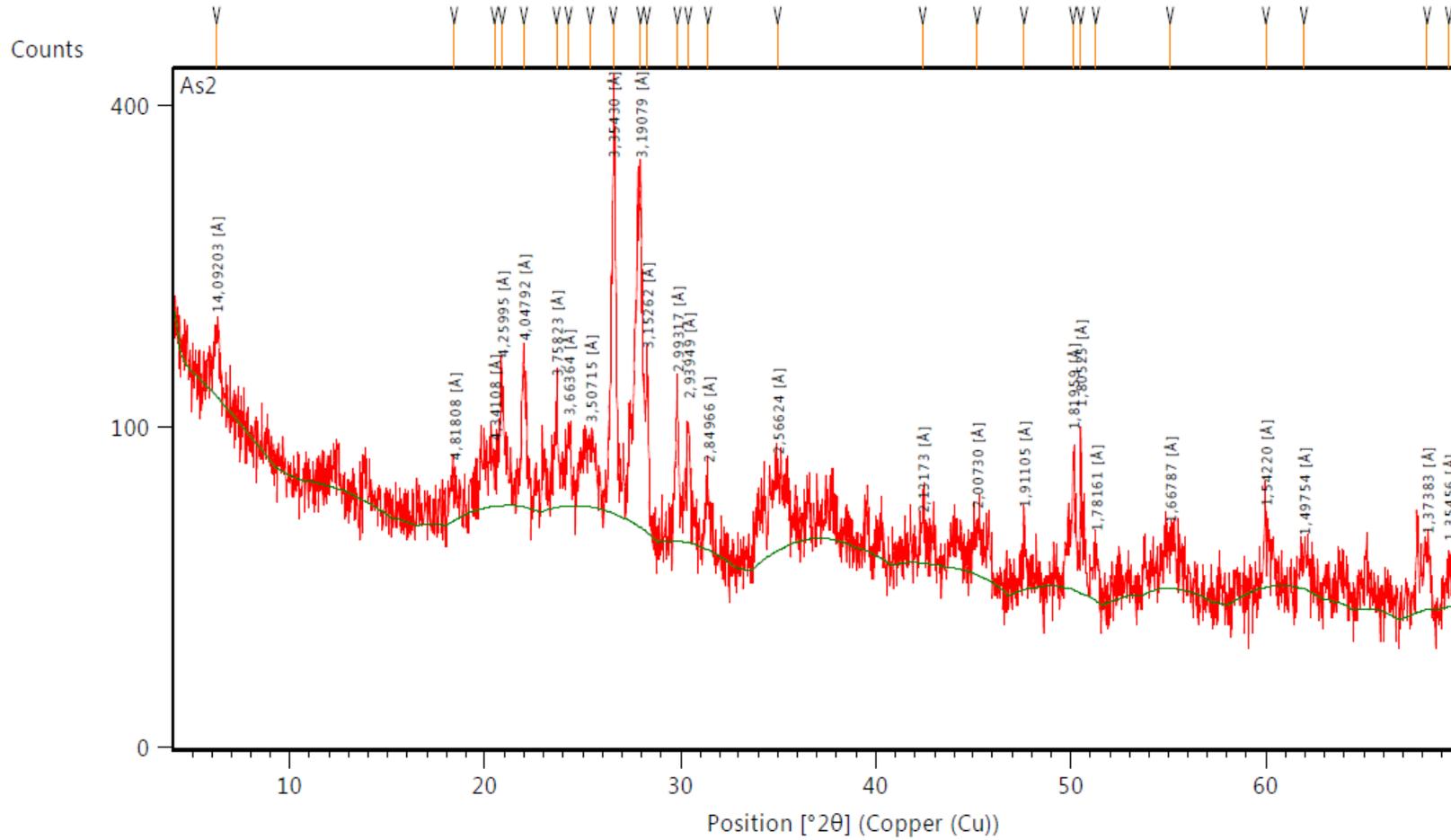


Figura A.39 – Difratoograma de raio-x da amostra As2.

