



Universidade dos Açores
Departamento de ciências Agrárias
Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza

Contributo para o estudo do campo geotermal das Furnas do Enxofre (Ilha Terceira) e implicações no Plano de Gestão.

Orientador: Professor Doutor Eduardo Dias

Maria Rita Brum da Costa

Angra do Heroísmo
2011



Universidade dos Açores
Departamento de ciências Agrárias
Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza

Contributo para o estudo do campo geotermal das Furnas do Enxofre (Ilha Terceira) e implicações no Plano de Gestão.

Orientador: Professor Doutor Eduardo Dias

Dissertação Apresentada à
Universidade dos Açores para a
obtenção do grau de Mestre do curso
de Gestão e Conservação da Natureza

Maria Rita Brum da Costa

Angra do Heroísmo
2011

Agradecimentos

À Universidade dos Açores, na pessoa do Magnífico Reitor, a oportunidade de desenvolver este estudo;

Ao orientador deste trabalho, Professor Doutor Eduardo Dias, pela sugestão do tema, cedência de elementos bibliográficos, estímulo e orientação;

Ao Gabinete da Ecologia Vegetal e Aplicada, na pessoa do Professor Doutor Eduardo Dias, pela disponibilidade de meios e bibliografia fornecida;

À Engenheira Cândida Mendes, pelo apoio incondicional, incentivo, preocupação, incansável nos esclarecimentos prestados e amizade;

Ao Engenheiro Dinis Pereira, pelo apoio, esclarecimentos prestados e estímulo;

À Doutora Fátima Viveiros, pela disponibilidade e esclarecimentos prestados;

Ao Doutor Airidas Dapkevicius, pela disponibilidade de material;

Ao Professor Domingos Rodrigues, pela informação e esclarecimentos prestados;

Ao Professor Nemésio Pérez, pela disponibilidade, informação e esclarecimentos prestados;

À Engenheira Liliana Marques, pelo apoio, preocupação, incentivo e amizade;

À minha irmã, Ilda Costa, pelo incentivo e apoio ao longo de todo o trabalho e, principalmente, na sua conclusão;

À minha mãe, Filomena Brum, pela preocupação e incentivo;

Ao meu namorado, Alexandre Cunha, pelo apoio e compreensão;

Índice Geral	
Índice Geral	i
Índice de Tabelas	iv
Índice de Figuras	v
 Resumo	 ix
 1ª Parte - Introdução	 1
 1.1.ENQUADRAMENTO GERAL	 1
1.1.1.Breve caracterização ecológica dos Açores - Terceira	1
1.1.2. Geologia e Geomorfologia da ilha Terceira	5
1.1.3. Campos geotermiais – Contextualização e Diagnóstico.....	8
1.1.4. Valorização dos Campos Geotermiais.....	12
1.1.4.1. Benefícios	12
1.1.5. Furnas do Enxofre – importância ecológica e geológica.....	15
1.1.6. Principais ameaças.....	17
1.1.6.1. Principais ameaças a nível mundial.....	17
1.1.6.2. Principais ameaças a nível local	18
1.1.7. Objectivos.....	20
 1.2. VULCANISMO	 22
1.2.1. Tipos de vulcanismo	22
1.2.1.1. Vulcanismo secundário.....	22
1.2.2. Caracterização dos Campos Geotermiais – Modelos explicativos	24
1.2.3. Caracterização dos microrganismos - Extremófilos.....	32
1.2.4. Estruturas biológicas presentes em campos geotermiais	37
1.2.4.1. Geyserites	37
1.2.4.2. Crostas biológicas.....	39
1.2.5. Caracterização da Vegetação e Estratégias adaptativas das plantas.....	44
1.2.6. Breve caracterização dos Habitats	50
1.2.6.1. Vegetação Natural	50
1.2.6.2. Vegetação Sub-Espontânea	53

1.2.6.3. Vegetação Parcialmente Implantada	53
1.2.6.4. Vegetação Implantada	55
1.2.7. Principais Campos Geotermais a nível mundial.....	56
1.2.8. Principais Campos Geotermais a nível local	58
1.3. FURNAS DO ENXOFRE	61
1.3.1. Resenha histórica das Furnas do Enxofre.....	61
1.3.2. Caracterização das Furnas do Enxofre	64
2ª Parte: METODOLOGIA	69
2.1. Caracterização do campo geotermal enquanto ambiente ecológico	69
2.1.1. Caracterização da vegetação.....	69
2.1.2. Caracterização das comunidades presentes nas fumarolas.....	70
2.1.3. Caracterização dos factores físico-químicos e factores extremófilos.....	71
2.1.3.1. Temperatura.....	71
2.1.3.2. Ambiente atmosférico	73
2.1.3.3. Química	74
2.1.3.4. Crostas biológicas e geysers	74
2.1.3.5. Elementos geológicos	76
3ª Parte: RESULTADOS	78
3.1. Caracterização e descrição da organização da vegetação e dos microrganismos.....	78
3.1.1. Organização da paisagem	78
3.1.2. Organização das comunidades presentes nas bocas das fumarolas	81
3.2. Caracterização e distribuição da temperatura	91
3.3. Caracterização do ambiente atmosférico	102
3.4. Caracterização das estruturas biológicas presentes nas Furnas do Enxofre	119
3.5. Caracterização dos aspectos químicos - enxofre	127
3.6. Breve caracterização dos elementos geológicos.....	128
3.7. Delimitação do Campo Geotermal das Furnas do Enxofre	133
4ª Parte: DISCUSSÃO	135
5ª Parte: CONCLUSÃO	144

6ª Parte: BIBLIOGRAFIA	149
 7ª Parte: ANEXOS.....	150
7.1. Cartas	1
7.1.1. Carta de Tipos de Vegetação (1)	1
7.1.2. Carta das Classes de Temperatura Superficial (2).....	2
7.1.3. Carta das Classes de Temperatura a 5cm de profundidade (3).....	3
7.1.4. Carta das Classes de Temperatura a 10cm de profundidade (4).....	4
7.1.5. Carta das Classes de Temperatura a 12cm de profundidade (5).....	5
7.2. Carta dos Pontos de Medição de Temperatura (6)	6
7.3. Carta das Zonas do Campo Geotermal (7)	7
7.4. Tabela de temperaturas limites para o crescimento de vários grupos de organismos	8
7.5. Imagens de algumas comunidades presnetes nas fumarolas das Furnas do Enxofre, ilha Terceira - Açores	9
7.6. Informações - Radargramas.....	10
7.7. Ramsar site: Planalto Central (Furnas do Enxofre e Algar do Carvão).....	11
7.8. Representação em 3D do campo geotermal das Furnas do Enxofre – Distribuição da Temperatura.....	12

Índice de Tabelas

Tabela 1. Caracterização dos diferentes recursos geotermiais (5)	23
Tabela 2. Identificação dos diferentes tipos de geysers (Urusov <i>et. al.</i> , 2007).....	75
Tabela 3. Identificação das crostas biológicas (Rosentreter <i>et. al.</i> , 2007).....	76
Tabela 4. Tabela de espécies com elevado valor patrimonial (Rendeiro, 2002)	79
Tabela 5. Comunidades identificadas nas fumarolas estudadas	82
Tabela 6. Temperatura das comunidades.....	83
Tabela 7. Frequência com que as comunidades estão presentes nas fumarolas.....	89
Tabela 8. Médias das comunidades presentes nas fumarolas	90
Tabela 9. Valores do vapor de água e da temperatura das fumarolas 1, 2, 3, 4 e 5 do Tipo III, referentes a Out. de 2010	114
Tabela 10. Valores do vapor de água e da temperatura das fumarolas 1, 2, 3, 4 e 5 do Tipo III, referentes a Abril de 2011.....	114
Tabela 11. Soma dos valores do vapor de água das bocas do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	115
Tabela 12. Média dos valores da temperatura das bocas do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.....	115
Tabela 13. Soma dos valores do vapor de água das bocas do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.....	115
Tabela 14. Média dos valores da temperatura das bocas do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.....	116
Tabela 15. Soma dos valores do vapor de água das bocas do Tipo III referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	116
Tabela 16. Média dos valores da temperatura das bocas do Tipo III referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	116
Tabela 17. Valores da temperatura das fumarolas referentes a Outubro de 2010 e Agosto de 2011	117
Tabela 18. Tipos de Geysers apresentados por Urusov <i>et. al.</i> (2007).	125
Tabela 19. Características das crostas biológicas apresentadas por Rosentreter <i>et. al.</i> (2007).....	125

Índice de figuras

Figura 1 – Localização do Arquipélago dos Açores (y)	1
Figura 2 - Ilhas do Arquipélago dos Açores (w)	1
Figura 3 - Ilha Terceira – Açores	3
Figura 4 - Charco localizado à entrada das Furnas do Enxofre (Foto: Rita Costa)	15
Figura 5 - Campo de Fumarolas das Furnas do Enxofre (Foto: Rita Costa)	16
Figura 6 – Turfeira próximo da estação meteorológica (Foto: Rita Costa)	16
Figura 7 - Fumarola localizada na área a oeste do Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	64
Figura 8 - Modelo geotérmico da ilha Terceira, Anderson <i>et al.</i> (1982) citado por Rodrigues (2002)	65
Figura 9 - Campo de Fumarolas a oeste do Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	66
Figura 10 - Campo de Fumarolas – Actividade intensa do fluxo (Foto: Rita Costa)	67
Figura 11 - Recolha de dados referentes à vegetação (Foto: Cândida Mendes)	69
Figura 12 - Recolha de dados da temperatura do solo (Foto: Cândida Mendes)	71
Figura 13 - Medição do vapor de água através do método dos algodões (Foto: Rita Costa)	73
Figura 14 - Depósitos de cristais de enxofre – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	74
Figura 15 - Geyserites – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	75
Figura 16 - Crostas Biológicas – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	75
Figura 17 - Tipos de vegetação (a) – Furnas do Enxofre. Obtida em <i>Arcgis</i>	80
Figura 18 - Tipos de vegetação (b) – Furnas do Enxofre. Obtida em <i>Arcgis</i>	80
Figura 19 - Tipos de vegetação (c) – Furnas do Enxofre. Obtida em <i>Arcgis</i>	81
Figura 20 - Representação da fumarola 1	84
Figura 21 - Representação da fumarola 2	84
Figura 22 - Representação da fumarola 3	84
Figura 23 - Representação da fumarola 4	84
Figura 24 - Representação da fumarola 5	85
Figura 25 - Representação da fumarola 6	85
Figura 26 - Representação da fumarola 7	85
Figura 27 - Representação da fumarola 8	85
Figura 28 - Representação da fumarola 9	85
Figura 29 - Representação da fumarola 10	85
Figura 30 - Representação da fumarola 11	85
Figura 31 - Representação da fumarola 12	85
Figura 32 - Representação da fumarola 13	86
Figura 33 - Representação da fumarola 14	86
Figura 34 - Representação da fumarola 15	86
Figura 35 - Representação da fumarola 16	86
Figura 36 - Representação da fumarola 17	86
Figura 37 - Representação da fumarola 18	86

Figura 38 - Representação da fumarola 19	86
Figura 39 - Representação da fumarola 20	86
Figura 40 - Localização das fumarolas no campo geotermal e a designação do grupo a que pertencem (a). Obtida em <i>Arcgis</i>	87
Figura 41 - Localização das fumarolas no campo geotermal e a designação do grupo a que pertencem (b). Obtida em <i>Arcgis</i>	88
Figura 42 - Mapa da temperatura superficial – Furnas do Enxofre. Obtida em <i>Arcgis</i> , extensão IDW	91
Figura 43 - Mapa da temperatura a 5cm de profundidade – Furnas do Enxofre Obtida em <i>Arcgis</i> , extensão IDW	92
Figura 44 - Mapa da temperatura a 10cm de profundidade – Furnas do Enxofre. Obtida em <i>Arcgis</i> , extensão IDW	92
Figura 45 - Mapa da temperatura a 12cm de profundidade – Furnas do Enxofre. Obtida em <i>Arcgis</i> , extensão IDW	93
Figura 46 - Zonas mais quentes do campo geotermal das Furnas do Enxofre. Obtida em <i>Arcgis</i> , extensão IDW	94
Figura 47 -Zonas quentes do campo geotermal das Furnas do Enxofre. – zona mais quente; - — zona de temperaturas intermédias; - — zona de temperaturas mais baixas. Obtida em <i>Arcgis</i> , extensão IDW	94
Figura 48 e 49 - Localização dos pontos de medição da temperatura, ponto preto único; das fumarolas, aglomerado de pontos; e identificação das fumarolas utilizadas para as medições de temperatura. Obtida em <i>Arcgis</i>	95
Figura 50 - Distribuição da temperatura fumarola 1.....	96
Figura 51 - Distribuição da temperatura fumarola 2.....	96
Figura 52 - Distribuição da temperatura fumarola 3.....	96
Figura 53 - Distribuição da temperatura fumarola 4.....	96
Figura 54 - Distribuição da temperatura fumarola 5.....	96
Figura 55 - Distribuição da temperatura fumarola 6.....	96
Figura 56 - Distribuição da temperatura fumarola 7.....	97
Figura 57 - Distribuição da temperatura fumarola 8.....	97
Figura 58 - Distribuição da temperatura fumarola 9	97
Figura 59 - Distribuição da temperatura fumarola 10	97
Figura 60 - Distribuição da temperatura fumarola 11.....	97
Figura 61 - Distribuição da temperatura fumarola 12.....	97
Figura 62 - Distribuição da temperatura fumarola 13.....	98
Figura 63 - Localização dos transeptos efectuados para as medições de temperatura. Obtida em <i>Arcgis</i> .	99
Figura 64 - Transepto realizado com os dados de temperatura recolhidos numa Falha	99
Figura 65 - Transepto realizado com os dados de temperatura recolhidos na Zona 1	99
Figura 66 - Transepto realizado com os dados de temperatura recolhidos na Zona 2	100
Figura 67 - Transepto realizado com os dados de temperatura recolhidos na Zona 3	100
Figura 68 - Transepto realizado com os dados de temperatura recolhidos no Vale do Inferno	100
Figura 69 - Localização dos 3 tipos de fumarolas no campo geotermal. Obtida em <i>Arcgis</i>	102

Figura 70 - Fumarola 1 do Tipo I (Foto: Rita Costa).....	103
Figura 71 e 72 - Valores do v.a. da fumarola 1 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011 ..	103
Figura 73 e 74 - Valores do t da fumarola 1 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	103
Figura 75 - Fumarola 2 do Tipo I (Foto: Rita Costa).....	104
Figura 76 e 77 - Valores do v.a. da fumarola 2 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011 ...	104
Figura 78 e 79 - Valores do t da fumarola 2 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	104
Figura 80 - Fumarola 3 do Tipo I (Foto: Rita Costa)	105
Figura 81 e 82 - Valores do v.a. da fumarola 3 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011 ..	105
Figura 83 e 84 - Valores do t da fumarola 3 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	105
Figura 85 - Fumarola 4 do Tipo I (Foto: Rita Costa).....	106
Figura 86 e 87 - Valores do v.a. da fumarola 4 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011 ...	106
Figura 88 e 89 - Valores do t da fumarola 4 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	106
Figura 90 - Fumarola 5 do Tipo I (Foto: Rita Costa)	107
Figura 91 e 92 - Valores do v.a. da fumarola 5 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011 ...	107
Figura 93 e 94 - Valores do t da fumarola 5 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	107
Figura 95 - Fumarola 1 do Tipo II (Foto: Rita Costa)	108
Figura 96 e 97 - Valores do v.a. da fumarola 1 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011 ..	108
Figura 98 e 99 - Valores do t da fumarola 1 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	108
Figura 100 - Fumarola 2 do Tipo II (Foto: Rita Costa)	109
Figura 101 e 102 - Valores do v.a. da fumarola 2 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	109
Figura 103 e 104 - Valores do t da fumarola 2 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011 ..	109
Figura 105 - Fumarola 3 do Tipo II (Foto: Rita Costa)	110
Figura 106 e 107 - Valores do v.a. da fumarola 3 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	110
Figura 108 e 109 - Valores do t da fumarola 3 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011 ..	110
Figura 110 - Fumarola 4 do Tipo II (Foto: Rita Costa)	111
Figura 111 e 112 - Valores do v.a. da fumarola 4 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	111
Figura 113 e 115 - Valores do t da fumarola 4 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011 ..	111
Figura 116 - Fumarola 5 do Tipo II (Foto: Rita Costa)	112
Figura 117 e 118 - Valores do v.a. da fumarola 5 referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	112
Figura 119 e 120 - Valores do t da fumarola 5 referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011	112
Figura 121 - Fumarola 1 do Tipo III (Foto: Rita Costa).....	113
Figura 122 - Fumarola 2 do Tipo III (Foto: Rita Costa)	113
Figura 123 - Fumarola 3 do Tipo III (Foto: Rita Costa).....	113
Figura 124 - Fumarola 4 do Tipo III (Foto: Rita Costa)	113
Figura 125 - Fumarola 5 do Tipo III (Foto: Rita Costa).....	113
Figura 126 - Crostas biológicas – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	119
Figura 127 - Geysersites – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).....	119
Figura 128 - Divisão do Vale do Inferno em diferentes zonas. Obtida em <i>Arcgis</i>	120

Figura 129 - Zona 1 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	121
Figura 130 - Zona 2 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	121
Figura 131 Zona 2 (a) – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	121
Figura 132 - Zona 3 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	122
Figura 133 - Zona 4 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	122
Figura 134 - Zona 5 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	123
Figura 135 – Zona 6 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).....	123
Figura 136 - Zona 7 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	123
Figura 137 - Zona 8 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	124
Figura 138 - Zona 9 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	124
Figura 139 - Zona 9 (a)– Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	124
Figura 140 –  Marcação das áreas com depósitos de cristais de enxofre	127
Figura 141 - Imagem em 3d das Furnas do Enxofre, cedida pelo Eng.º Dinis Pereira, com a identificação de alguns elementos geológicos.	129
Figura 142 - Fotografia aérea com a identificação dos percursos efectuados com o GPR. Obtida em <i>Arcgis</i>	130
Figura 143 - Radargrama 1	130
Figura 144 - Radargrama 2.....	130
Figura 145 - Radargrama 3	130
Figura 146 - Radargrama 4	130
Figura 147 - Radargrama 5.....	131
Figura 148 - Delimitação das diferentes zonas campo geotermal. Obtida em <i>Arcgis</i>	133
Figura 149 - Vegetação presente junto a um aglomerado de fumarolas próximas do Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	135
Figura 150 - Fumarolas presentes no Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	139
Figura 151 - Fumarolas junto ao passadiço, próxima da casa de apoio (Foto: Rita Costa).....	139
Figura 152 - Fumarolas na encosta oeste ao Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	139
Figura 153 - Fumarolas na descida para o Vale do Inferno (Foto: Rita Costa)	140
Figura 154 - Fumarolas no talude dominado por <i>Calluna vulgaris</i> (Foto: Rita Costa)	140
Figura 155 - Fumarolas presentes em falhas (Foto: Rita Costa).....	141
Figura 156 - Fumarolas presentes em falhas (a) (Foto: Rita Costa)	141
Figura 157 - Fumarolas presentes na turfeira de encosta junto à estrada de acesso às Furnas do Enxofre (Foto: Rita Costa).....	141
Figura 158 - Fumarolas em esmorecimento – rochas emergentes (Foto: Rita Costa)	142
Figura 159 - Fumarolas em esmorecimento – na falha (Foto: Rita Costa)	142

Resumo

As Furnas do Enxofre, localizadas no centro da ilha Terceira – Açores, estão inseridas numa área semi-natural envolvida por zonas húmidas. Constituem um habitat protegido, constam da lista de Zonas de Protecção Especial, estão classificadas como Monumento Natural Regional e inseridas nas áreas Ramsar.

As fumarolas são um tipo de vulcanismo secundário que nos Açores está relacionado com sistemas hidrotermais o que proporciona características e informações muito particulares, constituindo este habitat, um local único na Europa.

Os ecossistemas geotermiais possuem uma grande variedade de comunidades biológicas estando estas fortemente controladas pela actividade geotermal. As características distintas que este habitat proporciona permitem a existência de uma vegetação particular designada de geotermal, que engloba vegetação terrestre, de zonas húmidas e termófila.

Com o presente trabalho pretendeu-se identificar critérios que permitissem a elaboração de um modelo do funcionamento deste campo geotermal, e a caracterização das fumarolas no que diz respeito à temperatura, organização e zonamento das comunidades de organismos em torno das fumarolas e organização da vegetação a nível da paisagem. Recorrendo a estudos de temperatura do solo e à análise da fotografia aérea, foi efectuada em SIG (Sistemas de Informação Geográfica) a cartografia térmica deste local e a cartografia da vegetação. Estudos a nível do vapor de água também foram realizados o que permitiu um maior conhecimento do funcionamento do campo geotermal.

Com os resultados obtidos neste estudo pretendeu-se contribuir para o conhecimento do funcionamento do campo geotermal, de modo a dar apoio para uma melhor decisão nas medidas de gestão, tendo em conta as diferentes necessidades que estas áreas apresentam. O conhecimento do funcionamento do campo de fumarolas das Furnas do Enxofre poderá permitir o reajustamento do plano de visitação actual, de modo a reduzir os impactes provocados pela visitação e pela descoberta do valor científico, ecológico e patrimonial deste local.

Abstract

The Furnas do Enxofre, located in the centre of Terceira Island - Azores, are inserted in an area surrounded by semi-natural wetlands. This area is a protected habitat, is classified as a Regional Natural Monument, is included in the ZPE (Zonas de Protecção Especial - Special Protection Areas) and in the Ramsar areas.

The fumaroles are a type of secondary volcanism in the Azores that is related to hydrothermal systems, offering particular features and information, forming a unique habitat in Europe.

Geothermal ecosystems have a wide variety of biological communities that are heavily controlled by the geothermal activity. The distinct characteristic that this habitat provides allows the existence of special vegetation, geothermal vegetation, which includes terrestrial vegetation, wetlands and thermophiles.

The present work aims to identify criteria that would allow the development of a model of the functioning of the geothermal field, and characterization of fumaroles in relation to temperature, zoning and organization of communities of organisms around the fumaroles and organization of the vegetation at the landscape level.

Resorting to studies of soil temperature and analysis of aerial photography it was performed in GIS (Geographical Information Systems) a thermal and a vegetation mapping. Studies of the steam were also conducted which allowed a better understanding of the function of the geothermal field.

The results obtained in this study aims to contribute to the knowledge about the geothermal field, in order to provide support for the best decisions in the management measures, taking into account the different needs of the present area. The knowledge of the fumarole field of Furnas do Enxofre, could readjust the current visitation plan in order to reduce the impacts caused by visitors and by the discovery of the scientific, ecological and heritage value of this site.

1ª Parte – Introdução

1.1. Enquadramento Geral

1.1.1. Breve caracterização ecológica dos Açores – Terceira

O Arquipélago dos Açores, localizado no Atlântico Norte entre as latitudes 36° 55' e 39° 43' N, e as longitudes 25° 00' e 31°17'W, possui nove ilhas distribuídas por três grupos, Grupo Ocidental, Corvo e Flores; Grupo Central, Faial, Pico, São Jorge, Graciosa e Terceira; e Grupo Oriental, São Miguel e Santa Maria. Tendo em conta uma linha de orientação NW-SE, as ilhas que se encontram nos extremos do arquipélago, Corvo e Santa Maria, estão a uma distância de cerca de 600 km e o continente mais próximo encontra-se a 2000 km (Fernandes, 1985).



Figura 1 – Localização do Arquipélago dos Açores. (y).

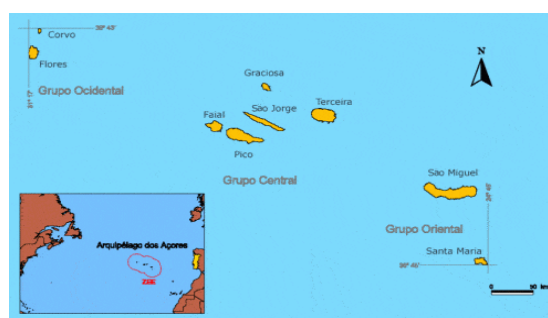


Figura 2 – Ilhas do Arquipélago dos Açores (w).

Este arquipélago, em conjunto com o arquipélago da Madeira, Selvagens, Canárias e Cabo Verde constitui a Macaronésia.

A descoberta do Arquipélago dos Açores ocorreu no século XV. A ilha Terceira, inicialmente designada ilha de Jesus, foi a terceira ilha a ser descoberta. Possui uma forma aproximadamente oval, forma esta que é acompanhada pelas curvas de nível, ocorrendo a maior elevação a ocidente, a Serra de Santa. Bárbara, com 1023 metros.

A paisagem actual das ilhas reflecte a ocupação dos primeiros povoadores. Estes, ao chegarem às ilhas depararam-se com grandes dificuldades, quer no acesso quer nas condições adversas encontradas no interior da ilha. Por tal, o povoamento teve lugar junto ao litoral, o designado povoamento em anel. De facto, foram estas condicionantes que mantiveram o interior da ilha Terceira muito pouco explorado até ao início do século (Dias, 1989).

A localização geográfica do arquipélago representa o principal factor responsável pelo clima característico das ilhas. Devido à sua posição no atlântico, aberto a todos os quadrantes e isolado dos continentes, torna-se muito vulnerável a perturbações atmosféricas. É esta distância das massas continentais que lhe permite não possuir influência directa das massas daí oriundas, o que leva a uma acentuação de algumas características climáticas. O oceano também desempenha um papel importante a nível do fornecimento de humidade à atmosfera. A passagem da corrente do Golfe pelo arquipélago também contribui para a definição de algumas condições climáticas que o beneficiam, por exemplo, temperaturas do mar mais elevadas que outras zonas de Portugal continental e esta corrente isola o arquipélago das correntes frias vindas de latitudes mais setentrionais do Atlântico Norte.

O macroclima regional parece ser determinado pela movimentação do chamado anticiclone dos Açores, uma das principais células subtropicais de altas pressões do hemisfério Norte, responsável pela distribuição dos ventos alísios, quentes e húmidos, dominantes nos Açores (Henríquez *et al.*, 1986).

Os valores médios da maior parte dos elementos do clima não apresentam diferenças muito significativas, apesar da extensão zonal do arquipélago. Contudo, as características de cada ilha podem provocar alguns desníveis nos valores médios do arquipélago (Agostinho, 1942; Bettencourt, 1979).

O relevo apresenta-se como um factor muito importante quando constitui uma massa com volume suficiente para ser capaz de intersectar massas de ar em circulação, por exemplo, ao intersectar uma massa de ar em circulação horizontal ela vai ser obrigada a subir devido ao relevo e vai arrefecer adiabaticamente dando origem a nuvens (Agostinho, 1942; Bettencourt, 1979).

A ilha Terceira situa-se entre as latitudes 38° 38' 10'' N e 38° 47' 40'' N e as longitudes 27°03'00''W e 27°24'00''W, e encontra-se a 250 km para oriente do eixo da Crista Média do Atlântico. Representa 17,1% da superfície do arquipélago, cerca de 401,6 Km², tem um comprimento de 20 km e uma largura máxima de 17.5 km (Rodrigues, 2002).



Figura 3 – Ilha Terceira – Açores (Google earth 2010).

A formação da ilha Terceira deve-se, fundamentalmente, a 4 complexos vulcânicos. A parte mais velha da ilha tem cerca de 2 milhões de anos (ZBYSZEWSKI *et al.*, 1971). Tal como nas restantes ilhas do arquipélago, o clima da ilha Terceira é caracterizado por uma fraca amplitude térmica e por uma precipitação e humidade do ar elevadas, reflectindo uma forte influência oceânica. De acordo com a classificação de Bettencourt (1979) quanto ao clima da Terceira, nas zonas baixas, é um clima temperado oceânico, onde a temperatura média do ar no ano está entre os 10°C e 12°C (amplitude média da variação inferior a 10%); húmido, a humidade relativa média do ar no ano varia entre os 75% e 90%; e possui níveis de precipitação muito elevados, a precipitação média no ano está compreendida entre 1000mm e 2000 mm (Agostinho, 1942; Bettencourt, 1979). De um modo geral, a distribuição das chuvas ao longo do ano na Terceira não é homogénea. O máximo de precipitação verifica-se nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro e o mínimo entre Junho e Agosto, contudo a precipitação nestes três meses

representa ainda cerca de 15% da precipitação total (Agostinho, 1942; Bettencourt, 1979).

A humidade relativa apresenta sempre valores muito elevados. Ao longo do ano, independentemente da estação, os valores da humidade relativa raramente são inferiores a 75%. Alguns dias apresentam valores superiores a 90% e poucos são os que têm valores inferiores a 50% (Agostinho, 1942; Bettencourt, 1979).

No que concerne à temperatura, o arquipélago apresenta valores médios mais elevados aos registados em estações de outros locais que se encontram à mesma latitude e altitude. Ao nível do mar, a temperatura média anual varia entre os 17,2°C e 17,8°C. Nos meses mais quentes a temperatura média mínima é de 20,8°C e a média máxima de 23,2°C (Agostinho, 1942; Bettencourt, 1979).

Quanto aos solos, segundo Madruga (1986), a maioria são do tipo Andossolos, formados a partir de materiais vulcânicos piroclásticos. Os principais tipos de solos da Terceira são os solos incipientes e os andossolos.

1.1.2. Geologia e Geomorfologia da ilha Terceira

As ilhas Açorianas tiveram origem a partir de um conjunto de processos vulcânicos proto-insulares (erupções marinhas e emergentes) e insulares (actividade eruptiva de carácter subaéreo) associados à interacção de três placas litosféricas: Euroasiática, Americana e Africana ou Núbia. Emergem a partir de um domínio litosférico triangular, a Plataforma dos Açores, que possui uma série de estruturas que definem a MicroPlaca dos Açores. Esta é limitada a oeste pela Crista Médio Atlântica, a sul pela Fractura Sudeste dos Açores e a norte – nordeste pelo Rift da Terceira (Rodrigues, 2002).

Os Açores dispõem-se sobre um conjunto de falhas transformantes, paralelas entre si, perpendiculares ao *rift* médio Atlântico e tendentes para a falha Glória (falha Açores-Gibraltar), que constitui os limites das placas Euro-asiática e Africana, encontrando-se, este conjunto, ao longo do *rift* médio Atlântico, com a placa Americana (Zbyszewski *et al.*, 1971).

Em termos geológicos, nos Açores predominam os piroclásticos de composição traquítica (pedra-pomes), seguindo-se os de composição basáltica (bagacina) (Madruga 1986). Estes materiais (principalmente a pedra-pomes), sofrem uma rápida meteorização fornecendo os solos mais ricos e profundos da ilha, salvo raras excepções localizadas, a sua distribuição é coincidente com as actividades agro-pastoris (Dias, 1989). De acordo com o mesmo autor, os mantos lávicos, os basálticos e os traquíticos, suportam uma ocupação silvícola, quando suficientemente evoluídos para tal, ou vinícola, quando se encontram em zonas costeiras, estando os materiais menos evoluídos com vegetação espontânea.

O vulcanismo insular subaéreo nas ilhas assentou num conjunto de manifestações de carácter basáltico, traquibasáltico e traquítico, com estilos e actividades muito diversificadas.

A ilha Terceira corresponde à fracção emersa de uma montanha submarina que se eleva da Plataforma dos Açores. A estrutura da ilha é dominada por duas tendências direccionadas, a direcção dominante é a do Rift (NNW – SSE) e a segunda é oblíqua ao Rift (WNW – SSE).

A junção de dois tipos de vulcanismo caracteriza a edificação da ilha, um de características basálticas e um outro de aparelhos centrais com emissão de lavas traquíticas.

Segundo Fernandes (1985), a Terceira é a mais complexa dos Açores, mostrando uma maior variedade de rochas. As rochas da ilha Terceira podem ser divididas em 3 grupos: lavas do quaternário; materiais de projecção do Pleistoceno Recente e Depósitos termais e sedimentos do Pleistoceno Recente (Lloyd, 1981, citado por PINHEIRO, 1990).

Esta ilha possui a maior parte da sua superfície a uma altitude inferior a 300 m (55,6%), sendo também de realçar a pequena percentagem da ilha que se eleva acima dos 800 m, somente 2 %.

A ilha Terceira teve a sua formação assente em 4 complexos vulcânicos, com uma deslocação da idade de formação de Este para Oeste, como a maioria das ilhas açorianas (Zbyszewski *et al.*, 1971).

No que diz respeito aos complexos vulcânicos responsáveis pela formação da ilha Terceira, as opiniões divergem, no entanto, destacam-se aqui apenas alguns trabalhos. Tendo em conta o primeiro levantamento da ilha Terceira, efectuado por Zbyszewski *et al.* (1971), os aparelhos vulcânicos podem ser agrupados em quatro complexos principais, Serra de Santa Bárbara, Maciço da Serra do Morião, Maciço do Pico Alto e Complexo desmantelado da Serra do Cume e da Serra da Ribeirinha, separadas pela Caldeira dos Cinco Picos. No entanto, segundo Rodrigues (2002), são três os principais aparelhos vulcânicos, Cinco Picos (mais antigo e ocidental da ilha), Guilherme Moniz – Pico Alto (bordadura noroeste do maciço dos Cinco Picos) e Serra de Santa Bárbara (mais jovem e ocidental da ilha). Outros autores acrescentam a esta lista a Zona Fissural e o *Graben* das Lajes (Pimentel, 2006).

Estes complexos vulcânicos apresentam todo um aparelho vulcânico principal que se encontra rodeado por numerosos cones vulcânicos secundários.

O maior e mais primitivo aparelho da ilha situa-se na zona oriental e corresponde a um edifício de grandes dimensões, Cinco Picos. Destaca-se a sua caldeira com cerca de 7 km de diâmetro, agora parcialmente desmantelada, da qual as Serras da Ribeirinha e do Cume constituem os restos dos seus limites, em parte recoberta por erupções mais recentes. Posteriormente, na região centro-meridional da ilha, desenvolveu-se o aparelho vulcânico Guilherme Moniz, responsável pela formação de grande parte do centro da ilha, cuja principal estrutura corresponde à actual caldeira do mesmo nome, formada por uma última fase explosiva. Sobre este aparelho e na sua metade Norte desenvolveram-se erupções mais recentes, que emitiram lavas traquíticas (Pimentel, 2006).

O vulcão do Pico Alto localiza-se no centro-setentrional da ilha, destaca-se pela presença de grandes aglomerados de domos e coulées na sua caldeira. A origem deste vulcão não está bem definida, se para alguns autores (Self, 1974) este é um vulcão parasita do Guilherme Moniz, para outros (Lloyd e Collis 1981) é apenas uma zona de actividade actual do Guilherme Moniz.

Por último, no terço ocidental da ilha, surge o aparelho da Santa. Bárbara. Numa primeira fase, destaca-se uma quase contínua emissão alternada de lavas e clastos basálticos, formando-se um cone simétrico com 3200 m de altitude (Fernandes, 1985). Posteriormente, teve lugar uma segunda fase, esta agora explosiva, de pedra-pomes, que terá levado à formação de uma caldeira (Pimentel, 2006). O maciço de Santa Bárbara é um edifício vulcânico ainda activo, com uma altitude máxima de 1023 m, a maior da ilha, culminando numa caldeira. Considera-se o mais jovem dos maciços que constituem a ilha (Pimentel, 2006).

A Zona Fissural atravessa a ilha através de uma faixa de cerca de 2 km de largura. O sector activo da Zona Fissural situa-se na região central da ilha, no dominado Sistema Vulcânico Fissural (Pimentel, 2006).

Tanto a actividade sísmica como a vulcânica representam os principais fenómenos que foram afectando o arquipélago ao longo dos anos. Realçam-se três episódios mais recentes de actividade vulcânica: a erupção na zona central da ilha em 1761, e, mais recente, duas erupções submarinas que tiveram lugar na Crista Submarina da Serreta, em 1998 e 2001 (Pimentel, 2006).

1.1.3. Campos geotermiais – Contextualização e Diagnóstico

Os estudos sobre áreas geotermiais, o seu funcionamento e as relações dos organismos com este habitat são ainda poucos e aqueles que existem são na sua maioria descritivos. Estes ecossistemas são caracterizados, de um modo geral, pelo aumento da temperatura do solo, exposição ao fluxo de gases, mineralização elevada do solo e pH elevado. Os solos hidrotermais são geralmente ácidos, têm pouca quantidade de material orgânico, fósforo e alumínio, mas podem apresentar concentrações mais elevadas de outros constituintes (Boothroyd, 2009).

O presente trabalho foi desenvolvido num campo geotermal localizado na ilha Terceira – Açores. Este campo, designado de Furnas do Enxofre, representa a principal manifestação de vulcanismo secundário da ilha. Localiza-se no centro da ilha, no Pico do Galhardo, na vertente sul do Pico Alto (a N da Caldeira Guilherme Moniz) e a NE do Pico da Bagacina.

Nos Açores as áreas de desgaseificação estão relacionadas com processos hidrotermais. Nestes casos, os gases atingem a superfície “arrastados” pela água ou vapor (Ferreira *et al.*, 2005). Destaca-se neste campo geotermal a intensa actividade fumarólica.

Das fumarolas são emanados vapores e gases vulcânicos sendo o vapor de água o que ocupa um maior volume, cerca de 90%. Segundo análises realizadas nas ilhas Terceira, Graciosa e S. Miguel, os principais constituintes dos gases das fumarolas são: dióxido de carbono, sulfureto de hidrogénio, hidrogénio, árgon, metano, nitrogénio e oxigénio (Ferreira *et al.*, 2005). As fumarolas podem ser designadas de sulfataras, quando os gases da fumarola são predominantemente sulfurosos, ou mofetas, quando o dióxido de carbono é o constituinte predominante (Enciclopédia Açoriana 2010; Enciclopédia Britânica 2010).

O conhecimento do funcionamento destes recursos termais, da dinâmica das comunidades aqui presentes, quer a nível da organização da paisagem quer a nível das comunidades a uma escala mais pequena, é fundamental para uma gestão adequada do local.

A monitorização das fumarolas é um dos métodos utilizados para detectar alterações que podem indicar modificações importantes no comportamento dos sistemas vulcânicos. Para tal, o conhecimento aprofundado destes sistemas, da sua composição e funcionamento, é fundamental para uma interpretação correcta dos dados obtidos nas

monitorizações. Uma mudança repentina na constituição dos gases, um aumento da actividade e o surgimento de novas fumarolas poderão ser indicadores de possíveis alterações no sistema vulcânico (Enciclopédia Açoriana 2010).

Ao longo dos anos alguns campos de fumarolas presentes nas ilhas do arquipélago dos Açores foram alvo de várias monitorizações, destacam-se as realizadas por Welester (1817), Mousinho (1825), Buller (1840), Fouqué (1872), Chaves (1887 e 1905), Lepierne (1912) e Agostinho (1934). Mais tarde, entre 1959 e 1964, novas medições de temperaturas nos Açores foram levadas a cabo por Forjaz (Zbyszewski *et al.*, 1971).

Na recolha de dados nos campos de fumarolas é muito importante o conhecimento dos parâmetros meteorológicos (precipitação, pressão barométrica, humidade, temperatura e velocidade e direcção do vento) pois estes influenciam o fluxo das fumarolas e, após eventos meteorológicos extremos, os gases podem atingir concentrações muito elevadas (Oskarsson *et al.*, 1999; Viveiros *et al.*, 2008). É importante realçar, que para cada local os parâmetros meteorológicos têm diferentes efeitos sobre os gases.

Segundo Clarkson (1999) a vegetação geotermal engloba a vegetação terrestre e a de zonas húmidas, onde as comunidades de plantas têm uma composição, estrutura e /ou taxas de crescimento características, determinadas pela entrada de energia derivada da actividade geotermal (sólidos, fluidos e gases) (New Zealand Plant Conservatiton 2010).

A vegetação presente nestes locais é muito variada devido às diferentes combinações, reflecte a influência da temperatura do solo, a presença permanente de água e zonas húmidas, acidez, e outros aspectos químicos da água e do solo, altitude e idade da actividade geotermal (Boothroyd, 2009; New Zealand Plant Conservatiton 2010).

Os tipos de vegetação que podem existir em habitats geotermiais incluem: campos de líquens, musgos, gramíneas, fetos, arbustos, juncaceas, cyperaceas, floresta, zonas húmidas e habitats de águas livres, e solo nu influenciado pela actividade geotermal (New Zealand Plant Conservatiton 2010).

A distribuição das comunidades em ambientes geotermiais deve-se, principalmente, à temperatura, no entanto, pode actuar em conjunto com outros factores como o pH e o carbono no solo. Esta distribuição acontece numa sequência previsível ao longo do gradiente de temperatura do solo e é consistente com outros gradientes de stress (Boothroyd, 2009). A temperatura também influencia a forma das plantas tornando-se a sua estatura mais baixa quando a temperatura aumenta. A localização, as condições

climáticas e altitude também influenciam a distribuição dos organismos (Elmarsdottir *et al.*, 2003).

Destacamos um método citado por Burns (1997) para a caracterização da vegetação presente em áreas geotermiais. Este método consiste na interpretação de fotografias aéreas da área; na implementação de transeptos paralelos e análise de parcelas de vegetação tendo em conta a estrutura e composição. As parcelas amostradas apesar de se encontrarem a 5m das fumarolas e terem temperaturas do solo mais baixas, estão a crescer sob a influência de características geotermiais.

Outro método utilizado para a caracterização da vegetação segundo Elmarsdottir *et al.* (2003), baseia-se na colocação de transeptos desde os pontos mais quentes até aos pontos mais frios; dentro de cada transepto são escolhidas algumas parcelas e depois estas parcelas são divididas em subparcelas; a temperatura do solo é medida em cada subparcela a cerca de 10cm de profundidade do solo. A cobertura vascular das espécies, dos musgos e líquens são estimados visualmente em cada subparcela. Tendo em conta o mesmo trabalho, é previsível que o número de vasculares diminua à medida que a temperatura vai aumentando, os líquens apresentam um comportamento semelhante enquanto que os musgos não apresentam uma resposta igual às mudanças de temperatura.

A distribuição da vegetação das áreas geotermiais pode ser analisada a duas escala: a zonação das comunidades a nível da paisagem e a zonação das comunidades a uma escala mais pequena. Em ambas as zonações existem organismos que estão adaptados a este ecossistema, no entanto, nas comunidades mais próximas das fumarolas existem organismos que dependem dos factores de stress aqui presentes para poderem sobreviver, estes organismos são designados por extremófilos. Estes são capazes de sobreviver em ambientes com condições extremas que para nós são impensáveis. De acordo com Santos *et al.* (2001), o termo extremófilo foi pela primeira vez usado em 1974 por MacElroy para designar organismos que viviam em ambientes extremos (apresentam diversidade biológica restrita).

Os organismos extremófilos crescem em comunidades com biliões de indivíduos e dezenas de espécies, algumas comunidades revestem as aberturas das fontes termais, outras crescem em colunas, esteiras, existindo migração dos microrganismos mais para baixo ou para cima dependendo da temperatura e luminosidade. Isto mostra que são comunidades dinâmicas e que estão em constante alteração (Deacon, 2010).

As características fisiológicas e nutricionais destes organismos reflectem as propriedades do habitat onde se encontram.

Os ambientes considerados „normais’, sem condições extremas ou com um acontecimento extremo, raramente tem micro-flora extremófila. Isto significa que a evolução dos extremófilos até ao ponto de necessitarem de uma ou mais condições extremas para poderem sobreviver, só foi possível em ambientes com condições extremas elevadas e constantes no ecossistema (Seckbach, 2000).

Existem exemplos de extremófilos no domínio *Bacteria* e, mais recentemente descoberto, no domínio *Archaea*, no entanto, tendem a pertencer mais a este último.

Estes organismos são agrupadas em diferentes categorias, tendo em conta a temperatura, acidez, alcalinidade, salinidade e pressão. A temperatura é o factor ambiental que mais influencia o crescimento e a sobrevivência dos organismos. Todos os organismos têm um conjunto de temperaturas, mínima, máxima e óptima, estas são designadas de Temperaturas Cardinais.

1.1.4. Valorização dos Campos Geotermiais

1.1.4.1 Benefícios

As áreas geotermiais representam locais de elevada importância geológica, biológica, ecológica e turística. A grande diversidade de recursos aqui presentes, as características específicas e as relações peculiares criadas entre a vegetação e os organismos são responsáveis pela criação de um habitat diferente e ainda muito desconhecido.

A raridade destes habitats quer a nível mundial quer a nível regional e as características raras da organização das espécies e das próprias espécies em si que neles habitam, faz com que estes ambientes sejam detentores de uma elevada importância ambiental e poderá sugerir a existência de espécies endémicas, principalmente, quando a localização destes recursos se dá em ilhas.

Apesar de ainda representarem um habitat pouco conhecido, já foram mostrados benefícios que do estudo destas áreas podem resultar. Por um lado, o conhecimento do comportamento de um campo geotermal pode ser fundamental na monitorização da actividade vulcânica do local, pois alterações na localização dos recursos e intensidade do fluxo, poderá significar alterações profundas no sistema vulcânico. Por outro lado, já são conhecidos vários exemplos, a nível mundial e local, nomeadamente na ilha de S. Miguel, de organismos extremófilos que apresentam características que poderão ser úteis para a utilização em medicamentos.

Para além da elevada diversidade biológica e ecológica que apresenta, este local é um importante ponto turístico da região.

