



**Universidade de Aveiro** Departamento de Biologia  
**2006**

**Helena Maria Gomes  
Moreira**

**Caracterização físico-química e microbiológica de  
solos e águas da ilha de Porto Santo.**





**Helena Maria Gomes  
Moreira**

**Caracterização físico-química de águas e solos da  
ilha de Porto Santo.**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Microbiologia Molecular, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Conceição Santos, Professora Auxiliar do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro, e sob co-orientação da Professora Doutora Sónia Mendo, Professora Auxiliar do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro.





**o júri**

presidente

**Prof. Dr. Fernando José Mendes Gonçalves**  
professor associado com agregação da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. José Paulo Filipe Afonso de Sousa**  
professor auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

**Prof. Dra. Maria da Conceição Lopes Vieira dos Santos**  
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

**Prof. Dra. Sónia Alexandra Leite Velho Mendo Barroso**  
professora auxiliar da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Gostaria de agradecer à Prof. Doutora Conceição Santos e à Prof. Doutora Sónia Mendo pelo apoio concedido e pela muita paciência demonstrada.

À Sónia, pelos ensinamentos laboratoriais e pela imensa simpatia, o meu muito obrigada.

À Dona Helena, a ajuda preciosa que me deu no laboratório.

Ao Eng. Armando e à Gina Brito, pela recolha das amostras preliminares deste trabalho e pela simpatia que sempre demonstraram.

Ao Mário, pelo carinho e apoio constantes, pela ajuda incansável, pela atitude positiva... e por tudo aquilo que eu hoje sou, o meu agradecimento muito, muito especial.

Aos meus pais, pelo incentivo que me deram ao longo deste trabalho. Um agradecimento acrescido à minha mãe pelo apoio financeiro, sem o qual este projecto não teria sido possível.

Às minhas amigas Susana, Ana e Patrícia, pela presença e por tudo o que por mim fizeram até hoje.

Agradeço também aos meus avós, os quais eu tenho a certeza que por mim zelam, onde quer que estejam...



## palavras-chave

Porto Santo, microbiologia de solos e águas, características físico-químicas de solos e águas, *Pinus halepensis*, *Tamarix gallica*

## resumo

A Ilha de Porto Santo é a segunda maior ilha do arquipélago da Madeira (Portugal) e viu o seu coberto vegetal, nos últimos séculos, alterado de forma praticamente completa, devido a actividades antrópicas. Esta alteração do coberto vegetal, aliada a uma geologia dominada por solos sedimentares e arenosos e a condições meteorológicas relativamente pouco pluviosas, traduz-se, hoje, numa acentuada desertificação e erosão que urge combater. Foi efectuado um estudo preliminar das características físico-químicas e microbiológicas de amostras de solos, principalmente daqueles que estão, ou poderão vir, a ser alvo de reflorestação, e amostras de águas de alguns recursos hídricos da Ilha. Este trabalho foi realizado no âmbito de um projecto mais vasto de investigação intitulado "Reflorestação da Ilha de Porto Santo usando plantas autóctones, regeneradas *in vitro* e adaptadas a stress hídrico" (Projecto REI), que envolveu ainda outras componentes de estudo agroflorestais.

Para além da caracterização de solos e águas, foram também efectuadas análises ao conteúdo elemental, hídrico e orgânico de amostras vegetais, de porte arbóreo, presentes nas zonas de recolha das amostras de águas. No que diz respeito às amostras de solo recolhidas, verificou-se uma heterogeneidade considerável na composição calcária (que variam entre 1 % e 79 % de  $\text{CaCO}_3$ ). Todas apresentam teores muito baixos em matéria orgânica (entre 0.2 % e 1.3 %). Os teores totais em fósforo e em potássio revelaram-se baixos, o que aponta para solos pobres em macronutrientes. Não foi identificada qualquer correlação directa entre o teor destes elementos nas amostras de solos e de águas estudadas. No entanto, todas apresentam carácter químico básico (com o pH a variar entre 7.55 e 8.75 para as águas, e 8.51 e 10.02 para os solos).

Em termos microbiológicos, os valores de abundância bacteriana e fúngica nas amostras de solos estão abaixo daqueles encontrados para um solo fértil, o que provavelmente se deve ao facto dos solos da ilha serem pobres em matéria orgânica. As amostras apresentam também pouca biodiversidade, sendo as bactérias *Arthrobacter* spp. e *Aureobacterium* spp./ *Corynebacterium aquaticum* e o fungo *Penicillium* os organismos mais representativos. Quanto às águas analisadas verificou-se estarem, na generalidade, dentro dos critérios de qualidade para águas de rega.



**keywords**

Porto Santo, soil and water microbiology, soil and water chemical and microbiological characteristics, *Pinus halepensis*, *Tamarix gallica*

**abstract**

Porto Santo is the second biggest island in the Madeira archipelago (Portugal). Its forest has undergone deep, if not complete changes over the last centuries due to anthropic activities. These changes together with the very scarce rain and the fact that, from a geological perspective, the island is mainly composed of sedimentary and sandy soils, have led to the current situation of deep desertification and erosion, a process that has to be rapidly reversed.

A preliminary study has been undertaken in order to determine the physical, of soil and waters samples from different places, where there have been, or may be, reforestation attempts. This work has been part of a major research project entitled "Reforestation of the island of Porto Santo using autochthonous plants which have been *in vitro* regenerated and adapted to hydric stress" (the REI project), which also included other agroforestral studies.

Besides soils and waters composition, it was also analysed the elemental, organic matter and hydric content of arborescent vegetable samples, found in the same areas where water samples have been collected.

As to the soil, it has become evident, from a thorough analysis of all the samples, that there is considerable heterogeneity in their calcareous composition (between 1 to 79 % of CaCO<sub>3</sub>).

All the collected samples showed very low organic matter levels (between 0.2 and 1.3 %). The total phosphorus and potassium levels are low, which points to poor soils in what concerns to macronutrients. No correlation between the level of these elements in the soil samples and in the water samples has been identified. Yet, both sorts present a basic chemical character (with their pH varying from 7.55 to 8.55 in the water samples and from 8.75 to 10.02 in the soil samples).

Microbiologically, the levels of bacteria and fungus abundance in the soils samples are below those usually found in fertile soils, which is probably due to the fact that these soils are poor in organic matter. The samples also present low diversity, being *Arthrobacter* spp. and *Aureobacterium* spp./*Corynebacterium aquaticum* the most representative ones.

As to the quality of the analysed waters, we have found that it corresponds, in general, to the quality standards established for irrigation waters.





**ÍNDICE****CAPÍTULO 1. PORTO SANTO – HISTÓRIA E CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ILHA**

	1
1.1. Enquadramento histórico da ilha de Porto Santo	3
1.2. Localização geográfica	4
1.3. Origem e aspectos geológicos da ilha	5
1.4. Relevo	7
1.5. Caracterização climática	8
1.6. Aspectos hidrológicos e hidrogeológicos da ilha	11
1.7. Vegetação	12
1.8. Objectivos gerais do trabalho	13

**CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS SOLOS**

	15
2.1. Características gerais do solo	17
2.1.1. Noção de solo	17
2.1.2. Génese de um solo	18
2.1.3. Fracções de um solo	20
2.1.3.1. Matriz do solo	19
2.1.3.2. Solução do solo	20
2.1.3.3. Atmosfera do solo	22
2.1.4. Nutrientes do solo	22
2.1.5. Elementos benéficos	24
2.2. Objectivo	24
2.3. Material e Métodos	25
2.3.1. Recolha e tratamento físico das amostras de solo	25
2.3.1.1. Secagem prévia	32
2.3.1.2. Peneiramento	32
2.3.1.3. Quarteamento	33
2.3.2. Métodos usados para a determinação das propriedades físicas das amostras de solo	33
2.3.2.1. Determinação da água de hidratação	33
2.3.2.2. Determinação da capacidade de campo	34
2.3.2.3. Determinação da densidade aparente, da densidade real e da porosidade	34

2.3.2.3.1. Densidade aparente	34
2.3.2.3.2. Densidade real	35
2.3.2.3.3. Porosidade percentual	35
2.3.2.4. Determinação da textura	35
2.3.2.5. Determinação da permeabilidade	36
2.3.3. Métodos para a determinação das propriedades químicas das amostras de solo	37
2.3.3.1 Determinação do pH	37
2.3.3.2. Determinação do teor em cloretos	38
2.3.3.3. Determinação do teor da matéria orgânica	39
2.3.3.4. Determinação do calcário total	40
2.3.3.5. Determinação do conteúdo elemental	41
2.4. Resultados e discussão	43
<b>CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DOS SOLOS</b>	<b>65</b>
3.1. Bactérias e fungos do solo	67
3.1.1. Bactérias do solo	68
3.1.2. Fungos do solo	69
3.1.3. Abundância e diversidade bacteriana e fúngica	70
3.2. Objectivo	71
3.3. Material e métodos	72
3.3.1. Amostras de solo	72
3.3.2. Determinação das abundâncias e diversidades bacterianas e fúngicas	72
3.3.2.1. Meios de cultura	72
3.3.2.2. Quantificação e isolamento de efectivos bacterianos	73
3.3.2.3. Quantificação e isolamento de efectivos fúngicos	74
3.4. Resultados e discussão	76
3.4.1 Bactérias identificadas	76
3.4.2 Fungos identificados	82
<b>CAPÍTULO 4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE AMOSTRAS DE ÁGUA</b>	
4.1. Caracterização físico-química da água	85

4.2. Características microbiológicas da água	88
4.2.1. Controlo microbiológico da água	89
4.3. Objectivo	89
4.4. Material e métodos	92
4.4.1. Recolha das amostras de água	93
4.4.2. Métodos usados na determinação das propriedades físico-químicas das amostras de água	91
4.4.2.1. Determinação da condutividade	97
4.4.2.2. Determinação do pH	97
4.4.2.3. Determinação do teor em cloretos	98
4.4.2.4. Determinação de teor em nitratos	98
4.4.2.5. Determinação do conteúdo elemental	98
4.4.3. Métodos usados na determinação das propriedades microbiológicas das amostras de água	99
4.4.3.1. Meios de cultura	99
4.4.3.2. Quantificação e isolamento de efectivos bacterianos indicadores de poluição fecal	99
4.4. Resultados e discussão	100
4.4.1. Caracterização físico-química das amostras de água	102
4.4.3. Caracterização microbiológica das amostras de água	102
<b>CAPÍTULO 5. DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO HÍDRICO E ELEMENTAL DE <i>Tamarix gallica</i> E <i>Pinus halepensis</i></b>	110
5.1 Objectivo	112
5.2. Material e métodos	115
5.2.1. Recolha e preparação das amostras de plantas	116
5.2.2 Métodos usados na determinação das propriedades físico-químicas das amostras vegetais	116
5.2.2.1. Determinação do conteúdo hídrico	116
5.2.2.2. Determinação do teor em matéria orgânica	116
5.2.2.3. Determinação do conteúdo elemental	117
5.3. Resultados e discussão	118
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES</b>	123

**BIBLIOGRAFIA**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Baía de Porto Santo e sistema montanhoso situado a sudoeste da ilha.	7
<b>Figura 2:</b> Valores médios mensais e anuais da temperatura do ar (°C) registados na estação meteorológica do Aeroporto de Porto Santo no período entre 1965 e 1990 (adaptado de Silva, 2003).	9
<b>Figura 3:</b> Valores médios mensais e anuais de precipitação e evaporação (mm) registados na estação meteorológica do Aeroporto de Porto Santo no período entre 1961 e 1990 (adaptado de Silva, 2003).	10
<b>Figura 4:</b> Áreas florestadas (verde claro) e áreas a reflorestar (verde escuro) na ilha de Porto Santo (adaptado de P.D.M. de Porto Santo, 1995 e de Silva, 2003).	13
<b>Figura 5:</b> Pontos de recolha de amostras de solos na ilha de Porto Santo (mapa adaptado de Silva, 2003).	26
<b>Figura 6:</b> Local de recolha da amostra n.º 1 - encosta sudoeste do Pico do Castelo - Zairão.	27
<b>Figura 7:</b> Local de recolha da amostra n.º 3 - Fonte da Areia (eolianitos calcoareníticos).	27
<b>Figura 8:</b> Local de recolha da amostra n.º 4 - Fonte da Areia (tufo vulcânico argilizado).	28
<b>Figura 9:</b> Local de recolha da amostra n.º 5 - Encosta nordeste do Pico do Facho.	28
<b>Figura 10:</b> Local de recolha da amostra n.º 6 - Entre as Lapeiras e as Marinhas.	29
<b>Figura 11:</b> Local de recolha da amostra n.º 7 - Encosta ocidental da Rocha da N. Sr. <sup>a</sup> - Capela Nossa Sr. <sup>a</sup> da Graça.	29
<b>Figura 12:</b> Local de recolha das amostras n.ºs 8 e 9 - Vertente noroeste do Pico de Ana Ferreira.	30
<b>Figura 13:</b> Local de recolha da amostra n.º 11 - Encosta Sul do Pico do Concelho - Zimbral.	30
<b>Figura 14:</b> Local de recolha da amostra n.º 12 - Encosta norte do Pico do Maçarico - Corgas.	31

<b>Figura 15:</b> Local de recolha da amostra n.º 13 - Próximo da foz da Ribeira do Calhau - Calhau.	31
<b>Figura 16:</b> Local de recolha da amostra n.º 14 - Barragem da Volta do Serrado (Encosta oriental do Cabeço do Dragoal).	32
<b>Figura 17:</b> Montagem experimental usada para a determinação da permeabilidade dos solos.	37
<b>Figura 18:</b> Montagem experimental para a determinação da percentagem de carbonato de cálcio nos solos. Legenda: A - tubo de ensaio com solução de HCl, B - amostra de solo; C - proveta.	40
<b>Figura 19:</b> Percentagens de areia e de limo e argila de cada amostra de solo analisada.	44
<b>Figura 20:</b> Teores de água de hidratação e respectivos desvios médios determinados nas amostras de solo analisadas. Os valores obtidos diferem significativamente para um $P < 0.05$ (one-way ANOVA).	45
<b>Figura 21:</b> Representação gráfica da percentagem de limo e argila em função do teor de água de hidratação.	46
<b>Figura 22:</b> Representação gráfica da percentagem de porosidade em função da densidade aparente.	47
<b>Figura 23:</b> Representação gráfica da percentagem de água de hidratação em função da percentagem de porosidade.	48
<b>Figura 24:</b> Percentagens de água de campo e respectivos desvios médios determinados nas amostras de solo analisadas. Os valores obtidos diferem significativamente para um $P < 0.05$ (one-way ANOVA).	49
<b>Figura 25:</b> Representação gráfica da percentagem de água de campo em função da percentagem de porosidade.	50
<b>Figura 26:</b> Permeabilidades e respectivos desvios médios determinadas nas amostras de solo analisadas ( $n=3$ ). Os valores obtidos diferem significativamente para um $P < 0.05$ (one-way ANOVA).	51

<b>Figura 27:</b> Representação gráfica da permeabilidade em função da percentagem de areia.	51
<b>Figura 28:</b> Representação gráfica da permeabilidade em função da percentagem de porosidade.	52
<b>Figura 29:</b> Teores de cloreto de sódio, e respectivos desvios médios, determinados por volumetria nas amostras de solo analisadas (n=3). Os valores obtidos diferem significativamente para um $P < 0.05$ (one-way ANOVA).	54
<b>Figura 30:</b> Representação gráfica da percentagem de cloreto de sódio (determinada por ICPS) em função da percentagem de cloreto de sódio (determinada por volumetria).	54
<b>Figura 31:</b> Representação gráfica da percentagem de perda por calcinação em função da percentagem de matéria orgânica (determinada por volumetria).	56
<b>Figura 32:</b> Representação gráfica da soma das percentagens de água de hidratação e matéria orgânica (determinada por volumetria), em função da percentagem de perda por calcinação.	57
<b>Figura 33:</b> Representação gráfica da percentagem de carbonato de cálcio (determinada por ICPS) em função da percentagem de carbonato de cálcio (determinada por volumetria gasosa).	58
<b>Figura 34:</b> Percentagem de potássio presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.	59
<b>Figura 35:</b> Percentagem de magnésio presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.	59
<b>Figura 36:</b> Percentagem de fósforo presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.	59
<b>Figura 37:</b> Percentagem de magnésio presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.	59
<b>Figura 38:</b> Percentagem de ferro presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.	60
<b>Figura 39:</b> Teor em boro presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médio.	60

<b>Figura 40:</b> Teor em manganésio presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.	60
<b>Figura 41:</b> Teor em zinco presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.	60
<b>Figura 42:</b> Teor em cobre presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.	61
<b>Figura 43:</b> Percentagem de sódio presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.	62
<b>Figura 44:</b> <i>Aspergillus fumigatus</i> após 10 dias de crescimento em meio CRBA.	82
<b>Figura 45:</b> <i>Penicillium citrinum</i> após 10 dias de crescimento em meio CRBA.	82
<b>Figura 46:</b> <i>Beauveria</i> sp. após 10 dias de crescimento em meio CRBA.	83
<b>Figura 47:</b> <i>Penicillium janthinelum</i> após 10 dias de crescimento em meio CRBA.	83
<b>Figura 48:</b> Locais de recolha das amostras de água na ilha de Porto Santo (mapa adaptado de Silva, 2003).	94
<b>Figura 49:</b> Local de recolha da amostra de água <b>A</b> - Barragem das Lapeiras.	95
<b>Figura 50:</b> Local de recolha da amostra de água <b>B</b> - Ribeiro Saigado.	95
<b>Figura 51:</b> Local de recolha da amostra de água <b>C</b> - Barragem do Tanque.	96
<b>Figura 52:</b> Local de recolha da amostra de água <b>D</b> - Fonte da Areia.	96
<b>Figura 53:</b> Local de recolha das amostras de água <b>E</b> e <b>F</b> - Barragens da Serra de Dentro.	97
<b>Figura 54:</b> Correlação entre a concentração mássica de sódio (por ICPS) e a concentração mássica em cloretos (por volumetria).	104
<b>Figura 55:</b> Correlação entre a condutividade e a concentração em cloretos (por	104



volumetria).

<b>Figura 56:</b> Teor em potássio nas amostras de água.	106
<b>Figura 57:</b> Teor em cálcio nas amostras de água.	106
<b>Figura 58:</b> Teor em magnésio nas amostras de água.	107
<b>Figura 59:</b> Teor em fósforo nas amostras de água.	107
<b>Figura 60:</b> Teor em ferro nas amostras de água.	107
<b>Figura 61:</b> Teor em boro nas amostras de água.	107
<b>Figura 62:</b> Teor em manganésio nas amostras de água.	107
<b>Figura 63:</b> Teor em zinco nas amostras de água.	107
<b>Figura 64:</b> Teor em cobre nas amostras de água.	108
<b>Figura 65:</b> Teor em sódio nas amostras de água.	108
<b>Figura 66:</b> Percentagem em potássio nas amostras de <i>Tamarix gallica</i> e <i>Pinus halepensis</i> analisadas e respectivos desvios médios.	119
<b>Figura 67:</b> Percentagem em cálcio nas amostras de <i>Tamarix gallica</i> e <i>Pinus halepensis</i> analisadas e respectivos desvios médios.	119
<b>Figura 68:</b> Percentagem em magnésio nas amostras de <i>Tamarix gallica</i> e <i>Pinus halepensis</i> analisadas e respectivos desvios médios.	120
<b>Figura 69:</b> Percentagem em fósforo nas amostras de <i>Tamarix gallica</i> e <i>Pinus halepensis</i> analisadas e respectivos desvios médios.	120
<b>Figura 70:</b> Teor em ferro nas amostras de <i>Tamarix gallica</i> e <i>Pinus halepensis</i> analisadas e respectivos desvios médios.	120
<b>Figura 71:</b> Teor em boro nas amostras de <i>Tamarix gallica</i> e <i>Pinus halepensis</i> analisadas e respectivos desvios médios.	120

**Figura 72:** Teor em manganésio nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios médios. 121

**Figura 73:** Teor em cobre nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios médios. 121

**Figura 74:** Teor em zinco nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios médios. 121

**Figura 75:** Percentagem em sódio nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios médios. 121

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Elementos essenciais (macronutrientes e micronutrientes) para a maioria das plantas vasculares, símbolo químico, formas assimiláveis e concentrações médias.	23
<b>Tabela 2:</b> Locais de recolha e respectiva identificação das amostras de solo da ilha de Porto Santo.	25
<b>Tabela 3:</b> Classificação dos solos de acordo com a sua permeabilidade (adaptado de Duchaufour, 1970).	36
<b>Tabela 4:</b> Escala de Pratolongo usada na classificação dos solos.	38
<b>Tabela 5:</b> Valores percentuais das fracções grosseira e fina e respectiva classificação da textura de acordo com o diagrama proposto por M. Pereira Gomes e A. Antunes da Silva (1962)( <i>in</i> Costa, 1999).	43
<b>Tabela 6:</b> Valores das densidades aparentes, densidades reais e porosidades obtidos (e respectivos erros médios) das amostras de solo analisadas. Os valores obtidos diferem significativamente para um $P < 0.05$ (one-way ANOVA).	45
<b>Tabela 7:</b> Valores médios de pH obtidos (e respectivo desvio médio) e classificação, segundo a escala de Pratolongo ( <i>in</i> Costa, 1999) das amostras de solo analisadas ( $n=3$ ). Os valores obtidos diferem significativamente para um $P < 0.05$ (one-way ANOVA).	51
<b>Tabela 8:</b> Valores percentuais e respectivos desvios médios do teor de matéria orgânica obtidos por perda por calcinação e por volumetria nas amostras de solo analisadas ( $n=3$ ). Os valores obtidos diferem significativamente para um $P < 0.05$ (one-way ANOVA).	53
<b>Tabela 9:</b> Percentagem e desvio médio de calcário e respectiva classificação das amostras de solos analisadas (classificação adaptada de Costa, 1999).	55
<b>Tabela 10:</b> Locais de recolha das amostras de solo da ilha de Porto Santo e respectiva designação/numeração utilizadas na análise microbiológica; os números entre parênteses referem-se às amostras de solo que foram misturadas, como por ex. a amostra $A_{(1,2)}$ , possui solo das amostras 1 e 2 utilizadas na análise físico-química.	70
<b>Tabela 11:</b> Meios de cultura utilizados na quantificação e isolamento de bactérias e fungos e respectiva composição e modo de preparação.	71
<b>Tabela 12:</b> Bactérias identificadas na amostra de solo $A_{(1,2)}$ .	73

<b>Tabela 13:</b> Bactérias identificadas na amostra de solo A <sup>(3,4)</sup> .	73
<b>Tabela 14:</b> Bactérias identificadas na amostra de solo A <sup>(5)</sup> .	74
<b>Tabela 15:</b> Bactérias identificadas na amostra de solo A <sup>(6)</sup> .	74
<b>Tabela 16:</b> Bactérias identificadas na amostra de solo A <sup>(7)</sup> .	75
<b>Tabela 17:</b> Bactérias identificadas na amostra de solo A <sup>(8,9)</sup> .	75
<b>Tabela 18:</b> Bactérias identificadas na amostra de solo A <sup>(10)</sup> .	75
<b>Tabela 19:</b> Bactérias identificadas na amostra de solo A <sup>(11, 12)</sup> .	76
<b>Tabela 20:</b> Bactérias identificadas na amostra de solo A <sup>(13)</sup> .	76
<b>Tabela 21:</b> Bactérias identificadas na amostra de solo A <sup>(14)</sup> .	76
<b>Tabela 22:</b> Fungos identificados nas amostras de solo e respectivas abundâncias.	74
<b>Tabela 23:</b> Locais de recolha e respectiva identificação para as amostras de água da Ilha de Porto Santo.	91
<b>Tabela 24:</b> Composição dos meios de cultura para Coliformes fecais, Coliformes totais e Estreptococos fecais.	98
<b>Tabela 25:</b> Condutividades e respectivos desvios médios das amostras de água analisadas. Os valores obtidos diferem significativamente para um $P < 0.05$ (one-way ANOVA).	100
<b>Tabela 26:</b> Teores em cloretos e respectivos desvios médios das amostras de água analisadas ( $n=3$ ). Os valores obtidos diferem significativamente para um $P < 0.05$ (one-way ANOVA).	101
<b>Tabela 27:</b> Valores de pH e respectivos desvios médios das amostras de água analisadas ( $n=3$ ). Os valores obtidos diferem significativamente para um $P < 0.05$ (one-way ANOVA).	103
<b>Tabela 28:</b> Teores em nitratos nas amostras de água estudadas e respectivos desvios médios ( $n=3$ ). Os valores obtidos diferem significativamente para um $P < 0.05$ (one-way ANOVA).	103

**Tabela 29:** Valores médios de UFC/100 cm<sup>3</sup> de Coliformes fecais, *Streptococos* fecais e Coliformes totais (n=3). 107

**Tabela 30:** Bactérias saprófitas identificadas nas amostras de água analisadas. 108

**Tabela 31:** Conteúdos hídricos e respectivos desvios médios das amostras vegetais analisadas (n=3). 117

**Tabela 32:** Percentagem em matéria orgânica e respectivos desvios médios das amostras vegetais analisadas (n=3). 118



## **CAPÍTULO 1.**

### **PORTO SANTO – HISTÓRIA E CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ILHA**





## **1. PORTO SANTO – HISTÓRIA E CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ILHA**

### **1.1. Enquadramento histórico da ilha de Porto Santo**

A ilha de Porto Santo foi descoberta em 1419 por João Gonçalves Zarco e Tristão Vaz Teixeira, a mando do Rei D. João I e do Infante D. Henrique, um ano antes destes mesmos navegadores terem chegado à ilha da Madeira. Supõe-se que o seu nome foi dado primeiramente à sua baía, na costa sul, que os abrigara de uma tumultuosa tempestade durante uma viagem em busca de terras para além do Cabo Bojador, constituindo assim o seu porto de refúgio. Esta ilha era, no entanto, já conhecida por todos os que partiam para as ilhas Canárias à procura de escravos, seiva de dragoeiro ou mesmo de saques (Ribeiro, 2000).

O primeiro capitão-donatário da ilha foi Bartolomeu Perestrelo, companheiro de João Gonçalves Zarco, e a sua administração trouxe à ilha um certo grau de prosperidade devido ao bom aproveitamento dos terrenos virgens e férteis da ilha. No entanto, a errónea exploração dos donatários seguintes, os constantes assaltos dos piratas argelinos e franceses, as crises cerealíferas sucessivas, o abandono das terras e da agricultura por parte da população e a falta das chuvas demandaram situações extraordinariamente caóticas que impuseram uma emigração generalizada para a ilha da Madeira e para as terras brasileiras (Silva, 2003). Devido aos inúmeros saques e fomes cíclicas geradas por estes acontecimentos, pensou-se várias vezes em abandonar totalmente Porto Santo, mas as autoridades régias desencorajavam esta ideia, uma vez que a ilha era um ponto estratégico para a navegação que nunca deveria ser tomado pelos muçulmanos (Ribeiro, 2000). Os refúgios da população aquando dos assaltos eram os montes da ilha, nomeadamente o Pico do Castelo, para onde levavam a maioria dos seus pertences, deixando livres os terrenos para as pilhagens e incêndios perpetrados pelos intrusos. O forte de S. José, do qual

actualmente existem apenas vestígios, foi construído pelo Marquês do Pombal numa tentativa de evitar estes assaltos constantes (Silva, 2003).

Mais recentemente, a baía da ilha de Porto Santo, nas vésperas da Primeira Grande Guerra, foi palco de exercícios militares, por parte das potências europeias, com a simulação de desembarques (Ribeiro, 2000). Actualmente, Porto Santo é uma ilha de interesse essencialmente turístico, sobretudo sazonal, principalmente devido à extensa e bonita praia que possui, às suas condições climatéricas e ao sossego que lhe é inerente.

## **1.2. Localização geográfica**

A ilha de Porto Santo está situada no norte do Oceano Atlântico entre as latitudes 33° 1' 8" N (Ponta da Calheta) e 33° 6' 16" N (Focinho de Forte) e entre as longitudes 16° 17' 5" W (Ponta dos Ferreiros) e 16° 23' 30" W (Ponta da Canaveira), a sudoeste da Europa Ocidental. Contabilizando os ilhéus, os seus extremos localizam-se entre as latitudes 32° 59' 28" N (Ilhéu de Baixo ou da Cal) e 33° 7' 30" N (Ilhéu de Fora) e as longitudes 16° 16' 24" W (Ilhéu de Cima) e 16° 24' 30" W (Ilhéu de Ferro) (Carta Geológica de Porto Santo, 1996).

A envolver Porto Santo existe um conjunto de sete ilhéus: Ilhéu de Baixo (ou da Cal), Ilhéu do Ferro, Ilhéu do Farol (ou de Cima), Ilhéu da Fonte de Areia, Ilhéu de Fora, Ilhéu das Cenouras e a mais pequena ilha do conjunto, Baixa do Meio. A baía de Porto Santo, localizada na costa meridional, possui 9 Km de praia de areia fina e calcária que cobre toda a sua extensão. A restante costa da ilha é rochosa, recortada e escarpada, características partilhadas pelos seus ilhéus. Isto acontece devido ao facto da força erosiva do mar ser extraordinariamente intensa na encosta norte, devido à acção dominante dos ventos. A linha de costa tem cerca de 38 km de comprimento e a altitude máxima verificada na ilha é de 517 m (Pico do Facho) (Pena & Cabral, 1997).

A ilha de Porto Santo está inserida no arquipélago da Madeira, situando-se a cerca de 45 Km a nordeste da sua maior ilha, a da Madeira, e possui cerca de 42,26 Km<sup>2</sup> de área geográfica. O seu maior comprimento, medido na direcção NE-SW, é de 12 Km (entre a Furna das Amasiadas e o Focinho do Urso) e de 5 Km a largura máxima, medida na direcção N-S (entre o Focinho do Forte e a Praia do Calhau) (Franco, 1994). Para além destas duas ilhas, o arquipélago da Madeira é ainda constituído pelas Desertas, três ilhas localizadas a cerca de 20 Km a sueste da Ponta de São Lourenço da ilha da Madeira, e as Selvagens a cerca de 290 Km a sueste desta mesma ilha, aproximando-se mais do arquipélago das Canárias (Pena & Cabral,

1997). Este arquipélago, associado aos arquipélagos dos Açores, Canárias, Cabo Verde e parte da costa de Marrocos constitui uma região denominada Macaronésia.

### **1.3. Origem e aspectos geológicos da ilha**

As ilhas de Porto Santo e da Madeira estão situadas em pleno Oceano Atlântico e integram-se na placa africana. Do ponto de vista geotectónico, localizam-se numa área actualmente muito estável ao contrário do que sucede com o arquipélago açoriano.

A ilha de Porto Santo constitui um dos testemunhos emersos do conjunto de estruturas vulcânicas que circundam o sector Noroeste do continente africano. Esta ilha e a da Madeira correspondem aos cimos aflorantes de dois grandes aparelhos vulcânicos formados por materiais oriundos de zonas muito profundas do manto, extraordinariamente quentes, que subiram à superfície como plumas térmicas, alimentando câmaras magmáticas e originando um vulcanismo intraplaca (Carvalho, 2002). Esta actividade vulcânica foi iniciada a partir do Miocénico, com a produção de rochas básicas e intermédias, e prolongada até ao Quaternário, admitindo-se que existiram três fases diferentes de vulcanismo a cada uma das quais sucederam períodos de sedimentação (Mottconsult, Consultores de Engenharia, Lda. & Mot MacDonald, 1999 *in* Silva, 2003). Os trabalhos de Portugal Ferreira (1969, 1971 e 1985) permitiram visualizar o crescimento da ilha de Porto Santo como vulcão-escudo submarino, cujo processo ter-se-á iniciado há cerca de 18 M.a., tendo a actividade vulcânica se tornado sub-aérea há cerca de 13.5 M.a., surgindo então o primeiro esboço da ilha. Esta actividade sub-aérea ter-se-á mantido por aproximadamente 5 milhões de anos extinguindo-se no fim deste intervalo de tempo, isto é, há cerca de 8 M.a., tendo nessa altura a ilha adquirido o máximo da sua extensão (P.D.M. Porto Santo, 1995).

Nesta ilha são predominantes basaltos alcalinos, havaíticos, basatinóides, ancaramitos e basanitos e, em abundância, riolitos aqueríticos e traquitos, representando um vulcanismo mais ácido que o da Madeira. São conhecidos ainda palagonitos (material secundários de aspecto resinoso), resultante da alteração do vidro vulcânico basáltico, e hialoclastitos, testemunhando material vulcânico projectado, depositado no mar e aí cimentado (Carvalho, 2002).

Existem dois maciços vulcânicos na ilha que são responsáveis pela formação dos dois vigentes sistemas de montanhas, o maior na zona nordeste e o outro no extremo sudoeste da ilha. Entre estes dois sistemas existe uma região de substancial menor altitude, com relevo atenuado e de origem sedimentar, constituída,

essencialmente por areias e arenitos calcários (às vezes com 50 metros de espessura) e por massas argilosas com percentagem elevada de calcário pulverulento. Estes depósitos que se elevam até à altitude de 300 metros, contêm fósseis marinhos atribuídos ao Miocénico superior, o que sugere que houve deformações ascendentes de então para cá (Carvalho, 2002).

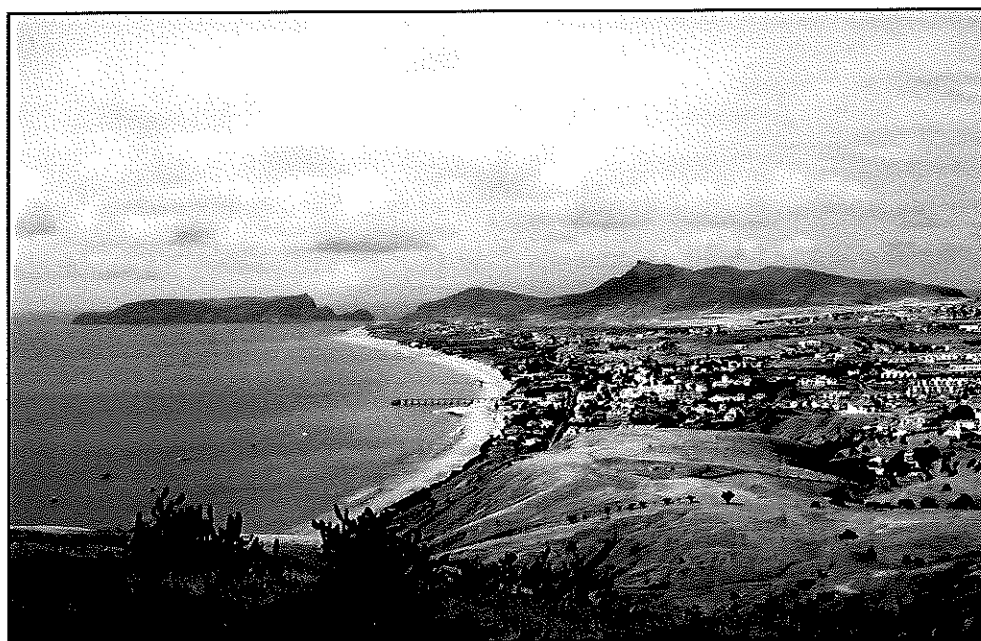
A actividade vulcânica deu então origem a uma série de rochas vulcânicas (incluindo domos), que podem ser agrupadas em "Basaltos e Andesitos", "Traquitos e Riolitos" e piroclastos. Os "Basaltos e Andesitos" encontram-se predominantemente no sector Nordeste da ilha e incluem seis manchas, sendo a mais importante localizada no sistema de montanhas que culmina no Pico do Facho e abrange, entre outras, as zonas do Pico Juliana, da Serra de Dentro e do Pico da Castelo. No extremo sudoeste da ilha existe essencialmente uma única mancha que, a partir da costa, entre a Ponta da Calheta e a Ponta da Beberia se prolonga para o interior abrangendo o Cabeço do Zimbralinho, o Cabeço do Dragoal, o sítio do Lombo e ainda parte dos Morenos. Ocorrem ainda, por exemplo, no cimo do pico Ana Ferreira e no Cabeço da Ponta (Franco, 1994). Segundo Carvalho (2002), os picos do Facho, da Juliana e da Gandala são constituídos por basaltos olivínicos. Em regiões de cotas inferiores e de relevo mais suave pode-se destacar a mancha da Ribeira do Tanque e a mancha do cabeço de Bárbara Gomes (Franco, 1994). Relativamente aos "Traquitos e Riolitos", que nos casos mais típicos constituem domos, existem, segundo Ferreira (*in* Franco, 1994), no sistema de montanhas do noroeste da ilha, que incluem o Pico do Castelo-Camacha, Pico Branco e a rocha de Nossa Senhora. Segundo Carvalho (2002) predominam os traquitos e ainda traquiandesitos nas zonas referidas e ainda na zona sudoeste da ilha, nomeadamente no Pico da Ana Ferreira e Pico dos Morenos. Além destas rochas efusivas e intrusivas predominam na ilha materiais piroclásticos, como cinzas, brechas e tufos (Carvalho, 2002).