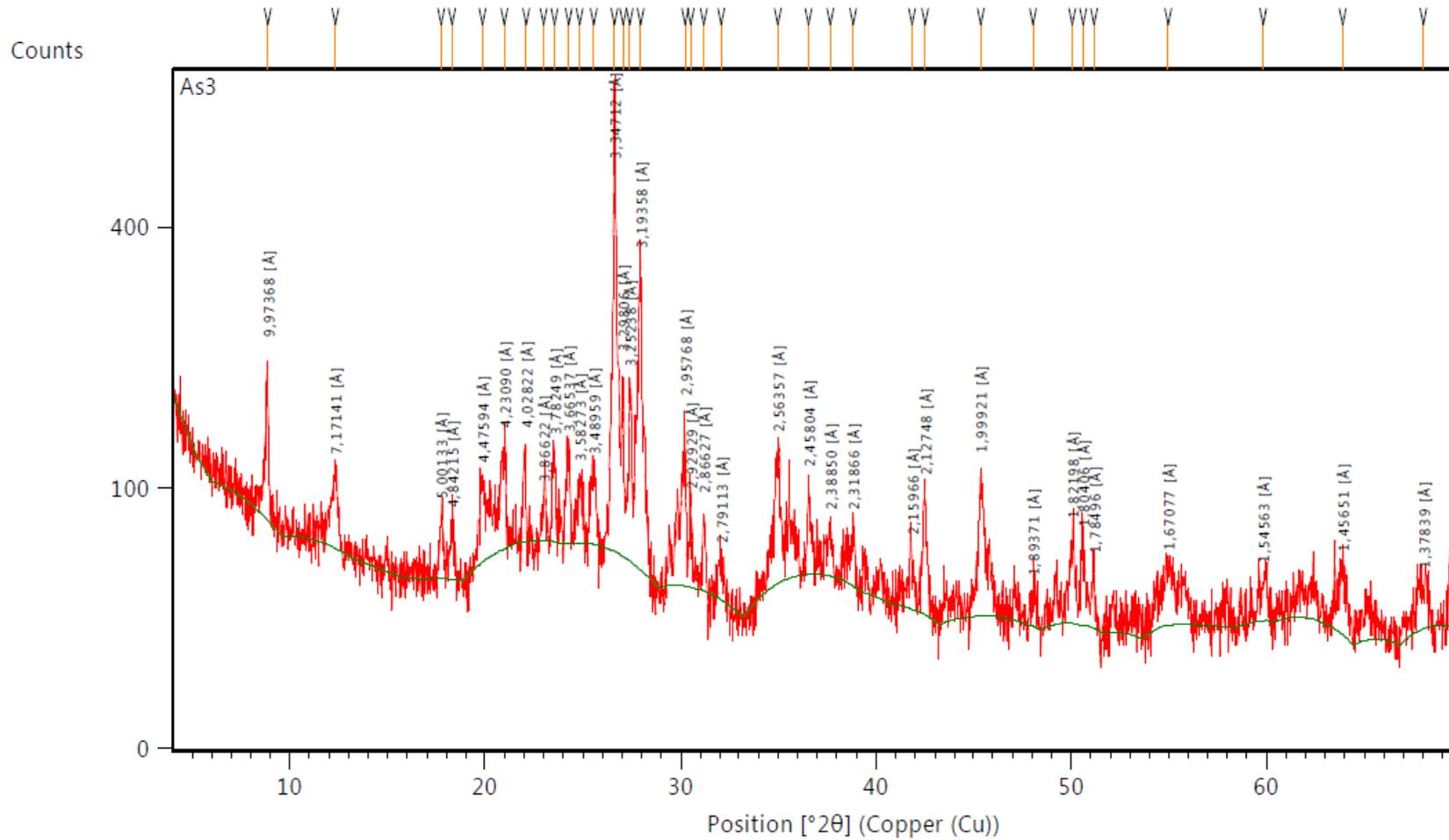


Figura A.40 – Difratoograma de raio-x da amostra As3.

