

VERA ISABEL BARROS ALFAMA

**AVALIAÇÃO DOS PERIGOS GEOLÓGICOS NA ILHA BRAVA
(CABO VERDE): IMPLICAÇÕES PARA O PLANEAMENTO DE
EMERGÊNCIA**



DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DOS AÇORES

2016

VERA ISABEL BARROS ALFAMA

AVALIAÇÃO DOS PERIGOS GEOLÓGICOS NA ILHA BRAVA (CABO VERDE): IMPLICAÇÕES PARA O PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA

TESE APRESENTADA À UNIVERSIDADE DOS AÇORES PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
DOUTOR NO RAMO DE GEOLOGIA, ESPECIALIDADE DE VULCANOLOGIA

ORIENTAÇÃO CIENTÍFICA DE:

DOUTORA MARIA GABRIELA PEREIRA DA SILVA QUEIROZ
INVESTIGADORA PRINCIPAL DA UNIVERSIDADE DOS AÇORES

PROFESSOR DOUTOR JOÃO LUIS ROQUE BAPTISTA GASPAR
PROFESSOR ASSOCIADO COM AGREGAÇÃO DA UNIVERSIDADE DOS AÇORES



DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DOS AÇORES
2016

Aos meus pais, à Celisa e à Kyra

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	IX
AGRADECIMENTOS	XI
RESUMO	XV
ABSTRACT	XIX

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento geográfico	3
1.1.1 O Arquipélago de Cabo Verde	3
1.1.2 A Ilha Brava	5
1.2. Estudos anteriores	7
1.2.1. Os trabalhos pioneiros	8
1.2.2. Os trabalhos clássicos	12
1.2.3. Os trabalhos contemporâneos	16
1.2.4. Monitorização sismovulcânica e a avaliação de perigos	21
1.3. Enquadramento do presente trabalho	25
1.3.1. Contexto do projeto	25
1.3.2. Objetivos do trabalho	27
1.3.3. Área de estudo	28
1.3.4. Estrutura organizacional	30

CAPÍTULO 2. ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DA ILHA BRAVA

2.1. Enquadramento geomorfológico da ilha Brava	35
2.2. Formas e estruturas vulcânicas	40
2.2.1. Caracterização morfométrica	40
2.2.1.1. Metodologia	40
2.2.2. Formas e estruturas vulcânicas da ilha Brava	41
2.2.2.1. Caldeira vulcânica	41
2.2.2.2. Maars (S.L.)	43
2.2.2.3. Cones de escórias	50
2.2.2.4. Domos	52
2.2.2.5. Escoadas lávicas	57
2.2.2.6. Filões	61
2.3. Estruturas tectónicas	62
2.4. Rede hidrográfica	66
2.5. Orla Costeira	69
2.6. Cicatrizes e depósitos de movimentos de vertente	72
2.7. Carta morfoestrutural	76

CAPÍTULO 3. AVALIAÇÃO DO PERIGO SÍSMICO

3.1. Nota prévia	81
3.2. Sismicidade histórica	86
3.2.1. Sismicidade associada a erupções vulcânicas	88
3.2.1.1. Erupção de 1847	89
3.2.1.1.1. Relatos históricos	89
3.2.1.1.2. Actividade sísmica associada	90
3.2.1.1.3. Análise	91
3.2.1.2. Erupção de 1951	91
3.2.1.2.1. Relatos históricos	91
3.2.1.2.2. Actividade sísmica associada	93
3.2.1.2.3. Análise	94
3.2.1.3. Erupção de 1995	95
3.2.1.3.1. Relatos histórico	95
3.2.1.3.2. Actividade sísmica associada	96
3.2.1.3.3. Análise	97
3.2.2. Sismos associados a fenómenos vulcanotectónicos	98
3.2.2.1. Actividade sísmica de Fevereiro de 1944	99
3.2.2.1.1. Relatos históricos	99
3.2.2.1.2. Análise	99
3.2.2.2. Crise sísmica de 1963	99
3.2.2.2.1. Relatos históricos	99
3.2.2.2.2. Análise	100
3.2.2.3. Crise sísmica de Julho de 1985	101
3.2.2.3.1. Relatos históricos	101
3.2.2.3.2. Análise	101
3.2.2.4. Actividade sísmica de 2006	102
3.2.2.4.1. Relatos históricos	102
3.2.2.4.2. Análise	102
3.3. Sismicidade instrumental	103
3.3.1. Redes sismológicas na ilha Brava	103
3.3.1.1. Rede sismológica de Portugal	103
3.3.1.2. Rede sismológica temporária durante a crise sísmica de 1981	105
3.3.1.3. Campanha sismológica de 1994	106
3.3.1.4. Rede de monitorização vulcânica permanente (VIGIL)	107
3.3.1.5. Campanha sísmica da missão do navio alemão M62/3 R/V Meteor	109
3.3.1.6. Campanha sísmica CV-Plume, 2008	110
3.3.1.7. Projecto MIAVITA, de Junho de 2009 a Novembro de 2012	113
3.3.1.8. Projecto MAKAVOL, de Maio de 2008 a Novembro de 2012	114
3.3.1.9. Rede geofísica de Cabo Verde, desde 2011	115
3.4. Discussão	118

CAPÍTULO 4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

4.1. Nota prévia	121
4.2. Perigos vulcânicos	121
4.2.1. Escoadas lávicas	123
4.2.2. Piroclastos de queda	124
4.2.3. Piroclastos de trajetória balística	126
4.2.4. Escoadas piroclásticas	127
4.2.5. Surges	128
4.2.6. Lahars	130
4.2.7. Gases vulcânicos	131
4.3. Depósitos vulcânicos da Brava	133
4.3.1. Metodologia	133
4.3.1.1. Cortes geológicos	133
4.3.1.2. Recolha de amostras	135
4.3.1.3. Análise granulométrica	135
4.3.2. Cortes geológicos	137
4.3.2.1. Corte 1	139
4.3.2.2. Corte 2	141
4.3.2.3. Corte 3	144
4.3.2.4. Corte 4	146
4.3.2.5. Corte 5	148
4.3.2.6. Corte 6	151
4.3.2.7. Corte 7	153
4.3.2.8. Corte 8	155
4.3.2.9. Corte 9	157
4.3.2.10. Corte 10	161
4.3.2.11. Corte 11	163
4.3.2.12. Corte 12	165
4.3.3. Caracterização dos grupos litológicos da ilha Brava	167
4.3.3.1. Depósitos piroclásticos de fluxo	167
4.3.3.1.1. Características gerais que definem a litologia	167
4.3.3.1.2. Depósitos piroclásticos de fluxo na Brava	169
4.3.3.1.2.1. Depósitos piroclásticos de fluxo soldados ou ignimbritos	169
4.3.3.1.2.2. Depósitos piroclásticos de fluxo não soldados	173
4.3.3.1.2.3. Depósitos piroclásticos de fluxo com estratificação entrecruzada ou <i>surges</i>	175
4.3.3.2. Depósitos piroclásticos de queda	177
4.3.3.2.1. Características gerais que definem a litologia	177
4.3.3.2.2. Depósitos piroclásticos de queda na Brava	178
4.3.3.2.3. Depósitos piroclásticos de queda com estratificação planar	178
4.3.3.2.4. Depósitos piroclásticos de queda sem estratificação	180
4.3.3.3. Depósitos piroclásticos e de escoadas lávicas basálticos	181
4.3.3.3.1. Características gerais que definem a litologia	181

4.3.3.3.2. Depósitos piroclásticos e de escoadas lávicas basálticos na Brava	182
4.3.3.4. Depósitos piroclásticos e de escoadas lávicas carbonatíticos	184
4.3.3.3.1. Características gerais que definem a litologia	184
4.3.3.3.2. Depósitos piroclásticos e de escoadas lávicas carbonatíticos na Brava	184
4.3.3.5. Domos fonolíticos	187
4.3.3.3.1. Características gerais que definem a litologia	187
4.3.3.3.2. Domos fonolíticos na Brava	187
4.4. Caracterização dos estilos eruptivos na ilha Brava	189
4.4.1. Nota prévia	189
4.4.2. Erupções havaianas	190
4.4.3. Erupções estrombolianas	192
4.4.4. Erupções pliniana e subplinianas	192
4.4.5. Erupções surtseianas	194
4.4.6. Erupções hidrovulcânicas	195
4.5. Perigos vulcânicos na ilha Brava	197
4.5.1. Nota prévia	197
4.5.2. Escoadas lávicas	197
4.5.3. Escoadas piroclásticas e <i>surges</i>	198
4.5.4. Piroclastos de queda	199
4.5.4.1. Lapilli e cinzas de queda	199
4.5.4.2. Projéteis de trajetória balística	200
4.5.5. Lahars	200
4.5.6. Gases vulcânicos	201
4.6. Avaliação da susceptibilidade à queda de piroclastos	205
4.6.1. Nota prévia	205
4.6.2. Modelação de piroclastos de queda	206
4.6.3. Modelação da susceptibilidade de queda de piroclastos na ilha Brava	210
4.6.3.1. Seleção do modelo de simulação	210
4.6.3.2. Caracterização e determinação dos parâmetros utilizados	211
4.6.3.3. Apresentação e discussão dos resultados para a queda de piroclastos	219
4.6.3.3.1. Estação húmida	219
4.6.3.3.2. Estação seca	224
5. VULNERABILIDADES	
5.1. Nota prévia	233
5.2. Caracterização geral dos elementos de vulnerabilidade na ilha Brava	233
5.2.1. População	234
5.2.2. Edificado	235
5.2.2.1. Metodologia de trabalho	235
5.2.3. Infraestruturas básicas	238
5.2.3.1. Redes de transportes	238
5.2.3.1.1. Terrestre	238
5.2.3.1.2. Marítimo	241
5.2.3.1.3. Aéreo	242

5.2.3.2. Redes de distribuição	242
5.2.3.2.1. Rede de água	242
5.2.3.2.2. Rede de energia	244
5.2.3.3. Redes de telecomunicações	244
5.2.3.4. Estruturas de saúde	245
5.3. Vulnerabilidade do edificado ao perigo sísmico	246
5.3.1. Nota prévia	246
5.3.2. Vulnerabilidade do edificado	248
5.3.2.1. Metodologia	248
5.3.2.2. Resultados obtidos	253
5.3.2.3. Discussão dos resultados	260
5.4. Vulnerabilidade aos perigos vulcânicos	262
5.4.1. Vulnerabilidade da população	262
5.4.2. Vulnerabilidade das infraestruturas	264
5.4.3. Vulnerabilidade do edificado	266
5.4.3.1. Nota prévia	266
5.4.3.1.1. Escoadas lávicas	268
5.4.3.1.2. Piroclastos de queda	268
5.4.3.1.3. Escoadas piroclásticas e surges	270
5.4.3.1.4. Lahars	271
5.4.3.1.5. Gases vulcânicos	271
5.4.3.2. Metodologia	271
5.4.3.3. Apresentação dos resultados	272
5.4.3.3.1. Telhado	272
5.4.3.3.1.1. Tipo de material de suporte do telhado	272
5.4.3.3.1.2. Inclinação do telhado	274
5.4.3.4. Discussão dos resultados	275
 6. PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA	
6.1. Proteção civil: aspectos gerais do planeamento de emergência	281
6.2. Caracterização do Sistema Nacional de Proteção Civil	284
6.2.1. Constituição	284
6.2.2. Enquadramento legal	287
6.2.3. Estrutura do Sistema Nacional de Proteção Civil e Bombeiros	290
6.2.3.1. Direção e coordenação da política de proteção civil	290
6.2.3.2. Conselho Nacional de Proteção Civil	291
6.2.3.3. Execução da política de proteção civil	293
6.2.3.4. Serviço Nacional de Proteção Civil e Bombeiros (SNPCB)	293
6.2.3.5. Serviço Municipal de Proteção Civil (SMPC)	297
6.2.3.6. Serviço Municipal de Proteção Civil na Ilha Brava	301
6.3. Planeamento de emergência	303
6.3.1. Elaboração de planos de emergência	304
6.3.2. Plano de emergência da ilha Brava	308

6.4. Capacidade de resposta	310
6.4.1. Nota prévia	310
6.4.2. Capacidade de resposta na ilha Brava	312
6.4.3 Planeamento de emergência durante a erupção vulcânica de 2014 na ilha do Fogo	313
6.4.3.1. Cronologia da Erupção vulcânica de 2014 na ilha do Fogo	313
6.4.3.2. Capacidade de resposta do Serviço Nacional de Protecção Civil	316
6.4.3.3. Considerações	322
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	329
BIBLIOGRAFIA	341
 ANEXOS	
ANEXO I - Parâmetros morfométricos das estruturas vulcânicas da ilha Brava	A-1
ANEXO II – Notícias sobre a ocorrência de sismos na ilha brava - Trechos de jornais consultados, impressos e <i>online</i>	A-7
ANEXO III - Eventos Sísmicos ocorridos na ilha Brava	A-21
ANEXO IV - Análises granulométricas	A-37
ANEXO V – Escala Macrossísmica Europeia 1998	A-43
ANEXO VI - Parâmetros críticos a considerar para cada fenómeno vulcânico para a análise de vulnerabilidade, de carácter geral	A-47

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1.1. Localização geográfica do arquipélago de Cabo Verde.	3
Figura 1.2. Distribuição das ilhas de Cabo Verde nos três pedestais.	4
Figura 1.3. Relevo e batimetria do Arquipélago de Cabo Verde (Ramalho, 2009).	5
Figura 1.4. Localização geográfica da Ilha Brava e dos Ilhéus Secos ou Rombo no Arquipélago de Cabo Verde.	6
Figura 1.5. Imagem 3D das ilhas do Fogo e Brava vista de sudeste, baseada na batimetria obtida no cruzeiro M62/3 (Masson <i>et al.</i> , 2008).	6
Figura 1.6. Mapa da parte sul da ilha de Santiago desenhado pela tripulação do Beagle e legendado por Darwin (Vala, 2009).	11

Capítulo II

Figura 2.1. Exemplos que representam o contraste geomorfológico que existe entre as ilhas de Cabo Verde.	36
Figura 2.2. Morfologia da Ilha Brava vista da ilha do Fogo.	37
Figura 2.3. Mapa hipsométrico da ilha Brava.	37
Figura 2.4. Perfis topográficos da ilha Brava: a) perfil N-S e b) perfil W-E.	38
Figura 2.5. Carta de declives da Ilha Brava.	39
Figura 2.6. Dimensões de um cone de escórias segundo a) (Settle, 1979); b) (Wood, 1980a).	41
Figura 2.7. Esboço da caldeira de Campo Baixo.	42
Figura 2.8. Caldeira de Campo Baixo: a) lados norte e este, vistos do lado Sul da ilha; b) lado este visto do lado Oeste da ilha; c) Lados norte e oeste vistos do lado sul da ilha; d) lado sul visto de Mato Grande, também se observa a escarpa do Vigia.	43
Figura 2.9. Esquema simplificado da morfologia dos diferentes tipos de <i>maars</i> (s.l.) (adaptado de Cas e Wright, 1987 in Queiroz, 1997).	44

Figura 2.10.

Secção de um *maar* assimétrico com características mistas de *maar* (s.s) (1), anel de tufos (2) e cone de tufos (3) (Ficher e Schmincke, 1984). 45

Figura 2.11.

Esboço dos *maars* (s.l.) cartografados na ilha Brava. 46

Figura 2.12.

Aspetto de alguns *maars* (s.l.): a) Covoada vista do Miradouro de Mato Grande; b) Cova Joana vista de Mato; c) Panorâmica do Fundo Baixo vista do Monte Fontainhas. 47

Figura 2.13.

Diagrama Wcr vs Dcr para os *maars* da ilha Brava. 49

Figura 2.14.

Esboço do cone de escórias existente na ilha Brava. 51

Figura 2.15.

Cone de escórias do Monte Alcatraz, visto do Monte Largo (a) e visto do Monte Miranda (b). 51

Figura 2.16.

Esboço dos domos fonolíticos existentes na ilha Brava. 53

Figura 2.17.

Domos fonolíticos: **a)** Morro das Pedras (localizado no flanco sul da ilha); **b)** Morro Figueiral (F) (perto de Fajã d'Água); **c)** Monte Miranda (Cachaço); **d)** Domos dismantelados pela erosão costeira, como são o caso de Ponta Cajau Grande (G), à direita, e Monte Pesqueiro (G), à esquerda (perto de Fajã d'Água). 53

Figura 2.18.

Diagrama Hco vs W_{co} para os domos da ilha Brava. 56

Figura 2.19.

Afloramentos de escoadas lávicas basálticas na localidade de Furna. a) Lavas intercaladas e cobertas por escoadas piroclásticas; e b) Escoada lávica por cima de depósitos de areia da praia. 58

Figura 2.20.

Escoadas lávicas com disjunção prismática: a) Lombo de Porco/Vigia visto de Monte Grande; b) Escoadas lávicas com disjunção colunar vistas de Porto de Ancião; c) com disjunção prismática em Portete e d) Lombo de Porco/Vigia visto de Palhal. 59

Figura 2.21.