Os terrenos sedimentares estão representados por "Calcoarenitos", "Areias de Duna", "Aluviões" e "Depósitos de Vertente". Os "Calcoarenitos" que se situam na zona central, separando os dois sistemas de montanhas da ilha, passam superficialmente a areias esbranquiçadas constituídas, assim como os próprios calcoarenitos, por fragmentos de algas calcárias e de exoesqueletos de organismos marinhos e terrestres. Estes materiais foram originados a partir de uma plataforma onde assenta a ilha de Porto Santo, onde se terão, na parte norte, formado extensos depósitos sublitorais, devido à acumulação de fragmentos de algas calcárias, iniciada já no quaternário. Esta formação foi elevada acima do nível das águas do mar e as areias calcárias (se ainda não consolidadas em calcoarenitos) foram transportadas para o interior da ilha pela acção dos ventos dominantes que sopravam de norte para

nordeste, fossilizando, na sua viagem algumas formas vegetais e animais. A consolidação das areias calcárias (areias organogénicas) em calcoarenitos, ficaria a dever-se à acção das águas meteóricas que, percolando os níveis superiores do sedimento, se enriquecem progressivamente em hidrogenocarbonato de cálcio até que, atingida a saturação em níveis mais profundos, aí precipitam o carbonato de cálcio que vai funcionar como cimento aglutinante das areias (Franco, 1994). As "Areias de Duna" são acumulações dunares de areias organogénicas e estão localizadas num cordão junto à praia do litoral sul e na zona dos Mornos ou Covinhas. Os "Aluviões" estão localizados nas margens das ribeiras mais importantes e a formação "Depósitos de Vertente" está apenas assinalada na Zona Penedo-Pico de Baixo, em encosta abrupta e inacessível, directamente sobre o mar (Franco, 1994).

#### 1.4. Relevo

O relevo característico da ilha de Porto Santo é resultado das suas condições climáticas e do vulcanismo que lhe deu origem (P.D.M. Porto Santo, 1995). Como já foi referido possui dois sistemas de montanhas: um, ocupando todo o sector nordeste da ilha (o maior) e outro ocupando o extremo sudoeste. Entre estes dois sectores, o relevo é muito menos acentuado com cotas que não excedem os 150 m, decrescendo suavemente a partir da costa Norte até à costa sul, entre a Ponta da Calheta e a Vila de Porto Santo, onde se localiza a praia de areia fina definindo a baía de Porto Santo (Figura 1).



**Figura 1:** Baía de Porto Santo e sistema montanhoso situado a sudoeste da ilha.

O sistema de montanhas que caracteriza o sector nordeste é constituído pelo Pico do Facho (517 m), Pico da Gandaia (499 m), Pico Juliana (447 m), Pico do Castelo (437), Pico Branco (450 m), Pico do Concelho (324 m) e o Pico do Maçarico (285 m) e o que caracteriza o sector sudoeste é constituído por três elevações principais, o Pico de Ana Ferreira (283 m), Pico do Espigão (270 m) e Cabeço do Zimbralinho (183 m). No sector W-NW, não integrando nenhum dos sistemas de montanhas referidos, existem ainda duas elevações de relevo proeminente: Cabeço de Bárbara Gomes (227 m) e o Cabeço das Canelinhas (176 m) (Franco, 1994). Estes relevos são praticamente os únicos locais onde se encontram afloramentos de rocha ainda não meteorizada, constituindo pontos de dureza mais elevada, responsáveis pelo que resta do relevo primitivo, correspondendo em alguns casos a estruturas intrusivas como chaminés e diques (P.D.M. Porto Santo, 1995).

Julga-se que a área insular emersa terá sido muito superior no passado e que a esta estariam ligados os ilhéus periféricos da Cal, do Ferro, da Fonte da Areia e de Fora (Silva, 2003). O desaparecimento de parte da ilha esteve provavelmente ligado a fenómenos tectónicos acompanhados de fracturação intensa com abatimento de blocos. A movimentação tectónica originou ainda a emergência da restante superfície insular, empurrando-a para sul. Tais acontecimentos foram acompanhados de actividade erosiva, essencialmente por abrasão marinha (Silva, 2003).

Cerca de 85 % do relevo encontra-se abaixo dos 200 m e as zonas de maior altitude referidas constituem apenas 15 % da ilha (P.D.M. Porto Santo, 1995).

### **1.5. Caracterização climática**

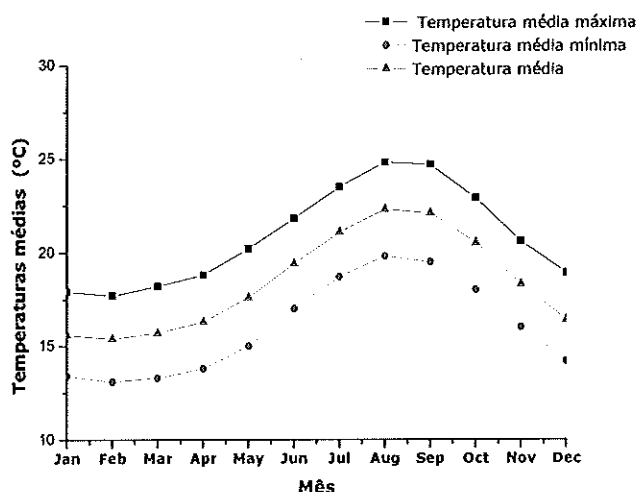
Os factores de carácter permanente da ilha de Porto Santo, como a localização, a reduzida dimensão, o relevo, a latitude, a exposição solar e a exposição aos ventos alíseos, realizam uma acção conjunta e ímpar que não pode ser dedutível da simples interpretação dos dados climatológicos disponíveis (Silva, 2003).

A ilha está situada numa zona subtropical de altas pressões do Atlântico Norte e todo o estado de tempo que aqui se faz sentir é influenciado pela posição, desenvolvimento e orientação do anticiclone dos Açores, pela frente polar do Atlântico e pelos anticiclones, que durante parte do ano se estabelecem sobre toda a região noroeste de África e sobre a parte ocidental do Continente Europeu, pelas depressões de origem térmica que se podem estabelecer sobre a Península ibérica ou sobre a região noroeste de África, durante a estação quente, e pelas depressões que, no Outono e Primavera se podem formar junto e a oeste dos Açores ou centradas entre os Açores e a Península Ibérica (Silva, 2003).

São apresentados de seguida dados relativos à temperatura e nebulosidade, para o período 1965-1990 e precipitação, evaporação, evapotranspiração potencial, insolação e vento, para o período 1961-1990, registados na estação meteorológica do aeroporto de Porto Santo (latitude: 33° 04' N, longitude: 16° 21' O e altitude: 78 m).

#### a) Temperatura

No que diz respeito ao parâmetro temperatura, os meses mais frios do ano são Janeiro, Fevereiro e Março e os meses de Julho e Agosto são aqueles em que as temperaturas atingem os valores mais elevados (Figura 2).



**Figura 2:** Valores médios mensais e anuais da temperatura do ar (°C) registados na estação meteorológica do Aeroporto de Porto Santo no período entre 1965 e 1990 (adaptado de Silva, 2003).

A amplitude térmica média anual é 6.9, o que define o clima da ilha em Oceânico.

#### b) Nebulosidade e Insolação

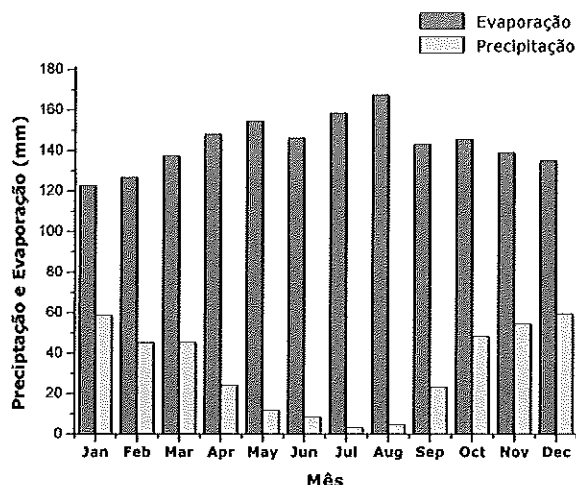
Os valores de nebulosidade de Porto Santo, expressos em décimos de céu aberto (escala que varia de 0 a 10), apresentam uma baixa variabilidade anual, sendo um pouco mais elevados no Inverno (valor 7) do que no Verão (valores 5 e 6), apresentando os valores mínimos no mês de Setembro.

Relativamente à insolação (período durante o qual o sol se encontra a descoberto e que depende de vários factores, nomeadamente da altura do sol, latitude, época do ano e da nebulosidade), as médias mensal máxima e mensal mínima foram registadas,

respectivamente, em Agosto, com o valor de 60 %, e nos meses de Dezembro e Janeiro com um valor de 43 % (Silva, 2003).

### c) Precipitação, Evaporação e Evapotranspiração Potencial

Os valores médios de precipitação e evaporação mensais e anuais encontram-se representados na Figura 3.



**Figura 3:** Valores médios mensais e anuais de precipitação e evaporação (mm) registados na estação meteorológica do Aeroporto de Porto Santo no período entre 1961 e 1990 (adaptado de Silva, 2003).

O valor médio de precipitação foi de 386.4 mm, o que caracteriza a ilha de Porto Santo como uma região de baixa precipitação. Os meses de maior precipitação foram os meses de Dezembro e Janeiro. Entre Outubro e Março ocorreu 80.5 % de precipitação total, tendo como consequência verões secos principalmente nos meses de Julho e Agosto (Silva, 2003).

A evaporação domina relativamente à precipitação, sendo o seu valor médio 4.7 vezes superior ao valor médio anual de precipitação.

No que diz respeito ao valor de evapotranspiração (989.1 mm), este é 2.6 vezes superior ao valor médio de precipitação (Silva, 2003).

### c) Vento

Relativamente ao parâmetro vento, os predominantes são os provenientes de Norte, embora os mais intensos sejam do rumo oeste. Entre 1961 e 1990, a maior intensidade é verificada durante o Inverno, à excepção do mês de Dezembro, e o mês de Setembro em a sua intensidade é menor (Silva, 2003).



O clima de Porto Santo pode ser assim caracterizado como semelhante ao do Mediterrâneo, com o Verão como estação mais seca, e pode ser classificado como temperado (valor médio da temperatura do ar entre 10 e 20 °C), oceânico (amplitude de variação anual da temperatura média do ar inferior a 10 °C e semi-árido (precipitação anual total entre 250 e 500 mm) (Pena & Cabral, 1997; Silva, 2003).

Os valores médios anuais de precipitação, como são bastante reduzidos em toda a ilha, trazem como consequência uma parca vegetação, à excepção do pico do Castelo, que possui vegetação arbórea considerável. A fraca condensação de humidade junto ao solo, os valores altos de insolação e a elevada taxa de evapotranspiração, são factores contrários à existência de águas subterrâneas, na medida que proporcionam taxas de infiltração muito baixas (Silva, 2003).

### **1.6. Aspectos hidrológicos e hidrogeológicos da ilha**

A ilha de Porto Santo não possui rios, mas sim ribeiros de carácter torrencial onde a água somente corre após as chuvadas de Inverno. Para além disso, a existência de um substrato de natureza sedimentar, implica uma infiltração acentuada, com a consequente perda de água para o subsolo (Pena & Cabral, 1997).

Os cursos de água mais importantes que podem ser encontrados são: o ribeiro da Ponta, o ribeiro Salgado, o ribeiro Cochino, o ribeiro do Tanque, o ribeiro do Calhau e o ribeiro da Serra de Dentro.

A rede de drenagem superficial dos sistemas montanhosos é aproximadamente do tipo radial de alta densidade, enquanto que a rede que caracteriza a zona sedimentar é do tipo dendrítico de densidade muito baixa. Esta morfologia é ditada, não só pela estrutura do terreno, mas também pelos fluxos pluviais que ocorrem durante o Inverno, já que na maior parte do ano os leitos das ribeiras estão secos ou quase secos (Franco, 1994). Mesmo os vales fluviais mais importantes – ribeira do Tanque, ribeiro do Cochino e o ribeiro Salgado – estão quase sempre secos (P.D.M. Porto Santo, 1995).

No sector montanhoso, a rede de drenagem superficial integra sulcos, ravinas, vales de erosão e vales de deposição, entre outros, o que determina uma activa modelação do terreno. Na zona sedimentar os vários cursos de água apresentam leito profundo e margens abruptas, mas a sua acção morfogenética é bastante mais localizada (Franco, 1994).

Todo o regime natural de escoamento foi, no entanto, alterado devido à existência de valas de captação de água pluviais, de barragens de armazenamento de águas para irrigação e as levadas de distribuição de água para rega. Quanto às barragens, podem ser destacadas a da Ponta, a da Lapeira, a do Tanque, a da Serra de Dentro, a da Serra de Fora, a do Pedregal e a da Camacha. Para além destas existem ainda cerca de 50

barragens de correcção torrencial que se localizam em 20 ribeiros (P.D.M Porto Santo, 1995).

Em termos de comportamento hidrogeológico, as formações geológicas ocorrentes na ilha podem separar-se em quatro grupos: formações com elevada permeabilidade (areias de praia e de duna); formações com relativa permeabilidade, (vários tipos de rochas vulcânicas, sedimentos carbonatados) que ocupam uma área extensa, essencialmente no centro ocidental da ilha; formações com pouca permeabilidade (rochas eruptivas, principalmente basaltos e riolitos) e formações impermeáveis (rocha vulcânicas argilizadas) que imperam em zonas da superfície da ilha, essencialmente na parte nordeste.

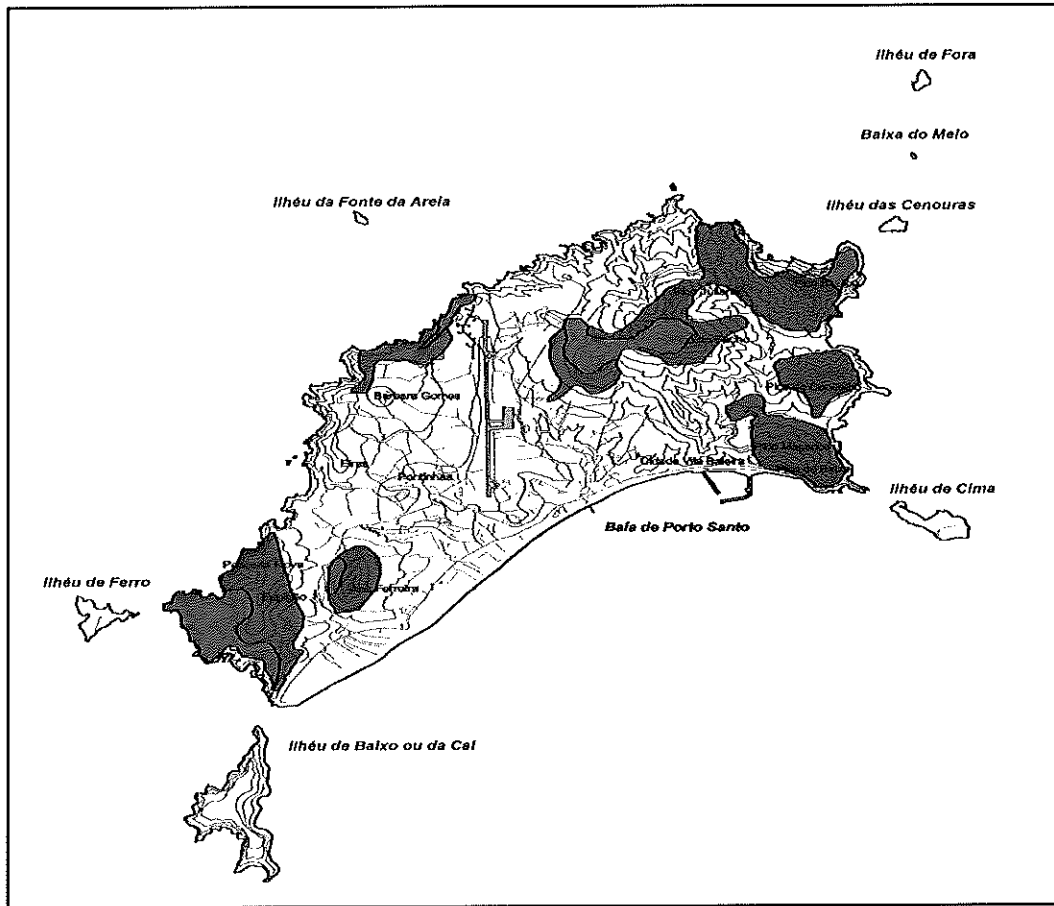
### **1.7. Vegetação**

As primeiras descrições acerca do coberto vegetal da ilha de Porto Santo remontam a 1419, sendo consentâneas com a presença de um total revestimento da ilha com espécies do tipo arbóreo e arbustivo (Pereira, 1956 *in* Silva, 2003). Este tipo de coberto contrasta com o actual que é essencialmente herbáceo, com o predomínio de plantas anuais e bienais, sendo hoje o estrato arbóreo pouco significativo (Silva, 2003). A maior parte dos endemismos encontra-se, actualmente, restrita a zonas muito pouco acessíveis dos picos (Jardim & Francisco, 2000).

Devido à destruição do coberto primitivo da ilha pelas populações que foram, ao longo dos séculos, habitando a ilha, começaram-se a sentir os efeitos da erosão dos solos. A maior parte das encostas apresentam ravinas e sulcos de erosão profundos e uma diminuição considerável da espessura do solo arável (Silva, 2003).

Em Porto Santo, não ocorrem quaisquer matas naturais (P.D.M. de Porto Santo, 1995) e o repovoamento florestal, à excepção do Pico do Castelo, Pico Branco e Pico do Facho, que remonta ao início do século XX, foi somente iniciado em mil e novecentos e cinquenta. Os elementos introduzidos integram o Pinheiro de Alepo (*Pinus halepensis*), o Cedro de Monterey (*Cupressus macrocarpa*) e, com menor representação, o Pinheiro de Monterey (*Pinus radiata*), o pinheiro manso (*Pinus pinea*) e o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*). Nos últimos anos tem-se tentado introduzir outras espécies, tais como eucaliptos (*Eucalyptus* sp.), azinheiras (*Quercus rotundifolia*), oliveiras (*Olea europea*), acácias (*Acácia* sp.) e também dragoeiros (*Dracaena draco*) (P.D.M de Porto Santo, 1995; Silva, 2003). Esta última espécie existia já no coberto inicial da ilha, mas apresenta como inconveniente um crescimento lento.

Na Figura 4 podem ser observadas as áreas já reflorestadas e a reflorestar.



**Figura 4:** Áreas florestadas (verde claro) e áreas a reflorestar (verde escuro) na ilha de Porto Santo (adaptado do P.D.M. de Porto Santo, 1995 e de Silva, 2003).

Apesar de muitas espécies usadas na reflorestação serem introduzidas na ilha, esta continua, no entanto, a ainda possuir elementos de origem natural, como é o caso da tamargueira (*Tamarix gallica*) que está presente, na generalidade da ilha, fundamentalmente na proximidade das ribeiras e locais relativamente húmidos. A ilha possui também outras formações naturais que integram muitos elementos halófilos que incluem elementos de muitos taxa (P.D.M. de Porto Santo, 1995).

### 1.8. Objectivos gerais do trabalho

Como foi referido, a ilha de Porto Santo já possuiu um coberto vegetal frondoso. No entanto uma exploração desregrada levou ao declínio da floresta inicial e à deterioração dos solos. Estes factos potenciaram a necessidade de combater este estado de degradação na ilha, principalmente para poder minimizar os processos erosivos. Deste modo, é muito importante conhecer a sua situação, nomeadamente em termos de caracterização dos seus solos.

Devido ao facto da ilha ser carenciada em recursos hídricos, o controlo da sua qualidade afigura-se de extrema importância. A água que é utilizada para consumo humano é obtida a partir de uma estação dessalinizadora, processo que consiste em obter água doce a partir de água salgada (água do mar). É, no entanto, um processo dispendioso, o que torna importante a utilização dos escassos recursos hídricos para outros fins, tal como a rega de algumas culturas da ilha, como tem vindo a ser feito. Para além disto, o facto da precipitação ser escassa e sazonal amplifica ainda mais o problema da falta de água. Assim, a qualidade destes recursos deve ser avaliada regularmente, de forma a garantir a sua adequabilidade ao fim a que se destinam.

Este trabalho foi realizado no âmbito de um projecto mais vasto de investigação intitulado "Reflorestação da Ilha de Porto Santo usando plantas autóctones regeneradas *in vitro* e adaptadas a stress hídrico" (Projecto REI) financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (referência: PNAT/1999/AGR/15011/99) e realizado por várias equipas de investigação. Este projecto engloba um estudo a vários níveis, tais como: caracterização do coberto vegetal, aves, macroinvertebrados e algas, para além de solos e águas, que constituem o objecto de estudo do presente trabalho.

Os objectivos principais deste trabalho foram:

- caracterizar amostras de solos de alguns pontos da ilha, especialmente de locais que estão ou poderão a vir a ser alvo de reflorestação, quanto a alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos;
- determinar algumas características físico-químicas e microbiológicas de amostras de água de alguns recursos hídricos da ilha;
- determinar o conteúdo hídrico, elemental e teor em matéria orgânica das espécies de porte arbóreo mais comuns nos locais de recolha das amostras de água.

O intuito final deste estudo é que os resultados obtidos nesta caracterização preliminar possam vir a ser utilizados como base para investigações futuras mais específicas em qualquer das áreas aqui abordadas.

## **CAPÍTULO 2.**

### **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AMOSTRAS DE SOLOS**



## **2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AMOSTRAS DE SOLO**

O solo é uma complexa mistura de material vivo e não vivo da qual depende, em maior ou menor escala, toda a vida na Terra (Molles, 2002), sendo uma das mais importantes fontes de recursos naturais, pois é nele que estão os nutrientes e a água necessários ao crescimento das plantas que posteriormente nos servem de alimento e também de protecção. O Homem vai buscar, directa ou indirectamente, mais de 90 % dos alimentos ao solo e, por mais avançada que a tecnologia se torne, a sobrevivência da população dependerá sempre deste (Vareennes, 2003).

Sabe-se que a erosão dos solos resulta da influência combinada de muitos parâmetros que incluem as condições topográficas, climatéricas e as propriedades físico-químicas e microbiológicas dos seus solos (Biossonais *in* Agassi, 1996). Deste modo, o estudo pormenorizado das principais características físico-químicas de solos da ilha de Porto Santo é relevante para diagnosticar problemas e propor soluções dentro do âmbito deste problema.

### **2.1. Características gerais do solo**

#### **2.1.1. Noção de solo**

A Pedologia, ciência que tem como objecto de estudo o solo, considera-o um meio complexo, dinâmico, caracterizado por uma atmosfera interna, uma flora e uma fauna determinadas e elementos minerais, cujas propriedades são adquiridas de forma progressiva, sob a acção combinada de vários factores ambientais (Costa, 1999). O seu estudo permite-nos conhecer a sua constituição e propriedades, isto é, as qualidades e os defeitos que provêm da sua natureza e o tornam mais ou menos adequado a determinado tipo de aproveitamento produtivo (Cerqueira, 2001).

O solo nasce e evolui a partir da rocha que lhe deu origem, que é alterada devido à influência de vários factores. Ligações, mais ou menos íntimas, são estabelecidas entre os minerais provenientes da rocha e a matéria orgânica gerada pela biosfera. Os complexos organo-minerais formados, dotados de propriedades físicas, químicas e biológicas específicas, conferem ao solo a sua própria individualidade (Duchaufour, 1970). O solo pode ser caracterizado pelas três fracções que apresenta: a matriz do solo, a solução do solo e a atmosfera do solo (Varenes, 2003), sendo assim um sistema constituído por três fases: sólida, líquida e gasosa (Taiz & Zeiger, 1998), cuja relação varia de solo para solo (Alexander, 1991; Varenes, 2003).

### **2.1.2. Génese de um solo**

O processo de formação do solo – pedogénese – é dinâmico e evolutivo existindo vários factores que interferem neste, tais como:

- a rocha-mãe: rocha à custa da qual o solo se forma e que fornece os constituintes minerais, ou seja, determina a sua composição química inicial e mineralógica;
- o clima: este afecta a velocidade de erosão geológica, a qual, por sua vez, afecta fundamentalmente as formas e as características físicas da sua superfície;
- a matéria orgânica: constitui um componente importante e é incluída e fornecida por plantas, animais, fungos, bactérias, etc.
- o relevo: influencia a formação do solo através da drenagem, águas de escoamento e erosão e, de certa forma, da exposição ao sol e a ventos;
- o tempo: o seu decorrer permite que o clima, os organismos e o relevo afectem a rocha-mãe. O grau de alteração do solo permite a determinação da sua idade.

A rocha-mãe fornece os constituintes minerais, e a vegetação, que se instala praticamente desde o momento em que alterações começam aí a ser verificadas, permite a acumulação de matéria orgânica. Os componentes da rocha e todo o material orgânico, sujeitos a variadas reacções físicas, químicas e bioquímicas, são transformados e misturados com maior ou menor intensidade, migrando os produtos resultantes de um para o outro ponto, conduzindo à diferenciação dos horizontes do solo. É esta interacção contínua entre todos estes factores que permite que o solo alcance as suas características e grau de desenvolvimentos únicos (Costa, 1999). A



expressão "génese do solo" utiliza-se assim como sinónimo desta diferenciação de horizontes.

Existe uma elevada variabilidade das características dos solos que confere grande heterogeneidade às propriedades físicas, químicas e biológicas de um solo. A camada do solo que mais vai influenciar o desenvolvimento das plantas é a camada superior, com 0.2 - 0.3 m de espessura - a camada arável - que é, frequentemente, a mais importante na avaliação da produtividade dos solos (Varenes, 2003).

### **2.1.3. Fracções de um solo**

#### **2.1.3.1. Matriz do solo**

A matriz do solo é formada por materiais sólidos, orgânicos ou minerais, que variam quanto à sua composição química, tamanho e forma (Varenes, 2003).

Os fragmentos ou partículas que compõem o solo possuem formas e dimensões variáveis, desde rochas, pedras e cascalho até materiais tão finos que apresentam propriedades coloidais.

A matéria mineral é constituída principalmente por oxigénio, silício, alumínio e ferro. Na maior parte dos solos, os óxidos de silício, alumínio e ferro constituem 90 % ou mais do peso seco da fracção inorgânica. Dentro destes, o que largamente domina é o dióxido de silício, com uma percentagem de, usualmente, 50 a 75 %. Exceptuando nos solos com uma elevada percentagem de carbonato de cálcio, o cálcio, magnésio, sódio, potássio, titânio, fósforo, manganésio, enxofre, cloro e outros elementos, expressos em óxidos, constituem, em geral, menos de 10 % do peso seco da fracção mineral do solo.

A proporção de azoto nos solos depende estritamente do teor em matéria orgânica, já que esta fracção contém vulgarmente mais de 95 % do azoto, e como regra, cerca de 5 a 60 % do fósforo e 10 a 80 % do enxofre totais. Nos solos minerais, a percentagem de azoto total em relação ao peso seco do solo, situa-se entre 0.05 % e 0.5 % e, na maior parte dos casos, entre 0.05 % e 0.25 % (Costa, 1999).

Os constituintes orgânicos do solo, ao contrário dos constituintes minerais, são difíceis de classificar por estarem em permanente (e usualmente rápida) evolução. No entanto, podem ser considerados quatro grupos principais:

- organismos – existem sobre ou sob o solo, influenciando-o de forma directa. O papel destes será desenvolvido no Capítulo 3, em particular dos microrganismos;

- matéria orgânica fresca – proveniente de organismos recém mortos e, que têm, sensivelmente, a mesma composição dos tecidos de onde provêm;
- produtos transitórios – têm a sua origem na decomposição da matéria orgânica fresca e são constituídos, fundamentalmente por moléculas orgânicas mais ou menos complexas, bem como alguns compostos/iões inorgânicos.
- húmus – grupo complexo de material orgânico, que inclui ácidos húmicos e fúlvicos, e que representa normalmente 60-80% da matéria orgânica total dos solos. Os compostos húmicos são substâncias amorfas, coloidais, hidrofílicas e electronegativas, com reacções ácidas e contêm cerca de 60% do carbono orgânico do solo. Apresentam elevada capacidade de troca iónica devido à presença de grupos carboxilo e hidroxilo e possuem elevado poder tampão (Tan, 1994).

O principal constituinte do solo é, de forma geral, a matéria mineral sólida, à qual, até profundidade variável, está associada matéria orgânica. No entanto, em certas circunstâncias, pode até ser formado principalmente por esta, com muito pouca matéria mineral.

#### **2.1.3.2. Solução do solo**

A solução do solo é também denominada fase ou fracção líquida e contém água, material coloidal e substâncias dissolvidas, como iões, compostos orgânicos solúveis e pequenas quantidades de gases (Varenes, 2003).

A água existente na solução do solo possui múltiplas acções, nomeadamente o desempenho importantíssimo na génese e vida das plantas e outros organismos, participando ainda na maioria das reacções químicas (Costa, 1999; Raven *et al.*, 2003).

A água é uma molécula polar e apresenta uma reactividade que lhe confere propriedades características, nomeadamente a formação de pontes de hidrogénio entre as suas moléculas, de que resulta uma elevada tensão superficial. Também forma estas ligações com outras substâncias, como vários compostos orgânicos. Liga-se aos minerais argilosos e aos iões, por atracção electrostática entre zonas de carga oposta, de que resulta a hidratação destes. A água está sempre parcialmente ionizada e a concentração de protões (expressa pelo seu pH) vai influenciar muitos processos no solo e nas plantas (Varenes, 2003).

Geralmente a água que o solo possui provém da precipitação atmosférica, que aí se infiltra. Esta infiltração é mais ou menos facilitada dependendo do tipo de solo

em causa e da intensidade com que esta ocorre. Em zonas de maior declive, sobretudo se o solo estiver compactado e sem cobertura vegetal, grande parte da água pode ser perdida por escoamento superficial, arrastando partículas de solo, em particular as de menor dimensão, causando erosão hídrica. Para além desta forma de perda existem outras como a drenagem interna para além da zona com raízes (percolação), indo recarregar os aquíferos ou alimentar os cursos de água, e o regresso à atmosfera por evapotranspiração (Varenes, 2003).

A água no solo pode ser encontrada em diferentes condições. Devido a este facto, Briggs (1897) (*in* Costa, 1999), propôs a seguinte classificação:

- a água higroscópica (água de hidratação) - fixada por adsorção nas superfícies dos colóides, não é utilizável pelas plantas e só pode ser translocada no estado de vapor.
- a água capilar - sujeita a fenómenos de capilaridade no solo, constituindo películas contínuas em torno das partículas terrosas e nos microporos, deslocando-se com o preenchimento destes espaços intersticiais. Pode ser utilizável pelas plantas.
- a água gravitacional - que não é retida pelo solo, deslocando-se pelos macroporos, sob a acção da gravidade (a não ser que encontre camadas impermeáveis). A água gravitacional que atravesse uma determinada espessura de solo poderá ser retida de forma parcial ou até total, como água capilar, num nível inferior do perfil, ou se tiver atingido um lençol freático poderá, ulteriormente, ter movimento ascensional como água capilar, devido à redução do teor de humidade do solo acima daquele lençol.

Não existe, contudo, uma separação nítida entre água higroscópica e água capilar, já que não se pode precisar qual a secção mínima dos microporos que permite movimento capilar, havendo mesmo quem não faça essa distinção (Costa, 1999).

É a partir da solução do solo que as plantas vão absorver a maior parte dos nutrientes de que necessitam. A sua composição determina, portanto, a taxa de crescimento de uma cultura vegetal. Os elementos presentes em maiores quantidades na solução do solo são, usualmente, o cálcio, o magnésio, o sódio, o potássio, o azoto, o cloro, o enxofre, o carbono, o hidrogénio e o alumínio. Encontram-se ainda compostos orgânicos solúveis, como aminoácidos e outros ácidos orgânicos, capazes de reagir com os nutrientes minerais (formando, por exemplo, quelatos). Os elementos encontram-se assim na forma de iões livres ou quelatos (Varenes, 2003).

### 2.1.3.3. Atmosfera do solo

A atmosfera do solo (fracção ou fase gasosa) é uma mistura de gases, de composição variável, que normalmente apresenta maior teor de vapor de água e de dióxido de carbono e menor teor de oxigénio que a atmosfera acima do solo. A sua composição é determinada pelas interacções solo-água-microrganismos-planta. Os principais gases da atmosfera do solo são, em solos bem arejados, o azoto molecular, o oxigénio molecular, e o dióxido de carbono (Varenes, 2003).

Esta atmosfera está localizada entre os espaços ocupados pelos poros, que contém a fase líquida do solo. Este espaço é composto por macro e microporos. Os macroporos são os espaços entre as unidades estruturais e, por isso, são os principais canais para o movimento do ar, já os microporos dentro das unidades estruturais são os principais espaços para água de hidratação.

### 2.1.4. Nutrientes do solo

São considerados actualmente, segundo Arnon e Stout (1939) (*in* Costa, 1999; Taiz & Zeiger, 1998; Raven, 2003; Varenes, 2003) nutrientes essenciais para as plantas, aqueles que satisfazem os seguintes critérios:

- ser necessário para que a planta complete o seu ciclo de vida, que finaliza com a produção de sementes viáveis;
- ser parte constituinte de alguma molécula ou composto que é essencial ao metabolismo da planta, não podendo, pelas funções específicas que desempenha, ser substituído por outro elemento.

Outros autores são da opinião que um elemento deveria ser considerado essencial se a planta, na sua ausência, apresenta sintomas de deficiência, mesmo produzindo descendência viável.