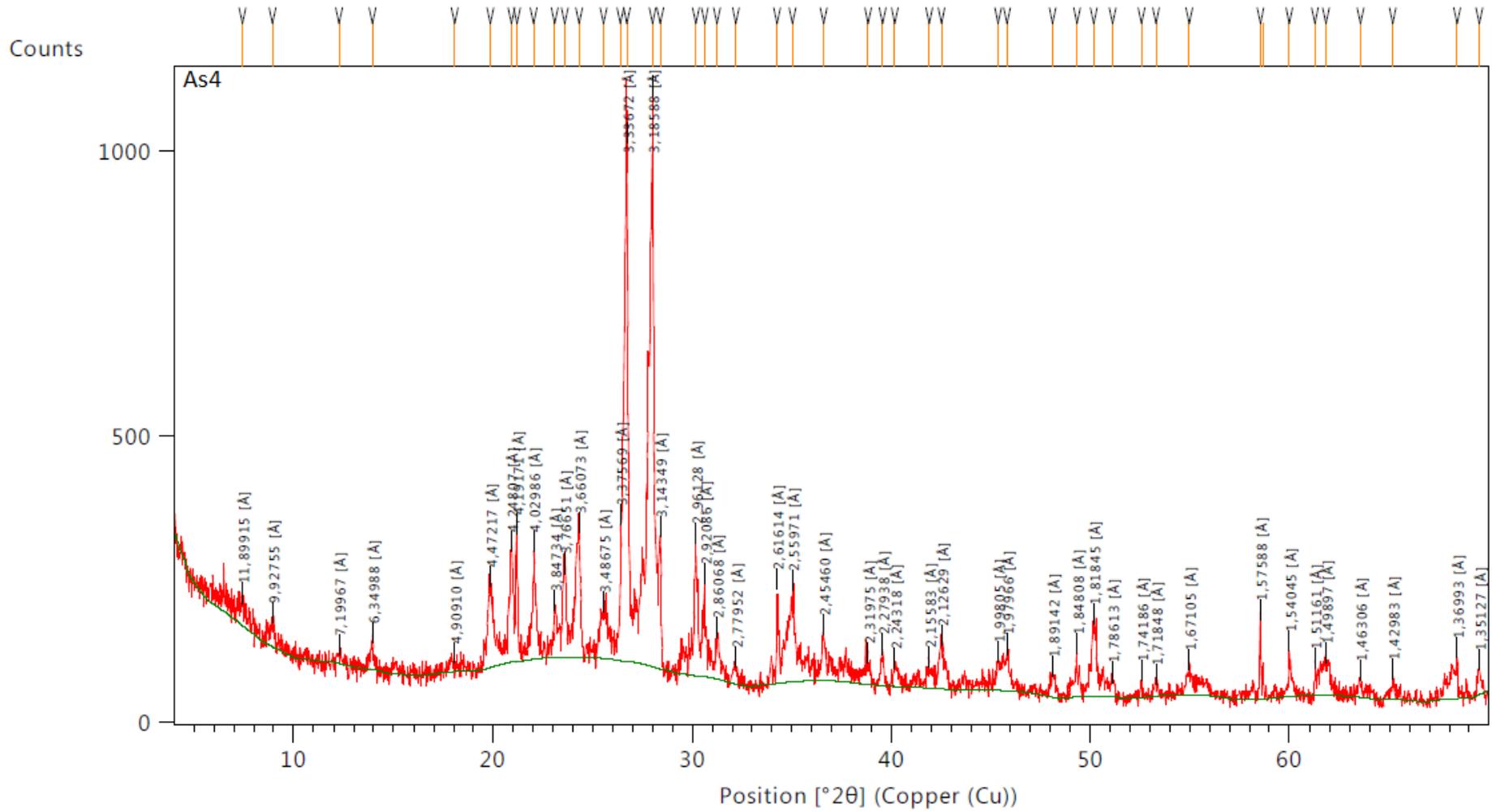


Figura A.41 - Difratoograma de raio-x da amostra As4.