Lavas submarinas: **a)** Lavas submarinas, Portete; b) Lavas submarinas, Esparadinha. 60

Figura 2.22.

Escoadas lávicas carbonatíticas, **a)** na estrada do Cachaço associada a uma camada de piroclastos carbonatíticos; **b)** junto ao reservatório de água do Cachaço. 61

Figura 2.23.

Afloramentos de hialoclastitos cortados por filões: **a)** Filões expostos (Fajã d'Água); **b)** Filões cortando depósitos de hialoclastitos (estrada Fajã d'Água); **c)** e **d)** Redes filonianas, Fajã d'Água e Portete. 62

Figura 2.24.

Esboço de estruturas tectónicas da ilha Brava. 63

Figura 2.25.

Caixas de falhas de pequena escala observadas na estrada para Fajã d'Água. **a)** Afloramento de plano de falha exposto pela erosão na estrada para Fajã d'Água (fraturas a cortar uma série piroclástica freatomagmáticas da unidade superior); **b)** caixas de falha com material muito fraturado e caótico. 64

Figura 2.26. Escarpa de falha do Vigia.	65
Figura 2.27. Modelo digital de terreno representando a rede de drenagem da Brava. . Cicatrizes de movimentos de vertentes provocados por elevada precipitação e por instabilidade gravitacional: a) Fajã d'Água; b) Fajã d'Água; c) Mato Grande e d) Estrada para Fajã d'Água.	66
Figura 2.28. Vista geral das principais ribeiras da ilha Brava: a) Ribeira de Aguada; b) Ribeira de Ferreiros; c) Ribeira de Fajã d'Água e d) Ribeira dos Moinhos.	67
Figura 2.29. Captações de água de nascentes: a) nascente do Vinagre e b) galeria de captação de água na nascente do Vinagre.	69
Figura 2.30. Arribas costeiras: a) Arribas alcantiladas em Ferreiros; b) Vista geral das arribas costeiras da Fajã d'Água; c) Depósitos de antigos níveis de cascalheira de praia, Fajã d'Água; e d) Depósitos de antigos níveis de cascalheira de praia por cima de hialoclastitos na estrada de Fajã d'Água.	70
Figura 2.31. Litoral na ilha Brava: a) praias de areias, Ilhéus; b) Praias de calhaus rolados, arribas costeiras íngremes, Furna; c) Praias de calhaus rolados, arribas costeiras íngremes e vale terminal, Ancião; d) praias de calhaus rolados em Fajã d'Água.	71
Figura 2.32. Litoral no Ilhéu Grande com praias (c e d) e arribas (a e b).	72
Figura 2.33. Cicatrizes de movimentos de vertentes provocados por elevada precipitação e por instabilidade gravitacional: a) Fajã d'Água; b) Fajã d'Água; c) Mato Grande e d) Estrada para Fajã d'Água.	73
Figura 2.34. Movimentos de massa observados na região de Fajã d'Água (canto superior direito projeção estereográfica das fraturas da arriba a norte da Baía da Fajã d'Água e no canto superior esquerdo localização da área representada no mapa da ilha).	74
Figura 2.35. Depósitos de vertente na zona de Fajã d'Água: a) Depósitos de vertentes intercalados com depósitos de fluxo e b) evidências de desabamentos de rochas.	75
Figura 2.36. Movimentos de massa descritos na região de Portete-Tantum (canto superior direito a figura indica a localização da área representada no mapa da ilha).	75
Figura 2.37. Carta morfoestrutural da ilha Brava com estruturas vulcânicas e tectónicas.	77

Capítulo III

Figura 3.1. Sismicidade instrumental registado na região do arquipélago de Cabo Verde tendo em conta dados do ISC para o período de 1900-2012 (NEIC – ISC Bulletin).	83
Figura 3.2. Informação macrossísmica no arquipélago de Cabo Verde, para o período de 1941-1954 (Matias <i>et al.</i> , 1997).	84

Figura 3.3. Intensidades máximas observadas entre 1947 e 1954 disponíveis para as ilhas Fogo, Brava, Santo Antão e S. Vicente (Anuário Sismológico de Portugal; Ferreira, 1956; Mendes, 1956).	104
Figura 3.4. A crise sísmica de 1981: carta de isossistas, área epicentral e localização das estações (Matias et al., 1997 adaptado de Pires e Neves, 1981).	106
Figura 3.5. Rede de monitorização vulcânica permanente das ilhas do Fogo e Brava (VIGIL) (Heleno, 2003).	107
Figura 3.6. Distribuição dos epicentros dos eventos do primeiro grupo (pontos vermelhos). Os pontos pretos referem-se a eventos registados anteriormente a Março de 2001. As circunferências (cor de laranja) centradas em BCCH e de raios iguais à distância epicentral média dos eventos do segundo grupo, respectivamente 6,5 e 11,5 Km (<i>in</i> Faria, 2010).	109
Figura 3.7. Batimetria da faixa mapeada pelo Meteor R/V: os pontos vermelhos marcam os sismos locais registados e o ponto verde representa o epicentro do evento (Grevemeyer <i>et al.</i> , 2009).	110
Figura 3.8. Localização das estações BB instaladas no âmbito da campanha CVPLUME (Vales <i>et al.</i> , 2010).	111
Figura 3.9. Distribuição epicentral dos sismos registados durante a campanha CVPLUMME (Vales <i>et al.</i> , 2010).	112
Figura 3.10. Detalhe da distribuição epicentral (zona sudoeste, ilhas Brava e Fogo) dos sismos registados durante a campanha CV-PLUME (Vales <i>et al.</i> , 2010).	113
Figura 3.11. Mapa da rede de monitorização sísmica do vulcão do Fogo, indicando igualmente a rede de telemetria entre Brava, Fogo e Santiago.	114
Figura 3.12. Localização geográfica das estações sísmicas da sub-rede Fogo e Brava (Faria & Fonseca, 2014).	116
Figura 3.13. Aspecto geral (a) e detalhe (b) da distribuição epicentral dos sismos registados na ou perto da Brava entre Setembro de 2011 e Maio de 2013. Projecção dos hipocentros num corte de direcção S-N (c); e num corte de direcção W-E (d) (<i>in</i> Faria e Fonseca, 2014).	117

Capítulo IV

Figura 4.1. Medição da espessura dos níveis que compõem um depósito de queda no interior da caldeira Campo Baixo.	134
Figura 4.2. Localização dos cortes geológicos realizados na ilha Brava.	135
Figura 4.3. Aspeto geral do depósito do corte 1: a) Esquema do corte 1; b) Sequência de depósitos no corte 1.	141
Figura 4.4. Aspeto geral do depósito do corte 2: a) Esboço do corte; b) Sequência de depósitos no corte 2.	143

Figura 4.5.	Aspeto geral do depósito do corte 3: a) Esboço do corte; b) Sequência de depósitos no corte 3.	145
Figura 4.6.	Aspeto geral do depósito do corte 4: a) Esboço do corte; b) Sequência de depósitos no corte 4.	148
Figura 4.7.	Aspeto geral do depósito do corte 5: letras a) Esboço do corte; b) Sequência de depósitos no corte 5.	150
Figura 4.8.	Aspeto geral do depósito do corte 6: a) Esquema do corte 6; b) Sequência de depósitos no corte 6.	152
Figura 4.9.	Aspeto geral do depósito do corte 7: a) Esquema do corte 7; b) Sequência de depósitos no corte 7.	154
Figura 4.10.	Aspeto geral do depósito do corte 8: a) Esquema do corte 8; b) Sequência de depósitos no corte 8.	156
Figura 4.11.	Aspeto geral do depósito do corte 9: a) Esquema do corte 9; b) Sequência de depósitos no corte 9.	159
Figura 4.12.	Histogramas de análises granulométricas: a) amostra BRS-8; b) amostra BRS-9; c) amostra BRS-10.	160
Figura 4.13.	Aspeto geral do depósito do corte 10: a) Esquema do corte 10; b) Sequência de depósitos no corte 10.	162
Figura 4.14.	Aspeto geral do depósito do corte 11: a) Esquema do corte 11; b) Sequência de depósitos no corte 11.	164
Figura 4.15.	Histograma da análise granulométrica da amostra BRS-14.	165
Figura 4.16.	Aspeto geral do depósito do corte 12: a) Esquema do corte 12; b) Sequência de depósitos no corte 12.	166
Figura 4.17.	Depósitos de Ignimbrito da Furna (ao logo da estrada Furna – Nova Sintra. a) Aspecto geral de um depósito; b) Pormenor do tamanho dos líticos; c) Pormenor de líticos com dimensões e composição diferente; d) Unidades maciças; e) Unidades estratificadas com ondulações; e f) Pormenor da escoada piroclástica de cor amarelada cortada por uma falha.	170
Figura 4.18.	Depósitos de Ignimbrito da Porca: a) Aspecto estratificado dos depósitos, na estrada para Cachaço entre os cortes C3 e C4; b) <i>Fumarolic pipes</i> , na estrada para Cachaço entre os cortes C3 e C4; c) aspecto muito compacto de um depósito, na estrada para Cachaço à frente do corte C4; d) presença de cristais de anfíbolos ou piroxenas, na estrada para Fajã d'Água; e) Depósitos de surges associados, na estrada para Cachaço no corte C3; f) Depósitos localizados na vertente sul da caldeira de Campo Baixo.	172
Figura 4.19.	Histogramas da análise granulométrica da amostra BRS-18.	173
Figura 4.20.	Depósitos de escoadas piroclásticas: a) Depósitos de escoadas piroclásticas observadas na base do domo Cachaço, próximo do Corte C3; b) Visão geral das escoadas piroclásticas em bancadas, na estrada para Fajã d'Água; c) Pormenor de uma escoada onde observam-se líticos grandes e escuros, na estrada para Fajã d'Água; d) Falha a cortar os depósitos, na estrada para Fajã d'Água junto à localidade de Figueiral; e) Aspeto geral dos depósitos de fluxo piroclástico com <i>lag breccia</i> , na estrada para Fajã d'Água; f) Pormenor do material dos <i>lag breccia</i> , na estrada para Fajã d'Água.	174

Figura 4.21.

Depósitos de *surges*: a) visão global dos depósitos na estrada para Fajã d'Água; b) pormenor dos depósitos de níveis de cinzas e lapilli estratificados com grandes líticos escuros, Fajã d'Água; c) depósitos de *surges* na base de ignimbritos, Campo da Porca (corte C3); d) Lapilli de acreção associados a *surges*, estrada para Fajã d'Água; e) depósitos de *surges* associados a lapilli de queda com figuras de carga, estrada para Fajã d'Água; e f) pormenor de *surges* compactados na estrada Furna-Nova Sintra.

176

Figura 4.22.

Depósitos piroclásticos de queda com níveis de cinzas e lapilli estratificados: a) Aspeto geral dos depósitos, na caldeira do Campo Baixo, corte C9; b) Presença de *grain flow* em alguns depósitos, na estrada para Fajã d'Água; c) Depósitos pomíticos de queda associados a depósitos de *surges*, na estrada para Fajã d'Água; d) Figuras de carga em depósitos de queda, na estrada para Fajã d'Água; e) Lapilli de acreção, na estrada para Fajã d'Água; f) Pormenor do solo e dos níveis de cinzas e lapilli pomíticos, na estrada para Palhal, corte 11.

179

Figura 4.23.

Depósitos piroclásticos de queda sem estratificação: a) Aspecto geral de um depósito, na estrada para Cachaço, corte C7; b) Pormenor de líticos poligenéticos de dimensões variáveis, na estrada para Cachaço, corte C7; c) Depósito com lítico de dimensões métricas a destacar-se, na estrada para Cachaço, corte C7; d) Níveis de solos a intercalar níveis pomíticos, na estrada para Cachaço, corte C2; e) Presença de falhas a cortar depósitos, na estrada para Cachaço nas proximidades do corte C7; f) Presença de material remobilizado na base do depósito, na estrada para Cachaço nas proximidades do corte C7.

181

Figura 4.24.

Depósitos basálticos: a) Depósitos de *surges* basálticos, Campo da Porca (corte C3); b) Figuras de carga de natureza basáltica, Campo da Porca (corte C3); c) Nível de areias basálticas finas, Campo da Porca (corte C3); d) Depósitos piroclásticos basálticos, na estrada para Cachaço (corte C8); e, e) Depósitos basálticos de origem hidromagmática, nas proximidades do corte C11 na parede oeste da caldeira do Campo Baixo em Tomé Barrás.

184

Figura 4.25.

Depósitos carbonatíticos que ocorrem na Ilha Brava: a) Aspeto geral do depósito de piroclastos carbonatíticos, estrada para Mato Grande. b) Pormenor do depósito com líticos de natureza e dimensão variada, mesmo afloramento, estrada para Mato Grande; c) Escuada lávica carbonatítica, Santa Bárbara; d) Vista geral do depósito carbonatítico na base do domo Cachaço; e) Aspecto da provável escuada lávica, base do domo Cachaço; f) Pormenor do lapilli carbonatítico, base do domo Cachaço.

186

Figura 4.26.

Domos fonolíticos: a) Domo Cachaço ou Mamana, na parte sul da ilha; b) Aspeto do domo Morro Figueiral, lado oeste da ilha; c) Aspeto geral dos *crumble breccia* observados nos flancos do domo Morro Largo, na parte sul da ilha; b) Pormenor dos *crumble breccia* observados no topo do Morro Largo.

188

Figura 4.27.

Classificação da atividade vulcânica proposta por Walker (1973) in Cas e Wright (1988).

190

Figura 4.28.

Mapa de distribuição espacial da emissão de CO₂ difuso para a ilha Brava com as estruturas vulcânico-tectónicas definidas por Madeira *et al.* (2010) (Dionis *et al.*, 2015).

203

Figura 4.29.

Rosas-dos-ventos para a estação seca para altitudes de 25km, 15km e 5Km.

216

Figura 4.30.

Rosas-dos-ventos para a estação húmida para altitudes de 25km, 15km e 5Km.

218

Figura 4.31.

Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação húmida tendo em conta os valores de 0,1Km³ de volume e 10.000m de altura da coluna eruptiva.

220

Figura 4.32.

Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação húmida tendo em conta os valores de $0,1\text{Km}^3$ de volume e 25.000m de altura da coluna eruptiva. 221

Figura 4.33.

Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação húmida tendo em conta os valores de 1Km^3 de volume e 10.000m de altura da coluna eruptiva. 222

Figura 4.34.

Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação húmida tendo em conta os valores de 1Km^3 de volume e 25.000m de altura da coluna eruptiva. 223

Figura 4.35.

Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação seca tendo em conta os valores de $0,1\text{Km}^3$ de volume e 10.000m de altura da coluna eruptiva. 225

Figura 4.36.

Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação seca tendo em conta os valores de $0,1\text{Km}^3$ de volume e 25.000m de altura da coluna eruptiva. 226

Figura 4.37.

Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação seca tendo em conta os valores de 1Km^3 de volume e 10.000m de altura da coluna eruptiva. 227

Figura 4.38.

Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação seca tendo em conta os valores de 1Km^3 de volume e 25.000m de altura da coluna eruptiva. 228

Capítulo V

Figura 5.1.

Mapa de freguesias da Ilha Brava. 233

Figura 5.2.

Mapa do levantamento do edificado feito nos maiores povoados da ilha Brava. 235

Figura 5.3.

Quantidade de edifícios, por categoria, em cada localidade. 237

Figura 5.4.

Rede viária proposta na Planta de Ordenamento e distâncias de cada estrada e caminho (PDM Brava, 2013) 239

Figura 5.5.

Ficha-tipo do inquérito para as vulnerabilidades do edificado. 252

Figura 5.6.

Percentagem de edifícios existentes no concelho de acordo com as diferentes classes de vulnerabilidade definidas. 253

Figura 5.7.

Distribuição do edificado segundo as classes de vulnerabilidade ao perigo sísmico nas localidades estudadas na ilha Brava. 255

Capítulo VI

Figura 6.1.