De acordo com os critérios de Arnon e Stout (Raven, 2003; Varenes, 2003) são considerados nutrientes essenciais, os seguintes elementos: hidrogénio (H), carbono (C), oxigénio (O), azoto (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), enxofre (S), cloro (Cl), ferro (Fe), boro (B), manganésio (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e molibdénio (Mo). Exceptuando o oxigénio, que é obtido através da respiração da planta e o carbono obtido durante a fotossíntese a partir do dióxido de carbono atmosférico, todos os outros são obtidos do solo através das raízes das plantas. No entanto, se analisarmos a percentagem total de um dado elemento nutritivo do solo, não podemos inferir sobre a disponibilidade desse elemento para a vida das plantas, já que existem três formas principais destes elementos nutritivos:

não assimiláveis (os elementos fazem parte de compostos que não podem ser absorvidos pelas plantas sem considerável alteração ou decomposição destes), permutáveis (elementos adsorvidos na superfície de partículas da fracção mineral sólida ou da fracção orgânica do solo, sendo assimiláveis, em grande proporção, pelas plantas) e dissolvidos (os elementos encontram-se dissolvidos na solução do solo, tornando-se a forma mais facilmente assimilável) (Varenes, 2003).

Estes elementos químicos podem ser divididos em macronutrientes (H, C, O, N, K, Ca, Mg, P, S) e micronutrientes (Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Ni e Mo), consoante a sua concentração relativa nos tecidos das plantas, como se pode verificar na Tabela 1 (Raven, 2003; Varenes, 2003). No entanto, para além deste critério quantitativo, existe o critério fisiológico que se baseia nas funções que os nutrientes exercem no metabolismo celular (Taiz & Zeiger, 1998; Varenes, 2003). Este critério fisiológico foi proposto por Mengel e Kirkby em 1987 (Taiz & Zeiger, 1998) que consideraram que o critério quantitativo era difícil de ser justificado fisiologicamente.

**Tabela 1:** Elementos essenciais (macronutrientes e micronutrientes) para a maioria das plantas vasculares, símbolo químico, formas assimiláveis e concentrações médias.

Elemento	Símbolo Químico	Forma assimilável pelas plantas	Concentração na matéria seca a 105 °C (mg/Kg)
<b>Macronutrientes</b>			
Hidrogénio	H	H <sub>2</sub> O	60x10 <sup>3</sup>
Carbono	C	CO <sub>2</sub>	450x10 <sup>3</sup>
Oxigénio	O	O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub>	450x10 <sup>3</sup>
Azoto	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	15x10 <sup>3</sup>
Potássio	P	K <sup>+</sup>	10x10 <sup>3</sup>
Cálcio	Ca	Ca <sup>2+</sup>	5x10 <sup>3</sup>
Magnésio	Mg	Mg <sup>2+</sup>	2x10 <sup>3</sup>
Fósforo	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>+</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2x10 <sup>3</sup>
Enxofre	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1x10 <sup>3</sup>
<b>Micronutrientes</b>			
Cloro	Cl	Cl <sup>-</sup>	100
Ferro	Fe	Fe <sup>3+</sup> , Fe <sup>2+</sup>	100
Boro	B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	20
Manganésio	Mn	Mn <sup>2+</sup>	50
Zinco	Zn	Zn <sup>2+</sup>	20
Cobre	Cu	Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup>	6
Níquel	Ni	Ni <sup>2+</sup>	0.1
Molibdénio	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.1

### **2.1.5. Elementos benéficos**

Para além dos elementos referidos, outros podem ser necessários para algumas espécies vegetais. Um exemplo é o elemento sódio que é essencial para espécies halófitas e outras espécies com mecanismo de fotossíntese em C<sub>4</sub>. Deste modo, são considerados elementos benéficos aqueles que estimulam o crescimento de algumas plantas, não sendo considerados essenciais, ou que são essenciais apenas para algumas espécies vegetais.

Para além do sódio, incluem-se neste grupo o silício e o cobalto. Os valores das concentrações de sódio e de silício nas plantas que necessitam deles assemelham-se aos dos macronutrientes (Varenes, 2003).

### **2.2. Objectivo**

O trabalho realizado teve como principal intuito uma caracterização preliminar de locais em situação de degradação erosiva quanto a algumas características físico-químicas dos solos. Este estudo é importante para um melhor conhecimento de algumas das suas propriedades em zonas da ilha que padecem deste problema e que, por isso, estão, ou poderão vir, a ser alvo de um processo de reflorestação.

## 2.3. Material e métodos

### 2.3.1. Recolha e tratamento físico das amostras de solo

As amostras de solo foram recolhidas na sua camada arável em vários pontos da ilha, aproximadamente coincidentes com os locais recentemente reflorestados ou a reflorestar. Esta recolha foi realizada apenas numa única etapa entre os dias 19 e 23 de Abril de 2003, tendo a amostragem contemplado 14 locais, descritos na Tabela 2.

A localização dos pontos de recolha das amostras ao longo da ilha pode ser observada na Tabela 2 e no mapa da Figura 5. Os locais de alguns pontos de recolha podem ser observados nas Figuras de 8 a 18.

**Tabela 2:** Locais de recolha e respectiva identificação das amostras de solo da ilha de Porto Santo.

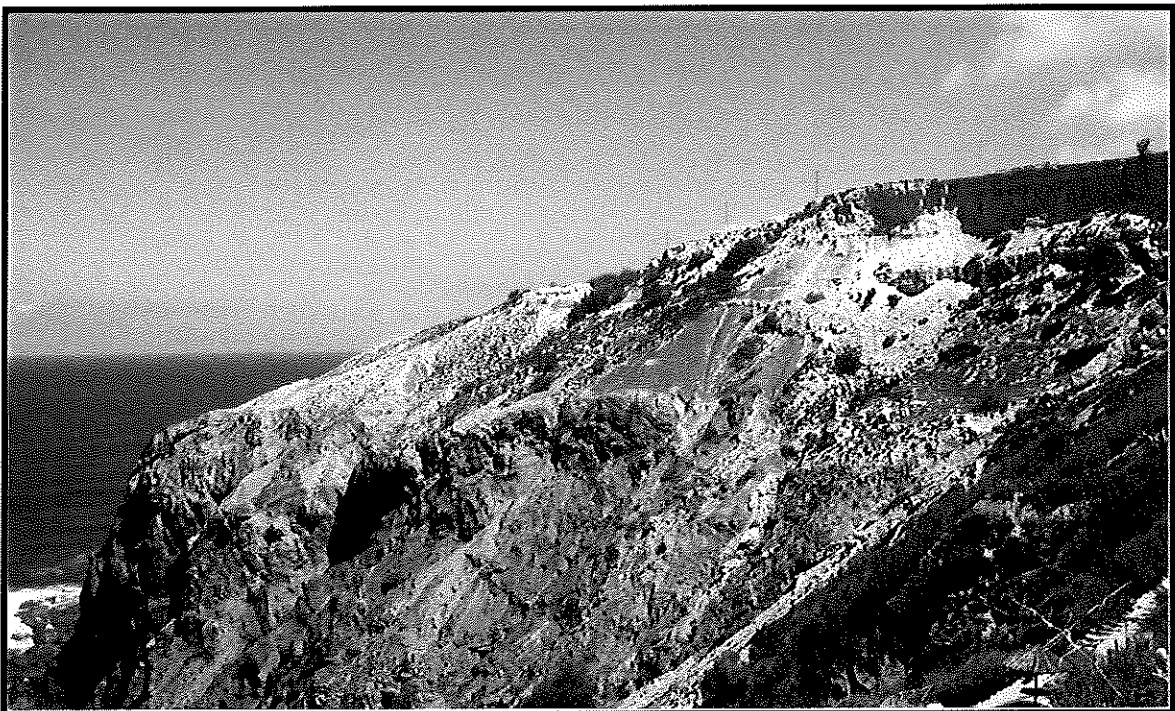
Amostra de solo	Locais de recolha
1	Encosta sudoeste do Pico do Castelo - Zairão.
2	Próximo do Tanque - Dragoal.
3	Fonte da Areia (eolianitos calcoareníticos).
4	Fonte da Areia (tufo vulcânico argilizado).
5	Encosta oriental do Pico da Cabrita e encosta ocidental do Pico Branco - Serra de Dentro.
6	A montante das Lapeiras - Campo de Cima.
7	Encosta ocidental da Rocha da N. Sra. - Capela da N. Sra. da Graça.
8	Vertente Noroeste do Pico de Ana Ferreira.
9	Vertente Noroeste do Pico de Ana Ferreira.
10	Encostas orientais do Pico Juliana e do Pico do Facho - Serra de Dentro.
11	Encosta sul do Pico do Concelho - Zimbral.
12	Encosta norte do Pico do Maçarico - Corgas.
13	Próximo da foz da Ribeira do Calhau - Calhau.
14	Encosta oriental do Cabeço do Dragoal.







**Figura 6:** Local de recolha da amostra n.º 1 - encosta sudoeste do Pico do Castelo – Zairão.



**Figura 7:** Local de recolha da amostra n.º 3 - Fonte da Areia (eolianitos calcoareníticos).



**Figura 8:** Local de recolha da amostra n.º 4 - Fonte da Areia (tufo vulcânico argilizado).



**Figura 9:** Local de recolha da amostra n.º 5 - Encosta nordeste do Pico do Facho.



**Figura 10:** Local de recolha da amostra n.º 6 - Entre as Lapeiras e as Marinhas.



**Figura 11:** Local de recolha da amostra n.º 7 - Encosta ocidental da Rocha na N. Sr.ª - Capela Nossa Sr.ª da Graça.

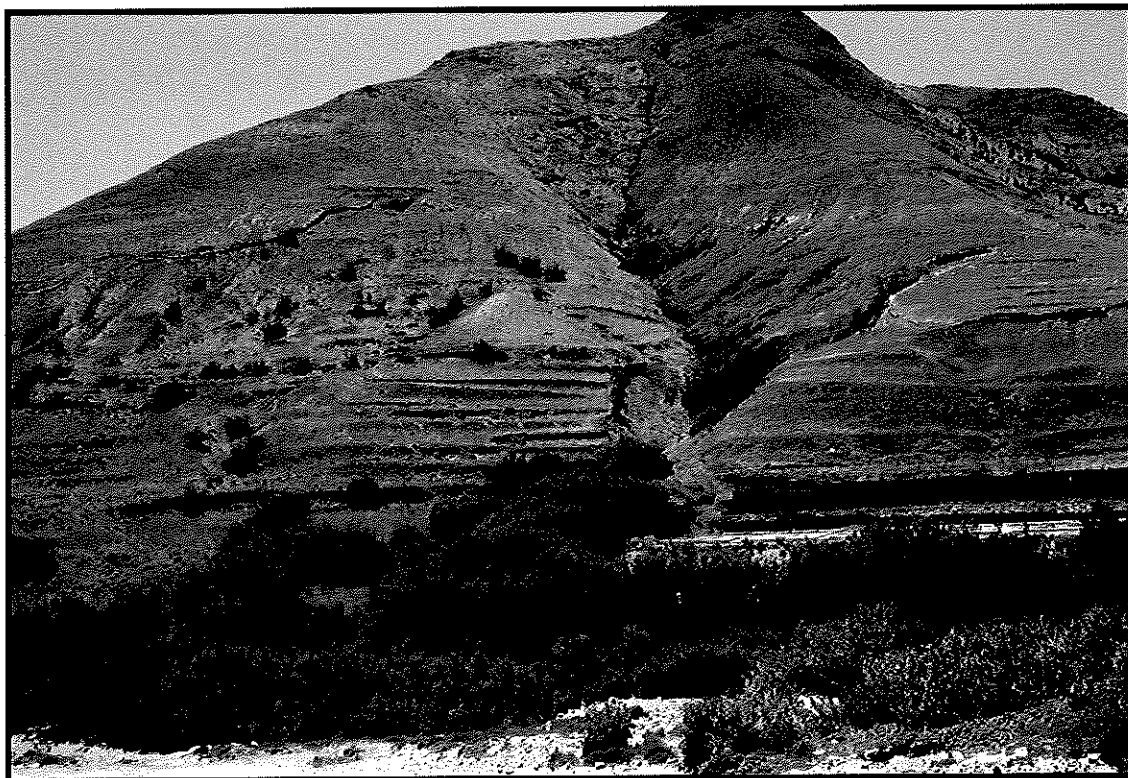




**Figura 12:** Local de recolha das amostras n.ºs 8 e 9 – Vertente noroeste do Pico de Ana Ferreira.



**Figura 13:** Local de recolha da amostra n.º 11 - Encosta Sul do pico do Concelho – Zimbral.



**Figura 14:** Local de recolha da amostra n.º 12 - Encosta norte do Pico do Maçarico - Corgas.



**Figura 15:** Local de recolha da amostra n.º 13 - Próximo da foz da Ribeira do Calhau - Calhau.



**Figura 16:** Local de recolha da amostra n.º 14 - Barragem da Volta do Serrado (Encosta oriental do Cabeço do Dragoal).

#### **2.3.1.1. Secagem prévia**

As amostras de solo foram secas ao ar, tendo-se colocado, para o efeito, cada uma sobre papel de filtro em cima de uma mesa de laboratório, durante duas semanas a uma humidade relativa de aproximadamente 60 %, durante 24 horas. Após este tempo decorrido, foram colocadas numa estufa, à temperatura de 30 - 40 °C, (Tan, 1996). A secagem é realizada com a finalidade de normalizar as amostras, permitindo a comparação dos resultados (particularmente do teor em água de hidratação) obtidos para os solos secos a uma mesma temperatura.

#### **2.3.1.2. Peneiramento**

Uma vez secas, as amostras de solos foram peneiradas, para garantir que as análises posteriores fossem realizadas com amostras de granulometria uniforme. Assim, foram passadas por um crivo de malha de 2 mm, para isolar a fracção com tamanho inferior a este valor, que é considerada, por segundo Tan (1996), a mais representativa do solo. Esta fracção, que constitui a denominada terra fina, de cada amostra, foi guardada num saco de plástico devidamente etiquetado. A massa da

fracção de diâmetro médio superior a 2 mm e a sua respectiva percentagem foram posteriormente determinadas.

### **2.3.1.3. Quarteamento**

As fracções de terra fina destinadas a cada análise foram sujeitas a quarteamento, de modo a otimizar a sua representatividade:

#### **Quarteamento**

---

---

1. Colocou-se cada amostra de solo (terra fina) sobre um papel de filtro criando um montículo.
  2. Dividiu-se o montículo de solo em quartos e escolheram-se as partes opostas da divisão.
  3. Submeteram-se as duas partes resultantes ao processo anterior e assim sucessivamente até se obter a fracção de amostra com o tamanho pretendido.
  4. Guardaram-se as amostras em frascos de plástico rolhados.
- 
- 

### **2.3.2. Métodos usados para a determinação das propriedades físicas das amostras de solo**

#### **2.3.2.1. Determinação da água de hidratação**

A água de hidratação no solo é removida praticamente na sua totalidade por aquecimento a 105 - 110 °C. Esta determinação foi efectuada de acordo com o procedimento seguinte:

#### **Determinação da Água de Hidratação**

---

---

1. Secaram-se cadinhos numa estufa a 105 - 110 °C durante duas horas e deixaram-se arrefecer num excicador.
2. Colocou-se uma massa de cerca de 5.0 g ( $m_1$ ), de cada amostra em cada cadinho, previamente pesado em balança analítica ( $m_2$ ).
3. Colocaram-se os cadinhos na estufa a uma temperatura de 105 - 110 °C durante 24 horas.
4. Passado este tempo, deixaram-se arrefecer os cadinhos num excicador.
5. Determinou-se, com rigor, a massa dos conjuntos amostra e cadinho.
6. Repetiram-se os passos 3 a 5 até se verificar massa constante para cada conjunto amostra e cadinho ( $m_3$ ).
7. Calculou-se o teor de água de hidratação, para cada amostra, através da seguinte fórmula:

$$\% \text{ água de hidratação} = \frac{m_1 - m_3 + m_2}{m_1} \times 100$$

8. O procedimento descrito foi repetido duas vezes para cada amostra de solo.

---

---

### **2.3.2.2. Determinação da capacidade de campo**

A determinação da capacidade de campo foi efectuada de acordo com o procedimento a seguir descrito.

#### **Determinação da Capacidade de Campo**

---

---

1. Colocaram-se massas de cerca de 5.0 g ( $m_1$ ), de cada amostra em vidros de relógio, previamente pesados em balança analítica ( $m_2$ ).
2. Deixou-se cair água, gota a gota, sobre as amostras de solo, até completa hidratação.
3. Aguardaram-se quinze minutos, após o que se deixou escorrer a água excedente, absorvendo os pequenos excessos com um papel absorvente.
4. Determinaram-se as massas dos conjuntos amostra e vidro de relógio ( $m_3$ ).
5. Calcularam-se as capacidades de campo, para cada amostra, através da seguinte fórmula:

$$\% \text{ Capacidade de Campo} = \frac{m_3 - (m_1 + m_2)}{m_1} \times 100$$

6. O procedimento descrito foi repetido mais duas vezes para cada amostra de solo.

---

---

### **2.3.2.3. Determinação da densidade aparente, da densidade real e da porosidade**

A densidade aparente de um solo é um parâmetro importante na caracterização de um solo e essencial, em conjunto com a densidade real, para a determinação da sua porosidade.

#### **2.3.2.3.1. Densidade aparente**

A determinação experimental da densidade aparente das amostras de solo foi efectuada com base no procedimento descrito por Tan (1996):

#### **Determinação da densidade aparente**

---

---

1. Determinou-se a massa de uma proveta de 50 cm<sup>3</sup> vazia e seca ( $m_1$ ).
2. Colocou-se nessa proveta uma amostra de cerca de 10 g de solo, que se deixou cair livremente.



3. Determinou-se o volume de solo por leitura directa ( $v_1$ ).
4. Determinou-se a massa do conjunto proveta mais solo ( $m_2$ ).
5. Calculou-se a densidade aparente de cada amostra do solo ( $d_{ap}$ ) de acordo com a fórmula:

$$d_{ap} = \frac{(m_2 - m_1)}{v_1}$$

6. O procedimento descrito foi repetido duas vezes.
- 

### 2.3.2.3.2. Densidade real

Na determinação deste parâmetro é frequentemente adoptado o método do picnómetro, que origina densidades relativas à densidade da água (que se pode considerar  $1.00 \text{ g/cm}^3$ , à temperatura a que foram feitas as determinações).

#### Determinação da densidade real

---

1. Determinou-se a massa do picnómetro com água destilada até ao traço de referência ( $m_3$ ).
2. Determinou-se a massa de uma amostra de solo de cerca de 5 g ( $m_1$ ).
3. Transferiu-se, de forma completa, a amostra para o picnómetro vazio.
4. Completou-se cerca de 3/4 do volume do picnómetro com água destilada.
5. Deixou-se o conjunto em repouso durante cerca de 6 horas.
6. Adicionou-se água destilada até ao traço de referência.
7. Determinou-se a massa do picnómetro com a água e a amostra ( $m_2$ ).
8. Determinou-se a densidade real do solo ( $d_r$ ) a partir da seguinte expressão:

$$d_r = \frac{m_1}{m_3 + m_1 - m_2}$$

9. O procedimento descrito foi repetido duas vezes para cada amostra de solo.
- 

### 2.3.2.3.3. Porosidade percentual

A porosidade percentual pôde ser determinada a partir das densidades real e aparente, pela seguinte fórmula:

$$\% \text{ porosidade} = \frac{d_r - d_{ap}}{d_r} \times 100$$

### 2.3.2.4. Determinação da textura

Para analisar a porção de terra fina é necessário submetê-la a um tratamento preliminar de forma a destruir os agregados e garantir que, durante a análise, as partículas coloidais se mantenham no estado disperso. O processo de análise foi realizado de acordo com o método a seguir descrito,

#### Granulometria por Análise Mecânica

1. Cada amostra de solo, com uma massa aproximadamente igual a 50 g, conhecida com rigor, foi passada por dois crivos padrão (2.00 mm e 0.074 mm).
2. Determinou-se rigorosamente a massa retida pelo crivo de 2.00 mm, que se denominou fracção grosseira.
3. Determinou-se com rigor a massa retida no crivo de 0.074 mm e a que passou através deste. O conjunto destas duas massas constitui a fracção fina.
4. Calculou-se a percentagem de areia, como o quociente entre a massa retida pelo crivo de 0.074 mm e a massa da fracção fina.
5. Calculou-se, de igual forma, a percentagem de limo-argila, como o quociente entre a massa que passou pelo crivo de 0.074 mm e a massa correspondente à fracção fina.

### 2.3.2.5. Determinação da permeabilidade

Na impossibilidade prática de realizar ensaios de campo, usou-se um método de laboratório, adaptado de Hénin (Duchaufour, 1970). Este método proporciona resultados cuja análise deverá ter em conta a classificação apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3:** Classificação dos solos de acordo com a sua permeabilidade de (adaptado de Duchaufour, 1970).

Permeabilidade (m/s)	Classificação
$K < 1 \times 10^{-6}$	impermeável
$1 \times 10^{-6} < K < 5 \times 10^{-6}$	pouco permeável
$5 \times 10^{-6} < K < 5 \times 10^{-5}$	permeável
$K > 5 \times 10^{-5}$	muito permeável

### Determinação da permeabilidade

1. Numa pipeta Pasteur, colocou-se um pequeno tampão de algodão e, de seguida, uma quantidade de solo que perfaz uma altura de 2.0 cm.
2. Deitou-se água pela pipeta, de modo a molhar o solo.
3. Manteve-se a pipeta com solo imersa em água por 30 minutos, por forma a garantir a hidratação completa da amostra.
4. Fixou-se a pipeta com a amostra na montagem do esquema apresentado na Figura 17 e deixou-se escorrer água durante 2 minutos, após o que se começou a medição do volume de água escorrido em 5 minutos.
5. Calculou-se a permeabilidade da amostra segundo:

$$K = \frac{C \times V}{H \times S}$$

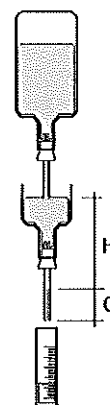
K = permeabilidade do solo, em metros por segundo

C = altura da coluna da amostra de solo, em metros

V = caudal de água, em metros cúbicos por segundo

H = altura da coluna água, em metros

S = secção do tubo, em metros quadrados



**Figura 17:** Montagem experimental usada para a determinação da permeabilidade dos solos.

6. Repetiu-se o procedimento por duas vezes.

### 2.3.3. Métodos para a determinação das propriedades químicas das amostras de solo

#### 2.3.3.1. Determinação do pH

O pH das diferentes amostras foi determinado pelo método a seguir descrito:

#### Determinação do pH

1. O pHmetro WTW ligado a um eléctrodo de vidro foi previamente calibrado com soluções tampão de pH = 4.00 e pH = 7.00.
2. Misturaram-se 5 g de cada amostra de solo com 5 cm<sup>3</sup> de água destilada.
3. Agitaram-se as misturas durante 5 minutos.
4. Deixaram-se as soluções a equilibrar durante 10 - 15 minutos.

5. Mediram-se os valores de pH das soluções, à temperatura de referência (25 °C).

Para se proceder à categorização das amostras, em termos de pH, foi adoptada no presente trabalho a escala de Prato Longo, Tabela 4, pois, segundo Costa (1999) é aquela que é usada geralmente em Portugal.

**Tabela 4:** Escala de Prato Longo usada na classificação dos solos.

pH do solo	Designação
4.5 ou menor	Hiperácido
4.6 a 5.5	Ácido
5.6 a 6.5	Subácido
6.6 a 7.5	Neutro
7.6 a 8.5	Subalcalino
8.6 a 9.5	Alcalino
9.6 ou maior	Hiperalkalino

### 2.3.3.2. Determinação do teor em cloretos

O teor em cloretos das diferentes amostras foi determinado pelo método de Mohr, a seguir descrito:

#### Determinação do teor em cloretos

1. Pesaram-se cerca de 0.5 g de cada amostra de solo para matrizes de 150 cm<sup>3</sup> (m<sub>1</sub>).
2. A cada um dos matrizes adicionou-se um volume 50 cm<sup>3</sup> de água desionizada, bem como um volume de 5 cm<sup>3</sup> de uma solução a 8 % de cromato de potássio, que funciona como indicador do ponto final da titulação.
3. Titulou-se cada amostra assim preparada com uma solução padrão de AgNO<sub>3</sub> 0.1000 mol.dm<sup>-3</sup>, até ao aparecimento da primeira cor avermelhada (precipitado) persistente à agitação. Tomou-se nota do volume gasto na titulação, em dm<sup>3</sup> (v<sub>1</sub>).
4. Realizou-se um total de três ensaios concordantes para cada amostra.
5. Calculou-se o teor em cloretos do solo segundo a expressão:

$$\% \text{ cloretos} = \frac{354.5 \times V_1}{m_1}$$

6. O resultado foi apresentado sob a forma de percentagem de cloreto de sódio no solo, usando a expressão:

$$\% \text{ NaCl} = 1.649 \times \% \text{ cloretos}$$

### 2.3.3.3. Determinação do teor da matéria orgânica

A determinação do teor em matéria orgânica foi realizada por dois métodos: perda por calcinação e doseamento do carbono total, por volumetria.

#### Determinação da perda por calcinação

1. Colocaram-se os cadinhos ( $m_2$ ), contendo amostras de solo seco a 30 - 40 °C e massa conhecida ( $m_1$ ) - aproximadamente 5 g - numa mufla à temperatura de 450 °C durante 16 horas.
2. Após este tempo de calcinação deixaram-se arrefecer os cadinhos num excicador e determinaram-se por fim as suas massas ( $m_3$ ).
3. Calcularam-se as perdas por calcinação de acordo com a seguinte fórmula:

$$\% \text{ perda por calcinação} = \frac{m_1 + m_2 - m_3}{m_1} \times 100$$

Como o método utilizado (perda por calcinação) na determinação da matéria orgânica é pouco rigoroso, o método mais utilizado para a determinar consiste no doseamento químico do carbono orgânico total, que foi realizado de acordo com o seguinte protocolo.

#### Determinação do teor em carbono total por volumetria (Método de Anne, adaptado de Duchaufour, 1970)

1. Pesaram-se com rigor, massas das amostras de solo com cerca de 1 g ( $m$ ).
2. Colocaram-se as amostras de solos em balões de 100 cm<sup>3</sup> com 10.00 cm<sup>3</sup> de solução aquosa de dicromato de potássio a 8 % e 10 cm<sup>3</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado.
3. Levou-se o conteúdo de cada balão à ebulição com refluxo, lentamente, usando uma manta de aquecimento. A ebulição foi mantida por dez minutos contados a partir da primeira gota condensada.
4. Deixou-se a arrefecer e, usando água desionizada, transferiram-se de forma completa, as soluções para balões volumétricos de 100.0 cm<sup>3</sup>. Ajustou-se o volume com água desionizada.
5. Transferiram-se para matrizes de 150 cm<sup>3</sup> amostras de 20.00 cm<sup>3</sup> das soluções preparadas. Como indicador, foram usadas 3 a 4 gotas de sulfato de difenilamónio.
6. Efectuaram-se as titulações usando uma solução recém-preparada de sal de Mohr (sulfato ferroso amoniacal) a 0.1934 M. No ponto de viragem da titulação, a solução inicialmente castanho-violeta vira para o verde. Tomou-se nota do volume gasto, em cm<sup>3</sup> ( $V_1$ ).
7. Entre cada cinco amostras de solo analisadas, realizou-se um ensaio (branco) usando areia isenta de matéria orgânica. Tomou-se nota do volume gasto, em ml ( $V_2$ ).

8. Efectuaram-se os cálculos do teor em carbono através da fórmula:

$$\% \text{ Carbono} = \frac{1.50}{m} \times |SFA| \times (V_1 - V_2)$$

9. Os cálculos dos teores em matéria orgânica foram feitos usando a expressão:

$$\% \text{ M.O.} = \% \text{ Carbono} \times 1.724$$

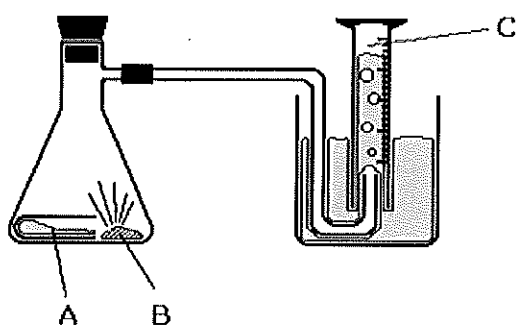
10. Determinaram-se três valores concordantes para cada amostra de solo.

#### 2.3.3.4. Determinação do calcário total

A determinação do calcário total nas amostras de solo foi realizada de acordo com o método a seguir descrito.

##### Determinação do calcário total (adaptado de Duchaufour, 1970)

1. Montou-se um dispositivo experimental como o da seguinte figura, que consiste num balão de kitasato ligado a um tubo de vidro em U, que desemboca numa tina hidropneumática em que o recipiente de recolha do gás é uma proveta.



**Figura 18:** Montagem experimental para a determinação da percentagem de carbonato de cálcio nos solos. Legenda: A - tubo de ensaio com solução de HCl, B - amostra de solo; C - proveta.

2. Colocou-se no fundo do kitasato um tubo de ensaio contendo, aproximadamente, 5 cm<sup>3</sup> de solução concentrada de HCl, com o auxílio de uma pinça, de forma a que o conteúdo do tubo de ensaio não seja derramado.

3. Colocou-se no kitasato uma massa de cerca de 0.1 g de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), seco e puro, rigorosamente pesada (m<sub>1</sub>).

4. Fechou-se o kitasato com uma rolha de borracha, de modo a evitar perdas de dióxido de carbono. Agitou-se o conteúdo de forma a que o ácido entre em contacto com o carbonato de cálcio.
5. Mediu-se, na proveta, o volume de CO<sub>2</sub> libertado (V<sub>1</sub>), tendo o cuidado de nivelar a água contida na proveta com a água contida no gobelé.
6. Seguiu-se o mesmo procedimento descrito a partir do ponto 2, substituindo o CaCO<sub>3</sub> pelas amostras de solo a analisar, usando uma massa (m<sub>2</sub>) destas que origine um volume (V<sub>2</sub>) de CO<sub>2</sub> aproximadamente igual ao libertado pelo CaCO<sub>3</sub>.
7. Calculou-se o teor de calcário total nas amostras de acordo com a seguinte fórmula:

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{m_1 \times V_2}{m_2 \times V_1} \times 100$$

8. Repetiram-se os ensaios até se obterem três concordantes.

### 2.3.3.5. Determinação do conteúdo elemental

Nas amostras de solos foi quantificado o teor em potássio, fósforo, cálcio, sódio, magnésio, manganésio, ferro, boro, cobre, molibdénio e zinco por "Inductively Coupled Plasma Spectroscopy" (ICPS), (espectrofotómetro Jobin Ivon, modelo JY70 Plus, com nebulizador Meinhard C001), utilizando, para o efeito, curvas padrão entre 0 e 100 ppm para o sódio, potássio, cálcio e magnésio e entre 0 e 20 ppm para os restantes elementos. A análise decorreu a 1000 W, com um fluxo de Argon de 12 dm<sup>3</sup>/min e um caudal de amostra de 1 cm<sup>3</sup>/min.

O limite de detecção (LD), expresso em mg.dm<sup>-3</sup> nestas condições para os elementos acima referidos são: P (λ=213.6 nm, LD=0.05), K (λ=766.5 nm, LD=0.2), Ca (λ=396.2 nm, LD=0.02), Mg (λ=279.5 nm, LD=0.01), Fe (λ=238.2 nm, LD=0.01), Mn (λ=257.6 nm, LD=0.01), Cu (λ=324.7nm, LD=0.01), Zn (λ=213.8 nm, LD=0.01), B (λ=249.7 nm, LD=0.01), Mo (λ=202.0 nm, LD=0.01) e Na (λ=588.9 nm, LD=0.02).

Foi seguido o protocolo descrito por Evars & Bucking (1976) para a preparação das amostras para a análise destes elementos.

#### Conteúdo elemental

1. Colocaram-se as massas das amostras de solos secas a 30 - 40 °C em cadinhos de porcelana e incineraram-se na mufla a 530 °C durante 24 horas, para obtenção de cinzas.
2. Após o tempo de incineração decorrido e as amostras arrefecidas em excicador, colocaram-se os cadinhos com as cinzas sobre placas de aquecimento.
3. Adicionaram-se algumas gotas de água desionizada e 1.5 cm<sup>3</sup> de HCl 1:1 (v/v).
4. Aqueceram-se as suspensões até à ebulição e voltou-se a repetir o passo anterior.

5. Adicionaram-se, de seguida, 5 cm<sup>3</sup> de HCl a 5 % (m/v) e manteve-se o aquecimento durante mais 5 minutos.
  6. Filtraram-se as soluções por papel de filtro Whatman nº 1 para kitsatos de 100 cm<sup>3</sup> com o auxílio de uma bomba de vácuo, lavando-se cada cadinho e respectivo filtro com 22.5 cm<sup>3</sup> de HCl a 10 %, juntando-se as águas de lavagem aos filtrados.
  7. Transferiram-se os filtrados para balões volumétricos de 50.00 cm<sup>3</sup> e perpez-se o volume com água desionizada.
  8. As soluções resultantes deste procedimento foram analisadas por ICPS.
- 
-



## 2.4. Resultados e discussão

As propriedades do solo podem ser definidas como os atributos dos principais constituintes do solo e são susceptíveis de serem medidas em laboratório (Gerard, 2000). Assim, ao ser realizado um estudo a um determinado tipo de solo é importante a análise de algumas das suas principais características físicas (textura, porosidade e permeabilidade) e propriedades químicas (pH e conteúdo elemental).

Tendo em vista que uma das grandes dificuldades na análise e caracterização dos solos é a sua complexidade, na medida em que correspondem a matrizes dinâmicas nas quais ocorrem constantemente processos químicos e bioquímicos, um estudo como o que foi feito reflecte apenas uma "imagem fotográfica" da realidade dos solos de Porto Santo. Assim sendo, as ilações que se possam retirar destas análises não deverão ser extrapoladas para outros momentos sem a devida salvaguarda. É de notar que a amostragem foi realizada de forma a fazer uma caracterização muito geral da ilha, no que diz respeito à camada mais superficial do solo.

A textura de um solo influencia todos os fenómenos de superfície, como, entre outras, a capacidade de retenção da água e de nutrientes, a tendência para formar agregados e a quantidade de microrganismos presentes, visto estes estarem dependentes da existência de filmes líquidos recobrando as partículas do solo, bem como a capacidade de acomodar os sistemas radiculares das plantas. Quanto menores forem as partículas constituintes de um solo, maior será a superfície apresentada, e portanto mais acessíveis estarão os nutrientes e maior será o teor em água de hidratação de um solo, contudo menor será a sua porosidade e permeabilidade, dificultando o arejamento do solo e a passagem de água para zonas mais profundas (Varenes, 2003).

A textura pode variar ao longo do tempo devido a processos de pedogénese, contudo essa alteração não é, usualmente, rápida quando acontece de forma natural.

A erosão do solo implica maioritariamente a perda de partículas de menor dimensão, mais facilmente arrastadas pela água ou vento, deixando para trás as partículas mais grosseiras (Varenes, 2003), alterando, com isso, de forma significativa, a textura do solo que, perdendo a camada arável, fica menos fértil, pois pode perder grande parte dos micronutrientes presentes, por arrastamento e lixiviação.

Os valores percentuais das fracções grosseira e fina, obtidos para as diferentes amostras de solo e a respectiva classificação da textura estão representados na Tabela 5.

**Tabela 5:** Valores percentuais das fracções grosseira e fina e respectiva classificação da textura de acordo com o diagrama proposto por M. Pereira Gomes e A. Antunes da Silva (1962) (in Costa, 1999).