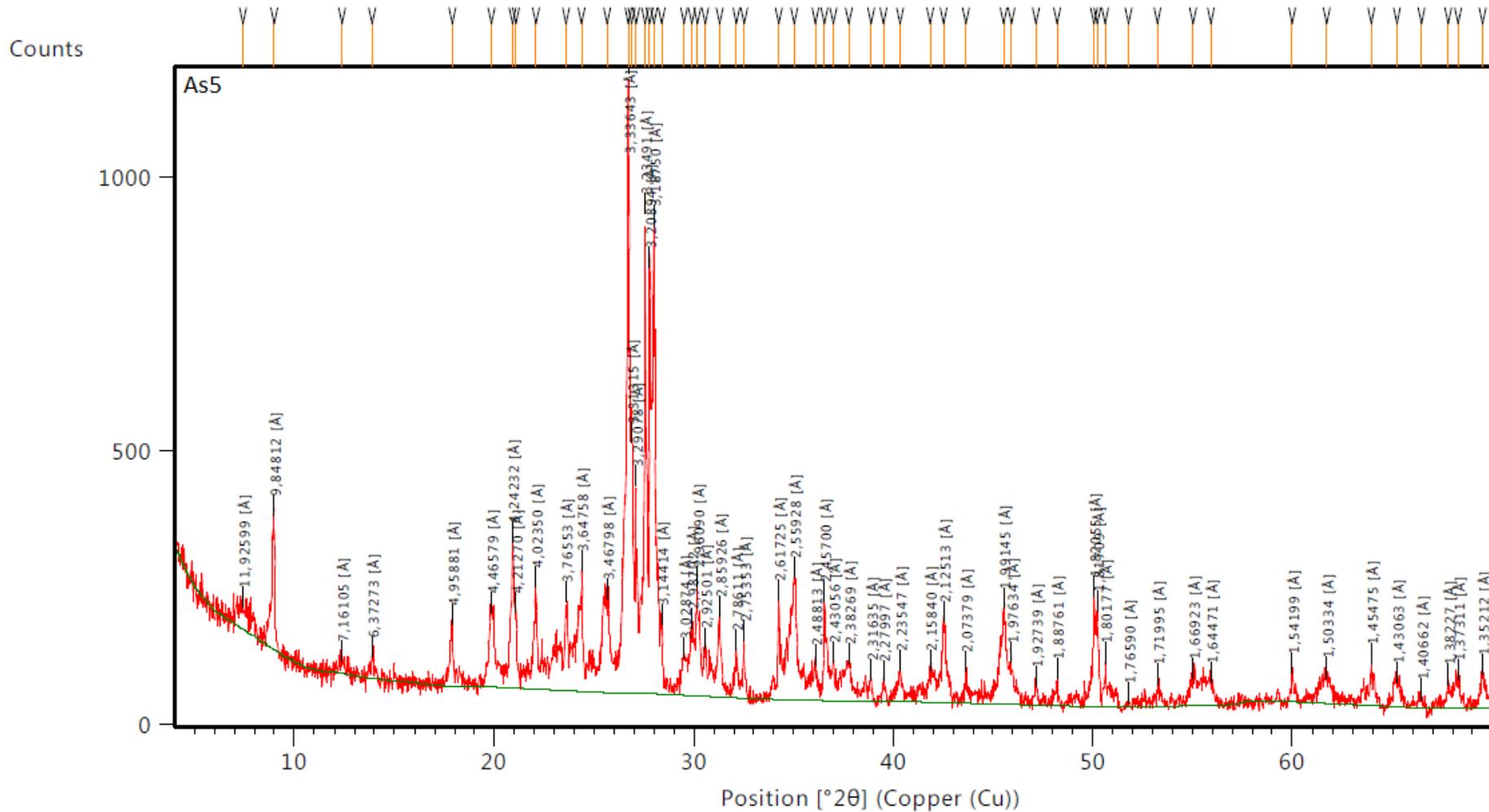


Figura A.42- Difractograma de raio-x da amostra As5.