Esquema do ciclo das catástrofes (Anderson, 2006). 283

Figura 6.2. Etapas da elaboração de um plano de emergência.	305
Figura 6.3. Imagens da erupção de 2014-15 na ilha do Fogo: a) Aspecto da erupção nas primeiras horas; b) Aspeto do avanço das lavas na localidade de Portela.	315
Figura 6.4. Aspecto das escoadas lávicas que destruíram as localidades de Portela e Bangaeira: a) Aspeto das escoadas de lavas junto à Adega Chã em Portela; b) Aspecto da destruição ocorrida e Bangaeira.	316
Figura 6.5 Escuada lávica em Ilhéu de Losna: a) Aspecto da fluidez da lava; f) Aspecto da destruição provocada pelas escoadas lávicas neste povoado.	317
Figura 6.6. Evacuação da população de Chã das Caldeiras.	31

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo II

Tabela 2. 1. Características fisiográficas das ilhas de Cabo Verde (Bebiano, 1932)	35
Tabela 2. 2. Parâmetros morfométricos dos <i>maars</i> (s.l.) na ilha Brava	48
Tabela 2. 3. Parâmetros morfométricos dos domos	54

Capítulo III

Tabela 3. 1. Classificação e frequência anual mundial de sismos com diferentes magnitudes (Lee e Stewart, 1981; Gomes, 2003).	81
Tabela 3.2 Exemplos de sismos devastadores da história da humanidade (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/).	82

Capítulo IV

Tabela 4.1. Frequência e distâncias atingidas pelos diferentes perigos vulcânicos diretos (adaptado de Blong, 1984).	123
Tabela 4.2. Coordenadas geográficas dos cortes geológicos realizados na Brava.	133
Tabela 4.3. Correlação entre as amostras e os cortes.	135
Tabela 4.4. Resultados da amostragem da concentração de CO ₂ na ilha Brava.	202
Tabela 4.5. Dados dos ventos, para cada parâmetro necessário, da estação seca.	215
Tabela 4.6. Dados dos ventos, para cada parâmetro necessário, da estação húmida.	216

Capítulo V

Tabela 5.1. Número de edifícios segundo a respetiva categoria.	236
Tabela 5.2. Tabela de medições de reservatórios de água na ilha Brava (tabela cedida pela empresa Água Brava através do seu representante na ilha Brava em 2010).	242
Tabela 5.3. Descrição das tipologias das habitações para cada uma das classes de vulnerabilidades definida para a ilha Brava (adaptado de Gomes, 2003).	250

Tabela 5.4. Correspondência entre o tipo de intervenção a efetuar e os níveis de danos definidos pela EMS-98 (adaptado de Gomes, 2003).	251
Tabela 5.5. Discriminação, por localidade, dos edifícios pertencentes a cada classe de vulnerabilidade	253
Tabela 5.6. Número de habitações em cada freguesia que podem sofrer danos provocados por um sismo de grau V considerando dois cenários (EMS-98).	256
Tabela 5.7. Número de habitações em cada localidade que podem sofrer danos provocados por um sismo de grau VII considerando dois cenários (EMS-98).	258
Tabela 5.8. Danos em edifícios associados a perigos vulcânicos (Blong, 1984; Pomonis <i>et al.</i> , 1999).	266
Tabela 5.9. Efeitos da queda de piroclastos de algumas erupções nos edifícios.	268
Tabela 5.10. Descodificação dos parâmetros da ficha-tipo utilizada no inquérito para o levantamento das vulnerabilidades do edificado.	271
Tabela 5.11. Quantidade de edifícios relativamente ao tipo de material de suporte do telhado para cada uma das localidades em estudo.	272
Tabela 5.12. Quantidade de edifícios relativamente à inclinação do telhado para cada uma das localidades em estudo.	274
Tabela 5.13. Quantidade de edifícios relativamente à inclinação do telhado para valores diferentes em cada uma das localidades em estudo.	274

AGRADECIMENTOS

A conclusão do doutoramento proporcionou-me um enriquecimento ímpar do conhecimento tanto em termos intelectuais como pessoais. Por isso agradeço a Deus todas as oportunidades de aprendizagem que pude experimentar, inclusive as mais duras provas de ordem pessoal.

A concretização deste trabalho dependeu do sacrifício daqueles que me rodeiam, alguns dos quais dependem de mim. Por isso, antes de mais, as minhas palavras são para eles, por todo o esforço que lhes exigi, as minhas desculpas pelos transtornos causados e pelas horas subtraídas ao convívio familiar. Um especial agradecimento aos meus pais, filha e irmãos, pelo apoio incondicional, incentivo, paciência e confiança que sempre depositaram em mim. Foram, são e serão sempre o meu “*porto de abrigo*”.

No entanto, não posso deixar de agradecer pessoas e instituições que tiveram um papel importante na elaboração deste trabalho:

- À Prof^a. Doutora Gabriela Queiroz, Orientadora Científica deste trabalho, exprimo a minha gratidão pelo incentivo, atenção, paciência, disponibilidade, sobretudo pela sua deslocação a Cabo Verde para me acompanhar nos trabalhos de campo, suas valiosas sugestões para a organização e conteúdo deste trabalho, partilha de conhecimentos, apoio, amizade e carinho que sempre demonstrou e pela criação de todas as condições para a concretização deste trabalho enquanto Directora do Centro De Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos;
- Ao Prof. Doutor João Luís Gaspar, Coorientador Científico desta dissertação, pela ajuda nos trabalhos de campo, debate de ideias, sugestões, disponibilidade, e em especial pela amizade e carinho com que sempre me acolheu;
- À Professora Doutora Teresa Ferreira, pela criação de todas as condições para a concretização deste trabalho, cedência de bibliografia e em especial pela amizade e carinho demonstrados;
- Ao Prof. Doutor José Pacheco pela ajuda e disponibilidade na campanha de campo em 2013, pela ajuda em todas as questões e dúvidas sobre o programa de simulação de queda de cinzas VORIS, pelas explicações e dicas relativas ao VORIS, pela cedência de bibliografia, pela revisão do texto e pelo carinho e amizade demonstrados;

- Aos docentes e aos funcionários do Departamento de Geociências e do Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos pelo apoio e carinho com que me acolheram;
- Aos colegas do Departamento de Geociências e do Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos pelo apoio e amizade demonstrados;
- À Ana Rita Mendes pela amizade, pelo apoio incondicional que sempre demonstrou com o programa de simulação de queda de cinzas VORIS e em Sistemas de Informação Geográfica, pela ajuda preciosa nos trabalhos de laboratório e na revisão e organização do texto;
- À colega e amiga Ana Gomes pelo carinho e amizade, pelo apoio e inúmeras ajudas particularmente na revisão do texto e cedência de bibliografia;
- Aos colegas Jeremias Cabral, Ana Rita Hipólito, Rita Carmo, Nuno Cabral e Adriano Pimentel, colegas de gabinete, pela amizade, pelo apoio, cedência de bibliografia e apoio na elaboração do inquérito;
- À Catarina Goulart e José Medeiros pela ajuda nas questões relacionadas com os Sistemas de Informação Geográfica;
- Ao Carlos Primo pelo apoio, carinho e amizade demonstrados e pela paciência em resolver todos os problemas informáticos que foram surgindo no decorrer deste trabalho, alguns inclusive à distância;
- À Patrícia Raposo, Crisálida Rego e Rui Correia pelo carinho com que me acolheram, e por cuidarem tão bem dos assuntos administrativos e burocráticos;
- Aos amigos dos Açores como a Helena Primo (pela amizade, carinho, motivação e pelas nossas conversas e noites de cinema), D. Inácia, Manel, Fernanda Pereira, António Barros, Maria Natal Navarro (pelo acolhimento e amizade), Rose Emília (pela amizade, força e por ter ouvido as minhas lamúrias sempre que precisava), São Quental (pelo acolhimento e amizade);
- Aos amigos cabo-verdianos que fizeram a vida nos Açores ter um cheirinho da minha terra: Ruth Lopes, Kátia Soares, Adilson Tavares, Ermelindo Varela;
- Aos meus amigos e colegas pelo apoio, amizade e incentivo demonstrados, nomeadamente Elyane Dias, Sandra Freire, Nadir Cardoso, Marise Carvalho, Adilson Semedo, Sónia Victória, José Manuel Pereira, Carmem Almada, Ana Maria Hopffer, Sílvia Monteiro, António Fortes, Jair Rodrigues, Cristina Fernandes e Sheila Semedo, Sandra Tavares (amizade e acolhedora receção aquando das estadias em Lisboa) e Vital Santos (pela amizade e cedência de documentação sobre a aviação cabo-verdiana);

- À população da ilha Brava, que sempre recebem com amabilidade os seus visitantes, especialmente à Sandra Andrade e Paulina Delgado (amizade e atenção durante as estadias na Brava), ao Zito (pela ajuda preciosa durante a realização do inquérito), ao Anselmo (pela ajuda nos trabalhos de campo); aos meus tios Danilo e Didi e primos Chico, Lalá, Manuel, Djony, Karen e Isa pelo excelente acolhimento e atenção durante as estadias na Brava e à Câmara Municipal da Brava, nas pessoas do seu presidente Sr. Orlando Bala e do Vereador Francisco Tavares, pela atenção que sempre demonstraram;
- Não poderei também esquecer, todos aqueles cujos nomes, quer pessoas quer instituições, não podemos mencionar, pelo limitado espaço, a simpatia com que se dispuseram prontamente a fornecer importantes referências, documentos e contactos a partir dos quais pude ter acesso às fontes de informação essenciais para o meu trabalho.

Este trabalho foi financiado pelo Protocolo entre o Governo da República de Cabo Verde e o Governo Regional dos Açores através da Direção Regional da Ciência e Tecnologia para a atribuição de Bolsas de Doutoramento, incluído no “Subprograma de Projectos de investigação científica e tecnológica em domínios específicos” do Plano Integrado para a Ciência e Tecnologia (PICT).

RESUMO

O arquipélago de Cabo Verde é frequentemente afetado pela ocorrência de sismos e erupções vulcânicas, o que o torna um laboratório de excelência para o estudo de perigos associados a estes eventos geológicos. Neste contexto, foi selecionada a ilha Brava, caracterizada pela ocorrência frequente de sismos sentidos pela população local e pela existência de vulcanismo considerado ativo, apesar de não ter ocorrido nenhuma erupção histórica desde o seu povoamento. Com este trabalho pretendeu-se contribuir para o estudo da avaliação dos perigos sísmico e vulcânicos numa perspetiva de planeamento de emergência.

Foi feita a caracterização geomorfológica da ilha incidindo-se sobre as estruturas vulcânicas e tectónicas, bem como o estudo da rede hidrográfica, das cicatrizes de movimentos de vertente e da orla costeira, o que culminou com a elaboração da carta morfoestrutural da Brava.

Desde o povoamento da ilha, no século XV, que existem relatos da ocorrência de eventos sísmicos sentidos pela população, que causaram, em alguns casos, danos materiais. Neste trabalho procedeu-se à avaliação do perigo sísmico com base na análise da sismicidade histórica e instrumental. No caso da sismicidade instrumental foi feito o levantamento e análise de documentação histórica, tendo-se procedido à seleção de alguns casos. Utilizando-se a Escala Macrossísmica Europeia-1988 fez-se o estudo macrossísmico dos casos seleccionados. No que respeita à sismicidade instrumental recorreu-se à informação disponível quer de estudos anteriores como oriundos das redes sismológicas que operaram em Cabo Verde, e, em particular, na ilha Brava. Os sismos registados na ilha Brava são de natureza vulcanotectónica ou associados à atividade vulcânica da vizinha ilha do Fogo. Da análise da sismicidade histórica existente constatou-se que a intensidade máxima histórica para a região em estudo foi de VII (EMS-98). Por outro lado, a análise de dados instrumentais, mais concretamente desde 1914, permitiu verificar a ocorrência de eventos de magnitude máxima de 4.2, localizados na plataforma da ilha Brava.

A evidência de diferentes estilos eruptivos e os consequentes perigos vulcânicos foi inferida pelo estudo dos depósitos e morfologias resultantes das erupções ocorridas num

passado geológico recente. Para tal, foram efetuados cortes geológicos que permitiram a definição de grupos litológicos, que possibilitaram a identificação dos estilos eruptivos que ocorreram na Brava. Foram, assim identificados depósitos vulcânicos representativos de erupções tanto submarinas (surtseianas) como subáreas (havaianas, estrombolianas, subplinianas, plinianas e hidromagmáticas). Para cada estilo eruptivo foram analisados os diferentes perigos vulcânicos associados. Com base nos dados recolhidos fez-se um estudo sobre a suscetibilidade à queda de piroclastos na ilha Brava, tendo-se efetuado a abordagem aos modelos de simulações de queda de piroclastos existentes. Atendendo aos diversos parâmetros aferidos e necessários para a modelação optou-se pelo modelo probabilístico VORIS (**VO**lcanic **R**isk **I**nformation **S**ystem).

De modo a analisar os elementos de vulneráveis aos perigos sísmico e vulcânicos procedeu-se à listagem da população, do edificado e das infraestruturas básicas. Para este trabalho optou-se pelo estudo mais aprofundado da vulnerabilidade do edificado, tendo-se realizado um inquérito sobre a qualidade das construções existentes na Brava. Para a vulnerabilidade do edificado ao perigo sísmico foi feita uma classificação das habitações segundo diferentes classes de vulnerabilidade de acordo com a EMS-98, sendo que a classe A é a mais vulnerável e a D a menos vulnerável. Constatou-se que 60% das casas edificadas na ilha pertencem à classe B e 24% da classe C. As classes de maior (A) e menor (D) vulnerabilidade têm menor representatividade na ilha, sendo 15% no caso da classe A e apenas 1% na classe D. Neste contexto, se ocorrer um evento que afete a ilha com intensidade VII (EMS-98), é de esperar que: 14,8% a 15,2% das habitações colapsem; entre 14,9% a 57% sofram sérios danos e que entre 25% e 76,5% dos edifícios poderão precisar de pequenas reparações.

Para o estudo da vulnerabilidade ao perigo vulcânico optou-se por usar os resultados das simulações efetuadas para a susceptibilidade à queda de piroclastos. Foram, então utilizados os fatores que afetam a vulnerabilidade do edificado para este perigo vulcânico (tipo de material de suporte do telhado e inclinação do telhado). Os resultados obtidos indicam que das localidades estudadas, a mais afetada será a de Nossa Senhora do Monte porque o edificado neste povoado apresenta maior vulnerabilidade à queda de piroclastos. Nesta localidade 54,5% de casas possuem telhados cujo material de suporte é de madeira e 52% dos telhados não possuem inclinação, pelo que em ambos os casos os telhados poderão colapsar.

As abordagens utilizadas neste estudo da avaliação dos perigos estudados e da vulnerabilidade do edificado a tais perigos foram orientadas para a vertente do planeamento de emergência. Foram obtidos mapas que poderão constituir uma boa base de trabalho para o planeamento de emergência e a produção de cenários eruptivos passíveis de serem utilizados no âmbito de exercícios de proteção civil.

ABSTRACT

The Cape Verde archipelago is frequently affected by the occurrence of earthquakes and volcanic eruptions, which makes it an excellent lab for the study of hazards associated with these geological events. In this context, It has been selected the Island of Brava, which is characterized by the existence of active volcanism, and for frequently occurring earthquakes felt by the local people, despite of not occurring any historical eruption since its settlement. This work aims to contribute to the study of the assessment of seismic and volcanic hazards in an emergency planning perspective.

To this end, we initially proceeded to the geomorphological characterization of the island focusing on the volcanic and tectonic structures as well as the characterization of the hydrographic network, the scars and landslides and coastal cliffs. This characterization led to the production of the morphostructural map of Brava Island.

Since the settlement of the island in the fifteenth century, there are reports of the occurrence of earthquakes felt by the population which in some cases has caused property damage. A seismic hazard assessment was made based on the analysis on the historical and instrumental seismicity. For historical seismicity, the analysis was based on the information provided by the historical documentation and using the European Macroseismic Scale-1988 for macroseismic study a number of cases were selected. For the analysis of instrumental seismicity it was used the existing information based on previous studies carried out and the existence of seismological networks which have operated on Cape Verde, in general, and in Brava Island, in particular. The earthquakes occurred on Brava Island are volcanotectonic nature or otherwise are associated with volcanic activity of the nearby Fogo Island. From the existing historical seismicity it was verified that the historical maximum intensity (EMS-98) for the region under study was VII. On the other hand, the recent data analysis more precisely the instrumental seismicity since 1914 until the present date, allows to conclude on the occurrence of earthquakes from maximum magnitude of 4.2.

The study of the assessment of volcanic hazards started with the characterization of the existing volcanic deposits on the island, since there were no historical eruptions on the island. Therefore, the evidence for the various eruptive styles and the resulting volcanic hazards are

provided by the study of the deposits and morphologies result from eruptions in a recent geological past. To this end were carried out field works which allowed the elaboration of geological measure sections and the identification and description made of the existing volcanic lithology. Based on the description of the lithological groups carried out, it allowed the identification of eruptive styles that have occurred in Brava which have originated these deposits. The evaluated volcanic deposits represent both submarine eruptions (surtseyan) and subaerial (Hawaiian, Strombolian, Subplinian, Plinian and Hydromagmatic). Thereafter, the volcanic hazards deriving from eruptive styles presented are: lava flows, tephra fallout, pyroclastic flows, *surges*, *lahars* and volcanic gases. To complete the assessment of the volcanic hazards, it was conducted a study of the susceptibility to the tephra fallout through modeling. The approach of the existing models of tephra fallout simulations was taken to explain the model chosen to Brava Island, measured according to several parameters such as necessary for the modeling. Considering to different measured parameters required for the modeling it was chosen the probabilistic model VORIS (Volcanic Risk Information System).