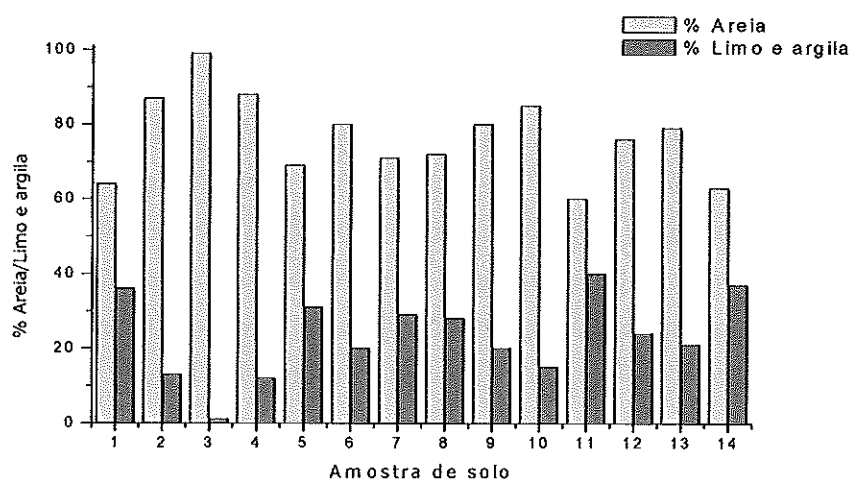
Amostra de solo	Fracção grosseira <sup>1</sup>	Fracção fina <sup>2</sup>		Classificação das texturas
	% saibro (> 2 mm)	% areia (< 2,00 e > 0,074 mm)	% limo e argila (<0.074 mm)	
1	27	64	36	Franca <sup>3</sup>
2	2	87	13	Areno-franca
3	0	99	1	Arenosa
4	2	88	12	Areno-franca
5	22	69	31	Franco-arenosa <sup>3</sup>
6	7	80	20	Franco-arenosa
7	17	71	29	Franco-arenosa <sup>3</sup>
8	13	72	28	Franco-arenosa <sup>3</sup>
9	8	80	20	Franco-arenosa
10	9	85	15	Areno-franca
11	27	60	40	Franca <sup>3</sup>
12	17	76	24	Franco-arenosa <sup>3</sup>
13	6	79	21	Franco-arenosa
14	23	63	37	Franca <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Percentagens calculadas com base na massa total de solo.

<sup>2</sup> Percentagens calculadas com base na massa de solo à qual foi retirada a fracção grosseira.

<sup>3</sup> Classificação obtida por estimativa.

Verifica-se, através da análise dos resultados, que em todas as amostras de solos domina a fracção fina e, dentro desta, é a percentagem de areia que predomina relativamente à percentagem de limo e argila (Figura 19). Os solos analisados são, na sua maioria, classificados como franco-arenosos.

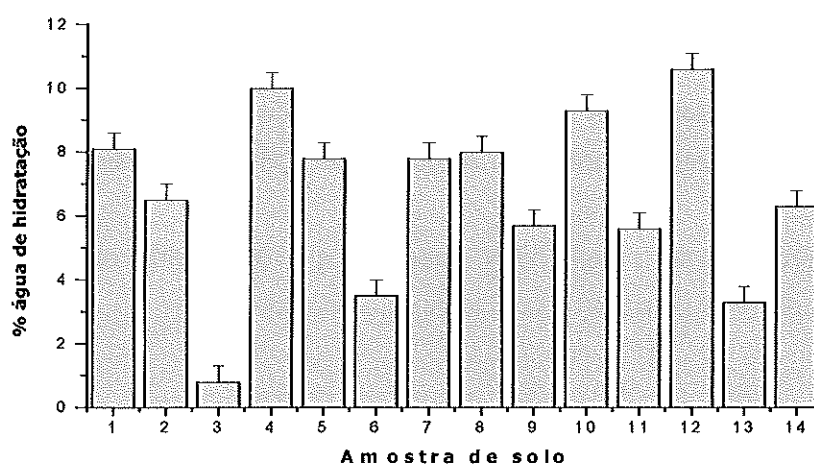


**Figura 19:** Percentagens de areia e de limo e argila de cada amostra de solo analisada.

É de referir que solos arenosos podem estar sujeitos a intensa lixiviação originando uma deficiência em micronutrientes.

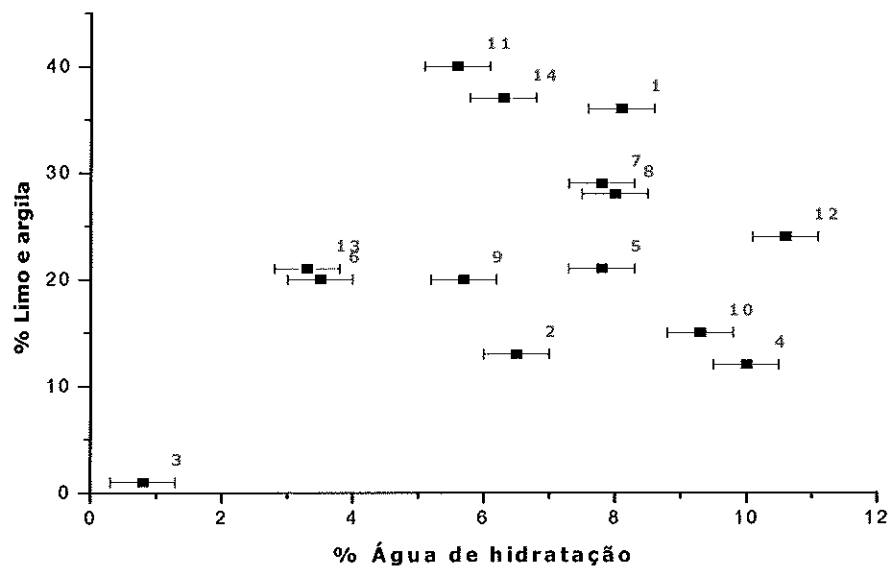
As amostras de solo secas ao ar possuem um teor de humidade correspondente ao equilíbrio com o vapor de água existente na atmosfera circundante. A água retida nestas condições denomina-se a água de hidratação e depende da textura, composição do solo, humidade e temperatura do meio em que se encontram. No entanto, a variação diária do teor de humidade das amostras, devido a esta influência, é muito pequena, podendo mesmo ser desprezada (Tan, 1996; Silva *et al.*, 1975). A sua determinação permite, portanto, uma quantificação da água retida nos solos por adsorção. Note-se que a uma dada temperatura e grau de humidade atmosférica padronizados, este parâmetro é, em princípio, uma constante para cada solo (Costa, 1999).

Os valores deste parâmetro, obtidos para os diferentes solos, encontram-se representados graficamente, na Figura 20, e situam-se entre os 0.8 % (para o solo 3) e os 10.6 % (para o solo 12).



**Figura 20:** Teores de água de hidratação (e respectivos desvio médios) encontrados nas várias amostras de solo analisadas (n=3). Os valores obtidos diferem significativamente para um  $P < 0.05$  (one-way ANOVA).

Para o solo 3 o teor de água de hidratação particularmente baixo é explicado por se tratar de um solo arenoso (99 % areia e 1 % de limo e argila). Contudo, para as amostras de solo com texturas proporcionalmente mais equilibradas, não se verifica uma relação esperada entre a percentagem argila presente e o teor em água de hidratação. De facto, a correlação dos valores para estes parâmetros não se reconhece (Figura 21,  $r = 0.267$ ).



**Figura 21:** Representação gráfica da percentagem de limo e argila em função do teor de água de hidratação.

Esta ausência de correlação pode dever-se ao facto de no presente estudo não ter sido possível dissociar a quantidade de argila da quantidade de limo em cada solo, já que o limo tem menor poder de retenção de água, por apresentar menor superfície de adsorção.

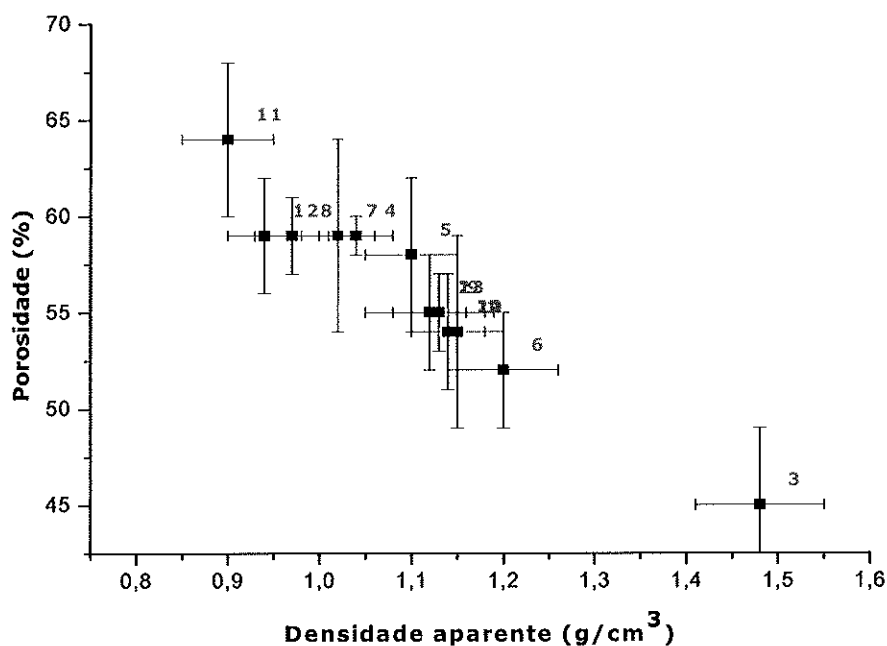
Determinou-se a densidade aparente e a densidade real, tendo-se calculado porosidade percentual a partir dos seus valores (Tabela 6).

**Tabela 6:** Valores das densidades aparentes, densidades reais e porosidades obtidos e respectivos desvios médios das amostras de solo analisadas (n=3). Os valores obtidos diferem significativamente para um  $P < 0.05$  (one-way ANOVA).

Amostra de solo	Densidade aparente	Densidade real	Porosidade (%)
1	1.15 (0.05)	2.50 (0.05)	54 (5)
2	1.12 (0.07)	2.48 (0.01)	55 (3)
3	1.48 (0.07)	2.67 (0.03)	45 (4)
4	1.04 (0.04)	2.52 (0.02)	59 (1)
5	1.10 (0.05)	2.60 (0.04)	58 (4)
6	1.20 (0.06)	2.52 (0.01)	52 (3)
7	1.02 (0.04)	2.51 (0.04)	59 (5)
8	0.97 (0.04)	2.35 (0.01)	59 (2)
9	1.13 (0.05)	2.49 (0.01)	55 (2)
10	1.14 (0.04)	2.47 (0.02)	54 (3)
11	0.90 (0.05)	2.52 (0.02)	64 (4)
12	0.94 (0.04)	2.31 (0.02)	59 (3)
13	1.12 (0.04)	2.49 (0.02)	55 (3)
14	1.14 (0.04)	2.50 (0.02)	54 (3)

Foram determinadas as densidades reais das amostras de solos recolhidas. Verificou-se que estas são mais ou menos constantes, variando entre  $2.31 \text{ g/cm}^3$  e  $2.67 \text{ g/cm}^3$ , o que reflecte a fraca presença de matéria orgânica, na medida em que se aproximam dos valores esperados para as rochas-mães:  $2.4$  a  $2.6 \text{ g/cm}^3$  (Duchaufour 1970). A determinação das densidades aparentes vem confirmar o baixo teor das amostras em matéria orgânica, na medida em que estas variam entre  $0.90 \text{ g/cm}^3$  (amostra 11) e  $1.48 \text{ g/cm}^3$  (amostra 3), valores bastante elevados relativamente aos esperados para solos orgânicos:  $0.1$  a  $0.7 \text{ g/cm}^3$  (Varenes 2003).

O conhecimento das densidades reais e das densidades aparentes permitiu, como já se referiu, o cálculo da porosidade percentual. Esta está, usualmente, correlacionada com a densidade aparente. Essa correlação linear (com  $r = 0.946$ ) é bem visível no caso do presente estudo (Figura 22).

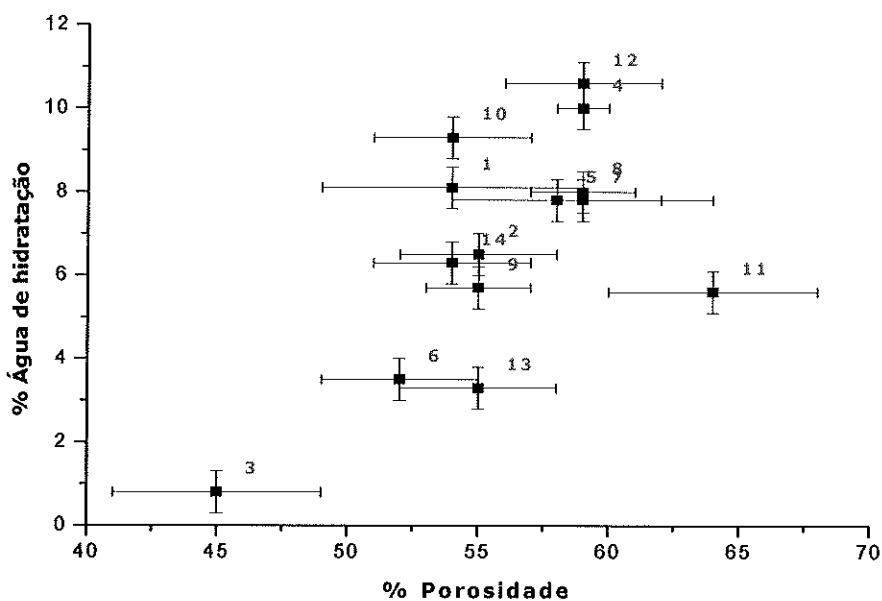


**Figura 22:** Representação gráfica da percentagem de porosidade em função da densidade aparente.

A porosidade do solo, ou seja, a proporção de poros em relação ao volume total, está relacionada com a densidade aparente e com a densidade real de um solo. A percentagem de poros pode representar apenas 25 % do volume total, em solos compactados, ou chegar a 60 % em solos com boa agregação. A porosidade regula a rapidez de transporte de água e de ar no solo. Os solos de textura grosseira possuem

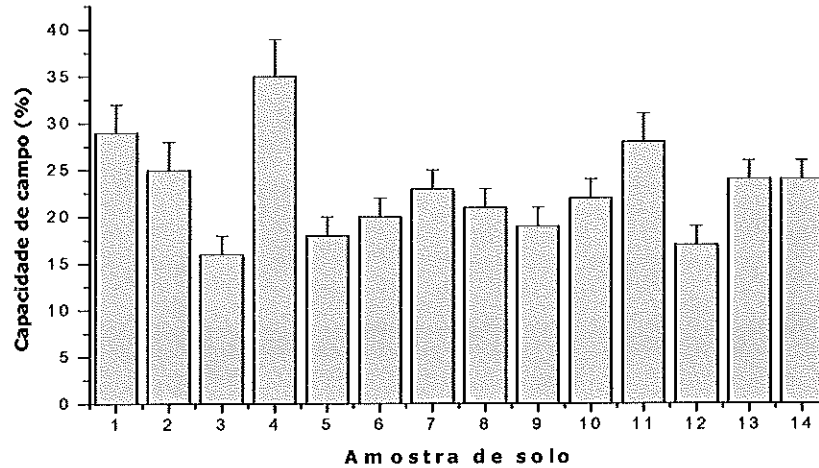
um número insuficiente de microporos, sendo pouco produtivos quando não regados, na medida em que têm baixa capacidade de retenção de água (Gerard, 2000).

Verificou-se uma tendência de correlação entre o teor de água de hidratação e a percentagem de porosidade, como é observável na Figura 23 (com  $r = 0.614$ ), o que traduz a esperada relação entre o volume de espaços vazios, e portanto superfície de adsorção, e a água adsorvida.



**Figura 23:** Representação gráfica da percentagem de água de hidratação em função da percentagem de porosidade.

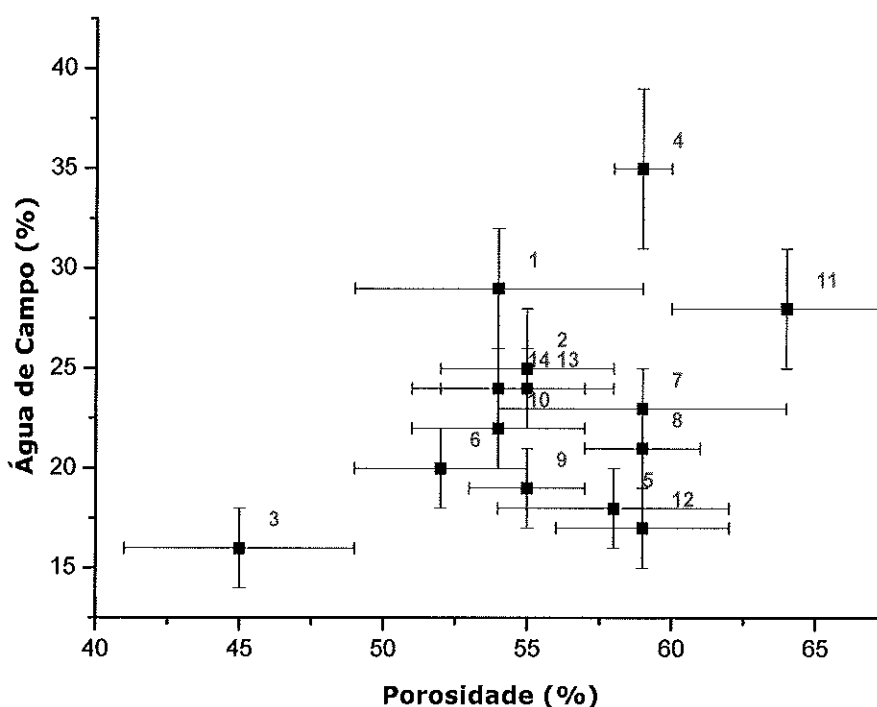
Por capacidade de campo entende-se o máximo teor em água que um solo pode conter. Os valores obtidos na determinação da capacidade de campo estão representados na Figura 24.



**Figura 24:** Percentagens de água de campo e respectivos desvios médios determinados nas várias amostras de solo analisadas (n=3). Os valores obtidos diferem significativamente para um  $P < 0.05$  (one-way ANOVA).

No que diz respeito à capacidade de campo, que constitui, como já foi visto, uma medida da quantidade máxima de água que uma determinada amostra de solo pode conter, os valores variam, para as amostras de solo estudadas, entre 16 % (amostra 3) e 35 % (amostra 4). Estes valores aproximam-se dos esperados, segundo Duhaufour (1970), que indica capacidades de campo de cerca de 13 % para solos arenosos a mais de 30% para solos limosos ou argilosos.

Foi testada uma possível correlação entre a percentagem de água de campo e a porosidade percentual, Figura 25, mas, mais uma vez verifica-se apenas uma tendência e não uma verdadeira correlação ( $r = 0.352$ ).

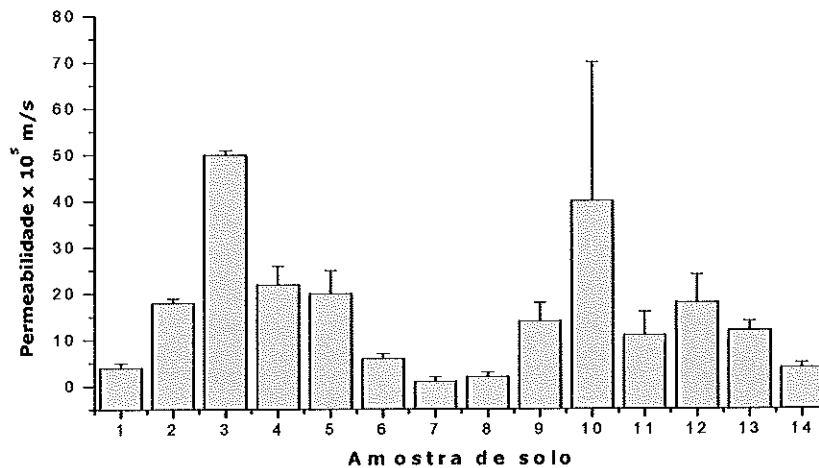


**Figura 25:** Representação gráfica da porcentagem de água de campo em função da porcentagem de porosidade.

A permeabilidade é uma propriedade dos solos que reflecte a facilidade com que a água os atravessa. A sua avaliação, contudo, é de um grau de dificuldade considerável pois é difícil conceber um método que simultaneamente não altere a estrutura do solo e permita a medição desta propriedade. Existem, pois, variados métodos de determinação que originam, frequentemente, diferentes resultados para um mesmo solo, em particular métodos de campo, onde o solo a ser estudado é idealmente pouco revolvido, mantendo, tanto quanto possível, a sua estrutura e obtendo-se eventualmente, resultados mais próximos do real, e métodos de laboratório, onde a estrutura dos solos é destruída, obtendo-se resultados mais uniformes mas, possivelmente, menos próximos do real.

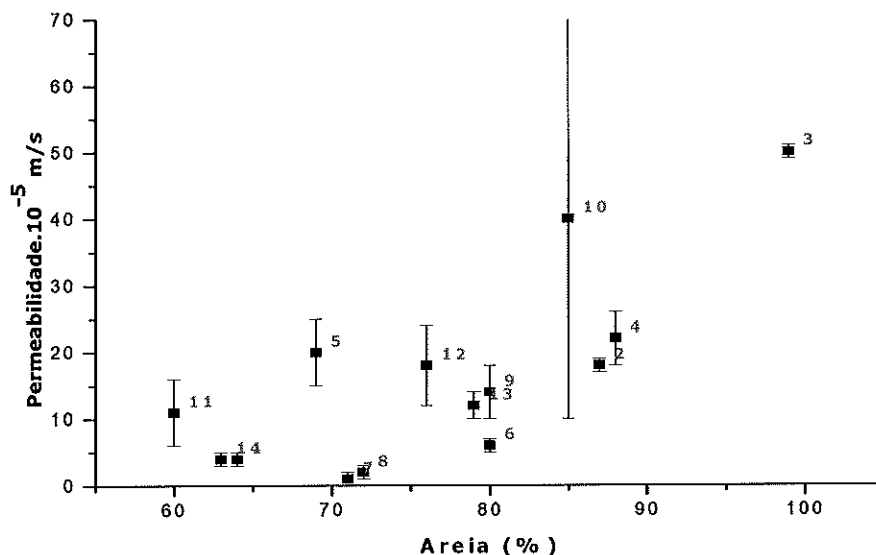
Optou-se por um método de laboratório, o que se justifica tendo em vista as contingências do presente estudo. As permeabilidades assim determinadas para as amostras de solos variam entre  $50 \times 10^{-5}$  m/s (solo 3) e  $1 \times 10^{-5}$  m/s (solo 7) e, assim, os solos 1, 7, 8 e 14 classificam-se como permeáveis, os outros solos são muito permeáveis (Figura 26).





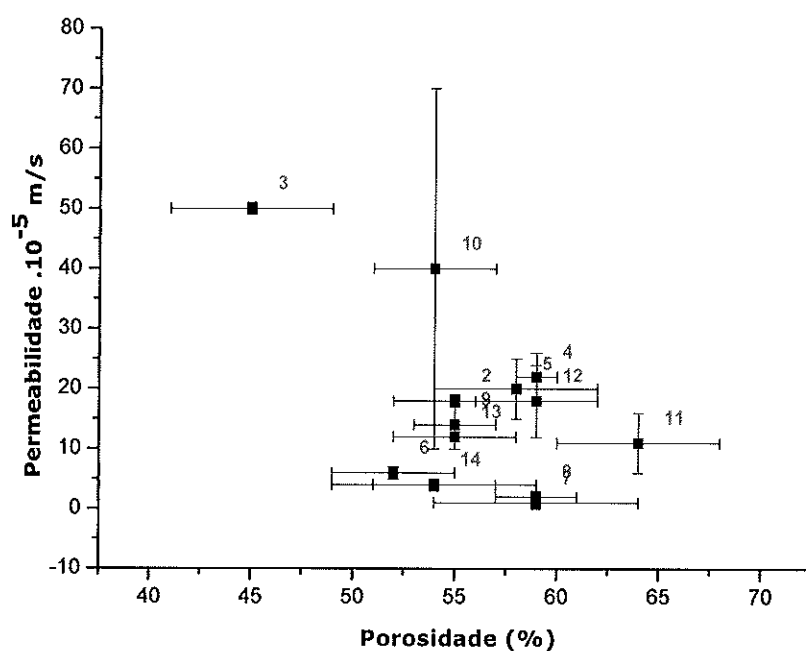
**Figura 26:** Permeabilidades e respectivos desvios médios determinados nas amostras de solo analisadas (n=3). Os valores obtidos diferem significativamente para um  $P < 0.05$  (one-way ANOVA).

Observa-se, na Figura 27, uma tendência de correlação ( $r = 0.870$ ) entre a permeabilidade e a percentagem de areia nas amostras, indicando que, grosso modo, quanto mais elevada for a percentagem de areia, maior será a permeabilidade do solo, o que é natural, uma vez que se sabe que um aumento da proporção de limo e argila torna o solo menos permeável.



**Figura 27:** Representação gráfica da permeabilidade em função da percentagem de areia.

Curiosamente, uma correlação entre a permeabilidade e a porosidade percentual não é evidente na Figura 28 ( $r = 0.820$ ).



**Figura 28:** Representação gráfica da permeabilidade em função da percentagem de porosidade.

Uma importante propriedade do solo é o seu pH. Isto deve-se ao facto deste parâmetro influenciar as propriedades físicas, químicas e biológicas, determinando o tipo de vegetação existente, a presença e actividade dos microrganismos e a disponibilidade de nutrientes para as plantas. O pH depende, em primeiro lugar, da rocha mãe que lhe deu origem e dos processos de pedogénese, podendo ser fortemente influenciado pelo clima, topografia, actividade biológica e idade do solo.

Em regiões de baixa precipitação, o complexo de troca (conjunto de colóides orgânicos e minerais responsáveis pela adsorção de iões permutáveis), possui um elevado grau de saturação em bases, por não haver elevada lixiviação, e o pH dos solos será neutro ou mesmo alcalino.

De facto, em regiões áridas e semi-áridas muitos solos possuem carbonatos na sua constituição. Entre um pH de 6 a 9, predomina, nestes casos, o ião hidrogenocarbonato na solução do solo, enquanto que o ião carbonato é maioritário a um pH superior a 10. A alcalinização dos solos, por acção do Homem ocorre em áreas regadas, nas regiões áridas e semi-áridas, sobretudo quando a drenagem é deficiente (Varenes, 2003).

Os valores de pH obtidos para as diferentes amostras estão apresentados na Tabela 7 e representados na Figura 25.

**Tabela 7:** Valores médios de pH obtidos (e respectivos desvios médios) e classificação, segundo a escala de Prato Longo (*in* Costa, 1999) das amostras de solo analisadas (n=3). Os valores obtidos diferem significativamente para um  $P < 0.05$  (one-way ANOVA).

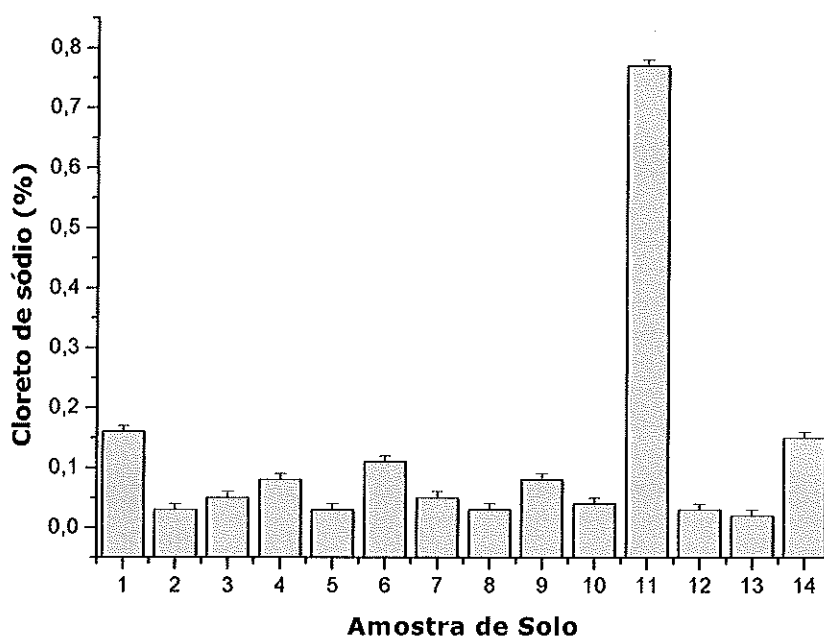
Amostra de solo	pH	Classificação
1	9.18 (0.02)	Alcalino
2	8.86 (0.04)	Alcalino
3	9.01 (0.02)	Alcalino
4	8.98 (0.03)	Alcalino
5	9.21 (0.01)	Alcalino
6	8.68 (0.02)	Alcalino
7	9.21 (0.01)	Alcalino
8	9.40 (0.02)	Alcalino
9	8.51 (0.03)	Subalcalino
10	9.33 (0.03)	Alcalino
11	8.62 (0.01)	Alcalino
12	10.02 (0.02)	Hiperalkalino
13	8.84 (0.03)	Alcalino
14	8.79 (0.03)	Alcalino

Verificou-se que todas as amostras estudadas se encontram num intervalo de valores que se situa entre 8.51 (solo 9) e 10.02 (solo 12). A classificação dos solos é, então de: subalcalino - solo 9, hiperalkalino - 12, sendo os restantes classificados como alcalinos. Contudo, como o pH de um solo é um parâmetro que é sensível a factores como a pluviosidade, a temperatura e o próprio método utilizado (Costa, 1999), os valores característicos dos solos podem sofrer alterações variando, eventualmente, de forma considerável.

Tratando-se de uma ilha, é natural que os ventos transportem para terra e aí depositem quantidades eventualmente apreciáveis de cloreto de sódio da água do mar. Naturalmente, a quantidade deste sal presente nos solos é função da pluviosidade, uma vez que ele é facilmente lixiviado. Não é, portanto, de excluir que o teor deste sal nos solos possa, em dado instante, ser bastante mais elevado.

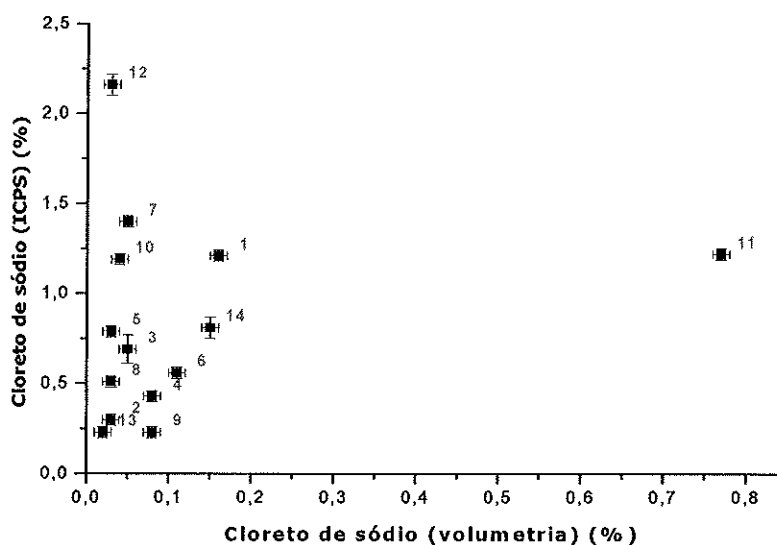
Segundo Varennes (2003), o teor de cloretos no solo varia entre 0.005 % e 0.8 % (ou 0.008 % e 1.3 %, se convertido em cloreto de sódio) dependendo do balanço entre as entradas e as saídas do nutriente.

Os teores em cloretos, convertidos em cloreto de sódio, obtidos por volumetria para as diferentes amostras de solos encontram-se presentes na Figura 29, variando entre 0.02 % (solo 13) e 0.77 % (solo 11).



**Figura 29:** Teores de cloreto de sódio, e respectivos desvios médios, determinados por volumetria, nas amostras de solo analisadas (n=3). Os valores obtidos diferem significativamente para um  $P < 0.05$  (one-way ANOVA).

As amostras de solos revelaram, por ICPS, teores em sódio (referidas como cloreto de sódio) entre 0.02 % (solo 13) e 0.16 % (solo 1), à excepção do solo 11, cujo teor em cloreto de sódio por volumetria é, comparativamente, mais elevado: 0.77 %.



**Figura 30:** Representação gráfica da percentagem de cloreto de sódio (determinada por ICPS) em função da percentagem de cloreto de sódio (determinada por volumetria).

Como se observa na Figura 30, não existe uma relação evidente ( $r = 0.329$ ) entre o teor em cloretos, por volumetria (convertido em cloreto de sódio), e o teor em sódio, por ICPS (convertido em cloreto de sódio). Tendo observado que o teor em sódio é sempre superior ao de cloreto, pode-se inferir sobre a eventual existência de uma "fonte" suplementar de sódio nos solos, que não o cloreto de sódio.

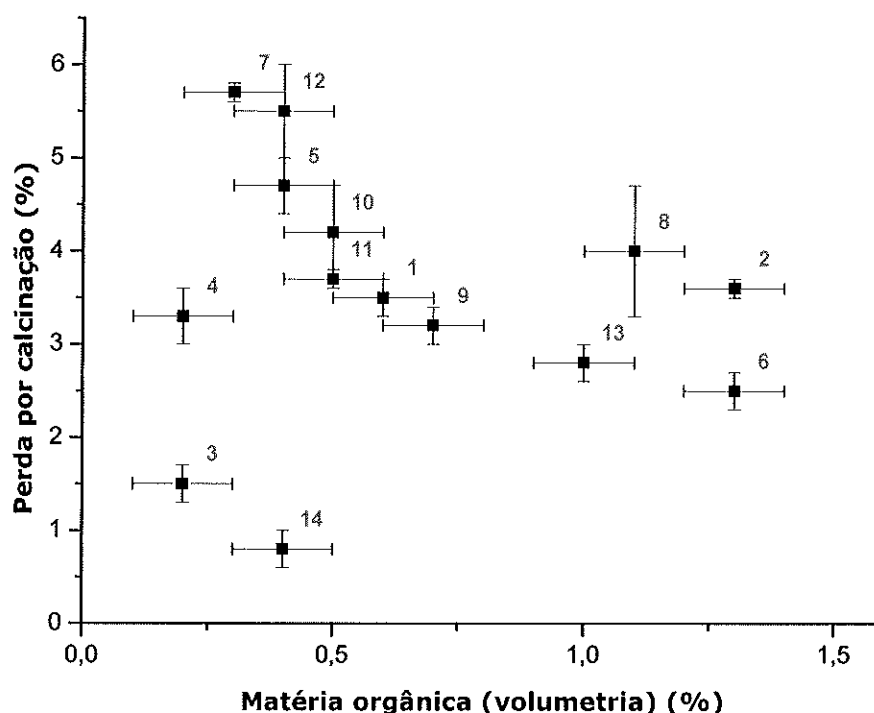
Foram realizadas determinações de perda por calcinação (frequentemente assumidas como correspondendo à matéria orgânica) e de matéria orgânica por volumetria. O teor em matéria orgânica das amostras de solo foi estimado pelos dois métodos já descritos, estando os resultados descritos na Tabela 8.

**Tabela 8:** Valores percentuais e respectivos desvios médios do teor de matéria orgânica obtidos por perda por calcinação e por volumetria, nas amostras de solos analisadas ( $n=3$ ). Os valores obtidos diferem significativamente para um  $P<0.05$  (one-way ANOVA).