A beleza destas comunidades e o habitat singular em seu redor tem levado a um aumento da curiosidade e procura destes locais. Assistimos assim ao surgimento de uma relativamente nova, vertente de turismo, o geoturismo. Este novo conceito foi introduzido pela Travel Industry of America e National Geographic Traveler Magazine, em 2002. O geoturismo valoriza as características geográficas de um local, o seu ambiente, cultura, estética e o bem-estar dos residentes, e, tal como acontece com o ecoturismo, incorpora também o conceito de sustentabilidade (Heggie, 2009).

O número de visitantes que procuram esta vertente de turismo mostra a elevada importância que este tem. Em 2008, 1,2 milhões de turistas visitaram vulcões activos no Hawaii; 1,1 milhão visitou o vulcão Haleakala no Hawaii; 3 milhões visitaram os géisers do Parque Nacional do Yellowstone; 1,2 milhões visitaram as nascentes termais do

Parque Nacional do Arkansas, entre muitos outros pontos de interesse geológico que são procurados. Para além disso, o geoturismo tem uma grande vantagem, sobretudo nos Açores, que se deve à reduzida sazonalidade que apresenta (Heggie, 2009). Devido a este aumento de procura destes locais é fundamental a existência de uma gestão adequada.

Mas a procura destes locais não se fica a dever apenas com questões biológicas e turísticas. Com a crescente necessidade de diminuir os gases poluentes, tem-se vindo assistir ao desenvolvimento do geotermismo, que consiste no aproveitamento da energia que provém do interior da terra. Deste modo, a energia geotérmica pode ser aproveitada para reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Com o aumento da profundidade a temperatura também aumenta, e, quanto maior esta for, maior é o potencial geotérmico do local.

Por vezes podem ocorrer intrusões magmáticas, estas consistem numa fonte de calor mas a menor profundidade do que o que seria de esperar. Quando isto acontece, o valor geotérmico deste local aumenta.

Os benefícios que desta exploração geotérmica podem surgir são vários. Destacamos benefícios terapêuticos: aproveitamento das propriedades químicas da água e temperatura a que surge à superfície; e benefícios energéticos: aproveitamento do calor para a produção de energia eléctrica e/ ou aquecimento industrial.

As principais regiões com aproveitamento de energia geotérmica são Portugal, Itália, EUA, Japão, Islândia e Nova Zelândia.

Em Portugal, destacamos alguns exemplos da utilização de energia geotérmica: em Lisboa, o Hospital da Força Aérea é aquecido com calor geotérmico; em Chaves a energia geotérmica é utilizada para a balneoterapia; aquecimento de estufas, etc.; nos Açores, existem centrais geotérmicas na Ribeira Grande e do Pico Vermelho que suprem cerca de 40% das necessidades energéticas da ilha.

Segundo um projecto de uma central geotérmica de 12 MW nas Furnas do Enxofre, esta zona apresenta temperatura na ordem dos 233°C aos 600m de profundidade tendo possivelmente potencial para produzir cerca de 90 GWh por ano (Martins, 2007).

Admite-se que até 2025 a produção derivada de consumo de combustíveis fósseis poderia ser reduzida para 6%, no caso de haver armazenamento energético pelo uso de tecnologia hidrореversível, que permite o armazenamento de uma grande quantidade de energia que de outra forma seria perdida (Martins, 2007).

Segundo a GEOFAR (2009) uma central de energia geotérmica de 12 MW na zona central da Ilha Terceira poderia suprir 50% das necessidades de consumo eléctrico da ilha.

1.1.5. Furnas do Enxofre – importância ecológica e geológica

Os campos geotermais representam áreas de elevada importância biológica, ecológica e turística. As Furnas do Enxofre não são excepção. Localizadas no centro da ilha Terceira e inseridas numa paisagem semi-natural envolta de zonas húmidas, este campo de fumarolas representa o único campo com estas características em toda a Macaronésia.



Figura 4 – Charco localizado à entrada das Furnas do Enxofre (Foto: Rita Costa).

As Furnas do Enxofre ocupam uma área de cerca de 64.746 m^2 , localizam-se no centro da ilha Terceira, no Pico do Galhardo, na vertente sul do Pico Alto (a N da Caldeira Guilherme Moniz) e a NE do Pico da Bagacina.

Este campo geotermal reúne um conjunto de características muito próprias e que o tornam num local com um elevado potencial quer em termos turísticos como biológicos e ecológicos. A conjugação de diversos factores, como a temperatura e o pH, leva à existência de comunidades de vegetação e de microrganismos muito distintos e que co-habitam neste campo geotermal. A peculiaridade das Furnas do Enxofre conduziu a que campo esteja actualmente abrangido por várias medidas de protecção.

Através do Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de Abril Anexo B-I, as Furnas do Enxofre

constituem um habitat protegido – escoadas lávicas e escavações naturais

(campo de fumarolas); e constam também da lista das Zonas de Protecção Especial (ZPE) para a região biogeográfica da Macaronésia da Rede Natura 2000, sob a designação «Serra de Santa Bárbara e Pico Alto» (PTTER0017) (aprovado pela Decisão da Comissão de 28 de Dezembro de 2001 e publicada no *Jornal Oficial das Comunidades Europeias* em 9 de Janeiro de 2002). Este campo de fumarolas encontra-se ainda classificado como Monumento Natural Regional através do Decreto Legislativo



Figura 5 – Campo de Fumarolas das Furnas do Enxofre (Foto: Rita Costa).

Regional nº. 10/2004/A, e, devido à sua localização, envolvência e reunião de habitats terrestres com zonas húmidas, as Furnas do Enxofre estão inseridas nas áreas *Ramsar* – Planalto Central da Terceira (Furnas do Enxofre e Algar do Carvão) (Wi Site No.3PT025; Ramsar No. 1805; data de admissão na lista de Zonas Húmidas de Importância Internacional 16/06/08) (4).



Figura 6 – Turfeira próximo da estação meteorológica (Foto: Rita Costa).

A necessidade de protecção / valorização das Furnas do Enxofre é muito elevada e tem vindo a ser reforçada com o tempo. Por um lado, estamos na presença de um campo geotermal que apresenta características muito próprias, comunidades muito peculiares e de elevada importância

biológica e ecológica; por outro, o conhecimento sobre este ecossistema, sobre o seu funcionamento, estrutura, organização e dinâmica, é ainda muito reduzido, o que agrava qualquer atitude que seja tomada agora, pois significa que não são esperados nem conhecidos os seus efeitos.

A integração das Furnas do Enxofre em diversos meios de protecção legal, veio realçar a importância deste campo de características singulares, quer a nível regional quer a nível da Macaronésia, não só para os interessados nas áreas da investigação mas também para o público em geral.

1.1.6. Principais ameaças

1.1.6.1. Principais ameaças a nível mundial

Os ecossistemas geotermiais são muito frágeis, facilmente podem ser danificados e estes impactes são, na sua maioria, irreparáveis. Por mais pequenas que sejam, as alterações ao nível da água, composição, pressão e temperatura podem provocar modificações muito prejudiciais (6).

Muitos autores (Given, 1995; Mitchell Partnerships, 2009) consideram que a integridade ecológica de muitas áreas geotermiais a nível mundial tem vindo a sofrer um decréscimo nos anos recentes. Facto este que se pode ficar a dever ao aumento da procura das áreas geotermiais por parte do turismo, e a falta de conhecimentos que existe sobre estas áreas, conduzindo a uma gestão desajustada das necessidades de protecção a que campos geotermiais deveriam estar sujeitos.

As ameaças são várias e, de um modo geral, muito semelhantes a todas as áreas geotermiais. A nível mundial destaca-se: exploração e extracção de água e vapor dos reservatórios geotermiais, que pode causar efeitos negativos na actividade superficial reduzindo a temperatura do solo e da água influenciando assim a dinâmica da vegetação; desenvolvimento industrial; construção de campos de golfe, estradas; construções como canos, valas e outras estruturas à volta das áreas geotermiais; arrastamento de cascalho/areia para os recursos geotermiais; drenagem das zonas húmidas, introdução de plantas exóticas; pragas de animais, principalmente coelhos e plantas invasoras que, devido à sua grande capacidade de adaptação, podem ocupar áreas marginais aos campos de fumarolas; depósitos ilegais; deriva de fertilizantes; desenvolvimento da actividade turística muito acentuada nestas áreas (Burns *et al.*, 1995) e sem vigilância, levando à passagem de pessoas por locais sensíveis; remoção de plantas e a acumulação de pedras e/ou outros objectos lançados pelos visitantes junto das áreas mais sensíveis como os terraços de sílica, podendo causar danos muito graves e irreversíveis (Cody, 2007; DiBona *et al.*, 2010; New Zealand Plant Conservatiton 2010).

Todos os recursos geotermiais são muito susceptíveis a danos provocados por qualquer modificação no solo mas destacam-se as práticas agrícolas, a silvicultura e a mineração como as principais causadoras de impactes.

A alteração dos campos geotermais, e das áreas adjacentes, representa um forte distúrbio para um ecossistema geotermal porque pode causar alterações das condições geotermais subjacentes, e, por tal, alterar as condições superficiais quer seja a temperatura ou o pH, à medida que o ecossistema é alterado (Mitchell Partnerships, 2009).

Os aumentos e decréscimos e as migrações no fluxo de calor, e, consequentemente, as alterações e ajustamentos da vegetação a esta nova distribuição do fluxo são um processo normal. No entanto, a pressão do homem sobre estas áreas torna este processo muito mais rápido não permitindo o reajustamento da vegetação e dos organismos às novas condições, reduzindo a qualidade e a biodiversidade destes habitats (Mitchell Partnerships, 2009).

Mas os impactes provocados em áreas geotermais não se resumem às actividades antropogénicas. Os processos naturais, como terremotos, actividade vulcânica e geotermal e mineralização, podem levar a alterações na pressão e na temperatura dos gradientes e fluidos (6).

1.1.6.2. Principais ameaças a nível local

Nas Furnas do Enxofre os principais impactes provocados são: deposição de lixo ilegal, pressão da actividade turística com a passagem de pessoas por zonas sensíveis, pisoteio e pastoreio (e.g. pegadas e excrementos de gado, abertura de tocas) e abertura de buracos para a realização de cozidos.

Actualmente o pastoreio no interior do campo geotermal encontra-se mais reduzido, quando comparado com anos anteriores, devido a uma intervenção no local que consistiu na colocação de uma vedação em redor de todo o campo. Mas a presença de gado durante muito tempo nesta área deixou marcas, e.g. alteração da estrutura e composição das comunidades naturais, desaparecimento de espécies e, consequentemente, favorecimento do aparecimento de outras, destruição significativa do coberto herbáceo e arbustivo, destruição da camada impermeabilizante do solo, alteração da hidrologia do solo através da formação de carreiros e alteração da carga orgânica local devido à introdução dos dejectos destes animais (Dias *et al.*, 2002). Realça-se ainda a presença de coelhos em toda a área das Furnas do Enxofre e, em certos locais, cabras.

Dos impactes anteriormente referidos, a abertura de buracos para a realização de cozidos é considerado um dos mais graves. A abertura dos buracos é feita no Vale do Inferno, onde as temperaturas são mais elevadas. Para lá chegar, as pessoas têm que sair do passadiço e atravessar uma zona que aparentemente se apresenta com pouco vida. No entanto, esta zona é formada por relações complexas entre vários microrganismos e que dão origem a diferentes estruturas e cores ao solo, constituindo assim o pisoteio e a abertura de buracos impactes gravíssimos que impossibilitam o restabelecimento destas comunidades ou tornam a sua recuperação muito mais lenta.

Junto às fumarolas encontram-se algumas comunidades em locais menos estáveis. Quando estas comunidades atingem um determinado tamanho/peso desprendem-se do solo e caem, deixando o local onde se encontravam a descoberto. Este comportamento observado nas Furnas do Enxofre ocorre de uma forma cíclica, ou seja, a comunidade cresce, atinge um tamanho que deixa de ser suportado e cai, de seguida, a vegetação volta a crescer e a estabelecer-se neste local e o ciclo repete-se. No entanto, este processo pode ser acelerado e/ou provocado pela passagem de pessoas e animais (Dias *et al.*, 2002).

1.1.7. Objectivos

Com a realização da presente tese de mestrado pretende-se identificar critérios que permitam a elaboração de um modelo interpretativo do funcionamento deste campo geotermal, e a caracterização das fumarolas no que diz respeito à temperatura, e organização das comunidades geotermiais em torno das fumarolas e organização da vegetação a nível da paisagem, de modo a que estes conhecimentos possam ser aplicados no plano de gestão e no restauro ecológico.

O estudo das áreas envolventes ao campo de fumarolas representa também um objectivo muito importante, uma vez que estas fumarolas estão associadas a processos hidrotermais onde a percentagem de água oriunda das áreas envolventes a este local é muito importante.

A análise da vegetação presente no campo de fumarolas permitirá a caracterização e zonamento das comunidades a nível da organização da paisagem e, numa escala mais detalhada, a nível da organização das comunidades em torno das bocas das fumarolas. A elaboração da cartografia da vegetação e da cartografia térmica será realizada com recurso à fotografia aérea a cores e aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

A utilização do Ground Force Penetrater (GPR) permitirá identificar estruturas internas como falhas e a presença de diferentes materiais.

O conhecimento do funcionamento do campo de fumarolas das Furnas do Enxofre, permitirá reajustar o plano de visitação actual, de modo a reduzir os impactes provocados pela visitação e pela descoberta do valor patrimonial deste local. Deste modo, com os resultados obtidos, pretende-se elaborar um conjunto de medidas que visem uma gestão mais apropriada para este local.

De um modo geral pretende-se contribuir para um maior e melhor conhecimento do funcionamento dos campos de fumarolas associados a processos hidrotermais, da organiza o da vegeta o presente nestes habitats, de modo a fornecer informa o importante para a elabora o de medidas de gestão mais ajustadas às necessidades destes locais. Os dados recolhidos no que diz respeito   temperatura e vapor de água permitirão a elabora o de gráficos interpretativos da rela o entre estes parâmetros e a distribui o da vegeta o que poderão ser utilizados como base para futuras monitoriza es.

Outro aspecto muito importante consiste na consciencialização da população para a importância que este campo de fumarolas representa, e alertar para a necessidade de conservação do nosso património natural.

1.2. Vulcanismo

1.2.1. Tipos de vulcanismo

O vulcanismo faz parte de um processo a partir do qual o material que se encontra no interior da terra atinge a superfície, ou seja, consiste num conjunto de procedimentos a partir dos quais a lava, gases e outros materiais que se encontram no interior da terra, conseguem atingir a superfície. Existem duas formas de vulcanismo, o vulcanismo primário e o vulcanismo secundário. Quando falamos em vulcanismo primário estamos a referir-nos ao evento vulcânico principal; enquanto que o vulcanismo secundário ou residual, refere-se a manifestações posteriores (9).

1.2.1.1. Vulcanismo secundário

O vulcanismo secundário é sempre menos violento que o primário, apenas se verifica a libertação de água e/ou gases a temperaturas elevadas. Este tipo de vulcanismo está relacionado com a energia térmica que é emitida pelos corpos magmáticos quentes que se encontram a pequenas profundidades.

As formas mais comuns pelas quais o vulcanismo secundário se pode manifestar são as seguintes: nascentes termais; fumarolas (ricas em vapor de água), mofetas (ricas em dióxido de carbono), sulfataras (ricas em enxofre); géisers e fontes de libertação de água quente rica em sais minerais (comunicação oral Rodrigues 2006).

A água presente no solo pode ter diferentes origens: pode ter origem na atmosfera e através da precipitação infiltra-se e aquece junto à câmara magmática e retorna à superfície, agora já como água meteórica; pode resultar da condensação do vapor de água libertado pelo magma – água magmática ou juvenil; como pode também resultar da infiltração e aquecimento devido à conjugação do gradiente geotérmico e constituição geológica da zona (5).

Tabela 1 – Caracterização dos diferentes recursos geotermiais (5).

Recurso geotermal	Materiais emitidos	Temperatura °C
Nascente termal	Água líquida rica em sais minerais	Cerca de 6 °C acima da temperatura média do ar
Géiser	Água líquida	90 °C
Fumarola	Compostos enriquecidos em ácido clorídrico (gasosos)	900 °C
Sulfatara	Compostos enriquecidos em enxofre (gasosos)	100 °C – 300 °C
Mofeta	Compostos enriquecidos em dióxido de carbono (gasosos)	100 °C

Em Portugal, os arquipélagos dos Açores e da Madeira são os que apresentam manifestações secundárias mais evidentes (5).

Destaca-se, nos Açores, as manifestações vulcânicas mais recentes, 1998 e 1999, erupção do vulcão da Serreta, na ilha Terceira. No que diz respeito à Madeira, esta não apresenta vulcanismo activo, sendo considerado por alguns como extinto (5).

No que diz respeito ao território nacional, destaca-se o Algarve, Alentejo e Estremadura com a presença de rochas vulcânicas; as manifestações de vulcanismos secundário também estão presentes sob a forma de nascentes termais. De facto, Portugal continental é muito rico em nascentes termais. Estas não são de origem vulcânica, ocorrem devido ao aquecimento das águas de infiltração que aquecem à medida que se vão infiltrando (5).

1.2.2. Caracterização dos Campos geotermiais – Modelos explicativos do seu funcionamento

Alguns dos recursos geológicos mais raros no mundo são os campos geotermiais e os recursos superficiais que eles dão origem (Cody, 2007).

Os campos geotermiais não são só importantes pela sua beleza intrínseca mas, também, pela elevada significância cultural, económica (e.g. fonte de energia, actividades turísticas relacionadas) e elevado potencial científico. Estes locais funcionam como excelentes exemplos de variedade geológica e de ecossistemas naturais que são habitats para muitas plantas, animais e microrganismos (6).

Os recursos geotermiais encontram-se, normalmente, em aglomerados, podendo por vezes também surgir como um recurso isolado. A nível mundial, as nascentes termais são o recurso geotermal mais comum e podem ocorrer tanto em campos termais como recursos isolados.

Os campos geotermiais surgem em locais onde o magma consegue mover-se próximo da superfície da terra. Falhas, fracturas nas rochas e poros permitem que a água no solo se desloque para a superfície (Cody, 2007). A reunião destes e de outros factores, permitem que os recursos termais ocorram em locais distintos do mundo. Algumas regiões já tiveram uma actividade geotermal durante diferentes períodos da escala geológica, no entanto, estes recursos têm uma duração de vida que pode ir desde poucos dias até milhares de anos.

Todos os tipos de recursos que existem em campos geotermiais resultam de várias manifestações do mesmo conceito, ou seja, a existência de uma câmara magmática no solo, água quente e vapores, aprisionamento de gases sob uma crosta da terra muito fina e canais que fazem a conexão entre a câmara magmática e a superfície.

Antes de mais, é necessário entender como funcionam os campos geotermiais de modo a compreender melhor a elevada importância que representam, primeiro, pela raridade do campo em si, segundo, pela raridade das combinações de factores que levam ao estabelecimento de relações muito peculiares de plantas e animais.

Para a formação de um campo geotermal é necessário que a água que existe no solo, que pode ser proveniente da precipitação, escorrência superficial, neve derretida, rios e lagos, entre em contacto com as rochas subterrâneas quentes. Para além do contacto directo com as rochas quentes, pode ocorrer a mistura da água termal (de profundidade) com a água existente no solo. Esta mistura pode ser alimentada por um ou mais

vazamentos de aquíferos de água do solo. Nestes casos, os recursos termais são alimentados pelo aquífero com a mistura da água do solo e da água termal em vez de serem alimentados directamente da fonte profunda (Ngatamariki Geothermal Development, 2009).

Através deste contacto a água vai aquecer e à medida que vai aquecendo vai-se tornando menos densa que a água superficial fria, por isso, a água quente vai começar a subir até atingir a superfície. Ao atingir a superfície esta água pode ser descarregada através de uma grande variedade de recursos geotermiais que podem incluir: nascentes termais, géisers, depósitos de sílica, poças de lama, fumarolas, solos quentes e com libertação de vapor, crateras de erupção hidrotermal e solos alterados (Cody, 2007). Destes recursos geotermiais destaca-se as fumarolas, recurso mais abundante no campo geotermal em estudo.

A palavra fumarola vem do latim *fumus* e significa fumo. São conhecidas como aberturas na superfície terrestre que permite a saída de vapor, sulfureto de hidrogénio e/ou outros gases que, normalmente, estão relacionados com a actividade passada do magma (10). As fumarolas são basicamente como as nascentes termais só que possuem muito mais calor e pouca água. Esta água ferve e evapora antes de atingir a superfície e daqui resulta a saída de vapores e gases a elevadas temperaturas. As fumarolas são os recursos termais superficiais mais quentes e, nas áreas vulcânicas, são o recurso geotermal que contribui com o maior fluxo de gases (Oskarsson *et al.*, 1999).

As fumarolas representam apenas um dos vários recursos geotermiais que se podem formar à superfície. Esta variedade depende da temperatura do fluido, da pressão, dos gases dissolvidos, da composição e estrutura da rocha quente, da permeabilidade e da idade do sistema geotermal (6).

Para explicar o sistema de funcionamento de um campo de fumarolas, realçam-se dois modelos apresentados para o vulcão Fossa, na Itália, um modelo seco e um modelo húmido (Harris *et al.*, (2000).

Segundo Harris *et al.*, (2000), no modelo húmido, existe um aquífero que se encontra sobre um corpo de magma profundo e que é alimentado pela água do mar, fazendo com que as descargas das fumarolas estejam relacionadas com reservatórios geotermiais pressurizados, nos quais o magma profundo flui.

No modelo seco, existe uma coluna ou chaminé central que se eleva dos gases magmáticos e está envolvida por líquidos onde existe um afluxo de águas saturadas de

sal que estão sujeitas a evaporação total ao aproximarem-se da chaminé central, produzindo assim, vapores que se misturam com os gases magmáticos.

A água que atinge a superfície vem misturada com muitos fluidos. À medida que estes fluidos vão atingindo a parte superior dos sistemas geotermiais, a pressão vai reduzir e a água pode entrar em ebulição causando a separação dos gases dissolvidos, em particular o dióxido de carbono e o sulfureto de hidrogénio. Posteriormente, estes gases, já em estado de vapor, movem-se de uma forma independente até à superfície podendo formar fumarolas e/ou solos com libertação de vapor. Quando este vapor entra em contacto com uma superfície fria no solo, perto da superfície, ele condensa formando águas quentes e com vapores (Cody, 2007).

Num campo geotermal, a composição dos gases que surgem à superfície reflecte tanto a topografia da superfície como os processos que ocorrem no solo (Cody, 2007). Os fluidos muito quentes que vêm das profundezas dos sistemas geotermiais possuem, normalmente, o pH neutro e uma grande concentração de cloretos. Estes fluidos quentes alteram as rochas à medida que vão passando por elas e alguns minerais, como a sílica, dissolvem-se nestes fluidos. Por tal, é muito comum encontrar-se nestes campos formações de sílica.

A hidrologia dos locais onde se encontram campos geotermiais influencia a localização dos recursos superficiais. Os fluidos que conseguem atingir a superfície seguem, normalmente, o fluxo de água natural no solo, por tal, os recursos geotermiais são esperados nos locais onde este fluxo consegue atingir a superfície (Mitchell Partnerships, 2009).

Neste contexto, destacamos um plano de gestão realizado para o campo geotermal de Ngatamariki na Nova Zelândia. No decorrer deste trabalho, foram identificados dois aquíferos através da abertura de poços, um mais à superfície e outro a profundidades intermédias. Através do reservatório geotermal subjacente, o aquífero que se encontra mais em profundidade descarrega uma mistura de águas termais nas nascentes termais. Estes dois aquíferos encontram-se separados por uma sequência de vários tipos de rocha o que cria um aquitarto entre os dois aquíferos. Esta formação geológica é capaz de armazenar água, no entanto, é de natureza semipermeável, ou seja, existe transmissão de água das rochas inferiores para as superiores (Ngatamariki Geothermal Development, 2009). Este facto vem confirmar a teoria anteriormente descrita, de que as águas superficiais podem ser aquecidas pela mistura com as águas termais profundas, que, por sua vez, foram aquecidas através do contacto com as rochas quentes.

As áreas geotermiais proporcionam condições ambientais características o que, normalmente, é seguido pelo estabelecimento de conjuntos pouco habituais de plantas e animais. Nestes habitats destacam-se as associações de plantas características de climas mais quentes; populações de plantas que se encontram a uma distância considerável de outras populações conhecidas da mesma espécie; combinações de plantas que, para além de serem encontradas em áreas circundantes às geotermiais são, também, encontradas nas áreas geotermiais, e que são capazes de sobreviver sob várias condições de stress de mineralização do solo e temperaturas elevadas, e ainda é possível existirem plantas endémicas e/ou raras (Burns *et al.*, 1995; Mitchell Partnerships, 2009).

De facto, áreas geotermiais activas apresentam um ambiente único caracterizado por uma vegetação pouco habitual. Estes ecossistemas são muito frágeis e muito susceptíveis a impactes. Um estudo da composição, estrutura e dinâmica da vegetação presente nestas áreas permite obter um melhor conhecimento e compreensão destes ecossistemas de modo a realizar uma gestão mais adequada (Burns *et al.*, 1995)

Vários factores trabalham juntos para oferecer um ambiente único nos campos geotermiais (Cody, 2007). Os principais factores ambientais que conduzem o padrão da vegetação em campos geotermiais são caracterizados por condições especiais de gradientes de temperatura, humidade e química do solo. Apresentam, normalmente, elevados valores de acidez; baixas quantidades de materiais orgânicos como o fósforo e o alumínio; elevadas quantidades de metais e oligoelementos como o enxofre, manganês, arsénico, entre outros (Given, 1980); apresentam uma grande diversidade química de gases e dinâmica dos fluidos. Segundo Given (1980), a temperatura do ar e a química da atmosfera, também representam factores importantes na caracterização de um campo geotermal (Mitchell Partnerships, 2009). Nos solos hidrotermais alterados, isto é, aqueles onde ocorreram expressões geotermiais mas que já terminaram e o solo já arrefeceu (e.g. migração do fluxo de calor), a vegetação que se vai instalar nestes locais vai continuar a depender de características pouco habituais, como a composição química, que fica a dever-se ao seu passado geotermal (Mitchell Partnerships, 2009).

Os factores anteriormente descritos não existem nas mesmas quantidades nem apresentam as mesmas relações em todos os campos geotermiais, destaca-se, como exemplo, a temperatura. A temperatura à superfície e em profundidade varia muito de local para local e está relacionada com outros factores locais. Toma-se o exemplo mais evidente, dos campos geotermiais da Nova Zelândia, que, normalmente, possuem

temperaturas superiores aos 100°C, e os campos geotermiais da Antárctica, onde as temperaturas em profundidade não ultrapassam os 60°C (Broady *et al.*, 1987).

A reunião de todos estes factores é responsável pela elevada biodiversidade que estas áreas apresentam.

As condições ambientais que os campos geotermiais apresentam poderiam, à primeira vista, fazer com que a vida nestes ambientes fosse impossível para plantas, animais e microrganismos. No entanto, são locais que possuem muita diversidade, contendo muitas espécies que conseguem aqui viver e até algumas, preferem ou dependem mesmo destes ambientes (Cody, 2007).

Dos vários factores característicos, a temperatura do solo apresenta-se como o factor principal na determinação da composição e estrutura da vegetação. A temperatura existente à superfície do solo apresenta, normalmente, uma diferença acentuada com a temperatura em profundidade.

Após a análise da temperatura de um campo geotermal é possível prever a sequência de espécies que ocorrem ao longo deste gradiente. Este facto fornece-nos uma importante e fiável base para o desenho de monitorizações. No entanto, é preciso ter em conta que as espécies respondem de forma diferente às alterações da temperatura (Burns *et al.*, 1995), e a existência de fluxos de ar lateral no interior do solo podem criar zonas secas em redor dos sítios de maior actividade geotermal (Given, 1980).

A condução é apresentada por alguns autores como sendo a principal forma de transporte de calor (Broady *et al.*, 1987; Given, 1980).

A variação da temperatura num campo geotermal não é constante. Por um lado, nas zonas com temperaturas mais baixas as variações, tanto à superfície como em profundidade, são reduzidas; por outro lado, nas zonas de temperaturas mais altas, as variações são muito elevadas. Segundo Given (1980), as temperaturas num m² podem variar mais de 30°C.

Alterações nos Campos Geotermiais:

As áreas geotermiais são activas e dinâmicas por natureza, o que dá origem a uma certa instabilidade. É frequente existirem alterações ao longo do tempo, quer a nível da saída do calor total e da localização dos fluxos de calor, quer do aumento das zonas termiais e o arrefecimento de outras zonas e a criação de novas zonas termiais em locais distintos. Estes aumentos e decréscimos no fluxo de calor vão ser reflectidos em alterações nos

padrões e na distribuição da vegetação geotermal (Mitchell Partnerships, 2009). É provável que exista um tempo próprio para a alteração geotermal do fluxo num determinado local e o ajustamento da vegetação a estas novas condições, aos novos regimes de temperaturas (Given, 1980).

As variações da temperatura das fumarolas, da sua localização e área, da quantidade dos gases emanados e da sua composição, têm implicações importantes no desenvolvimento dos sistemas fumarólicos (Harris *et al.*, 2000).

Foram descritos por Harris *et al.*, (2000), seis mecanismos que tentam explicar as alterações que se verificam ao longo do tempo em campos geotermais:

- 1- Fumarolas com condutas impermeáveis superficiais;
- 2- Impermeabilização profunda (> 400m);
- 3- Fracturas e ou variações na permeabilidade;
- 4- Invasões marinhas ou de água meteórica para o sistema hidrotermal;
- 5- Variações na desgasificação do magma;
- 6- Combinação dos factores apresentados.

1. Fumarolas superficiais com condutas impermeáveis:

As fumarolas com canais superficiais podem ficar bloqueadas através da precipitação de minerais hidrotermais. Quando isto acontece, o fluxo de gases é obrigado a procurar outras zonas mais permeáveis onde será possível desbloquear, fracturar estas zonas permitindo assim, a saída do vapor e dos gases.

2. Impermeabilização profunda (> 400m):

A deposição de minerais hidrotermais em profundidade pode resultar na obstrução de partes ou da totalidade do sistema hidrotermal, causando assim o impedimento, ou a dificuldade, da subida dos gases ou da sua dispersão.

3. Fracturas e/ou variações na permeabilidade:

As variações na permeabilidade de um sistema proporcionam zonas de preferência para o fluxo de gases e de vapor, influenciando assim, a temperatura e a localização das fumarolas. O surgimento de novas fracturas contribui também para estas alterações. A

actividade sísmica desempenha aqui um papel importante, uma vez que, através dela podem ser desenvolvidas fracturas de extensão e criados novos pontos de emissão. Por tal, a actividade sísmica local e regional exerce um poderoso controlo sobre a distribuição e temperatura das fumarolas.

4. Invasões marinhas ou de água meteórica para o sistema hidrotermal:

A mistura do magma com a água marinha hidrotermal ou com reservatórios de água meteórica causam variações na temperatura e na composição química e isotópica dos gases emanados. Segundo Chiodini *et al.*, (1995), a entrada de água do mar no sistema extrai o calor das rochas que se encontram em redor do corpo do magma e trazem-no para a superfície. Alternativamente, a ascensão de fluidos magmáticos a temperaturas elevadas poderá arrefecer se entrar em contacto com reservatórios de águas meteóricas ou marinhas hidrotermais com temperaturas mais baixas. Variações nos reservatórios estão relacionadas com a permeabilidade do sistema, estas variações influenciam a dimensão em que o magma, as águas marinhas hidrotermais e as águas meteóricas, podem interagir.

5. Variações na degasificação do magma:

Tendo em conta o modelo seco anteriormente descrito por estes autores, os fluidos que resultam da degasificação do magma ascendem pela chaminé central que se encontra rodeada por sistemas hidrotermais. A degasificação do magma influencia a actividade das fumarolas através do controlo das entradas de fluido magmático no sistema.

No estudo do campo geotermal existem alguns eventos que podem indicar alterações no funcionamento do campo. Se a temperatura das fumarolas decrescer e a área de exalação de gases aumentar, significa que ocorreu um aumento da perda de calor, ou seja, existe um aumento da contribuição do magma aliado a uma maior permeabilidade. A perda de calor e de gases por uma área superior é possível devido à conjugação de vários factores: um aumento da degasificação, um aumento do fluxo de calor e uma maior permeabilidade (Harris *et al.*, 2000).

Tendo em conta este modelo, quando se verifica um aumento da desgaseificação sem este ser acompanhado por um aumento da permeabilidade, o fluxo irá ficar concentrado

nas fumarolas já existentes, aumentando assim a temperatura. Por outro lado, se existir um aumento da permeabilidade como resposta ao aumento da desgasificação, os gases poderão ascender em novos locais e pode aumentar a distribuição do fluxo de gases por uma área maior. Neste caso, as fumarolas já existentes podem ter fluxos mais reduzidos (Harris *et al.*, 2000).

Para além dos mecanismos anteriormente descritos existem outros factores a ter em conta no estudo de um campo geotermal, como os parâmetros meteorológicos. Estes, afectam a desgasificação do solo, por tal, o conhecimento destes parâmetros e como afectam a desgasificação é fundamental para um futuro reconhecimento de alterações que podem estar relacionadas com processos de profundidade (Ferreira, 2005). Contudo, não é possível descrever de um modo geral quais os factores que afectam e quais as consequências, uma vez que cada local é específico e exige estudos próprios.

1.2.3. Caracterização dos microrganismos – Extremófilos

Os campos geotermiais possuem uma conjugação de vários factores que à primeira vista poderia dar a entender que estas áreas não reuniam as condições necessárias para que pudesse existir vida. No entanto, bastou um olhar mais atento para que esta primeira impressão fosse colocada de lado.

De facto, os campos geotermiais são áreas que possuem uma grande diversidade de organismos que vivem em locais sujeitos a condições que, para nós, são extremas.

Primeiramente, surge a necessidade de definir o que são ambientes normais, qual a reunião de características necessárias para que o ser humano possa existir. Os ambientes considerados por nós normais são ambientes amenos onde se desenvolvem a maioria dos seres que habitam na Terra, ou seja, ambientes com valores de pH próximos da neutralidade, temperatura a rondar os 37°C até os 40°C, pressão atmosférica na presença de oxigénio, conteúdo em sais na ordem dos oceanos, entre outras condições. No entanto, existem organismos que são capazes de viver em ambientes extremos com condições hostis, estes organismos foram designados de extremófilos por MacElroy em 1974 (Wharton, 2002).

Tendo em conta definições dadas por alguns taxonomistas, ambientes extremos são ambientes que possuem uma diversidade restrita, onde a maioria dos organismos são excluídos; destaca-se, também, uma outra definição que tem uma visão antropocêntrica, esta considera que um ambiente extremo são todos aqueles ambientes que não possuem as condições de um ambiente ameno. Segundo estas definições, são considerados ambientes extremos zonas geotérmicas, regiões polares, nascentes ácidas ou alcalinas, lagos com níveis de salinidade próximos da saturação, regiões abissais frias ou regiões bombardeadas artificialmente e que possuem elevados níveis de radiação. Para além destas definições existem muitas outras, no entanto, a definição mais aceite é a de Brock (1994), ele define ambiente extremo como um ambiente em que apenas um número limitado de organismos consegue viver e prosperar. Nesta definição estão excluídos os organismos que apenas toleram estes ambientes, ou seja, não conseguem prosperar (Wharton, 2002).

A distribuição dos organismos extremófilos em ambientes extremos é muito característica. Na formação das comunidades em torno dos respiradouros das fumarolas identificam-se várias zonas. De um modo geral, destaca-se uma mais afastada, menos

quente, composta por algas coloridas e tapetes de bactérias e outra zona mais interior, preta, com condições mais extremas onde surgem os microrganismos unicelulares (Clynne *et al.*, 2003).

Tendo em conta as características do ambiente onde os organismos vivem, os extremófilos podem ser divididos em vários grupos: hipertermófilos, desenvolvem-se em meios com temperaturas superiores aos 100°C (e.g. junto a fumarolas submarinas, géisers); psicrófilos, organismos que se desenvolvem em meios extremamente frios com temperaturas inferiores a -20°C (e.g. gelo do oceano Antártico); acidófilos, organismos que vivem em ambientes muito ácidos (e.g. fontes hidrotermais, depósitos minerais); alcalófilos, vivem em ambientes muito alcalinos (e.g. solos carbonatados); halófilos, organismos que vivem em ambientes muito salinos (e.g. lagos salinos); e, por último, piezófilos, organismos que estão submetidos a grandes pressões (e.g. grandes profundidades) (Wharton, 2002).

De acordo com as definições acima referidas, os campos geotermiais são considerados ambientes extremos. Das várias características peculiares que estes campos apresentam, a temperatura é a que, de imediato, seria apontada como sendo a responsável pela impossibilidade de vida nos campos geotermiais. Se a temperatura é um factor determinante para a organização, desenvolvimento e estabelecimento de relações entre a vegetação, ela é, também, o factor principal no controlo do crescimento e sobrevivência dos organismos, das actividades e relações entre eles (Brock, 1994; Wharton, 2002). Cada organismo possui uma temperatura mínima, máxima e óptima para a sua sobrevivência, a este conjunto de temperaturas dá-se o nome de Temperaturas Cardinais (Seckbach, 2000).

Existe uma grande discussão e discordância em relação aos limites máximos de temperatura tolerados pelos diferentes organismos.

Segundo Seckbach (2000), a vida na terra existe desde os -5°C até aos 113°C. Tendo em conta apenas a temperatura a que os organismos conseguem sobreviver, este autor dividiu os organismos pelos seguintes grupos, psicrófilos, vivem entre os -2°C e os 20°C; mesófilos, entre os 20°C e os 40°C; termófilos (amantes do calor), entre os 45°C e os 75°C; e os hipertermófilos, que vivem acima dos 75°C. Tendo em conta estes dois autores, Santos *et al.* (2001) e Seckbach (2000), já é possível verificarmos as diferenças nas divisões e nos limites de temperaturas propostas pelos diversos autores (anexo 7.4.).

Uma grande parte dos hipertermófilos são organismos anaeróbios e podem ser encontrados em fumarolas, nascentes termais, poços de óleo, lagos vulcânicos, pilhas de composto, entre outros ambientes quentes (Seckbach, 2000).

Os limites da temperatura mais elevada para os organismos pluricelulares são mais baixos que os limites suportados pelos organismos unicelulares, e, por sua vez, os limites mais elevados das eucariotas são mais baixos que os das procariotas (Reysenback *et al.*, 2001).

Em 1986, Brock definiu uma barreira para os termófilos procariotas entre os 55°C a 60°C. As procariotas mais termófilas pertencem ao domínio *Archaea*. Este domínio é constituído por organismos unicelulares primitivos e extremófilos (Pinheiro, 2010).

Na ausência de luz ou de uma fonte de carbono orgânico, estes organismos têm que recorrer a materiais pouco habituais como fonte de energia, destaca-se o enxofre. Este processo só é possível graças a uma enzima, SOR (sulphur oxygenase reductase), que permite às *archaea* converter o enxofre inorgânico numa forma utilizável para si e para todo o ecossistema (Frazão *et al.*, 2006).

As *Archaea* termófilas e dependentes de sulfato vivem em temperaturas acima de 60°C, podendo chegar até 110°C, ou, por outro lado, temperaturas de congelamento (Pinheiro, 2010). Vivem em fontes de águas quentes e ácidas, são aeróbias, obtêm energia da oxidação do enxofre ou de açúcares e aminoácidos. Os géneros *Sulfolobus* e *Thermoproteus* são exemplos destas *Archaea* (Vasques, 2010).

Dentro de cada grupo de organismos apenas alguns conseguem viver perto do limite da sua temperatura mais elevada. Estes organismos são chamados de termófilos do grupo (Reysenback *et al.*, 2001).

As temperaturas abaixo dos 45°C são muito abundantes e encontram-se distribuídas por todo o mundo, enquanto que temperaturas superiores a 55°C são mais raras e estão, normalmente, associados com áreas geotermas (Reysenback *et al.*, 2001).

Quase desde o início dos estudos bacteriológicos que as bactérias termófilas são conhecidas. Da bibliografia existente sobre este assunto, destaca-se uma revisão feita por Miehle (1907) sobre bactérias que conseguem viver a temperaturas muito elevadas. Inicialmente, o limite máximo de temperatura conhecido para as bactérias era de 75°C, no entanto, existiam estudos que afirmavam que algumas conseguiam sobreviver durante algum tempo a temperaturas de 80°C. Com o passar dos anos e com muitos estudos realizados após as primeiras observações, a concepção que existia sobre os extremófilos foi-se alterando (Reysenback *et al.*, 2001).

Tendo em conta vários trabalhos realizados por Setchell (1903) e Brock (1978,1995,1997), foram descobertos organismos livres de clorofila que existem a temperaturas superiores às suportadas pelos organismos fototróficos. Estes têm um crescimento favorável sendo possível a sua observação a olho nu, pois formam massas filamentosas (Reysenback *et al.*, 2001).

Um local de excelência para a realização de estudos nesta área é o Parque Nacional do Yellowstone, nos estados Unidos da América. Este parque apresenta a maior concentração de recursos termais do mundo. Brock (1972 e 1978) realizou muitos dos seus trabalhos sobre organismos termófilos neste parque. No entanto, o primeiro cientista a realizar estudos sobre a biologia dos recursos termais do Yellowstone foi o W. H. Weed. Este cientista constatou que as cores que existiam no escoamento das fontes termais nem sempre estavam relacionadas com a mineralogia dos depósitos, mas que poderiam estar relacionadas com organismos vivos.

Para além da temperatura, existem outros factores que também influenciam o crescimento dos organismos, como o pH, a quantidade e disponibilidade de nutrientes, a pressão hidrostática, a salinidade e a intensidade da luz (Brock, 1994).

A escolha de um habitat pelas espécies não se prende apenas com questões relacionadas com os factores ambientais. Outros aspectos, como a competição e predação, também são muito importantes.

Segundo Brock (1994), algumas espécies poderiam desenvolver-se a temperaturas mais elevadas do que aquelas a que se encontram, no entanto, o seu estabelecimento noutras habitats pode não ser possível pelo facto de estes nichos já se encontrarem ocupados por outras espécies. Como exemplo o autor apresenta o caso da alga eucariota *Cyanidium caldarium* que pode ser encontrada em ambientes com temperaturas próximas dos 60°C mas está restrita a ambientes muito ácidos, onde as cianobactérias não conseguem crescer. O caso inverso também pode ocorrer, isto é, alguns dos organismos presentes em ecossistemas termais podem não preferir temperaturas elevadas para viver, podem ser organismos que viviam em zonas de temperaturas mais baixas mas que, devido a uma menor competição, adaptaram-se e alargaram os seus limites ecológicos abrangendo estas áreas.

A escolha dos campos geotermiais como habitat pelos organismos pode não ser feita apenas para alguns organismos conseguirem sobreviver. Existem organismos que

necessitam destas áreas, da conjugação de factores que estas apresentam, para conseguirem sobreviver.

É necessário distinguir os organismos que têm o seu óptimo ecológico adaptado a habitats extremos e os organismos que apenas toleram uma condição extrema. Segundo o verdadeiro princípio da microbiologia dos extremófilos, os verdadeiros extremófilos são aqueles que precisam de condições extremas para poder sobreviver e crescer. As restrições fisiológicas e químicas restringem a micro-flora indígena dos habitats extremos, ou seja, os organismos que não têm o seu óptimo ecológico adaptado a estas condições não se consegue manter nestes habitats (Seckbach, 2000).

A capacidade de adaptação destes organismos é baixa, por tal, pequenas alterações no habitat podem levar ao seu desaparecimento. No entanto, existem ainda organismos que não estão apenas dependentes de uma condição de stress num habitat, mas sim de duas ou mais, por exemplo, elevadas temperaturas e acidez (Brock, 1994), são os poli-extremófilos, foram assim designados por Rothschild e Mancinelli (2001). Estes organismos são muito comuns e combinam factores de stress de varias formas, as mais comuns são: altas temperaturas e acidez, como áreas vulcânicas e nascentes termais; salinidade com alcalinidade; e ambientes frios com elevadas pressões, como acontece nas profundezas do oceano. Além destas combinações outras também são possíveis: temperaturas e pressões elevadas e temperaturas e pH elevados (Rainey *et al.*, 2006).

A dificuldade de dispersão de extremófilos de áreas geotermiais raras e dispersas leva a acreditar que podem existir espécies de extremófilos endémicas em muitas áreas geotermiais (Whitton *et al.* 2000).

1.2.4. Estruturas biológicas presentes em campos geotermiais: geysérites e crostas biológicas

Os campos geotermiais são conhecidos pela conjugação de diversas características que lhes permite apresentar uma combinação de plantas e microrganismos muito peculiar. Para além dos variados conjuntos apresentados de plantas e organismos em redor das fumarolas, existem outras estruturas que, inicialmente, foram consideradas sem vida. Estas estruturas, geysérites e crostas biológicas, englobam organismos vivos e estruturas sedimentares. As formações, texturas e cores que estas estruturas dão origem são resultado de transformações fascinantes que os organismos comportam e/ou provocam nos componentes.

Ao longo do trabalho, e após a análise da bibliografia (Gottlicher *et al.*, 1998); Urusov *et al.*, 2007; Rosentreter *et al.*, 2007; Urusov *et al.*, 2008; Belnap *et al.*, 2001; Orlovsky *et al.*, 2004; Zaady *et al.*, 2010; 1; 3) as estruturas biológicas presentes nas Furnas do Enxofre também serão designadas de geysérites e crostas biológicas.