In order to analyze the vulnerabilities to seismic and volcanic hazards we proceeded to assemble of exposed elements (population, buildings and basic infrastructure). For the purpose of this work it was decided to conduct a further study of the buildings vulnerability. An inventory was conducted on the quality of existing buildings in Brava Island. It was chosen the more detailed study of the vulnerability of buildings and was conducted an investigation concerning the quality of the existing constructions on Brava. For buildings vulnerability to seismic hazard it was done a classification of the households using different classes (A to D), and it was verifying that 60% of homes edified on the island belong to the class B, followed by class C with 24%. Higher (A) and lower (D) classes of vulnerability exist in smaller amounts in the island and is 15% to 1%, respectively. In this context, if there is an earthquake with intensity of VII (EMS-98), it is expected that: (1) 14.8% to 15.2% of the households collapse, (2) 14.9% to 57% suffer serious damages and (3) 25% and 76.5% of the buildings may require small repairs.

As for the volcanic hazards vulnerability, it was decided to use the results of the simulations carried out for susceptibility to tephra fallout by using the aspects that affect the vulnerability of the buildings for this volcanic hazard: type of roof support materials and roof pitch. The results obtained indicates that from the localities analyzed, the most affected will be Nossa Senhora do Monte because the buildings in this town stands more vulnerable to tephra fallout.

From the survey carried out the results indicate that this town possesses 54.5% of houses with roofs which the support material is made of wood and 52% of roofs do not have slope in both cases the roofs may collapse.

The approaches used in this study of the evaluation analysis of the hazards and the vulnerability of buildings to those hazards employed in this paper have been oriented towards aspects of emergency planning. In this study it has been obtained maps which might be a good working basis for emergency planning and the production of eruptive scenarios that could be used within the context of civil protection exercises.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

1.1.1 O ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE

As ilhas de Cabo Verde situam-se no Atlântico Central, a cerca de 500 km da costa ocidental Africana e 1400 km a SSW das ilhas Canárias. Em termos geológicos encontra-se na plataforma continental Africana a 2000 km a leste do atual *rift* da crista média atlântica. O arquipélago, composto por 10 ilhas e vários ilhéus, em forma de ferradura aberta para oeste, apresenta uma área total de 4033 km² sendo limitado pelos paralelos 14°48' e 17°13' de latitude norte e 22°42' e 25°22' de longitude oeste de Greenwich (Fig.1.1).

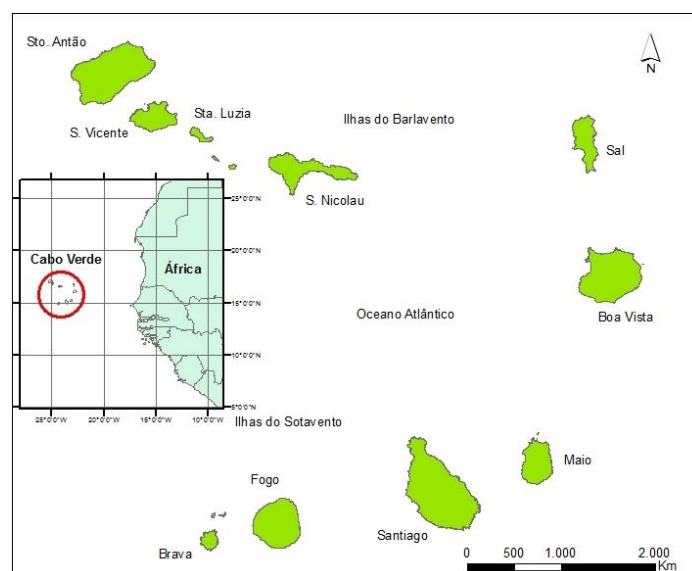


Figura 1. 1. Localização geográfica do arquipélago de Cabo Verde.

Segundo Stiilman *et al.* (1982), Robertson (1984), Pollitz (1991 *in* Holm *et al.*, 2006) a localização do arquipélago numa região elevada do actual fundo oceânico, fazendo parte da “Crista de Cabo Verde” (“*Cape Verde Rise*” ou “*Swell*”) e que pela vizinhança das ilhas corresponde a um domo com cerca de 400 km de largura (Lancelot *et al.*, 1997). O arquipélago encontra-se na antiga litosfera oceânica que aqui apresenta idades de 120-140 Ma (Williams *et al.*, 1990; Müller *et al.*, 2008) e uma espessura de cerca de 85 km (Cazenave *et al.*, 1988). Na vertical das ilhas a espessura da crosta é anormalmente elevada (até 22 km) (Ali *et al.*, 2003; Lodge e Helffrich, 2006), apresentando valores normais (≈ 7 km) entre elas (Pim *et al.*, 2008).

Cabo Verde está enquadrado no grupo das ilhas da Macaronésia, que inclui igualmente os arquipélagos dos Açores, da Madeira e das Canárias e as Ilhas Selvagens, constituído devido às semelhanças no que diz respeito à origem vulcânica, flora, fauna e localização no Oceano Atlântico.

As ilhas são todas de origem vulcânica apresentando, no entanto, características geológicas e geomorfológicas que as diferenciam. São classificadas em dois grupos em função da sua posição relativa à direção dos ventos dominantes de Nordeste: ilhas de Barlavento (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boavista) e ilhas de Sotavento (Maio, Santiago, Fogo e Brava) (ver figura 1.1). De acordo com Bebiano (1932) as ilhas estão agrupadas em três pedestais distintos (Fig. 1.2):

- ✓ Norte - inclui Santo Antão, S. Vicente, Santa Luzia e S. Nicolau e os ilhéus Boi, Pássaros, Branco e Raso;
- ✓ Leste e Sul - abrange Sal, Boa Vista, Maio e Santiago e os ilhéus Rabo de Junco, Curral do Dadó, Fragata, Chano, Baluarte e de Santa Maria;
- ✓ Oeste - compreende Fogo e Brava e os ilhéus Secos ou Rombo.

Ainda segundo este autor, entre as ilhas de S. Nicolau e Sal existe um pedestal secundário, que chega quase a atingir a superfície do Oceano com 80 metros de profundidade.

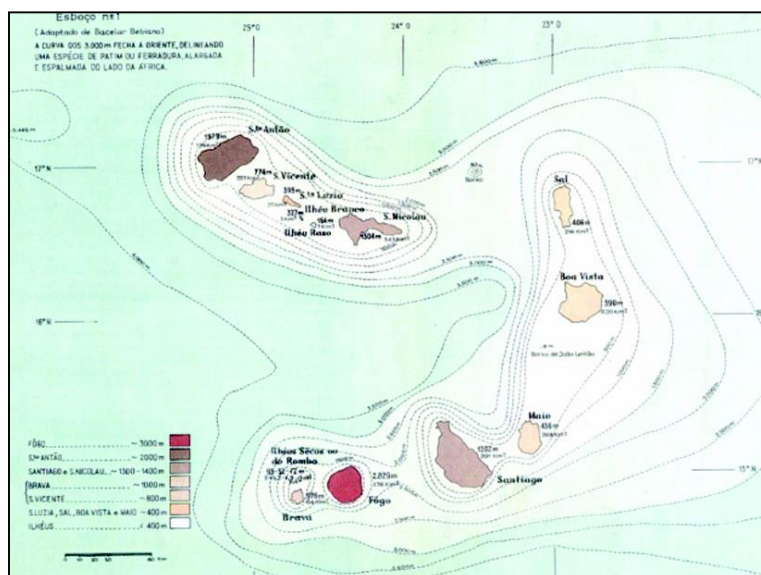


Figura 1. 2. Distribuição das ilhas de Cabo Verde nos três pedestais (Bebiano, 1932).

De acordo com Ramalho (2009), um olhar mais atento sobre a batimetria regional sugere uma divisão diferente com base na coalescência dos pedestais submarinos das ilhas,

considerando, assim, o arquipélago composto por uma "cadeia do norte", que inclui as ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia e São Nicolau, e uma "cadeia de leste-sul", compreendendo Sal, Boa Vista, Maio, Santiago, Fogo e Brava (Fig. 1.3). No entanto, Fogo e Brava formam um edifício em parte individual, porque os seus pedestais coalescem com Santiago ligeiramente acima da isóbata de 300 m, profundidade significativamente maior do que a observada nas restantes ilhas dessa cadeia (Ramalho, 2009). A batimetria revela que vários montes submarinos estão presentes na vizinhança das principais ilhas (Fig. 1.3). Entre os montes submarinos mais importantes que se encontram nas proximidades de Cabo Verde destacam-se: Senghor (~ 100 km a ENE do Sal), Boa Vista e Cabo Verde (ESE de Boa Vista), Maio (S de Maio), Cadamosto (WSW da Brava), e Nola (WNW de Santo Antão).

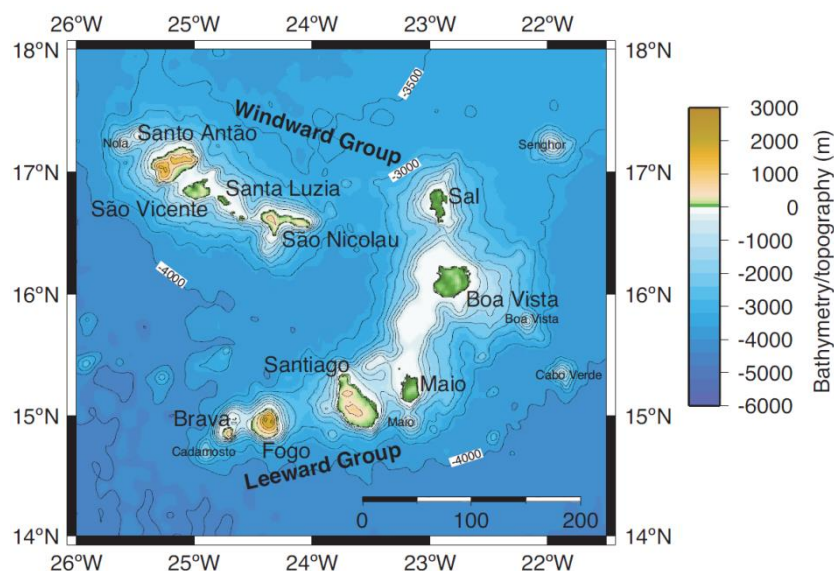
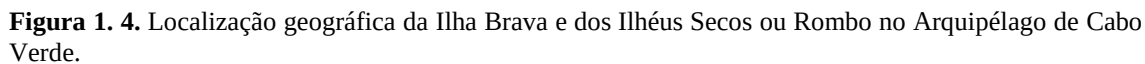


Figura 1. 3. Relevo e batimetria do Arquipélago de Cabo Verde (Ramalho, 2009).

1.1.2 – A ILHA BRAVA

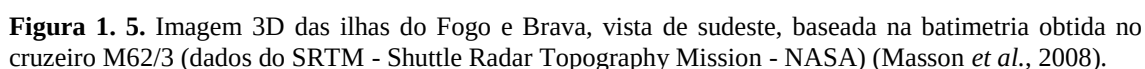
Tal como referido anteriormente, a ilha Brava faz parte do grupo de Sotavento do Arquipélago de Cabo Verde e encontra-se situada no extremo SW (Fig.1.4). É a ilha mais ocidental da cadeia alinhada a NE-SW, que inclui também Maio, Santiago e Fogo.



Ilheus do Rombo

landslide headwall

post-landslide volcano



À distância de 6 km a NNE da ilha Brava existe um grupo de ilhéus denominado Secos ou do Rombo (ver figura 1.4) que compreende os ilhéus Grande, de Cima, de Luís Carneiro, Sapado, Baixinha, Barrete e Boca do Porto, além de muitos escolhos. A área total dos ilhéus pouco excede 3 km².

1.2. ESTUDOS ANTERIORES

Com base na documentação histórica, acredita-se que a Ilha Brava tenha sido descoberta a 24 de Junho de 1461 ou 1462, não existindo, no entanto, um consenso em relação ao seu descobridor, que alguns consideram ter sido António da Noli e outros apontam para Diogo Affonso (Senna Barcelos, 1899). Nessa altura foi apelidada de Ilha de São João devido ao fato de ter sido descoberta no dia de S. João Batista. No entanto, mais tarde foi rebatizada, desta vez com o nome “Brava”, devido ao seu relevo acidentado. João d’Affonseca terá sido o primeiro povoador da Brava (Senna Barcelos, 1899). Ainda de acordo com este autor, a concessão de terras foi, a par dos inúmeros privilégios fiscais, um dos principais incentivos à fixação de colonos, mesmo em áreas inóspitas como a ilha Brava. Apesar disso, o povoamento da ilha Brava só terá sido completado em 1680 devido à ocorrência de sismos e erupções vulcânicas na vizinha ilha do Fogo, que forçaram muitas pessoas a abandonarem as suas casas e a mudarem-se para a Brava.

Embora o arquipélago de Cabo Verde continue sendo geologicamente menos conhecido do que os outros arquipélagos da Macaronésia (Açores, Madeira e Canárias), a natureza específica do seu magmatismo alcalino parece ter sido reconhecida em finais do século XIX. Desde então, os avanços no conhecimento da geologia cabo-verdiana têm sido diminutos, mas significativos. Apesar da incipiente produção historiográfica em termos geológicos em Cabo Verde, considerou-se, de acordo com os dados obtidos, que os estudos sobre a Geologia de Cabo Verde tiveram 3 fases distintas. A primeira, denominada “*os trabalhos pioneiros*” reflete trabalhos que marcaram o início dos estudos geológicos em Cabo Verde. Na segunda fase, “*os estudos clássicos*” distinguem-se os estudos essencialmente sobre a geologia geral de Cabo Verde e continuam a ser atuais. Por fim, a terceira fase, designada dos “*trabalhos contemporâneos*” inclui todos os estudos realizados a partir dos anos 40 até à atualidade. Estes destacam-se pela

diversidade de matérias abordadas e pela produção de uma quantidade significativa de cartografia em diferentes áreas da geologia.

Paralelamente, consideraram-se os trabalhos específicos relacionados com a monitorização sismovulcânica e com a avaliação dos perigos geológicos.

1.2.1. OS TRABALHOS PIONEIROS

Devem-se a Feijó (1784-85), Darwin (1832) e Deville (1848) os primeiros estudos sobre a Geologia de Cabo Verde.

Apesar de as primeiras investigações geológicas terem sido creditadas a Charles Darwin, as primeiras referências aos aspetos físicos e geológicos de Cabo Verde, em geral, e da ilha Brava, em particular, datam do século XVIII e devem-se ao naturalista brasileiro João da Silva Feijó, dos quais se ocupara *in loco* na Missão Científica do Governo Português denominada “Viagem Filosófica”. Esta missão financiada pelo Governo Português tinha como objetivo recolher todo o tipo de dados para a elaboração de um inventário naturalista do arquipélago.

Através de cartas enviadas a um ministro na metrópole, este naturalista apresentou a descrição física de algumas ilhas por onde passou (Maio, Santiago, Brava e Fogo), abordando temas relacionados com mineralogia, hidrologia e geologia. Nessas cartas fez a primeira descrição científica de uma erupção do vulcão do Fogo, ocorrida em 1785.

“Parece que a Providência, pela paixão que tenho ao estudo da mineralogia, quis benigna satisfazer a meus desejos, mostrando-se o horrível espetáculo de uma erupção vulcânica na continuação de minhas viagens filosóficas... qual ela me fez ver na última erupção do pico da ilha do Fogo, sucedida em 24 de Janeiro de 1785.” (Feijó, 1786 in Ribeiro, 1960, p. 239-240) “Os horrorosos urros, e estampidos no interior das montanhas da ilha, que ferindo os ares, faziam tremer toda a terra, as aberturas de multiplicadas bocas, qua a cada passo se abriam vomitando com fúria as mais vivas, e ardentes chamas, parecendo quererem incendiar todo o Universo; os corpos de diferentes tamanhos, envolvidos em negro e espesso fumo, que expelidos no interior do Pico...” (Feijó, 1786 in Ribeiro, 1960, p. 240).

Feijó esteve durante 6 dias na ilha Brava no mês de Maio de 1783 e fez uma descrição física da ilha. Nesta descrição destaca o relevo, a geologia, a mineralogia, a hidrologia, o

clima e a flora, para além de aspetos sociais. Na segunda carta da ilha Brava, de 1 de Julho de 1783, este autor considera a ilha, de modo geral,

“...Composta de montes, os quais correm com a direcção de Noroeste para Sueste pouco mais ou menos, e estes são compostos de bancos de cóss assentados sobre outros de pedra areenta dura e pesada, em que se observam cristais de basaltos de diferentes cores”. [...] Os montes que correm pelo centro da ilha têm figura em Y, compreendendo em cada ângulo uma planície, a primeira que olha para o N chamada da Povoação, a 2ª que olha para o Este que se chama Campo, e a 3ª que fica para o Sul, que os habitantes denominam do Cachaço. [...] A cadeia de montes que eu disse atravessar a ilha vem a terminar imediatamente na Ribeira de Fajã d'Água na ponta do Carvoeiro, terminação do monte do Risco Vermelho, que fica ao Este de Sorne, nome que lhe dão por ser a terra ocrácea; de sobre este monte se descobre uma grande baixa ou vale semicircular, cheia de verdura, a qual lhe chamam Lavadura e toda aquela ribeira da Fajã d'Água, que dali continua até ao mar. [...]. Esta me parece não ser mais do que uma grande rotura de um só monte, que ou o mar, na sua formação, ou outra alguma revolução natural, fazendo-a abater aquela porção, deixou ficar aquele plano; na elevação de todo este despenhadeiro deixa a natureza ver melhor a formação interior daqueles montes.”