Amostra	Percentagem de Matéria Orgânica por:	
	Calcinação	Volumetria
1	3.5 (0.2)	0.6 (0.1)
2	3.6 (0.1)	1.3 (0.1)
3	1.5 (0.2)	0.2 (0.1)
4	3.3 (0.3)	0.2 (0.1)
5	4.7 (0.3)	0.4 (0.1)
6	2.5 (0.2)	1.3 (0.1)
7	5.7 (0.1)	0.3 (0.1)
8	4.0 (0.7)	1.1 (0.1)
9	3.2 (0.2)	0.7 (0.1)
10	4.2 (0.5)	0.5 (0.1)
11	3.7 (0.1)	0.5 (0.1)
12	5.5 (0.5)	0.4 (0.1)
13	2.8 (0.2)	1.0 (0.1)
14	0.8 (0.2)	0.4 (0.1)

Como já foi referido anteriormente, as amostras estudadas são pobres em matéria orgânica. Varennes (2003) indica um teor usual em matéria orgânica de 1 a 6%. Tomando como comparação os valores determinados por volumetria, pode observar-se que são todos próximos do limite inferior.

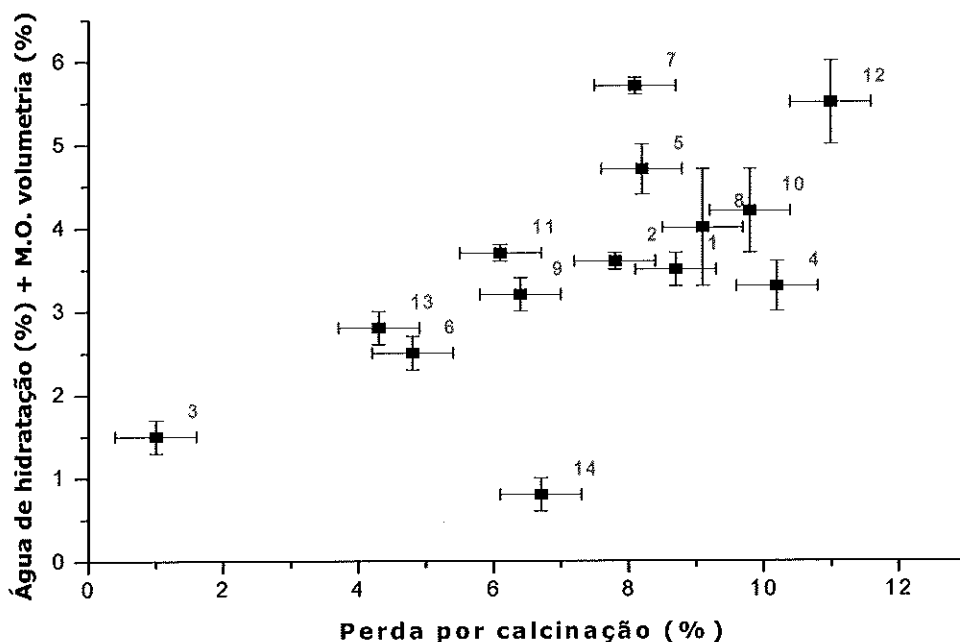
Verifica-se uma considerável diferença entre os resultados obtidos pelos dois métodos. Seria de esperar uma correlação entre ambos, caso se verificasse um eventual erro sistemático. Contudo, a referida correlação não é observada ( $r = 0.250$ ) (Figura 31).



**Figura 31:** Representação gráfica da percentagem de perda por calcinação em função da percentagem de matéria orgânica (determinada por volumetria).

O facto de não se encontrar uma correlação entre os resultados obtidos por estes dois métodos justifica-se, fundamentalmente, pela perda de água de hidratação, que de acordo com o pressuposto seria quantificado como matéria orgânica. De facto a correlação melhora significativamente se se tiver em conta a perda de água de hidratação (Figura 32,  $r = 0.600$ ), e o facto de alguns dos solos serem predominantemente calcários e, portanto, se poderem decompor apreciavelmente por aquecimento, a temperaturas elevadas, o que também originaria uma perda de massa que seria erroneamente quantificada como matéria orgânica.

Pode concluir-se, portanto, que a perda por calcinação é fundamentalmente devida à perda de água de hidratação. Do exposto se verifica que o teor em matéria orgânica não pode ser, para estes solos, estimado usando o método da perda por calcinação, sem um tratamento prévio e eficaz de desidratação, na medida em que a quantidade de matéria orgânica nestes solos é bastante mais reduzida do que o teor em água de hidratação, o que introduz erros demasiado grosseiros na sua estimativa.



**Figura 32:** Representação gráfica da soma das percentagens de água de hidratação e matéria orgânica (determinada por volumetria), em função da percentagem de perda por calcinação.

No que diz respeito ao teor em calcário apresentado pelas amostras de solo analisadas verifica-se que há uma grande disparidade de valores encontrados, o que reflecte também as características geológicas da ilha. Analisando a Carta Geológica de Porto Santo (1996), verifica-se que os pontos de recolha dos solos com maior teor em calcário (solos 3, 6, 11 e 13) caem dentro de zonas constituídas por eolianitos calcareníticos. Os resultados da percentagem em calcário encontrados nas diferentes amostras de solo estudadas encontram-se na Tabela 9.

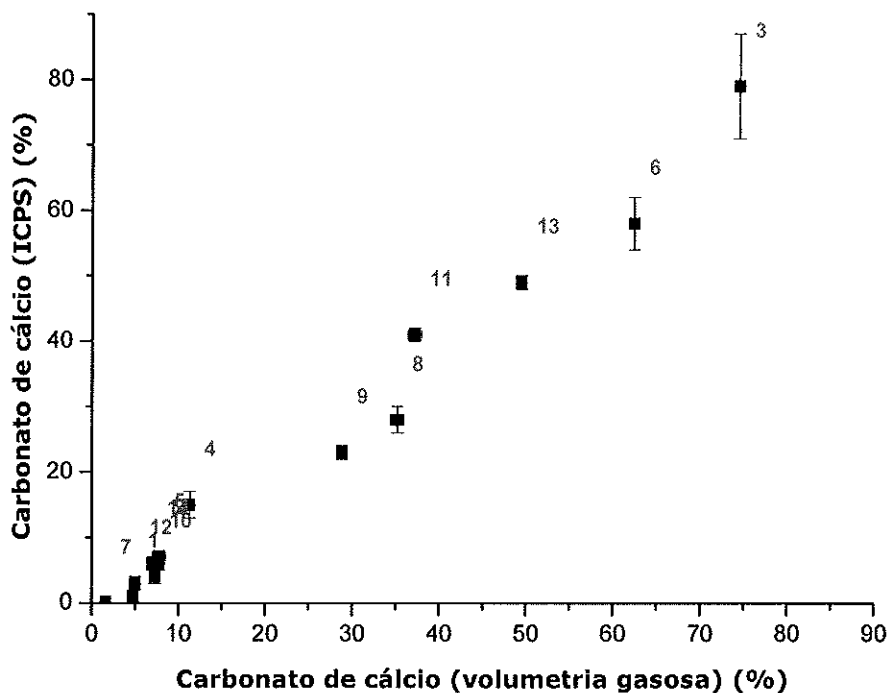
**Tabela 9:** Percentagem e desvio médio de calcário e respectiva classificação das amostras de solos analisadas (classificação adaptada de Costa, 1999).

Amostra	% CaCO <sub>3</sub>	Classificação
1	1 (1)	Muito pouco calcário
2	6 (1)	Pouco calcário
3	79 (8)	Calcário
4	15 (2)	Medianamente calcário
5	7 (1)	Pouco calcário
6	58 (4)	Calcário
7	0 (1)	Nenhum ou muito pouco calcário
8	28 (2)	Calcário
9	23 (1)	Medianamente calcário
10	4 (1)	Muito pouco calcário
11	41 (1)	Calcário
12	3 (1)	Muito pouco calcário
13	49 (1)	Calcário
14	6 (1)	Pouco calcário

A determinação do teor em carbonatos, para as amostras de solos estudados, indica uma grande variabilidade deste parâmetro, entre 0 % (amostra 7) e 79 % (amostra 3).

De acordo com a classificação apresentada por Costa (1999), encontraram-se quatro amostras (1, 7, 10 e 12) classificáveis como muito pouco calcárias (< 5 %  $\text{CaCO}_3$ ), encontraram-se três amostras (2, 5 e 14) classificáveis como pouco calcárias (entre 5 e 15 % de  $\text{CaCO}_3$ ), duas amostras (4 e 9) correspondendo a solos medianamente calcários (entre 15 e 25 % de  $\text{CaCO}_3$ ) e cinco amostras (3, 6, 8, 11 e 13) correspondendo a solos calcários (a partir de 25 % de  $\text{CaCO}_3$ ).

É de esperar que exista uma correlação entre o teor em calcário determinado pelo método de volumetria gasosa e o teor em cálcio, determinado por ICPS, convertido em calcário.



**Figura 33:** Representação gráfica da percentagem de carbonato de cálcio (determinada por ICPS) em função da percentagem de carbonato de cálcio (determinada por volumetria gasosa).

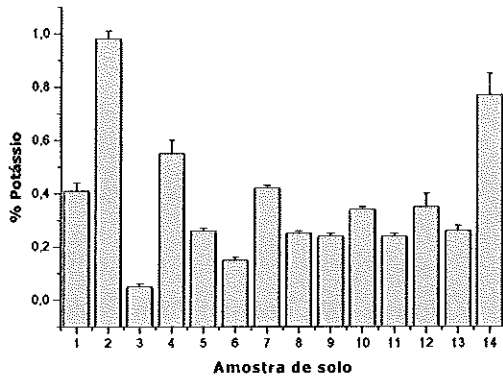
Esta correlação (com  $r = 0.988$ ), visível na Figura 33, é bastante satisfatória, o que permite validar ambos os métodos independentes, na determinação do teor em calcário.

A análise aos elementos inorgânicos presentes nas amostras, por ICPS, incidiu sobre os macronutrientes Potássio, Cálcio, Magnésio e Fósforo, sobre os

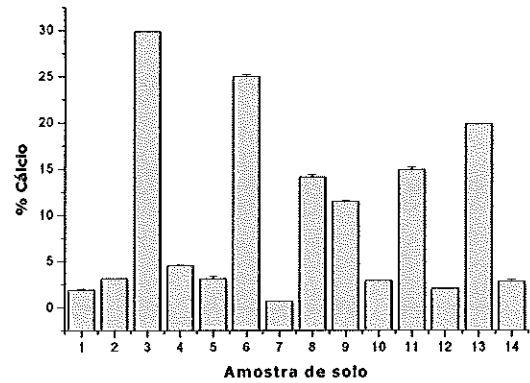


micronutrientes Ferro, Boro, Manganésio, Zinco, Cobre, Molibdénio e sobre o elemento benéfico sódio.

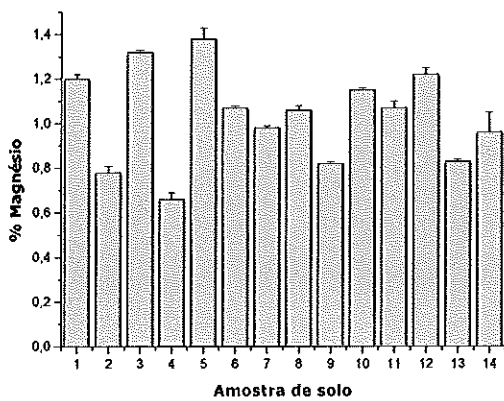
As percentagens destes elementos encontradas nas diferentes amostras de solos são representadas nos gráficos seguintes. Os valores obtidos diferem significativamente para um  $P < 0.05$  (one-way ANOVA) e os valores médios forma obtidos para um  $n = 3$ .



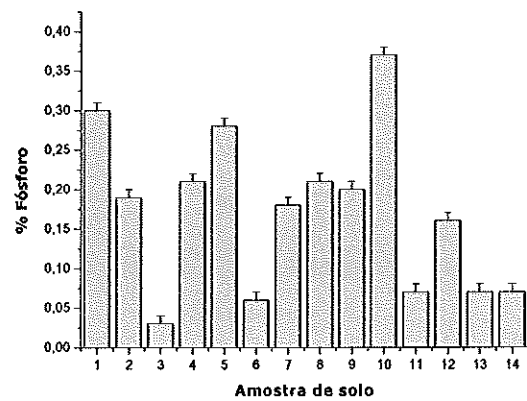
**Figura 34:** Percentagem de potássio presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.



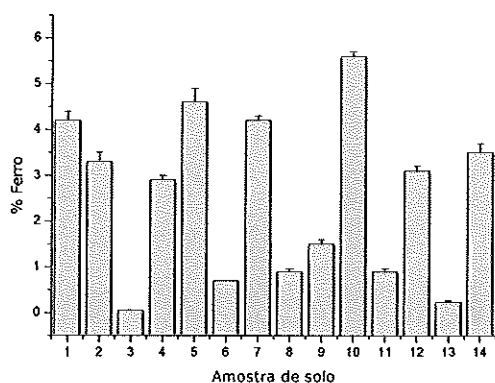
**Figura 35:** Percentagem de cálcio presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.



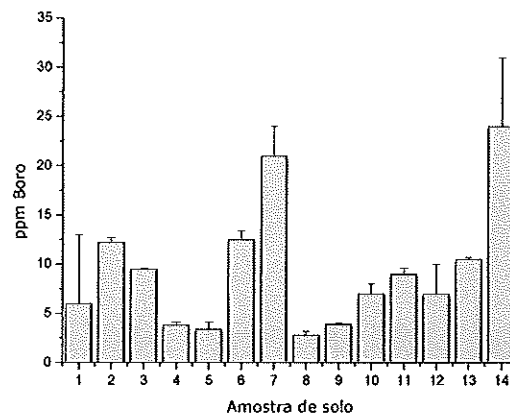
**Figura 36:** Percentagem de magnésio presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.



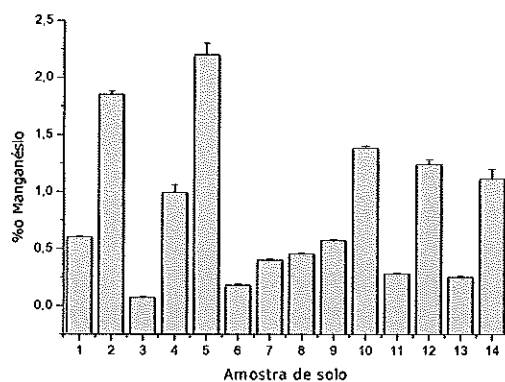
**Figura 37:** Percentagem de fósforo presente nas amostras de solos analisadas e respectivos desvios médios.



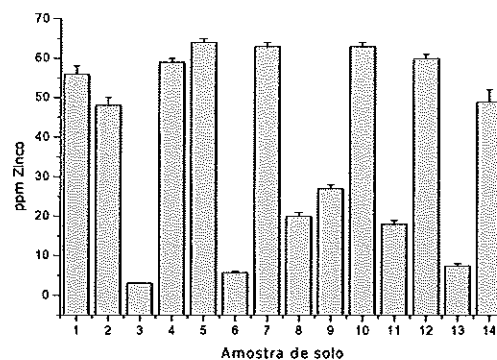
**Figura 38:** Percentagem de ferro presente nas amostras de solo analisadas e respectivos desvios médios.



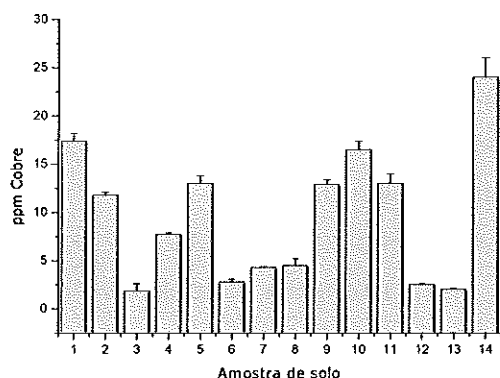
**Figura 39:** Teor em boro presente nas amostras de solo analisadas e respectivos desvios médios.



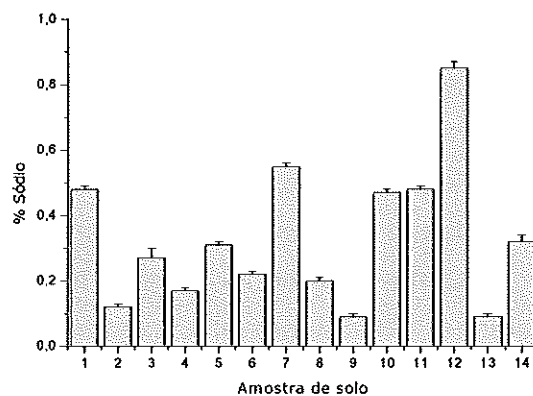
**Figura 40:** Teor em manganésio presente nas amostras de solo analisadas e respectivos desvios médio.



**Figura 41:** Teor em zinco presente nas amostras de solo analisadas e respectivos desvios médios.



**Figura 42:** Teor em cobre presente nas amostras de solo analisadas e respectivos desvios médios.



**Figura 43:** Percentagem de sódio presente nas amostras de solo analisadas e respectivos desvios médios.

Usualmente a percentagem de fósforo total nos solos é baixa, variando entre 0.05% e 1.1 % (Varenes, 2003). Nas amostras analisadas, varia entre 0.03% (amostra 3) e 0.37 % (amostra 10), pelo que se pode inferir que este elemento se encontra em baixa quantidade nos solos estudados. Estudos anteriores realizados por Silva (2003) em amostras de eolianitos calcareníticos, da zona de onde foi retirada a amostra 3 do presente estudo, revelaram percentagens de fósforo que variavam entre 0.06 e 0.31 %, mais elevados que o valor encontrado que foi de 0.03 %. Em amostras de tufo vulcânico argilizado da zona onde foi retirada a amostra 4, Silva (2003) encontrou valores da percentagem de fósforo entre 0.26 e 0.74 %, valores igualmente superiores ao determinado no presente trabalho, que foi de 0.21.

O potássio é, normalmente, o mais abundante dos nutrientes no solo, embora possam verificar-se grandes variações nas percentagens e disponibilidades deste elemento. Nas amostras estudadas a percentagem neste elemento varia entre 0.05 % (solo 3) e 0.89 % (solo 2). Segundo Silva (2003), as percentagens em potássio encontrados na zona de recolha da amostra de solo 3 variaram entre 0.07 e 0.12 % e na zona de recolha da amostra 4 as percentagens variaram entre 1.47 e 2.46 %, valores superiores ao encontrado no presente trabalho, respectivamente, 0.05 e 0.55 %.

É de referir que o cálcio e o magnésio são elementos usualmente abundantes nos solos, e que dependem fundamentalmente do carácter da rocha-mãe e do grau de meteorização. Nas amostras estudadas, a percentagem de cálcio varia entre 0.65 % (amostra 7) e 29.86 % (amostra 3). Os estudos efectuados por Silva (2003) revelaram percentagens de cálcio, na zona de recolha da amostra 3, que variavam entre 31.3 e 36.3 %, valores ligeiramente superiores ao encontrado para o solo 3 (29.86 %) e, na

zona de recolha da amostra do solo 4, que variavam entre 1.10 e 4.33 %, valores inferiores ao encontrado no presente trabalho, que foi de 4.52 %.

No caso do magnésio, a percentagem varia entre 0,66 % (amostra 4) e 1.38 % (amostra 5). Silva (2003) encontrou valores que variavam entre 1.28 e 2.50 %, na zona de recolha da amostra de solo 3 (1.32 %, no presente trabalho) e 0.30 e 1.59 % na zona de recolha da amostra de solo 4 (0.66 %, no presente trabalho).

O manganésio existente nos solos varia, geralmente entre 0.02 ‰ e 3 ‰ (Varenes, 2003). Nas amostras estudadas o teor deste elemento varia entre 0,07 ‰ (amostra 3) e 2.2 ‰ (amostra 5), valores que estão dentro dos referidos como normais. Silva (2003) encontrou valores que variavam entre 0.08 ‰ e 0.23 ‰, na zona de recolha da amostra de solo 3 (0.07 ‰, no presente trabalho) e 0.39 e 0.93 ‰ na zona de recolha da amostra de solo 4 (0.99 ‰, no presente trabalho).

Quanto ao boro, Varenes (2003) indica os limites abaixo dos quais (dependendo da cultura em causa) há deficiência neste elemento, como estando entre 0.1 ppm e 1.0 ppm. Nas amostras estudadas, encontraram-se teores de 2.8 ppm (amostra 8) a 10.5 ppm (amostra 14), com uma média de 9.5 ppm, que são consideravelmente superiores aos referidos como mínimos. Note-se que estes níveis podem ser inclusivamente tóxicos.

Os solos usualmente possuem um teor em cobre que varia entre 1 ppm e 60 ppm (Varenes, 2003). Nas amostras estudadas detectaram-se teores entre 1.09 ppm (amostra 3) e 24 ppm (amostra 14), que se enquadram dentro dos limites acima descritos. Silva (2003) encontrou valores que variavam entre 1 ppm e 5 ppm, na zona de recolha da amostra de solo 3 (1.9 ppm, no presente trabalho) e 13 e 19 ppm na zona de recolha da amostra de solo 4 (7.7 ppm, no presente trabalho).

A percentagem ferro que é usual encontrar em solos varia entre 0.02 % e 30 %, (Varenes, 2003). Nas análises efectuadas encontraram-se valores entre 0.05 % (amostra 3) e 5.6 % (amostra 10), que estão dentro dos valores usuais. Silva (2003) encontrou valores que variavam entre 0.29 % e 0.97%, na zona de recolha da amostra de solo 3 (0.05 %, no presente trabalho) e 3.46 e 8.21 % na zona de recolha da amostra de solo 4 (2.9 %, no presente trabalho).

Quanto ao zinco, os solos apresentam usualmente um teor entre 50 e 300 ppm (Varenes, 2003). Foram encontrados teores entre 3.1 ppm (amostra 3) e 64 ppm (amostra 5). Particularmente pobres neste elemento são as amostras 3, 6, 8, 9, 11 e 13. Silva (2003) encontrou valores superiores a 5 ppm, na zona de recolha da amostra de solo 3 (3.1 ppm, no presente trabalho) e 101 e 138 ppm na zona de recolha da amostra de solo 4 (59 ppm, no presente trabalho).

Os teores dos solos em molibdénio variam usualmente entre 0.07 e 5 ppm (Varenes, 2003). Foram encontrados teores em todas as amostras inferiores a 0.2 ppm (limite instrumental de detecção).

É de salientar que estes valores obtidos para os diferentes elementos não descrevem a sua quantidade acessível para as plantas, mas sim a quantidade que o método utilizado na extracção, permitiu retirar dos solos. Isto significa que parte das concentrações presente deve-se a elementos inicialmente adsorvidos ou mesmo fazendo parte da própria constituição dos minerais do solo.



### **CAPÍTULO 3.**

## **CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE AMOSTRAS DE SOLO**





### 3. CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DAS AMOSTRAS DE SOLO

O solo é, em termos microbiológicos, um ambiente único. Neste pode ser encontrada uma grande variedade de organismos tais como bactérias, fungos, algas, protozoários e vírus, que estabelecem entre si complexas interacções. Para além dos microrganismos, o solo alberga nemátodes, anelídeos, artrópodes e alguns vertebrados (Odum, 2001; Tan, 1994). As comunidades do solo podem assim incluir organismos com diferentes tamanhos e pertencentes a diferentes grupos que, por isso, são muitas vezes classificados em macrofauna, mesofauna, microfauna e microflora (Tan, 1996; Nannipieri *et al.*, 2003).

A maioria dos microrganismos (microflora) dos solos é saprófita e de vida livre (Gray *et al.*, 1971; Oliveira *in* Ferreira & Sousa, 1998). Alguns destes organismos contribuem directamente para a fertilidade do solo, através da fixação do azoto atmosférico ou da solubilização de fosfatos. É no solo onde ocorre grande parte das reacções bioquímicas relacionadas com a degradação da matéria orgânica e das rochas e com a nutrição das plantas (Gray *et al.*, 1971; Alexander, 1991).

As comunidades microbianas estabelecem uma série de inter-relações entre as diversas populações que a constituem contribuindo, desta forma, para o carácter ímpar de cada solo, no que respeita à sua microbiologia. A actividade de toda esta comunidade é, naturalmente, condicionada pelas características físico-químicas do solo onde estão inseridas, sendo a descrição destes parâmetros essencial para estudar a população microbiana de um determinado solo (Gray *et al.*, 1971).

É de salientar o facto dos organismos não estarem uniformemente distribuídos através do solo e a sua distribuição variar espacial e temporalmente (Tan, 1994).

### 3.1. Bactérias e fungos do solo

#### 3.1.1. Bactérias do solo

As bactérias são o grupo mais abundante de todos os grupos existentes num solo (Alexander, 1991; Eweis *et al.*, 1999). Torsvik *et al.* (1996) calcularam a presença de cerca de 6000 genomas bacterianos diferentes por grama de solo, tomando como comparação o genoma da *Escherichia coli*. Supõe-se que provavelmente existam vários milhões de espécies bacterianas no solo ainda não identificadas (Eweis *et al.*, 1999). Normalmente, os solos das zonas temperadas têm maiores densidades populacionais do que os das regiões frias (Alexander, 1991; Pelczar *et al.*, 1997). Os principais factores ambientais, segundo Alexander (1991) e Prescott *et al.* (1999), que influenciam as populações bacterianas dos solos são:

- humidade - a água é indispensável a todas as células, embora em solos encharcados esta possa limitar o seu crescimento, pois dificulta as trocas gasosas, e a maioria das bactérias habitantes do solo são aeróbias obrigatórias.
- temperatura - cada espécie tem uma temperatura óptima de crescimento, embora a maioria das bactérias sejam mesofílicas ou seja, apresentam uma temperatura óptima de crescimento entre 25 e 35 °C.
- pH - o valor óptimo para a maioria das espécies é aproximadamente 7, embora algumas tolerem solos ácidos e outras, solos básicos.
- profundidade - a camada mais superficial do solo usualmente não apresenta abundantes populações bacterianas devido à sua reduzida humidade e à acção bactericida da luz solar; num solo típico, as densidades máximas ocorrem a 3 - 8 cm abaixo da superfície, diminuindo com a profundidade.

No que se refere aos factores ambientais, as bactérias são semelhantes às plantas. No entanto, pelo facto da sua grande maioria ser heterotrófica, necessitam também de compostos orgânicos.

Ao contrário do seu número, a biomassa das bactérias (0.4 - 5 Mg/ha) é a menos representativa (Varenes, 2003).

As bactérias que podem ser isoladas de um solo podem ser colocadas em duas divisões: as autóctones, que são as verdadeiras residentes daquele solo específico, e as invasoras ou alóctones. As populações indígenas podem estar longos períodos sem actividade metabólica, ou seja, podem ter a possibilidade de permanecer em estádios resistentes e, em determinado instante, proliferarem e participarem de uma forma significativa nas funções bioquímicas da comunidade. As espécies alóctones, pelo contrário, não participam, usualmente, de forma activa nas actividades da

comunidade bacteriana. Estas entram através da precipitação, tecidos infectados, estrume animal ou eventualmente esgotos, podendo persistir por algum tempo em estádios de dormência e crescer por alguns períodos, mas nunca contribuem de forma significativa para as transformações e interações ecológicas que se desenvolvem no solo (Alexander, 1991).

As bactérias são também os organismos do solo que apresentam maior diversidade, podendo existir milhares de espécies diferentes numa pequena porção de solo. As mais vulgares pertencem aos géneros *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Caulobacter*, *Cellulomonas*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Streptococcus* e *Xanthomonas* (Alexander, 1991). Oliveira (*in* Ferreira & Sousa, 1998) salienta também a presença dos géneros *Rhizobium*, *Azotobacter* e *Nitrobacter*, embora estes constituam apenas uma parte da comunidade total.

### 3.1.2. Fungos do solo

Os fungos, no que diz respeito à biomassa, são os que dominam entre os microrganismos do solo, essencialmente devido ao seu diâmetro e à extensiva rede de hifas que possuem (Alexander, 1991). Os fungos do solo podem ser simbiotes de plantas, patogénicos de animais e decompositores de matéria orgânica, sendo este último o seu papel mais importante (Oliveira *in* Ferreira & Sousa, 1998).

Existem centenas de diferentes espécies que habitam o solo e a maioria localiza-se próximo da superfície do solo, devido às condições de aerobiose, onde a sua biomassa pode representar 1 - 15 Mg/ha (Varenes, 2003). Os géneros mais comuns de fungos no solo são *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Fusarium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, etc., sendo as espécies predominantes determinadas pelas condições físico-químicas deste (Pelczar *et al.*, 1986).

Em termos da utilização da matéria orgânica, os fungos são os organismos mais eficientes, incorporando cerca de metade dos nutrientes disponíveis nos materiais que decompõem. Precisam de menor proporção de azoto, em comparação com as bactérias, pelo que as suas necessidades azotadas são normalmente satisfeitas pelo azoto existente nas substâncias que decompõem. São também capazes de utilizar o azoto mineral no solo. Conseguem degradar uma vasta gama de moléculas, como proteínas, amido, celulose e lenhina, e são importantes na formação de húmus. As suas hifas ajudam também a estabilizar os agregados do solo.

Alguns fungos produzem antibióticos que inibem o crescimento de bactérias e muitos têm a capacidade de causar graves patologias em plantas. Existem ainda

fungos que produzem toxinas que causam sérias intoxicações no Homem quando este ingere de produtos contaminados (Varenes, 2003).

### **3.1.3. Abundância e diversidade bacteriana e fúngica**

Os microrganismos usualmente têm que ser isolados do solo e crescidos em cultura antes de poderem ser identificados. Existem três cuidados associados ao isolamento que devem ser considerados: o meio de isolamento, transferência dos organismos do solo para o meio de crescimento e o próprio isolamento do microrganismo para posterior identificação. Os meios de isolamento que se utilizam, tanto para as bactérias, como para os fungos podem ser não selectivos, sendo também denominados meios de largo espectro e permitindo simultaneamente o isolamento de alguns grupos de microrganismos que existem no solo. A avaliação da micropopulação do solo é naturalmente difícil e limitada em consequência da enorme diversidade de microrganismos que o habitam (Oliveira *in* Ferreira & Sousa, 1998).

A diversidade bacteriana pode ser medida por várias técnicas tais como a contagem em placa, as técnicas moleculares e a análise de ácidos gordos fosfolipídicos (Nannipieri *et al.*, 2003; Harris, 2003). A determinação da diversidade microbiana a partir do número de isolados não permite a identificação de muitos organismos, na medida que nem todos os organismos são cultiváveis. Este método leva a uma subestimação, não só em termos de biomassa como na composição das espécies (Harris, 2003), permitindo, usualmente, conhecer apenas entre 1 e 10 % da microflora total do solo (Nannipieri *et al.*, 2003). Esta discrepância é devida essencialmente à interdependência dos diferentes organismos, da impossibilidade de criar, em cultura, as condições ambientais inerentes ao habitat que os microrganismos encontram no solo e ao facto de algumas espécies apenas serem cultiváveis sob determinadas condições muito específicas (Bakken, 1997).

O estudo da microflora do solo é, um processo difícil, já que o próprio ambiente em que esta habita é bastante heterogéneo, sendo difícil simular em laboratório. Para além da sua diversidade ser elevada e capaz de realizar uma panóplia de transformações químicas, os vários grupos de microrganismos são nutricionalmente diversos, o que faz com que nenhum meio de cultura seja suficiente para os isolar. Também a comparação entre o número presente de fungos com o número de bactérias que se desenvolvem nestes meios não possuem grande valor, pois as unidades contáveis, respectivamente, esporos e unidades formadoras de colónias (UFC), são totalmente diferentes. Para além disso a contagem de organismos não indica a sua importância, já que é a sua taxa de crescimento que determina o seu

papel em vários processos. Os organismos podem existir num estado dormente ou activo, e se activos podem multiplicar-se com diferentes taxas de crescimento (Nannipieri *et al.*, 2003).

Apesar das limitações do método, a contagem em placa afigura-se o mais adequado no âmbito deste trabalho, na medida que o intuito é apenas identificar os grupos de bactérias e fungos mais abundantes que podem ser encontradas num determinado momento em diferentes tipos de solos da ilha de Porto Santo.

### **3.2. Objectivo**

Este estudo teve como intuito realizar uma caracterização preliminar microbiológica no que respeita aos principais grupos de fungos e bactérias saprófitas presentes nos locais onde têm sido reunidos esforços para restabelecer uma flora capaz de travar o processo erosivo.

### 3.3. Material e métodos

#### 3.3.1. Amostras de solo

A análise microbiológica foi realizada a partir das amostras utilizadas nas análises físico-químicas. No entanto, devido à proximidade de alguns pontos de amostragem, realizaram-se misturas de solo de acordo com a Tabela 10.

**Tabela 10:** Locais de recolha das amostras de solo da ilha de Porto Santo e respectiva designação/numeração utilizadas na análise microbiológica; os números entre parênteses referem-se às amostras de solo que foram misturadas, ou seja, por ex., a amostra A<sub>(1,2)</sub>, possui solo das amostras 1 e 2 utilizadas na análise físico-química.

Amostra	Locais
A <sub>(1,2)</sub>	Encosta sudoeste do Pico do castelo e próximo do tanque – Dragoal.
A <sub>(3,4)</sub>	Fonte da areia (zona dos eolianitos calcoareníticos e zona do tufo vulcânico argilizado).
A <sub>(5)</sub>	Encosta oriental do pico da Cabrita e encosta ocidental do Pico branco – Serra de Dentro.
A <sub>(6)</sub>	A montante das Lapeiras – Campo de Cima.
A <sub>(7)</sub>	Encosta ocidental da Rocha de Nossa Sr. <sup>a</sup> - Capela de Nossa Sr. <sup>a</sup> da Graça.
A <sub>(8,9)</sub>	Vertente noroeste do pico de Ana Ferreira
A <sub>(10)</sub>	Encostas orientais do Pico Juliana e do Pico do Facho – Serra de Dentro.
A <sub>(11,12)</sub>	Encosta sul do Pico do Concelho – Zimbral e encosta norte do Pico do maçarico – Corgas.
A <sub>(13)</sub>	Próximo da foz da Ribeira do Calhau – Calhau.
A <sub>(14)</sub>	Encosta oriental do Cabeço do Dragoal.

#### 3.3.2. Determinação das abundâncias e diversidades bacterianas e fúngicas

##### 3.3.2.1. Meios de cultura

A composição dos meios de cultura é apresentada para volumes de 1 dm<sup>3</sup> (Tabela 11). Todos os meios de cultura foram esterilizados em autoclave a 121 °C durante 15 minutos, logo após a preparação, e posteriormente arrefecidos a 45 °C.

**Tabela 11:** Meios de cultura utilizados na quantificação e isolamento de bactérias e fungos, respectiva composição e modo de preparação.

<b>Bactérias</b>		
<b>Designação</b>	PCA (Plate-Count-Agar - Merck):	TSA (Tryptic Soy Agar - Merck):
<b>Composição</b>	Triptose, 20.0 g; dextrose, 5.0 g; cloreto de sódio, 5.0 g; hidrogenofosfato de potássio, 2.7 g; dihidrogenofosfato de potássio, 2.7 g; azida de sódio, 0.2 g. (pH = 7.0 ± 0.2 a 25 °C.)	Peptona de caseína, 15.0 g; peptona de farinha de soja, 5.0 g; cloreto de sódio, 5.0 g; agar, 15.0 g. (pH 7.3 ± 0.2 a 25 °C.)
<b>Fungos</b>		
<b>Designação</b>	CRBA (Cooke Rose Bengal Agar - Difco):	
<b>Composição</b>	Rosa de bengala, 0.035 g; bacto soytone, 5.0 g; bacto dextrose, 10 g; dihidrogenofosfato de potássio, 1.0 g; sulfato de magnésio, 0.5 g; bacto agar, 20 g. (pH = 6.0 ± 0.2 a 25 °C.)	