1.2.4.1. Geysérites

As geysérites são precipitados que resultam da supersaturação da sílica em águas termais, sob a influência de vários factores (Urusov *et al.*, 2007). São uma forma solta e hidratada de sílica amorfa e são consideradas um tipo de opala que ocorre nos depósitos das nascentes termais e áreas quentes das fontes termais. (Gottlicher, 1998) O processo de formação de geysérites inicia-se com a dissolução da sílica através de águas quentes que vêm das rochas quentes no subsolo, esta água ao atingir a superfície arrefece e forma as geysérites. A solubilidade da sílica aumenta com a temperatura (Urusov *et al.*, 2007).

O local de formação, as condições e a composição química influenciam a formação de diferentes tipos de geysérites. Todas as diferentes morfologias que as geysérites apresentam possuem várias camadas e texturas e abrangem uma grande variedade de microfósseis: bactérias, algas verde-azuladas e diatomáceas (Urusov *et al.*, 2007).

Segundo Urusov *et al.* (2007), existem semelhanças morfológicas entre alguns sedimentos siliciosos e os estromatólitos do Pré-Cambriano. Os estromatólitos são formações organo-sedimentares produzidas pelo aprisionamento, retenção e/ou

precipitação de sedimentos resultantes do crescimento e da actividade metabólica de microrganismos, principalmente cianofíceas (definição apresentada em 1974 por S. M. Awramik e L. Margulise) (Urusov *et al.*, 2007; Gottlicher *et al.*, 1998).

Durante muito tempo acreditou-se que a origem destas estruturas estava apenas relacionada com processos abiogénicos. Algum tempo mais tarde, com a utilização do microscópio electrónico, foi possível provar que grande parte dos sedimentos nas nascentes termais, incluindo as geysérites, são micro-fósseis (Urusov *et al.*, 2007). Segundo Urusov *et al.* (2008), as geysérites são depósitos de sílica amorfa formados em áreas termais e onde os «microrganismos estão necessariamente envolvidos neste processo» (*microorganisms being necessarily involved in the process*). No entanto, a determinação da origem biogénica ou abiogénica da opala é muito difícil de determinar. A formação das geysérites é um processo dinâmico, existe uma rápida libertação da pressão e o arrefecimento das soluções principais e o seu rápido transporte. Contudo, o mais importante neste processo é a supersaturação do H_4SiO_4 (ácido de sílica), esta supersaturação força a rápida condensação das moléculas. Todo este processo é responsável pela estrutura das geysérites, enquanto que a textura fica a dever-se às condições de nucleação e aglomeração das partículas (Gottlicher *et al.*, 1998).

Segundo vários estudos realizados por Jones (2004) (*in* Urusov *et al.*, 2007), as rochas siliciosas possuem pseudo-filamentos que consistem em agregados de partículas de opala condensadas num muco filamentoso, sendo que este muco é produzido por cianobactérias e algas verdes filamentosas.

Na formação das geysérites os microrganismos representam um papel muito importante, facilitando a precipitação da sílica em soluções supersaturadas e a formação de estruturas específicas de opala (Urusov *et al.*, 2007).

Alguns autores mostraram, através de análises de secções finas destes precipitados, a existência de filamentos e laminações ocasionais, o que indica que estes precipitados são de origem biológica (Gottlicher *et al.*, 1998; Urusov *et al.*, 2007).

Como já foi referido anteriormente, a morfologia destas estruturas é muito variada, no entanto, a sua formação pode estar relacionada quer com processos biogénicos quer com processos abiogénicos. Como é muito comum a existência de tapetes de bactérias nestas estruturas, elas são, mais frequentemente (e recentemente), classificadas como depósitos biogénicos (Urusov *et al.*, 2008).

As diferentes formas de acumulação de sílica dependem das diferentes condições das várias etapas do processo (nucleação, polimerização, coagulação e precipitação) e das

transformações durante o envelhecimento das soluções supersaturadas (Urusov *et al.*, 2007).

Dos diferentes tipos de geysérites destacam-se os seguintes: formações semelhantes a giz/cal; formações consolidadas; estruturas mais exóticas como tabulares, aciculares, em forma de cúpula ou coluna; e formações em forma de pinha (Urusov *et al.*, 2007).

Próximo dos respiradouros, os depósitos que existem são parecidos com giz, em camadas, macios e com uma coloração branca e/ou cinzenta. Nos locais mais antigos do campo, as estruturas apresentam-se mais compactas, com laminações, com dobras em forma de ondas e com uma coloração bege e/ou branca (Urusov *et al.*, 2007).

Nas proximidades de recursos termais com a presença de ferro, arsénio e/ou sulfatos, as amostras formam crostas, drusas e películas com diferentes colorações, desde branco, amarelo, cor-de-rosa e cinzento-escuro.

A cor das geysérites depende, normalmente, dos sulfetos e da mistura do enxofre elementar (Urusov *et al.*, 2007).

As geysérites fora de água apresentam, normalmente, uma estrutura em camadas, havendo alternância entre camadas compactas vítreas e outras porosas. Esta camada porosa tanto pode ser rica em restos de microrganismos ou ser totalmente desprovida deles (Urusov *et al.*, 2007).

Alguns autores relacionam as diferentes texturas das camadas com oscilações sazonais de temperatura, velocidade dos fluxos, nível de água e variações sazonais de actividade biológica. Como exemplo, o crescimento intensivo dos microrganismos durante a Primavera e Verão permite que eles mantenham a taxa de silicificação elevada, o que facilita os depósitos de sílica nos seus invólucros. O crescimento mais lento dos microrganismos durante o Outono e Inverno resulta numa acumulação mais lenta de sedimentos principalmente de uma forma biogénica (Urusov *et al.*, 2007).

1.2.4.2. Crostas Biológicas

As crostas biológicas do solo são mosaicos complexos de organismos não relacionados e que vivem juntos na superfície do solo (Belnap *et al.*, 2001). São também designadas de crostas microbiológicas, criptobióticas e criptogâmicas. Estas crostas consistem numa associação, em proporções distintas, de organismos vivos como as cianobactérias,

algas, micro-fungos, líquens, briófitos e bactérias, que vivem na superfície do solo, e dos produtos que eles originam, formando assim, uma crosta no solo de partículas ligadas através de materiais orgânicos. Estes pequenos organismos cobrem a superfície dos solos sem vegetação e a sua espessura pode chegar até aos 10cm (1).

Estas crostas encontram-se bem adaptadas à colonização primária de ambientes áridos devido à sua elevada capacidade de sobreviver a temperaturas elevadas, valores de pH elevados e salinidade. A sua formação, apesar de ocuparem uma pequena camada do solo, pode ir dos 2mm de espessura, camada relativamente homogênea de cianobactérias, a complexas comunidades de crostas com 15 a 20mm de espessura (Orlovsky *et al.*, 2004).

A topografia da superfície das crostas biológicas deve-se, fundamentalmente, à presença de cianobactérias e, também, de algas verdes filamentosas. As cianobactérias representam uma parte muito importante da constituição destas crostas. Nas cianobactérias, as espécies filamentosas são as que providenciam mais qualidade a estes solos, formam muitos grupos de indivíduos filamentosos revestidos por uma camada gelatinosa e possuem tentáculos mucosos que mantêm a sílica e as partículas do solo juntas (Belnap *et al.*, 2001). À medida que se vão movimentando vão deixando um rasto pegajoso de invólucros mucilaginosos, ou seja, ricos em polissacarídeos. Este material prende-se à superfície das rochas ou das partículas do solo formando correias de fibras e, desta forma, as partículas do solo soltas vão ficando unidas (3).

Após a estabilização das cianobactérias filamentosas no solo surgem as cianobactérias unicelulares. Estas formam longos filamentos de „bolas vazias’ rodeadas por camadas gelatinosas. Podem também formar camadas finas sobre o solo (Rosentreter *et al.*, 2007).

O mecanismo de funcionamento destes organismos é fundamental na manutenção da estrutura dos solos. Estes organismos expandem quando estão humedecidos e migram para fora dos seus invólucros. Após cada migração, novos materiais dos invólucros dissipam-se aumentando assim o seu comprimento. Este processo repetido várias vezes conduz a uma rede complexa de invólucros vazios que mantêm a estrutura do solo depois dos organismos estarem desidratados e terem reduzido de tamanho (1).

Os líquens e os musgos só encontram condições para se poderem instalar mais tarde, após o estabelecimento das cianobactérias e das algas (Rosentreter *et al.*, 2007).

A presença destas estruturas nas camadas mais superficiais do solo forma como que uma estrutura em rede que une as partículas do solo, contribuindo para uma melhor

estabilização. Estes agregados vão desempenhar importantes funções na infiltração da água, transformação de nutrientes, aumento da resistência do solo ao vento e consequente diminuição da erosão (Rosentreter *et al.*, 2007).

Como são fotossintéticos também contribuem para a acumulação de carbono no solo, alguns organismos conseguem converter o nitrogénio presente na atmosfera em nitrogénio disponível e segregam compostos que podem aumentar a disponibilidade de fósforo (Rosentreter *et al.*, 2007).

Em solos sem distúrbios, as crostas biológicas contribuem para o crescimento da profundidade do solo em cerca de 10mm a cada 33 anos (Zaady *et al.*, 2010).

Como os organismos presentes nestas crostas apenas estão activos quando molhados, à medida que a precipitação aumenta os níveis de desenvolvimento e cobertura, por parte dos líquens e musgos, também aumenta (Rosentreter *et al.*, 2007).

Estas crostas biológicas existem em quase todos os tipos de solo e, dependendo das características dos solos, vão existir diferentes organismos e em diferentes quantidades. A morfologia externa dos solos com crostas biológicas depende muito do clima, composição das espécies e regime de distúrbios. As espécies que se encontram mais à superfície recebem mais quantidades de luz ultravioleta, por tal, possuem pigmentos que lhes protegem das elevadas concentrações de ultravioletas, apresentando-se muitas delas coloridas (Rosentreter *et al.*, 2007).

A aparência das crostas pode influenciar o funcionamento do ecossistema através da forma como os materiais se encontram ou se movem pela superfície.

Belnap *et al.* (2001), realça a cianobactéria *Microcoleus vaginatus* por esta ser uma espécie que não possui protecção contra os raios ultravioletas, por isso ela encontra-se escondida do sol, cerca de 2 a 5 mm da superfície. Quando chove, esta movimenta-se para a superfície.

Foram definidas, segundo Rosentreter *et al.* (2007), quatro categorias para os solos com crostas biológicas: solos rugosos, lisos, íngremes e ondulados. As zonas lisas são quase exclusivamente compostas por cianobactérias, fungos e algas. As outras três zonas têm, normalmente, líquens e musgos em adição às cianobactérias e fungos.

Na caracterização de um solo, a sua tonalidade é um aspecto muito importante porque revela a condição actual do solo, da biomassa e da estabilidade. Muitas vezes estes solos apresentam tonalidades mais escuras, o que se fica a dever à falta de água. Se existir um aumento de água sobre estes solos eles irão mudar de cor em pouco tempo, enquanto as

algas e bactérias fotossintéticas começam a trabalhar mais rapidamente para produzir nutrientes (Belnap *et al.*, 2001; Rosentreter *et al.*, 2007).

Apesar das crostas biológicas estarem adaptadas a condições extremas elas reagem mal a distúrbios compressivos, constituindo a recuperação um processo muito lento. Uma forma de recuperar estes solos é permitir que a componente das cianobactérias e das algas verdes recupere, dando uma aparência saudável à crosta. Dependendo das condições climáticas do local a recuperação visual pode estar completa entre 1 a 5 anos, enquanto que a recuperação da espessura da crosta pode levar até cerca de 250 anos. A medida mais eficaz para a recuperação das crostas biológicas consiste na diminuição da área de distúrbio (Belnap *et al.*, 2001). As actividades antropogénicas representam, muitas vezes, a principal causa do insucesso da estabilização de crostas biológicas (Orlovsky *et al.*, 2004).

Actualmente, assiste-se a uma discussão que consiste em averiguar se estas crostas funcionam como agentes de desertificação ou se contribuem no processo de reabilitação. Por um lado, a presença de crostas biológicas no solo em regiões áridas, é um indicador de saúde e de paisagens estáveis. A adição de partículas finas e materiais orgânicos às camadas superiores do solo, melhora a fertilidade e providencia o material necessário para o início da produção de outros componentes do solo (Orlovsky *et al.*, 2004). Outros autores como Belnap *et al.* (2001), mostram que uma superfície áspera do solo composta por cianobactérias, líquens e musgos, favorece a captura de sementes e matéria orgânica, aumentando assim, a fertilidade do solo.

Por outro lado, a presença de crostas biológicas em certos solos são consideradas como “desertificação invertida (Tsoar *et al.*, 1994 in Orlovsky *et al.*, 2004). É realçado por alguns autores que, a presença de crostas biológicas no solo, pode impedir a penetração das sementes e, consequentemente, impossibilitar a germinação de novas plantas. Comunidades dominadas por camadas espessas de musgos impedem a germinação das sementes quando estas já se encontram debaixo da crosta (Schlatterer e Tisdale, 1969). Segundo Lavrov (1973), citado por Orlovsky *et al.* (2004), o coberto vegetal encontram-se ausente nos locais onde a crosta é constituída por densas camadas muito espessas de musgo. A vegetação prefere locais onde apenas exista uma pequena camada de musgos. Segundo outro autor, Miroshnichenko (1975), citado por Orlovsky *et al.* (2004), a presença de uma crosta dominada por musgos conduz à desidratação do substrato e à deterioração do regime hídrico. Nos locais onde existem as crostas de musgos que se

encontram bem desenvolvidas, grande parte dos arbustos e das herbáceas encontram-se suprimidas, existindo mesmo, em alguns casos, “cemitérios” de plantas secas.

Para alguns autores, a morfologia da crosta é fortemente influenciada pelas condições da paisagem, regime de precipitação e flora presente na crosta; para outros, as condições físicas são as principais causas, em detrimento do tempo e das condições climáticas (Orlovsky *et al.*, 2004).

Para a destruição da crosta, alguns autores (Nechaeva *et al.*, 1979; Antonova *et al.*, 1986; Nechaeva e Moukhamedov 1991, entre outros) recomendam o pastoreio como mecanismo para destruir as crostas biológicas e, deste modo, permitir o aumento da produtividade das plantas vasculares (Orlovsky *et al.*, 2004).

Existe a hipótese de que o papel positivo desempenhado pelas crostas biológicas nos primeiros estágios de desenvolvimento, passe a negativo após, aproximadamente, 15 anos (Orlovsky *et al.*, 2004).

No entanto, para muitos autores (Lavrov, 1973; Kalenov, 1977; Nechaeva, 1954; Gunim, 1990; Granitov, 1967; entre outros) as crostas biológicas são incluídas como componentes das associações e comunidades da vegetação superior, desempenhando um papel importante no coberto vegetal (Orlovsky *et al.*, 2004).

1.2.5. Caracterização da Vegetação e Estratégias adaptativas das plantas

As áreas geotermiais fornecem um tipo de habitat único para as plantas. A combinação de vários factores como a temperatura, o vapor, a instabilidade do substrato, as diferentes concentrações de nutrientes ou os níveis tóxicos de gás sulfúrico e depósito de minerais, impõem condições severas na colonização de plantas, e poucas são as que estão adaptadas a estas condições (Smith, 2005).

Segundo Merret and Clarkson (1999), citado por Boothroyd (2009), a vegetação geotermal pode ser definida como vegetação terrestre e de zonas húmidas que é influenciada pelo fluxo geotermal. São comunidades de plantas que possuem uma composição, estrutura e/ou taxas de crescimento determinadas pela permanente ou ocasional introdução de energia geotermal (calor) ou material (sólidos, fluidos e gases). As espécies que se encontram nestes locais, devido ao stress generalizado a que foram sujeitas, tiveram que sofrer diversas adaptações para aqui conseguirem sobreviver. Muitas delas possuem características próprias, normalmente apresentam um tamanho reduzido; taxas de crescimento relativamente baixas; folhas pequenas e em forma de agulha (em certos casos presentes apenas num espaço de tempo curto, tendo em conta um intervalo estreito de temperatura); aclimatização fotossintética, ou seja, ocorrem alterações fisiológicas e bioquímicas nas folhas de modo a que o óptimo termal para a fotossíntese se altere de uma forma sazonal; alterações morfológicas e/ou de transpiração nas folhas de modo a que o balanço de energia e a temperatura das folhas se mantenha próximo do óptimo termal para a fotossíntese; floração intermitente; tamanho das raízes mais reduzido; e, alguns autores defendem que, para conseguirem viver com níveis mais elevados de toxicidade de alguns elementos, as plantas poderão possuir associações micorrízais (Photosynthetic Adaptation to Temperature; Burns, 1997).

As plantas presentes em campos geotermiais possuem sempre elevadas exigências respiratórias, isto porque, uma grande parte da energia produzida é utilizada na criação de estruturas especializadas ou na expansão dos seus processos metabólicos, de modo a permitir que consigam sobreviver em locais que apresentam baixas produtividades e relações peculiares de diversos factores (Burns, 1997).

O crescimento e o estabelecimento da vegetação em campos geotermais estão limitados por vários factores químicos e físicos, encontrando-se as comunidades biológicas fortemente controladas por manifestações geotermais, principalmente pela temperatura (Chiarucci *et al.*, 2008). Segundo Given (1980), o fluxo de calor no solo é o principal factor que determina a composição e a estrutura da vegetação.

A riqueza das espécies nestas áreas é muito baixa, quer em termos de espécies por área quer em termos de números agrupados de espécies, o que poderá sugerir que factores estocásticos podem também ser muito importantes. Um factor é certo, é que à medida que a temperatura vai aumentando a riqueza das espécies vai diminuindo (Chiarucci *et al.*, 2008).

Se por um lado muitos autores afirmam que a riqueza de espécies em áreas geotermais é muito baixa, por outro, também concordam que estas áreas possuem uma conjugação de flora muito interessante (Chiarucci *et al.*, 2008).

A estrutura e distribuição da vegetação em campos geotermais é fortemente afectada pelas condições extremas deste habitat e, de acordo com vários estudos, muitas áreas nestes campos não possuem vegetação ou possuem uma riqueza de espécies muito reduzida (Chiarucci *et al.*, 2008). No entanto, apesar das áreas geotermais superficiais representarem ambientes extremos, elas podem funcionar como recurso para plantas que estão adaptadas a condições de stress (Stout *et al.*, 2002).

Como já foi referido anteriormente, a distribuição da vegetação em áreas geotermais é limitada por vários factores, apresentando-se a temperatura como o principal factor que limita o crescimento, a composição e a organização da vegetação. A temperatura junto à raiz é responsável pela zonação das comunidades geotermais (Burns, 1997). Nas plantas vasculares, a temperatura na rizosfera é determinante para a sua manutenção e desenvolvimento. As plantas que crescem em condições de temperatura crítica na rizosfera, que, segundo Stout *et al.* (2002), são temperaturas superiores aos 40°C, são designadas de plantas tolerantes ao calor. Nestas áreas, as plantas vasculares encontram-se mais dispersas que os briófitos, comunidades que dominam estas áreas de stress (Stout *et al.*, 2002; Chiarucci *et al.*, 2008).

As temperaturas limites apontadas por vários autores para o estabelecimento e crescimento das plantas não são consensuais. De acordo com um trabalho realizado por Chiarucci *et al.* (2008), a temperatura mais elevada encontrada para os briófitos é de 50°C e para as plantas vasculares está entre 45°C e 48°C. No entanto, outro autor

aumenta o limite superior da temperatura das plantas vasculares para 55°C (Given, 1980).

Tendo em conta ainda o mesmo estudo, o autor destaca a *Calluna vulgaris*. Esta espécie surgia em locais com temperaturas de 52°C. A *Calluna vulgaris* é conhecida por ser uma espécie que tem uma elevada capacidade de se adaptar a condições de acidez e solos pobres (Chiarucci *et al.*, 2008).

A temperatura é importante em vários aspectos nomeadamente para a fotossíntese. As plantas podem fazer fotossíntese num intervalo de temperatura amplo, dos 0°C aos 50°C, aproximadamente, mas, dentro deste limite estão limitadas através de diferentes factores, e.g. nas baixas temperaturas, 0°C aos 10°C, as enzimas ficam limitadas; entre os 10°C e os 35°C a maior parte da difusão do dióxido de carbono é limitada; e acima dos 30°C até aos 40°C as proteínas podem ser desnaturadas e as membranas podem ficar deformadas (Photosynthetic Adaptation to Temperature).

Antes de mais, é necessário esclarecer conceitos relacionados com a fotossíntese. A fotossíntese, transformação da energia em forma de luz em energia química, está muito ligada à respiração, tanto uma como a outra geram energia utilizável. A energia química utilizável (na forma de ATP) é apenas produzida em células fotossintetizantes (células verdes) e na presença de luz. Na ausência de luz e nas células não fotossintetizantes a energia é fornecida pela respiração, que usa como substrato os compostos de carbono produzidos pelas células verdes na parte síntese da fotossíntese. Nas plantas em crescimento deve existir mais fotossíntese que respiração, caso contrário o crescimento não seria possível. Ao total de energia fixada deu-se o nome de fotossíntese bruta. A diferença entre a fotossíntese bruta e a respiração dá origem à energia líquida. As temperaturas óptimas para a fotossíntese bruta nas plantas variam entre os 15°C e os 40°C (Photosynthetic Adaptation to Temperature).

Se por um lado as temperaturas elevadas podem significar o desaparecimento de algumas plantas, por outro, pode ser a razão da sua sobrevivência, uma vez que, em climas mais frios, a temperatura existente na rizosfera, que por sua vez poderá manter as folhas quentes, pode ser fundamental para a sobrevivência da planta. Está também associado aos locais onde o fluxo de calor é mais elevado, uma maior quantidade de briófitos (Stout *et al.*, 2002). De facto, as relações que se estabelecem entre os organismos presentes em áreas geotermiais são fundamentais para a sua manutenção e sobrevivência. Destaca-se um trabalho realizado por Stout *et al.*, (2002), que refere que

algumas gramíneas crescem em camadas de musgos, e julga-se que estas camadas de musgos forneçam às gramíneas uma mistura de componentes que resulta da condensação do fluxo de vapor e o isolamento do solo quente.

Para além da temperatura, o pH e a química do solo representam, também, importantes parâmetros. Destaca-se um estudo realizado no Kopia, campo geotermal da Nova Zelândia, onde os musgos mostraram ser muito sensíveis às alterações do pH, funcionando como bons indicadores de alterações na química do solo. Esta sensibilidade a alterações do pH e à química da água já foi apontada nas estruturas das comunidades das zonas húmidas (Burns, 1997).

As plantas presentes em campos geotermais podem ser divididas em grupos, tendo em conta a sua ligação com o campo. Esta divisão pode variar de autor para autor, no entanto, destaca-se uma divisão feita por Stout *et al.* (2002). Este autor divide as plantas em três categorias: plantas adjacentes às fumarolas; plantas em solos relativamente secos e quentes; e plantas em áreas adjacentes ao campo geotermal. Tendo em conta outro autor (Burns, 1997), a divisão das plantas é feita também em três categorias mas distintas: plantas que existem tanto em áreas geotermais como em áreas não geotermais; plantas que aqui conseguem sobreviver porque estes locais imitam as características típicas dos seus habitats mais adequados; e espécies que são endémicas das áreas geotermais.

Segundo estudos realizados em áreas geotermais da Islândia, sobre a distribuição das plantas e animais ao longo do campo geotermal, as plantas vasculares e os líquens são os primeiros a sofrerem uma redução quando a temperatura aumenta. Já os musgos não apresentam uma resposta tão clara ao aumento da temperatura. Este facto poderá ser explicado devido à pequena extensão dos rizóides, uma vez que as temperaturas à superfície são mais baixas e vão aumentando progressivamente com a profundidade (Elmarsdottir *et al.*, 2003).

Dependendo da zona do campo geotermal onde os musgos surgem, os rizóides podem comportar-se de formas distintas. Nos locais onde a temperatura é mais elevada, os rizóides praticamente só se encontram à superfície; quando a temperatura diminui ligeiramente eles podem apresentar-se espalhados horizontalmente nos primeiros 4 cm do solo; com uma temperatura mais baixa, podem formar uma camada densa fibrosa e entrelaçada nos primeiros 5 a 8 cm do solo; e nas zonas de menores temperaturas, os rizóides são mais profundos mas apenas nas áreas de menor quantidade de fluxo geotérmico (Given, 1980).

Em muitos locais, os briófitos que existem em campos geotermiais são, em grande parte, os mesmos que se encontram fora destas áreas, no entanto, o seu crescimento é diferente. É o caso dos campos geotermiais da ilha Deception, na Antárctica. Nestes locais, muitas espécies encontram-se restritas às condições favoráveis impostas pelas áreas geotermiais. As espécies que são muito frequentes fora destas áreas, também parecem dar preferência às áreas geotermiais (Smith, 2005).

Em alguns casos, existem espécies que, apesar de se encontram afastadas das áreas de maior fluxo geotermal, morrem. Uma razão apresentada para explicar este acontecimento deve-se ao facto de que as raízes de algumas espécies são capazes de penetrar uma crosta relativamente fria, mas que se encontra sobre uma crosta de lamas geotermiais quentes. Este acontecimento resulta de um movimento ascendente do calor através do solo que rodeia as raízes (Given, 1980).

Já foram feitas várias tentativas para descrever e classificar as comunidades vegetais das zonas geotermiais tendo em conta as características do habitat, composição e estrutura.

Num estudo realizado em Karapiti, campo geotermal da Nova Zelândia, a vegetação foi dividida em 5 zonas tendo em conta a temperatura do solo e a vegetação aí existente. De seguida descreve-se sucintamente cada zona:

Zona 1 – áreas sem ou com pouca vegetação; a saída de vapor é constante a partir de muitas fumarolas; a superfície do solo é instável com uma crosta muito sensível; em certos locais está coberta por lama, esta é designada de lama termal; a temperatura pode chegar aos 95°C nos primeiros 5cm do solo;

Zona 2 – a vegetação restringe-se a *hummocks* de musgos e alguns líquens; as áreas cobertas variam de 10% a 80%, o que pode significar que existem variações de temperatura numa distância curta; o chão está mais consolidado que o da zona 1 e a temperatura pode estar entre os 50°C e os 70°C aos 5cm de profundidade;

Zona 3 – esta é uma zona de transição, é muita parecida coma a zona 2 mas começam a surgir algumas plantas atrofiadas, principalmente da espécie *Leptospermum*, e existem quase de uma forma contínua musgos e líquens a cobrir o solo;

Zona 4 – já existe alguma densidade de cobertura por arbustos, incluindo alguns musgos por debaixo destes; a altura da copa não ultrapassa os 30cm; a temperatura do solo varia entre os 40°C e os 55°C aos 5cm de profundidade;

Zona 5 – a altura das copas ultrapassa os 50 cm; os musgos que antes surgiam junto das fontes mais quentes agora estão ausentes; a temperatura do solo é ligeiramente inferior à da zona 4.

Num outro estudo realizado por Given (1980) para o sistema geotermal do vulcão Taupo, na Nova Zelândia, a vegetação foi dividida em cinco zonas: 1ª zona – sem vegetação; 2ª zona – *hummocks* de musgos; 3ª zona – zona de transição; 4ª zona – começam a surgir arbustos com tamanhos inferiores a 30cm; 5ª zona – arbustos de maiores dimensões (Boothroyd, 2009).

Outra divisão que aqui destacamos é a de Merret and Clarkson (1999), estes autores sugerem uma divisão por habitats: solos aquecidos, zonas húmidas geotermiais; solos arrefecidos hidrotermais alterados e, influência atmosférica das emissões regulares ou micro climas criados através das descargas (Boothroyd, 2009).

Os tipos de vegetação que podem existir em habitats geotermiais incluem: campos de líquens, musgos, gramíneas, fetos, arbustos, juncaceas, cyperaceas, floresta, zonas húmidas e habitats de águas livres, e solo nu influenciado pela actividade geotermal (New Zealand Plant Conservatiton 2010).

1.2.6. Breve caracterização dos Habitats

1.2.6.1. Vegetação Natural

Neste conjunto estão inseridas todas as manchas de vegetação natural que não implicam a intervenção humana.

- Vegetação de zonas húmidas:

Charcos Distróficos

Pequenos charcos de águas acastanhadas e ácidas, localizados no interior ou na periferia de complexos de mires (Dias, 1996). Na área de estudo encontram-se presentes em algumas das turfeiras e nas suas proximidades.

Prados Altos encharcados

São prados dominados por helófitas altas, em zonas permanentemente encharcadas, podendo ter uma fina camada de água acima do substrato, que é sempre de turfa e/ou vasa (Dias, 1996). Na área de estudo encontram-se apenas algumas comunidades de juncus.

Turfeiras de Base

São turfeiras que resultam do assoreamento natural de um charco ou de uma lagoa numa bacia endorreica (Dias, 1996). Na área de estudo é possível observarmos algumas turfeiras deste tipo.

Turfeira de Transição

Estas turfeiras formam-se em vales endorreicos pronunciados, possuem um microrelevo acentuado e são mais ricas em comunidades arbustivas e arbóreas do que as turfeiras de base (Mendes, 1998).

Turfeira de Cobertura

Turfeiras típicas de cumeada, são caracterizadas por possuírem um microrelevo acentuado, especialmente nas margens onde podem ocorrer charcos. As elevações (*hummocks*) são dominados por *Polytrichum commune*, desenvolvendo-se também espécies de *Sphagnum* e *Juncus effusus*, principalmente quando presentes no interior da

turfeira. Nas depressões (*hollows* e *lawns*) dominam as espécies do género *Sphagnum* (Mendes, 1998).

Turfeira de Encosta

Este tipo de turfeira pode ter a sua origem numa turfeira da base que transbordou ou, sendo independente desta, numa entrada de água, desde que esta seja suficientemente elevada para que se verifique *superavit* permanente, uma vez que não se verifica retenção de água no sistema. (Mendes, 1998)

- **Vegetação de Habitat Rochoso**

Vegetação de Fenda Rochosa

No fundo das fendas, e em alguns patamares, verifica-se a acumulação de matéria orgânica. A vegetação presente nestas fendas vai variar dependendo do local, mas, de um modo geral, apresentam sempre um coberto vegetal com elevado valor botânico e científico. Nos patamares mais superiores dominam espécies arbóreas como o *Laurus azorica* e o *Vaccinium cylindraceum*; à medida que se vai descendo encontram-se muitas raízes das vasculares dos patamares superiores, com muitas espécies de epífitas associadas. Nas zonas mais sombrias e húmidas temos populações de *Trichomanes speciosum*. Na área de estudo encontramos muitas fendas espalhadas pelo campo.

Vegetação de Rochas Emergentes

Vegetação típica de áreas onde aparecem emergências rochosas. Estas são mais secas e constituem um substrato mais resistente do que a paisagem circundante. Na área em estudo, podemos encontrar este tipo de vegetação em várias emergências rochosas por entre os arrelvados e nos muros de pedra.

- **Vegetação de Taludes**

Este tipo de vegetação apresenta uma comunidade tipicamente zonal sendo vários os factores que afectam a sua riqueza específica, como é o caso da exposição aos ventos e da composição dos estratos geológicos pelos quais os taludes são formados (Medeiros, 2001).

- **Florestas Naturais**

São florestas dominadas por espécies arborescentes onde é possível definir uma estratificação complexa. Na sua forma mais simples possuem estrato muscicular, herbáceo, graminóide, herbáceo alto, arbustivo, trepador, sub-arbóreo, arbóreo e emergente (Dias, 1996).

Floresta Mésica Laurifólia

Constitui uma das formações florestais de maior riqueza florística dos Açores. O estrato arbóreo é caracterizado por possuir uma conjugação de espécies méticas, como o *Laurus azorica* e a *Frangula azorica*, com espécies costeiras como a *Picconia azorica* e a *Myrica faya*. Possuem uma elevada diversidade de brioflora.

As manchas existentes desta formação são muito raras e indicam-nos que a zona potencial da floresta seria muito mais larga e até altitudes mais baixas. Na área em estudo existe apenas uma pequena faixa deste tipo de formação.

Erical

Floresta adaptada a condições de secura associadas a uma elevada exposição, desenvolve-se em substratos lávicos basálticos pouco evoluídos, ou seja, substratos pobres e com baixa capacidade de retenção hídrica (Dias, 1996). Este tipo de formação é caracterizado por uma comunidade floristicamente pobre, dominada pela espécie *Erica azorica*. Na área de estudo, o erical encontra-se localizado sobre um complexo basáltico que é atravessado por algumas fendas.

- **Matos**

Apesar deste tipo de formação ser difícil de definir, pode ser caracterizado como um tipo de formação vegetal dominado por caméfitos ou nanofanerófitos, monoestratificados ou de estratificação pouco diferenciada, denso ou esparsos, podendo eventualmente estar presentes árvores (Dias, 1996).

Mato de Recolonização de *Vaccinium cylindraceum*

Este tipo de formação encontra-se implantado sobre uma encosta cujo substrato é traquitico, rico em sucacos, com patamares onde há acumulação de matéria orgânica. Ocasionalmente aparecem afloramentos rochosos onde a vegetação é a típica de rochas emergentes.

Mato de *Calluna vulgaris*

Formação dominada por *Calluna vulgaris*, está associada a condições de stress relacionadas com a exposição, meio pedológico ou encharcamento. Segundo Dias (1996), esta espécie forma tapetes em *cushion* de densidade variável.

Na área de estudo são vários os locais onde se pode encontrar este tipo de formação. Destaca-se um dos matos registados que se desenvolve numa pequena zona à volta do vale de fumarolas.

1.2.6.2. Vegetação Sub-Espontânea

Este tipo de formação corresponde às zonas na área de estudo onde a vegetação surgiu sem que houvesse plantação ou qualquer outra acção directa de introdução de espécies pelo Homem. Realça-se que o aparecimento deste tipo de coberto acaba sempre por estar relacionado com acções antrópicas, uma vez que a propagação de espécies invasoras é facilitada pelo homem.

Vegetação secundária de recolonização por exóticas

Na área de estudo, este tipo de vegetação encontra-se espalhado um pouco por toda a área. No entanto, destacam-se populações mais extensas como é o exemplo do *Rubus inermis*, *Hydrangea macrophylla*, *Pteridium aquilinum* e *Hedychium gardnerianum*. Estas espécies encontraram aqui condições favoráveis para o seu desenvolvimento (e.g. abrigo, nutrientes).

1.2.6.3. Vegetação Parcialmente Implantada

Fazem parte deste tipo de formação os cobertos vegetais que resultaram de acções de implantação de novas espécies (exóticas) pelo Homem, sem que houvesse destruição total dos cobertos originais. Estes tipos de cobertos retiveram alguns elementos naturais e espontâneos, a que foram associados outros resultantes da actividade humana.

Turfeiras florestadas de exóticas

São comunidades que foram sujeitas à implantação de um coberto florestal economicamente vantajoso. No entanto, o desenvolvimento deste coberto foi reduzido pois a presença de espécies características de zonas húmidas que acidificam e aumentam a toxicidade do solo, para além da grande quantidade de água presente, tornou este sistema pouco produtivo.

Turfeira florestada de *Criptoméria japonica*

Esta zona da área de estudo representava no passado uma enorme turfeira que fazia parte de um complexo de sistemas interligados de zonas húmidas. Foi alvo de ripagens e regularizações do terreno com o objectivo de implantar uma mata de eucaliptos. Devido ao insucesso desta plantação este terreno foi abandonado tendo evoluído para uma pastagem subespontânea onde foi, posteriormente, introduzido gado. Mais recentemente, novas intervenções foram feitas no terreno para a implantação de uma mata de criptoméria. No entanto, devido à acidez do substrato, o elevado encharcamento e a pouca disponibilidade de nutrientes conduziu a um fraco desenvolvimento da mata, apresentando os indivíduos de criptoméria pequenas dimensões e uma distribuição muito esparsa. Contrariamente, as espécies que são características das turfeiras encontram-se espalhadas por toda a área.

• **Arrelvados**

As pastagens presentes na área de estudo são na sua maioria ocupadas por este tipo de coberto. Apresentam uma topografia irregular com elevado microrelevo, sendo evidente, em muitas delas, uma estrutura de *hummocks* e *hollows*. Realça-se o elevado grau de encharcamento que suportam, destacam-se nas zonas mais húmidas espécies como *Juncus effusus*, *Sibthorpea europaea*, e até mesmo manchas de turfeira.

Este tipo de formação corresponde a formações de herbáceas que resultaram da influência humana e/ou mantidas, pelo menos através do pastoreio de gado. As espécies dominantes são forrageiras, muitas vezes introduzidas, mas também podem estar presentes cultivares de espécies consideradas naturais dos Açores, como o *Lotus ulginosus*, bem como espécies espontâneas que aumentam a diversidade florística (Dias, 1996; Vagueiro 1999).

1.2.6.4. Vegetação implantada

Este tipo de formação ocupa áreas que resultaram da intervenção directa do Homem. Inicialmente ocorreu a destruição dos cobertos naturais e posteriormente sucedeu-se a instalação de vegetação cultural e exótica. A necessidade de uma maior rentabilidade económica levou à artificialização desses locais, e consequente empobrecimento florístico e estrutural, assim como, a diminuição da biodiversidade de todo o ecossistema.

Povoamento florestal de *Criptoméria japónica*

Coberto dominado por *Criptoméria japonica* plantada para produção e por outras espécies espontâneas. Nas zonas mais húmidas verifica-se que muitos espécimes não conseguiram sobreviver e, os que conseguiram, desenvolveram-se pouco, originando uma turfeira florestada de criptoméria. Nas zonas mais secas, as árvores desenvolveram-se bem.

1. 2.7. Principais Campos Geotermiais a nível mundial

O surgimento de recursos termais ocorre em locais distintos do mundo onde existe a reunião de vários factores que permitem que estes fenómenos ocorram. Dos vários locais do mundo onde existem recursos geotermiais destacam-se os seguintes: Yellowstone (Estados Unidos da América), North Island (Nova Zelândia), Islândia, Kamchatka (Rússia) e Japão. Estes locais são os que apresentam uma maior quantidade destes recursos, no entanto, podemos destacar outros como Chile, México, algumas localidades em África, Indonésia, algumas ilhas do Pacífico, China, entre outros (2).

Os locais anteriormente mencionados apresentam características especiais, como exemplos, a Nova Zelândia é o país que reúne o maior número de recursos geotermiais; o Parque Nacional do Yellowstone é a área, a nível mundial, que possui mais actividade geotermal; a Islândia destaca-se por possuir uma geologia muito interessante, através da coexistência de áreas geotermiais e áreas congeladas, é conhecida como a terra do gelo e do fogo; a localização de alguns campos geotermiais da Rússia faz com que tenham neve quase todo o ano, mesmo assim, estes campos geotermiais possuem uma vegetação muito verde e colorida que se deve às temperaturas elevadas proporcionadas pela actividade geotermal; o Japão possui uma grande quantidade de recursos geotermiais, no entanto, e ao contrário do que é possível observar na maioria dos outros locais, as restrições ao acesso de pessoas a estes locais são mínimas (2).

Apesar da grande dispersão dos recursos geotermiais a nível mundial, o local mais emblemático no que diz respeito ao vulcanismo secundário é o Parque Nacional do Yellowstone. Este encontra-se nos Estados Unidos da América, nos estados de Wyoming, Montana e Idaho. Este parque apresenta uma enorme diversidade de géisers, nascentes termais e fumarolas, e mais de 75% dos géisers incluindo o maior do mundo estão presentes neste parque. No Parque Nacional do Yellowstone, os processos vulcânicos e sísmicos estão muito activos. As monitorizações que aqui são realizadas através da resposta das fumarolas, géisers e nascentes termais à actividade vulcânica e sísmica, permite o estudo destes eventos e a possibilidade de os poder prevenir, tanto neste local como em outros. As actividades desenvolvidas nos terrenos à volta do parque são muito importantes, pois algumas podem ser prejudiciais à manutenção da actividade termal tal como hoje existe. A Islândia e a Nova Zelândia possuem exemplos de como uma gestão desapropriada dos terrenos circundantes às zonas termais pode

levar à sua destruição. Em alguns locais destes países, a abertura de buracos e poços para a geotermia reduziram muito a actividade dos géisers e descargas das nascentes termais afectando deste modo toda a organização da vegetação e dos organismos aqui presentes (Marler, 1973).

1.2.8. Principais Campos Geotermiais a nível local

Nos Açores, com excepção de Santa Maria e Corvo (ilhas onde não são conhecidos acontecimentos), a actividade vulcânica é marcada, actualmente, por fumarolas, nascentes frias e termais, zonas de desgaseificação difusa e alguns campos de desgaseificação submarinos localizados ao largo do Arquipélago (Ferreira *et al.*, 2005).

A desgaseificação do magma pode ocorrer de duas formas distintas: gradualmente, através dos solos (sistemas hidrotermais e fumarolas) ou de uma forma brusca, durante uma fase pré-euptiva (Pimentel, 2006). A desgaseificação do magma e dos aquíferos hidrotermais criam anomalias gasosas que fornecem informações sobre a magnitude da fonte e o mecanismo de transporte até à superfície (Oskarsson *et al.*, 1999).

Quando se verifica a desgaseificação do solo fora das áreas hidrotermais infiltradas, poderá significar a existência de difusão de fontes mais profundas, onde as falhas tectónicas poderão suportar canais ascendentes e tornar a desgaseificação sensível aos movimentos tectónicos (Oskarsson *et al.*, 1999).

Principais recursos geotermiais presentes no arquipélago (Viveiros, 2003):

- S. Miguel: campos de fumarolas no vulcão do Fogo e das Furnas; emanações gasosas; nascentes termais, nascentes de águas frias gaseificadas; desgaseificação difusa de CO₂;
- Terceira: campos de fumarolas nas Furnas do Enxofre; zonas de desgaseificação difusa e nascentes termais;
- Graciosa: campos de fumarolas no Vulcão da Caldeira, zonas de desgaseificação difusa; nascentes termais e emanações gasosas;
- Faial: emanações gasosas; nascentes termais e desgaseificação difusa;
- Pico: emanações gasosas no topo do vulcão do Pico; nascentes termais de água fria rica em CO₂;
- S. Jorge: nascentes de água fria;

- Flores: nascente termal.

No presente estudo, o principal recurso geotermal existente são fumarolas. Segundo Ferreira *et. al* (2005), o principal constituinte das descargas das fumarolas é o dióxido de carbono (CO_2) (94 a 99,9 mol%), seguindo-se o ácido sulfúrico (H_2S) e hidrogénio (H_2). Tendo em conta ainda o mesmo autor, todas as fumarolas monitorizadas têm composições muito parecidas, com excepção da Terceira, que apresenta concentrações mais elevadas de H_2 e CH_4 .

Em S. Miguel, ilha que possui este vulcanismo mais activo, as principais áreas de desgasificação localizam-se na Vila das Furnas, Lagoa das Furnas, Pico Vermelho, Caldeira Velha e Caldeiras da Ribeira Grande; na Graciosa a principal área geotermal localiza-se na Gruta das Furnas do Enxofre e na ilha Terceira, a principal área geotermal são as Furnas do Enxofre. As áreas geotermiais da região, principalmente as existentes na ilha de São Miguel, foram alvo de uma gestão desapropriada, encontrando-se todas estas áreas alteradas e inseridas numa paisagem muito humanizada. No entanto, destacam-se as Furnas do Enxofre, na ilha Terceira, como o único campo de fumarolas dos Açores que se encontra inserido numa paisagem semi-natural (Ferreira *et. al*, 2005). Segundo trabalhos realizados por Ferreira *et. al.*, (2005), os principais constituintes dos gases libertados no arquipélago são o vapor de água e o dióxido de carbono, seguindo-se o sulfureto de hidrogénio e o hidrogénio. Em concentrações mais baixas surgem o nitrogénio e o metano.

Tendo em conta ainda estes autores, as ilhas apresentam, de um modo geral, uma constituição de gases muito semelhante, no entanto, as Furnas do Enxofre na ilha Terceira, tem valores de metano e de hidrogénio superiores aos valores apresentados nas restantes ilhas. As áreas de desgaseificação dos Açores, quando comparadas com outras áreas de desgaseificação a nível mundial, apresentam médias de fluxo de dióxido de carbono mais baixas (Ferreira *et. al*, 2005).

Nos trabalhos de monitorização realizados em áreas geotermiais por Ferreira *et al.* (2005), o que se tem em conta para análise e comparação com os dados obtidos em monitorizações passadas, não é a quantidade dos gases mas sim as relações entre eles.

A monitorização destas áreas, quer a nível da temperatura quer a nível do fluxo de gases e da relação entre eles, é fundamental pois já são conhecidos alguns exemplos de como alterações destes parâmetros podem resultar num aumento da actividade vulcânica.

Antes das erupções a actividade magmática aumenta; este aumento faz com que o fluxo de gases até à superfície aumente bem como a temperatura das fumarolas. Para além de serem efectuadas medições das temperaturas como forma de detectar, com alguma antecedência, erupções, é, também, utilizada para detectar alterações geofísicas e geoquímicas.

A identificação dos recursos geotermiais regionais, da sua localização, funcionamento e dinâmica, é fundamental não só pelo conhecimento e estudo destes habitats que possuem características muito próprias, mas, também, pela sua raridade.

De facto, tendo em conta a região biogeográfica da Macaronésia, os locais onde surgem recursos geotermiais são poucos. Segundo uma comunicação escrita (por email) realizado com o Domingos Rodrigues (Professor Auxiliar do Centro de Ciências Exactas e da Engenharia da UMA e investigador do Centro de Geologia da Universidade do Porto), na Madeira, as únicas manifestações geotermiais conhecidas ocorreram em galerias de captação de água e, também, num túnel rodoviário, com a libertação de gás e águas que possuíam uma temperatura mais elevada na zona de S. Vicente/Paul da Serra.