A nascente do Vinagre, localizada próximo do atual povoado de Santa Bárbara, merece relato detalhado:

“[...] ela tem a sua origem em uma fonte que emana de entre umas grossas rochas, a qual correndo vai desaguar a uma enseada na mesma costa do Leste junto à ponta do Carvoeiro, formando a sua embocadura entre esta ponta, e a outra que lhe fica da parte do Norte, com o mesmo nome da ponta do Vinagre. A água desta fonte tem um sabor ácido vitriólico muito forte, donde lhe vem o nome de água do vinagre.”

Feijó foi sucedido por Charles Darwin que visitou a ilha de St. Jago (S. Tiago ou Santiago, na ortografia moderna) de 16 janeiro a 8 fevereiro 1832, durante a viagem do célebre Beagle HSM. As primeiras observações geológicas de Darwin foram feitas em torno da capital, Porto Praya (Praia) e aparecem no livro *“Geological Observations on Volcanic Islands and parts of South America visited during the voyage of H.M.S Beagle”* publicado em 1844 no qual ele dedica a primeira parte à geologia e morfologia da ilha de Santiago.

“A ilha de St. Jago se estende numa direcção NNW e SSE, 30 milhas de comprimento por cerca de 12 de largura. As minhas observações (...) se limitaram à região sul num raio de algumas léguas de Porto Praya. A cidade, vista a partir do mar, apresenta um esboço variado: suaves colinas cónicas de uma cor avermelhada (...), e outras menos regulares, de topo achatado, e

de uma cor escura (...) subida de sucessivas planícies, formadas de lava. À distância, uma cadeia de montanhas, com mil pés de altura, atravessa o interior da ilha. Não existem vulcões ativos em St. Jago, e apenas um no grupo [arquipélago], ou seja, no Fogo. A ilha desde que foi habitada não sofreu com terremotos destrutivos." (Darwin, 1876, p. 3-4).

Sendo o investigador que Darwin era, as suas observações cuidadosas foram acompanhadas por interpretações efetivas. O primeiro contato com uma ilha vulcânica foi para ele uma experiência marcante.

"As rochas mais baixas expostas na costa perto de Porto Praya, são altamente cristalinas e compactas, elas aparentam ser de origem vulcânica submarina antiga, pois elas estão discordantemente cobertas por um fino depósito irregular de calcário, abundante de conchas do período terciário superior, e este novamente é limitado com base numa variedade de lava basáltica, que fluíram em fluxos sucessivos a partir do interior da ilha (...). Mesmo assim fluxos de lava mais recentes foram erupções dos cones espalhados, como o Monte Vermelho e o Monte Facho. Os estratos superiores das colinas cobertas quadrados estão intimamente relacionados na composição mineralógica, e em outros aspectos, com o menor da série das rochas costeiras, o que parecem estar contínuas (Darwin, 1876, p. 3-4).

Darwin descreve que esta ilha se formou a partir de um vulcão submarino. A essas erupções submarinas sucedeu-se uma sequência de rochas basálticas e correlaciona esta fase de atividade vulcânica com um conjunto de cones de topo plano (incluindo os assinalados no esboço de mapa desenhado pela tripulação do navio e legendado por ele - Fig. 1.6).

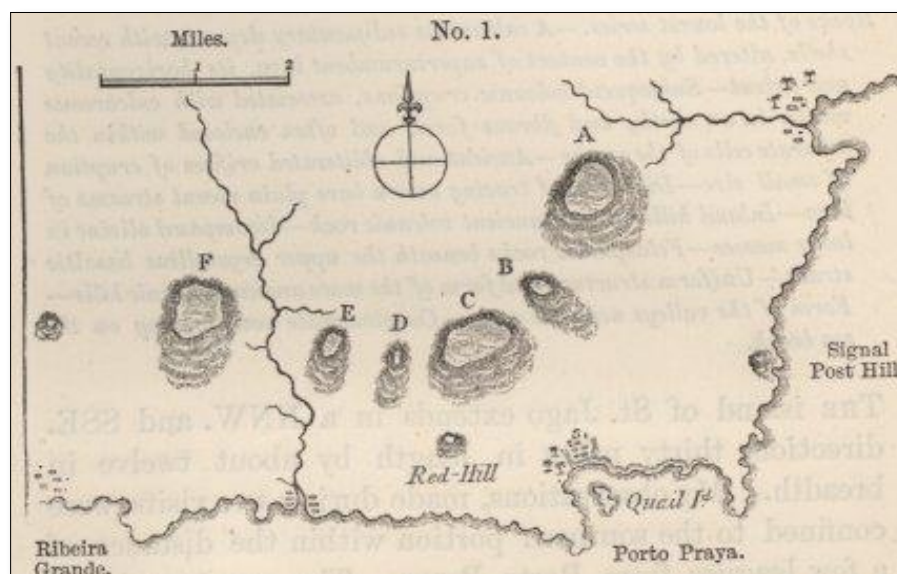


Figura 1. 6. Mapa da parte sul da ilha de Santiago desenhado pela tripulação do Beagle e legendado por Darwin (Vala, 2009).

Finalmente, o geólogo Sainte-Claire Deville, em 1848, fez uma abordagem um pouco diferente dos seus antecessores. Dedicando-se apenas à ilha do Fogo, foi capaz, numa excursão exaustiva de 2 dias, de delinear claramente a estrutura da ilha, os seus principais relevos e caracterizar as erupções vulcânicas.

“ Ao chegarmos ao meio do canal que separa as ilhas do Fogo e Santiago, descobrimos pela primeira vez a ilha do Fogo, e ao mesmo tempo ficamos impressionados pela simplicidade das suas formas, e pela majestosa elevação do pico que lhe coroa. [...] visto do nordeste, o cone do Fogo, na sua base mesmo ao nível do mar, eleva-se duma vez, até a altura de 3000 metros. À medida que aproximamos, distinguimos atrás do vulcão uma crista aguda cujo ponto culminante rivaliza em altura com o vulcão, e o circunda como uma muralha semicircular, com um lado destruído, a olhar para o mar (Deville, 1848, p. 87).

Deville visitou a ilha do Fogo no ano seguinte à erupção de 1847 e terá sido o primeiro geólogo a escalar o “Vulcão”, não tendo notado no seu topo qualquer indício de atividade. A familiaridade de Deville com vulcões, nomeadamente o Vesúvio, certamente lhe permitiu avaliar o grande interesse da ilha do Fogo.

Sainte-Claire Deville, rebuscando cuidadosamente as coleções e narrativas de viagens, reuniu importante documentação sobre as erupções ocorridas no Fogo (1500, 1564, 1596, 1604, 1664, 1675, 1680, 1683 (?), 1689, 1693, 1696, 1697, 1699, 1712 (?), 1713, 1721 a

1725 (?)), quase sempre avistadas de navios perto da ilha de Santiago. Por isso, muitas narrativas são incompletas e imprecisas. No entanto, estas memórias permitem seguir a frequência com que decorreram as erupções vulcânicas na ilha do Fogo desde a segunda metade do século XVI. Apresentou informações mais detalhadas das erupções de 1761, 1769 (e/ou 1774), 1785, 1799, 1816, 1817, 1846, 1847, 1852, 1857 e 1858 devido à existência de mais relatos.

1.2.2. OS TRABALHOS CLÁSSICOS

Em relação aos trabalhos pioneiros, os estudos desenvolvidos por Doelter (1882) Valdez (1864), Senna Barcellos (1899) e Friedlaender (1913) foram muito mais sistemáticos. Esta importante fase naturalista culminaria com a Memória do Eng.º Bacelar Bebiano (1932) que ainda hoje é uma obra de referência obrigatória.

Doelter publicou em 1882 a obra *“Die Vulcane der Cap Verden und ihre Producte – Os Vulcões de Cabo Verde e os seus Produtos”*. O seu objetivo foi preencher uma lacuna no conhecimento das ilhas Centro-Norte do Atlântico, na medida em que Cabo Verde era então considerado um arquipélago remoto.

“Das ilhas do Atlântico, o grupo de Cabo Verde ficou até hoje quasi desconhecido, ao passo que as ilhas mais a norte, as Canárias e os Açores, tem sido cuidadosamente exploradas sob vários pontos de vista. ...Estas ilhas apresentam cousas ricas e interessantes que permitem pôl-as a par das outras ilhas do Atlântico e estimulam a outras pesquisas.” (Doelter, 1882, p. 1)

A obra está dividida em duas partes, respectivamente “geológica e topográfica”, e “mineralógica e petrográfica”. Na primeira parte, ele apresenta os resultados de uma pesquisa de campo cuidadosa feita nas quatro ilhas que visitou (Santo Antão, S. Vicente, Maio e Santiago). Contudo algumas das interpretações geológicas parecem algo surpreendentes, como por exemplo, a presença, em Maio, de um “velho continente”, com “*gnaisses e xistos cristalinos*” e “velhos” calcários de um provável “*Paleozóico, em vez de idade Mesozóica*”. Diz ainda que “*todas as ilhas apresentam vulcões isolados*”. Na segunda parte, Doelter dividiu as “*rochas eruptivas*” em duas unidades de acordo com a idade, respectivamente “*mais antigo*” e “*mais recente*”.

Não tendo visitado a ilha Brava faz, no entanto, referências pontuais ao tipo de rochas e às nascentes aí existentes.

“A ilha Brava é uma rocha de pouca altura que consiste em phonolithe rica em feldspatho. (...) Nas ilhas Brava e Santo Antão foi reconhecida a presença de muitas nascentes mineraes ricas em acido carbonico e algumas de alta temperatura.” (Doelter, 1882, p. 121-127)

Outros autores, entre os quais Valdez (1864) e Senna Barcellos (1899), fizeram estudos mais abrangentes sobre Cabo Verde sendo a geologia uma das áreas abordadas. Valdez em 1864, na obra *“Africa Occidental: Notícias e Considerações, Tomo I”*, fez uma descrição geral da situação da colónia de Cabo Verde e de cada uma das ilhas em termos gerais (história, sociedade, economia e aspeto físico) para além de ter feito referência a algumas erupções ocorridas na ilha do Fogo. Para a ilha Brava, para além dos temas atrás referidos, também fez referência à petrografia apontando a possível existência de minas de cobre e salitre.

Em 1899 Senna Barcellos publicou o livro *“Subsídios para a História de Cabo Verde e Guiné”* onde apresentou documentação sobre o descobrimento e povoamento de Cabo Verde em geral e de cada uma das ilhas em particular. Fez referência a algumas erupções vulcânicas ocorridas na ilha do Fogo e sublinhou o facto de terem acontecido sismos na ilha Brava aquando da erupção de 1847. Para além de descrever o aspeto físico e o relevo da ilha Brava também fez referência à existência de salitre.

O vulcanólogo Immanuel Friedlaender visitou Cabo Verde em 1912 e no ano seguinte publicou *“Subsídios para o conhecimento das Ilhas de Cabo Verde – Resultados de uma viagem de estudo no verão de 1912”*. Desde então tornou-se conhecido não só pelas suas investigações de campo abrangentes (descrições e interpretações), mas também por ter descoberto os primeiros fósseis no arquipélago, especificamente o Mesozóico *“Aptychus”* na ilha do Maio. Este autor fez uma descrição geral das ilhas de Cabo Verde tendo em conta os seguintes aspetos: cartografia, clima, população, fauna, vegetação e observações geológicas. Anexou apêndices sobre “Condições hidrográficas das diferentes ilhas” e uma breve notícia, da autoria do Professor W. Bergt, sobre as rochas de Cabo Verde.

No que respeita à ilha Brava descreveu o relevo e as rochas vulcânicas de acordo com a sua história eruptiva,

“[...] A actividade vulcânica está extinta desde há muito. O centro das erupções foi no entanto perto do actual ponto médio e de maior altitude da ilha. [...]” (Friedlaender, 1913, p. 44).

Também fez referência às rochas existentes na ilha,

“[...] A ilha é formada essencialmente de aglomerados, tufos e consideráveis correntes de lava. As lavas dão a impressão de fonolites [...] A parte mais elevada do pico das Fontainhas é formada de entulhos e cinzas, mas a sua massa principal é formada por uma possante camada de lava compacta [...] As rochas vulcânicas da ilha Brava assentam sobre um sóco de rochas antigas, postas a nú em toda a parte sul da ilha, perto da costa, e que também observei na Ribeira Aguada, Porto do Ancião, Porto dos Ferreiros. Trata-se de rochas cristalinas de aspecto semelhante à syenite [...] ricas em magnesianas, e nas quais existem aqui e ali, filões de estrutura cristalina grossa. Além disso aparecem também calcareos cristalinos em filões e camadas consideráveis. [...] Deve-se notar um calcareo marinho, de formação mais moderna, na península de Incenso [...] As primeiras erupções das crateras produziram na maior parte tufos, enquanto que, mais tarde, do mesmo centro de erupção jorrou a massa principal dos consideráveis bancos de lava fonolítica da ilha.” (Friedlaender, 1913, p. 44-45-46).

Em relação à geomorfologia teceu as seguintes considerações:

“[...] Profundos vales de erosão sulcam o bordo exterior da ilha, que é limitada por uma costa abrupta. A planície do Campo, 730-750m acima do mar, póde considerar-se como resto de uma antiga cratera central. É limitada a sul pelo pico das Fontainhas (920m) que se eleva quasi a prumo. Ao sul do Pico encontram-se dois pequenos fundos de cratera, planos, de forma elíptica e bastante bem conservados; o Fundo Grande, [...] e a leste dele o Campo das Fontes. Ambas as planícies são limitadas a sul por uma muralha [...] cujo lado sul descai para o planalto de Cachaço. Nesta planície se erguem alguns montes maiores ou menores; a oeste o Monte Vizias, ao sul o Monte Miranda e a nordeste Monte Gomes Ennes. Ao norte desta parte central da ilha encontra-se uma verdadeira série de crateras de abatimento. [...] São elas: Cova Joana, Cova Lima Doce, Cova Galinha, Paúl, Cova Rodela, o planalto da Povoação, a pequena mas muito escarpada e funda Cova da Pele, o Favatal – restos mal conservados de uma cratera – e o porto da Furna. Existem assim ao todo, na ilha, doze restos de crateras mais ou menos conservados. [...] A planície de uns 450m de altitude, onde está situada a capital da ilha, a Povoação, é circundada a oeste e ao sul por encostas montanhosas abruptas, enquanto que a nordeste só está separada das vertentes da ilha por uma linha de pequenas e baixas colinazitas (Cutelo Pilão, Cutelo das Mentiras, Cutelo Teca e Cutelo da Cruz). Não se pode afirmar, com bastante segurança, se aqui se trata duma cratera, mas a planície rodeada de montanhas dá essa impressão.” (Friedlaender, 1913, p. 44-45).

Friedlaender foi o primeiro autor a fazer referência à frequente actividade sísmica desta ilha,

“[...] A ilha está, ao que parece, ainda hoje a elevar-se, e ainda se não tornou estável. São ainda frequentes os tremores de terra, muito mais do que nas outras ilhas do arquipélago [...]” (Friedlaender, 1913, p. 46).

No apêndice sobre as condições hidrográficas de cada ilha, para a ilha Brava assinalou a existência de nascentes de água em vários sítios como Lavadura, Ribeira Funda, Aguada e, ainda, realçou as nascentes de água mineral como as do Vinagre e Sorno.

“A água brota em numerosas nascentes. A maior é a de Lavadura. É também muito importante a nascente do Sorno... a água da nascente é fracamente mineral e tem uma temperatura de uns 30°. A mais valiosa de todas as nascentes é a da Água Vinagre. A água é acídula, fracamente alcalina, de excelente qualidade. Além destas nascentes que mencionamos, existe na ilha Brava uma grande série de nascentes mais pequenas e de menor importância [...] Infelizmente não parece excluído o perigo de que, por um dos tremores de terra tão frequentes na Brava, se desloque fortemente o nível das toalhas de água das actuais nascentes minerais e que por isso elas venham a secar, pelo menos nos actuais pontos de emergência” (Friedlaender, 1913, p. 87-88).

O primeiro trabalho completamente dedicado à Geologia de Cabo Verde foi publicado em 1932 por Bacelar Bebiano, geólogo adjunto da Missão Geográfica de Cabo Verde, no livro *“A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde”*. Considerado, por muitos, uma obra de referência na literatura geológica do arquipélago, dedicou-se em particular às questões petrográficas, para além de aspetos geológicos relacionados com a génese das ilhas. Tais informações terão sido fruto de estudos geológicos efetuados neste arquipélago entre 1930 e 1931. Este trabalho é uma monografia que contém descrições de campo, inúmeros desenhos e fotografias bem como os primeiros mapas geológicos de todas as ilhas, com exceção da ilha do Fogo. Esses mapas eram originais e representaram uma contribuição importante, uma vez que Bebiano reconheceu que grande parte do trabalho de campo e dados laboratoriais já tinham sido obtidos pelos seus antecessores, ou seja, Doelter e Friedlaender. A monografia inclui ainda um estudo petrográfico e químico dos principais tipos de rochas de S. Vicente feito pelo Prof. Amílcar Mário de Jesus.