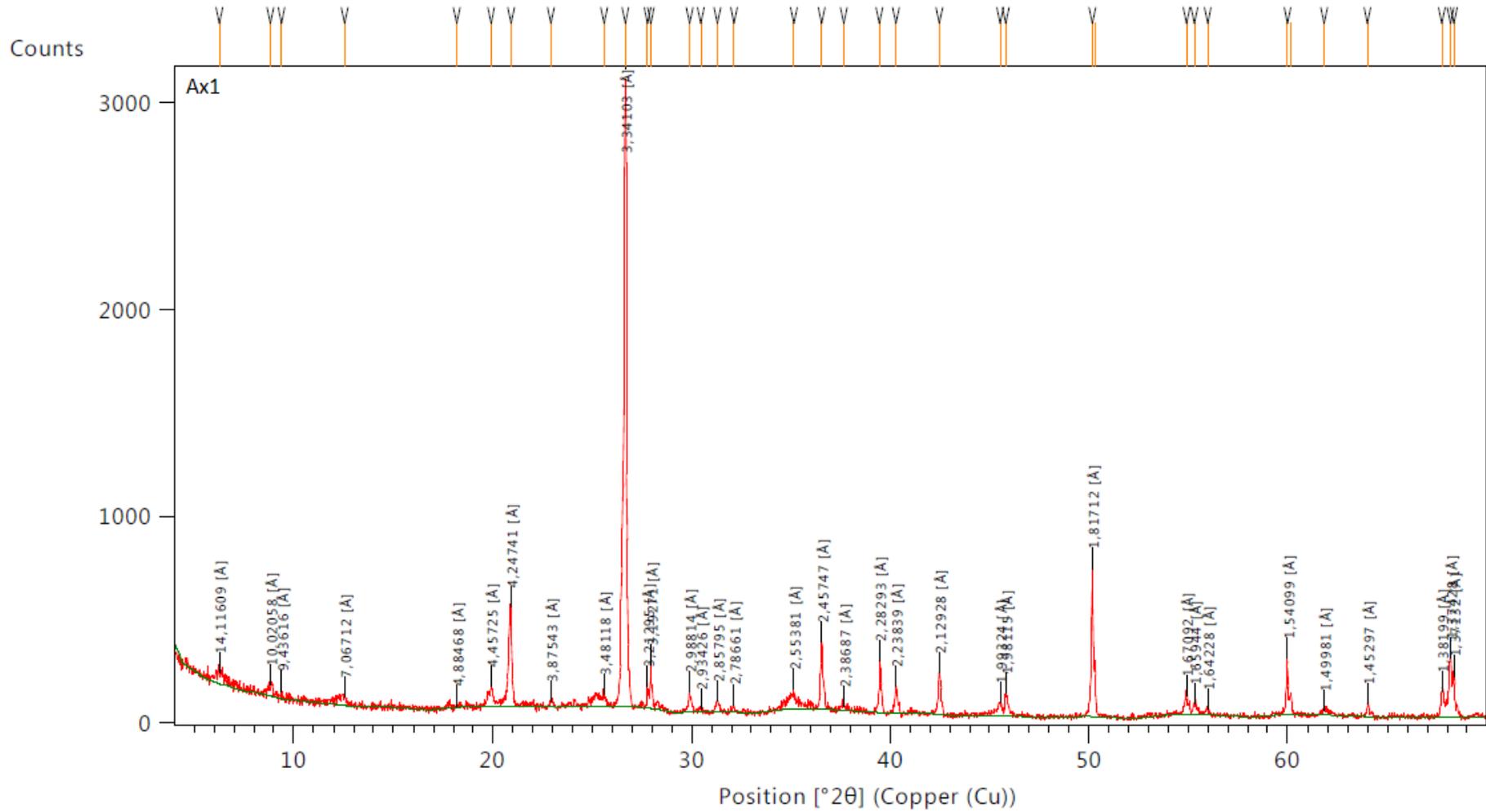


Figura A.43 – Difratoograma de raio-x da amostra Ax1.