No que diz respeito às Canárias, segundo informações fornecidas por Nemésio Pérez (vulcanólogo; Investigador Associado do Instituto de Vulcanologia das Canárias; Director de Divisão do Meio Ambiente no Instituto Tecnológico e de Energias Renováveis; ex. porta-voz e coordenador do Comité Científico – Técnico do Plano de Actuação Coordenado pela Protecção Civil), o único campo de fumarolas activo localiza-se no topo do vulcão Teide (3716), na ilha de Tenerife. Segundo Nemésio, estas fumarolas possuem temperaturas na ordem dos 85°C. Quanto à vegetação, segundo Nemésio, não é possível encontrarmos qualquer tipo de vegetação, destaca-se apenas fósseis de actividade fumarólica.

Esta singularidade de campos de fumarolas na Macaronésia torna ainda mais evidente a importância no conhecimento e estudo destes habitats nos Açores e, em particular, na ilha Terceira. As Furnas do Enxofre destacam-se assim, como único campo de fumarolas activo, na Macaronésia, inserido numa paisagem semi-natural.

1.3. Furnas do Enxofre

1.3.1. Resenha histórica das Furnas do Enxofre

Desde o povoamento até aos dias de hoje as ilhas sofreram várias alterações passando por várias fases de transformação, sempre tendo em conta as necessidades humanas. Quando os primeiros povoadores chegaram ao arquipélago, encontraram ilhas densamente cobertas por árvores e arbustos. Para que a sua instalação fosse possível, tiveram que proceder à queima do arvoredo para assim conseguirem obter clareiras e construir os seus povoados (Frutuoso, 1981). Para além da queima que permitia desbastar o arvoredo, a largada de animais também foi utilizada logo no início do povoamento (Drumond, 1850).

Com o crescimento da população as necessidades também foram aumentando, e assistiu-se a um aumento muito grande das arroteias de terras para a agricultura e da procura de madeira para as construções. Existem relatos (Braga, 1989) que dizem que já no século XVI existia a necessidade e a preocupação de plantar árvores nos baldios e noutros locais, tendo sido o arroteamento o principal responsável pela destruição de grande parte da vegetação original das ilhas (Cabral, 1953). Por outro lado, a passagem por várias fases, todas elas relacionadas com a exploração intensiva da terra, contribuiu para o intensificar deste processo. A introdução de novas espécies pelo homem, com o objectivo de obter boa madeira para as construções, facilitou a entrada de muitas espécies infestantes (Anderson, 1983).

Os primeiros terrenos que foram ocupados localizavam-se junto ao mar, por um lado, o acesso era mais fácil, por outro, as condições climáticas eram muito mais favoráveis no litoral do que no interior da ilha. No interior da ilha localizavam-se os baldios, terrenos incultos e de vegetação densa.

As furnas do Enxofre, localizadas no interior da ilha, estão submetidas a um clima húmido com valores de precipitação muito elevados e com formação de horizonte plácico, características estas que conduzem a condições de encharcamento, tornando estes terrenos impróprios para a agricultura. Este deve representar o motivo principal pelo qual esta área foi mantida como terreno baldio durante muitos anos.

Mais tarde, uma grande parte destes terrenos foram adquiridos pela Secretaria Regional do Ambiente que, por sua vez, entregou a manutenção da zona a uma empresa particular.

Grande parte destes terrenos foram utilizados para o pastoreio de gado bravo. O facto de não terem sido alvo de mecanizações favoreceu a manutenção de algumas bolsas de vegetação natural, ainda hoje visíveis.

Recentemente temos vindo assistir a um aumento na protecção e valorização das áreas naturais, de um modo geral, e das Furnas do Enxofre em particular. Mas desde muito cedo que este campo de fumarolas suscitou muito interesse quer dos locais quer daqueles que nos visitava.

São vários os relatos que existem sobre as Furnas do enxofre, destacamos o mais antigo, feito por Charles Darwin em 1831, aquando da sua viagem no *Beagle*, que passou pela ilha Terceira e, dos vários locais que visitou, passou também pelas Furnas do Enxofre. Darwin descreve esta zona como uma cratera onde o fundo é atravessado por muitas fissuras «(...) das quais saía, em quase uma dúzia de locais, pequenos jactos de vapor (...). O vapor perto dos orifícios irregulares, é tão quente que a mão não aguenta; tem pouco cheiro, no entanto (...) não pode ser puro (...) a pedra sólida foi inteiramente convertida em barro de porcelana, de um branco puro como a neve, ou numa espécie de vermelho brilhante (...)»¹ Refere ainda que este é um fenómeno que já acontece há muitos anos e que, em tempos passados, pelas fendas não saía apenas vapor, mas também chamas. Termina escrevendo que «Quando chove, a água flui para dentro das falhas, e é, provavelmente a mesma água, escorrendo para a lava subterrânea aquecida nas vizinhanças, que causa este fenómeno.»²

Em 1850, foi Ferreira Drumond que escreveu sobre as Furnas do Enxofre, descreve-as como um terreno rodeado por um pequeno mato no interior da terra onde existe um vulcão em actividade, «(...)fumegando constantemente, e exalando um calor assaz vivo.»³ Faz referência à existência de carbonato de cal, vulgarmente conhecido por alvaiada, e, também, sobre o óxido de ferro. Realça ainda a erupção de 1761 «(...) ainda no ano de 1761 rebentou fogo com espantoso furor junto ao Pico da Bagacina, e daí saiu

¹ Darwin (1831), citado por Rendeiro (2002). *Contributo para o Restauro do Ecossistema das Furnas do Enxofre*. Tese de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.

² Darwin (1831), citado por Rendeiro (2002). *Contributo para o Restauro do Ecossistema das Furnas do Enxofre*. Tese de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.

³ Drumond, F. (1850). *Anais da Ilha Terceira (I)*. Angra do Heroísmo.

um rio de lava ardente que correu mais de meia légua; no sítio das Furnas do Enxofre o fumo e o vapor ardente que sai pelas aberturas da terra, e o estado de decomposição actual das pedras e o terreno adjacente, atestam a presença constante de fogos subterrâneos, que hoje empregam a sua actividade nas águas, que por desconhecidos canais penetram nas câmaras vulcânicas.»⁴

Mais tarde, em 1891, o Padre Jerónimo Emiliano de Andrade volta a escrever sobre as Furnas do Enxofre. Refere-se às Furnas como um caldeira que é a boca de um vulcão em actividade. «(...) ninguém pode ali entrar sem susto e admiração (...) Dentro dela sente-se um sussurro subterrâneo e um calor intenso; todo o fundo é molle e em alguns lugares reduzido a polme (...) O seu centro por um grande número de respiradores está continuamente exhalando uma grande quantidade de fumo, gases, enxofre mui puro, alviada e outros materiais colorantes (...)»⁵

Mais recentemente, esta área foi alvo de várias intervenções. Na tentativa de implementação de um projecto de aproveitamento de energia geotérmica foram efectuados nesta área a abertura de vários poços e a construção de uma estrada que dividiu o campo de fumarolas. Esta estrada veio facilitar a passagem de pessoas e carros para esta zona e, conseqüentemente, o aumento do pastoreio por gado bravo.

Em anos mais recentes, e através de novos estudos e trabalhos realizados nesta área, foram construídos passadiços, evitando-se assim a passagem incontrolada de pessoas por qualquer zona do campo de fumarolas e foram colocados painéis explicativos sobre a área.

Esta mudança de atitude face à gestão das Furnas do Enxofre mostra o início da tomada de consciência, por um lado, por parte das entidades responsáveis pela gestão, por outro, pelos cidadãos em geral, do grande valor patrimonial que esta área representa.

⁴ Drumond, F. (1850). *Anais da Ilha Terceira (I)*. Angra do Heroísmo.

⁵ Rendeiro (2002). *Contributo para o Restauro do Ecossistema das Furnas do Enxofre*. Tese de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.

1.3.2. Caracterização das Furnas do Enxofre

As Furnas do Enxofre, localizadas na ilha Terceira, estão classificadas como Monumento Natural Regional (Decreto Legislativo Regional n.º 10/2004/A), são um habitat protegido (Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de Abril Anexo B-I) – escoadas lávicas e escavações naturais – campo de fumarolas, que pela regulamentação da EU (directiva habitats 140/99), foram incluídas na ZPE (Zona de Protecção Especial) sob a designação «Serra de Santa Bárbara e Pico Alto» (PTTER0017) (aprovado pela Decisão da Comissão de 28 de Dezembro de 2001 e publicada no *Jornal Oficial das Comunidades Europeias* em 9 de Janeiro de 2002), e estão inseridas nas áreas Ramsar – Planalto Central da Terceira (Furnas do Enxofre e Algar do Carvão) (Wi Site No.3PT025; Ramsar No. 1805; data de admissão na lista de Zonas Húmidas de Importância Internacional 16/06/08) (4).

Este campo de fumarolas é a principal manifestação de vulcanismo secundário da ilha. Para além da elevada diversidade biológica e ecológica que apresenta, este local é um importante ponto turístico da região. Apresenta uma grande diversidade de estruturas e organismos com elevado interesse, está inserido numa paisagem com um certo grau de naturalidade caracterizada por um complexo de zonas húmidas que o envolve, e representa a totalidade da área ocupada por este habitat na Europa.

A relação entre habitats terrestres e de zonas húmidas é muito importante, não só pelo facto de que o este campo de fumarolas está associado a processos hidrotermais, onde a disponibilidade de água é influenciada pelas águas oriundas das áreas envolventes, mas,

também, pela criação de condições que permitem a presença neste local da reunião de espécies características de ambos os habitats.



Figura 7 – Fumarola localizada na área a oeste do Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

Este campo de fumarolas localiza-se no sistema vulcânico do Pico Alto, no centro da ilha, na intersecção de várias falhas que coincidem com as principais direcções estruturais da ilha, com direcções E-W e NW-SE. Encontra-se na vertente SW do

Maciço Vulcânico do Pico Alto, mais concretamente no Pico do Galhardo, e a NE do Pico da Bagacina (Rodrigues, 2002).

O campo de fumarolas das Furnas do Enxofre é constituído por uma elevada diversidade de materiais geológicos. De acordo com a Carta Geológica de 1971 (Zbyszewski *et al.*, 1971) salienta-se nesta zona um derrame traquítico a nordeste desta área, e que se prolonga até sul até à estrada. A oeste deste complexo traquítico surge um complexo basáltico que está relacionado com os basaltos da erupção de 1761.

As Furnas do Enxofre ocupam uma área de 64.746 m^2 , e estão a uma altitude de cerca de 600m. Para além da actividade fumarólica este campo também apresenta fenómenos de desgaseificação difusa, mas, quando comparado com outras áreas do arquipélago, a zona de anomalia de CO_2 é reduzida e circunscrita.

Segundo Rodrigues (2002), a actividade hidrotermal das Furnas do Enxofre manifesta-se através do aquecimento das rochas, do solo e através de fumarolas que libertam vapor de água e outros constituintes. A libertação deste vapor de água está relacionado com o contacto entre as águas presentes no solo e os fluidos geotérmicos que ascendem até à superfície através de falhas mais profundas (Rodrigues, 2002).

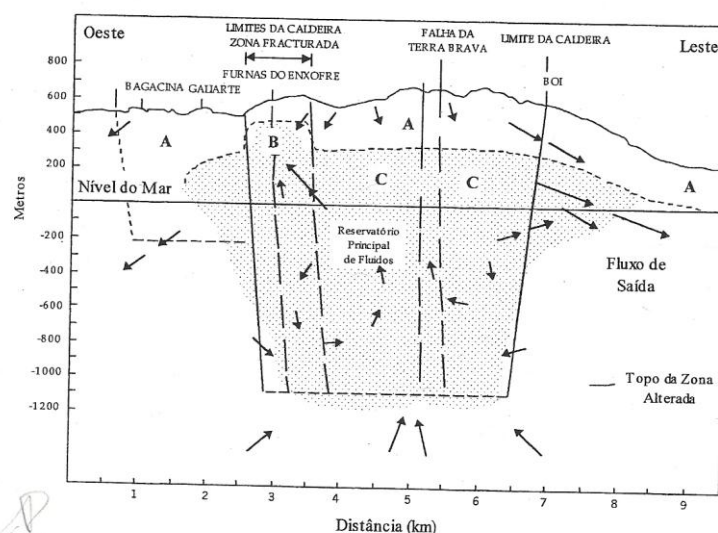


Figura 8 – Modelo geotérmico da ilha Terceira, Anderson *et al.* (1982) citado por Rodrigues (2002).
A – Água subterrânea; B – Água subterrânea com fluidos termais misturados; C – Zona alterada com fluidos mineralizados.

Das primeiras análises realizadas neste local por Fouqué em 1867 (e em anos seguintes por este e por outros autores), mostravam a saída de uma quantidade de gás carbónico nas furnas e apenas alguns vestígios de gás sulfídrico (Zbyszewski *et al.*, 1971).

Segundo Zbyszewski *et al.* (1971), a presença de gases naturais na ilha Terceira, para além das Furnas do Enxofre, é apenas conhecida em mais dois locais, junto da Nascente da Serreta e nas imediações do Pico Negro.

Os solos desta zona são do tipo andossolo ferruginoso (Pinheiro, 1990) e apresentam a formação de horizonte plácico (Madruga, 1995). A presença deste horizonte leva à impermeabilização do solo o que pode explicar o elevado grau de encharcamento apresentado, especialmente nas zonas mais apauladas, e a existência de grandes acumulações de turfa. Devido à acção térmica, o solo junto às fumarolas está mais alterado e coberto por uma camada de argila (Dias *et al.*, 2002). As rochas presentes neste local são bastante alteradas, encontram-se cobertas por uma lama siliciosa e por depósitos de enxofre (Zbyszewski *et al.*, 1971). Existem também, várias referências a precipitados hidrotermais que incluem pequenos depósitos siliciosos e que afloram em manchas ao longo de um sistema de fracturas que cortam o sector nordeste do centro vulcânico do Pico Alto (Rodrigues, 2002).



Figura 9 – Campo de Fumarolas a oeste do Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

Algumas comunidades associadas a este habitat são: as turfeiras de fumarolas, estas são constituídas por espécies do género *Sphagnum spp.* e dominam o meio sob as fumarolas por apresentam tolerância aos gases tóxicos emanados por estas (Mendes, 2010); turfeiras de encosta, apresentam maior frequência de comunidades vegetais de *Sphagnum spp.* e *Juncus spp.* (Mendes e Dias, 2001); e Matos de *Calluna vulgaris* e *Vaccinium cylindraceum*. A *Erica azorica* e o *Juniperus brevifolia* não toleram os gases tóxicos emanados pelas fumarolas por isso encontram-se mais afastados da sua zona de influência. Na zona central do campo geotermal observam-se depósitos maioritariamente de enxofre (origem geológica) e formações de opala (origem biológica).

De acordo com Dias *et al.* (2002), tendo em conta o substrato geológico, o campo fumarólico das Furnas do Enxofre pode ser dividido em três tipos, fumarolas do tipo I, fumarolas com pequenas aberturas e rodeadas por bagacina; tipo II, localizadas no topo do doma que se situa a oeste da estrada e a este do Vale do Inferno; e as fumarolas tipo III, nos depósitos de vertente do doma.

As Furnas do Enxofre são um campo de fumarolas que está relacionado com sistemas hidrotermais, por tal, a quantidade de água disponível no solo influencia a actividade geotermal deste campo. Segundo uma comunicação oral realizada por Dias (2010), em anos onde a precipitação foi reduzida, a actividade das fumarolas também apresentou uma redução, com a diminuição do fluxo.

Tendo em conta o grau de intervenção e uso do homem foram identificadas no campo de fumarolas das Furnas do Enxofre quatro áreas distintas: áreas de pastoreio, áreas arborizadas, áreas não exploradas e áreas com elementos rochosos, sendo que, a área de pastoreio é a que ocupa uma maior percentagem (Rendeiro, 2002). No entanto, uma grande parte destas pastagens manteve o sistema de manejo tradicional, o que permitiu a manutenção de algumas bolsas de vegetação natural (Dias *et al.*, 2002). A localização das Furnas do Enxofre pode ter funcionado como uma atenuante no que diz respeito à exploração, uma vez que estes terrenos são encharcados e, consequentemente, pouco apropriados para a actividade agrícola.

Não só no que diz respeito às Furnas do Enxofre mas, também, às áreas naturais de uma modo geral, têm sido, ao longo dos anos, alvo de muitas perturbações que, dos



Figura 10 – Campo de Fumarolas – Actividade intensa do fluxo (Foto: Rita Costa).

múltiplos problemas que daqui advêm, provocam a fragmentação destas áreas.

Com uma análise detalhada da vegetação presente neste campo geotermal, é possível determinar qual seria a vegetação potencial deste local, ou seja, qual seria a vegetação que aqui poderia existir, tendo em conta os factores abióticos e bióticos, caso não

houvesse intervenção humana. Um estudo realizado por Rendeiro (2002) nas Furnas do Enxofre, realça a existência de um mosaico que inclui floresta de cedro / louro, erical, turfeiras e vegetação de taludes e fendas. A existência deste mosaico indica que estas comunidades seriam as potenciais para este local. A vegetação potencial de um determinado local apresenta um elevado valor ecológico, facto que se fica a dever ao papel desempenhado pelas comunidades. (Rendeiro, 2002; Dias *et al.*, 2002).

A presença de florestas naturais, excelentes interceptoras de nevoeiros, iriam inflacionar os valores de precipitação que existiriam neste local caso este tipo de vegetação estivesse presente. Para além deste, as turfeiras também desempenham um importante papel ecológico. A sua capacidade de manutenção dos ecossistemas através da

regulação da hidrologia do local, da regulação do ciclo da água, da purificação da água, da presença de um grande número de espécies raras e / ou protegidas, entre muitas outras funções que as turfeiras desempenham, são fundamentais para a reunião das condições necessárias para a manutenção deste ecossistema

O conhecimento do funcionamento, da dinâmica das comunidades aqui presentes, quer a nível da organização da paisagem quer a nível das comunidades a uma escala mais pequena, é fundamental para uma gestão adequada do local.

O estudo dos campos geotermais tem vindo, ao longo dos anos, a evidenciar-se como uma importante ferramenta para a monitorização da actividade vulcanológica. O conhecimento sobre o comportamento de um campo de fumarolas pode ser importante na detecção de eventuais alterações no fluxo geotérmico. Destaca-se para a ilha Terceira, um episódio que ocorreu em 1760. Nesta data, as fumarolas das Furnas do Enxofre reduziram muito a sua actividade, e, alguns meses mais tarde, ocorreu uma erupção vulcânica (Zbyszewski *et al.*, 1971).

2ª Parte: Metodologia

2.1 Caracterização do campo geotermal enquanto ambiente ecológico

2.1.1. Caracterização da vegetação

A conjugação de diversos factores como a temperatura, o vapor e as diferentes concentrações de nutrientes, conduzem à organização de uma vegetação muito particular, com a reunião de espécies características de ambientes termófilos, espécies de zonas húmidas e espécies que se encontram presentes em áreas circundantes a estes habitats.

Para a caracterização da vegetação existem diferentes métodos que podem ser utilizados, constituindo a sua escolha uma decisão sempre complicada. Na escolha do método há que ter em conta o objectivo do estudo, a escala de trabalho, os conhecimentos botânicos do investigador e a natureza e complexidade do coberto (Webb, 1954).

Com o objectivo de caracterizar a vegetação presente nas Furnas do Enxofre utilizou-se um processo onde a área de estudo é dividida em áreas mais pequenas e em cada uma delas é realizada uma amostragem.



Figura 11 – Recolha de dados referentes à vegetação (Foto: Cândida Mendes).

Quanto ao tamanho da amostra, esta tem que ser suficientemente grande para ser representativa da vegetação em estudo, esta área pode ser obtida através da área mínima (Poore, 1955). Segundo Shimwell (1971), a área mínima é a parcela mais pequena que

fornece dados representativos de um tipo de vegetação. Esta área é obtida através do reconhecimento de uma área pequena onde todas as espécies diferentes são contadas. Posteriormente, esta área é duplicada e são contadas, novamente, as espécies diferentes. Este processo de duplicação da área e contagem das espécies presentes é repetido até ser atingida uma estabilização do número de espécies.

- Metodologia de campo:

Primeiramente, recorreu-se à fotografia aérea da área de estudo para a identificação e delimitação de diferentes manchas de vegetação. Após este reconhecimento inicial, o trabalho de campo foi iniciado e procedeu-se à identificação e confirmação das manchas previamente desenhadas. Após identificação, foram escolhidos locais de amostragem que seriam representativos da mancha de vegetação em estudo.

- Metodologia de análise:

Após a recolha dos dados de campo procedeu-se à elaboração de uma carta da vegetação da área de estudo (anexo 7.1.1. Carta 1). A carta da vegetação foi elaborada com recurso ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software *Arcgis*. As diferentes manchas de vegetação foram desenhadas e foi efectuada a classificação da vegetação. Esta teve por base as designações de tipologias de vegetação atribuídas por Dias *et al.* (2002).

2.1.2. Caracterização das comunidades presentes nas fumarolas

Após a caracterização da vegetação a nível da organização da paisagem é fundamental uma análise mais detalhada da organização da vegetação e organismos a uma escala mais pequena, ou seja, é importante a determinação da estrutura e organização das comunidades em redor das bocas das fumarolas.

- Metodologia de campo:

Procedeu-se à identificação de diferentes comunidades. Este processo baseou-se na escolha para a análise de 26 fumarolas e na posterior anotação das comunidades distintas que iam sendo observadas. A escolha das fumarolas foi efectuada de modo a ser possível uma análise de fumarolas distribuídas por todo o campo geotermal.

De seguida, estas fumarolas foram novamente analisadas, agora de uma forma mais exhaustiva, ou seja, foi analisada e anotada a presença das comunidades em cada fumarola e a sua localização.

- Metodologia de análise:

Com os dados recolhidos no campo e com recurso ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o software *Arcgis*, as fumarolas e as diferentes comunidades que estas apresentavam foram desenhadas. A diversidade de comunidades, a sua frequência e distribuição ao longo do campo, foi posteriormente analisada.

2.1.3. Caracterização dos factores físico-químicos e factores extremófilos

2.1.3.1. Temperatura

A temperatura do solo é apontada por alguns autores (e.g. Burns, 1997) como um dos factores principais na organização e estrutura da vegetação. Ao contrário do que acontece em solos sem influência geotérmica, onde a temperatura diminui com o aumento da profundidade, nos solos geotermos a temperatura tende a aumentar com a profundidade.



Com o objectivo de realizar um mapa térmico da área de estudo, e tendo em conta a metodologia utilizada por vários autores em trabalhos semelhantes (Burns *et al.*, 1995; Stout *et al.*, 2002; Burns, 2010) foram efectuadas medições de temperatura no solo.

Figura 12 – Recolha de dados da temperatura do solo (Foto: Cândida Mendes).

- Metodologia de campo:

As medições da temperatura no solo foram efectuadas com auxílio de um termómetro digital *HANNA HI 145*. Inicialmente foi realizada uma medição da temperatura do solo numa área que não sofria influência do fluxo geotérmico, de modo a obtermos uma amostra padrão da distribuição da temperatura em profundidade. De seguida, foram escolhidos pontos na área de estudo de modo a criar uma rede de pontos para caracterizar a distribuição da temperatura pelo campo geotermal (anexo 7.2. Carta 6). Nos locais que apresentavam temperaturas mais elevadas a rede de pontos era mais densa, enquanto que nas áreas onde a temperatura se tornava mais próxima da temperatura padrão, a densidade dos pontos era reduzida. A metodologia utilizada consistiu em medições da temperatura que foram realizadas a diferentes profundidades,

medições superficiais (Ts), medições a 5 cm de profundidade (T5), a 10 cm (T10) e a 12 cm (T12). Nos locais onde existiam fumarolas, a temperatura no interior da boca foi medida.

- Metodologia de análise:

A cartografia da temperatura efectuou-se com recurso ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software *Arcgis* e a extensão *Spatial Analyst* (ferramenta que permite modelar dados).

Os pontos onde foram efectuadas as medições de temperatura foram introduzidos no *Arcmap* sobre a fotografia aérea da área de estudo. Pretendia-se que este conjunto de pontos fosse utilizado para visualizar a continuidade e a variabilidade dos dados ao longo da superfície. Para que isto fosse possível foi necessário escolher quais as ferramentas de interpolação a utilizar. Existem várias técnicas de interpolação e cada uma delas apresenta vantagens e desvantagens dependendo do objectivo final e cada uma deve ser aplicada em situações específicas.

Como pretendíamos a representação da superfície foi criada uma *grid*, esta é considerada uma representação funcional da superfície. Para a criação de uma *grid* existem várias ferramentas de interpolação. A interpolação é um procedimento que estima o valor de células que não possuem dados, baseia-se no princípio de autocorrelação espacial que mede o grau de relacionamento e/ou dependência de objectos próximos e distantes (Childs, 2004).

Existem duas categorias de técnicas de interpolação: determinísticas e geoestatísticas. O modelo utilizado, IDW – *Inverse Distance Weight*, insere-se nas técnicas determinísticas. Estas criam superfícies baseadas em medições de pontos ou em fórmulas matemáticas. O método IDW deve ser utilizado quando a densidade dos pontos é suficiente para capturar as variações de superfície locais necessárias para a análise, ou seja, quando possuímos informação de pontos no terreno que sejam suficientes para estimar valores de outros pontos que não possuem informação. Este método determina o valor das células utilizando uma relação linear – ponderada de um grupo de pontos. Quanto maior for a distância entre os pontos menor vai ser a influência das células nos valores finais (Childs, 2004).

Este processo foi repetido para as diferentes profundidades a que foram efectuadas as medições, obtendo no final, 4 cartas de temperatura do solo (Ts, T5, T10 e T12) que nos

permitem verificar a distribuição da temperatura pelo campo geotermal e o seu comportamento com o aumento da profundidade.

2.1.3.2. Ambiente atmosférico

O campo de fumarolas das Furnas do Enxofre está relacionado com sistemas hidrotermais (Ferreira, 1994). Nestes casos, a quantidade e a disponibilidade de água que existe no solo vai desempenhar um papel importante no que diz respeito à quantidade de vapor libertado pelas fumarolas e na criação de um ambiente mais ou menos húmido. Para a caracterização da distribuição do vapor de água e da temperatura nas fumarolas foram efectuadas medições e pesagens.

- Metodologia de campo:

Para determinar a influência do vapor de água sobre as comunidades existentes nas fumarolas, procedeu-se à quantificação do vapor de água e a sua distribuição ao longo da fumarola. A metodologia escolhida para esta medição consiste na utilização de algodões e a sua pesagem (comunicação oral Dias, 2010). Para as medições foram escolhidas 15 fumarolas. A escolha das fumarolas foi efectuada tendo em conta a sua localização, ou seja, pretendia-se estudar fumarolas que se encontrassem distribuídas por todo o campo geotermal. Ao longo de cada fumarola foram colocados transeptos de palitos com algodões numa das extremidades, em três direcções distintas, no centro da fumarola (C), para a direita (D) e para a esquerda (E).



Figura 13 – Medição do vapor de água através do método dos algodões (Foto: Rita Costa).

Estes palitos foram previamente pesados numa balança de precisão. Após 10 minutos os palitos foram retirados e novamente pesados, obtendo-se assim a pesagem final que corresponde ao vapor absorvido por cada algodão colocado em comunidades e a distâncias diferentes do centro da fumarola.

Nos locais onde foram colocados os palitos para a medição do vapor absorvido, procedeu-se também, à medição da temperatura. Este procedimento foi realizado duas vezes, uma em Outubro de 2010 e outra em Abril de 2011.

- Metodologia de análise:

Os dados recolhidos foram tratados em *Excel* e foram elaborados gráficos que ilustram a distribuição do vapor e da temperatura pelas comunidades e nas diferentes fumarolas. A comparação entre os dados recolhidos em épocas do ano distintas, uma época do ano mais húmida e outra mais seca, permitirá uma análise do comportamento do vapor de água libertado e da temperatura.

2.1.3.3. Química

A composição química dos gases libertados pelas fumarolas representa um factor de extrema importância na determinação da vegetação que em seu redor se pode



Figura 14 – Depósitos de cristais de enxofre – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

estabelecer (Mitchell Partnerships, 2009; Given, 1980). A realização de análises químicas aos gases libertados pelas fumarolas não foi possível devido à falta de meios para a concretização destas análises. Por tal, pretende-se neste ponto, identificar os locais do campo que apresentam indícios de componentes químicos em maiores

concentrações, tais como depósitos de enxofre.

- Metodologia de campo:

Através da observação visual no campo, procedeu-se à determinação e marcação dos locais onde se encontram depósitos de enxofre.

- Metodologia de análise:

Com recurso ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software *Arcgis*, procedeu-se à marcação dos locais onde existiam depósitos de enxofre. A identificação destes locais salienta as diferenças na quantidade e composição dos gases libertados pelas fumarolas distribuída pelo campo geotermal.

2.1.3.4. Crostas biológicas e geyserites

As condições extremas que podemos encontrar num campo geotermal, como sejam as elevadas temperaturas e as concentrações de gases elevadas, conduzem a uma

interpretação inicial errada da realidade. De facto, existem zonas do campo geotermal das Furnas do Enxofre que poderiam passar por zonas sem interesse, zonas sem vida. No entanto, estas zonas apresentam uma grande riqueza e complexidade de aglomerados



Figura 15 – Geyserites – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).



Figura 16 – Crostas Biológicas – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

de comunidades distintas. Muitas das estruturas presentes no Vale do Inferno, existem devido à conjugação de factores abiogénicos com factores biogénicos. Estas estruturas designam-se de geysirites e crostas biológicas.

Neste ponto, o objectivo consiste na caracterização das estruturas presentes no Vale do Inferno e numa posterior divisão desta área em zonas distintas.

- Metodologia de campo:

No que diz respeito às geysirites, a metodologia utilizada consistiu na identificação das estruturas presentes no Vale do Inferno, tendo por base uma tabela de identificação de geysirites apresentada por Urusov *et al.* (2007).

Tabela 2 – Identificação de diferentes tipos de Geysirites apresentados por Urusov *et al.* (2007).

Tipos de Geysirites	Cor	Forma/Textura
Comuns em água	Cor clara	Não laminado, desintegrando-se
	Branco rosado	Compacto
	Cinzento	Contaminado com misturas de argila
	Branco acinzentado	Compacto
	Branco acinzentado	Em camadas, compacto
Já estiveram em contacto com água	Branco	Intercalar de 4cm de espessura
	Cinzento branco	Em camadas
	Cinzento branco	Compacto, em camadas
	Cor clara	Frágil, quebradiço, de laminações indistintas, poroso
	Cinzento claro	Em camadas, alternância de uma camada compacta e uma mais porosa

Aéreas	Castanho	Crosta nas rochas
	-	Crosta nas rochas
	-	Crostas em redor das bocas das fumarolas
	Cinzento colorido (minerais de sulfetos)	Crostas
	Amarelo e cinzento	Crostas
	-	Escorrimento e nódulos no cascalho
Outras formações	-	Consolidadas
	-	Tabulares
	-	Aciculares
	-	Cópula
	-	Coluna
	-	Pinha

Quanto às crostas biológicas, a sua identificação foi efectuada tendo por base a caracterização de crostas biológicas realizada por Rosentreter *et al.* (2007).

Tabela 3 – Identificação de crostas biológicas apresentada por Rosentreter *et al.* (2007).

Textura	Rugoso	Liso	ondulado	-
Cor	Muito claro	Claro	Escuro	Muito escuro
Inclinação	Sem inclinação	Alguma inclinação	Muito inclinado	-

- Metodologia de análise:

Com recurso ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software *Arcgis*, precedeu-se ao desenho das diferentes zonas previamente delimitadas no campo.

2.1.3.5. Elementos geológicos

A formação de um campo geotermal (ver ponto 1.2.2.) fica a dever-se à reunião de um conjunto de factores que permite que o campo se instale naquele local. A localização das fumarolas, das diferenças apresentadas entre elas e a distribuição da vegetação também são aspectos que se ficam a dever à complexidade geológica que o campo apresenta. Por tal, uma correcta interpretação dos elementos geológicos presentes é fundamental para compreensão da dinâmica do campo.

Inicialmente procedeu-se à interpretação da fotografia aérea da área de estudo tendo especial interesse a identificação de domos e *coulés*, diaclases e zonas de caos de blocos. Com o objectivo de confirmar as estruturas previamente identificadas e de identificar outras estruturas que poderiam não estar visíveis utilizou-se um GPR – *Ground Penetrating Radar*. O GPR é uma das técnicas mais recentes na exploração geofísica superficial, apresentando, como uma das suas principais vantagens, a capacidade de mostrar imagens contínuas do subsolo. Esta técnica baseia-se na reflexão de uma onda electromagnética nas interfaces entre as camadas. A utilização do GPR tem sido uma técnica muito utilizada e tem mostrado grandes vantagens em várias aplicações, e.g. investigações a nível geológico e ambiental (Halleux, 1990).

- Metodologia de campo:

A metodologia consistiu na utilização do GPR para a identificação de estruturas presentes no subsolo da área de estudo. O GPR foi utilizado sobre diversas áreas do campo geotermal, principalmente nas zonas onde se suspeitava que o solo apresentasse estruturas distintas.

- Metodologia de análise:

Os radrogramas que resultaram do trabalho de campo foram trabalhados utilizando vários filtros de modo a encontrar um que mais se adaptasse às características pretendidas. O filtro utilizado para a análise foi o *Reflex*.

3ª Parte – Resultados

3.1. Caracterização e descrição da organização da vegetação e dos microrganismos

3.1.1. Organização da paisagem

A distribuição da vegetação a nível da organização da paisagem é um aspecto muito importante no que concerne às principais funções desempenhadas por cada mancha de vegetação. A presença nesta área de manchas de vegetação natural e uma área considerável ocupada por zonas húmidas poderá funcionar como um indicador da vegetação potencial desta área caso não tivesse ocorrido ao longo dos anos a intervenção do homem. De facto, realça-se na área de estudo um grande número de manchas marcadas pela presença do homem, sejam elas de intervenção directa actual ou resultado de uma intervenção inicial humana e posterior abandono dando lugar à implementação de espécies exóticas (Fig. 17 e Carta da vegetação – anexo 7.1.1. Carta 1).

Na Fig. 17, abaixo apresentada, podemos ver a distribuição da vegetação por uma grande área. A necessidade da análise a esta escala prende-se, como já foi referido anteriormente, com a importância da vegetação na manutenção das comunidades presentes no campo geotermal. Isto significa que a vegetação presente nas áreas circundantes ao campo geotermal, desempenham um papel muito importante na manutenção das comunidades presentes no interior do campo. Por tal, a sua conservação e/ou alteração de manchas de vegetação com vista à obtenção ou à aproximação da vegetação potencial desta área, é de extrema importância na manutenção da organização do campo geotermal.

A presença de um número considerável de manchas de vegetação de zonas húmidas, floresta natural e de habitats rochosos, realça a existência de espécies endémicas e/ou de elevado valor patrimonial. Sublinha-se aqui, o trabalho realizado por Rendeiro (2002), que apresenta um conjunto de espécies de elevado valor patrimonial para a área de estudo (Tab. 4).

Tabela 4 – Tabela de espécies com elevado valor patrimonial apresentada por Rendeiro (2002).

Tabela XVII: Espécies com elevado valor patrimonial

ESPÉCIES	COROLOGIA	STATUS GLOBAL	STATUS LOCAL	PROTECÇÃO LEGAL
<i>Culcita macrocarpa</i>	Indígena	VU	VU	DH (1420); CB
<i>Erica scoparia</i> ssp. <i>azorica</i>	End--Az		VU	DH (1624); CB
<i>Frangula azorica</i>	End Mac	EN	EN	DH (1580) ; CB
<i>Picconia azorica</i>	End Az	EN	CR	DH (1653); CB
<i>Trichomanes speciosum</i>	Indígena	EN	VU	DH (1421) ; CB
<i>Woodwardia radicans</i>	Indígena	EN	CR	DH (1426); CB
<i>Juniperus brevifolia</i>	End Az	VU	VU	CB
<i>Agrostis gracililaxa</i>	End-Az	DD	CR	Inexistente
<i>Cardamine caldeirarum</i>	End Az	CR	CR	Inexistente
<i>Deschampsia foliosa</i>	End Az	EN	LR	Inexistente
<i>Dryopteris azorica</i>	End Az	VU	VU	Inexistente
<i>Holcus rigidus</i>	End Az	VU	VU	Inexistente
<i>Hypericum foliosum</i>	End Az	VU	EN	Inexistente
<i>Ilex perado</i> ssp. <i>azorica</i>	End Az	VU	EN	Inexistente
<i>Polypodium azoricum</i>	End Az	VU	EN	Inexistente
<i>Vaccinium cylindraceum</i>	End Az	VU	LR	Inexistente

CR= Em Perigo Crítico; EN= Em Perigo; VU= Vulnerável; LR= Em Baixo Risco; DD= Dados Insuficientes

DH= Legalmente Protegido pela Directiva Habitats 92/ 43/ CEE

CB= Legalmente Protegido pela Convenção de Berna (1992)

Nas Figs 18 e 19, podemos ver, com mais detalhe, as tipologias de vegetação presentes no campo geotermal. Realça-se a presença de manchas de vegetação natural e matos com um número significativo de endémicas. Contudo, a presença de manchas com dominância de espécies exóticas é grande, realçando a forte presença humana nesta área.

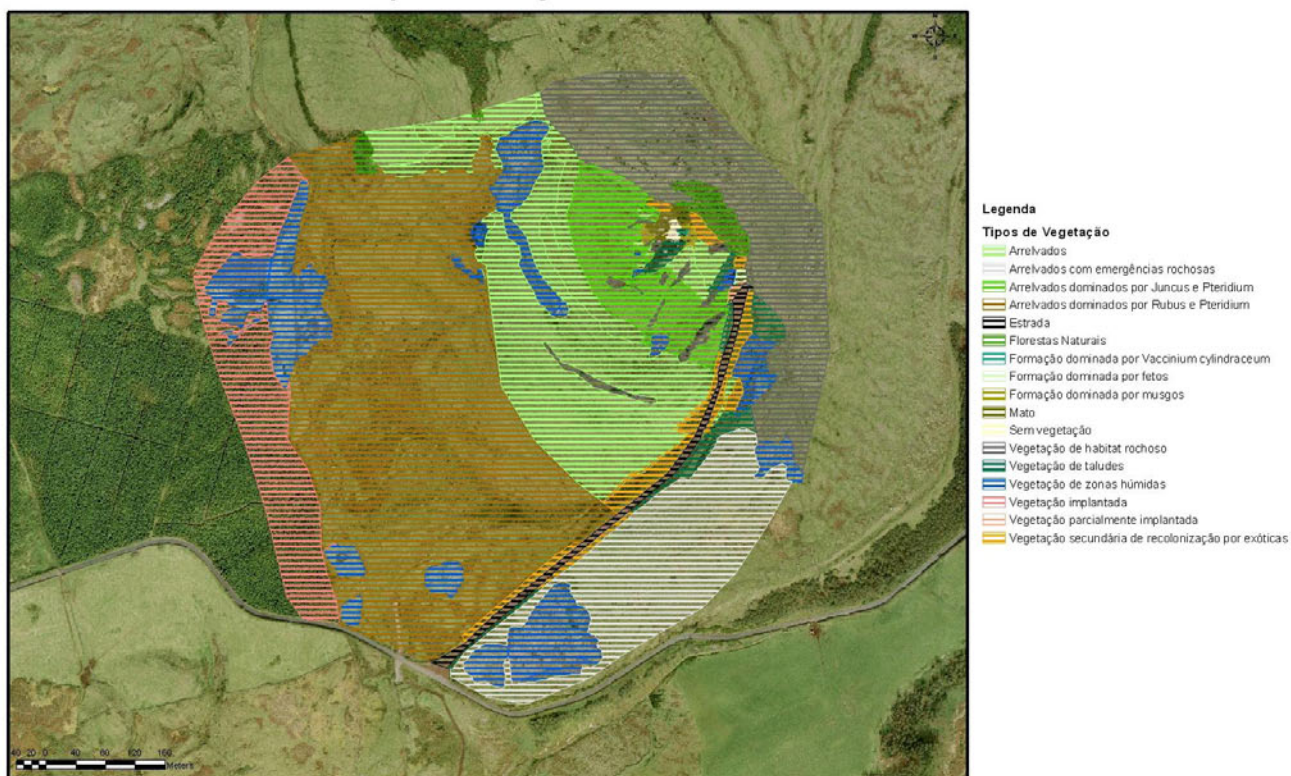


Figura 17 – Tipos de vegetação (a) – Furnas do Enxofre. Obtida em *Arcgis*.

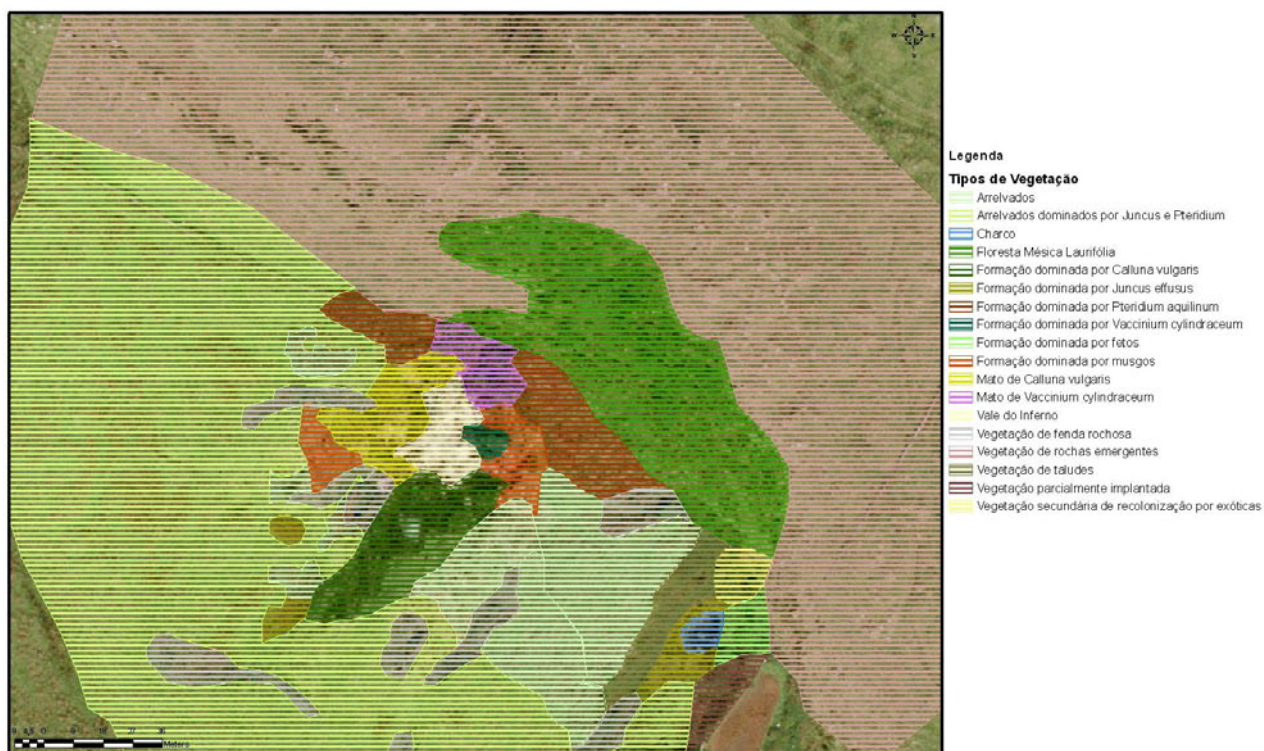


Figura 18 – Tipos de vegetação (b) – Furnas do Enxofre. Obtida em *Arcgis*.

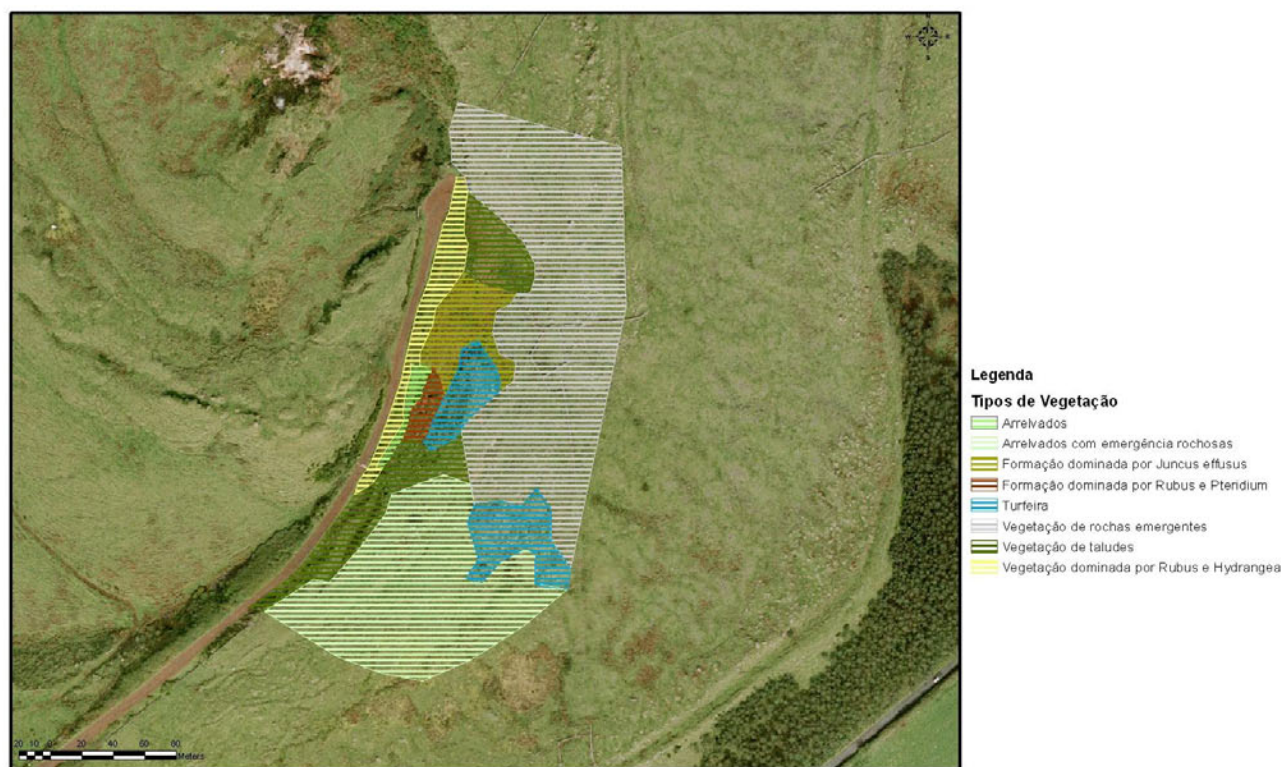


Figura 19 – Tipos de vegetação (c) – Fornos do Enxofre. Obtida em *Arcgis*.