Para a ilha Brava e os ilhéus Rombo ou Secos o autor começou por uma descrição geográfica, passando pela geomorfologia (com a descrição do relevo para além da apresentação de alguns perfis topográficos) e pela caracterização do clima. A seguir apresentou os aspetos geológicos gerais da ilha tendo em conta a mineralogia, a petrologia e a hidrologia.

Para este autor,

“A ilha Brava é constituída principalmente por lavas fonolíticas acompanhadas por brechas, lapilli e tufos fonolíticos. Estes produtos foram expelidos através de uma cratera principal, que ocupava as proximidades do monte Fontainhas, e também por crateras secundárias, que se encontram actualmente transformadas em ‘caldeiras’ de erosão e de abatimento, situadas no Fundo Grande, Cova Lima Doce, etc. Os mantos de lava e os produtos piroclásticos fonolíticos que existem na parte central da ilha [...] sobrepõem-se às rochas basálticas que se encontram geralmente em pequenas áreas nas proximidades da costa. Os calcários fossilíferos são encontrados em pequenas extensões. É deveras notável a presença de rochas fonolíticas em grandes áreas e de pequenas manchas de rochas basálticas, o que de facto sai fora do usual na constituição geológica cabo-verdiana. [...] Os produtos piroclásticos, constituídos principalmente por lapilli, tufos, e em menor escala por escórias negras, ocupam quasi toda a superfície desta ilha” (Bebiano, 1932, p. 202-203)

1.2.3. OS TRABALHOS CONTEMPORÂNEOS

Depois de Bebiano vários estudos foram realizados em Cabo Verde em áreas mais específicas da geologia tais como petrologia e geoquímica (Cotelo Neiva, 1940/1946; Berthois, 1950), sismicidade histórica (Miranda, 1947), geologia descritiva e paleogeografia (Teixeira, 1950), batimetria, cartografia, geotectónica e estratigrafia (Côrrea, 1954), e sismicidade instrumental (Ferreira, 1956; Mendes, 1956).

Em 1940, Cotelo Neiva apresentou um estudo petroquímico de rochas baseado no cálculo e interpretação de parâmetros de Niggli. Em seguida, tentou relacionar as características químicas das rochas de Cabo Verde com o padrão de fraturas regionais delineado por Bebiano. Alguns anos mais tarde, em 1946, este autor publicou outro trabalho sobre *“Afinidades provinciais petrográficas entre as ilhas do Atlântico”* onde fez a comparação entre o quimismo das rochas eruptivas dos arquipélagos dos Açores, Madeira, Canárias, Cabo Verde, Tristão da Cunha, S. Tomé e Príncipe, e as ilhas de Santa Helena e Ascensão. Concluiu que nas ilhas do Atlântico encontram-se afloramentos de diversos tipos de rochas eruptivas, desde as mais ácidas às mais básicas, de quimismo caracteristicamente alcalino-sódico.

Raúl Miranda publicou em 1947 o trabalho *“Cabo Verde - A Sismicidade do Arquipélago nos anos de 1944-1945”* na publicação *Memórias e Notícias* da Universidade de Coimbra.

Foi o primeiro trabalho sobre a sismicidade histórica de Cabo Verde e da ilha Brava, em particular. Fez a ligação entre a tectónica e os movimentos epirogénicos do arquipélago, para além do vulcanismo, e a sismicidade registada em algumas ilhas como Brava e Santo Antão. Destacou a frequente atividade sísmica da Brava em relação às outras ilhas. Por fim, fez a descrição de alguns sismos ocorridos entre 1944-1945 na Brava e em Santo Antão indicando a sua possível causa.

Em 1950, Berthois enfatizou as semelhanças entre as rochas de Cabo Verde e as das ilhas de Los, bem como as do Vale do Rift do Leste Africano, na obra *“Contribution à la connaissance lithologique de l’archipel du Cap Vert”*. Este autor fez um apanhado da obra de Bebianio de 1932 e elaborou um estudo petrológico sobre as amostras que o Príncipe Alberto do Mónaco havia recolhido anteriormente sem, contudo, indicar a localização da maioria delas.

Os trabalhos realizados no decorrer da década de 50, de Teixeira (1950) e Côrrea (1954), versavam sobre a geologia descritiva de Cabo Verde, no geral, e da ilha Brava, em particular. O primeiro autor em *“Notas sobre a geologia das ilhas atlântidas”* apresentou um estudo sobre a geomorfologia (particularmente as estruturas vulcânicas), petrologia, estratigrafia, paleontologia e vulcanismo das ilhas Atlântidas, nas quais incluiu o Arquipélago de Cabo Verde. Côrrea em *“Ultramar Português II - Ilhas de Cabo Verde”* focou aspetos abordados por Bebianio e outros autores mas acrescentou algumas informações acerca da batimetria, cartografia, geotectónica, paleogeografia e estratigrafia.

Os primeiros trabalhos sobre a sismicidade instrumental foram apresentados no *“Simpósio sobre a Acção de Sismos e sua Consideração no Cálculo das Construções”* em 1956. Amorim Ferreira fez um levantamento dos *“Macrossismos sentidos em Portugal no período de 1901-1954”* onde consta o registo da sismicidade instrumental em Cabo Verde (na altura colónia portuguesa) especificamente nas ilhas de Santo Antão, Fogo e Brava. No mesmo evento, Alfredo Mendes apresentou a *“Contribuição para o esclarecimento da sismicidade dos territórios portugueses”* com base nos dados expostos no trabalho de Ferreira. Em relação ao arquipélago de Cabo Verde fez uma breve

apreciação sobre o número de sismos e as respectivas intensidades e sublinhou a maior incidência de sismos na ilha Brava comparativamente às outras ilhas.

A partir da década de 60 do século XX houve um incremento de trabalhos sobre a geologia de Cabo Verde com a criação da Missão Geológica de Cabo Verde. Sob a iniciativa da Junta de Investigações do Ultramar, foram realizadas várias missões para o levantamento geológico das ilhas que culminaram com a publicação de cartas geológicas e respetivas notícias explicativas do Fogo (Machado *et al.*, 1965); S. Vicente (Assunção e Canilho, 1965; Serralheiro, 1966); Brava (Machado *et al.*, 1968); Maio (Serralheiro, 1970), Santiago (Serralheiro, 1976), S. Nicolau (Macedo *et al.*, 1988); Sal (Torres *et al.*, 2002) para além de vários trabalhos de geologia geral (Machado, 1967; Assunção, 1964/1968). Para a Boavista foi elaborado um esboço geológico da autoria de Serralheiro *et al.* (1974) e para as ilhas de Santo Antão e Santa Luzia não existe até hoje qualquer carta geológica. Os trabalhos referidos deram especial destaque à caracterização do arquipélago e das ilhas que o constituem em termos de localização geográfica, geomorfologia, clima, geologia, batimetria, vulcanismo, sismicidade, condições hidrológicas, tectónica, paleontologia, petrologia e recursos geológicos.

Os trabalhos de campo conducentes à realização da carta geológica da Brava e dos ilhéus Secos ou do Rombo foram realizados no verão de 1966 no decurso de uma missão geológica. Este trabalho foi realizado por uma equipa encabeçada por Frederico Machado e culminou com a publicação da carta geológica na escala 1:50.000 e respectiva notícia explicativa (Machado *et al.*, 1968). Na notícia explicativa deu-se particular atenção à geomorfologia, à evolução da actividade ígnea, à petrografia e à hidrologia e recursos minerais. Na ilha Brava e nos ilhéus Secos ou do Rombo outros trabalhos efetuados mantiveram-se essencialmente nos mesmos domínios atrás referidos para o arquipélago (Machado *et al.*, 1967; Aires-Barros, 1968; Seita, 1973).

É também na década de 60 do século XX que Serralheiro começou suas investigações pioneiras sobre a estratigrafia das ilhas, primeiro em S. Vicente e Maio, mais tarde, já na década de 1970, em Santiago. Obviamente, a base estratigráfica criada por Serralheiro tornou-se o suporte para várias investigações no âmbito da Missão Geológica de Cabo Verde. Este autor publicou em 1968 um trabalho sobre as “*Formações sedimentares do*

arquipélago de Cabo Verde” onde descreveu as formações sedimentares tendo em conta a estratigrafia e indicando que as mais antigas se encontram na ilha do Maio e são de idade cretácica. Também nesta obra apresenta uma lista de fósseis encontrados em cada uma das formações sedimentares. Em 1976, Serralheiro publicou a obra “*A Geologia da ilha de Santiago (Cabo Verde)*”, que apesar de retratar essencialmente a geologia da ilha de Santiago, debruçou-se sobre a estratigrafia das ilhas cabo-verdianas em geral tendo apresentado um quadro estratigráfico onde comparou Santiago com as outras ilhas. Este quadro serviu, até há bem pouco tempo, de base para a sequência vulcanoestratigráfica das ilhas de Cabo Verde, no geral, e da ilha Brava, em particular.

Em 1967 Machado apresentou a obra “*Geologia das ilhas de Cabo Verde*” onde começou por fazer uma caracterização do conjunto (situação geográfica, clima, geologia e geomorfologia) para logo a seguir apresentar uma descrição sumária da geologia das ilhas, as quais divide em quatro grupos: (1) as ilhas aparentemente mais antigas (Maio, Boavista e Sal), (2) a ilha de S. Vicente, (3) as ilhas de base sienito-carbonatíticas e lavas modernas (Brava e Fogo) e (4) as outras ilhas (Santo Antão, Santiago, S. Nicolau e Santa Luzia). Terminou a obra apresentando uma comparação das ilhas cabo-verdianas com as dos outros arquipélagos da Macaronésia e também com as ilhas de Santa Helena e Ascensão. Para a ilha Brava fez uma breve referência ao seu vulcanismo, sismicidade e às condições hidrológicas.

Também, em 1967, Machado e outros autores publicam um trabalho sobre “*O complexo sienito-carbonatítico da ilha Brava, Cabo Verde*”. Neste trabalho fizeram um resumo sobre a geologia da ilha com a descrição de algumas rochas (palagonitos e lavas submarinas associadas, sienitos nefelínicos e rochas associadas e carbonatitos) e terminaram com uma interpretação da estrutura do complexo sienito-carbonatítico dos ilhéus Rombo ou Secos. No levantamento geológico dos ilhéus estes autores encontraram uma notável intrusão constituída por um núcleo de carbonatito e um arco exterior de sienito nefelínico com segregações ultrabásicas alcalinas. Consideraram que esta intrusão plutónica ter-se-ia instalado em palagonitos que representariam o antigo fundo submarino, tendo o soco sido posteriormente coberto por tufos fonolíticos de erupções modernas.

Em 1968, Assunção apresentou um trabalho sobre a “*Geologia da Província de Cabo Verde*”. Começou por fazer uma caracterização geral do arquipélago tendo em conta a localização geográfica, a batimetria e a geomorfologia. A seguir fez uma descrição sucinta da geologia das ilhas cabo-verdianas. Na parte final da obra teceu algumas considerações sobre: (1) os traços fundamentais da história geológica do arquipélago apresentando reflexões sobre as rochas existentes em Cabo Verde e a atividade eruptiva cabo-verdiana; (2) a tectónica com base nos trabalhos de Bebian, Part e Berthois; (3) a petrologia e o estilo tectónico, dissertando sobre a sucessão petrológica em termos de episódios vulcânicos, os tipos petrográficos existentes e batimetria; (4) a petrologia cabo-verdiana no quadro das ilhas atlânticas (Açores, Madeira, Canárias, Ascensão e Santa Helena); (5) a paleoclimatologia do arquipélago e termina com uma breve referência (6) aos recursos económicos.

Cabo Verde também tem sido alvo de estudos relativamente à existência de carbonatitos oceânicos que até agora foram identificados apenas nos arquipélagos de Cabo Verde e das Canárias, dos quais se destacam os de Assunção *et al.*, 1966; Allègre *et al.*, 1971; Silva *et al.*, 1981; Turbeville *et al.*, 1987; Hoernle *et al.*, 2002; Mata *et al.*, 2010; Mourão *et al.*, 2010; Mourão *et al.*, 2012a; Mourão *et al.*, 2012b; Mourão, 2012.

Monteiro Marques (1990a) apresentou um relatório dedicado aos aspetos geomorfológicos tendo apresentado o primeiro esboço geomorfológico para esta ilha. Para além disso, apresenta uma minuciosa compartimentação da paisagem de acordo com as condições geomorfológicas. Em 1999 foi publicada a Carta de Zonagem Agro-ecológicas e da Vegetação de Cabo Verde: IX – Ilha Brava por Dinis e Matos (1999). Nesta carta foram definidas as unidades agro-ecológicas da ilha tendo sido considerados os fatores de ordem fisiográfica, geomorfológica, geológica e bioclimática para além do uso da terra e a actividade rural das populações.

Importa referir os diversos trabalhos que têm sido desenvolvidos mais recentemente em Cabo Verde e na ilha Brava em particular relacionados a várias áreas da geologia, tais como: Neotectónica (Pim *et al.*, 2008; Ramalho *et al.*, 2009; Silveira *et al.*, 2009; Ramalho *et al.*, 2010a; Ramalho *et al.*, 2010c; Ramalho *et al.*, 2010d; Helffrich *et al.*, 2010; Vinnik *et al.*, 2012); Vulcanoestratigrafia (Doucelance *et al.*, 2003; Madeira *et al.*,

2006; Mourão *et al.*, 2008; Madeira *et al.*, 2009; Madeira *et al.*, 2010b; Ancochea *et al.*, 2010; Barker *et al.*, 2009); Perigos geológicos (Day, 2008; Madeira *et al.*, 2009; Madeira *et al.*, 2010a); Geoquímica (Jørgensen & Holm, 2000; Jørgensen & Holm, 2002; Hoernle *et al.*, 2002; Mata *et al.*, 2006; Mourão *et al.*, 2007a; Holm *et al.*, 2008; Dyhr e Holm, 2009; Caldeira e Silva, 2010; Mourão *et al.*, 2010; Rodriguez *et al.*, 2010; Mata *et al.*, 2010; Barker *et al.*, 2010b; Pérez *et al.*, 2010a; Hildner *et al.*, 2011a; Hildner, 2011; Hildner *et al.*, 2011b; Mourão *et al.*, 2012a; Mourão *et al.*, 2012b; Mourão, 2012); Geofísica (Fonseca *et al.*, 1995; Heleno *et al.*, 1997; Fonseca *et al.*, 2003; Heleno, 2003; Heleno *et al.*, 2006; Ali *et al.*, 2003; Grevemeyer *et al.*, 2009; Silveira *et al.*, 2009; Faria, 2010; Vales *et al.*, 2010a; Vales *et al.*, 2010b; Nunes, 2010; Le Bas *et al.*, 2011; Faria e Fonseca, 2014; Heleno e Fonseca, 1997; Heleno e Fonseca, 1999; Heleno *et al.*, 1999; Heleno *et al.*, 2001a; Heleno *et al.*, 2009; Fonseca *et al.*, 2013); Movimentos de massa (Madeira *et al.*, 2008; Masson *et al.*, 2002; Masson *et al.*, 2002); Cartografia geológica (Madeira *et al.*, 2010b); Petrologia (Doucelance *et al.*, 2003); Magmatismo (Kogarko, 2008; Barker *et al.*, 2010; Barker *et al.*, 2010a; Barker *et al.*, 2010b; Hildner, 2011; Hildner *et al.*, 2011a; Hildner *et al.*, 2011b; Barker *et al.*, 2012); Sedimentologia (Johnson *et al.*, 2012); Património Geológico e Geoconservação (Schiunnach, 2003; Lampugnani e Schiunnach, 2005; Pereira, 2005; Alfama, 2007; Alfama *et al.*, 2008; Alfama e Pereira, 2008; Moreira, 2009; Pereira, 2010; Costa, 2011); Gravimetria (Catalão *et al.*, 2010); Geo-história (Andrade, 2009); Hidrogeologia (Mota Gomes, 2007; Pina, 2009; Gonçalves *et al.*, 2009); Riscos Geológicos (Correia *et al.*, 2008; Monteiro, 2007; Monteiro *et al.*, 2009; Monteiro e Cunha, 2011; Monteiro e Mendes, 2011; Paris *et al.*, 2011; Monteiro, 2014); Vulcanismo (Tarff & Day, 2013). Estes trabalhos não se analisam nesta fase dado que serão discutidos em outros capítulos do presente trabalho, no âmbito da geomorfologia, sismicidade e vulcanismo.

1.2.4. A MONITORIZAÇÃO SISMOVULCÂNICA E A AVALIAÇÃO DE PERIGOS

No âmbito da avaliação de perigos geológicos, área de estudo do presente trabalho, também foram realizados alguns estudos em Cabo Verde bem como alguns ligados à monitorização sismovulcânica. Por isso, neste subcapítulo far-se-á uma resenha dos trabalhos realizados sobre a monitorização sismovulcânica e avaliação de perigos em Cabo Verde.