### 3.3.2.2. Quantificação e isolamento de efectivos bacterianos

Foram retiradas massas de um grama, rigorosamente pesadas, de cada amostra de solo, que se colocaram em matrizes esterilizados com 100 cm<sup>3</sup> de água desionizada previamente esterilizada. Estes foram, de seguida, tapados e agitados durante trinta minutos. Todos os procedimentos a seguir efectuados, para se proceder à quantificação e posterior identificação das bactérias e fungos, foram realizados em condições de assepsia.

#### Quantificação de efectivos bacterianos

1. Deixou-se sedimentar os conteúdos dos matrizes e, de cada um deles, foi retirado 1 cm<sup>3</sup> do sobrenadante que se passou para tubos de ensaio (16 mm  $\phi$ ) contendo 9 cm<sup>3</sup> de água desionizada e esterilizada. Homogeneizou-se e a solução resultante denominou-se "diluição 10<sup>-1</sup>".
2. Preparou-se a partir da solução "diluição 10<sup>-1</sup>", as soluções "diluição 10<sup>-3</sup>" e "diluição 10<sup>-5</sup>".
3. Para cada amostra, colocou-se 1 ml, de cada diluição, em 3 placas de Petri (90 mm  $\phi$ ), nas quais se verteram cerca de 15 cm<sup>3</sup> de meio PCA pré arrefecido a 45 °C, agitando-se as placas de modo a misturar a amostra com o meio de cultura (sementeira por incorporação).

4. Deixaram-se solidificar as placas assim preparadas, que seguidamente se colocaram numa estufa de incubação, em posição invertida, à temperatura de 37 °C, durante 5 dias.
5. Decorrido este tempo, foi contado o número de colónias formadas e calculada a abundância de bactérias cultiváveis (UFC's/g).

---

---

O isolamento de grupos de bactérias mais abundantes de cada amostra foi efectuado da seguinte forma:

#### **Isolamento de bactérias**

- 
- 
1. Seleccionam-se as placas de cada amostra que apresentavam um número representativo de colónias bem individualizadas, quer à superfície, quer incorporadas.
  2. Analisaram-se as placas escolhidas e retiraram-se amostras de todas as colónias diferentes encontradas em cada placa.
  3. Inocularam-se, por riscado de exaustão, duas placas de Petri, com meio TSA, para cada colónia seleccionada, incubando-se de seguida numa estufa, durante 48 horas, a 37 °C.
  4. Decorrido este período de tempo, os isolados foram identificados pelos sistemas API® e Vitek®.
- 
- 

#### **3.3.2.3. Quantificação e isolamento de efectivos fúngicos**

Para a quantificação e isolamento de efectivos fúngicos, foram utilizadas as mesmas soluções preparadas para a quantificação de efectivos bacterianos.

#### **Quantificação de efectivos fúngicos**

- 
- 
1. Verteram-se cerca de 15 cm<sup>3</sup> de meio CRBA em placas de Petri (90 mm  $\phi$ ), deixando solidificar.
  2. Para cada amostra colocou-se um volume de 0.2 cm<sup>3</sup>, de cada diluição, em 3 placas de Petri, espalhando-o, com a ajuda da pipeta, pela totalidade da superfície do meio.
  3. As placas foram seguidamente colocadas numa estufa de incubação, em posição invertida, à temperatura de 35 °C, durante 7 dias.
  4. Decorrido este tempo, foi contado o número de fungos formados e foi calculada a sua abundância (n.º de Fungos/g).
- 
-



### **Isolamento de fungos**

- 
- 
- 1.** Nas placas correspondentes a cada amostra, seleccionaram-se as diferentes espécies de fungos.
  - 2.** As diferentes espécies foram cultivadas, cada uma, em duas placas de Petri com meio CRBA, a partir de uma pequena fracção recolhida de cada fungo seleccionado, e incubadas numa estufa a 35 °C durante 7 dias.
  - 3.** Decorrido este período de tempo, os isolados seleccionados foram identificados.
- 
-

### 3.4. Resultados e discussão

#### 3.4.1. Bactérias identificadas

As bactérias que foram isoladas das várias amostras de solo e posteriormente identificadas encontram-se representadas nas Tabelas 12 a 21. Todos os valores médios forma obtidos para um n=3.

**Tabela 12:** Bactérias identificadas na amostra de solo A<sub>(1,2)</sub>.

Amostra de Solo	Bactéria identificada	% certeza na identificação	Abundância (UFC/g)
A <sub>(1,2)</sub>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> / <i>Pseudomonas putida</i>	94	1.7 x 10 <sup>6</sup>
	<i>Arthobacter</i> spp.	99	
	<i>Micrococcus luteus</i>	80.8	

**Tabela 13:** Bactérias identificadas na amostra de solo A<sub>(3,4)</sub>.

Amostra de solo	Bactéria identificada	% certeza na identificação	Abundância (UFC/g)
A <sub>(3,4)</sub>	<i>Cellulomonas</i> spp.	98.3	0.8 x 10 <sup>6</sup>
	<i>Brevibacterium casei</i> / <i>Brevibacterium epidermis</i>	97.9	
	<i>Aureobacterium</i> spp.	96.9	
	<i>Arthrobacter</i> spp.	99	
	<i>Aureobacterium</i> spp./ <i>Corynebacterium aquaticum</i>	96.5	

**Tabela 14:** Bactérias identificadas na amostra de solo A<sub>(5)</sub>.

Amostra de solo	Bactéria identificada	% certeza na identificação	Abundância (UFC/g)
A <sub>(5)</sub>	<i>Oerskovia xanthineolytica</i>	98	0.7 x 10 <sup>6</sup>
	<i>Aureobacterium</i> spp. / <i>Corynebacterium aquaticum</i>	96.5	
	<i>Escherichia coli</i>	99	
	<i>Arthrobacter</i> spp.	97	
	<i>Cellulomonas</i> spp./ <i>Microbacterium</i> spp.	98.2	
	<i>Rhodococcus equi</i> / <i>Rhodococcus</i> sp.	98.8	
	<i>Cellulomonas</i> spp.	99.8	
	<i>Cellulomonas turbata</i>	99.5	
	<i>Corynebacterium diptheriae gravis</i>	98	
	<i>Micrococcus luteus</i>	80.8	
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> / <i>Pseudomonas putida</i>	94	
<i>Vibrio alginolyticus</i>	97		

**Tabela 15:** Bactérias identificadas na amostra de solo A<sub>(6)</sub>.

Amostra de solo	Bactéria identificada	% certeza na identificação	Abundância (UFC/g)
A <sub>(6)</sub>	<i>Oerskovia xanthineolytica</i>	99	3.4 x 10 <sup>6</sup>
	<i>Arthrobacter</i> spp.	99.4	
	<i>Aureobacterium</i> spp. / <i>Corynebacterium aquaticum</i>	82.1	
	<i>Corynebacterium striatum</i> / <i>Corynebacterium amycolatum</i>	92	
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	98	
	<i>Micrococcus luteus</i>	80.8	

**Tabela 16:** Bactérias identificadas na amostra de solo A<sub>(7)</sub>.

Amostra de solo	Bactéria identificada	% certeza na identificação	Abundância (UFC/g)
A <sub>(7)</sub>	<i>Brevibacterium</i> spp. / <i>Propionibacterium anes</i>	85.8	2.0 x 10 <sup>6</sup>
	<i>Staphilococcus warneri</i>	92	
	<i>Corynebacterium bovis</i>	99.1	
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> / <i>Pseudomonas putida</i>	94	
	<i>Aureobacterium</i> spp. / <i>Corynebacterium aquaticum</i>	83	

**Tabela 17:** Bactérias identificadas na amostra de solo A<sub>(8,9)</sub>.

Amostra de solo	Bactéria identificada	% certeza na identificação	Abundância (UFC/g)
A <sub>(8,9)</sub>	<i>Aureobacterium</i> spp./ <i>Corynebacterium aquaticum</i>	93.4	9.0 x 10 <sup>6</sup>
	<i>Actinomyces neuil anit.</i>	95.5	
	<i>Brevibacterium epidermis</i>	97.3	
	<i>Arthrobacter</i> spp.	99	
	<i>Esherichia coli</i>	99	

**Tabela 18:** Bactérias identificadas na amostra de solo A<sub>(10)</sub>.

Amostra de solo	Bactéria identificada	% certeza na identificação	Abundância (UFC/g)
A <sub>(10)</sub>	<i>Arthrobacter</i> spp.	99	0.05 x 10 <sup>6</sup>
	<i>Esherichia coli</i>	99	

**Tabela 19:** Bactérias identificadas na amostra de solo A<sub>(11, 12)</sub>.

Amostra de solo	Bactéria identificada	% certeza na identificação	Abundância (UFC/g)
A <sub>(11,12)</sub>	<i>Escherichia coli</i>	98	3.3 x 10 <sup>6</sup>
	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	99	
	<i>Arthrobacter</i> spp.	99	
	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> - baumannii complex	83.4	
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	94	
	<i>Aureobacterium</i> spp. / <i>Corynebacterium aquaticum</i>	93.4	

**Tabela 20:** Bactérias identificadas na amostra de solo A<sub>(13)</sub>.

Amostra de solo	Bactéria identificada	% certeza na identificação	Abundância (UFC/g)
A <sub>(13)</sub>	<i>Staphilococcus warneri</i>	92	4.5 x 10 <sup>6</sup>
	<i>Arthrobacter</i> spp.	99	
	<i>Aureobacterium</i> spp. / <i>Corynebacterium aquaticum</i>	96.5	
	<i>Escherichia coli</i>	99	

**Tabela 21:** Bactérias identificadas na amostra de solo A<sub>(14)</sub>.

Amostra de solo	Bactéria identificada	% certeza na identificação	Abundância (UFC/g)
A <sub>(14)</sub>	<i>Proteus mirabilis</i>	96	3.8 x 10 <sup>6</sup>
	<i>Micrococcus luteus</i>	80.8	
	<i>Aureobacterium</i> spp. / <i>Corynebacterium aquaticum</i>	96.5	
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> / <i>Pseudomonas putida</i>	94	
	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	99	
	<i>Arthrobacter</i> spp.	99	

Os valores de abundância bacteriana situam-se entre um mínimo de  $6 \times 10^4$  (amostra  $A_{(10)}$ ) e um máximo de  $9 \times 10^6$  (amostra de solo  $A_{(8,9)}$ ) UFC/g.

Relativamente à biodiversidade, verifica-se que as amostras são variáveis no que diz respeito às espécies de bactérias mais proeminentes. No entanto, constata-se que a diversidade total não é elevada. É de salientar que a amostra que possui maior biodiversidade bacteriana ( $A_{(5)}$ ) é aquela que, a seguir à amostra  $A_{(10)}$ , possui menor abundância. A amostra  $A_{(10)}$ , para além de mostrar menor abundância apresenta também o número mais baixo de espécies representativas de todas as amostras analisadas. Estes resultados poderão estar relacionados com a conjugação geral das concentrações de macro e micronutrientes e das características físico-químicas das amostras.

As maiorias das bactérias identificadas são habitantes usuais do solo. No entanto existem algumas excepções:

- *Corynebacterium amycolatum* (*C. amycolatum*) e *Corynebacterium striatum* (*C. striatum*) são habitantes usuais da pele humana e de mucosas (Renaud *et al.*, 1996), e foi também já isolada de leite de vaca com mastite (Krieg & Holt, 1986). A bactéria *C. striatum* foi, no entanto, também já identificada em solos (Balows *et al.*, 1992), não sendo este, porém, o seu ambiente usual. Deste modo, poderá pressupor-se que a bactéria encontrada na amostra  $A_{(6)}$  será a *C. striatum*.
- *Brevibacterium epidermis* (*B. epidermis*) foi até agora isolada a partir da pele humana (Krieg & Holt, 1984). No entanto a sua presença é provável na amostra de solo  $A_{(3,4)}$  e é verificada na amostra  $A_{(8,9)}$ , o que pode ser devido a uma contaminação durante a amostragem e/ou manipulação das amostras no laboratório. No entanto, não é de eliminar a hipótese desta bactéria poder eventualmente sobreviver no solo durante algum tempo depois deste ter contactado com pele humana, podendo, por isso, a amostra já ser portadora desta bactéria. Como foi verificado, na amostra  $A_{(3,4)}$  não há certeza na presença de *B. epidermis*, podendo a bactéria isolada ser *Brevibacterium casei*, que pode ter como habitat o solo (Krieg & Holt, 1986).
- *Micrococcus luteus* possui como habitat primário a pele de mamíferos, mas pode ter como habitat secundário, por ex., o solo, onde é inclusivamente frequente (Krieg & Holt, 1986).
- *Oerskovia xanthineolytica* é uma espécie que só raramente é encontrada em solos. Uma possível explicação da sua presença na amostra  $A_{(6)}$  é o

facto de ser encontrada em intestinos e fezes de milípedes, isópodes e oligoquetas (Balows *et al.*, 1992), que são organismos usuais nos solos.

- *Staphilococcus warneri* é uma espécie que aparece preferencialmente em primatas, mas pode ser isolada ocasionalmente de animais domésticos. Dadas as características da ilha e do próprio local em questão (A<sub>(7)</sub>), onde estas bactérias aparecem, presume-se que pertençam a animais domésticos, na medida em que, na zona de recolha, usualmente estes estão presentes já que aproveitam a escassa vegetação do local para pastarem. Este facto coincide também com a existência na mesma amostra de uma outra bactéria típica deste tipo de animais, *Corynebacterium bovis* (Krieg & Holt, 1984).
- *Vibrio alginolyticus* tem sido isolada de alimentos de origem aquática e em águas estuarinas, neríticas e salobras (Molitoris *et al.*, 1985). A sua presença na amostra A<sub>(5)</sub> poderá ser devida à presença destas bactérias nas águas da ilha, nomeadamente na água do mar. Através da formação de aerossóis, estas bactérias poderiam ter sido levadas, pelo vento, em direcção ao local de recolha. No entanto, o porquê desta espécie ser uma das representativas nesta amostra apenas poderá ser respondido com estudos mais específicos.

*Arthrobacter* spp. é um género de bactérias muito abundante nos solos (Krieg & Holt, 1986). Isto é concordante com os resultados deste trabalho, na medida em que esta apenas está ausente (pelos menos em termos de representatividade) numa amostra deste estudo (A<sub>(7)</sub>).

Não foi detectada a presença de bactérias nitrificantes em qualquer uma das amostras. Estas bactérias constituem apenas uma pequena parte das bactérias do solo, o que já, por si só, poderia justificar a ausência deste grupo nas placas. No entanto, o meio de cultura também não terá sido o ideal para o seu crescimento e a parca quantidade de matéria orgânica encontrada em todas as amostras de solo analisadas tende igualmente a limitar a sua presença. A pequena quantidade de matéria orgânica pode também justificar o facto do valor de abundância bacteriana estar abaixo daquele encontrado para um solo fértil ( $1 \times 10^8$  a  $1 \times 10^9$  de UFC/g) (Oliveira *in* Ferreira & Sousa, 1998). Também o facto de alguns fungos do género *Penicillium* serem produtores de antibióticos beta-lactâmicos poderá influenciar a diversidade bacteriana presente nas amostras.

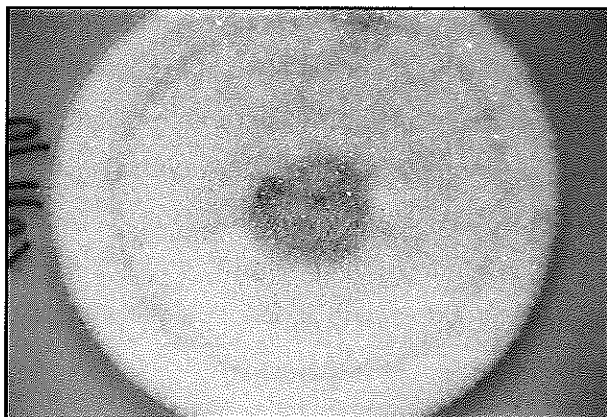
### 3.4.2. Fungos identificados

Os fungos que foram isolados das várias amostras de solo e posteriormente identificados encontram-se representados na Tabela 22.

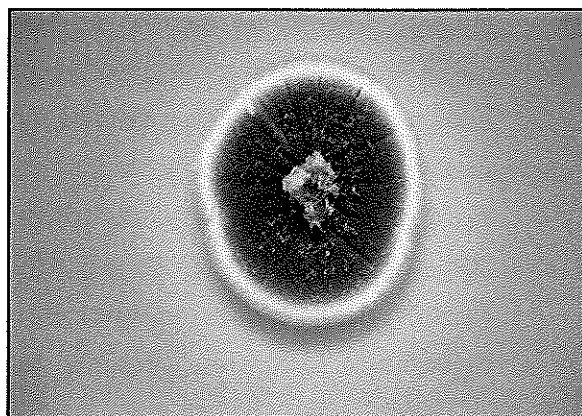
**Tabela 22:** Fungos identificados nas amostras de solo e respectivas abundâncias.

Amostra de solo	Fungo identificado	Abundância (N.º de fungos/g)
A <sub>(1,2)</sub>	<i>Aspergillus fumigatus</i> Sterile micelia <i>Penicillium</i> sp.	5.67 x 10 <sup>4</sup>
A <sub>(3,4)</sub>	<i>Chaetomium funicola</i> <i>Acremonium murorum</i> <i>Acremonium furcatum</i> <i>Verticillium tenerum</i> <i>Oidiodendron tenuissimum</i> <i>Penicillium</i> sp.	11.67 x 10 <sup>4</sup>
A <sub>(5)</sub>	<i>Penicillium crustosum</i> <i>Penicillium aurantiogriseum</i> <i>Penicillium</i> sp. <i>Beauveria</i> sp.	4.33 x 10 <sup>4</sup>
A <sub>(6)</sub>	<i>Penicillium</i> sp. <i>Penicillium citrinum</i>	12.33 x 10 <sup>4</sup>
A <sub>(7)</sub>	<i>Penicillium</i> sp. <i>Cunninghamella elegans</i> <i>Eupenicillium javanicum</i>	2.33 x 10 <sup>4</sup>
A <sub>(8,9)</sub>	<i>Penicillium</i> sp. <i>Penicillium crustosum</i>	1.33 x 10 <sup>4</sup>
A <sub>(10)</sub>	<i>Penicillium</i> sp.	0.67 x 10 <sup>4</sup>
A <sub>(11,12)</sub>	<i>Penicillium</i> sp.	4.67 x 10 <sup>4</sup>
A <sub>(13)</sub>	<i>Penicillium janthinellum</i>	2.00 x 10 <sup>4</sup>
A <sub>(14)</sub>	<i>Penicillium</i> sp.	1.67 x 10 <sup>4</sup>

Nas figuras seguintes estão representados alguns fungos encontrados nos solos.

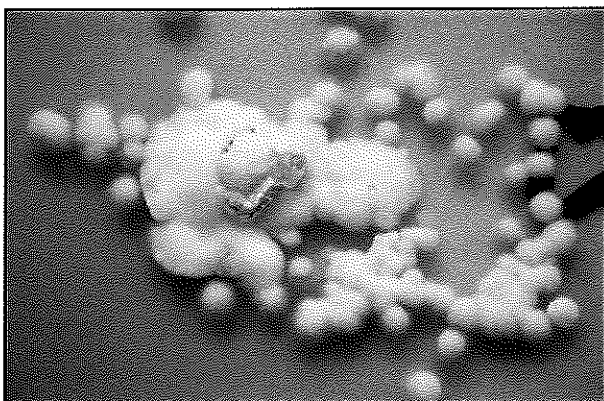


**Figura 44:** *Aspergillus fumigatus* após 10 dias de crescimento em meio CRBA.

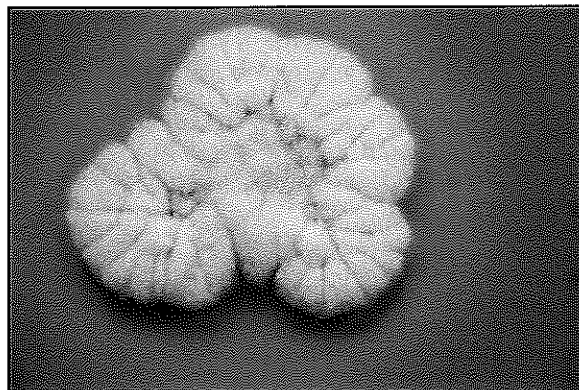


**Figura 45:** *Penicillium citrinum* após 10 dias de crescimento em meio CRBA.





**Figura 46:** *Beauveria* sp. após 10 dias de crescimento em meio CRBA.



**Figura 47:** *Penicillium janthinelum* após 10 dias de crescimento em meio CRBA.

Os valores de abundância fúngica situam-se entre um mínimo de  $0.67 \times 10^4$  (amostra  $A_{(10)}$ ) e um máximo de 11.67 Fungos/g na amostra  $A_{(1,2)}$ . Quanto à diversidade fúngica, a amostra de solo  $A_{(3,4)}$  é a que possui a mais elevada, com seis géneros mais abundantes. Esta amostra é igualmente a que apresenta maior abundância fúngica.

Em termos de representatividade, os fungos pertencentes ao género *Penicillium* são aqueles que destacam. Todas as espécies encontradas nas amostras possuem como principal local de residência os solos (Domsch, 1993; Pit & Hocking, 1997). Contudo, o *Aspergillus fumigatus*, é um fungo termotolerante e ubíquo, mas não é uma espécie dominante no solo. Os dados disponíveis na literatura (Domsch, 1993) revelam que ocorre a um pH entre 5 e 8.5, apesar de no presente trabalho ter sido encontrado na amostra  $A_{(1)}$ , que possui um valor médio ligeiramente superior, ou seja, um pH igual a 9. Este fungo é particularmente conhecido por causar a aspergilose em humanos (Samson & Reenen-Hoekstra, 1988).

Os fungos *Chaetomium funicola* e *Acremonium furcatum* foram encontrados na amostra  $A_{(3,4)}$ , amostra que inclui solo arenoso onde este fungo é vulgarmente encontrado (Domsch, 1993).

Os fungos *P. crustosum* e *P. aurantiogriseum* são fungos responsáveis pela degradação de cereais, frutos, etc. (Pit & Hocking, 1997). A sua presença nesta amostra poderá ser justificada pelo facto de o local de recolha se encontrar muito próximo de uma lixeira a céu aberto (onde com grande probabilidade, devido ao teor do substrato, existirão estes géneros de fungos) localizada nos terrenos adjacentes,

de onde, possivelmente são libertados esporos destes fungos que se depositam nos terrenos periféricos.

Na generalidade, os valores de abundância fúngica estão bastante abaixo daqueles encontrados, em termos médios, para um solo fértil, cujos valores característicos se situam entre  $1 \times 10^5$  e  $1 \times 10^6$  (Oliveira *in* Ferreira & Sousa, 1998), o que poderá, como no caso das bactérias, ser devido essencialmente ao facto dos solos serem pobres em matéria orgânica, facto que deriva do pouco e recente coberto vegetal presente.

## **CAPÍTULO 4.**

### **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE AMOSTRAS DE ÁGUA**



#### **4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE AMOSTRAS DE ÁGUA**

A água é, indubitavelmente, uma molécula essencial à vida e ao equilíbrio dos ecossistemas, facto constatado pela Carta Europeia da Água (1968) que refere: "Não há vida sem água. A água é um bem precioso, indispensável a todas as actividades humanas."

Mais de 71% da superfície terrestre está coberta por água. No entanto, apenas 0.74 % dessa porção é água doce, podendo ser encontrada sob a forma de humidade do solo, águas subterrâneas, vapor de água, lagos e rios (Molles, 2002). É por esta fracção de água doce que o Homem, outros animais e também as plantas competem, o que nos faz verificar que, realmente, o problema não é a abundância total da água, mas a sua disponibilidade.

A poluição dos recursos de água agrava o crescimento da procura de água, sendo a indústria, a agricultura e as águas residuais domésticas as principais responsáveis por este problema. A indústria está ligada à poluição inorgânica das águas, particularmente, por metais pesados, altamente prejudiciais aos ecossistemas aquáticos. A agricultura, que representa cerca de 70 % do consumo total da água, produz efluentes com um elevado teor de nitratos, que acabam por atingir cursos de água e lençóis freáticos. As águas residuais domésticas transportam matéria orgânica de várias ordens, detergentes e uma panóplia diversificada de organismos patogénicos para o Homem como vírus, bactérias e fungos.

Qualquer porção de água, que é parte activa no ciclo hidrológico, pode ser desviada, de forma temporária, para usos humano, regressando depois à natureza sob várias formas, o que significa que a poluição da água efectuada pelo homem, em qualquer uma das fases do seu ciclo, pode estender-se a vários ecossistemas, aquáticos e/ou terrestres, e pode, inclusivamente, entrar nas cadeias alimentares.

Uma água que serve para um determinado propósito pode não servir necessariamente para todos os outros. Deste modo, pode considerar-se o conceito de qualidade da água relativo, pois o que o caracteriza é exactamente a função a que se destina (Mendes *in* Ferreira *et al.*, 1998). Na avaliação da qualidade da água recorre-se a um grande número de técnicas analíticas físicas, químicas e microbiológicas, cujo número e complexidade têm aumentado ao longo das últimas décadas (Mendes & Oliveira, 2004).

Porto Santo é uma ilha carenciada em recursos hídricos, como já foi referido na caracterização hidrológica feita no Capítulo 1. Não existem rios, mas ribeiros de carácter torrencial onde a água apenas corre com caudal apreciável após ocasionais chuvadas. Existem também algumas barragens de armazenamento de águas pluviais, para irrigação, que, juntamente com as valas de captação e levadas de distribuição da água modificaram o natural regime de escoamento. Pelo descrito, toda a água disponível para irrigação é de extrema importância, pelo que a sua qualidade deve ser frequentemente monitorizada.

#### **4.1. Caracterização físico-química da água**

A água não é encontrada na Natureza no seu estado puro, sendo a sua presença indissociável da de substâncias presentes em solução e/ou em suspensão. Pode ser referido um limite, embora muitas vezes ténue, entre a presença, habitual e normal, de determinados elementos nas águas no seu estado natural e a presença de outros pouco comuns, que afectam a sua qualidade e as propriedades inerentes ao seu uso. Os primeiros referem-se àqueles que estão integrados nos ciclos biogeoquímicos dominantes, sendo eliminados por processos de autodepuração, verificando-se a sua integração nas cadeias tróficas, a sua transferência para a fase gasosa ou a sua incorporação nos sedimentos, por precipitação ou através de outros processos físico-químicos. Os segundos pressupõem a deposição anormal, por parte do homem, de substâncias que excedem a capacidade de autodepuração dos sistemas aquáticos, levando a situações de poluição, mais ou menos graves (Mendes & Oliveira, 2004).

A natureza dos poluentes pode ser de várias ordens: física, química e/ou biológica, estando estes a maior parte das vezes intimamente ligados. Deste modo afigura-se de crucial importância o conhecimento das características físico-químicas da água no sentido de saber a sua adequabilidade a um potencial fim a que se destina.

## 4.2. Características microbiológicas da água

A água encontra-se, assim como outros sistemas naturais, habitada por vários tipos de microrganismos, alguns dos quais patogénicos para o Homem (Mendes & Oliveira, 2004). Os microrganismos encontrados nos ambientes aquáticos são determinados pelas condições físico-químicas que prevalecem naqueles ambientes, nomeadamente no que diz respeito a factores como pH, luminosidade e quantidade de nutrientes (Pelczar *et al.*, 1986).

Um dos maiores riscos associados à água, em termos de saúde pública, é a contaminação directa ou indirecta, por produtos de excreção de mamíferos, em que está incluído o Homem. O destino final destas excreções é um dado importante para o controlo da disseminação de agentes patogénicos. Pelo facto da maioria das águas residuais (de origem doméstica, industrial ou pluvial) conterem excreções, são do ponto de vista microbiológico agentes perigosos de poluição pois a água é um meio muito eficiente para a sua disseminação. Uma grande quantidade de organismos entéricos pode ser introduzida no ambiente aquático, através da contaminação fecal. Quando águas contaminadas se misturam com água para consumo humano, sem tratamento, o número de possíveis hospedeiros e infectados pode aumentar drasticamente. Este problema tem sido documentado repetidamente ao longo da história com grandes surtos infecciosos a serem responsáveis por muitas mortes. Para além deste problema, a rega de culturas para consumo humano, efectuada com águas infectadas pode igualmente levar ao aparecimento de inúmeras doenças.

### 4.2.1. Controlo microbiológico da água

A detecção directa de todas as bactérias patogénicas é um procedimento moroso, dispendioso e tecnicamente exigente. Para além disso, o facto de não se detectar um determinado microrganismo patogénico num determinado meio, não significa que este esteja ausente, pois um factor importante para a sua detecção é a concentração em que este se encontra. Para serem ultrapassados os problemas associados à detecção directa de todos os microrganismos surgiu o conceito de microrganismo indicador da poluição fecal, principal fonte de transmissão de agentes infecciosos. Estes indicadores são microrganismos que habitam o intestino do Homem e outros animais e a sua presença é demonstrativa de um contacto com fezes e, por conseguinte, a possibilidade da presença de outros organismos patogénicos aumenta exponencialmente (Mendes & Oliveira, 2004).

Não existe um microrganismo indicador ideal e a sua selecção deve obedecer a uma série de critérios, tais como:

1. deve ser apropriado para permitir a análise de todos os tipos de água;
2. deve estar presente sempre que existam organismos patogénicos;
3. deve existir em número superior aos organismos patogénicos presentes;
4. deve ser mais resistente a eventuais desinfecções do que os organismos presentes;
5. não deve reproduzir-se no meio aquático, após eventuais desinfecções;
6. deve ter uma distribuição aleatória numa massa de água;
7. não deve ter o seu crescimento inibido pelo crescimento de outros organismos;
8. não deverá ser patogénico para o homem;
9. a sua pesquisa e identificação deverão ser possíveis, recorrendo a técnicas laboratoriais de fácil execução, rápidas e inequívocas;
10. as técnicas laboratoriais de identificação deverão ter uma grande especificidade e sensibilidade e serem capazes de detectar baixos níveis do indicador;
11. a sua concentração em águas contaminadas deverá ter alguma relação directa com o nível de poluição de origem fecal.

Os organismos indicadores de poluição de origem fecal e designados por indicadores clássicos são:

A. Coliformes totais

Os coliformes são um grupo de microrganismos pertencentes à família *Enterobacteriaceae* e são habitantes usuais do tracto intestinal do homem e outros animais, representando cerca de 10 % dos microrganismos aí presentes. Este grupo é constituído por organismos Gram negativos, em forma de bastonete, não esporulados, anaeróbios facultativos, que crescem em condições aeróbias em meio de cultura selectivo contendo sais biliares, e capazes de fermentar lactose em 48 horas a 37 °C, com produção de ácido e gás. Alguns exemplos destes microrganismos são: *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella pneumoniae*.

B. Coliformes fecais

O grupo dos coliformes fecais incluem todos os coliformes fecais, bacilos, Gram-negativos, não esporulados, que fermentam a lactose a 44.5 °C, em



menos de 24 horas, e inclui bactérias como *Escherichia coli* e *Klebsiela pneumoniae*. A sua presença indica a presença de material fecal de animais de sangue quente, não sendo possível distinguir entre uma contaminação humana ou animal. Os coliformes fecais têm um comportamento semelhante às bactérias patogénicas sendo por isso bons indicadores para este grupo.

### C. Streptococos fecais

Este é outro grupo de bactérias presentes nas matérias fecais dos organismos de sangue quente. A maior parte dos organismos, anteriormente designados por Streptococos fecais, foram transferidos para o género *Enterococcus*. Este grupo de organismos é caracterizado por crescer a 45 °C, na presença de 40 % de sais biliares e concentrações de sódio de 6.5 %, que são inibidores dos organismos coliformes e da maior parte das bactérias. Neste grupo estão incluídos, por exemplo, *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. avium*, *E. durans*, *E. gallinarum*. O *Streptococcus bovis* continua colocado no género *Streptococcus*, e tem sido estudado como um eventual novo indicador, pois a sua presença indicaria uma contaminação fecal proveniente de animais.

Estes indicadores podem sobreviver mais tempo no ambiente marinho e nas águas sujeitas a tratamento.

De acordo com Mendes & Oliveira (2004), a actual legislação, relativa à qualidade de água para consumo humano apresenta alterações relativamente à legislação anterior, na medida em que modificou os indicadores microbiológicos, passando estes a ser:

- 1) *Escherichia coli* (substitui o parâmetro "coliformes fecais", pela especificidade da presença deste microrganismo no intestino humano);
- 2) Streptococos fecais
- 3) Clostrídios sulfito-redutores

O parâmetro "coliformes totais" é considerado apenas como indicador de poluição, não sendo obrigatoriamente determinado.

No entanto, no que diz respeito a águas destinadas à rega, os microrganismos indicadores de poluição fecal continuam a ser os clássicos.

Existem outros grupos de organismos indicadores de contaminação fecal e outros eventualmente promissores, como é o caso da bactéria *Mycobacterium fortuitum* e a levedura *Candida parapsilopsis*, presentes nas fezes humanas e nas águas residuais e com elevada resistência ao cloro. Os outros microrganismos que, actualmente, começam a ser utilizados são: *Bifidobacterium*, *Pseudomonas*

*aeruginosa*, *Candida parapsilosis*, *Candida krusei*, *Mycobacterium fortuitum*, *Mycobacterium phlei*, *Rhodotorula smegmatis*, *Rhodotorula rubra* e *Trichosporum fermentans* (Mendes & Oliveira, 2004).

#### **4.3. Objectivo**

Com o objectivo de caracterizar preliminarmente alguns recursos hídricos da ilha, quanto a alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos, foram recolhidas amostras de águas de 4 barragens, de um ribeiro e também de uma das fontes existentes na ilha para consumo humano. Os valores determinados experimentalmente foram comparados com os valores máximos recomendados (VMR) e valores máximos admitidos (VMA) para águas destinadas à rega (Decreto-Lei n.º 236/98), e para águas destinadas a consumo humano (Decreto-Lei n.º 243/2001).

#### 4.4. Material e métodos

##### 4.4.1. Recolha das amostras de água

As amostras de água foram recolhidas e armazenadas em frascos de plástico esterilizados, com a capacidade de 1.5 dm<sup>3</sup>.

Os locais de recolha e respectiva designação estão representados na tabela 23 e na figura 48.

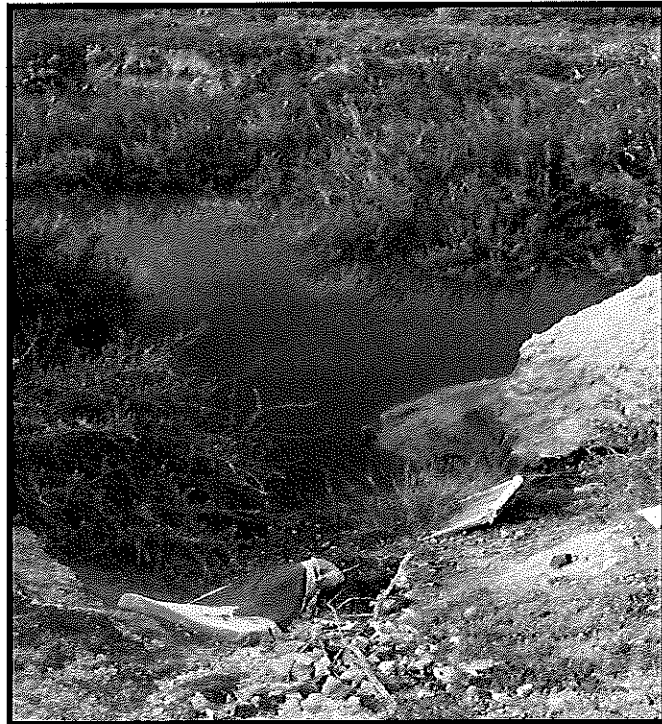
**Tabela 23:** Locais de recolha e respectiva identificação das amostras de água da ilha de Porto Santo.