3.1.2. Organização das comunidades presentes nas bocas das fumarolas

As comunidades que vivem nas proximidades das fumarolas estão sujeitas a condições extremas. Algumas destas comunidades apenas toleram estas condições, verificando-se uma redução no seu crescimento, recuo da comunidade em relação à boca ou até mesmo morte de espécies, quando se verifica alguma alteração nestas condições, como exemplo, um aumento da temperatura. Por outro lado, existem comunidades que necessitam destas condições extremas para poderem sobreviver, são os chamados extremófilos.

A organização das comunidades em torno das fumarolas apresenta-se de uma forma muito complexa formando zonações distintas em redor das bocas das fumarolas, numa mistura de espécies características de ambientes terrestres, termófilos e de zonas húmidas. Estas comunidades vão surgindo umas a seguir às outras à medida que as condições se vão tornando mais favoráveis para cada uma delas.

As comunidades têm as suas necessidades ecológicas, ou seja, tem temperaturas ideais, necessidades de humidade distintas, diferentes capacidades de exposição solar, entre outras, o que faz com que se localizem em locais diferentes nas fumarolas.

Numa primeira análise, procedeu-se à identificação e marcação de comunidades. As fumarolas presentes no Vale do Inferno não foram objecto de identificação neste ponto, uma vez que apresentam uma estrutura e organização muito diferente das restantes fumarolas, sendo a sua caracterização apresentada em capítulo específico neste trabalho. Esta marcação foi feita utilizando diversos critérios, teve em conta a morfologia, a cor e as espécies presentes, atribuindo-se o nome comunidade aos aglomerados que apresentavam estas mesmas características. A identificação de espécies e de estruturas, principalmente no que concerne às zonas mais próximas das fumarolas, não representava um objectivo deste trabalho, uma vez que esta identificação carecia de outro tipo de conhecimentos e logística. Por tal, o objectivo principal visa a identificação de diferentes organizações e a sua localização nas fumarolas. Desta análise resultaram as comunidades que de seguida são apresentadas (Tab. 5). Uma zona de transição foi assinalada quando a divisão entre comunidades não era nítida ou existia a conjugação de características pertencentes a comunidades distintas.

Tabela 5 – Comunidades identificadas nas fumarolas estudadas.

A – Zona Vermelha;
B – Zona de argila coberta com uma camada gelatinosa branca e rosa;
C – Zona gelatinosa verde;
D – Zona de crosta verde seca;
E – Zona de crosta verde e preta, realça-se a presença de musgos muito pequenos;
F – Zona de musgos envoltos numa massa gelatinosa verde;
G – Zona de espécies: e.g. <i>Polytrichum</i> , <i>Holcus rigidus</i> , <i>Cleropodim</i> , <i>Thuidium tamarixium</i> , envoltas numa gelatina verde;
H – Zona de crosta preta com musgos;
I – Zona de gramíneas com <i>Calluna vulgaris</i> ;
K – Zona de crosta vermelha;
L – Zona de argila coberta por uma fina camada verde e preta que é interrompida por crostas brancas;
M – Zona de <i>Sphagnum</i> e outros musgos envoltos numa massa gelatinosa avermelhada;
N – Zona de hepáticas e musgos;
O – Zona de <i>Sphagnum</i> e gramíneas;
Q – Zona de <i>Sphagnum</i> ;
S – Zona de mistura de argila, massa branca e acastanhada, com uma zona superficial preta e verde;
T – Zona de depósitos de cristais de enxofre;
U – Zona preta esponjosa que apresenta camadas intercaladas – camada gelatinosa castanha, verde, e por último, uma camada verde escura;
V – Zona de argila;

X – Zona de argila que envolve zonas brancas;
W – Zona de musgos;
Z – Zona de uma massa gelatinosa castanha e amarela;
1P – Zona de <i>Lycopodiella cernua</i> ,
1 po – Zona de <i>Polytrichum</i> ;
CP – crosta preta;
zt – Zona de transição.

Tabela 6 – Temperatura das comunidades (ver designação detalhada na Tabela 4).

Comunidades	Temperatura (°C)
A	82,8
B	70,9
C	49,2
D	44,9
E	42,9
F	34,5
G	33
H	40,1
I	35,7
K	55,8
L	40,3
M	54,2
N	35,7
O	36,5
Q	37,1
S	58,1
T	60,3
U	40,2
V	44
X	46,6
W	35,5
Z	59,1
1p	34,8
1po	46,4
CP	64,2
zt	-

Uma grande parte destas comunidades encontra-se tão adaptada e dependente das condições presentes neste ecossistema que a sua deslocação para um ambiente distinto (e.g. temperaturas mais baixas e concentrações distintas de gases) poderá levar ao seu desaparecimento.

As comunidades acima apresentadas podem ser divididas em grupos tendo em conta a temperatura a que conseguem sobreviver. De acordo com a bibliografia consultada (Seckbach, 2000; Reysenback *et al.*, 2001; Wharton, 2002; Santos *et al.*, 2001) estas comunidades podem ser divididas nos seguintes grupos:

- Mesófilos (20°C a 40°C): F, G, I, N, O, Q, W, e 1p;
- Termófilos (40°C a 75°C): C, D, E, H, K, L, M, S, T, U, V, X, Z, 1po e CP;
- Hipertermófilos (acima dos 75°C): A e B.

As figuras abaixo apresentadas ilustram a distribuição das comunidades pelas fumarolas estudadas (figuras obtidas em *Arcgis*).

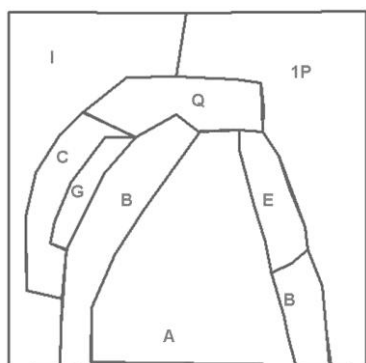


Figura 20 – Fumarola 1.

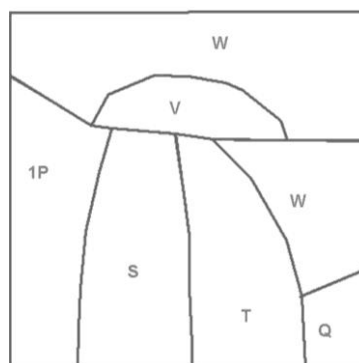


Figura 21 – Fumarola 2.

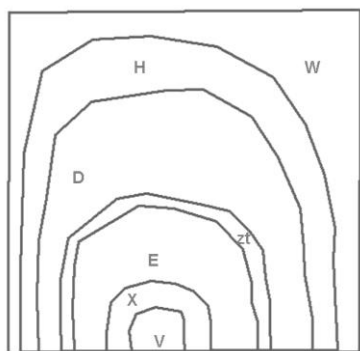


Figura 22 – Fumarola 3.

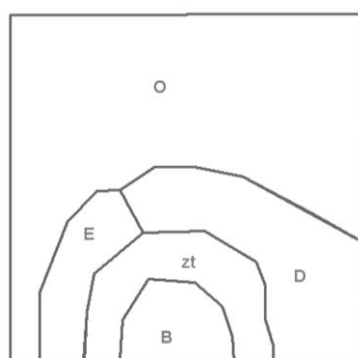


Figura 23 – Fumarola 4.

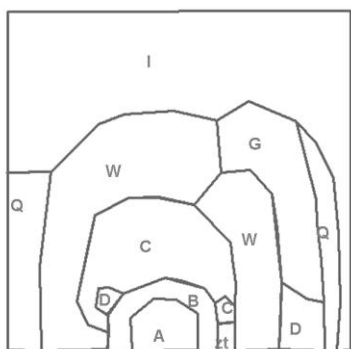


Figura 24 – Fumarola 5.

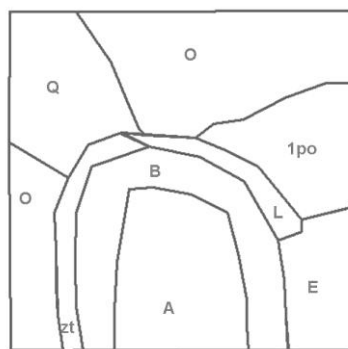


Figura 25 – Fumarola 6.

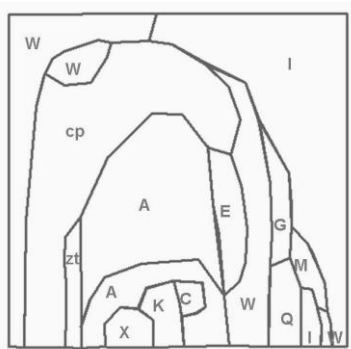


Figura 26 – Fumarola 7.

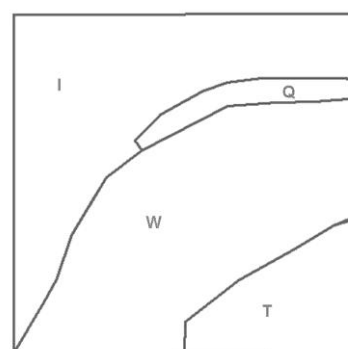
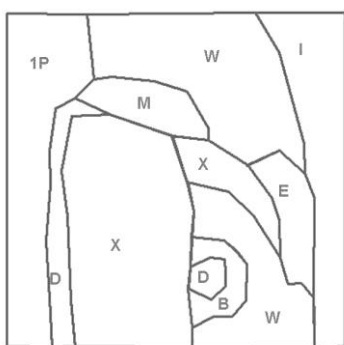


Figura 27 – Fumarola 8.



Fumarola 28 – Fumarola 9.

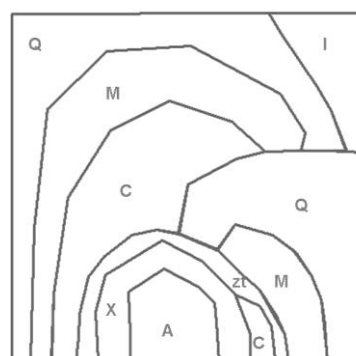


Figura 29 – Fumarola 10.

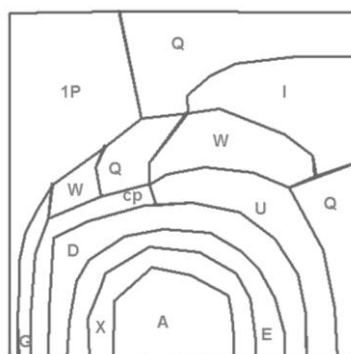


Figura 30 – Fumarola 11.

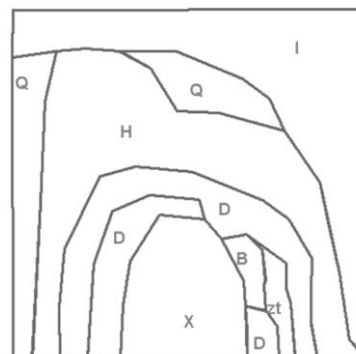


Figura 31 – Fumarola 12.

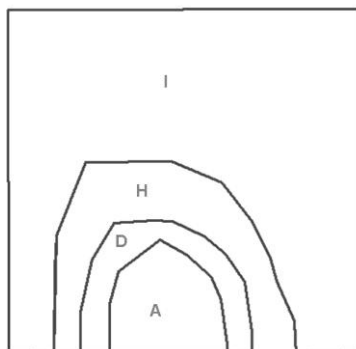


Figura 32 – Fumarola 13.

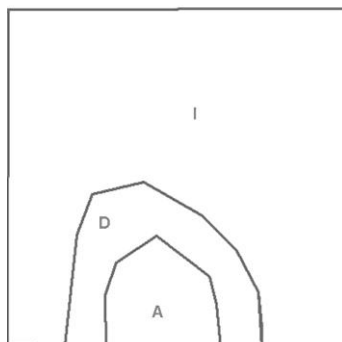


Figura 33 – Fumarola 14.

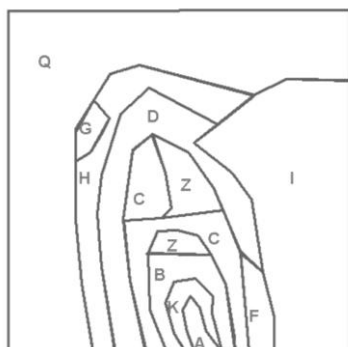


Figura 34 – Fumarola 15.

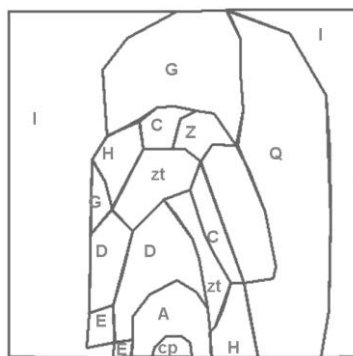


Figura 35 – Fumarola 16.

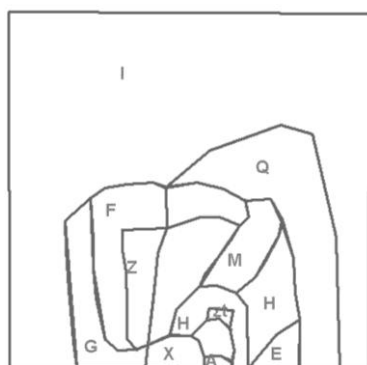


Figura 36 – Fumarola 17.

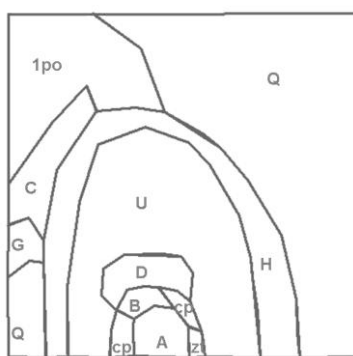


Figura 37 – Fumarola 18.

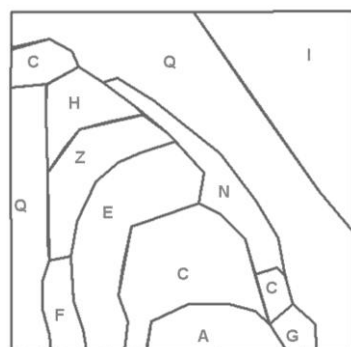


Figura 38 – Fumarola 19.

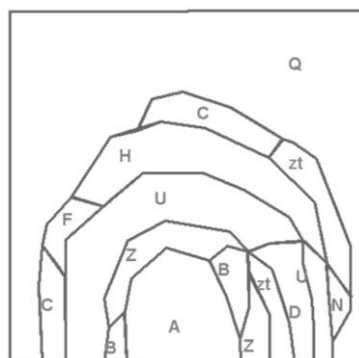


Figura 39 – Fumarola 20.

Pode-se observar que a organização das comunidades (o número, distribuição e área ocupada) varia de fumarola para fumarola, existindo fumarolas com uma organização muito simples (e.g. Fig. 33) e outras que apresentam uma organização mais complexa (e.g. 26).

De modo a facilitar a apresentação dos resultados, as fumarolas foram divididas por 6 grupos tendo em conta a sua localização (Fig. 40):

- Grupo 1: fumarolas 1, 2 e 3, próximas do Vale do Inferno;
- Grupo 2: fumarolas 4, 5 e 6, na formação dominada por musgos junto ao passadiço;
- Grupo 3: fumarolas 7, 8 e 9, no talude junto ao Vale do Inferno;
- Grupo 4: fumarolas 10, 11 e 12, na vertente oeste do Vale do Inferno;
- Grupo 5: fumarolas 13, 14, 15, 16 e 17, nas falhas;
- Grupo 6: fumarolas 18, 19 e 20, na vertente à direita da estrada de acesso às Furnas do Enxofre.

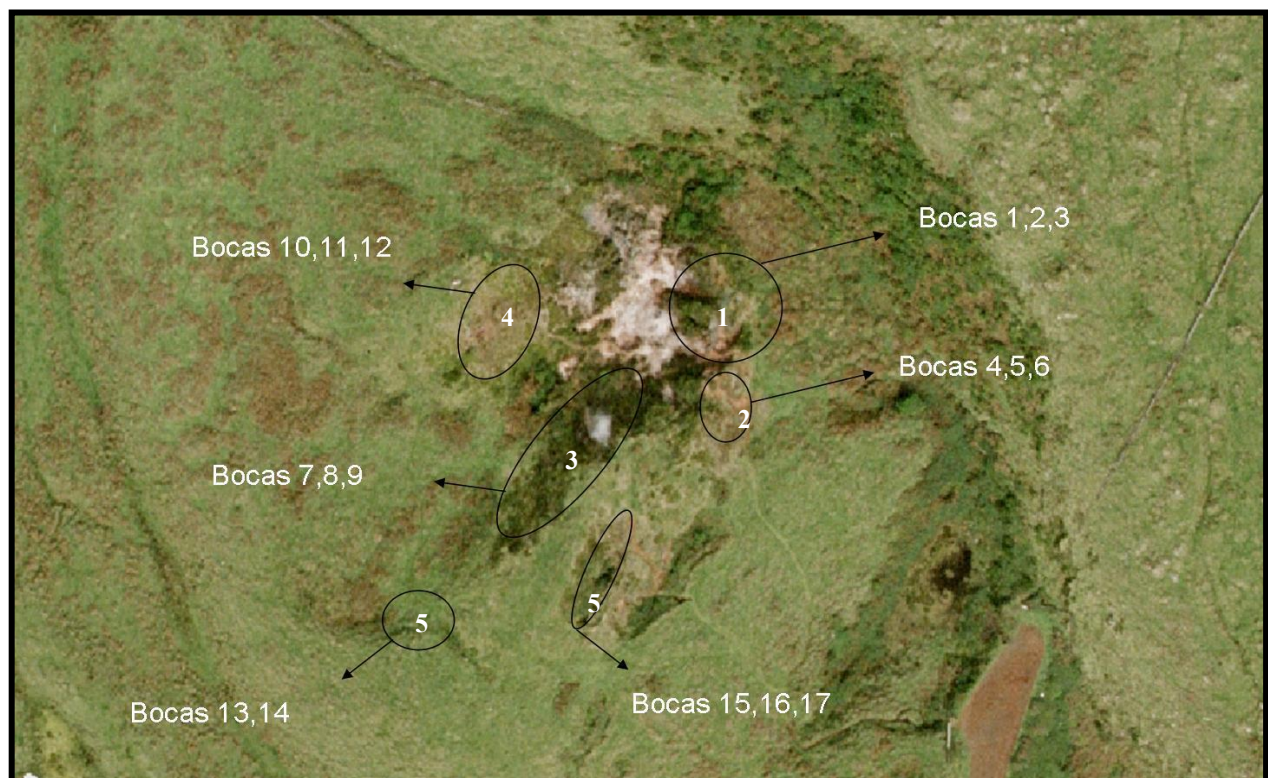


Figura 40 – Localização das fumarolas no campo geotermal e a designação do grupo a que pertencem (a). Obtida em *Arcgis*.



Figuras 41 – Localização das fumarolas no campo geotermal e a designação do grupo a que pertencem (b). Obtida em *Arcgis*.

As 26 comunidades identificadas encontram-se distribuídas pelas fumarolas. No entanto, a frequência com que surgem nas fumarolas é diferente.

Tabela 7 – Frequência com que as comunidades estão presentes nas fumarolas.

Comunidades (26)	Fumarolas (20)
A	14
B	8
C	7
D	11
E	10
F	4
G	8
H	9
I	12
K	2
L	1
M	3
N	2
O	2
Q	14
S	1
T	2
U	3
V	2
X	7
W	6
Z	4
1p	4
1po	2
Cp	3
Zt	10

De um modo geral, as comunidades A (Zona Vermelha), Q (Zona de *Sphagnum*), I (Zona de gramíneas com *Calluna vulgaris*) e D (Zona de crosta verde seca) são as que surgem com maior frequência associadas às fumarolas do campo geotermal (Tab. 7).

Existem comunidades que estão presentes em todos os grupos de fumarolas (vermelha; camada gelatinosa branca e rosa; camada gelatinosa verde; crosta verde seca; crosta verde e preta com presença de musgos; conjunto de espécies envoltas numa gelatina verde: e.g. *Polytrichum*, *Holcus rigidus*, *Cleropodim*, *Thuidium tamarixium* e *Sphagnum*) e outras comunidades que apenas surgem em alguns grupos (musgos envoltos numa massa gelatinosa verde; crosta preta com musgos; gramíneas com

Calluna vulgaris; crosta vermelha; camada verde e preta interrompida por crostas brancas; hepáticas e musgos; *Sphagnum* e gramíneas; mistura de argila, massa branca e acastanhada, com uma zona superficial preta e verde; depósitos de cristais de enxofre; camada preta esponjosa que apresenta camadas intercaladas; argila; argila que envolve zonas brancas; massa gelatinosa castanha e amarela; zona de transição; *Lycopodiella cernua*; *Polytrichum* e massa gelatinosa castanha e amarela). Estas diferenças entre as fumarolas podem estar relacionadas com diferentes temperaturas, quantidade de vapor, localização no campo, que por sua vez pode influenciar a exposição a ventos, precipitação e uma maior ou menor proximidade da zona de acesso de turistas.

Tendo em conta os grupos de fumarolas, as comunidades mais frequentes em cada grupo foram as seguintes (para descrição detalhada ver Tab. 5):

Grupo 1 – Comunidades E, Q, 1p, W, V;

Grupo 2 – Comunidade B;

Grupo 3 – Comunidades W, I;

Grupo 4 – Comunidades X, Q, I;

Grupo 5 – Comunidade A;

Grupo 6 – Comunidades A, Q, H.

Os grupos de fumarolas 1, 3, 4 e 6 apresentam uma maior heterogeneidade de comunidades dominantes, enquanto que os grupos 2 e 5 apresentem apenas uma comunidade dominante.

Os grupos de fumarolas que possuem um maior número de comunidades distintas são os grupos 6 e o 4. (Tab. 7)

Tabela 8 – Média das comunidades presentes nas fumarolas.

Tipos de Fumarola	Média das comunidades presentes
1	7
2	7,3
3	8
4	8,3
5	8
6	10,6

3.2. Caracterização da distribuição da temperatura

Como tem vindo a ser referido ao longo deste trabalho, são vários os factores que actuam em conjunto de modo a proporcionar um ambiente único, característico destes ecossistemas. De todos os factores, a temperatura apresenta-se como um dos principais na determinação e organização da vegetação presente nestas áreas (e.g. Burns, 1997). Com o objectivo de conhecer a distribuição da temperatura neste campo geotermal, foi elaborado um trabalho de medição de temperatura do solo a diferentes profundidades (Ts, T5, T10 e T12).

Com os dados obtidos através das medições das temperaturas, da localização e posterior medição das temperaturas das fumarolas, foram elaboradas Cartas de Temperatura da área de estudo. Uma vez que as temperaturas foram medidas a diferentes profundidades, no final foram obtidas 4 Cartas de temperatura, o que nos permite ter uma melhor percepção da distribuição da temperatura ao longo do campo e com o aumento da profundidade (Figs. 42, 43, 44 e 45; Cartas das Classes de Temperatura – anexos 7.1.2.; 7.1.3.; 7.1.4. e 7.1.5. Cartas 2,3,4 e 5).

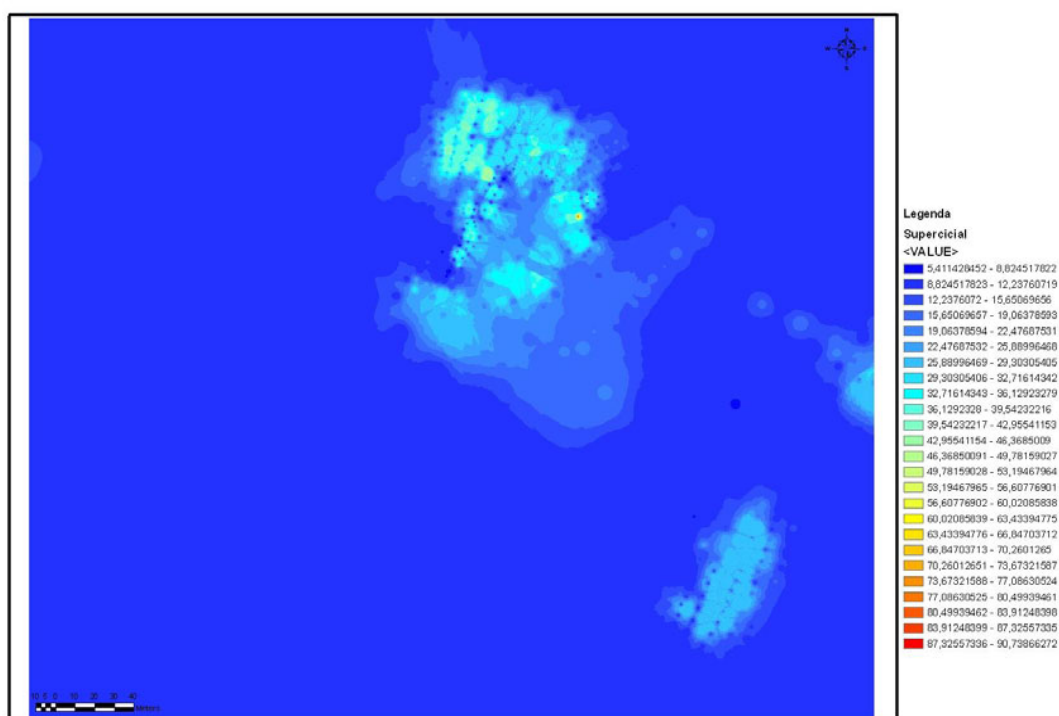


Figura 42 – Mapa da temperatura superficial – Furnas do Enxofre. Obtida em *Arcgis*, extensão IDW.

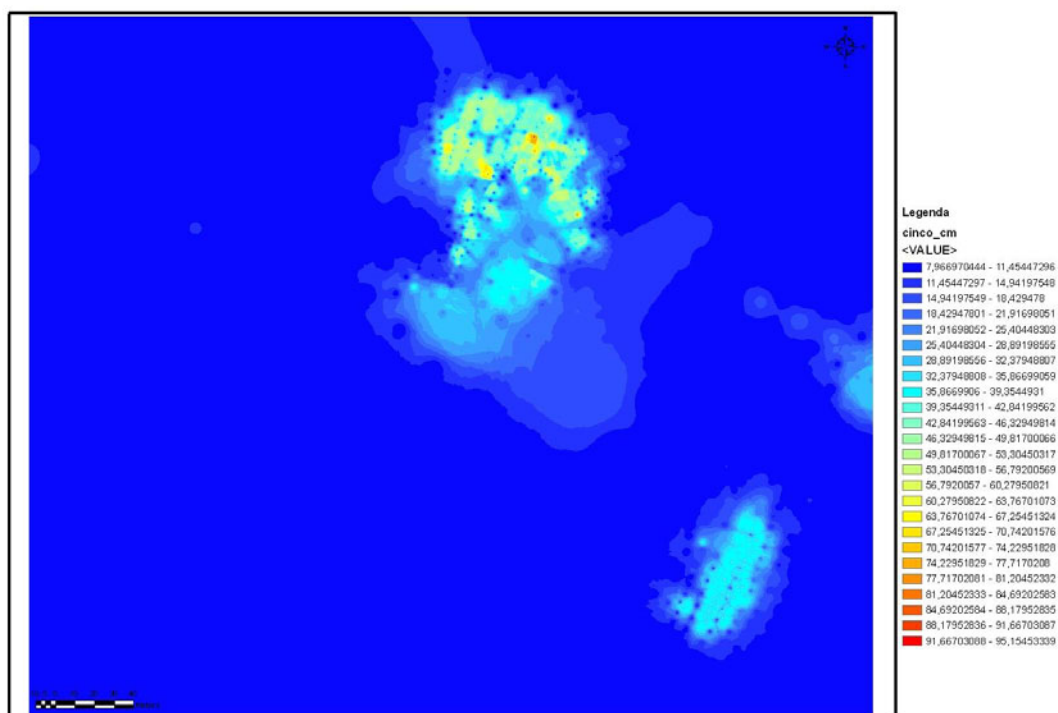


Figura 43 – Mapa da temperatura a 5cm de profundidade – Furnas do Enxofre. Obtida em *Arcgis*, extensão IDW.

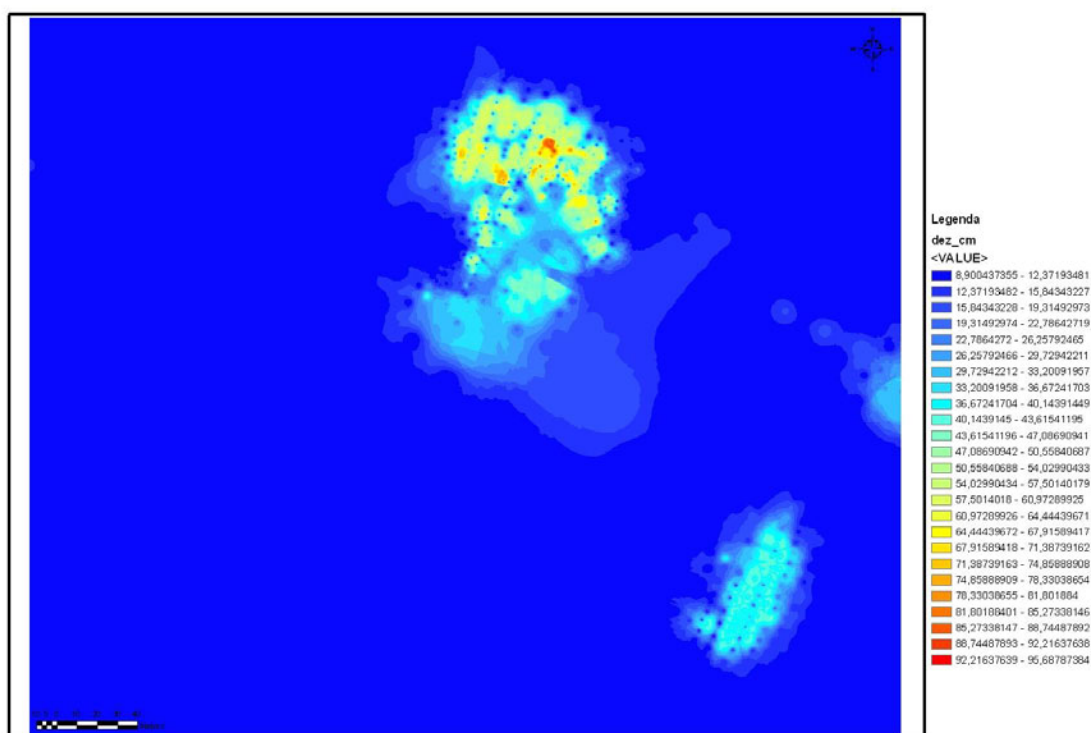


Figura 44 – Mapa da temperatura a 10cm de profundidade – Furnas do Enxofre. Obtida em *Arcgis*, extensão IDW.

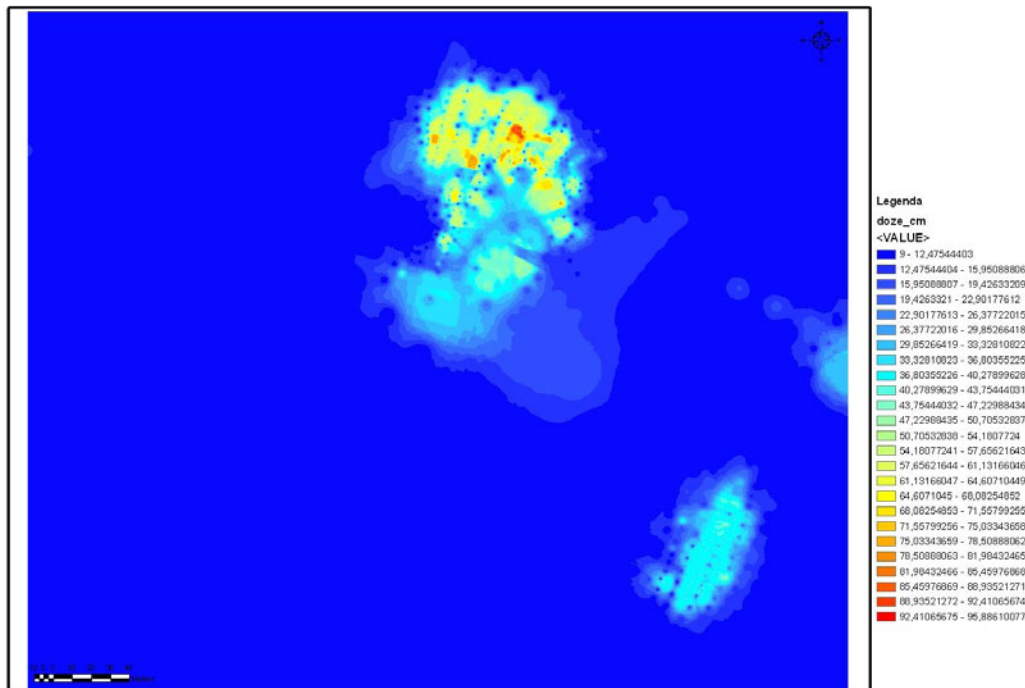


Figura 45 – Mapa da temperatura a 12cm de profundidade – Furnas do Enxofre. Obtida em *Arcgis*, extensão IDW.

Num campo geotermal a temperatura do solo comporta-se de forma distinta do que se observa em outras áreas. Com o aumento da profundidade a temperatura também aumenta, no entanto, este aumento não é constante. Nas profundidades escolhidas para as medições neste trabalho (Ts, T5, T10 e T12) o aumento de temperatura de uma profundidade para outra é diferente, ou seja, não se verifica um aumento constante de graus de temperatura. Contudo, de um modo geral, verificou-se um maior aumento de graus de temperatura dos 10 cm para os 12 cm, o que poderá indicar que com o aumento da profundidade o aumento de graus de temperatura se torne maior.

Através da análise das cartas de temperatura, podemos destacar 5 zonas mais quentes (Fig. 46).

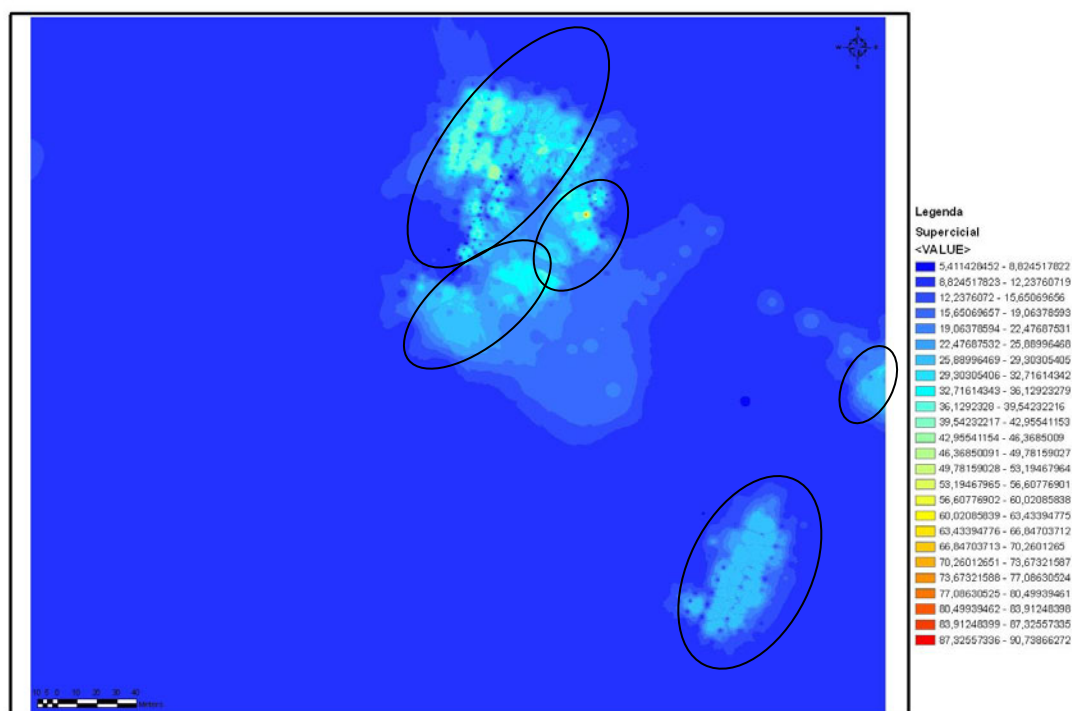


Figura 46 – Zonas mais quentes do campo geotermal das Furnas do Enxofre. Obtida em *Arcgis*, extensão IDW.

No entanto, com o aumento da profundidade, as diferenças de temperatura entre estas zonas vai-se acentuar, destacando-se agora uma zona mais quente, uma de temperaturas intermédias e outra de temperaturas mais baixas, embora ainda mais elevadas em relação à restante área (Fig. 47).

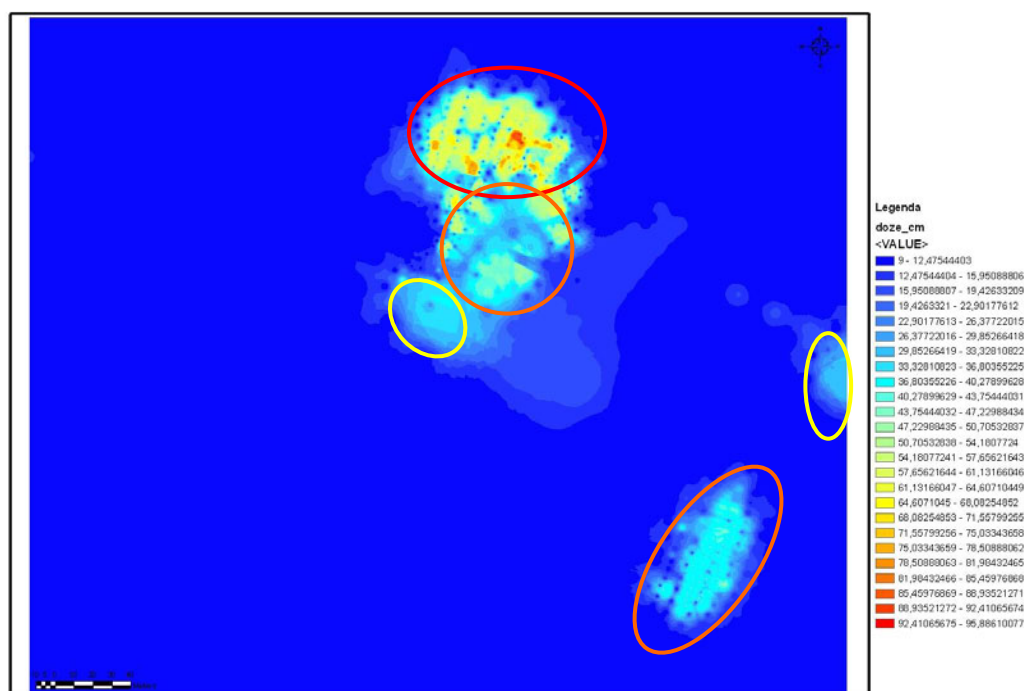


Figura 47 – Zonas quentes do campo geotermal das Furnas do Enxofre. — zona mais quente; — zona de temperaturas intermédias; — zona de temperaturas mais baixas. Obtida em *Arcgis*, extensão IDW.

As alterações da temperatura no solo podem ocorrer de uma forma muito rápida, numa distância muito curta. Com o objectivo de averiguar o comportamento da temperatura nas proximidades das fumarolas, e se este é um comportamento idêntico para todas as fumarolas do campo, foram efectuados gráficos de distribuição da temperatura a diferentes distâncias do centro das fumarolas.

Para esta análise foram escolhidas fumarolas distribuídas por todo o campo (Figs. 48 e 49).



Figura 48 e 49 – Localização dos pontos de medição da temperatura – ponto preto único; localização das fumarolas – aglomerado de pontos; e identificação das fumarolas utilizadas para as medições de temperatura. Obtida em *Arcgis*, extensão IDW.



De seguida são apresentados os gráficos de distribuição das temperaturas em relação à profundidade – superficial, 5, 10 e 12 cm; e à distância ao centro da fumarola – 0, 30, 60 e 90 cm (Figuras obtidas em *Arcgis*)

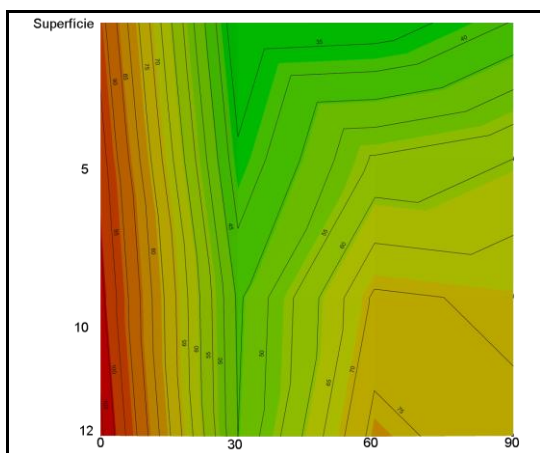


Figura 50 – Distribuição da temperatura fumarola 1.

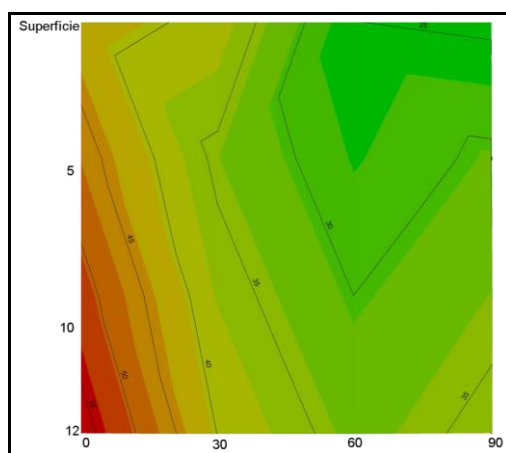


Figura 51 – Distribuição da temperatura fumarola 2.

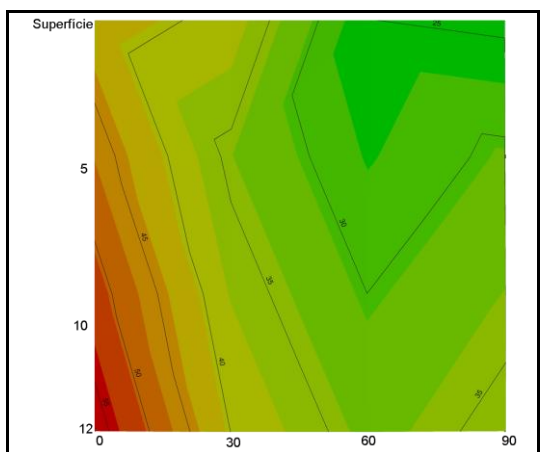


Figura 52 – Distribuição da temperatura fumarola 3.

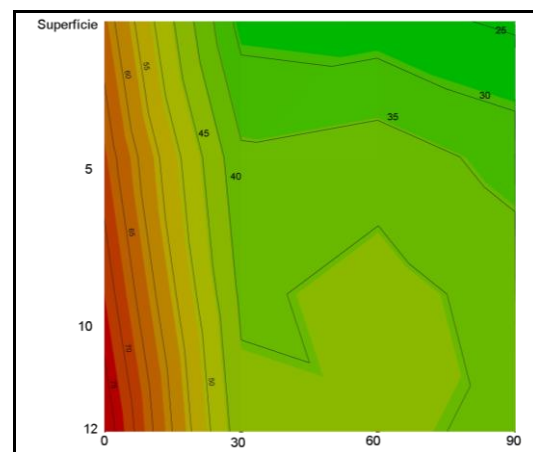


Figura 53 – Distribuição da temperatura fumarola 4.

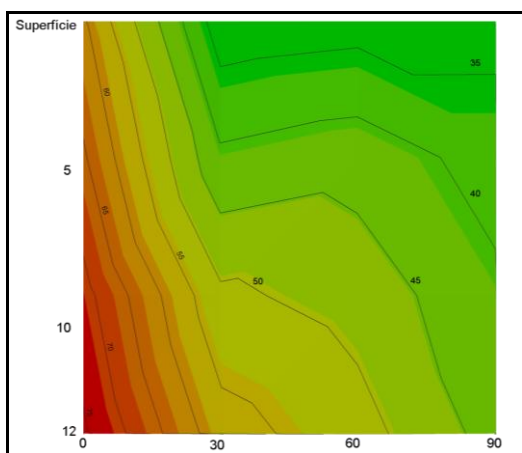


Figura 54 – Distribuição da temperatura fumarola 5.