Em Cabo Verde até ao início da década de 80 do século passado não existia monitorização sismovulcânica. Os únicos dados existentes baseavam-se nas informações contidas nos catálogos sísmicos internacionais que incluíam os sismos detetados em estações internacionais e localizados na região. A partir dos anos 80 iniciaram-se os primeiros trabalhos relativos à monitorização sísmica. Começaram precisamente na Brava na sequência da crise sísmica de 1980/81 através da instalação de uma rede sismológica temporária nas ilhas do Fogo e Brava (Pires e Neves, 1981).

Em 1994 instalou-se outra rede sísmica temporária nestas ilhas (Heleno & Fonseca, 1999; Heleno, 2003). Foi durante a erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo que se instalaram várias redes sísmicas (Brum da Silveira *et al.*, 1995; Fonseca *et al.*, 1996; Pereira & Burton, 1996; Pereira & Burton, 1997; Matias *et al.*, 1997; Heleno da Silva *et al.*, 1999; Heleno, 2003; Fonseca *et al.*, 2003; Heleno *et al.*, 2004; Heleno *et al.*, 2006). Também os primeiros ensaios de monitorização geoquímica foram realizados durante a erupção de 1995 na ilha do Fogo (Ferreira *et al.*, 1996; Ferreira *et al.*, 1997; Gaspar *et al.*, 1996; Gaspar *et al.*, 1997; Correia, 1997). Estes trabalhos marcam o início da monitorização vulcânica neste arquipélago.

O aumento da consciencialização em relação aos perigos vulcânicos na Ilha do Fogo, na sequência da erupção de 1995, foi decisivo para a instalação de uma rede instrumental de vigilância vulcânica em Cabo Verde, no âmbito do Projeto VIGIL. Esta rede, constituída por estações sísmicas, foi a primeira rede permanente e funcionou entre Maio de 1999 e 2005 nas ilhas do Fogo e Brava.

Em finais da década de 90 (final de 1997 - início de 1998) foram dados os primeiros passos na monitorização geodésica com a instalação de uma rede GPS na ilha do Fogo para a monitorização de deformações no Pico do Fogo (Lima, 2000; Santos, 2013). Durante a década de 90 foram, também, desenvolvidas técnicas de monitorização microgravimétrica dedicadas ao controlo de movimentos subsuperficiais de magma em edifícios vulcânicos da ilha do Fogo (Lima, 2000; Santos, 2013). Mais tarde operaram algumas redes sísmicas temporárias no âmbito de projetos como o CV-Plume, entre 2008/2009 (Vales *et al.*, 2010b), o MAKAVOL (Pérez *et al.*, 2010b) entre 2008 e 2012 e o MIAVITA (Thierry *et al.*, 2009) entre 2009 e 2012. Os dois últimos tiveram como

objetivo a monitorização sismovulcânica pois incluíram instalação de redes sísmicas, de GPS e de geoquímica de gases.

Atualmente a entidade responsável pela monitorização sismovulcânica em Cabo Verde é o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) de acordo com o Decreto-Regulamentar nº13/2009 de 20 de Julho. Após a instalação da rede de monitorização sismovulcânica na ilha do Fogo pelo projeto MIAVITA, o Governo de Cabo Verde financiou a instalação de uma rede de monitorização da actividade sísmica em outras ilhas (Brava, Santo Antão, S. Vicente e S. Nicolau). Para além disso também se colocou um sistema de transmissão de dados sísmicos e uma rede geodésica para medição da deformação do terreno na ilha do Fogo.

No que respeita ao domínio da avaliação de perigos, constata-se que o impacto dos desastres naturais e tecnológicos nas sociedades é cada vez mais significativo, provocando não só a perda de vidas e de bens materiais como alterando profundamente os seus rumos de desenvolvimento económico e social. Em Cabo Verde o estudo dos perigos geológicos na perspetiva da proteção civil e do planeamento de emergência é muito recente. Neste contexto, o Governo de Cabo Verde em parceria com o Escritório das Nações Unidas em Cabo Verde, elaborou e vêm implementando o Programa de Redução dos Riscos de Desastres existente no país cuja duração é de 4 anos, que tem por objetivo reduzir os impactos negativos de desastres e proteger os ganhos de desenvolvimento através da melhoria das capacidades nacionais para a gestão de riscos de desastres, e, desta forma, pretende-se reforçar as capacidades nacionais para o desenvolvimento e implementação de uma estratégia nacional de redução e gestão de riscos de desastres. No âmbito deste programa foram desenvolvidos alguns projetos financiados pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), em parceria com o Ministério do Ambiente, Habitação e Ordenamento do Território (MAHOT) e o Serviço Nacional de Proteção Civil e Bombeiros (SNPCB).

O projeto SIERA (Sistema de Inventário e Avaliação do Risco) foi um dos primeiros a ser implementado. De acordo com Monteiro (2014), este projeto teve como principal objetivo inventariar as manifestações de perigo já ocorridas em Cabo Verde, e que tenham sido registadas em diversas fontes documentais. O propósito deste projeto foi obter um

perfil de manifestações de perigo no país, das perdas e danos associados, incluindo os perigos naturais (tempestades, movimentos de massa, cheias, inundações, secas, erupções vulcânicas, sismos, bruma seca, pragas, etc.), os tecnológicos (acidentes industriais, acidentes rodoviários, marítimos e aéreos, incêndios urbanos, contaminação/poluição ambiental, etc.) e os mistos (epidemias, incêndios florestais, desertificação, etc.). Numa primeira fase, este projeto pretendeu realizar um exercício exaustivo de Avaliação dos Riscos de Desastres, com vista à criação de um Sistema Nacional de Informação de Riscos, que permita apoiar a gestão dos mesmos (fundamentalmente na prevenção e resposta às crises) e o processo de ordenamento do território nacional. O levantamento de dados de registos históricos relativos aos desastres/eventos perigosos ou crises ocorridas no arquipélago de Cabo Verde abrangeu o período desde o início do século XX até 2013 (Monteiro, 2014). Neste âmbito, prevê-se a divulgação de informação relativa às diferentes tipologias de riscos em Cabo Verde, incluindo a elaboração do perfil de risco de Cabo Verde e a implementação do Observatório Nacional de Risco.

Por outro lado, está em curso a realização da cartografia de risco da ilha do Fogo e a modelação numérica dos vários perigos vulcânicos (piroclastos de queda e escoadas lávicas, entre outros) (Bruno Faria em comunicação oral, 2013). Esta informação será inserida no sistema que o INMG se encontra a elaborar, baseado em arquitetura WebGIS (Sistema de Informação Geográfica com recurso à internet para a gestão do risco vulcânico).

Atualmente o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, o Ministério do Ambiente, Habitação e Ordenamento do Território e o Serviço Nacional de Proteção Civil de Cabo Verde desenvolveram em conjunto um projeto designado por “Reforço da minimização e da gestão dos riscos em Cabo Verde (2012 - 2016)”. Uma das prioridades do projeto é a elaboração da cartografia de perigosidade para os fenómenos de cheias rápidas, secas, erupções vulcânicas, incêndios florestais, sismos, instabilidade de vertentes, epidemias e erosão costeira.

A falta de recursos humanos especializados contribui para que haja um número reduzido de informações relacionadas aos perigos e riscos geológicos existentes em Cabo Verde. Por isso é importante melhorar os métodos e capacidades científicas e técnicas de

avaliação de riscos, vigilância e alerta precoce, mediante uma investigação integrada e uma formação qualificada.

Não obstante o visível incremento de estudos sobre a geologia bem como dos perigos geológicos de Cabo Verde, em geral, e da ilha Brava, em particular, nas últimas décadas, quando comparado com os outros arquipélagos da Macaronésia verifica-se que ainda há muito por fazer em várias áreas da geologia.

1.3. ENQUADRAMENTO DO PRESENTE TRABALHO

Considerando os trabalhos anteriormente realizados em Cabo Verde na geologia, em geral, e nos perigos geológicos, em particular, o presente projeto que se desenvolveu para a realização desta tese de doutoramento pretende contribuir para o aprofundar do conhecimento dos aspetos da geologia com especial incidência nos perigos sísmico e vulcânicos.

1.3.1. CONTEXTO DO PROJETO

O Governo da República de Cabo Verde e o Governo Regional dos Açores assinaram em 2008 um protocolo para cooperação bilateral no âmbito da criação de um Observatório para a Cooperação Açores – Cabo Verde. Para tal foram estabelecidas condições regulamentares para a prossecução desta cooperação, adotando Sete Protocolos nos domínios a seguir indicados: 1) Observatório para a Cooperação Açores – Cabo Verde; 2) Intervenção social; 3) Cultura; 4) Atribuição de Bolsas de doutoramento; 5) Agricultura; 6) Ambiente e 7) Ordenamento do Território.

Para a elaboração deste protocolo foram considerados:

- ✓ O passado histórico de ambos os arquipélagos e os laços culturais e linguísticos daí recorrentes;
- ✓ As semelhanças existentes entre ambos, enquanto regiões insulares e a sua inserção comum no espaço da Macaronésia;
- ✓ A política europeia que favorece a inserção das RUP, por um lado, e, por outro, o processo da parceria especial entre a União Europeia e Cabo Verde, que tem na integração regional RUP um dos pilares da sua construção;

- ✓ A vontade política que une o Governo de Cabo Verde e o Governo Regional dos Açores em estreitarem e aprofundarem as relações entre os dois arquipélagos.

O protocolo para a atribuição de Bolsas de doutoramento visou a concretização de uma ação de cooperação prioritária no domínio da investigação científica com base:

- ✓ Nas particularidades geográficas e geológicas dos arquipélagos de Cabo Verde e dos Açores, que constituem laboratórios naturais para o desenvolvimento de investigação científica em domínios de excelência, cuja relevância importa potenciar;
- ✓ Na investigação fundamental e aplicada e no desenvolvimento experimental que são fatores para o crescimento da economia e a melhoria da qualidade de vida e segurança dos cidadãos;
- ✓ Nas competências científicas que ambos os arquipélagos pretendem continuar a desenvolver em domínios estratégicos comuns como a vulcanologia e os riscos geológicos, entre outros;
- ✓ Na formação qualificada e no emprego científico tão fundamentais para a promoção das atividades de investigação científica e desenvolvimento tecnológico, constituindo-se como um dos pilares da modernização e do crescimento económico.

Neste contexto, o Governo Regional dos Açores através do Plano Integrado para a Ciência, Tecnologia e Inovação (PCTI) da Direção Regional da Ciência e Tecnologia (DRCT) lançou um concurso para atribuição de bolsas de doutoramento para investigadores cabo-verdianos na área da Vulcanologia e Avaliação de Perigos Geológicos, com o apoio científico do Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos da Universidade dos Açores, Unidade de I&D do Sistema Científico e Tecnológico dos Açores. O presente trabalho insere-se, assim, no projeto de bolsa de doutoramento Ref.^a M3.1.2/CV/004/2008 que teve como objetivo a identificação e caracterização dos perigos geológicos e o estudo das vulnerabilidades da ilha Brava tendo em vista o planeamento de emergência.

Paralelamente foi constituído o projeto Ref.^a M2.1.2/I/019/2008 - Projeto Bolseiro no âmbito do Protocolo entre o Governo Regional dos Açores e República de Cabo Verde,

para o providenciar o suporte financeiro necessário ao desenvolvimento das ações previstas no plano de trabalhos da bolsa de doutoramento.

1.3.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo principal do trabalho aqui apresentado consistiu em avaliar os perigos sísmico e vulcânicos na ilha Brava (Cabo Verde) numa perspetiva de planeamento de emergência. Para a sua concretização foi necessário levar a cabo um estudo abrangente no sentido de se fazer a caracterização dos perigos referidos decorrente da análise da informação disponível sobre os eventos sísmicos e vulcânicos que afectaram esta ilha ao longo dos tempos, com base na compilação e análise das principais referências bibliográficas, documentos históricos, no estudo das estruturas e dos depósitos vulcânicos. Deste modo, procurou-se:

- ✓ Proceder a um levantamento morfoestrutural da ilha de modo a caracterização das estruturas tectónicas e vulcânicas;
- ✓ Fazer o estudo dos sismos que atingiram a ilha Brava através da análise de eventos quer de natureza tectónica quer associados a fenómenos de origem vulcânica, tendo-se procedido à construção e/ou revisão dos dados de macrossísmica existentes;
- ✓ Definir os diferentes estilos eruptivos que marcaram a história geológica da ilha através da identificação e caracterização dos diferentes grupos litológicos existentes;
- ✓ Identificar e caracterizar os diferentes tipos de perigos vulcânicos a partir dos estilos eruptivos definidos;
- ✓ Verificar a susceptibilidade à ocorrência de erupções explosivas com queda de cinzas nesta ilha;
- ✓ Identificar a vulnerabilidade do edificado da ilha Brava face à ocorrência de sismos e erupções vulcânicas com base na criação de cenários;
- ✓ Desenvolver uma base de dados baseada em Sistemas de Informação Geográfica que permite o armazenamento e a análise da informação recolhida ao longo do trabalho numa mesma plataforma informática;
- ✓ Compreender o funcionamento do Serviço Nacional de Protecção Civil, particularmente o Serviço Municipal de Protecção Civil, de modo a realçar a sua

capacidade de resposta em caso de ocorrência de sismos ou erupções vulcânicas na ilha Brava;

- ✓ Contribuir para a criação de um instrumento fundamental para o planeamento de emergência, nomeadamente no âmbito da elaboração de planos de emergência.

1.3.3. ÁREA DE ESTUDO

A Ilha Brava é a mais pequena das ilhas habitadas do arquipélago com 64 Km² de superfície, como já foi referido, sendo suportada pela mesma plataforma submarina que se estende para Oeste da ilha do Fogo. A sua morfologia reflete o somatório de inúmeros fenómenos vulcânicos e tectónicos, aliados a uma significativa atividade erosiva e processos de movimentos de massa.

Apesar de na ilha Brava não se ter registado qualquer erupção vulcânica histórica (desde o seu povoamento no século XVI), ela é considerada ativa sob o ponto de vista vulcânico, de acordo com: (1) as datações existentes sobre os depósitos mais recentes (e.g. Hoernle *et al.*, 2002 – que atribuem uma idade aproximada de 1000 anos a alguns depósitos carbonatíticos); (2) as evidências geológicas de vulcanismo explosivo marcadamente hidromagmático através da existência de depósitos de *surges* piroclásticos, de escoadas piroclásticas e a da presença de inúmeras crateras; (3) a existência de estruturas vulcânicas bem conservadas; e, (4) a frequente atividade sísmica.

É na ilha Brava que a atividade sísmica se tem revelado mais importante ao nível do arquipélago. A proximidade da ilha Brava à ilha do Fogo (a cerca de 17 km) faz com que a primeira possa ser afetada por erupções que ocorram na segunda (como já ocorreu em algumas erupções) em termos de ocorrência de eventos sísmicos. De acordo com a informação existente, a atividade sísmica tem sido caracterizada pelo desenvolvimento de algumas crises, marcadas por eventos que, salvo raras exceções, são sentidos na ilha com intensidades fracas a moderadas. De entre as crises sísmicas ocorridas na Brava destacam-se (1) a crise de 1950-51; (2) a crise de 1963; (3) a crise ocorrida entre Dezembro de 1980 e Maio de 1981, na qual se registou uma intensidade máxima de grau VII na escala de Mercalli Modificada (Pires e Neves, 1981); (4) a crise de Junho de 2006, com intensidade significativa responsável por pequenos danos em habitações; e (5) a crise de Janeiro de 2007. Também a atividade sísmica associada às erupções de 1816, 1847,

1951 (Ribeiro, 1960) e 1995 (Matias *et al.*, 1997) na ilha do Fogo foi sentida na Brava. Embora tais crises não tenham provocado danos materiais significativos, não se exclui a possibilidade de eventos futuros terem consequências mais graves. Considerando a caracterização das vulnerabilidades na Brava, não é necessário um sismo de grande intensidade para provocar danos significativos.

Outro aspeto tido em conta para a escolha desta ilha como objeto de estudo foi o relacionado com os elementos de vulnerabilidade na Brava, particularmente o edificado. As construções nesta ilha, principalmente o parque habitacional, incluem uma quantidade significativa de edifícios muito antigos e construídos essencialmente por pedra solta sem ligamento. Apesar de alguns terem sido remodelados, ainda assim representam um risco acrescido à população local tendo em conta os perigos sísmicos e vulcânicos. Para além do edificado, convém realçar outros elementos de vulnerabilidade tais como as infraestruturas de comunicação (como as estradas). Estas podem ser cortadas quer pela ocorrência de sismos ou de erupções vulcânicas impossibilitando a evacuação dos habitantes em caso de necessidade.