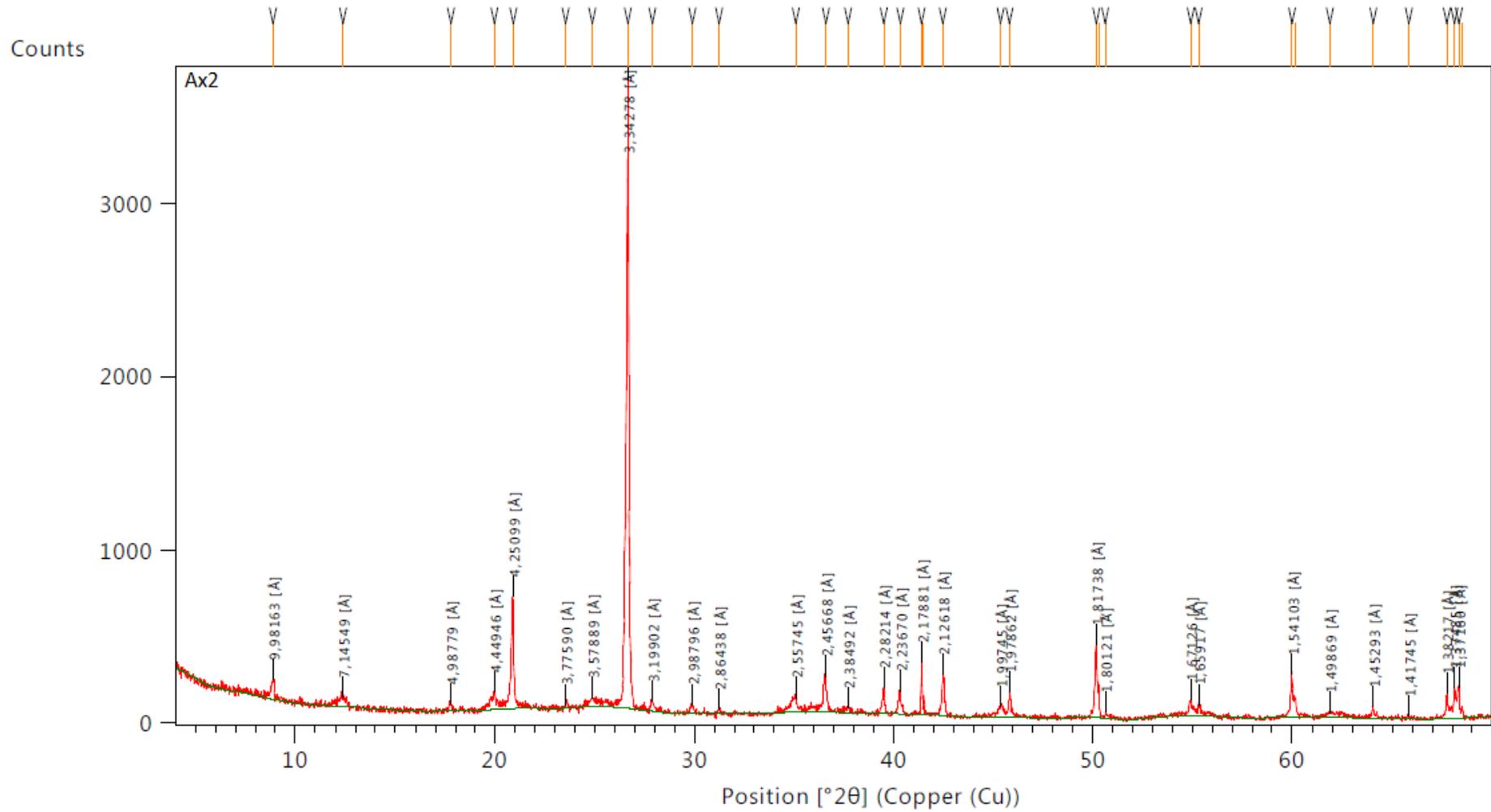


Figura A.44 - Difratoograma de raio-x da amostra Ax2.