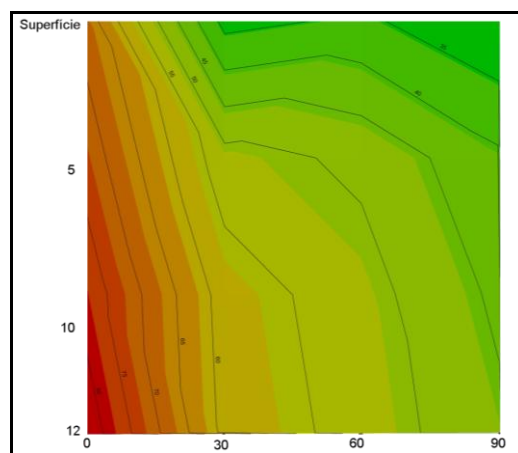


Figura 55 – Distribuição da temperatura fumarola 8.

(continuação)

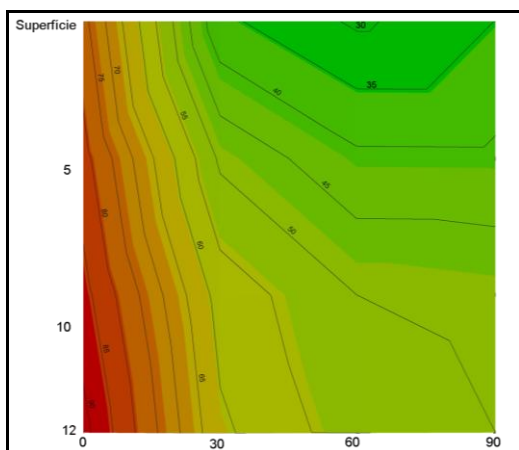


Figura 56 – Distribuição da temperatura fumarola 6.

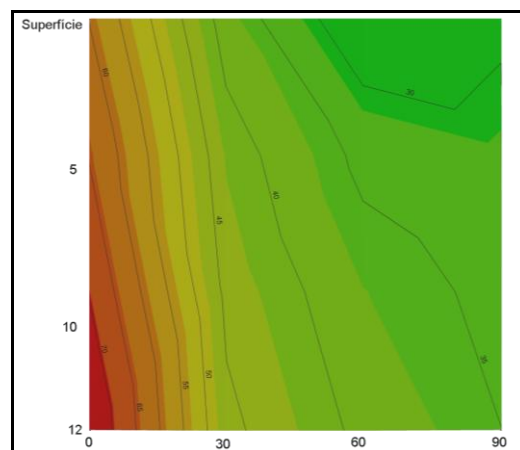


Figura 57 – Distribuição da temperatura fumarola 7.

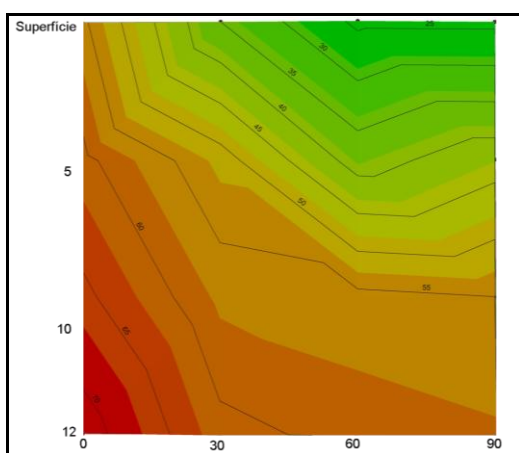


Figura 58 – Distribuição da temperatura fumarola 9.

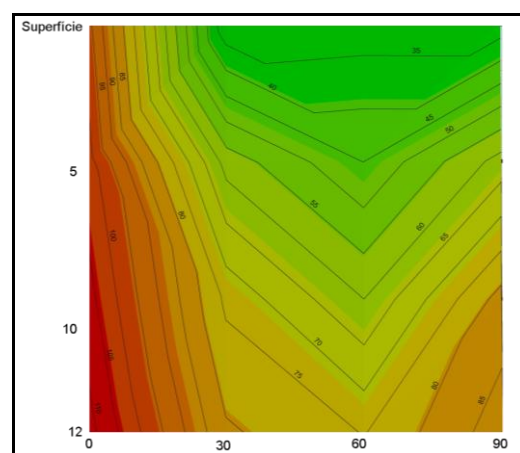


Figura 59 – Distribuição da temperatura fumarola 10.

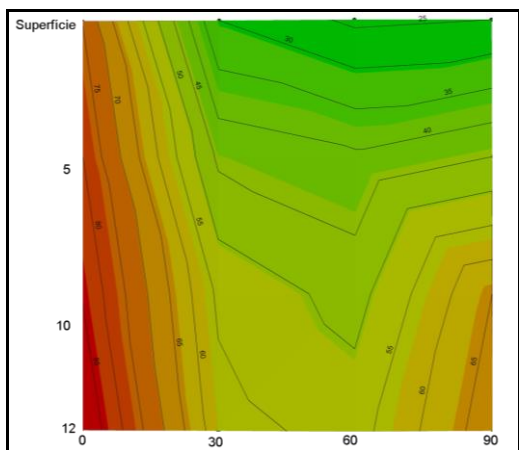


Figura 60 – Distribuição da temperatura fumarola 11.

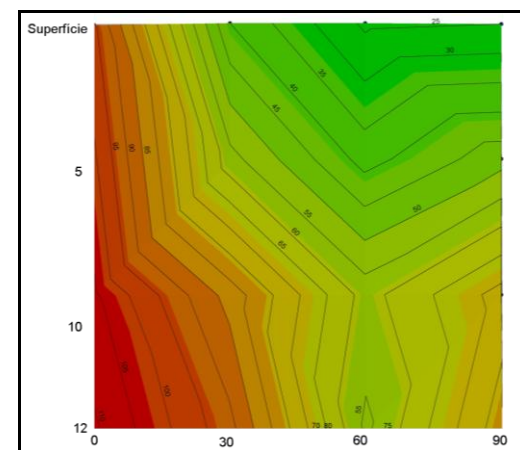


Figura 61 – Distribuição da temperatura fumarola 12.

(continuação)

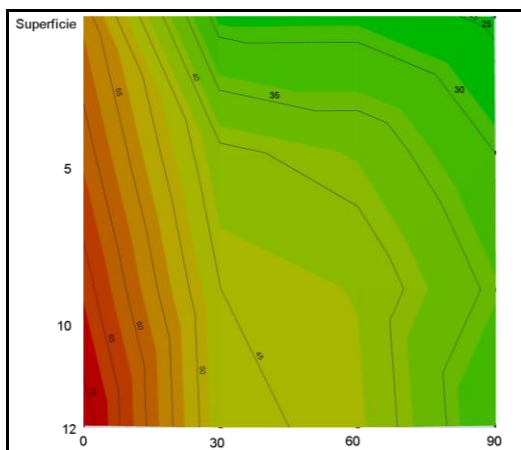


Figura 62 – Distribuição da temperatura fumarola 13.

Junto ao centro das fumarolas as temperaturas são sempre mais elevadas, quer na superfície como em profundidade. À medida que nos afastamos, as temperaturas vão-se tornando mais baixas e as diferenças entre a superfície e a profundidade vão sendo mais evidentes, ou seja, existe um claro aumento da temperatura com a profundidade. Com o afastamento ao centro da fumarola a temperatura sofre um decréscimo, quer seja ele de uma forma muito acentuada ou de uma forma mais lenta.

Tendo em conta a localização da fumarola no campo (zonas mais ou menos quentes), o comportamento da temperatura vai ser distinto. Como exemplo, nos Figs. 54, 55, 62, podemos ver que a distribuição da temperatura se comporta de uma forma muito semelhante, existe a formação de zonações claras de temperatura; fumarolas que apresentam a zona de temperaturas mais elevadas muito próximo da fumarola e logo de seguida surgem zonas de temperaturas mais baixas, mesmo em profundidade (Fig. 52 e 53); e zonas que, devido à temperatura do solo ser mais elevada, apresentam temperaturas em profundidade sempre muito elevadas, mesmo à medida que nos afastamos do centro da fumarola (Fig.58).

Para compreender melhor a distribuição da temperatura nas diferentes zonas do campo geotermal, foram realizados vários transeptos distribuídos pelo campo geotermal.

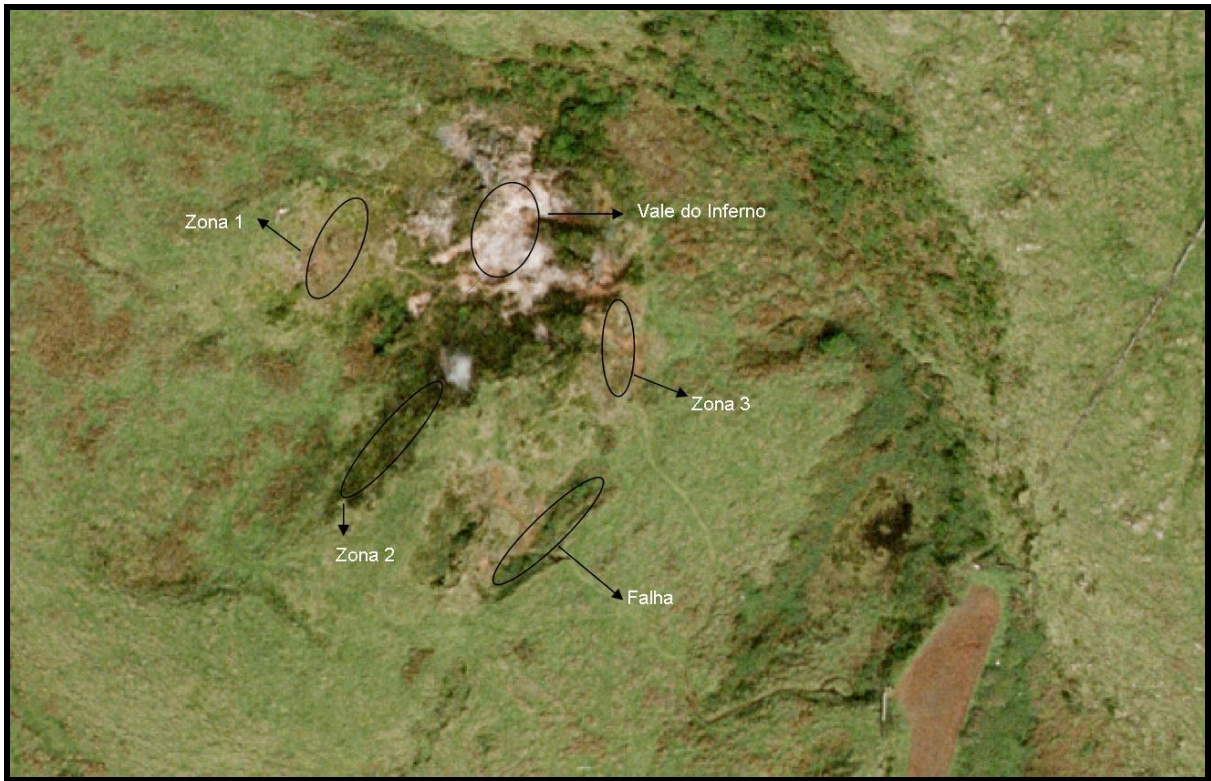


Figura 63 – Localização dos transeptos efectuados para as medições de temperatura. Obtida em *Arcgis*.

São apresentados abaixo os transeptos de distribuição das temperaturas tendo em conta a profundidade – superficial, 5, 10 e 12 cm; e a distância em cm (Figuras obtidas em *Arcgis*).

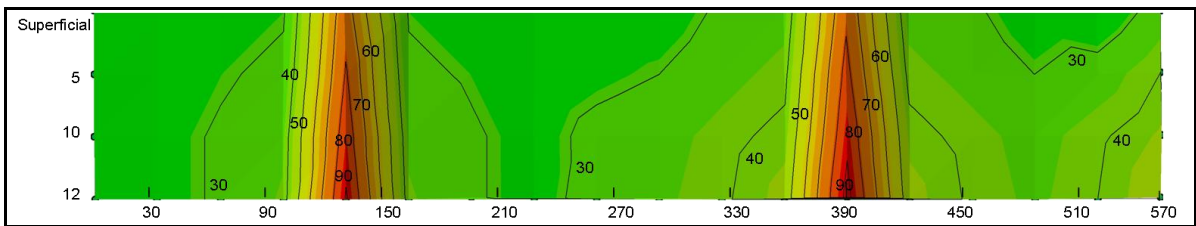


Figura 64 – Transepto realizado com os dados da temperatura recolhidos numa Falha.

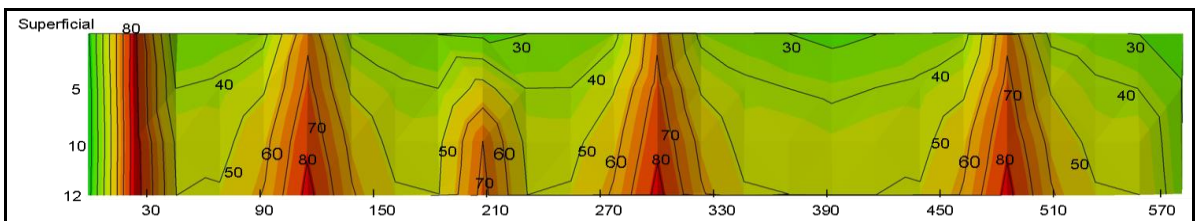


Figura 65 – Transepto realizado com os dados da temperatura recolhidos na Zona 1.

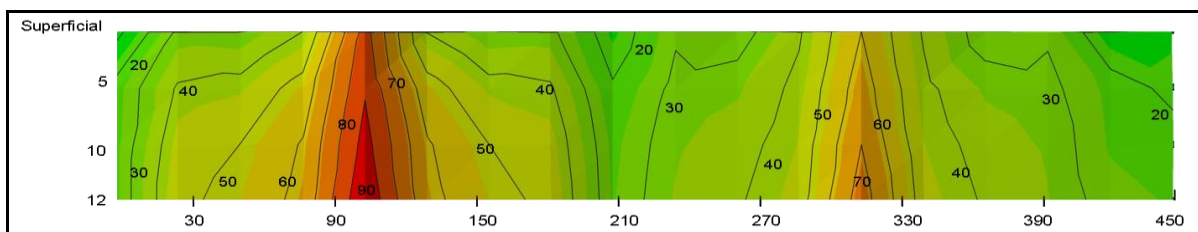


Figura 66 – Transepto realizado com os dados da temperatura recolhidos na Zona 2.

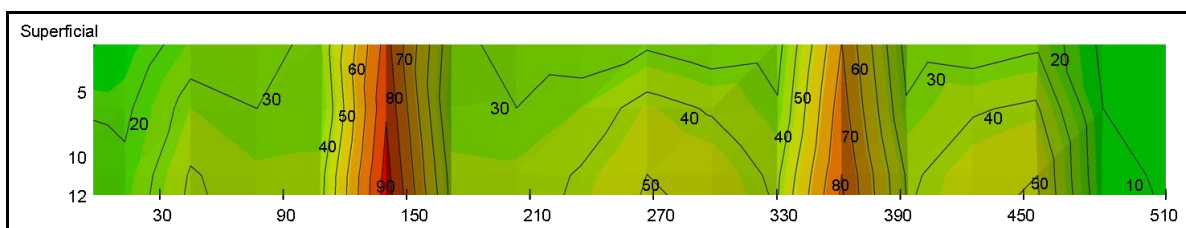


Figura 67 – Transepto realizado com os dados da temperatura recolhidos na Zona 3.

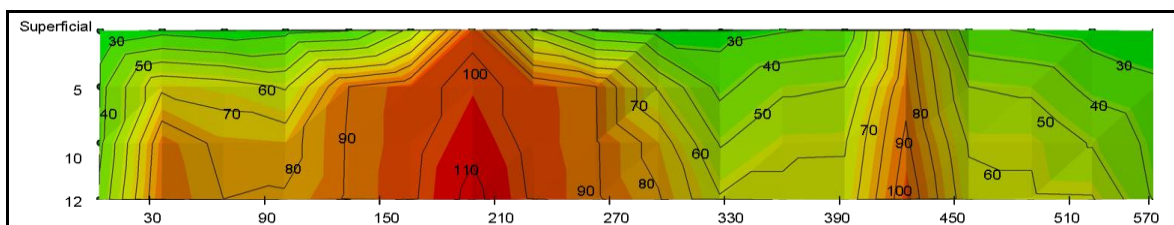


Figura 68 – Transepto realizado com os dados da temperatura recolhidos no Vale do Inferno.

Como é possível observarmos nos diferentes transeptos (Figs. 64, 65, 66, 67 e 68) a temperatura comporta-se de forma distinta em diferentes zonas das Furnas do Enxofre.

O transepto realizado com dados obtidos nas falhas presentes neste campo geotermal, indicam que as temperaturas mais elevadas encontram-se mais circunscritas às zonas onde existem fumarolas. Mesmo nas fumarolas, as temperaturas mais elevadas estão muito próximas do centro, verificando-se um decréscimo rápido poucos centímetros mais afastados (Fig. 64).

Na zona 1, existem temperaturas elevadas distribuídas por toda a área. Estas atingem valores ainda mais elevados nas proximidades de fumarolas. Realça-se a existência de pontos isolados de temperaturas muito elevadas (Fig. 65).

A zona 2 apresenta temperaturas, de um modo geral, mais baixas que a zona anterior. As temperaturas mais elevadas desta zona estão relacionadas com as fumarolas. No entanto, a zona de influência da fumarola é mais ampla do que a observada na zona das falhas. Realça-se ainda nesta zona, a existência de áreas de temperaturas mais baixas entre as fumarolas (Fig 66).

A zona 3 é muito semelhante à zona 2. No entanto, realça-se uma maior concentração das temperaturas mais elevadas nas proximidades das fumarolas e a distribuição das temperaturas entre elas é mais elevada e mais constante (Fig. 67).

O Vale do Inferno apresenta temperaturas muito elevadas distribuídas por toda a área, e em alguns casos, bem próximas da superfície (Fig. 68).

3.3. Caracterização do ambiente atmosférico

As Furnas do Enxofre representam um campo de fumarolas que está relacionado com sistemas hidrotermais (Ferreira, 1994). Isto significa que a quantidade de água disponível no solo afecta o funcionamento deste campo geotermal. Uma vez que algumas das comunidades presentes neste campo geotermal estão muito dependentes das condições que aqui se encontra, é de esperar que uma alteração na libertação de vapor de água pelas fumarolas possa influenciar as comunidades nelas presentes e a sua localização em relação a este fluxo.

Com o objectivo de quantificar o fluxo de vapor de água libertado pelas fumarolas das Furnas do Enxofre, efectuaram-se medições do vapor através do método dos algodões. Com os dados obtidos foram realizados gráficos de distribuição do vapor de água e de temperatura ao longo da fumarola.

Para este estudo foram escolhidas 15 fumarolas distribuídas por 3 áreas do campo geotermal. A escolha destas fumarolas efectuou-se tendo em conta a sua divisão em três tipos, de acordo com o substrato geológico, efectuado por Dias *et al.* (2002) (Fig. 69).

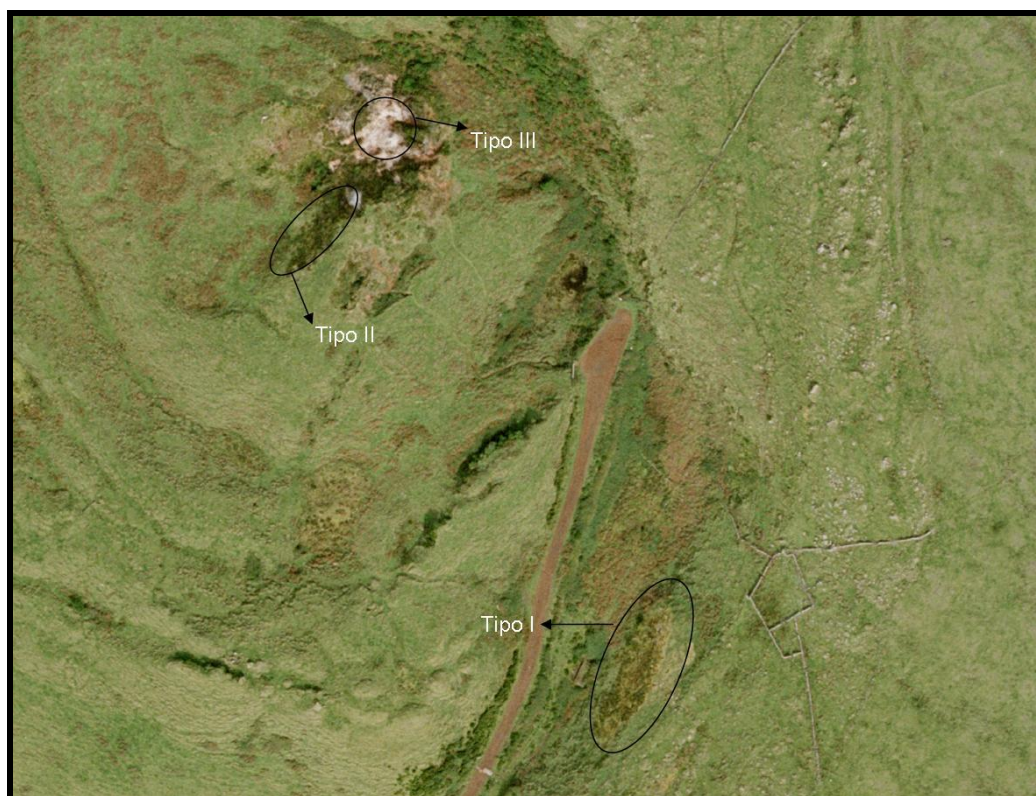


Figura 69 – Localização dos 3 tipos de fumarolas no campo geotermal. Obtida em *Arcgis*.

De seguida, apresenta-se as fumarolas escolhidas e os respectivos gráficos com informação sobre o vapor de água, mais à frente designado de v.a. (gramas) e temperatura, adiante designada de t (°C).



Figura 70 – Fumarola 1 do Tipo I (Foto: Rita Costa).

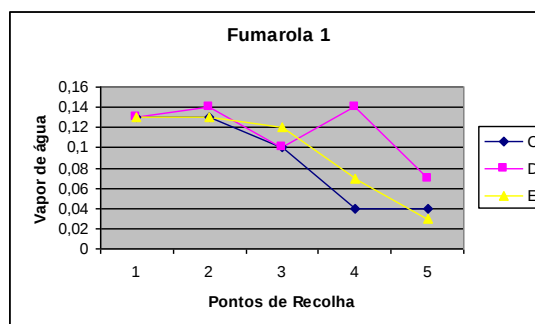
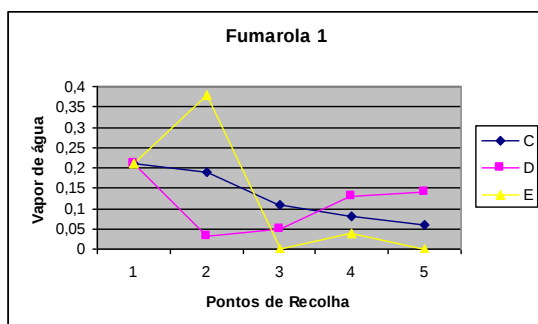


Figura 71 e 72 – Valores do v.a. da fumarola 1 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

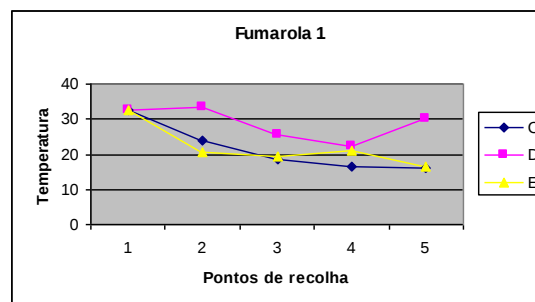
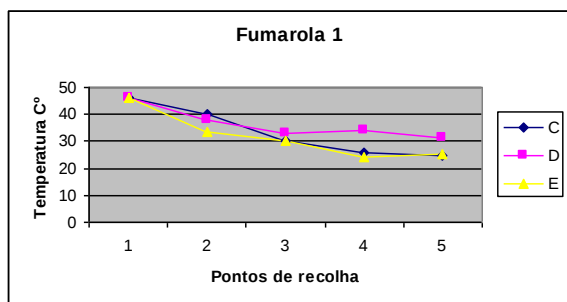


Figura 73 e 74 – Valores da t da fumarola 1 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.



Figura 75 – Fumarola 2 do Tipo I (Foto: Rita Costa).

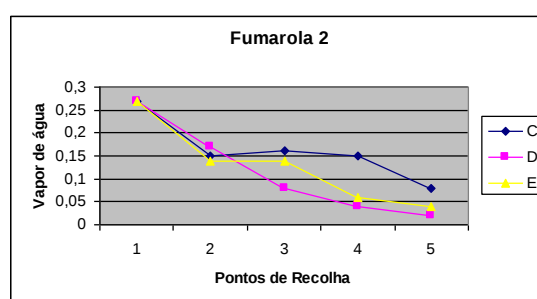
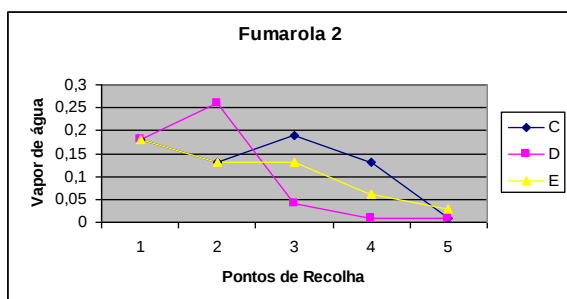


Figura 76 e 77 – Valores do v.a. da fumarola 2 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

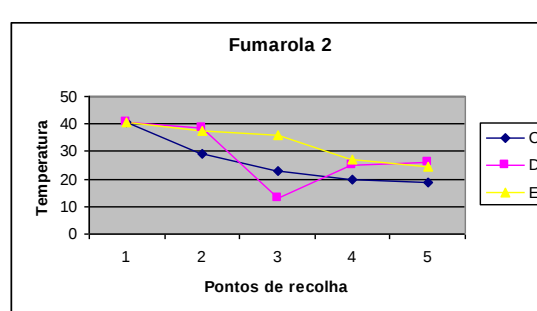
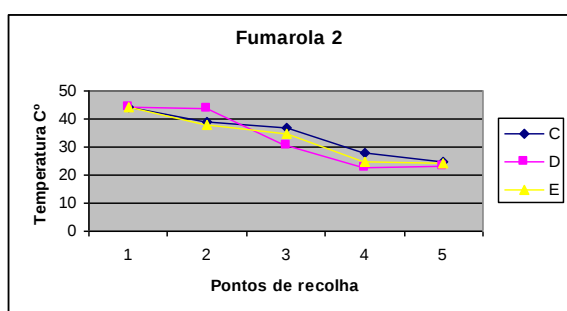


Figura 78 e 79 – Valores do t da fumarola 2 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.



Figura 80 – Fumarola 3 do Tipo I (Foto: Rita Costa).

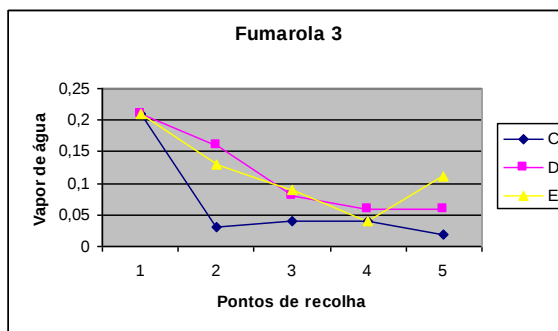
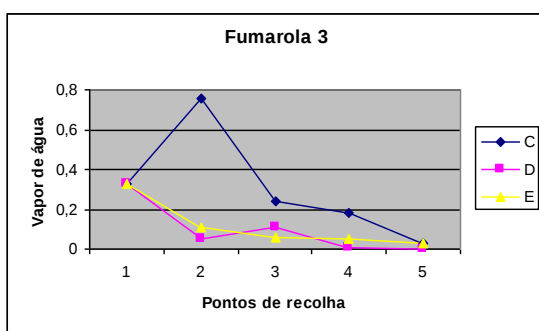


Figura 81 e 82 – Valores do v.a. da fumarola 3 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

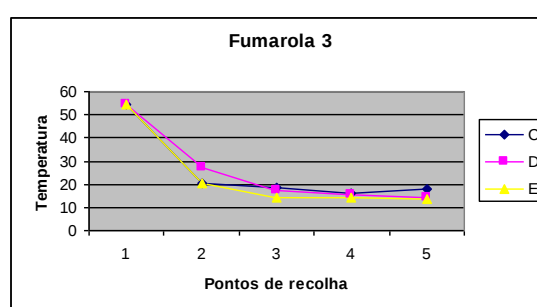
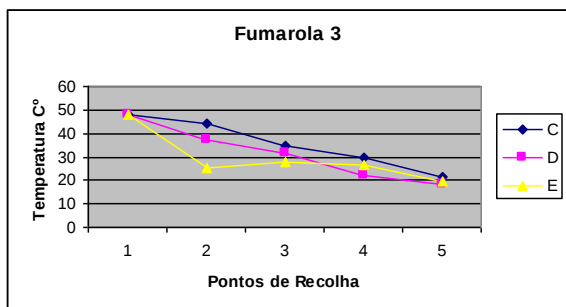


Figura 83 e 84 – Valores do t da fumarola 3 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.



Figura 85 – Fumarola 4 do Tipo I (Foto: Rita Costa).

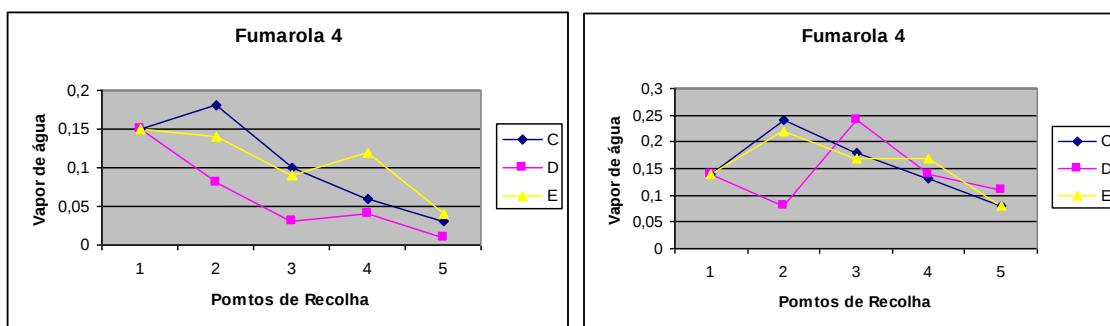


Figura 86 e 87 – Valores do v.a. da fumarola 4 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

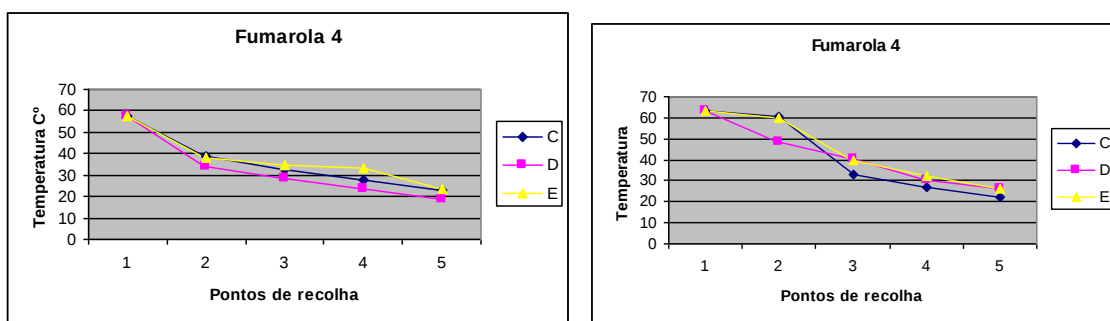


Figura 88 e 89 – Valores do t da fumarola 4 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.



Figura 90 – Fumarola 5 do Tipo I (Foto: Rita Costa).

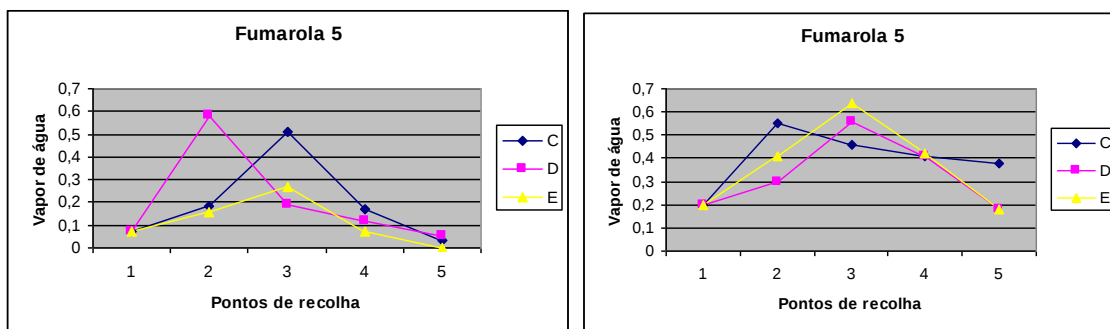


Figura 91 e 92 – Valores do v.a. da fumarola 5 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

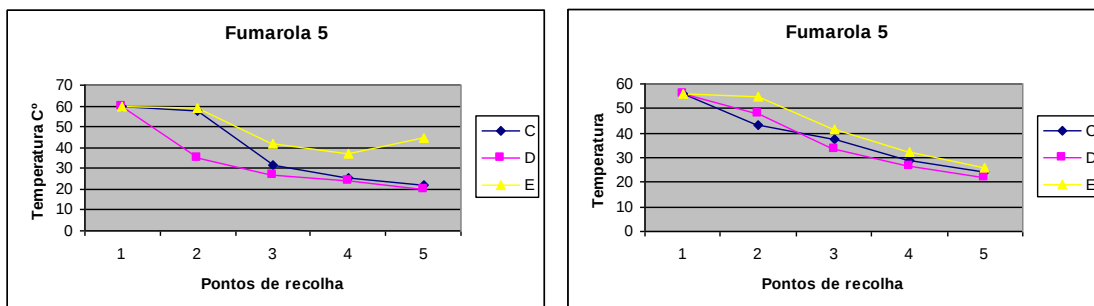


Figura 93 e 94 – Valores do t da fumarola 5 do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.



Figura 95 – Fumarola 1 do Tipo II (Foto: Rita Costa).

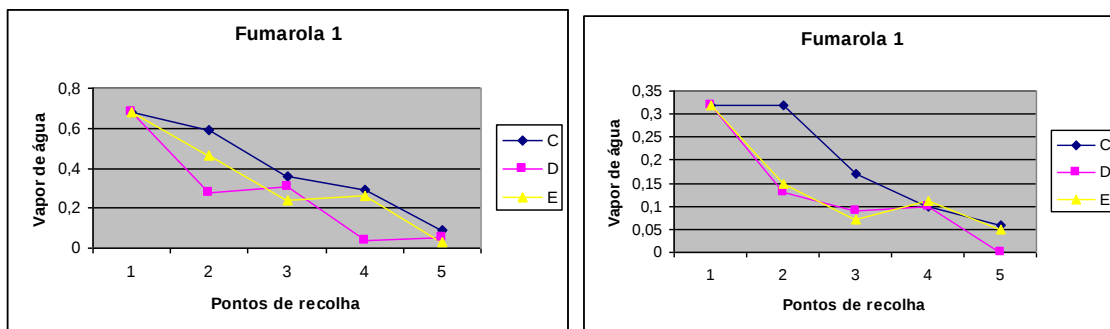


Figura 96 e 97 – Valores do v.a. da fumarola 1 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

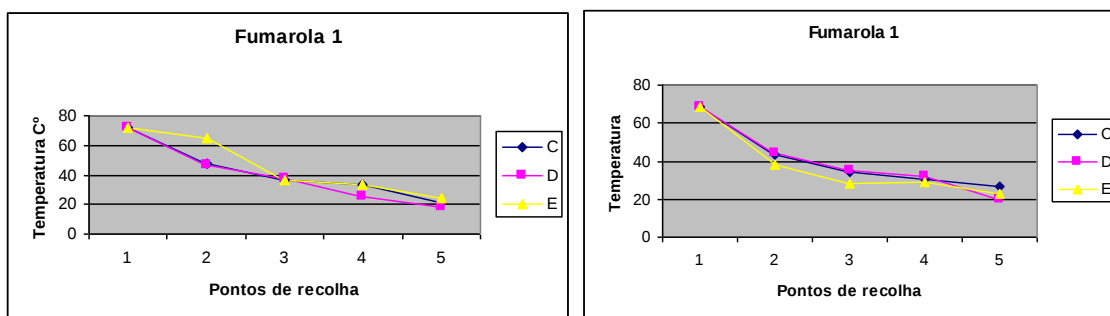


Figura 98 e 99 – Valores do t da fumarola 1 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.



Figura 100 – Fumarola 2 do Tipo II (Foto: Rita Costa).

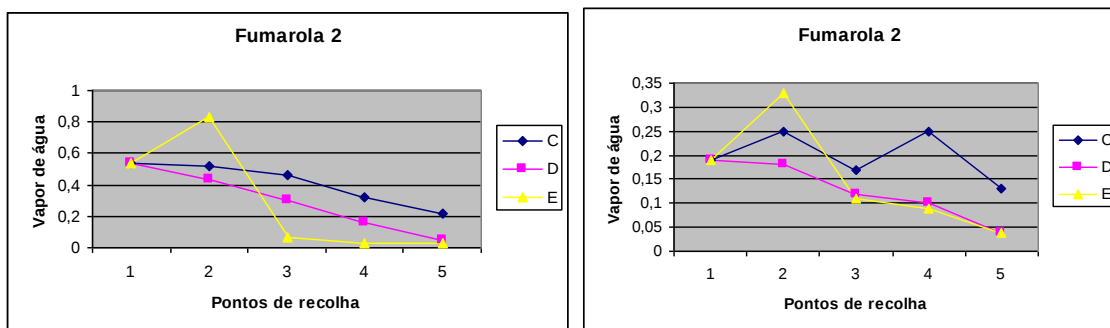


Figura 101 e 102 - Valores do v.a. da fumarola 2 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

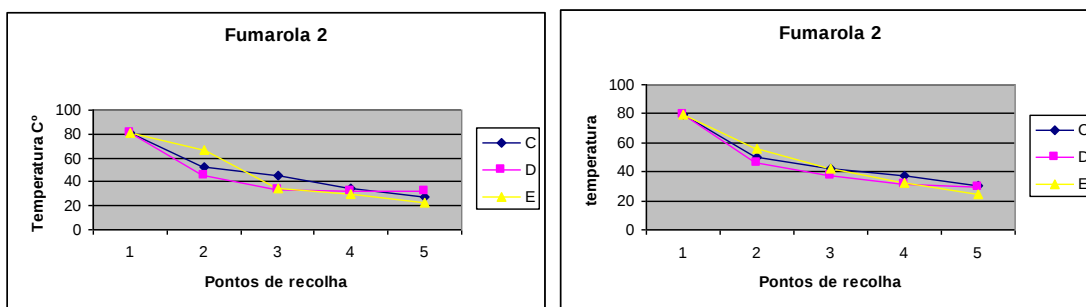


Figura 103 e 104 – Valores do t da fumarola 2 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

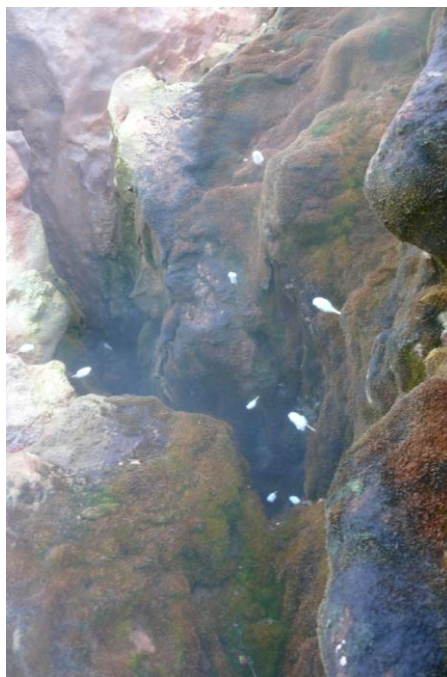


Figura 105 – Fumarola 3 do Tipo II (Foto: Rita Costa).

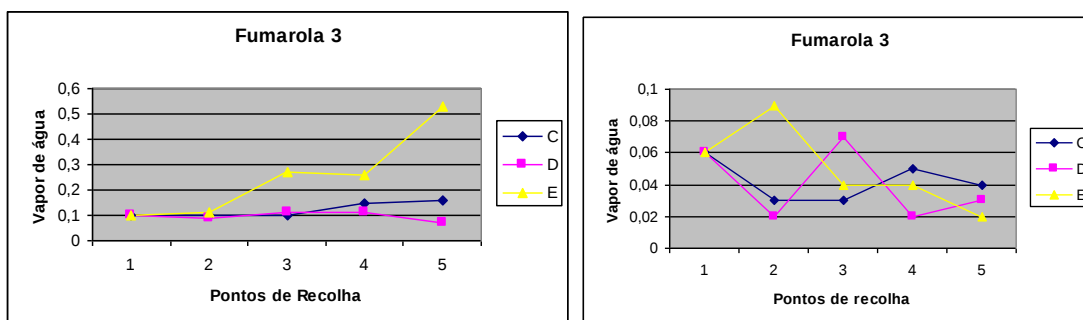


Figura 106 e 107 – Valores do v.a. da fumarola 3 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

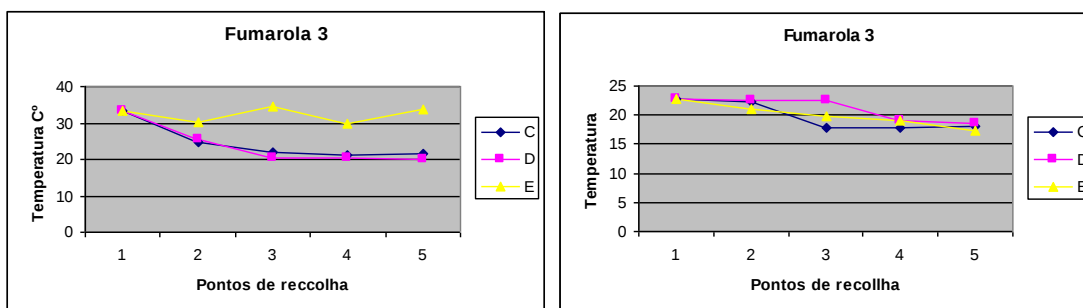


Figura 108 e 109 – Valores do t. da fumarola 3 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

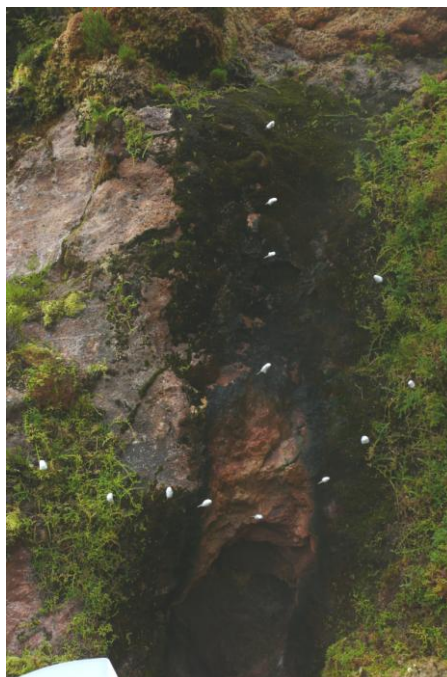


Figura 110 – Fumarola 4 do Tipo II (Foto: Rita Costa).

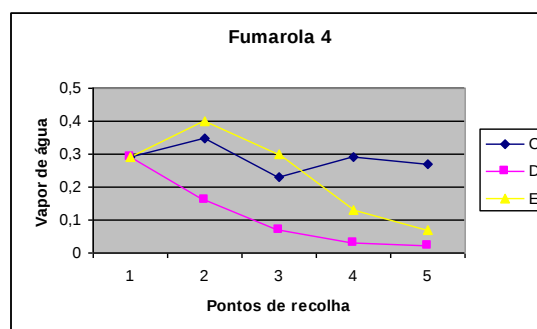
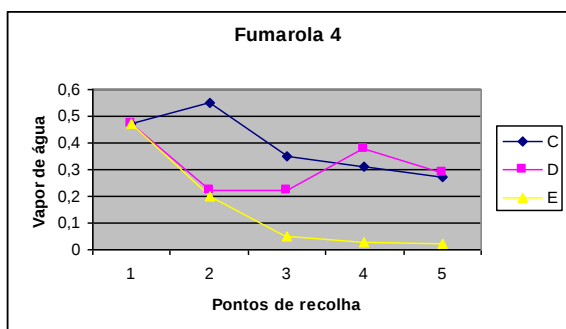


Figura 111 e 112 – Valores do v.a. da fumarola 4 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

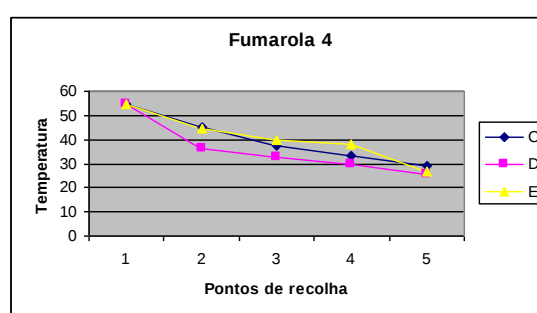
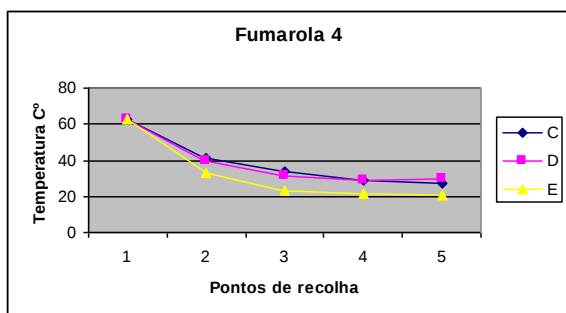


Figura 113 e 115 – Valores do t da fumarola 4 do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.