Amostra	Local da recolha
A	Albufeira da barragem das Lapeiras
B	Ribeiro Salgado
C	Barragem do Tanque
D	Fonte da areia
E	Barragem da Serra de Dentro
F	Barragem da Serra de Dentro

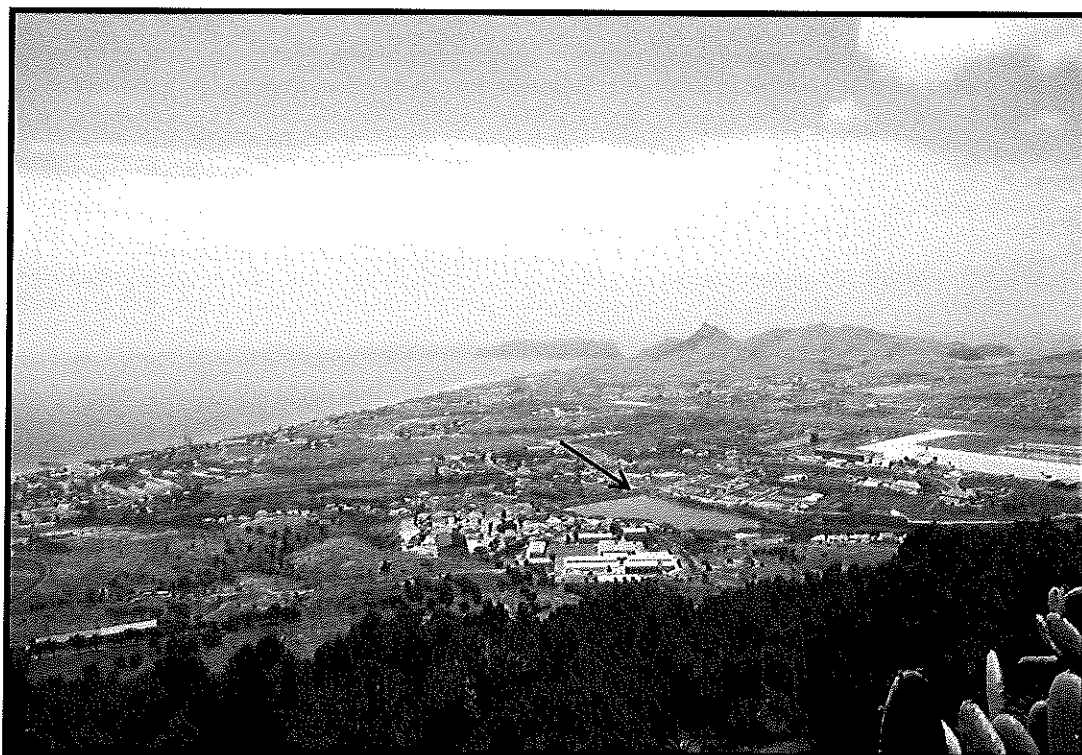




**Figura 49:** Local de recolha da amostra de água **A** - Barragem das Lapeiras.



**Figura 50:** Local de recolha da amostra de água **B** - Ribeiro Salgado.



**Figura 51:** Local de recolha da amostra de água **C** - Barragem do Tanque.



**Figura 52:** Local de recolha da amostra de água **D** - Fonte da Areia.



**Figura 53:** Local de recolha das amostras de água E e F - Barragens da Serra de Dentro.

#### **4.4.2. Métodos usados na determinação das propriedades físico-químicas das amostras de água**

##### **4.4.2.1. Determinação da condutividade**

A condutividade das amostras de água foi determinada de acordo com o seguinte método:

##### **Determinação da condutividade**

- 1.** Calibrou-se um condutímetro V1R2, IVYMEN CD 2002, usando soluções padrão de cloreto de potássio, à temperatura de 20 °C.
- 2.** Mergulhou-se o sensor do condutímetro nas amostras de água e esperou-se que fosse atingido equilíbrio, após o qual se leu o valor medido. Entre as medições nas várias amostras, o sensor foi lavado com água bidestilada.
- 3.** Repetiu-se a determinação das condutividades do padrão e das amostras, até se obterem três resultados concordantes.

#### 4.4.2.2. Determinação do pH

A medição do pH é um dos mais importantes e frequentes testes usados no estudo da química de uma água e foi efectuada de seguinte forma:

##### Determinação do pH das amostras de água

1. O pHmetro WTW, pH 526 ligado a um eléctrodo de vidro foi previamente calibrado com soluções tampão de pH = 4.00 e pH = 7.00.
2. Mediram-se os valores de pH das soluções, por imersão do eléctrodo de vidro, nas amostras de água a estudar, à temperatura de 25 °C. Entre cada determinação e a seguinte, o eléctrodo foi lavado com água duplamente destilada.

#### 4.4.2.3. Determinação do teor em cloretos

O método utilizado na determinação de cloretos para as amostras de águas segue o procedimento usado e já descrito para a análise dos cloretos nas amostras de solos.

##### Determinação de teor em cloretos - Método de Mohr

1. Pipetaram-se 50.00 cm<sup>3</sup> das amostras de água a analisar para matrizes de 150 cm<sup>3</sup>.
2. A cada um dos matrizes adicionou-se um volume de 5 cm<sup>3</sup> de uma solução a 8 % de cromato de potássio, K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>, que funciona como indicador do ponto final da titulação.
3. Titulou-se cada amostra assim preparada com uma solução padrão de nitrato de prata, AgNO<sub>3</sub>, 0.1000 mol.dm<sup>-3</sup>, até ao aparecimento da primeira cor avermelhada (precipitado) persistente à agitação, anotando-se o volume, em cm<sup>3</sup>, gasto (V<sub>1</sub>).
4. Repetiu-se o procedimento, para cada amostra, até valores concordantes.
5. Calculou-se a concentração mássica (em g/dm<sup>3</sup>) de cloretos nas águas segundo a expressão:

$$C(\text{Cloretos}) = 0.0709 \times V_1$$

6. Calculou-se a concentração em gramas de cloreto de sódio por litro usando a expressão:

$$C(\text{NaCl}) = C(\text{Cloretos}) \times 1.649$$

#### 4.4.2.4. Determinação do teor em nitratos

A determinação do teor em nitratos nas amostras de água analisadas foi efectuada por electrometria, usando um eléctrodo selectivo de nitratos.



### Determinação do Teor em Nitratos

1. Preparou-se um conjunto de soluções de nitrato de potássio de concentração conhecida, que serviu como padrão, abarcando uma gama de concentrações variando entre 1 mg/dm<sup>3</sup> e 1000 mg/dm<sup>3</sup>.
2. Determinou-se o potencial de resposta de um eléctrodo selectivo a nitratos (NO501 da WTW) para a série de soluções padrão de nitrato de potássio preparadas.
3. Elaborou-se o gráfico de calibração e calculou-se a correlação linear entre os valores obtidos e as respectivas concentrações.
4. Repetiram-se as medições para volumes de 30 cm<sup>3</sup> de cada amostra de água.
5. Determinaram-se os valores correspondentes às respostas do eléctrodo selectivo, por interpolação no gráfico de calibração.
6. Repetiram-se as medições de forma a obter resultados concordantes.

#### 4.4.2.5. Determinação do conteúdo elemental

Com o fim de quantificar o teor em sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre, manganésio, molibdénio, fósforo e boro, presentes nas amostras de água, analisaram-se volumes de 50 cm<sup>3</sup>, de cada uma das amostras recolhidas, por ICPS. As curvas padrão e o limite de detecção para os vários elementos, assim como outras características desta análise, encontram-se descritos no Capítulo 2. A pré-preparação consistiu simplesmente na filtração das amostras.

#### 4.4.3. Métodos usados na determinação das propriedades microbiológicas das amostras de água

##### 4.4.3.1. Meios de cultura

A composição dos meios de cultura é apresentada na Tabela 24 para volumes de 1 dm<sup>3</sup>. Todos os meios de cultura foram esterilizados em autoclave a 121 °C durante 15 minutos, logo após a preparação, e arrefecidos posteriormente numa estufa a 45 °C.

**Tabela 24:** Composição dos meios de cultura para Coliformes fecais, Coliformes totais e *Streptococos* fecais.

<b>Bactérias</b>			
<b>Designação</b>	<b>m-FC – Coliformes fecais</b>	<b>m-Endo – Coliformes totais</b>	<b>m-KF – <i>Streptococos</i> fecais</b>
<b>Composição</b>	Triptose, 10.0 g; peptona proteose, 5.0 g; cloreto de sódio, 5.0 g; lactose, 12.5 g; sais biliares, 1.5 g; anilina azul, 0.1 g; extrato de levedura, 3.0 g; agar, 20.0 g. (pH = 7.2 ± 0.2 a 25 °C.)	Triptose, 10.0 g; tiopeptona, 5.0 g; casitona, 5.0 g; extracto de levedura, 1.5 g; lactose, 12.5 g; cloreto de sódio, 5.0 g; fosfato dipotássico, 4.4 g; fosfato monopotássico, 1.4 g; sulfato de sódio; 0.035 g; sulfito de sódio; 2.1 g; desoxicolato de sódio, 0.1 g; fuccina básica, 1.05 g; agar, 20.0 g. (pH = 7.2 ± 0.2 a 25 °C.)	Polipeptona, 10.0 g; extracto de levedura, 10.0 g; cloreto de sódio; glicerofosfato de sódio, 10.0 g; maltose, 20.0 g; lactose, 1.0 g; azida sódica, 0.4 g; púrpura de bromocresol, 0.015 g; agar, 20.0 g. (pH = 7.2 ± 0.2 a 25 °C.)

Na contagem, isolamento e crescimento de bactérias saprófitas foi utilizado o meio PCA, cuja composição e a respectiva preparação se encontra descrita no ponto 3.3.2.1..

#### **4.4.3.2. Quantificação e isolamento de efectivos bacterianos indicadores de poluição fecal**

As análises das amostras de água recolhidas foram realizadas por um método padronizado para detecção de contaminação fecal - a técnica de filtração por membrana. Este método é baseado na passagem de uma amostra de água através de uma membrana na qual ficam retidas as bactérias. A membrana é depois transferida para um meio de cultura específico para a detecção/quantificação de coliformes totais, coliformes fecais e *streptococos* fecais, procedendo-se, em seguida à sua incubação. A contagem é indirecta, efectuando-se a contagem de UFC. Utilizaram-se placas esterilizadas com o tamanho adequado para a acomodação das culturas e do disco de filtração.

### Técnica da filtração por membrana

1. Distribuíram-se os meios de cultura por placas com cerca de 6 cm de diâmetro (aproximadamente 6 cm<sup>3</sup> de meio por placa). Prepararam-se três réplicas para cada amostra.
2. Colocaram-se as membranas sobre as redes metálicas dos funis de filtração, previamente ligados ao equipamento de vácuo.
3. Iniciaram-se as filtrações pelas de menor concentração, por forma a poder reutilizar o mesmo suporte e funil de filtração.
4. Transferiram-se para os funis 10.00 cm<sup>3</sup> das amostras com pipetas esterilizadas.
5. Ligou-se a bomba de vácuo e deixaram-se prosseguir as filtrações até que a superfície das membranas ficasse seca. Desligou-se a bomba de vácuo e eliminou-se a pressão.
6. Retiraram-se as membranas dos funis de filtração e colocaram-se sobre as respectivas placas.
7. Lavaram-se as paredes dos funis, entre cada filtração, com água esterilizada.
8. Incubaram-se as placas com meio m-Endo a 35 °C durante 24 horas, as placas com meio m-KF à mesma temperatura, mas durante 48 horas e as placas com meio m-FC a 44.5 ± 0.5 °C durante 24 horas.
9. Para cada trio de placas, de cada volume e de cada meio, colocaram-se nas redes metálicas dos funis de filtração novas membranas, realizando este procedimento com uma pinça passada por álcool e pela chama.
10. Após o tempo decorrido, com o auxílio de uma lupa, efectuou-se a contagem das colónias.

Para se proceder à identificação das bactérias saprófitas foram realizadas diluições de "10<sup>-2</sup>" e de "10<sup>-3</sup>" das amostras de água para se proceder depois ao seu isolamento e posterior identificação com os sistemas API® e Vitek®.

#### 4.4. Resultados e discussão

##### 4.4.1. Caracterização físico-química das amostras de água

Os valores de condutividade determinados nas amostras de águas analisadas estão representados na Tabela 25.

**Tabela 25:** Condutividades e respectivos desvios médios das amostras de água analisadas (n=3). Os valores obtidos diferem significativamente para um  $P < 0.05$  (one-way ANOVA).

Amostra	Condutividade (mS/cm)
A	0.81 (0.05)
B	5.72 (0.08)
C	8.20 (0.02)
D	1.64 (0.03)
E	2.62 (0.02)
F	2.14 (0.04)

As condutividades das amostras de águas analisadas variam entre 0.81 (amostra A) e 5.72 mS/cm (amostra B). De notar que o valor mais elevado da condutividade é aproximadamente o dobro do segundo valor mais elevado. A condutividade eléctrica de uma água é a medida da capacidade que essa água possui para conduzir a corrente eléctrica e o seu valor pode ser considerado como um indicador da quantidade total de iões presentes numa água, ou seja, do seu grau de mineralização. A condutividade apresentada pelas amostras, à excepção da amostra A, é bastante elevada para águas de rega relativamente ao valor máximo recomendado, que é de 1 mS/cm (Decreto-lei 236/98). A amostra D, por exemplo, possui um valor cerca de quatro vezes superior ao valor máximo recomendado para águas de consumo humano (0.4 mS/cm) (Decreto-lei 243/01).

A constatação das elevadas condutividades observadas não deixa de ser esperada para um sistema como o que se encontra em estudo - uma ilha marítima - em que o próprio regime de ventos transporta a brisa marítima carregada de sais para terra, de onde estes só são retirados por arrastamento, dissolvidos nas águas da chuva. Se estas são represadas, verifica-se, naturalmente, uma concentração de sais que origina um aumento da condutividade eléctrica. No entanto, o recurso a este tipo de águas com condutividades muito elevadas para uso agrícolas, pode levar a um processo de salinização e de desfloculação de argilas.

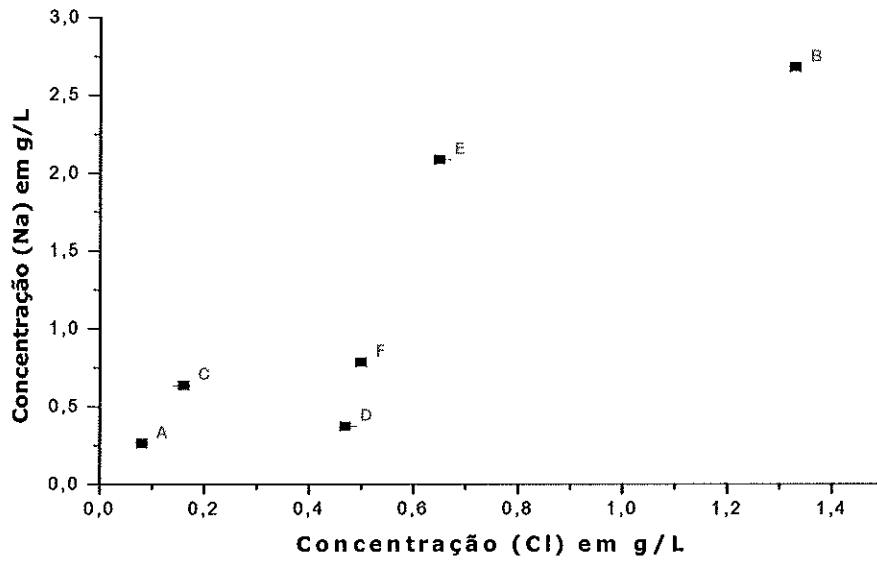
Quanto ao cloreto, sabe-se que este é um dos iões mais abundantes na Natureza, especialmente na água do mar. Contudo, a sua concentração é variável nas águas terrestres superficiais. O seu teor nas amostras de água recolhidas varia entre 0.08 g/dm<sup>3</sup> (amostra A) e 1.33 g/dm<sup>3</sup> (amostra B).

**Tabela 26:** Teores em cloretos e respectivos desvios médios das amostras de água analisadas (n=3). Os valores obtidos diferem significativamente para um P<0.05 (one-way ANOVA).

Amostra	Teor em cloretos g/dm <sup>3</sup>
A	0.08 (0.01)
B	1.33 (0.01)
C	0.16 (0.01)
D	0.47 (0.01)
E	0.65 (0.01)
F	0.50 (0.01)

O teor em cloretos, de acordo com o decreto-lei n.º 236/98 não pode ultrapassar o valor 0.07 g/dm<sup>3</sup>, o que significa que todas as amostras estão acima destes valores, o que as torna impróprias para a rega. A amostra D encontra-se também acima do valor 0.25 g/dm<sup>3</sup> estipulado pelo decreto-lei n.º 243/01. A amostra B (Ribeiro Salgado) possui um valor particularmente elevado, o que poderá indicar também uma poluição por parte de efluentes urbanos (Mendes & Oliveira, 2004). Este resultado era de certa forma esperado, pois o local de amostragem era visivelmente poluído.

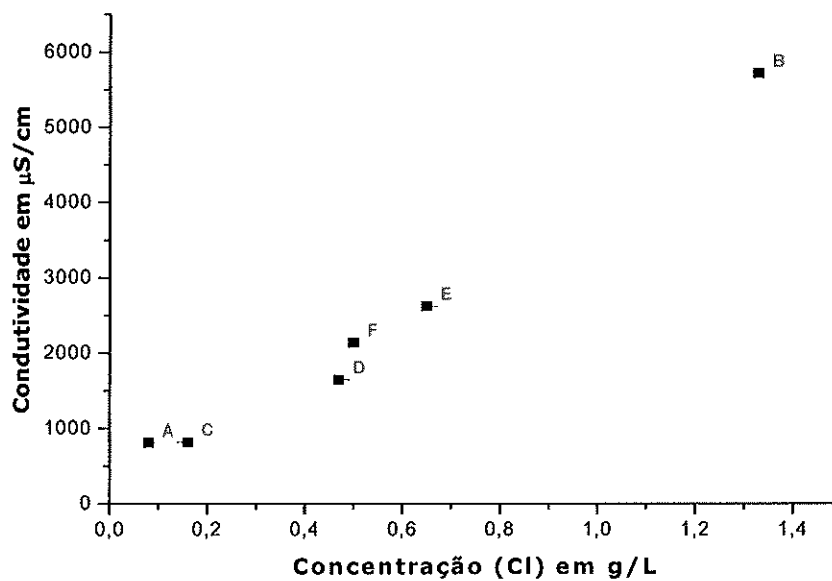
Sabe-se que gotículas de água do mar se dispersam pelo ar, e depois pela água e solos. Estando em análise as águas de uma ilha, é de supor que a maior parte deste cloreto esteja sob a forma de cloreto de sódio (facto já analisado e referido no capítulo II). Esta premissa pode ser comprovada na Figura 54.



**Figura 54:** Correlação entre a concentração mássica de sódio (por ICPS) e a concentração mássica em cloretos (por volumetria).

Verifica-se uma correlação entre as concentrações mássicas de cloreto e de sódio ( $r=0.887$ ), sendo o declive de 0.516, o que é razoavelmente próximo (79.5 %) do valor esperado do quociente entre as massas molares do sódio e do cloro, para uma estequiometria de 1:1, calculado como 0.649.

O teor em cloretos é também o principal responsável pela condutividade demonstrada pelas amostras, como se pode verificar na Figura 55.



**Figura 55:** Correlação entre a condutividade e a concentração em cloretos (por volumetria).

Na Figura 55, observa-se uma correlação evidente ( $r = 0.990$ ) entre a condutividade eléctrica e a concentração em cloretos, o que aponta para que o sal maioritariamente responsável pela condutividade seja um cloreto, presumivelmente o cloreto de sódio.

No que diz respeito ao pH, os valores obtidos para as amostras de águas indicam que todas as amostras de água analisadas apresentam carácter básico, variando entre 7.55 (amostra A) e 8.65 (amostras B e E) como pode ser verificado na Tabela 27.

**Tabela 27:** Valores de pH e respectivos desvios médios das amostras de água analisadas ( $n=3$ ). Os valores obtidos diferem significativamente para um  $P < 0.05$  (one-way ANOVA).

Amostra	pH
A	7.55 (0.03)
B	8.65 (0.01)
C	8.33 (0.02)
D	8.00 (0.03)
E	8.65 (0.01)
F	8.06 (0.03)

O carácter químico, invariavelmente básico, das amostras de água está de acordo com o carácter químico determinado para as amostras de solos, o que corrobora o facto do pH de uma água ser muito influenciado pela natureza dos terrenos atravessados (Mendes & Oliveira, 2004). De acordo com o decreto lei n.º 236/98, os valores de pH determinados nas águas (A, C e F) encontram-se abaixo dos valores recomendados para águas de rega (intervalo de 6.5 a 8.4) e os valores das águas B e E afastam-se ligeiramente, mas estão dentro do valores admitidos para águas de rega (intervalo de 4.5 a 9.0). A amostra D está, segundo o decreto-lei n.º 243/2001, dentro dos valores paramétricos aceitáveis para águas de consumo humano (intervalo de 6.5 a 9.0).

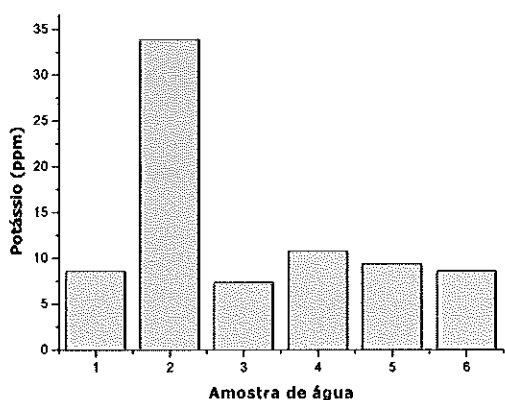
Quanto ao teor em nitratos, os valores determinados nas amostras analisadas estão representados na Tabela 28.

**Tabela 28:** Teores em nitratos e respectivos desvios médios das amostras de água analisadas (n=3). Os valores obtidos diferem significativamente para um  $P < 0.05$  (one-way ANOVA).

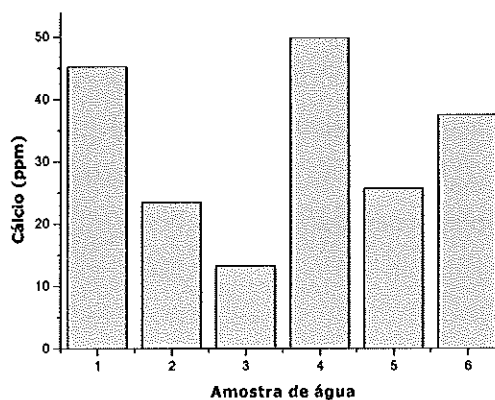
Amostra	Teor em nitratos (mg/dm <sup>3</sup> )
A	0.66 (0.04)
B	18.3 (0.10)
C	0.62 (0.06)
D	0.57 (0.08)
E	0.53 (0.09)
F	0.59 (0.06)

A concentração dos iões nitrato varia entre 0.53 mg/dm<sup>3</sup> (amostra E) e 18.3 mg/dm<sup>3</sup> (amostra B), existindo um valor que sai consideravelmente do normal: o referente à amostra B, correspondente ao Ribeiro Salgado. Os teores dos nitratos nas águas superficiais aumentam muito em função da utilização de adubos azotados, nos terrenos por onde as águas pluviais atravessam e também de efluentes domésticos aí depositados, o que pode justificar a presença de um teor tão elevado nesta amostra. Contudo, os valores obtidos estão todos abaixo do valor máximo recomendado para águas de rega (que é 50 mg/dm<sup>3</sup>). A amostra D possui um teor muito inferior àquele definido como valor máximo recomendado (que é 25 mg/dm<sup>3</sup>) e o valor máximo admitido (que é 50 mg/dm<sup>3</sup>) para consumo humano.

Relativamente ao conteúdo elementar inorgânico, os seus teores nas amostras analisadas encontram-se representadas nas figuras seguintes.

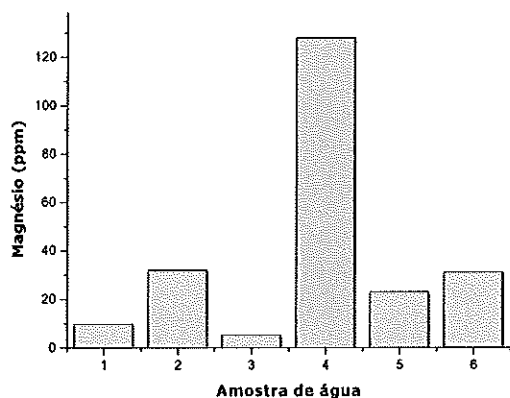


**Figura 56:** Teor em potássio nas amostras de água.

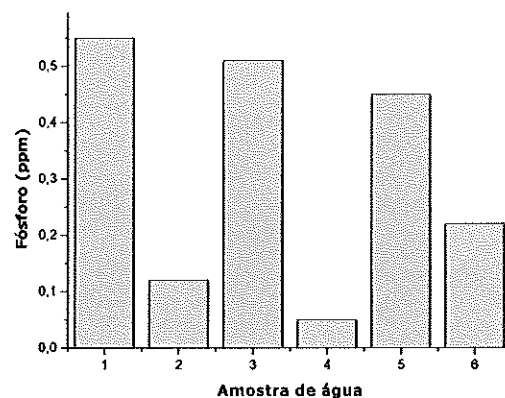


**Figura 57:** Teor em cálcio nas amostras de água.

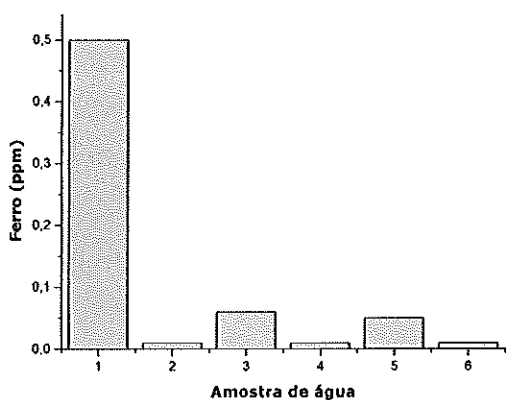




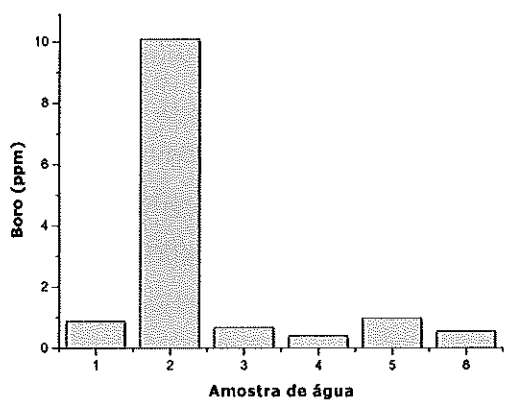
**Figura 58:** Teor em magnésio nas amostras de água.



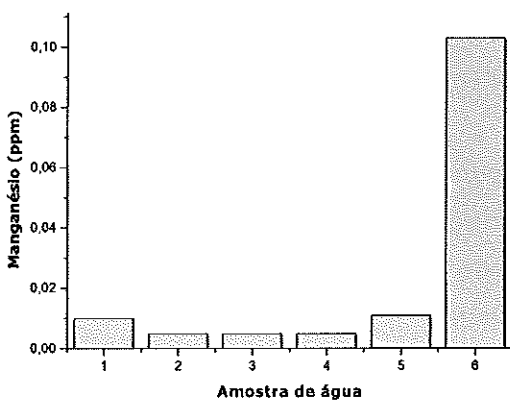
**Figura 59:** Teor em fósforo nas amostras de água.



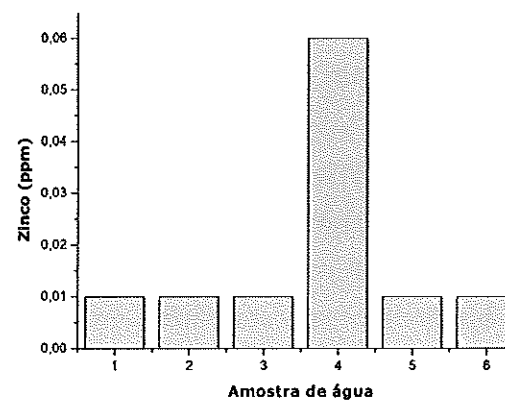
**Figura 60:** Teor em ferro nas amostras de água.



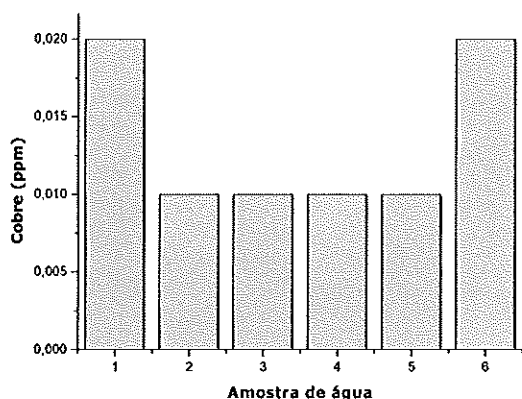
**Figura 61:** Teor em boro nas amostras de água.



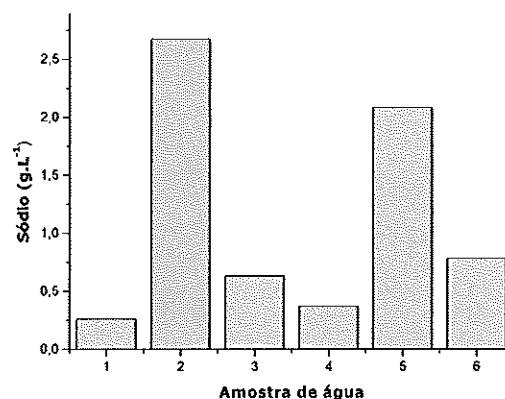
**Figura 62:** Teor em manganésio nas amostras de água.



**Figura 63:** Teor em zinco nas amostras de água.



**Figura 64:** Teor em cobre nas amostras de água.



**Figura 65:** Teor em sódio nas amostras de água.

A amostra de água A, é das que apresenta maiores teores relativos em fósforo (0.55 ppm), ferro (0.50 ppm), cobre (0.02 ppm) e cálcio (45.3 ppm). Já para a amostra B, verifica-se a presença de elevados teores relativos em boro (10.1 ppm), potássio (33.9 ppm) e sódio (2.678 g/dm<sup>3</sup>). A amostra C é a menos mineralizada, apresentando apenas elevado teor relativo em fósforo (0.51 ppm). Para a amostra D, verificam-se os maiores teores relativos em zinco (0.06 ppm), magnésio (128 ppm) e cálcio (49.9 ppm). No caso da amostra E, os maiores teores relativos encontrados são os de fósforo (0.45 ppm) e sódio (2.085 g/dm<sup>3</sup>). Por último, a amostra F apresenta elevados teores em manganésio (0.103 ppm), cobre (0.02 ppm) e cálcio (37.5 ppm).

No que diz respeito ao teor em potássio, o decreto-lei n.º 238/98 não define limites para a sua presença. No que diz respeito à legislação para consumo humano ela define um VMR igual a 10 mg/dm<sup>3</sup> e um VMA igual a 12 mg/dm<sup>3</sup>. Deste modo, a amostra D (10.8 ppm) encontra-se entre estes valores, cujos limites tendem a ser eliminados da legislação (Mendes & Oliveira, 2004). A amostra B apresenta os maiores valores quanto a este parâmetro, o que provavelmente estará relacionado com a poluição que aí se verifica.

As normas para consumo humano não indicam nenhum VMA para o cálcio, pela dependência que este se encontra de outros factores, mas apenas um VMR que é 100 mg/dm<sup>3</sup>, valor muito acima daquele encontrado para a amostra D. No que diz respeito às águas de rega, este parâmetro não é avaliado.

O decreto-lei n.º 243/2001 eliminou o magnésio dos parâmetros determinados para consumo humano. Para águas de rega este parâmetro não é directamente avaliado, estando subjacente à determinação da condutividade. As águas naturais

possuem teores em magnésio que podem variar entre 5 e 10 mg/dm<sup>3</sup>. As amostras A e C são aquelas cujos teores estão entre estes valores. Pelo contrário as restantes possuem teores bastantes mais elevados, o que poderá estar relacionado, entre outros factores, com a natureza dos solos por onde passam.

No actual decreto que regula os valores limites para as águas de consumo humano, o valor do fósforo foi eliminado daqueles utilizados para controlo da qualidade da água, pois outros parâmetros o controlam indirectamente. A antiga legislação definia o VMA igual a 5.0 mg/dm<sup>3</sup>, valor muito superior ao determinado na amostra D. O decreto-lei n.º 236/98 não define valores para este elemento. No entanto, sabe-se que valores acima dos 0.2 mg/dm<sup>3</sup>, situação em que se encontram as amostras A, C, E e F, pode implicar riscos de eutrofização. Isto pode promover a degradação de todo o sistema aquático o que pode comprometer a sua utilização para a rega (Mendes & Oliveira, 2004).

No que diz respeito ao elemento ferro, os teores determinados estão abaixo do VMR para água de rega. O ferro, na nova directiva, é considerado parâmetro indicador e o seu valor paramétrico está definido nos 0.2 ppm. Este valor está acima daquele determinado na amostra D (< 0.01 ppm).

O teor em boro está em todas as amostras abaixo do VMR e VMA para águas de rega e a amostra D está dentro dos valores definidos pelo decreto-lei nº 243/2001.

Segundo o decreto n.º 236/98, as amostras A, C, E e F possuem teores acima do VMR, mas abaixo do VMA. A amostra B ultrapassa o VMA, não devendo ser utilizada para rega. A amostra D, segundo o decreto-lei n.º 243/2001, está abaixo do valor paramétrico imposto que é de 1.0 ppm, sendo este um parâmetro de determinação obrigatório.

O elemento manganésio possui, na nova directiva, como valor paramétrico 50 µg/L, valor acima do encontrado na amostra D. No que diz respeito aos valores das águas de rega.

No caso particular da amostra D - correspondente à Fonte da Areia - verifica-se que o elemento cuja quantidade máxima admitida é ultrapassada é o magnésio e o elemento cuja quantidade máxima recomendada é ultrapassada é o sódio.

No que diz respeito ao parâmetro zinco, todas as amostras possuem teores abaixo dos VMR e VMA para águas de rega. A amostra D encontra-se também abaixo do valor definido no decreto-lei n.º 236/98, embora o actual decreto-lei o tenha eliminado a sua determinação.

Os valores de cobre determinados estão abaixo do VMR e VMA para águas de rega. A amostra D encontra-se igualmente abaixo do valor paramétrico definido para águas de consumo humano.

#### 4.4.2. Caracterização microbiológica das amostras de água

Os resultados microbiológicos obtidos para as amostras de água encontram-se nas tabelas 29 e 30.

**Tabela 29:** Valores médios de UFC/100 cm<sup>3</sup> de Coliformes totais, Streptococos fecais e Coliformes fecais nas amostras de água analisadas (n=3).