Figura 116 – Fumarola 5, junto ao passadiço (Foto: Rita Costa).

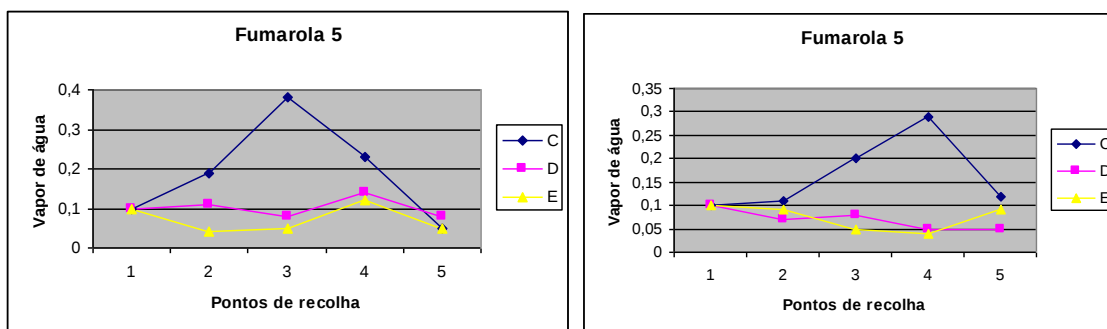


Figura 117 e 118 – Valores do v.a. da fumarola 5 referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

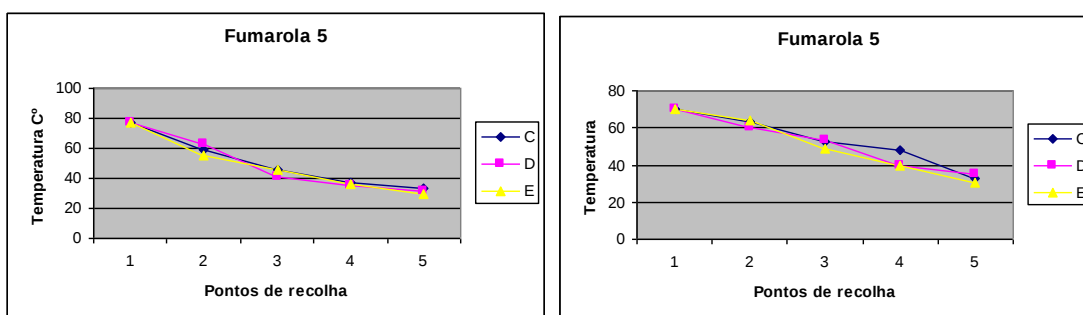


Figura 119 e 120 – Valores do t da fumarola 5 referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

Nas fumarolas do Tipo III (Figs. 121, 122, 123, 124 e 125) a metodologia foi alterada de modo a ajustar-se à diferente estrutura que estas fumarolas apresentam. Nas fumarolas do Vale do Inferno (Tipo III) a medição do vapor de água e da temperatura foi apenas realizada num local, no centro da fumarola. No entanto, devido à facilidade de entrada e passagem de pessoas neste local e ao possível desconhecimento da perturbação que causam, duas das fumarolas utilizadas nas medições iniciais, 2 e 4, apresentadas nas Figs. 122 e 124, foram destruídas. Deste modo, na segunda medição (Abril de 2011), foram escolhidas outras duas fumarolas.



Figura 121 – Fumarola 1 Tipo III.



Figura 122 – Fumarola 2 Tipo III.



Figura 123 – Fumarola 3 Tipo III.



Figura 124 – Fumarola 4 Tipo III.

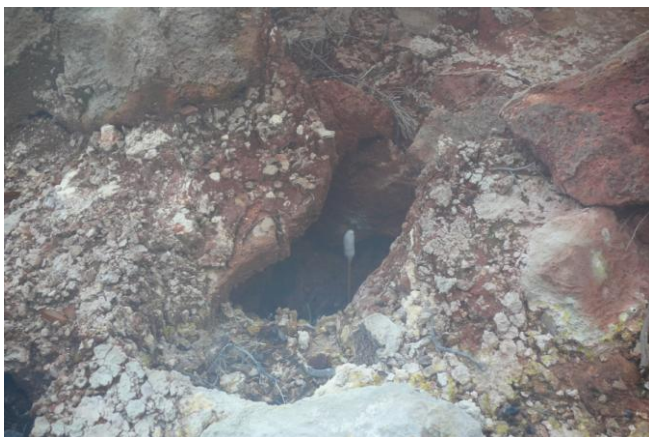


Figura 125 – Fumarola 5 do Tipo III.

Tabela 9 – Valores do vapor de água e da temperatura das fumarolas 1, 2, 3, 4 e 5 do Tipo III, referentes a Out. de 2010. Estão assinaladas a vermelho as fumarolas 2 e 4 por não serem as mesmas fumarolas utilizadas nas duas medições.

Out. 2010	V.P.	T
1	0.11	77
2	0.21	37
3	0	89
4	0.17	43
5	0.35	77

Tabela 10 – Valores do vapor de água e da temperatura das fumarolas 1, 2, 3, 4 e 5 do Tipo III, referentes a Abril de 2011. Estão assinaladas a vermelho as fumarolas 2 e 4 por não serem as mesmas fumarolas utilizadas nas duas medições.

Abril 2011	V.A.	T
1	0.19	58.9
2	0.33	61.5
3	0.12	96.9
4	0.55	96.8
5	0	88.3

Com os valores obtidos nas medições e pesagens do vapor de água e temperatura em Outubro de 2010 e Agosto de 2011, procedeu-se à análise e identificação do tipo de fumarolas que possuíam estes valores mais elevados. Nas tabelas abaixo apresentadas encontram-se os valores obtidos.

Tabela 11 – Soma dos valores do vapor de água das bocas do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

Tipo I	Out. 2010	Abril 2011
Boca 1	1,42	1,24
Boca 2	1,31	1,5
Boca 3	1,96	1,07
Boca 4	1,07	1,98
Boca 5	2,4	5,1
Total	8,16	10,89

Tabela 12 – Média dos valores da temperatura das bocas do Tipo I referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

Tipo I	Out. 2010	Abril 2011
Boca 1	32	22,8
Boca 2	31,8	27,6
Boca 3	29,7	20,3
Boca 4	31,6	39,3
Boca 5	37,4	36,5
Média	32,5	29,3

Tabela 13 – Soma dos valores do vapor de água das bocas do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

Tipo 2	Out. 2010	Abril 2011
Boca 1	3,68	1,67
Boca 2	3,96	2
Boca 3	2,14	0,54
Boca 4	3,36	3,61
Boca 5	1,62	1,34
Total	14,76	9,16

Tabela 14 – Média dos valores da temperatura das bocas do Tipo II referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

Tipo 2	Out. 2010	Abril 2011
Boca 1	38,3	34,7
Boca 2	41,2	41,4
Boca 3	25,9	19,9
Boca 4	32,5	38,7
Boca 5	45,3	49,1
Média	36,6	36,7

Tabela 15 – Soma dos valores do vapor de água das bocas do Tipo III referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

Tipo III	Out.2010	Abril 2011
Boca 1	0,11	0,19
Boca 3	0	0,12
Boca 5	0,35	0
Total	0,23	0,15

Tabela 16 – Média dos valores da temperatura das bocas do Tipo III referentes a Out. de 2010 e a Abril de 2011.

Tipo III	Out.2010	Abril 2011
1	77	58.9
3	89	96.9
5	77	88.3
Média	81	81,4

Para a comparação dos dados, apenas foram analisadas as fumarolas 1,3 e 5 do Tipo III, deixando-se de fora as fumarolas 2 e 4, uma vez que não foram iguais nas duas medições.

Com o objectivo de verificar o comportamento da temperatura na estação mais quente, foi realizado um trabalho de medição de temperatura no interior das fumarolas que já possuíam valores referentes a Outubro de 2010.

Tabela 17 – Valores da temperatura das fumarolas referentes a Outubro de 2010 e Agosto de 2011.

	Outubro de 2010	Agosto de 2011
Tipo I	Temperatura C°	
Fumarola 1	57.5	59.4
Fumarola 2	56.6	54.5*
Fumarola 3	69.2	74.7
Fumarola 4	66.7	69.2
Fumarola 5	62.4	63.3
Tipo II		
Fumarola 1	84.4	88.2
Fumarola 2	90	84.3
Fumarola 3	28	25
Fumarola 4	71.5	86.6
Fumarola 5	60	82.9
Tipo III		
Fumarola 1	77	79.3
Fumarola 2	61,5	71.2
Fumarola 3	89	94.7
Fumarola 4	96,8	97.2
Fumarola 5	77	92.4

* Realça-se que no interior desta fumarola surgiu uma nova saída de vapor que apresenta uma temperatura de 58.9°C.

A distribuição do vapor de água e da temperatura pelas fumarolas processa-se de forma distinta, quer de uma fumarola para outra quer na mesma fumarola. Numa análise geral, tanto o vapor de água como a temperatura apresentam valores mais elevados quanto mais próximos do centro da fumarola, e à medida que nos afastamos estes valores vão sendo reduzidos. No entanto, no que diz respeito ao v.a., podemos verificar que os valores mais elevados não se encontram sempre na mesma direcção, ou seja, podem estar localizados em qualquer um dos transeptos utilizados. Este facto poderá ser explicado pelo vento. Deste modo, o vapor é levado para o lado predominante do vento fazendo com que as comunidades que nestes locais se encontram sejam as que tem maior necessidade de captação de vapor de água e/ou maior capacidade de adaptação.

Comparando os dados obtidos nas medições de Outubro de 2010 e de Abril de 2011 verificamos diferenças quer nos valores do vapor de água quer na temperatura. Os valores do vapor de água na primeira medição são superiores nas fumarolas Tipo II, seguindo-se o Tipo I e por último o Tipo III; na segunda medição, em Abril, verifica-se um aumento desses valores para o Tipo I, passando este a apresentar os valores mais elevados, e um decréscimo no Tipo II e III, continuando a apresentar os valores de vapor de água mais baixos o Tipo III. Quanto à temperatura, as fumarolas que apresentam as temperaturas mais elevadas pertencem ao Tipo III, seguindo-se as do Tipo II e por último Tipo I. Da primeira para a segunda medição, verifica-se um decréscimo da temperatura do Tipo I, as fumarolas do Tipo II mantiveram valores de temperatura semelhantes, e o Tipo III aumentou a temperatura.

Após a análise dos dados, podemos verificar que a diminuição dos valores do vapor de água é acompanhada por um aumento da temperatura (como se verificou no tipo II e III) e o caso contrário também se verifica, ou seja, um aumento do vapor de água é acompanhado por uma diminuição da temperatura (Tipo I).

A comparação dos valores de temperatura referentes a Outubro de 2010 e a Agosto de 2011 refere, de um modo geral, um aumento das temperaturas. Existem algumas fumarolas onde se verificou um decréscimo de poucos graus, quer no Tipo I como no Tipo II (as fumarolas do Tipo III não apresentaram decréscimo de temperatura). Relativamente aos aumentos, algumas fumarolas apresentam aumentos de poucos graus enquanto que outras, como é o exemplo da fumarola 5 do Tipo II, verificou-se um aumento de 20°C.

3.4. Caracterização das estruturas biológicas presentes nas Furnas do Enxofre

A conjugação de diversas características que os campos geotermais apresentam torna-os em ambientes extremos onde só algumas espécies conseguem sobreviver e poucas são as que destes ambientes dependem. Espalhado por todo o campo geotermal podem ser encontradas fumarolas que possuem a conjugação de diversas comunidades que, principalmente devido às elevadas temperaturas a que estão sujeitas, são consideradas comunidades extremófilas. Para além destas localizadas apenas em redor das fumarolas, pode-se destacar uma zona das Furnas do Enxofre, o Vale do Inferno, a zona mais quente de todo o campo, que se encontra coberta por um „tapete’ de estruturas de cores e formações diversas – geyserites e crostas biológicas. Estas estruturas, inicialmente entendidas como estruturas sem vida, foram a pouco e pouco sendo estudadas e agora sabe-se que representam uma conjugação complexa de diversas estruturas e organismos.



Figura 126 – Crostas biológicas – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

As crostas biológicas são formadas por diversos organismos vivos (cianobactérias, algas, micro-fungos, líquens, briófitos e outras bactérias), em proporções distintas, que vivem na superfície do solo e ligam diversas partículas do solo através de

materiais orgânicos (Belnap *et al.*, 2001; d).

As diferentes tonalidades que se podem encontrar representam os diferentes organismos presentes, sendo notável a diferença das tonalidades entre uma estação mais seca e outra mais húmida, uma vez que existem organismos que necessitam de maiores quantidades de água e, por tal, quando esta existe em quantidades superiores, estes organismos tornam-se mais activos e mais próximos da superfície.

As geyserites foram até há pouco tempo consideradas estruturas com origem apenas em processos abiogénicos (Urusov *et al.*,

2007). No entanto, estudos mais recentes



Figura 127 – Geyserites – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

vieram comprovar que os processos que dão lugar às geysérites dependem da participação dos organismos (Urusov *et al.*, 2007 Gottlicher *et al.*, 1998). Por tal, a conjugação de processos biogénicos com processos abiogénicos é fundamental na formação de diferentes estruturas de geysérites. É também importante realçar que a temperatura e a química do local influenciam a formação de diferentes tipos de geysérites, o que irá permitir, que numa área heterogénea em termos de temperatura e libertação de gases químicos, poderá existir a conjugação de diferentes tipos de geysérites.

Para a análise das estruturas biológicas presentes no Vale do Inferno, recorreu-se à utilização de dados já apresentados por Urusov *et al.* (2007) e Rosentreter *et al.* (2007) sobre geysérites e crostas biológicas, respectivamente. Tendo em conta os critérios utilizados por estes autores na caracterização das geysérites e crostas biológicas, efectuou-se a divisão do Vale do Inferno em zonas que apresentavam características distintas.

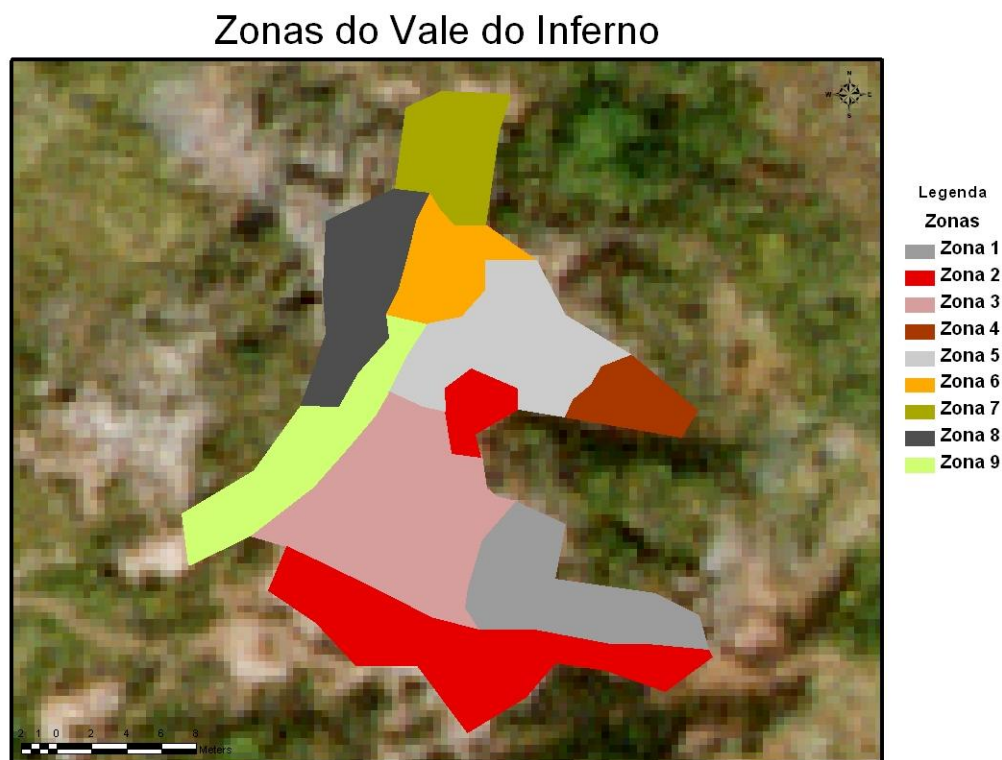


Figura 128 – Divisão do Vale do Inferno em diferentes zonas. Obtida em *Arcgis*

Zona 1



Figura 129 – Zona 1 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

Zona de grandes pedregulhos cobertos por uma crosta cinzenta, compacta e rugosa. Existem algumas formações que apresentam tonalidades avermelhadas interrompidas por crostas cinzentas e brancas. A presença de musgos é rara. Nos buracos formados entre

as pedras existem algumas áreas cobertas por depósitos de enxofre.

Zona 2

Zona de argila com uma tonalidade vermelha escura surgindo por vezes, envoltas na argila, pequenas manchas verde-escuras e, mais raro, manchas amarelas e brancas. Superfície lisa e com alguma inclinação. Presença de musgos dispersos e alguns espécimes de *Calluna vulgaris* muito dispersos e de dimensões reduzidas. Numa zona mais inferior surgem, em algumas reentrâncias, coberturas vermelhas espessas que dão origem a formações tipo “bolbo”.



Figura 130 – Zona 2 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).



Figura 131 – Zona 2 (a) – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

Começam também a surgir zanações de crostas diversas que vão cobrindo a argila, principalmente de verde-escuro, a superfície torna-se mais ondulada e nestas zonas começam a surgir manchas esbranquiçadas e amareladas. No final da zona 2 torna-se mais evidente o surgimento de zanações de comunidades distintas muito juntas e de uma forma quase concêntrica, com tonalidades avermelhadas, amarelas, brancas e verdes.

Zona 3

Zona coberta por crostas cinzentas e cinzento colorido (minerais de sulfetos). Realça-se em torno das saídas de vapor a presença de crostas de tonalidades mais esbranquiçadas (compactas e formando elevações) e amareladas (acumulação de várias camadas do



Figura 132 – Zona 3 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

mesmo material, apresentando por vezes, camadas distintas mais espessas, de tonalidades brancas e/ou cinzentas).

Em certas zonas verifica-se a formação de estruturas em forma de onda cinzentas que cobrem uma grande parte de toda a pedra.

Ainda nesta área, mais no centro junto de uma mancha de vegetação, realçam-se formações colunares castanho-avermelhadas de dimensões reduzidas e zonas de aparência frágil, quebradiça de tonalidades mais claras.

Zona de inclinação reduzida, apresenta sempre uma superfície rugosa.

Zona 4

Argila com uma tonalidade vermelha escura. Zona íngreme de superfície lisa. Realça-se



Figura 133 – Zona 4 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

a cobertura de musgos (cerca de 20%) e de manchas verde-escuras que cobrem uma grande parte da argila. Nesta área observou-se o desprendimento de uma camada verde, muito fina verde, da argila.

Zona 5



Figura 134 – Zona 5 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

Zona coberta por crostas cinzento-claras e brancas. Superfície rugosa e ondulada. Em redor das bocas existe uma maior concentração de crostas brancas e depósitos de enxofre.

Zona 6



Figura 135 – Zona 6 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

Zona de argila com pouca cobertura de musgos, surgem alguns indivíduos de *Calluna vulgaris* de reduzidas dimensões. É possível visualizar muitas formações colunares castanho-avermelhadas com grandes manchas brancas. Formações cinzentas contaminadas com mistura de argila.

Zona 7



Figura 136 – Zona 7 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

Zona que apresenta uma grande cobertura de musgos (cerca de 40%). Surgem zonas de camadas cinzentas porosas que formam estruturas em forma de onda sobre a pedra. Existem também formações verticais densas de tonalidades acinzentadas e formações cinzentas contaminadas com mistura de argila.

Zona 8

Zona de grandes pedregulhos. Estes estão cobertos por crostas e camadas cinzentas que

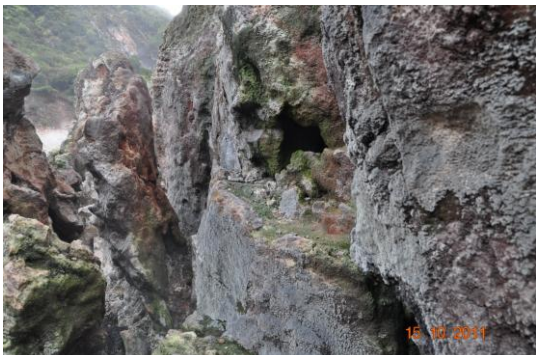


Figura 137 – Zona 8 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

são interrompidas por manchas de musgos. Ao longo da pedra podem-se encontrar diferentes formações, existem crostas compactas cinzentas, formações consolidadas em forma de onda e formações muito porosas.

Na mesma área mas no chão, junto à saída de vapor, pode-se observar grandes áreas de depósitos de enxofre compactos e atingindo proporções consideráveis, e crostas brancas espessas que formam bolbos. Nesta zona existe uma mistura destas diferentes formações não existindo, por vezes, uma separação clara, encontrando-se estas formações sobrepostas.

Zona 9



Figura 138 – Zona 9 – Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).



Figura 139 – Zona 9 (a)– Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

Esta área apresenta uma superfície lisa com grandes quantidades de pedras. Estas pedras encontram-se cobertas por zonações verticais de crostas de cores distintas, verde-claro, vermelho, amarelo, branco e zonas de verde mais escuro.

Tabela 18 – Tipos de Geyserites apresentados por Urusov *et al.* (2007). Assinalado a vermelho encontram-se os tipos de geyserites que desta tabela foram encontrados no Vale do Inferno.

Tipos de Geyserites	Cor	Forma/Textura
Comuns em água	Cor clara	Não laminado, desintegrando-se
	Branco rosado	Compacto
	Cinzento	Contaminado com misturas de argila
	Branco acinzentado	Compacto
	Branco acinzentado	Em camadas, compacto
Já estiveram em contacto com água	Branco	Intercalar de 4cm de espessura
	Cinzento branco	Em camadas
	Cinzento branco	Compacto, em camadas
	Cor clara	Frágil, quebradiço, de laminações indistintas, poroso
	Cinzento claro	Em camadas, alternância de uma camada compacta e uma mais porosa
Aéreas	Castanho	Crosta nas rochas
	-	Crosta nas rochas
	-	Crosta em redor das bocas das fumarolas
	Cinzento colorido (minerais de sulfetos)	Crosta
	Amarelo e cinzento	Crosta
	-	Escorrimento e nódulos no cascalho
Outras formações	-	Consolidadas
	-	Tabulares
	-	Aciculares
	-	Cópula
	-	Coluna
	-	Pinha

Tabela 19 – Características das crostas biológicas apresentadas por Rosentreter *et al.* (2007). Assinalado a vermelho encontram-se as características das crostas biológicas que desta tabela foram encontradas no Vale do Inferno.

Textura	Rugoso	Liso	ondulado	-
Cor	Muito claro	Claro	Escuro	Muito escuro
Inclinação	Sem inclinação	Alguma inclinação	Muito inclinado	-

Para além da presença destas estruturas no Vale do Inferno, destacam-se duas zonas em seu redor, uma junto ao passadiço, próximo da casa de apoio aos visitantes, e outra na vertente oeste no Vale do Inferno. Estas duas zonas apresentam uma cobertura de musgos muito elevada (> 60), podendo estas zonas ser consideradas como crostas biológicas.

Por toda a área do Vale do Inferno estão presentes estruturas de vários tipos (de acordo com a Tab. 18), o que significa que a água teve e tem uma presença importante na determinação e na formação dos tipos de geysérites aqui encontrados. A água não influencia apenas as geysérites, as crostas biológicas também se alteram de acordo com a disponibilidade de água, uma vez que a sua presença vai influenciar a quantidade e actividade de microrganismos à superfície. As tonalidades mais claras surgem, normalmente, em zonas de maior exposição solar, uma vez que, segundo Rosentreter, *et al.* (2007), os organismos aqui presentes são os que possuem mais pigmentos que lhes protegem das radiações. Por sua vez, nas zonas mais ensombradas, surgem tonalidades mais escuras.

3.5. Caracterização dos aspectos químicos – enxofre

A existência de áreas que apresentam diferentes conjuntos de vegetação, organização e estrutura, fica a dever-se aos factores característicos que as áreas geotermais apresentam e que ao longo deste trabalho têm vindo a ser referidos. A temperatura é apontada por alguns autores (Burns, 1997; Chiarucci *et al.*, 2008) como o factor primordial na determinação do estabelecimento e organização da vegetação. Contudo, existe outro factor que merece especial atenção, a componente química dos gases. Embora a análise de gases não tenha sido possível, e não existam dados quanto a diferenças na quantidade e na composição dos gases nas diferentes fumarolas do campo das Furnas do Enxofre, o facto é que existe uma zona que se apresenta totalmente diferente das restantes, o Vale do Inferno.

Com o objectivo de confirmar a presença de gases químicos nesta zona, procedeu-se à identificação de áreas que possuíam depósitos de enxofre, por esta ser, com os meios disponíveis, a forma mais eficaz de atingir o objectivo.

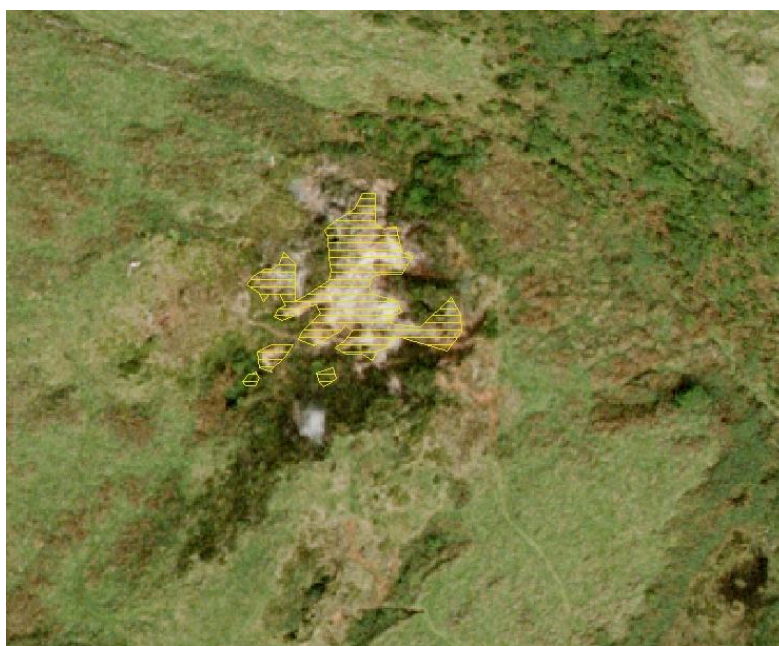


Figura 140 –  Marcação das áreas com depósitos de cristais de enxofre. Obtida em Arcgis.

De todo campo geotermal, as áreas onde foi detectada a presença de enxofre localizam-se no Vale do Inferno e nas proximidades desta área (Fig. 140). Este facto, aliado às elevadas temperaturas que aqui se fazem sentir, conduz à formação de uma área distinta com a presença de estruturas características destes ambientes.

3.6. Breve caracterização dos elementos geológicos

Para uma melhor compreensão do funcionamento de um campo geotermal, é fundamental a interpretação dos elementos geológicos presentes no local.

As Furnas do Enxofre localizam-se no centro da ilha, no sistema vulcânico do Pico Alto, na intersecção de várias falhas que coincidem com as principais direcções estruturais da ilha, com direcções E-W e NW-SE. Encontra-se na vertente SW do Maciço Vulcânico do Pico Alto, mais concretamente no Pico do Galhardo, e a NE do Pico da Bagacina (Rodrigues, 2002).

Este campo de fumarolas é constituído por uma elevada diversidade de materiais geológicos, salienta-se um derrame traquítico a nordeste desta área, e que se prolonga até sul até à estrada; a oeste deste complexo traquítico surge um complexo basáltico que está relacionado com os basaltos da erupção de 1761 (Zbyszewski *et al*, 1971).

A presença nesta zona de domas (*coulées*) poderá representar um factor de especial importância para a dinâmica do campo geotermal, uma vez que a sua constituição permite a existência de muitas falhas (aquando do seu arrefecimento) que, por sua vez, poderão facilitar a passagem de água e de gases. Estes elementos são caracterizados por possuírem uma estrutura interna em camadas concêntricas que se ficam a dever ao próprio crescimento do doma, e a parte externa é composta por materiais muito fragmentados e soltos devido à fragmentação da crosta solidificada à medida que o doma vai crescendo (Nunes, 1998; comunicação oral Dias, 2010). Deste modo, esta é uma área muito irregular caracterizada por fracturas que surgiram no decorrer do arrefecimento dos domas e depósitos de vertente. Estas fracturas poderão funcionar como um caminho de fácil acesso quer para os gases que se encontram no interior da terra e que aqui encontram uma zona muito permeável, facilitando assim a sua subida; quer para a entrada de água no sistema.

Na Fig. 141, abaixo apresentada, estão identificados alguns elementos geológicos presentes neste local.

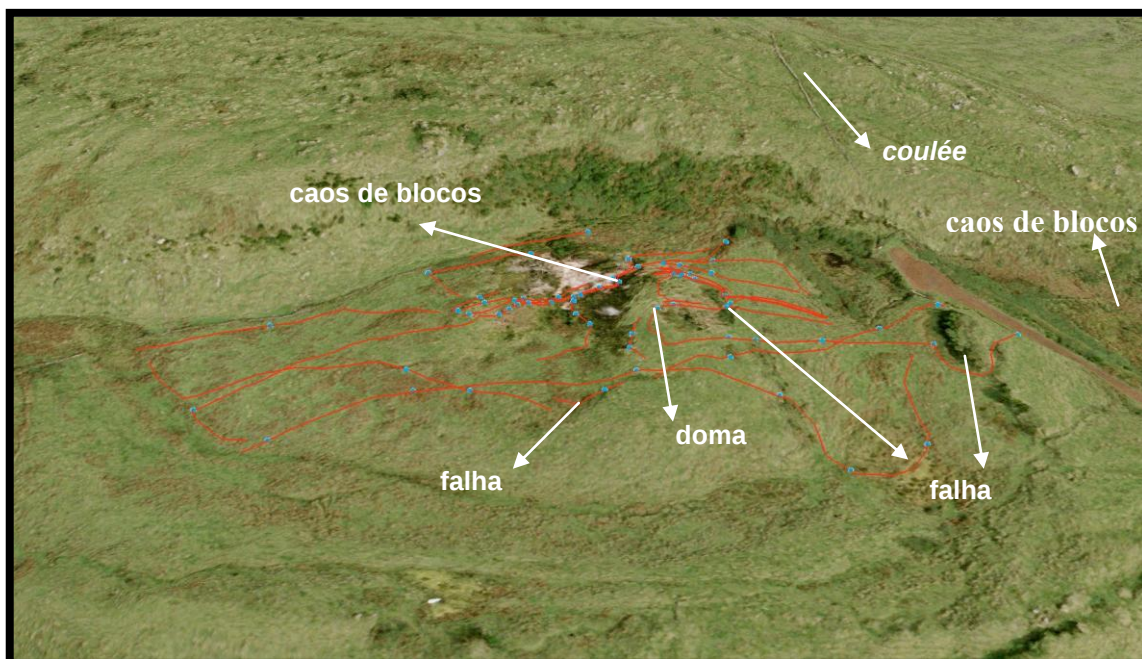


Figura 141 – Imagem em 3d das Furnas do Enxofre, cedida pelo Eng.º Dinis Pereira, com a identificação de alguns elementos geológicos. As linhas a vermelho representam os percursos realizados com a utilização do GPR (adiante explicado) Obtida em *Arcgis*.

Após a identificação e delimitação dos elementos geológicos observados através da fotografia aérea, achou-se que seria uma mais valia a utilização do GPR – *Ground Penetrating Radar*, para uma melhor compreensão da área de estudo. Esta tarefa apenas foi possível com o auxílio do colega Dinis Pereira, Mestre em Sistemas de Informação Geográfica e aluno de Doutoramento.

Com o GPR foram efectuados vários percursos ao longo do campo geotermal (Fig. 141). Após o tratamento dos dados, efectuado pelo Eng.º Dinis Pereira, que envolve, entre outros trabalhos, a escolha dos filtros mais indicados a utilizar, procedeu-se à escolha dos Radargramas que melhor visualização permitiam das estruturas geológicas do local (informações relacionadas com cada radargrama encontram-se no anexo 7.5.).

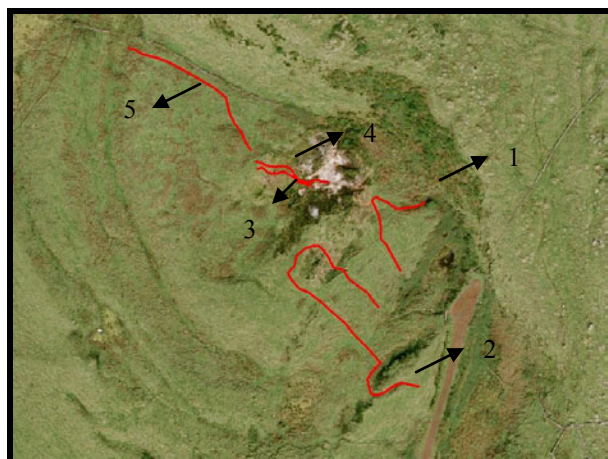


Figura 142 – Fotografia aérea com a identificação dos percursos efectuados com o GPR. Obtida em *Arcgis*.

São apresentados abaixo os radargramas escolhidos para a caracterização do local.

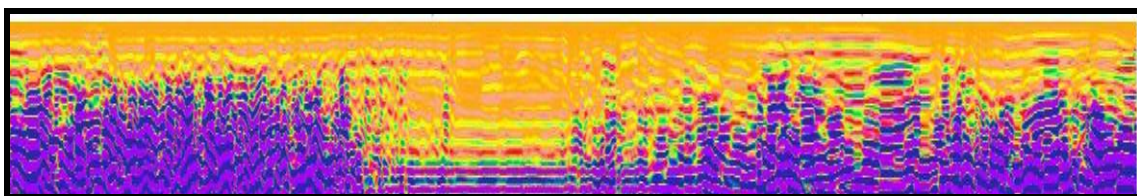


Figura 143 – Radargrama 1.

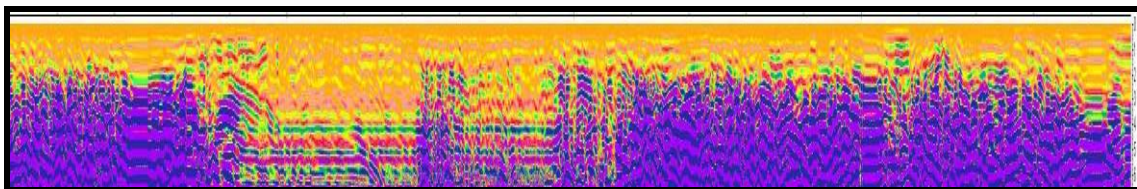


Figura 144 – Radargrama 2.

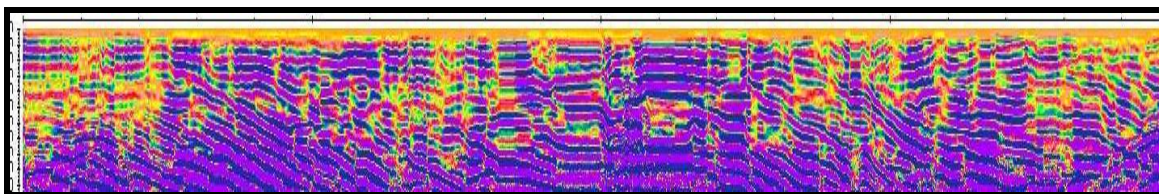


Figura 145 – Radargrama 3.

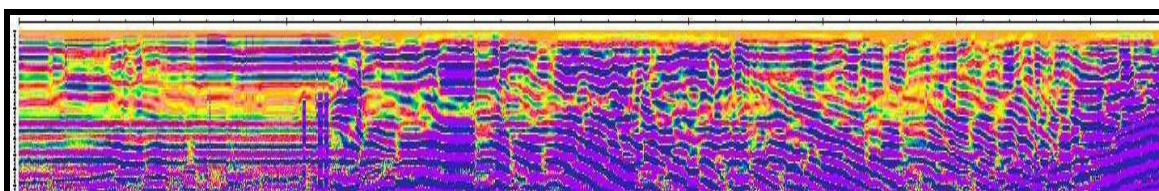


Figura 146 – Radargrama 4.

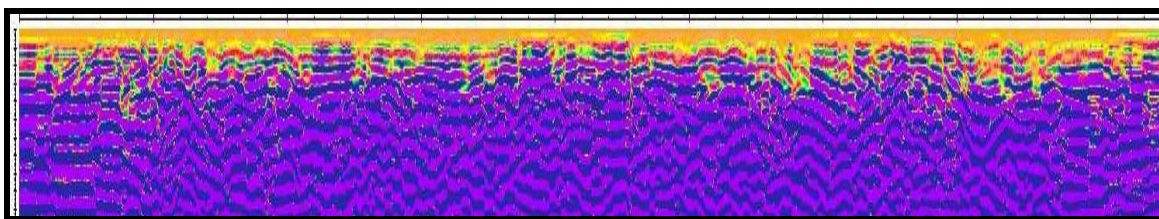


Figura 147 – Radargrama 5.

O principal objectivo da utilização do GPR consistia na identificação de falhas e diferentes materiais. Numa primeira análise sobressai de imediato 2 bandas de cor diferentes. Estas cores estão relacionadas com materiais que possuem reflexões diferentes, densidades diferentes. Tendo em conta que à superfície do solo da área de estudo se encontra, principalmente, argila termicamente alterada, podemos concluir, que quando surgem zonas que apresentam as mesmas bandas de cor que as existentes à superfície, estamos na presença de materiais com a mesma densidade.

O radargrama 5 (Fig. 147) que se localiza fora do passadiço, foi escolhido como uma amostra, ou seja, através dele podemos observar que o material que se encontra no subsolo é todo muito idêntico e constante. Quando se observa os restantes radargramas verifica-se que o mesmo não acontece.

O radargrama 1 (Fig. 143) apresenta, na sua maioria, os mesmos materiais, no entanto, podemos destacar uma zona de material distinto, semelhante ao encontrado na superfície. Esta zona localiza-se nas proximidades do Vale do Inferno.

Muito semelhante é o radargrama 2 (Fig. 144), no entanto, a zona de material distinto destacado pelas bandas mais claras, localiza-se nas proximidades de uma falha.

Os radargramas 3 e 4 também são muito semelhantes. O radargrama 4 teve início no Vale do Inferno, enquanto que o radargrama 3 teve início na margem do Vale do Inferno; ambos terminaram próximo da estação meteorológica. No radargrama 4, na fase inicial (Vale do Inferno) o GPR detectou muitas interferências, no entanto, é possível observar-se uma zona que indica ser de acumulação de materiais/detritos de densidade diferente, envoltos por argila. Estes materiais poderão ser oriundos da encosta de caos de blocos que se localiza nas proximidades do Vale do Inverno (comunicação oral Dias 2011). Quando se inicia a subida para a estação meteorológica (radargrama 3 e 4) pode-se observar a alteração dos materiais do subsolo e o surgimento de zonas de materiais distintos, que ligam a superfície do solo ao interior, o que poderá indicar a presença de falhas.

Após a análise dos radargramas, pode-se concluir que existem semelhanças que se destacam em todos eles. Na presença de falhas e nas proximidades de zonas de temperaturas mais elevadas, o material que surge é sempre muito parecido, sendo este diferente do que se encontra em seu redor. Por sua vez, este material apresenta-se muito semelhante com o encontrado na superfície do solo. Outro aspecto a realçar, consiste na confirmação da existência de falhas na encosta a oeste do Vale do Inferno, zona que apresenta um número elevado de fumarolas. As interferências que foram observadas no Vale do Inferno poderão ser explicadas pelas elevadas temperaturas e pela presença de gases químicos em maiores quantidades.

3.7. Delimitação do Campo Geotermal das Furnas do Enxofre

Após a análise dos dados recolhidos ao longo dos vários estudos efectuados neste trabalho, é possível agora delimitar o campo geotermal das Furnas do Enxofre, tendo para isso em conta, as diferentes áreas de conservação necessárias para a manutenção do funcionamento deste campo geotermal.

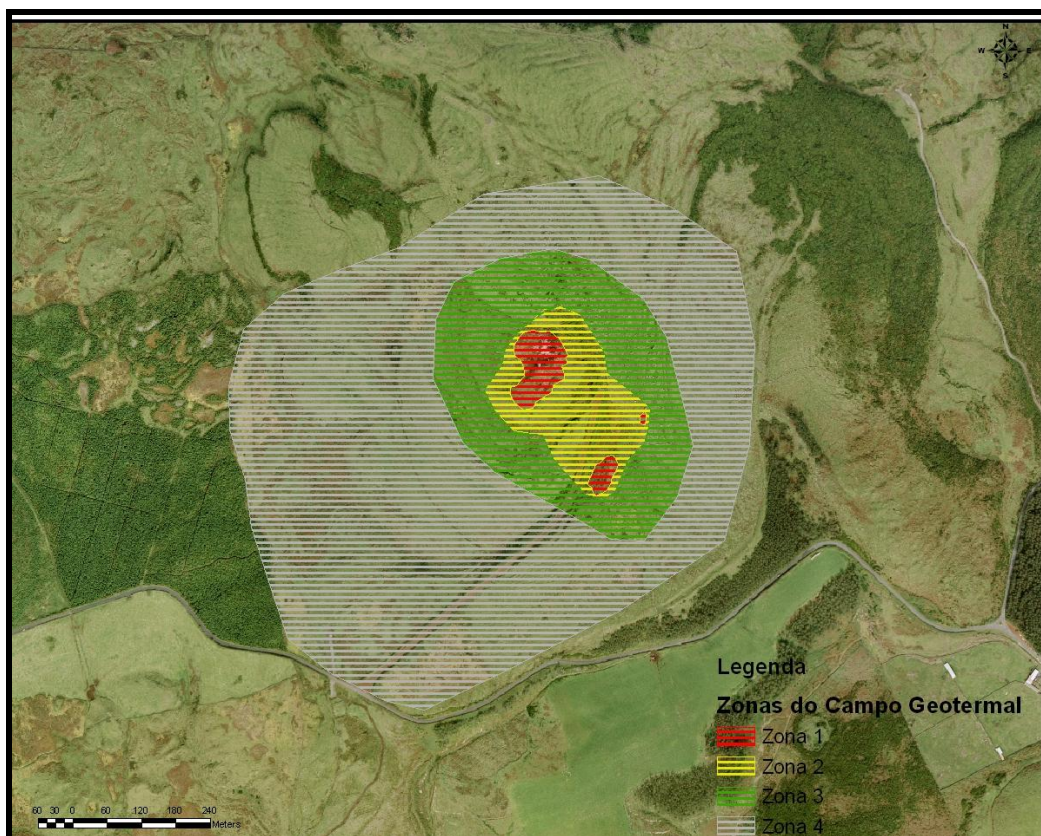


Figura 148 – Delimitação das diferentes zonas campo geotermal Obtida em *Arcgis*.

A delimitação do campo geotermal em zonas foi efectuada tendo em conta 4 escalas distintas mas, ao mesmo tempo, relacionadas entre si (anexo 7.3. Carta 7).

A primeira delimitação, que corresponde à zona 1, foi efectuada tendo em conta a influência directa do fluxo geotermal. Por tal, as áreas que possuem fumarolas e temperaturas mais elevadas foram aqui incluídas.

Um campo geotermal apresenta um período de vida ao longo do qual ele passa por diferentes fases, quer seja de aumento ou redução de intensidade do fluxo geotermal, quer seja no aumento ou diminuição do tamanho do campo (ver ponto 1.2.2.). Esta dinâmica permite o estabelecimento de diferentes áreas dentro do campo geotermal, isto

é, pode existir dentro de um campo geotermal, para além das áreas de solo aquecido, áreas que já estiveram sob a influência geotérmica mas que se encontram agora com temperaturas semelhantes a outras áreas não geotermiais. Estas áreas são designadas de áreas arrefecidas, não deixando de estar o estabelecimento e organização da vegetação sob a influência geotérmica. Por tal, a segunda delimitação do campo geotermal teve em conta as zonas que se encontravam entre as áreas de influência directa do fluxo.

A terceira delimitação, zona 3, foi efectuada tendo em conta a necessidade da disponibilidade de água para a manutenção do campo geotermal. Como tem sido referido ao longo do trabalho, as Furnas do Enxofre representam um campo geotermal que está relacionado com sistemas hidrotermais. Isto significa que qualquer alteração na quantidade de entrada de água para o sistema poderá alterar o seu funcionamento. Por sua vez, estas alterações irão ser reflectidas na distribuição das comunidades, principalmente as extremófilas, presentes neste local. Por outro lado, um favorecimento da disponibilidade de água nesta zona poderá ser benéfico para o sistema.