Amostra de água	Coliformes totais	Streptococos fecais	Coliformes fecais
<b>A</b>	0	Incontável	0
<b>B</b>	Incontável	108	0
<b>C</b>	Incontável	132	0
<b>D</b>	24	0	0
<b>E</b>	Incontável	6	0
<b>F</b>	Incontável	180	0

**Tabela 30:** Bactérias saprófitas identificadas nas amostras de água analisadas.

Amostra de água	Bactéria identificada	% certeza na identificação
<b>A</b>	<i>Corynebacterium sp.</i>	95.3
<b>B</b>	<i>Escherichia coli</i>	96.8
	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	93
<b>C</b>	<i>Escherichia coli</i>	95.5
	<i>Enterobacter cloacae</i>	99
<b>D</b>	<i>Escherichia coli</i>	99
	<i>Enterobacter cloacae</i>	99
<b>E</b>	<i>Escherichia coli</i>	98
	<i>Enterobacter cloacae</i>	96
<b>F</b>	<i>Staphilococcus aureus</i>	86.9

Na legislação relativa às águas que poderão ser utilizadas na rega, apenas a presença de coliformes fecais está limitada por legislação, e torna uma água

inaceitável para este fim se ultrapassar um VMR de 100 por 100 cm<sup>3</sup>. Deste modo, todas as amostras são aceitáveis, em termos microbiológicos, para este fim.

A bactéria *Escherichia coli* (*E. coli*) é um organismo de origem fecal e constitui neste momento, como foi referido, um dos indicadores de poluição ambiental. O valor paramétrico fixado para águas de consumo humano é 0 (Decreto-lei nº 243/2001), o que potencia a exclusão da amostra D apenas com a análise deste parâmetro microbiológico. Apesar de na análise da amostra por membranas filtrantes, o valor dos coliformes fecais ter sido nulo, a sua presença foi detectada na pesquisa de bactérias saprófitas. É de salientar, com preocupação, a sua presença nesta amostra - correspondente à Fonte da Areia - pois encontra-se num local muito frequentado pela população local e por turistas, e é possível usufruir dela livremente. A *E. coli*, enquanto organismo patogénico, é responsável pela produção de toxinas que podem originar diarreias, encontrando-se ligada a infecções extra intestinais e intestinais (Mendes & Oliveira, 2004).

Os estreptococos usualmente surgem numa amostra de água simultaneamente com o grupo dos coliformes fecais. No entanto, Mendes & Oliveira (2004) referem que, em estudos realizados, foram encontrados em amostras de água teores elevados de estreptococos fecais, apesar de não se encontrarem poluídas por coliformes fecais. Este facto parece acontecer igualmente neste estudo, podendo ser devido à resistência vegetativa muito desenvolvida destas bactérias a condições desfavoráveis do meio, nomeadamente a ambientes salinos (o que caracteriza todas as amostras de água analisadas).

A presença de *Staphylococcus aureus* na amostra F (Barragem da Serra de Dentro) indica contaminação humana, pois é uma bactéria que faz parte da flora natural do Homem, incluindo a pele e também o intestino grosso. Estas bactérias são nutritivamente pouco exigentes e são conhecidas por tolerar um elevado teor de NaCl, o que lhes facilita a sobrevivência nas amostras em que forma encontradas (Ferreira & Sousa, 1998). A bactéria *Pseudomonas stutzeri*, encontrada na amostra B, tem como um dos seus habitats comuns a água. É uma bactéria desnitrificante isolada de ambientes marinhos e também em solos (Grutzig *et al.*, 2001).

A presença de enterococos (*Enterobacter cloacae*) nas amostras C, D e E também é indicativa de contaminação fecal. O valor paramétrico fixado para águas de consumo humano é 0, o que reforça o carácter impróprio da amostra D para este fim. Esta é uma bactéria que frequentemente causa infecções humanas, especialmente em ambiente hospitalar (Ferreira & Sousa, 2000).



## **CAPÍTULO 5.**

**CONTEÚDO HÍDRICO, ELEMENTAL E TEOR EM MATÉRIA ORGÂNICA DE  
*Tamarix gallica* E *Pinus halepensis***





## **5. DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO HÍDRICO, ELEMENTAL E TEOR EM MATÉRIA ORGÂNICA DE *Tamarix gallica* E *Pinus halepensis***

Como foi já referido no Capítulo 1, o coberto vegetal da ilha de Porto Santo foi, ao longo dos séculos, sendo destruído pelas populações que foram sucessivamente habitando a ilha. Actualmente têm surgido esforços na sua reflorestação, estando esta, no entanto, para já, restringida a apenas alguns pontos da ilha (Figura 6, Capítulo I). O repovoamento tem sido feito com o recurso a várias espécies exóticas, como por exemplo o pinheiro-de-Alepo (*Pinus halepensis* Mill.), comum nas áreas onde foram recolhidas as amostras de água analisadas no presente trabalho. O *Pinus halepensis* é uma das espécies de *Pinus* mais amplamente distribuída na região mediterrânea. A sua altura chega, em média, aos 15 m, podendo mesmo atingir alturas superiores (Phillips, 1978). Esta espécie parece ser uma boa escolha para a reflorestação da ilha, uma vez que é uma espécie resistente à secura e tem sido frequentemente plantada em solos calcários e semi-áridos para evitar a erosão dos solos (Humphries *et al.*, 1996) e em muitos projectos de reflorestação (Maestre *et al.*, 2002).

Para além desta espécie, a tamargueira (*Tamarix gallica* L.) é uma espécie muito comum na ilha, sendo classificada pelo P.D.M. de Porto Santo (1995) como pertencendo à categoria de vegetação actual, ou seja, aquela que se instalou na ilha sem intervenção directa por parte do homem. No entanto Pereira (1989) refere esta espécie como tendo sido introduzida em 1834. Esta espécie é usualmente encontrada na ilha, próximo de locais húmidos, quer das ribeiras, quer do mar. Por este facto foi a espécie mais frequentemente encontrada nos locais de recolha das amostras de água. Esta árvore suporta climas muito variados e é indicada para zonas próximas do mar, inclusivamente na primeira linha, pois tolera muito bem os ambientes salinos (Busch & Smith, 1993). O género *Tamarix* é considerado um género do Velho Mundo que inclui

aproximadamente 54 espécies arbustivas e arbóreas, encontradas em habitats salgados, secos e ripários (Gaskin & Schall, 2002). O tipo de solo favorito desta espécie é pobre em húmus e de pH básico. É também uma espécie muito resistente a ambientes urbanos poluídos (*in* [www.arborium.net](http://www.arborium.net)) e foi já plantada como controladora de erosão (Allred, 2002). No entanto, como possui um sistema extenso de raízes, usa uma quantidade elevada de água contribuindo para uma secura acrescida das ribeiras nas margens das quais é frequentemente encontrada. O seu género é considerado o consumidor de água mais intenso de todas as freófitas (Gay *et al.*, 1976). Allred (2002) refere as espécies pertencendo a este género como invasoras agressivas.

### **5.1. Objectivo**

O objectivo deste trabalho foi caracterizar amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis*, espécies vegetais de porte arbóreo dominantes nos pontos de recolha das amostras de água analisadas, quanto ao seu conteúdo elemental e hídrico e teor em matéria orgânica.

## 5.2. Material e métodos

### 5.2.1. Recolha e preparação das amostras de plantas

Procedeu-se a cortes de ramos terminais de *Pinus halepensis* e *Tamarix gallica*, de forma a obter amostras representativas das folhas de espécies arbóreas dominantes nos pontos de recolha das amostras de água (referidos no capítulo IV), tendo por isso as seguintes designações: T<sub>A</sub>, T<sub>B</sub>, T<sub>C</sub>, T<sub>D</sub>, P<sub>E</sub> e T<sub>F</sub>, correspondendo a letra T a *Tamarix gallica* e P a *Pinus halepensis* e as letras de A a F, os locais próximos de onde foram retiradas as amostras de água. Estas amostras foram, imediatamente após o corte, colocadas em sacos de plástico hermeticamente fechados, onde permaneceram até ao momento da análise.

A preparação das amostras incluiu a selecção das folhas e a sua lavagem com água desionizada com o intuito de eliminar poeiras acumuladas.

### 5.2.2. Métodos usados para a determinação das propriedades físico-químicas das amostras vegetais

#### 5.2.2.1. Determinação do conteúdo hídrico

A determinação do conteúdo hídrico das amostras das espécies vegetais foi efectuada por secagem, como se descreve de seguida:

#### Determinação do conteúdo hídrico

---

---

1. Procedeu-se à determinação da massa das amostras de folhas, previamente secas superficialmente e à temperatura ambiente, cortadas em pequenos pedaços ( $m_1$ ).
2. Colocaram-se as amostras assim preparadas, em cadinhos previamente pesados ( $m_2$ ).
3. Aqueceram-se os conjuntos cadinho e folhas, numa estufa a 105 °C, até massa constante (48 horas), tendo sido deixado este conjunto arrefecer num excicador.
4. Determinou-se a massa dos conjuntos das amostras de folhas secas e cadinho ( $m_3$ ).
5. Calculou-se o conteúdo hídrico das amostras segundo a equação:

$$\% \text{ conteúdo hídrico} = \frac{m_1 + m_2 - m_3}{m_1} \times 100$$

---

---

### 5.2.2.2. Determinação do teor em matéria orgânica

A determinação da matéria orgânica presente nas amostras das espécies vegetais foi efectuada por calcinação a 450 °C, das amostras secas a 105 °C.

#### Determinação do teor em matéria orgânica

---

---

1. Conhecida a massa do cadinho usado ( $m_1$ ) e do conjunto da amostra de matéria vegetal seca e cadinho ( $m_2$ ), procedeu-se à sua calcinação a 450 °C por um período de 16 horas.
2. Deixaram-se arrefecer em excicador e determinaram-se as massas dos cadinhos com as cinzas ( $m_3$ ).
3. Calcularam-se os teores em matéria orgânica das amostras segundo a equação:

$$\% \text{ matéria orgânica} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

4. Repetiu-se o procedimento duas vezes para cada amostra de espécie vegetal.
- 
- 

### 5.2.2.3. Determinação do conteúdo elemental

As cinzas resultantes da análise anterior foram caracterizadas quanto ao seu conteúdo elemental, de acordo com o protocolo de Evars & Bucking (1976) utilizado já na análise das amostras de solos (ponto 2.3.3.5.).

#### Conteúdo elemental

---

---

1. Adicionou-se 1.5 cm<sup>3</sup> de solução de ácido clorídrico 1:1 ao conteúdo de cada cadinho, contendo as cinzas resultantes da determinação do teor em matéria orgânica, aquecendo-se à ebulição, de modo a garantir a dissolução completa das cinzas.
  2. Repetiu-se a adição de 1.5 cm<sup>3</sup> da mesma solução de ácido clorídrico e levou-se de novo à ebulição.
  3. Adicionou-se, à solução resultante, um volume de 5 cm<sup>3</sup> de HCl a 5 %, mantendo-se o aquecimento durante cerca de 5 minutos.
  4. Filtrou-se a solução por papel de filtro Whatman n.º 1 para um kitasato de 100 cm<sup>3</sup> com auxílio de uma bomba de vácuo.
  5. Lavou-se cada cadinho e filtro com 22.5 cm<sup>3</sup> de HCl a 10 %, para garantir a transferência completa.
  6. Transferiu-se o filtrado para um balão volumétrico de 50.00 cm<sup>3</sup> perfazendo-se o volume com água desionizada.
  7. As soluções assim preparadas foram enviadas para análise por ICPS.
- 
-

### 5.3. Resultados e discussão

O conteúdo hídrico médio determinado nas amostras das espécies vegetais está representado na seguinte Tabela 31.

**Tabela 31:** Conteúdos hídricos respectivos desvios médios das amostras vegetais analisadas (n=3).

Amostra vegetal	% Conteúdo hídrico
T <sub>A</sub>	64 (1)
T <sub>B</sub>	63 (3)
T <sub>C</sub>	64 (2)
T <sub>D</sub>	67 (2)
P <sub>E</sub>	57 (1)
T <sub>F</sub>	71 (1)

Pode verificar-se que as amostras de *Tamarix gallica* apresentam conteúdos hídricos mais elevados (de 63 % a 71 %) que a amostra de *Pinus halepensis* (57 %), parecendo haver uma distinção entre as espécies quanto a este parâmetro. Estes resultados apoiam a observação de que este género faz um elevado aporte de água relativamente a outros géneros (Busch & Smith, 1995; Kennedy & Hobbie, 2004). Gay *et al.* (1976) considerou, como foi acima referido, que este género é o consumidor de água mais intenso de todas as freófitas. De facto, as *Tamarix gallica* foram encontradas fundamentalmente nas margens dos cursos de água temporários ou permanentes e, ao contrário, as *Pinus halepensis* encontraram-se em zonas mais secas. Apresentam, no entanto, valores de conteúdos hídricos superiores ao valor de 43 % encontrado por Anderson (1982) para uma espécie similar – *Tamarix chinensis*.

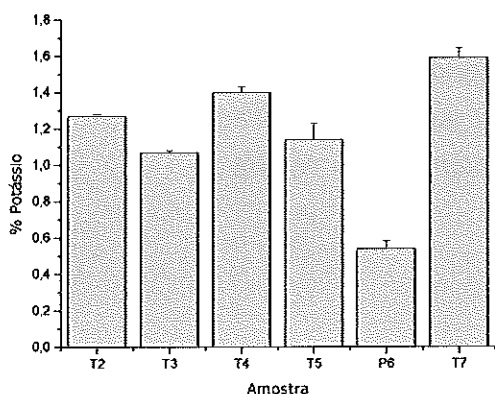
Relativamente à percentagem em matéria orgânica observaram-se diferenças nos seus teores entre as amostras de *Tamarix gallica* (de 25 % a 33 %) e a amostra de *Pinus halepensis* (40 %), como pode ser observado na Tabela 32.

**Tabela 32:** Percentagem e respectivos desvios médios da matéria orgânica das amostras vegetais analisadas (n=3).

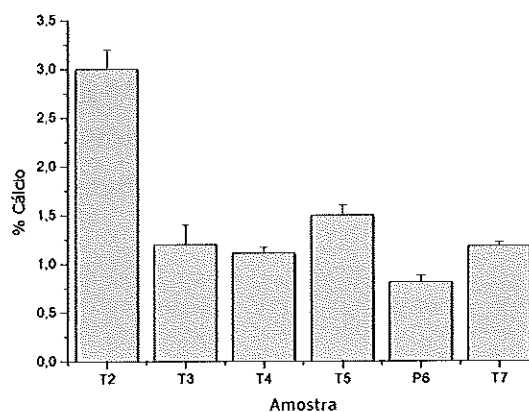
Amostra vegetal	% Matéria Orgânica
T <sub>A</sub>	29 (1)
T <sub>B</sub>	33 (3)
T <sub>C</sub>	32 (2)
T <sub>D</sub>	28 (2)
P <sub>E</sub>	40 (1)
T <sub>F</sub>	25 (1)

Verifica-se que as amostras de *Tamarix gallica* apresentam menor quantidade de matéria orgânica (em média 29 %) do que a amostra de *Pinus halepensis* (40 %).

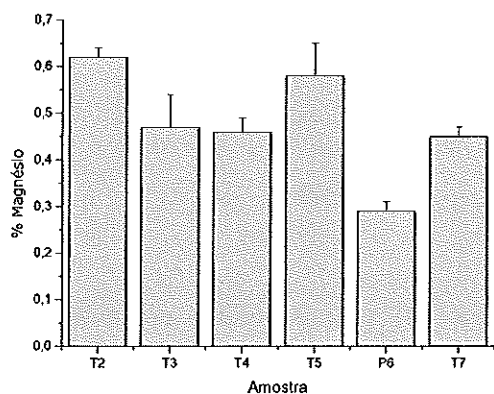
A quantidade de matéria inorgânica (tomada como o teor em cinzas encontrado) nas amostras de *Tamarix gallica* (em média 5 %) é mais elevado que na de *Pinus halepensis* (3 %) o que poderá indicar uma maior necessidade de nutrientes minerais por parte da primeira espécie. A análise elemental também indica que a amostra de *Pinus halepensis* apresenta menores teores de potássio, cálcio, magnésio, fósforo, sódio, zinco e cobre quando comparada com as amostras de *Tamarix gallica*. Os teores em macronutrientes e micronutrientes obtidos para as diferentes amostras de plantas analisadas encontram-se representados nas figuras seguintes. Os valores médios foram obtidos para um n=3.



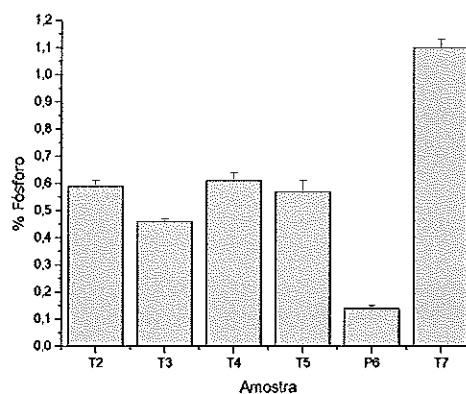
**Figura 66:** Percentagem de potássio nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios



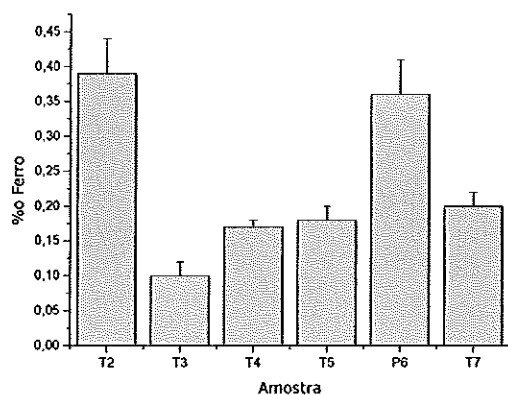
**Figura 67:** Percentagem de cálcio nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios



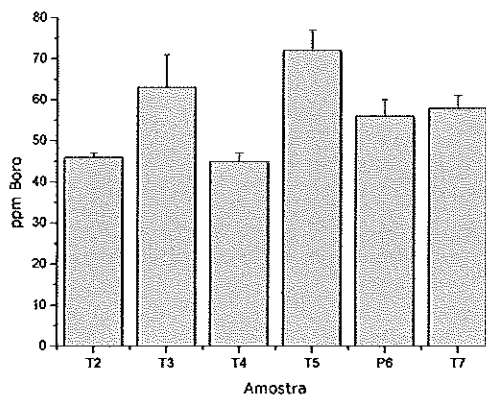
**Figura 68:** Percentagem em magnésio nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios



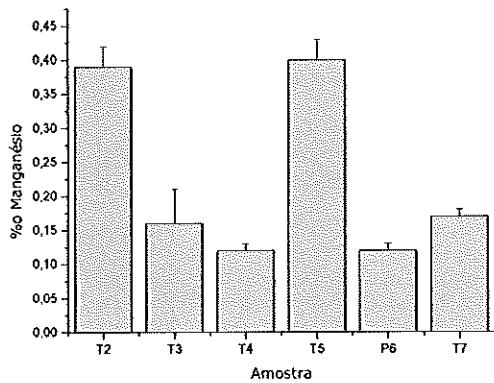
**Figura 69:** Percentagem em fósforo nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios



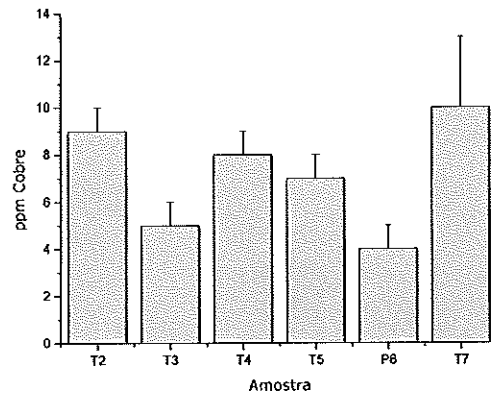
**Figura 70:** Teor em ferro nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios médios.



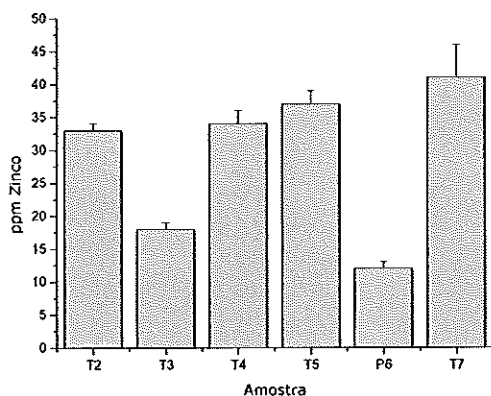
**Figura 71:** Teor em boro nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios médios.



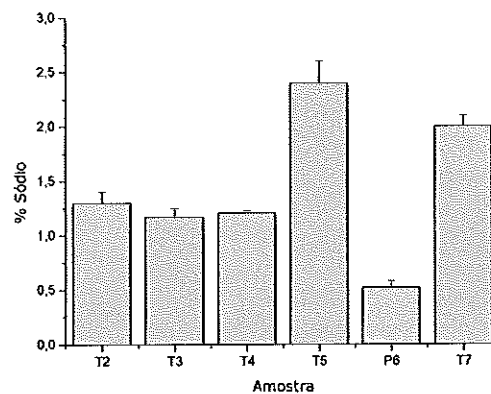
**Figura 72:** Percentagem de manganésio presente nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos



**Figura 73:** Teor em cobre presente nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios



**Figura 74:** Teor em zinco nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios médios.



**Figura 75:** Teor em sódio nas amostras de *Tamarix gallica* e *Pinus halepensis* analisadas e respectivos desvios médios.

Os teores em macronutrientes da amostra de *Pinus halepensis* analisada apresentam valores semelhantes aos valores referidos por Varennes (2003) como sendo médios para o género *Pinus*: potássio (valor obtido: 0.54 %; valores médios: entre 0.5 % e 1.2 %); cálcio (valor obtido: 0.81 %; valores médios: entre 0.35 % e 0.80 %); magnésio (valor obtido: 0.29 %; valores médios: entre 0.1 % e 0.25 %) e fósforo (valor obtido: 0.14 %; valores médios: entre 0.13 % e 0.25 %). No que diz respeito aos micronutrientes, os valores obtidos encontram-se dentro daqueles referidos como médios



para plantas superiores, à excepção do zinco, que se encontra abaixo. O elemento benéfico sódio encontra-se nas amostras analisadas em quantidades muito superiores (Varenes, 2003).

No que diz respeito aos valores encontrados de macronutrientes e micronutrientes nas amostras de *Tamarix gallica*, todos são superiores aos valores definidos como médios para a generalidade das plantas. É de salientar mais uma vez os valores do ião sódio, na medida em que se encontram muito acima do valor médio 0.001 % (Taiz & Zeiger, 1998).

Ambas as espécies parecem estar bem adaptadas aos solos e águas da ilha da Porto Santo, uma vez que são tolerantes a concentrações elevadas de sais (Blaylock, 1994). A espécie *Tamarix gallica* tem inclusivamente glândulas do sal, o que lhe permite excretar excesso de sais, principalmente o ião sódio (Kleinkopf & Wallace, 1974). Berry (1970) refere ainda que os iões secretados por esta espécie representam directamente os iões no solo e nas águas onde estas espécies se desenvolvem. No entanto, estas correlações não foram verificadas com as amostras de água analisadas.



## **CAPÍTULO 6.**

### **CONCLUSÕES**



## 6. Conclusões

Tendo a amostragem sido efectuada num único momento, em Abril de 2003, a caracterização efectuada deve ser considerada como um instantâneo da situação da ilha, em particular no que concerne à salinidade dos solos e águas e, eventualmente o pH, na medida em que estas características são influenciadas pela pluviosidade e até pelo regime de ventos, sendo, com toda a probabilidade, oscilantes ao longo do ano.

As amostras de solos analisadas são maioritariamente de textura franco-arenosa (entre 60% e 99% de areias), o que sugere que os solos das zonas de onde provêm são bastante susceptíveis a fenómenos de erosão. A sua permeabilidade, determinada em laboratório, é também considerável (entre  $1 \times 10^{-5}$  e  $50 \times 10^{-5}$  m/s), o que se pode reflectir na ocorrência de problemas de lixiviação de nutrientes e, portanto, de um empobrecimento acrescido do solo, sob o ponto de vista das necessidades nutricionais de plantas.

Todas as amostras de solos e de águas analisadas apresentam carácter químico básico (com o pH a variar entre 7.55 e 8.75 para as águas, e 8.51 e 10.02 para os solos), o que é característico de solos calcários. De facto, verificou-se uma heterogeneidade considerável na composição calcária das amostras de solos (que variam entre 1 % e 79 % de  $\text{CaCO}_3$ ), o que é devido à génese da própria ilha. Saliente-se que o método de quantificação de calcário usado (volumetria gasosa) é simples mas correlaciona de forma muito razoável com a percentagem de cálcio, convertida em carbonato de cálcio, determinada por ICPS.

Certamente devido ao enfraquecido coberto vegetal actual, todas as amostras de solos apresentam muito baixos teores em matéria orgânica (entre 0.2 % e 1.3 %).

Nas amostras de solos, os teores totais em fósforo (entre 0.03% e 0.37%) e em potássio (entre 0.05% e 0.89%) revelaram-se baixos. Este facto, conjugado com uma reduzida disponibilidade dos nutrientes para as espécies vegetais, aponta para

solos lixiviados e pobres em nutrientes. As quantidades totais de outros (micro)nutrientes encontram-se dentro dos limites usuais para solos.

Relativamente à microbiologia das amostras de solos, os valores de abundância da sua população microbiana (bactérias e fungos) são inferiores àqueles encontrados, em média, para um solo fértil, e apresentam uma reduzida biodiversidade.

Para as águas analisadas, verificou-se que os parâmetros (físico-químicos e microbiológicos) analisados estão, na maior parte, dentro dos critérios de qualidade para águas de rega. Contudo, o teor em cloretos é, como seria de esperar no caso em estudo, demasiado elevado, variando entre os 0.08 e 1.33 g/L. De acordo com os parâmetros analisados, a amostra que usualmente é utilizada para consumo humano não satisfaz alguns critérios legais para este fim.

Mais estudos são necessários para confirmar os resultados obtidos neste trabalho e alargar os conhecimentos sobre a ilha dentro das áreas aqui abordada, com o recurso a novas metodologias e a uma amostragem mais significativa.

## **BIBLIOGRAFIA**





**BIBLIOGRAFIA**

**Agassi, M.** 1996. Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation. Marcel Dekker, Inc. New York.

**Alexander, M.** 1991. Introduction to Soil Microbiology. John Wiley Sons. New York.

**Allred, K.** 2002. Identification and taxonomy of *Tamarix* (Tamaraceae) in New Mexico. Desert plants. 18(2): 26-31.

**Anderson, J. E.** 1982. Factors controlling transpiration and photosynthesis in *Tamarix chinensis* Lour. Ecology 63:48-56.

**Balows, A.** 1992. The prokaryotes. A handbook on the biology of bacteria: ecophysiology, isolation, identification and applications. 2<sup>nd</sup> ed.. New York. Springer Berlin Heidelberg.

**Bakken, L. R.** 1997. Culturable and unculturable bacteria in soil. In Modern Soil Microbiology J.D. van Elsas, J.T. Trevors & E.M.H. Wellington. Marcel Dekker, New York. 47-61.

**Berry, W. L.** 1970. Characteristics of salt secreted by *Tamarix aphylla*. American Journal of Botany. 57: 1226-1230.

**Blaylock, A. D.** 1994. Soil salinity, salt tolerance and growth potential of horticultural and landscape plants. University of Wyoming. Cooperative Extension service. Department of Plant, Soil and Insect Sciences. College of Agriculture.

**Busch, D. E. & S.D. Smith.** 1993. Effects of fire on water and salinity relations of riparian woody taxa. *Oecologia* 94: 186-194.

**Câmara Municipal do Porto Santo.** 1995. Plano Director Municipal – Porto Santo. Governo Regional da Madeira. Secretaria Regional do equipamento social e ambiente.

**Carvalho, A. M. G.** 2002. Introdução ao Estudo do Magmatismo e das Rochas Magmáticas. Âncora Editora.

**Carta europeia da água.** 1968. In [www.inag.pt/inag2004/port/divulga/](http://www.inag.pt/inag2004/port/divulga/)

**Carta Geológica de Porto Santo.** 1996. Centro de Geociências da Universidade de Coimbra. Instituto Geológico e Mineiro.

**Cerqueira, J.** 2001. Solos e Clima em Portugal. 2ª edição. Clássica Editora.

**Costa, J. B.** 1999. Caracterização e Constituição do Solo. 6ª edição. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

**Decreto lei n.º 236/98** de 1 de Agosto. Diário da República – I Série A. 17: 3676-3722.

**Decreto-lei n.º 243/01** de 5 de Setembro. Diário da República – I Série A. 206: 5754-5765.

**Domsch, K. H.** 1993. Compendium of Soil Fungi. Die Deutsche Bibliothek. IHW – Verlag.

**Duchaufour, P.** 1970. Précis de Pedologie. 13<sup>ème</sup> Edition. Masson et C<sup>ie</sup> éditeurs, Belgique.

**Eweis, J. B., S. J. Ergas, D. P. Y. Chang, E. D. Schroeder.** 1999. Princípios de biorrecuperação. MacGraw-Hill. Espanha. 1ª Edición.

**Evars, F. & W. Bucking.** 1976. Mineral Analysis. Modern Methods in forest genetics - Proceedings in Life Sciences. J.P. Nítche ed. Springer-Verlag. Berlin.

**Ferreira, W. F. C. & J. C. F. Sousa.** 1998. Microbiologia. Volume 1. Lidel - Edições Técnicas, Lda. Lousã.

**Ferreira, W. F. C. & J. C. F. Sousa.** 1998. Microbiologia. Volume 2. Lidel - Edições Técnicas, Lda. Lousã.

**Franco, E. P. C.** 1994. Carta de solos da Ilha de porto Santo. Centro de Estudos de Pedologia. Instituto de Investigação Científica Tropical. D. R. A. Lisboa.

**Gaskin, J. F. & B. A. Schaal.** 2002. Hybrid *Tamarix* widespread in U.S. invasion and undetected in native asian Range. PNAS. 99 (17):11256-11259.

**Gay, L. W., T. W. Sammis & J. Ben-Asher.** 1976. An energy budget analysis of evapotranspiration from saltcedar. Hydrology and water resources in Arizona and the southwest. 7:133-139.

**Gerard, J.** 2000. Fundamentals of Soils. Rotkedge. London.

**Gray, T. R. G. & S. T. Williams.** 1971. Soil Micro-organisms. Longman Group Limited. London.

**Harris, J. A.** 2003. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. European Journal of Soil Science. 54: 501-808.

**Humphries, C. J. & J. R. P. D. A. Sutton.** 1996. Árvores de Portugal e Europa. FAPAS.

**Jardim, R. & D. Francisco.** 2000. Flora Endémica da Madeira. 1ª edição. Múchia Publicações.

**Kennedy, T. A. & S. E. Hobie.** 2004. Saltcedar (*Tamarix ramosissima*) invasion alters organic matter dynamics in a desert stream. Freshwater Biology. 49: 65-76.

**Kleinkopf, G.E. & A. Wallace.** 1974. Physiological basis for salt tolerance in *Tamarix ramosissima*. Plant Sci. Ltr. 3:157-163.

**Krieg, N. R. & J. G. Holt.** 1984. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Lippincott Williams & Wilkins. London.

**Maestre, F. T., S. B. J. Cortina, & J. Bellot.** 2002. Does *Pinus halepensis* facilitate the establishment of shrubs in mediterranean semiarid afforestations. *Forest Ecology and Management*. 176: 147–160.

**Mendes, B. & J. F. S. Oliveira.** 2004. Qualidade da água para consumo humano. LIDEL.

**Molitoris, E., S. W. Joseph, M. I. Krichevsky, W. Sindhuhardia & R. R. Colwell.** 1985. Characterization and distribution of *Vibrio alginolyticus* and *Vibrio parahaemolyticus* isolated in Indonesia. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol.50, No. 6.

**Molles Jr, M. C.** 2002. *Ecology – Concepts and Applications*. 2<sup>nd</sup> edition. McGraw-Hill.

**Nannipieri, P., J. Ascher, M. T. Ceccherini, L. Landi, G. Pietramellara & G. Renella.** 2003. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*. 54: 655-670.

**Odum, E. P.** 2001. *Fundamentos de Ecologia*. 6<sup>a</sup> edição. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

**Pelczar Jr., M. J., E. C. S. Chan & N. R. Krieg.** 1986. *Microbiology*. 5th edition McGraw-Hill. New York.

**Pelczar Jr., M. J. , E. C. S. Chan, N. R. Krieg, D. D. Edwards & M. F. Pelczar.** 1997. *Microbiologia – Conceitos e Aplicações*. Volume II. 2<sup>a</sup> edição. MAKRON Books do Brasil Editora Ltda.

**Pena, A. & J. Cabral.** 1997. *Roteiros da Natureza – Região Autónoma da Madeira*. Temas e Debates.

**Phillips, R.** 1978. *Trees in Britain, Europe and North America*. Pan Macmillan. Thailand.

**Pitt, J. I. & A. D. Hocking.** 1997. *Fungi and Food spoilage*. 2<sup>nd</sup> edition. Blackie Academic Professional.

**Prescott, L. M., J. P. Harley, D.A. Klein.** 1999. *Microbiology*. WCB/McGraw-Hill. 4<sup>th</sup> edition.

- Raven, P. H., R. F. Evert & S. E. Eichhorn.** 2003. *Biology of Plants*. 6<sup>th</sup> edition. W. H. Freeman and Company/ Worth Publishers. New York.
- Renaud, F. N. R., M. Dutaur, S. Daoud, D. Aubel, P. Riegel, D. Monget & J. Freney.** 1998. Differentiation of *Corynebacterium amycolatum*, *Corynebacterium minutissimum* and *Corynebacterium striatum* by carbon substrate assimilation tests. *Journal of Clinical Microbiology*. 36 (12): 3698-3702.
- Ribeiro, J. A.** 2000. A Ilha de Porto Santo. Editorial Calcamar. Série Roteiro I.
- Rius, N., M. C. Fuste, C. Guasp, J. Lalucat & J.G. Lorén.** 2001. Clonal Population structure of *Pseudomonas stutzeri*, a species with exceptional genetic diversity. *Journal of Bacteriology*. 183 (2): 736-744.
- Samson, R. A. & E. S. van Reenen-Hoekstra.** 1988. *Introduction to Food-Borne Fungi*. 3<sup>a</sup> edition. Centraalbureau voor Schimmelcultures. The Netherlands.
- Silva, A. A., A. J. S. Alvim & M. J. Santos.** 1975. Métodos de análise de Solos, Plantas e águas. *Pedologia*. 10 (23).
- Silva, J. B. P.** 2003. Areia de Praia da Ilha de Porto Santo - Geologia, Génese, Dinâmica e Propriedades Justificativas do seu Interesse Medicinal. Madeiras Rochas - Divulgações Científicas e Culturais.
- Taiz, L. & E. Zeiger.** 1998. *Plant Physiology*. 2<sup>nd</sup> edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts.
- Tan, K. H.** 1996. *Soil Sampling, Preparation and Analysis*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Tan, K. H.** 1994. *Environmental Soil Science*. Marcell Dekker, Inc.. New York.
- Torsvik, V., R. Sorheim & J. Goksoyr.** 1996. Total bacterial diversity in soil and sediment communities - a review. *Journal of Industrial Microbiology*. 17: 170-178.
- Varenes, A.** 2003. *Produtividade de Solos e Ambiente*. Escolar Editora.