A última delimitação pretendia abranger uma grande área de elementos geológicos que poderão ser fundamentais na manutenção do campo geotermal. Como já foi referido, a presença dos domos e falhas nesta área é muito importante pois funcionam como uma passagem fácil de água e de gases. Por tal, a conservação destas áreas envolventes representa um papel muito importante na dinâmica do campo geotermal. Esta última delimitação foi feita de modo a incluir também, a zona de turfeiras que se localizam junto à plantação de Criptomérias. Estas turfeiras foram designadas como turfeiras geotermiais (Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR), 2006-2008, ver anexo 7.7.). No entanto, aquando da realização deste trabalho, não foram detectadas alterações térmicas nas águas destas turfeiras. Contudo, esta é uma área propícia ao aparecimento de águas termais devido à sua localização na base do doma, tendo sido por isso, incluídas na área do campo geotermal.

4ª Parte – Discussão

Os campos geotermais representam importantes ecossistemas não só pela sua beleza intrínseca, mas, também, pela elevada significância cultural, económica e científica, uma vez que reúnem factores ecológicos, biológicos e geológicos de elevado potencial científico.

A vegetação presente em áreas geotermais é diversificada, engloba vegetação característica de zonas termais, vegetação que existe nestas áreas e em áreas circundantes, vegetação típica de outros locais mas que nestas zonas encontram condições para sobreviver (e.g. espécies que estão adaptadas a climas com temperaturas mais elevadas), e, em certos casos, espécies endémicas.



Figura 149 – Vegetação presente junto a um aglomerado de fumarolas próximas do Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

A presença em campos geotermais de vegetação terrestre, de zonas húmidas e termófila, permite a conjugação de um grande número de espécies diversas resultando numa organização da vegetação pouco habitual. De facto, a presença de comunidades termófilas seguidas, a poucos centímetros, e até mesmo misturadas com

comunidades terrestres é sem dúvida fascinante.

Das tipologias de vegetação presentes na área de estudo destacam-se as manchas de zonas húmidas, florestas naturais e vegetação característica de habitats rochosos como áreas com elevadas espécies endémicas e/ou raras. No entanto, é de salientar, o número considerável de manchas de vegetação distribuídas por toda a área dominadas por espécies exóticas.

As tipologias de vegetação da área de estudo podem ser encontradas noutros locais, contudo, é a organização entre as diferentes comunidades que merece especial atenção. Numa fumarola, podemos encontrar várias comunidades que, devido à temperatura a que se encontram, são consideradas termófilas ou hipertermófilas. Estas comunidades vão-se „encaixando’ umas a seguir às outras, intercalando-se, nas áreas que mais condições favoráveis apresentam, podendo estas áreas ser de reduzidas dimensões. É de salientar a proximidade de comunidades termófilas com comunidades mesófilas, facto

que se fica a dever às grandes diferenças de temperatura que se podem fazer sentir de um ponto para outro ponto muito próximo.

De um grande número de fumarolas presentes na área de estudo, 20 foram analisadas e identificadas as comunidades que lá se encontravam. Desta análise podemos verificar que, de um modo geral, a complexidade desta organização de comunidades é comum à maioria das fumarolas e todas elas possuem comunidades hipertermófilas e termófilas.

Toda a organização da vegetação é feita tendo em conta a distribuição da temperatura. Num campo geotermal, o aumento da profundidade é acompanhado por um aumento de temperatura. As zonas mais próximas das fumarolas apresentam as temperaturas mais elevadas verificando-se um decréscimo da temperatura à medida que nos afastamos da fumarola. Em certos casos, como o número de fumarolas numa área é muito elevado, verifica-se apenas uma pequena área com temperaturas mais baixas. Noutras situações, o solo apresenta sempre temperaturas elevadas havendo apenas um decréscimo da temperatura mais evidente à superfície.

A determinação dos valores de vapor de água e da temperatura presentes nas fumarolas permite compreender melhor o funcionamento deste campo geotermal (adiante explicado).

Nas Furnas do Enxofre destacamos uma área totalmente diferente das restantes, o Vale do Inferno. Esta área é caracterizada pela ausência de vegetação e, no seu lugar, a cobrir toda a superfície do solo, existem crostas biológicas e geysérites. A presença destas estruturas biológicas neste local, vem reforçar a ideia de que esta área apresenta, para além de temperaturas mais elevadas, uma maior quantidade de gases (única área com depósitos de enxofre). Para além disso, estas são estruturas formadas por uma combinação de diversos organismos, elevando ainda mais a complexidade e diversidade das Furnas do Enxofre.

A divisão do Vale do Inferno em zonas efectuou-se de acordo com as diferentes estruturas encontradas. Segundo Urusov *et al.* (2007), as áreas que apresentam formações em forma de onda são as mais antigas do campo. Nas Furnas do Enxofre, as zonas que apresentam estas estruturas são as zonas 3, 7 e 8 (Fig. 128). Estas formações em onda encontram-se sempre (no caso em estudo) a rochas ou entre elas. A zona que mais formações deste tipo apresenta é a zona 8. As tonalidades destas estruturas ficam a

dever-se, por um lado, à presença de diferentes organismos (e em quantidades distintas), por outro, devido à presença de ferro, arsénio e sulfatos.

A localização dos campos geotermais depende da conjugação de vários factores (ver ponto 1.2.2.) que tornam a sua formação possível. A permeabilidade do local é um dos aspectos muito importantes. As formações geológicas presentes na área de estudo são fundamentais para a existência e manutenção do campo geotermal. Algumas estruturas geológicas são facilmente identificadas porque são visíveis à superfície como os domos, fracturas e caos de blocos. No entanto, a utilização do GPR permitiu observar ao longo do campo geotermal zonas com grandes concentrações de falhas e zonas de diferentes densidades, o que faz com que esta seja uma zona mais permeável, permitindo assim a fácil passagem de água e de gases.

Ao longo do ano a actividade fumarólica deste campo geotermal não é sempre igual. Este facto pode ser explicado pela quantidade de água existente em profundidade.

A película de água que se encontra sob a área das Furnas do Enxofre consiste numa mistura de águas termais, que vem do interior da terra, com águas provenientes do exterior, e.g., precipitação, escorrência de água superficial, podendo também haver uma adição de águas de aquíferos das áreas envolventes. Estas águas ao entrarem em contacto quer com as rochas quentes quer com as águas termais vão ser aquecidas. Posteriormente, esta mistura de águas quentes é transportada até à superfície dando origem a recursos geotermais, neste caso, a fumarolas.

Segundo uma comunicação oral realizada pelo Professor Eduardo Dias (2011), as águas que têm proveniência profunda transportam maiores quantidades de gases e a temperaturas mais elevadas. No entanto, o contacto das águas termais com águas vindas do exterior, mais frias e com quantidades reduzidas de gases, conduzirá a um arrefecimento e maior diluição dos gases vindos do interior da terra.

Tendo em conta os dados obtidos em relação às medições do vapor de água e da temperatura nas fumarolas (ver ponto 3.3.) verificou-se que um decréscimo do vapor de água é acompanhado por um aumento da temperatura, e o caso contrário também se verifica, ou seja, um aumento do vapor de água é acompanhado por uma redução da temperatura. Para além destas medições, outras relacionadas com a temperatura no interior das fumarolas, foram efectuadas em Agosto de 2011 (ver ponto 3.3). Com estas medições, podemos verificar um aumento significativo da temperatura no interior das

fumarolas, em comparação com dados recolhidos em Outubro de 2010, e, embora não tenham sido realizadas medições do vapor de água nesta época do ano, o vapor de água observado, na maior parte dos dias, é menor em comparação com o verificado nos meses anteriores.

Após a análise dos resultados pode-se apontar o seguinte: nos meses mais frios, quando a disponibilidade de água exterior é superior, esta água ao entrar em contacto com a água termal, oriunda do interior da terra, vai provocar um maior arrefecimento da água e uma maior diluição dos gases. Deste modo, nas estações mais frias a saída de vapor irá ser superior (existe maior disponibilidade de água) mas a temperatura e a libertação de gases serão menores. Nas estações mais quentes verifica-se o contrário, ou seja, como a quantidade de água que existe no exterior é menor em comparação com os meses mais frios, a água que irá entrar para o sistema será menor, fazendo com que a água termal exista em maiores quantidades. Sendo assim, o vapor de água que atinge a superfície será menor, mas a temperatura e a quantidade de gases transportados até à superfície será superior (comunicação oral Professor Eduardo Dias, 2011).

As fumarolas presentes no campo geotermal das Furnas do Enxofre foram divididas por grupos tendo em conta a temperatura das áreas onde se encontram, uma vez que este factor é o que mais diferenças apresenta, enquanto que o número, complexidade e presença de comunidades termófilas nas fumarolas é muito semelhante entre todas. Deste modo, no campo geotermal das Furnas do Enxofre podemos encontrar 6 grupos de fumarolas:

1. Fumarolas presentes no Vale do Inferno;
2. Fumarolas presentes em formações dominadas por musgos;
3. Fumarolas presentes no talude dominado por *Calluna vulgaris*;
4. Fumarolas presentes nas falhas;
5. Fumarolas presentes na Turfeira de encosta;
6. Fumarolas em esmorecimento.

1. Fumarolas presentes no Vale do Inferno

As fumarolas presentes no Vale do Inferno apresentam-se totalmente diferentes das restantes. As elevadas temperaturas que aqui se fazem sentir, superiores a 90°C, em

conjugação com quantidades mais elevadas de gases químicos, comprovado pela maior presença de depósitos de enxofre, leva à quase inexistência de vegetação neste local.



Figura 150 – Fumarolas presentes no Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

A única vegetação presente compreende alguns indivíduos de *Calluna vulgaris*, muito dispersos e de dimensões muito reduzidas, e a presença de musgos que em algumas zonas cobrem grande parte da superfície do solo. Muitas das fumarolas aqui presentes não são

visíveis, ou seja, não se verifica a saída de vapor como é possível observar nas

restantes, no entanto, nas proximidades destas fumarolas é possível ouvir a passagem do vapor pelos orifícios de saída. As fumarolas aqui presentes encontram a sua saída por entre as crostas biológicas e geyserites que cobrem toda esta área. Normalmente, em redor das fumarolas dominam os depósitos de enxofre, formações brancas e compactas, e formações cinzentas quebradiças. Toda a área apresenta temperaturas elevadas e muito próximas da superfície.

2. Fumarolas presentes em formações dominadas por musgos

Nestas formações dominadas por musgos, a temperatura do solo varia entre os 50°C e os 84°C, havendo pontos que chegam a atingir temperaturas próximas dos 90°C. Estas elevadas temperaturas poderão ser responsáveis pela existência neste local de uma



Figura 151 – Fumarolas junto ao passadiço, próxima da casa de apoio (Foto: Rita Costa).



Figura 152 – Fumarolas na encosta oeste ao Vale do Inferno (Foto: Rita Costa).

grande cobertura de musgos e poucas plantas vasculares, uma vez que os musgos apresentam rizóides que penetram pouco em profundidade

As fumarolas presentes nestas formações encontram-se distribuídas por três locais, junto ao passadiço próximo da casa de apoio (Fig. 151), junto à descida para o Vale do

Inferno (Fig. 153) e na encosta a oeste do Vale do Inferno (Fig. 152). Neste último local, realça-se também a presença de um grande número de indivíduos de *Calluna vulgaris*. Todas estas fumarolas apresentam temperaturas elevadas, no entanto, salientam-se algumas diferenças na distribuição da temperatura. Nas fumarolas que se localizam junto ao passadiço, a distribuição da temperatura com o aumento da distância da fumarola faz-se através de uma diminuição mais ou menos constante da temperatura,



Figura 153 – Fumarolas na descida para o Vale do Inferno (Foto. Rita Costa).

quer na superfície quer em profundidade. Junto à descida para o Vale do Inferno o mesmo já não acontece, existe uma diminuição da temperatura superficial com o afastamento da fumarola, contudo, em profundidade, a temperatura diminuiu de

uma forma mais lenta, mantendo-se sempre temperaturas mais elevadas. Este

facto pode ficar a dever-se às elevadas temperaturas que se fazem sentir em toda esta área. Deste conjunto de fumarolas, as que se localizam em áreas de temperaturas mais elevadas são as que se situam a oeste do Vale do Inferno, seguindo-se as presentes na descida para o Vale do Inferno, e, por último, as fumarolas próximas do passadiço. Quanto às comunidades, as fumarolas na descida para o Vale do Inferno são as que apresentam menos comunidades, seguindo-se as próximas do passadiço, e as que apresentam um maior número de comunidades são as fumarolas que se localizam a oeste do Vale do Inferno.

3. Fumarolas presentes no talude dominado por *Calluna vulgaris*

Nesta área as fumarolas encontram-se, na sua maioria, afastadas entre si, surgindo



muitas delas por entre indivíduos de *Calluna vulgaris*.

A temperatura neste local varia entre os 32°C e os 73°C. A distribuição das temperaturas nestas fumarolas faz-se de uma forma

Figura 154 – Fumarolas no talude dominado por *Calluna vulgaris* (Foto: Rita Costa).

semelhante, com decréscimos de temperatura mais acentuados junto ao centro da

fumarola e, à medida que nos afastamos, a descida da temperatura faz-se de uma forma mais lenta. Destaca-se a manutenção de temperaturas um pouco mais elevadas próximo da superfície de solo. Na área em geral, a presença de temperaturas mais elevadas encontram-se nas proximidades das fumarolas, existindo áreas entre as fumarolas com temperaturas mais baixas. Nesta área podemos observar fumarolas com uma organização de comunidades bastante complexa como outras muito simples. Algumas destas fumarolas que se encontram mais próximas do Vale do Inferno apresentam depósitos de cristais de enxofre.

4. Fumarolas presentes nas falhas

Estas fumarolas surgem nos taludes das falhas e foram encontradas com dimensões várias. As temperaturas que aqui se fazem sentir variam entre os 38°C e os 55°C.



Figura 155 – Fumarolas presentes em falhas (Foto: Rita Costa).



Figura 156 – Fumarolas presentes em falhas (a) (Foto: Rita Costa).

Quanto à distribuição da temperatura, existe um decréscimo rápido junto ao centro da fumarola e logo de seguida surgem temperaturas mais baixas, tanto à superfície como em profundidade. Estas fumarolas apresentam alguma organização complexa das comunidades próximas do centro da fumarola, no entanto, destaca-se uma grande área ocupada por comunidades terrestres, o que poderá ser explicado pela diminuição rápida das temperaturas mesmo próximo da fumarola.

5. Fumarolas presentes na Turfeira de encosta



Por toda esta área encontra-se um grande número de fumarolas dos mais diversos tamanhos e formas. As temperaturas do solo variam entre os 38°C e os 50°C. Próximo do

Figura 157 – Fumarolas presentes na turfeira de encosta junto à estrada de acesso às Furnas do Enxofre.

centro das fumarolas as temperaturas decrescem de uma forma mais rápida reduzindo com o afastamento para temperaturas muito próximas com as temperaturas existentes fora de áreas geotermiais. As fumarolas presentes nesta área são as que possuem o maior número de comunidades.

6. Fumarolas em esmorecimento

Neste grupo, encontram-se as fumarolas que se localizam em áreas que apresentam as temperaturas mais baixas.



Figura 158 – Fumarolas em esmorecimento – rochas emergentes (Foto: Rita Costa).



Figura 159 – Fumarolas em esmorecimento – na falha (Foto: Rita Costa).

Estas variam entre 32°C e os 44°C. Nestas fumarolas destaca-se o reduzido número de comunidades presentes, sendo que a maior área é ocupada ou por comunidades terrestres (gramíneas) ou por zonas húmidas (*Sphagnum*). Estas fumarolas estão presentes em duas áreas, uma mais afastada localizada na zona de rochas emergentes, na vertente norte junto à entrada, e outra que, apesar de se localizar numa falha, foi aqui incluída devido às baixas temperaturas e reduzido número de comunidades que apresenta (Fig. 158).

Por fim, após a recolha e análise dos dados, foi possível a delimitação do campo geotermal das Furnas do Enxofre tendo em conta os diferentes factores que influenciam o funcionamento e a dinâmica deste campo. Foram então identificadas 4 zonas: a 1ª zona diz respeito à área de influência directa do fluxo geotermal, engloba todas as áreas que possuem fumarolas, bem como as zonas de temperaturas mais elevadas; a 2ª corresponde a áreas circundantes, quer áreas em redor das fumarolas quer as áreas entre os diferentes tipos de fumarolas; a 3ª zona compreende uma área mais abrangente de modo a permitir a manutenção ou melhoramento da vegetação aqui presente com o objectivo de manter ou aumentar a disponibilidade de água para o campo geotermal; a

última zona, a 4ª, efectuou-se de modo a incluir um número significativo de elementos geológicos e uma zona de turfeiras junto à plantação de *Cryptomeria japoica*.

Deste modo, pretende-se que as medidas de gestão tenham em conta as diferentes necessidades que cada zona possui.

5ª Parte – Conclusão

A visitação neste local, como em qualquer outro local natural, é por si só uma actividade da qual resultam sempre impactes. No entanto, é já ponto assente que para um futuro sustentável de uma área natural é fundamental a interacção entre as pessoas e o meio ambiente. É neste sentido que a visitação das Furnas do Enxofre deve ser pensada, ou seja, não como uma área restrita ao acesso dos cidadãos, mas sim um local visitável mas com as limitações necessárias para a sustentabilidade deste campo geotermal.

Actualmente, assistimos a uma gestão geral desta área, uma gestão que engloba medidas gerais para todo o campo geotermal. A implementação do passadiço veio, sem dúvida, reduzir os impactes provocados pela passagem dos visitantes por zonas muito sensíveis, no entanto, este passadiço e a informação disponível no local não impedem a total passagem de pessoas.

Como foi possível determinar com a realização deste trabalho, o campo geotermal das Furnas do enxofre encontra-se dividido por zonas onde cada zona deve ser analisada e estudada, e cada uma exige medidas de gestão distintas. As medidas de gestão devem então ser dirigidas à área no geral e, quando necessário, devem ser aplicadas medidas mais restritas a áreas em particular.

Em primeiro lugar, é fundamental que as fumarolas presentes no campo geotermal estejam protegidas. As fumarolas presentes nas Furnas do Enxofre foram divididas em 6 grupos, tendo em conta a temperatura das áreas onde estas se localizam. No entanto, algumas destas fumarolas não estão protegidas pelo passadiço. Apesar da vedação existente em redor do campo geotermal, a passagem de gado ainda é possível, o que se comprova com muitos excrementos espalhados por toda esta área. Este aspecto é importante, uma vez que as fumarolas que se encontram do lado de fora do passadiço estão mais susceptíveis de sofrer impactes por parte destes animais.

Assim sendo, é importante a ampliação do passadiço para englobar todos os tipos de fumarola de modo a que os impactes provocados pelo pisoteio e excrementos dos animais sejam reduzidos.

Apesar da informação disponível no local, assiste-se à pratica de actividades causadoras de impactes, havendo um grande número de pessoas que atira pedras e outros objectos

para o interior das fumarolas, passagem por zonas muito sensíveis e a abertura de buracos para a realização de cozidos.

A passagem de pessoas pelas áreas onde se encontram as fumarolas poderá provocar a destruição de algumas comunidades e até mesmo a destruição de fumarolas. No decorrer do trabalho de campo, foi necessária a passagem repetida pelos diferentes grupos de fumarolas. Uma área em particular, a turfeira de encosta, foi a que mais alterações apresentou no final do trabalho de campo. Nesta área, em alguns dos locais que eram mais frequentemente pisoteados é possível agora a observação da saída de vapor, em alguns casos verifica-se o orifício de saída do vapor (não apresenta as comunidades que as restantes fumarolas apresentam) mas noutros casos a saída faz-se de uma forma difusa. Este facto vem reforçar a ideia que o pisoteio altera a constituição de um campo geotermal através do desaparecimento de fumarolas, do surgimento de novas, de alterações nas temperaturas, e todas estas mudanças irão alterar a localização das comunidades geotermiais.

Uma outra área que também merece especial atenção é o Vale do Inferno. A passagem de pessoas nesta zona é muito frequente e a abertura de buracos para cozido também. Esta é uma zona extremamente sensível constituída por estruturas biológicas, crostas biológicas e geyserites, que levam muito tempo a formar-se e a estabelecer-se. A passagem de pessoas sobre estas estruturas provoca a sua destruição.

Por um lado, uma reformulação da informação disponível no local de modo a que esta seja mais apelativa, poderá cativar mais a atenção dos visitantes e evitar ou reduzir os impactes provocados aquando da sua visita. Por outro lado, a simples informação no local poderá não ser suficiente sendo fundamental a presença de uma fiscalização mais acentuada.

Ao longo da realização do trabalho de campo (desde Outubro de 2010 a Agosto de 2011) foi possível observar os visitantes que procuravam esta zona. Ao longo de todos os meses existiam visitantes nesta zona, contudo, foi nos meses de Verão que a procura aumentou. A quantidade de visitantes que procura as Furnas do Enxofre justifica a existência de uma casa de apoio no local. Esta casa de apoio representaria uma importância especial em vários aspectos:

- Acompanhamento de visitas;
- Fiscalização da área;
- Venda de recordações.

Recentemente assistimos a uma mudança nos destinos turísticos, representando as áreas naturais um destino privilegiado. Neste sentido, uma parte considerável das pessoas que procuram as nossas áreas naturais esperam que desta visita resulte algum conhecimento. Deste modo, o acompanhamento de visitas é fundamental, por um lado, permite explicar o funcionamento do campo geotermal, a sua dinâmica, flora presente, entre muitos outros aspectos que o caracterizam e o tornam único; por outro lado, a presença diária de uma pessoa no local iria impedir ou reduzir que actos de vandalismo fossem cometidos. O aumento da fiscalização desta área, em conjunto com a medida anteriormente mencionada, poderia reduzir os impactes provocados nas Furnas do Enxofre, quer por desconhecimento quer por vandalismo. A existência de uma casa de apoio poderá rentabilizar a visita para além de permitir a oferta de produtos mais especializados.

Uma análise mais atenta à vegetação presente nas Furnas do Enxofre permite-nos inferir que se a acção e presença do homem neste local não tivesse sido tão acentuada hoje teríamos um coberto vegetal muito diferente do que existe. Sabemos que, de um modo geral, a distribuição da vegetação na ilha resultou da intensa actividade antrópica que se fez sentir desde o início do povoamento. Segundo Dias (1991), a ilha Terceira possui grandes extensões de formações arbóreas naturais (cerca de 17,5 km²). Destas formações destacam-se várias espécies: *Juniperus brevifolia*, *Ilex azorica*, *Laurus azorica* e *Erica azorica*, que formam zimbrais, florestas de *Ilex*, florestas laurifólias e ericais, respectivamente (Dias, 1996). As comunidades de zimbrais surgem em zonas de condições extremas de pluviosidade e de exposição a ventos fortes, limitam-se às zonas mais altas da ilha, Serra de Santa Bárbara e Guilherme Moniz; nos ericais domina a *Erica azorica*, mas, também podem surgir espécies como a *Myrica faya*, *Laurus azorica* e *Juniperus brevifolia*, esta comunidade surge em todas as faixas altitudinais; as florestas de *Ilex* desenvolvem-se nas zonas mais altas dos maciços, em lavas ácidas, condições de extrema humidade atmosférica e de encharcamento; as florestas laurifólias desenvolvem-se a média altitude e são dominadas por espécies laurifólias «ou seja, com estrutura arbórea, perenifólias, de folhas grandes, glabras ou coriáceas»⁶ (Rodrigues, 2002). Todas as espécies anteriormente referidas, localizadas em zonas montanhosas

⁶ Rodrigues, F. (2002). *Hidrogeologia da Ilha Terceira (Açores – Portugal)*. Tese de Doutoramento. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. do Heroísmo

arbigadas e com grandes entradas de água, podem surgir associadas com turfeiras de *Sphagnum spp.*.

Nos Açores, as turfeiras surgem acima dos 500m de altitude e em zonas permanentemente encharcadas. Segundo Dias (1989, 1996), citado por Rodrigues (2002), as turfeiras são dominadas por vários endemismos açorianos e/ou endémicos do género *Sphagnum spp.*, e podem surgir associados com espécies de *Juncus effusus*, *Calluna vulgaris*, *Luzula purpúreo-spendens*, *Juniperus brevifolia*, *Erica azorica*, *Laurus azorica*, *Ilex azorica* e *Frangula azorica*.

A presença na área de estudo de manchas de floresta natural (floresta mélica laurifólia e erical), habitat rochoso (fendas rochosas e rochas emergentes) e zonas húmidas (charcos e turfeiras) permite-nos concluir que esta seria a vegetação potencial para esta área. Este aspecto torna-se ainda mais importante uma vez que as Furnas do Enxofre são um campo geotermal que está relacionado com sistemas hidrotermais, sendo por tal, a disponibilidade de água muito importante. Se tivermos em conta a vegetação potencial acima mencionada, era de esperar que a retenção de água pelo coberto vegetal fosse muito superior ao que é actualmente. A existência deste tipo de coberto vegetal iria proporcionar valores superiores de precipitação oculta, fenómeno que possui uma elevada importância nas ilhas macaronésicas. A precipitação oculta, segundo Silva (1988) e Azevedo (1998), citados por Rodrigues (2002), engloba dois tipos de gotejamento: um que se encontra associado à precipitação horizontal, proveniente da intercepção directa da água das nuvens; e outros que resultam da condensação da humidade atmosférica (independente da ocorrência de sistemas nebulosos). A principal barreira à intercepção de nevoeiros é a vegetação porque possui ramos e folhas que se encontram em movimentam. Realça-se também, que a presença de formações vegetais do tipo turfeira de *Sphagnum spp.* também desempenham um papel importante na intercepção de nevoeiros.

Uma intervenção na área de estudo (e.g. zona 3, anexo 7.3.) com vista à implementação da vegetação potencial para este local reveste-se de uma elevada importância. A longo prazo, a presença deste tipo de coberto vegetal iria permitir a existência de um ambiente mais natural, rico em espécies endémicas, e uma maior disponibilidade de água que, por sua vez, poderia intensificar o funcionamento do campo geotermal, tornando-o num ambiente ainda mais misterioso e apelativo.

As comunidades geotermiais encontram-se adaptadas às condições presentes neste local. Alterações nestas condições poderá provocar alterações das comunidades, quer na sua

localização quer no seu desaparecimento. Por tal, é fundamental que estas condições sejam mantidas ou melhoradas de modo a permitir um desenvolvimento sustentável do campo geotermal.

As áreas naturais têm vindo a ganhar cada vez mais importância e as preocupações com a sua preservação e conservação também tem vindo a crescer. A responsabilidade de protecção das Furnas do Enxofre é ainda mais elevada. Este campo geotermal apresenta uma conjugação de características que o tornam único em toda a região biogeográfica da Macaronésia.

A gestão dos recursos ecológicos, qualquer que sejam eles, requer conhecimento e compreensão dos atributos, das funções e vulnerabilidades dos ecossistemas. Foi neste sentido que o presente trabalho foi desenvolvido, com o objectivo de fornecer conhecimentos sobre o funcionamento e principais características deste campo geotermal para que o plano de visita actual pudesse ser alterado de modo a reduzir os impactes provocados pela visita e pela descoberta do valor científico, ecológico e patrimonial deste local.

6. Bibliografia

6.1. Referências bibliográficas

- Agostinho, J. (1936). *Volcanic activity in the Azores*. Report for 1933-1936.
- Agostinho, J. (1942). Clima dos Açores – Parte V – O clima dos Açores no quadro dos climas mundiais. *Açoreana* 3 (1): 49-73.
- Anderson, W. (1983). *Weed Science: Principles*. 2ª Ed. West Publishing Company. St. Paul. Minnesota.
- Belnap, J., Rosentreter, R., Leonard, S., Kaltenecker, H., Williams, J., Edlridge, D. (2001). *The Secret Life of Cryptobiotic Soil. Biological Soil Crusts: Ecology and Management, 2001*. Technical Reference 1730-2. U.S. Department of the Interior.
- Bettencourt, M. (1979). *O clima dos Açores como recurso natural na aplicação especialmente em agricultura e indústria do turismo*. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Lisboa.
- Boothroyd, I. (2009). Ecological characteristics and management of geothermal systems of the Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Geothermics* **38**: 200-209.
- Braga, T. (1989). *A floresta primitiva dos Açores (Ambiente e Desenvolvimento-Estratégia das ADA)*. Encontro Nacional das Associações de Defesa do Ambiente. Pp1-7. Viseu.
- Broady, P., Given, D., Greenfield, L. e Thompson, K. (1987). The Biota and Environment of Fumaroles on Mt Melbourne, Northern Victoria Land. *Polar Biology* **7**: 97 – 113.
- Brock, T. (1994). Life at High Temperatures. *Science*. Volume 158. pp 1012 – 1019.
- Bukumirovic, T., Italiano, F., Nuccio, P. (1997). The evolution of a dynamic geological system: the support of a GIS for geochemical measurements at a fumarole field of Vulcano, Italy. *Journal of Vulcanology and Geothermal Research* **79**: 253-263.
- Burns, B., Leathwick, J. (1995). *Geothermal Vegetation Dynamics*. Department of Conservation. P.O. Box 10-420. Wellington, New Zealand.
- Burns, B. (1997). Vegetation change along a geothermal stress gradient at the Te Kopia Steamfield. *Journal of The Royal Society of New Zealand* **27**: 2, 279-294.
- Cabral, A. (1953). *Sebes Vivas ou Abrigos nos Açores. Subsídios para o seu estudo*. Boletim Comissão Reguladora dos Cereais do Arquipélago dos Açores **17**: 61-82

Chiarucci, A., Calderisi, M., Casini, F. e Bonini, I. (2008). Vegetation at the Limits for Vegetation: Vascular Plants, Bryophytes and Lichens in a Geothermal Field. *Folia Geobot* **43**:19–33.

Childs, C. (2004). *Interpolating Surfaces in Arcgis Spatial Analyst*. ESRI Education services.

Clynnne, M., Janik, C. e Muffler, L. (2003). —*Hot Water*” in *Lassen Volcanic National Park— Fumaroles, Steaming Ground, and Boiling Mudpots*. Cooperating Organization. Lassen Park Foundation. National Park Service. U.S. Forest Service.

Cody, A. (2007). *Geodiversity of Geothermal fields in the Taupo Volcanic Zone*. Science & Technical Publishing. Department of Conservation. Wellington. New Zealand.

Dias, E. (1989). *Flora e Vegetação Endêmica da Ilha Terceira*. Provas de Apt. Ped. Científica. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.

Dias, E. (1991). *Carta de Vegetação da Ilha Terceira*. Comunicação das Primeiras Jornadas Atlânticas de Protecção do Meio Ambiente. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.

Dias, Eduardo (1996). *Vegetação Natural dos Açores. Ecologia e Sintaxonomia das florestas Naturais*. Tese de Doutoramento. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.

Dias, E., Elias, R., Mendes, C., Pereira, D., Melo, C. e Pereira, F. (2002). *PROJECTO Geotérmico da Terceira – Monitorização Ecológica*. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.

Drumond, F. (1850). *Anais da Ilha Terceira (I)*. Angra do Heroísmo.

Elmarsdottir, A., Ingimarsdottir, M., Hansen, I., Olafsson, J., Olafsson, E. (2003). *Vegetation and invertebrates in three geothermal areas in Iceland*. International Geothermal Conference, Reykjavík, Session #12.

Erfurt-Cooper, P., Cooper, M. (2010). *Volcano & Geothermal Tourism – Sustainable Geo-Resources for Leisure and Recreation*. The Cromwell Press Group. United Kingdom.

Félix, D. (2008). *Potencial biotecnológico dos microrganismos extremófilos*. Tese de Mestrado em Biologia Molecular. Departamento de Biologia. Universidade de Aveiro.

Fernandes, J. (1985). *Terceira – Açores, Estudo Geográfico*. Tese de Doutoramento. Universidade dos Açores. Ponta Delgada.

Ferreira, T. (1994). *Contributo para estudo das emissões gasosas associadas a processos de vulcanismo no Arquipélago dos Açores*. Tese APCC. Universidade dos Açores. Ponta Delgada.

Ferreira, T., Gaspar, J., Viveiros, F., Marcos, M., Faria, C., Sousa, F. (2005). Monitoring of fumarole discharge and CO₂ soil degassing in the Azores: contribution to volcanic surveillance and public health risk assessment. *Annals of Geophysics* **48**:4-5.

Forjaz, V., Weston, F. (1967). *Volcanic Activity in the Azores*. Report for 1959-1964.

Frutuoso, G. (1981). *Livro quarto das saudades da terra (1589)*. Volume II. Instituto Cultural de Ponta Delgada. Ponta Delgada.

Furukawa, Y. (2008). Infrared thermography of the fumarole area in the active crater of the Aso volcano, Japan, using a consumer digital camera. *Journal of Asian Earth Sciences* **38**: 283-288.

Given, D. (1980). Vegetation on heated soils at Karapiti, central North Island, New Zealand, and its relation to ground temperature. *New Zealand Journal of Botany* **18**:1-13.

Gottlicher, J., Pentinghaus, H., Himmel, B. (1998). On the Microstructure of Geyserites and Hyalites Natural Hydrous Forms of Silica. Netherlands. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* **13**: 85-88.

Halleux, L. (1990). *Ground Penetrating Radar Applied to the Study of Peat Bogs and Moors*. Annales de la Société Géologique de Belgique. T. 113, fascicule 2, pp 115-123.

Harris, A., Maciejewski, A. (1997). Thermal surveys of the Vulcano Fossa fumarole field 1994-1999: evidence for fumarole migration and sealing. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **102**: 119-147.

Heggie, T. (2004). Reported fatal and non-fatal incidents involving tourists in Hawaii Volcanoes National Park 1992-2002. *Travel Medicine and Infectious Disease* **3**: 123-131.

Heggie, T. (2009). Geotourism and volcanoes: Health hazards facing tourists at volcanic and geothermal destinations. *Travel Medicine and Infectious Disease* **7**: 257 – 261.

Henríquez, M., Pérez, J., Henríquez, C. (1986). *Flora y Vegetation del Arquipélago Canário*. Edirca. Gran Canaria.

Interpretation Manual of European Union Habitats. Natura 2000. (2007). European Commission DG Environment. Nature and Biodiversity.

Jaworowski, C., Heasler, H., Neale, C., Sivarajan, S. (2010) Using Thermal Infrared Imagery and LiDAR in Yellowstone Geyser Basins. *Yellowstone Science* **18**: 1, 8-19.

Lloyd, E., Collis, S. (1981). *Geothermal Prospection. Ilha Terceira, Azores*. Secretaria Regional do Comércio e Indústria. Laboratório de Geociências e Tecnologia. Ponta Delgada. Não publicado.

Madruga, J. (1986). *Andossolos dos Açores – Contributo para o seu estudo*. Provas de síntese para Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.

Marler, G. (1973). *Inventory of Thermal Features of the Firehole River Geyser Basins and Other Selected Areas of Yellowstone National Park*. Natl. Tech. Info. Serv., U.S. Dept. Commerce. Pub. PB221 289. 652pp.

Martins, R., Krajacic, G., Duić, N., Carvalho, M. 2007. *Contribution of the renewable energy sources in the azorean energy mix- applying the H2RES model to Terceira Island*. Instituto Superior Técnico. Portugal.

Mendes, C. (2010). *A dimensão ecológica das Zonas húmidas na Gestão e Conservação dos ZEC terrestres dos Açores*. Tese de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.

Mitchell Partnerships (2009). *Ngatamariki Ecological Report*. New Zealand.

Ngatamariki Geothermal Development. (2009). Proposed System Management Plan. New Zealand.

Orlovsky, L., Dourikov, M., Babaev, A. (2004). Temporal dynamics and productivity of biogenic soil crusts in the central Karakum desert, Turkmenistan. *Journal of Arid Environments* **56**: 579 – 601.

Oskarsson, N., Pálsson, K., Ólasson, H., Ferreira, T. (1999). Experimental monitoring of carbon dioxide by low power IR-sensors: soil degassing in the Furnas Volcanic Centre, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **92**: 181–193.

Pereira, D. (2009). *Modelação em SIG dos óptimos Ecológicos no Desenvolvimento de Cryptomeria japónica nos Açores*. Tese de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica. Universidade de Trás-os-Monte e Alto Douro.

Photosynthetic Adaptation to Temperature. Plant Ecophysiology. IB 151: 1-6.

Pinheiro, J. (1990). *Estudo dos principais tipos de solos da Ilha Terceira (Açores)*. Tese de Doutoramento. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.

Pimental, A. (2006). *Domos e Coulées da Ilha Terceira (Açores): Contribuição para o estudo dos mecanismos de instalação*. Tese de Mestrado. Universidade dos Açores. Departamento de Geociências. Ponta Delgada.

- Poore, M. (1955). The use of Phytosociological methods in Ecological Investigation – I. The Braun-Blanquet system. *Journal of Ecology* **43**: 226 – 244.
- Rendeiro, P. (2002). *Contributo para o Restauo do Ecossistema das Furnas do Enxofre*. Tese de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.
- Reysenback, A., Voytek, M., Mancinelli, R. (2001). *Thermophiles: Biodiversity, Ecology, and Evolution*. Kluwer Academic Publishers. New York.
- Rodrigues, F. (2002). *Hidrogeologia da Ilha Terceira (Açores – Portugal)*. Tese de Doutoramento. Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.
- Rosentreter, R., Bowker, M., Belnap, J. (2007) *A Field Guide to Biological Soil Crusts of Western U.S. Drylands - Common Lichens and Bryophytes*. Government Printing Office, Denver, Colorado.
- Santos, H., Lamosa, P., Costa, M. (2001). Extremófilos: microrganismos à prova de agressões ambientais extremas. *Boletim de Biotecnologia* **60**: 2-10.
- Seckbach, J. (2000). *Journey to Diverse Microbial Worlds – Adaptation to Exotic Environments*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Secretaria de la Convención de Ramsar. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). 2006 - 2008
- Self, S. (1974). *Recente volcanism on Terceira, Azores*. Tese de Doutoramento. Universidade de Londres.
- Shimwell, D. (1971). *The description and Classification of Vegetation*. Sidgwick & Jackson. London.
- Smith, R. (2005). The thermophilic bryoflora of Deception Island: unique plant communities as a criterion for designating an Antarctic Specially Protected Area. *Antartic Science* **17**: 1, 17 – 27. United Kingdom.
- Stout, R., Al-Niemi, T. (2002). Heat-tolerant Flowering Plants of Active Geothermal Areas in Yellowstone National Park. *Annals of Botany* **90**: 259 – 267.
- Urusov, V., Shvanskaya, L., Bychkov, A., Mokholv, A. e Labutova, E. (2007). Microstructure Investigations of Kamchatka Geyserites. *Earth and Environmental Science*, **Volume 63**, 5: 311-319.
- Urusov, V., Samoilovich, M., Sergeeva, N., Belyanin, A., Shyanskaya, L., Sviridova, I., Kirsanova, V., Bychkov, A., Achmedova, S., Kleshcheva, S. (2008). Formation of Biocomposites Based on Natural Geyserites and Synthetic Opals. *Cell Biology*, **Volume 423**, 1: 473 – 477.

Viveiros, F. (2003). *Contribuição para o estudo dos processos de desgaseificação difusa nos Açores no âmbito da monitorização sismovulcânica e da avaliação de risco: discriminação de factores que influenciam a variação do fluxo de CO₂*. Tese de Mestrado no Ramo de Geologia Especialidade Vulcanologia e Riscos Geológicos. Universidade dos Açores.

Viveiros, F., Ferreira, T., Vieira, J., Silva, C., Gaspar, J. (2008). Environmental influences on soil CO₂ degassing at Furnas and Fogo volcanoes (São Miguel Island, Azores archipelago). *Journal of Vulcanology and Geothermal Research* **177**: 883-893.

Viveiros, F., Ferreira, T., Silva, C., Gaspar, J. (2008). Meteorological factors controlling soil gases and indoor CO₂ concentration: A permanent risk in degassing areas. *Science of the total Environment*, **407**: 1362 – 1372.

Wharton, D. (2002). *Life at the Limits – Organisms in extreme Environments*. Cambridge University Press. United Kingdom.

Whitton, B., Potts, M. (2000). *The Ecology of Cyanobacteria – Their Diversity in Time and Space*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

Zaady, E., Offer, Z. (2010). Biogenic soil crusts and soil depth: a long-term case study from the Central Negev desert highland. *Sedimentology*, **Volume 57**, 2: 351 – 358.

Zbyszewski, G., Medeiros, A. e Ferreira, O. (1971). *Carta Geológica de Portugal, na escala de 1/50 000, notícia explicativa da folha Ilha Terceira*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Decretos-Lei:

Decreto-Lei nº 140/99 de 24 de Abril. Diário da República nº 96 – I Série-A. Anexo B-1.

Decreto Legislativo Regional nº. 10/2004/A. Diário da República nº 70 Série – I. Assembleia Legislativa Regional – Açores.

6.2. Referências Bibliográficas electrónicas

An Introduction to Biological Soil Crusts. Acedido em 15 de Novembro de 2010, em: <http://www.soilcrust.org/crust101.htm> (1)

Fumarolas. Acedido em: 9 de Agosto de 2010, em: <http://pg.azores.gov.pt/drac/cca/enciclopedia/ver.aspx?id=7291>

Frazão, C., Gomes, C. (2006). Acedido em: 1 de Maio de 2010, em: <http://www.cienciahoje.pt/index.php?oid=2424&op=all>

GEOFAR - Geothermal Finance and Awareness in European Regions. (2009). *Country Profile - Geothermal Energy in Portugal*. Acedido em 10 de Maio de 2011, em: http://www.energia.gr/geofar/page.asp?p_id=53

Geothermal Areas Around the World. Acedido em: 20 de Novembro de 2010, em: <http://www.greenibis.com/edu/geo/frames/where.html> (2)

Geothermal Features and the Environment. Acedido em: 16 de Outubro de 2010, em: <http://www.greenibis.com/edu/geo/frames/environ.html> (10)

Deacon, J. *The Microbial World: Thermophilic microorganisms*. Acedido em: 17 de Agosto de 2010, em:

<http://www.biology.ed.ac.uk/research/groups/jdeacon/microbes/thermo.htm>

DiBona, M., Williams, P., Wiser, S., Clarkson, B. e Merrett, M. (2010). *Fumaroles*. Acedido em: 07 de Setembro de 2010, em:

http://www.landcareresearch.co.nz/research/ecosystems/rare/ecosystem_details.asp?RareEcosystem_ID=54

Belnap, J. *Cryptobiotic Soils: Holding the Place in Place*. Acedido em: 15 de Novembro de 2010, em: <http://geochange.er.usgs.gov/sw/impacts/biology/crypto/> (3)

Plants of geothermal habitats. (2010). Acedido em: 06 de Setembro de 2010, em: http://nzpcn.org.nz/page.asp?ecosystems_plant_communities_geothermal_plants

Pinheiro, N. (2010). *Origem e diversidade de procariotos Bactérias/Arqueas*. Acedido em: 10 de Maio de 2010, em: <http://pt.scribd.com/doc/38659272/Origem-e-Diversidade-de-Procariotos-e-Archeas>

Ramsar Sites in order of addition to the Ramsar List of Wetlands of International Importance. Acedido em: 6 de Setembro de 2011, em: http://www.ramsar.org/pdf/sitelist_order.pdf (4)

The Geothermal Eco System. Acedido em: 17 de Outubro de 2010, em: <http://www.greenibis.com/edu/geo/frames/ecosystem.html>

Threats to geothermal vegetation. (2010). Acedido em: 06 de Setembro de 2010, em: http://nzpcn.org.nz/page.asp?ecosystems_plant_communities_geothermal_threats

Types of geothermal vegetation. (2010). Acedido em: 06 de Setembro de 2010, em: http://nzpcn.org.nz/page.asp?ecosystems_plant_communities_geothermal_typesZ

Williams, P., Wiser, S. (2010). *Geothermal streamsides*. Acedido em: 07 de Setembro de 2010, em:

http://www.landcareresearch.co.nz/research/ecosystems/rare/ecosystem_details.asp?RareEcosystem_ID=55

Yellowstone National Park: *General Collection – Microbial Life, Educations Resources*. (2010). Acedido em: 18 de Agosto de 2010, em:

http://serc.carleton.edu/microbelife/extreme/extremeheat/yellowstone/general_collection

Vasques, I. (2010). *Os Principais Grupos de Microrganismos*. Material para complementação dos estudos – Curso de Microbiologia Básica. Capítulo 7. Acedido em: 5 de Maio de 2010, em:

http://profiva.dominiotemporario.com/doc/Micro_apostila1.pdf

LNEG. Acedido em: 19 de Novembro de 2010, em:

http://e-geo.ineti.pt/divulgacao/dossiers_tematicos/vulcanismo.htm (5)

Acedido em: 19 de Novembro de 2010, em:

<http://www.doc.govt.nz/conservation/land-and-freshwater/land/geology/geothermal-systems/> (6)

Acedido em: 13 de Outubro de 2011, em:

http://www.gobiernodecanarias.org/cmayerot/interreg/indice/observatorio_macaronesia/pt/macaronesia/az/azores.html (7)

Acedido em: 13 de Outubro de 2011, em:

http://plasma.national_geographic.com/mapmachime (8)

Vulcanismo. Acedido em: 10 de Outubro de 2011, em:

<http://www.windows2universe.org/earth/interior/volcanism.html&lang=sp> (9)