Brava é uma das ilhas mais montanhosas do arquipélago, com um relevo muito acidentado, de vales profundos e abruptos e cuja maior altitude é o Pico de Fontainhas com 976 metros. A sua costa é muito escarpada e forma algumas baías, além de ser também uma das ilhas mais húmidas e com maior índice pluviométrico do país. Por isso, são frequentes movimentos de vertentes e enxurradas particularmente na época das chuvas. A atividade sísmica, o vulcanismo e a erosão costeira são igualmente fatores desencadeantes de movimentos de vertente. De facto, na Brava é possível reconhecer inúmeras cicatrizes de movimentos de vertente em várias zonas da ilha, nomeadamente nas ribeiras da Fajã d'Água (Travessa, Lavadura e Lagoa), Ribeira dos Ferreiros (Chãzinha de Olho d'Água), no vale fluvial da Baía de Portete, entre outros.

Estas evidências apontam para a existência de perigos sísmico e vulcânicos significativos na ilha. Em suma, vários fatores permitem considerar a ilha Brava suscetível à ocorrência de fenómenos geológicos que poderão ou não desencadear desastres naturais.

Às características geológicas e geomorfológicas que demonstram a existência de perigos geológicos, acresce o isolamento a que a ilha Brava se encontra sujeita, as particularidades relativas à sua demografia (a maioria das povoações, incluindo a capital da ilha, Nova Sintra, está edificada no interior de crateras vulcânicas ou em zonas vulneráveis à ocorrência de deslizamentos), o desconhecimento dos perigos geológicos existentes e sua distribuição geográfica por parte da população e autoridades locais. Realça-se que a ilha não tem sistemas de monitorização e alerta e não existem planos de emergência e os meios de auxílio são escassos. Esta situação cria condições de elevado risco para as populações da ilha, aspetos que devem ser considerados pelo Serviço Nacional de Proteção Civil de Cabo Verde.

Pelo exposto, e pelo facto de esta ilha ser deficiente em termos de estudos referentes à avaliação de perigos geológicos e vulnerabilidades tendo em vista o planeamento de emergência, considerou-se importante desenvolver o presente trabalho na Brava.

1.3.4. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

De modo a atingir os objetivos já referidos, o presente trabalho encontra-se estruturado em sete capítulos apresentando-se resumidamente o seu conteúdo:

Neste primeiro capítulo, que constitui a introdução deste trabalho, resume-se o enquadramento geográfico da ilha Brava, no quadro geral do arquipélago de Cabo Verde sendo de seguida abordado o *state-of-the-art* dos diversos trabalhos publicados até à data sobre a Geologia da área de estudo e caracterizados os aspetos ligados à monitorização sismovulcânica e à avaliação de perigos em Cabo Verde. De seguida procedeu-se ao enquadramento e caracterização do projeto associado ao desenvolvimento do presente trabalho.

O segundo capítulo é dedicado à análise morfoestrutural da ilha Brava. Começa-se por uma caracterização geral da geomorfologia da ilha, seguido da caracterização geomorfológica das principais formas e estruturas vulcânicas existentes. Seguidamente, são referenciadas as estruturas tectónicas, as cicatrizes e os depósitos de vertente; a rede hidrográfica, e as arribas costeiras. Este capítulo culmina com a apresentação das formas e estruturas vulcânicas e tectónicas numa carta morfoestrutural.

A avaliação do perigo sísmico na Brava constitui o núcleo do terceiro capítulo e envolve a caracterização da sismicidade sob os pontos de vista histórico e instrumental. Para o estudo da sismicidade histórica faz-se uma análise da documentação existente e respectiva análise macrossísmica enquanto que para a caracterização da sismicidade instrumental são abordadas as várias redes sismológicas que têm operado em Cabo Verde, no geral, e na ilha Brava, em particular.

O quarto capítulo compreende a avaliação dos perigos vulcânicos, com base no estudo dos depósitos vulcânicos da ilha Brava, definidos como grupos litológicos, através dos quais se definiu os parâmetros eruptivos tendo em conta as características dos depósitos estudados e que tipificam as diversas situações passíveis de se verificarem. Para o estudo dos grupos litológicos procedeu-se à realização de cortes geológicos de depósitos vulcânicos bem como a distinção e descrição de cada grupo. De seguida, são indicados os estilos eruptivos que terão dado origem aos grupos litológicos bem como a identificação dos perigos vulcânicos decorrentes. No final deste capítulo faz-se a avaliação da suscetibilidade à ocorrência da queda de cinzas através simulação de cenários seleccionados.

A vulnerabilidade do edificado aos perigos sísmico e vulcânicos é alvo de discussão no quinto capítulo, tendo-se começado pela caracterização dos elementos de vulnerabilidade da área de estudo (população, edificado e infraestruturas básicas). Optou-se pelo estudo mais aprofundado da vulnerabilidade do edificado aos perigos estudados tendo-se elaborado um inquérito de acordo com alguns parâmetros para cada perigo. Os resultados do inquérito da vulnerabilidade do edificado foram apresentados e analisados para cada um dos perigos considerados.

O sexto capítulo é dedicado ao planeamento de emergência começando pela caracterização dos serviços de Protecção Civil em Cabo Verde tendo em conta o seu enquadramento legislativo, a sua composição e os parâmetros necessários para a elaboração dos planos de emergência. Pelo facto de o final da elaboração deste trabalho ter coincidido com o desenvolvimento da erupção vulcânica iniciada a 23 de Novembro

de 2014 na vizinha ilha do Fogo, faz-se uma abordagem aos aspetos relacionados com a gestão da crise e o planeamento de emergência durante a ocorrência deste fenómeno.

Por fim, no último capítulo teceram-se algumas considerações finais decorrentes do trabalho efectuado, algumas dificuldades encontradas e mencionam-se algumas linhas orientadoras de possíveis trabalhos futuros.

CAPÍTULO II - ANÁLISE MORFOESTRUTURAL DA ILHA BRAVA

2.1. ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA ILHA BRAVA

As ilhas de Cabo Verde são de origem vulcânica, embora existam igualmente depósitos sedimentares importantes nas ilhas de Sal, Boavista e Maio, e apresentam características geológicas e geomorfológicas distintas, para além dos aspetos fisiográficos que se indicam na tabela 2.1. A área total do arquipélago corresponde aproximadamente a 4068 km² distribuídos de forma desigual entre as ilhas. A maior ilha, Santiago, tem 991 km² e a mais pequena, Santa Luzia, tem apenas 35 km² (ver tabela 2.1). As distâncias inter-ilhas variam de apenas 8 km entre S. Vicente e Santa Luzia a 270 km entre Santo Antão e Maio.

Tabela 2. 1. Características fisiográficas das ilhas de Cabo Verde (Bebiano, 1932).

Grupos/Ilhas	Comprimento máximo (m)	Largura máxima (m)	Altitude máxima (m)	Superfície (km ²)
<i>Ilhas do Norte (ou Barlavento)</i>				
Santo Antão	42,75	23,97	1979	779
S. Vicente	24,25	16,25	744	227
Sta Luzia	12,37	5,32	395	35
S. Nicolau	44,50	22,00	1304	343
Sal	29,70	11,80	406	216
Boa Vista	28,90	30,80	390	620
<i>Ilhas do Sul (ou Sotavento)</i>				
Maio	24,10	16,30	436	269
Santiago	54,90	28,80	1392	991
Fogo	26,30	23,90	2829	476
Brava	10,50	9,31	976	64

Em relação às características morfológicas observam-se diferenças entre as ilhas orientais (Sal, Boa Vista e Maio) e ocidentais (Santiago, S. Nicolau, Santa Luzia, S. Vicente, Fogo, Brava e Santo Antão) (Fig. 2.1):

- As ilhas orientais são baixas em altitude apresentando elevações máximas da ordem dos 450 m. A paisagem geral tem um aspeto antigo, onde prevalecem relevos erosivos e zonas aplanadas cujo relevo foi nivelado principalmente em períodos de submersão parcial (Ramalho, 2009) (Fig. 2.1a e 2.1b). Geralmente o relevo mais antigo apresenta poucas estruturas vulcânicas com formas preservadas; já os edifícios fonolíticos e cones de escórias formados durante a última fase eruptiva pós-erosional estão mais bem preservados;
- As ilhas ocidentais apresentam, geralmente, relevos maiores e alcançam altitudes que frequentemente ultrapassam 1000 m de altitude sendo a sua paisagem jovem com formas vulcânicas originais perçíveis. As ilhas de Santiago, Brava e Santo Antão, ainda apresentam as estruturas vulcânicas na sua forma original apesar de

serem cortadas por vales profundos (Fig. 2.1c e 2.1d). O vulcão ativo da ilha do Fogo com uma altitude de 2829 m constitui o ponto mais alto do arquipélago.



Figura 2. 1. Exemplos que representam o contraste geomorfológico que existe entre as ilhas de Cabo Verde. **a)** Ilha da Boa Vista, Ervatão (imagem cedida por Rui Coutinho da Universidade dos Açores); e **b)** Salina de Pedra de Lume e Rocha de Salina, Monte Grande ao fundo (imagem cedida pela FIBA WWF): **c)** Ilha Brava, Lavadura (imagem cedida por Francisco Coelho, Delegação Escolar da ilha Brava) e **d)** Ilha de Santo Antão, Cova (imagem cedida pela FIBA WWF).

Geograficamente a ilha Brava faz parte do grupo das ilhas do Sotavento, situando-se no extremo meridional do arquipélago. Desenvolveu-se de forma elíptica com um comprimento máximo de 10,5 km entre a Ponta Vasa, a mais setentrional, e a Ponta Nho Martinho, a mais meridional, e uma largura máxima de 9,31 km entre a Ponta Costa, a oeste, e a Ponta Rei Fernando, a leste. Estima-se que possui uma área de 64 km². A ilha Brava apresenta zonas costeiras com arribas muito altas e escarpadas, e na parte central existem declives moderados e alguns aplanamentos, o que lhe confere um vago carácter planáltico (Fig. 2.2).



Figura 2. 2. Morfologia da Ilha Brava vista da ilha do Fogo.

A morfologia desta ilha foi condicionada pelas últimas fases de atividade vulcânica, das quais resultou a formação de *maars* (s.l.), domos e cones de escórias e o recobrimento de toda a superfície pré-existente por sucessivas camadas de piroclastos. Da ação erosiva subsequente modelou-se o atual relevo, colocando a descoberto, na orla periférica da ilha, as formações rochosas mais antigas. Nas escarpas litorais observam-se lavas fonolíticas, as quais, definindo altos paredões, contrariam de forma notável a progressão acelerada da erosão para o interior, preservando o planalto.

A ilha Brava é caracterizada por um planalto irregular entre 300 e 976 metros de altitude e quando comparada com as restantes ilhas do arquipélago evidencia altitudes elevadas atingindo a cota máxima de 976 metros no Monte Fontainhas (Fig. 2.3. e Fig. 2.4.).

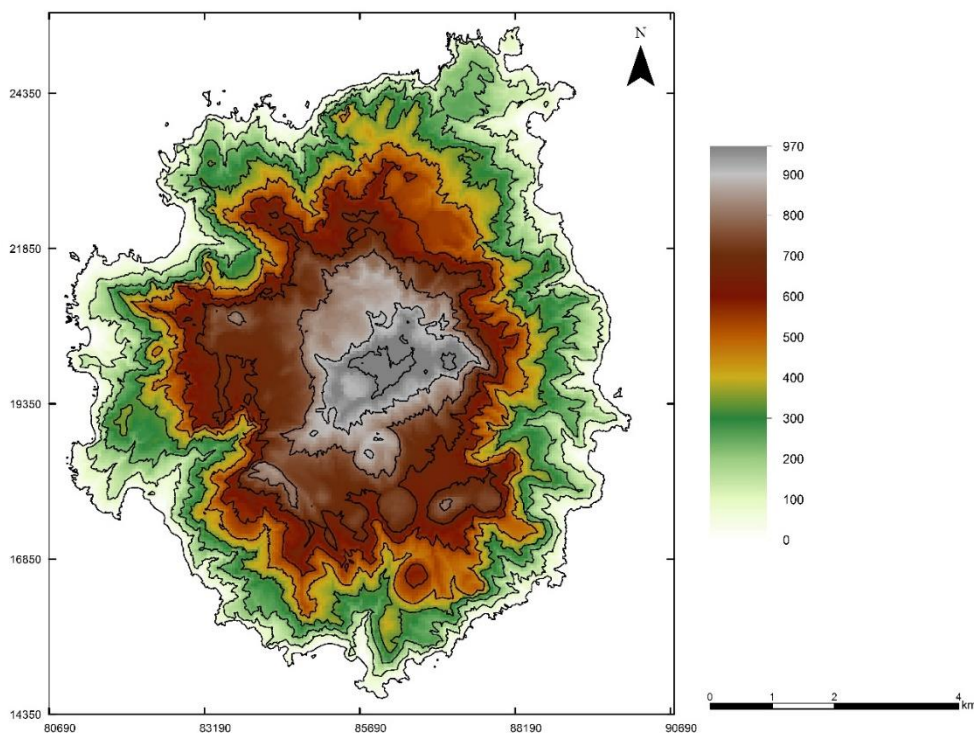


Figura 2. 3. Mapa hipsométrico da ilha Brava.

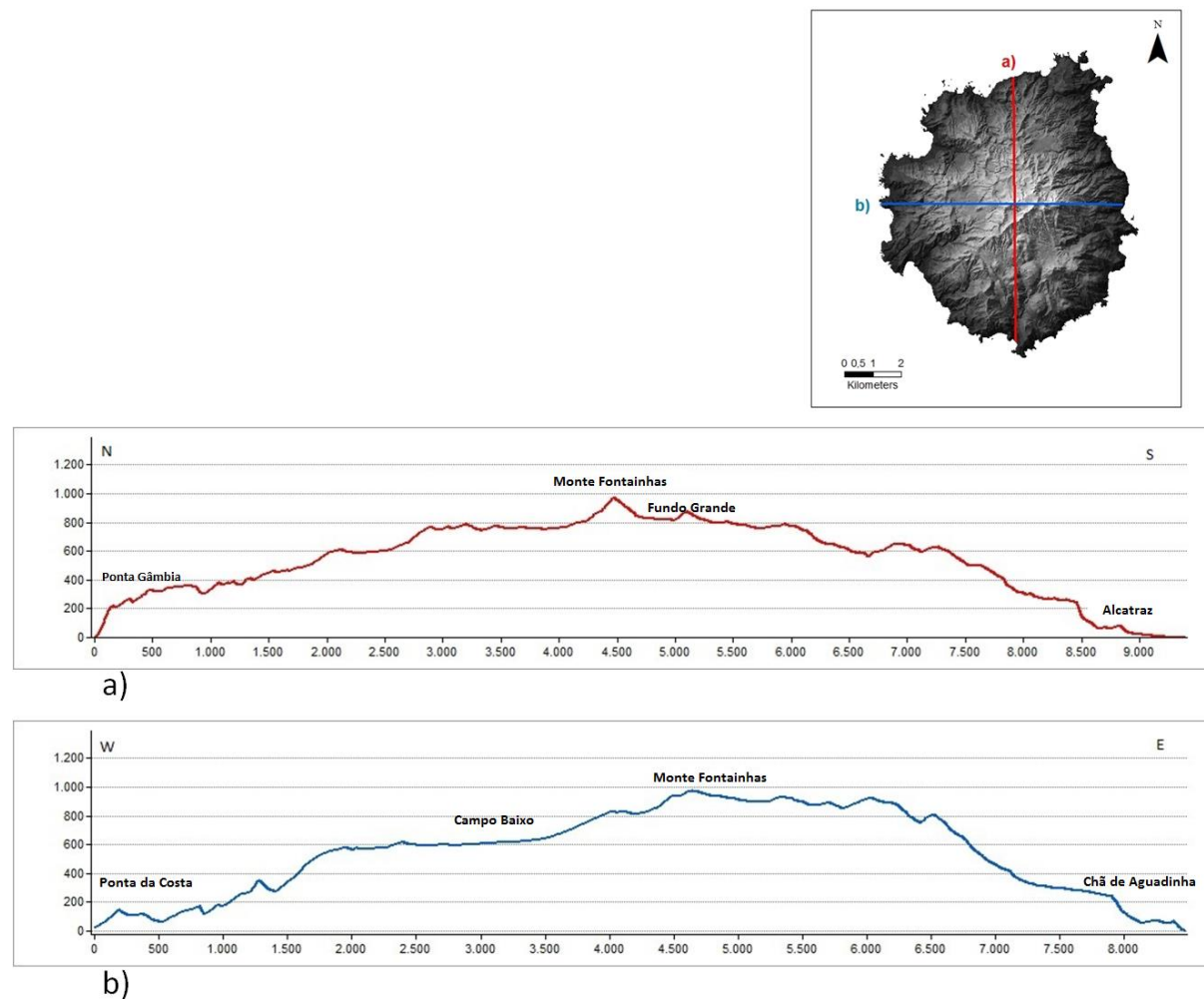


Figura 2. 4. Perfis topográficos da ilha Brava: a) perfil N-S e b) perfil W-E.

Na parte central da ilha o relevo apresenta declives baixos a moderados com valores entre 0° e 15°, sobretudo nos locais onde existem crateras de origem hidromagmática. No entanto, observa-se um aumento progressivo para valores mais elevados (> 35°) à medida que se aproxima do litoral, associados essencialmente às vertentes dos domos e nos vales (figura 2.5).

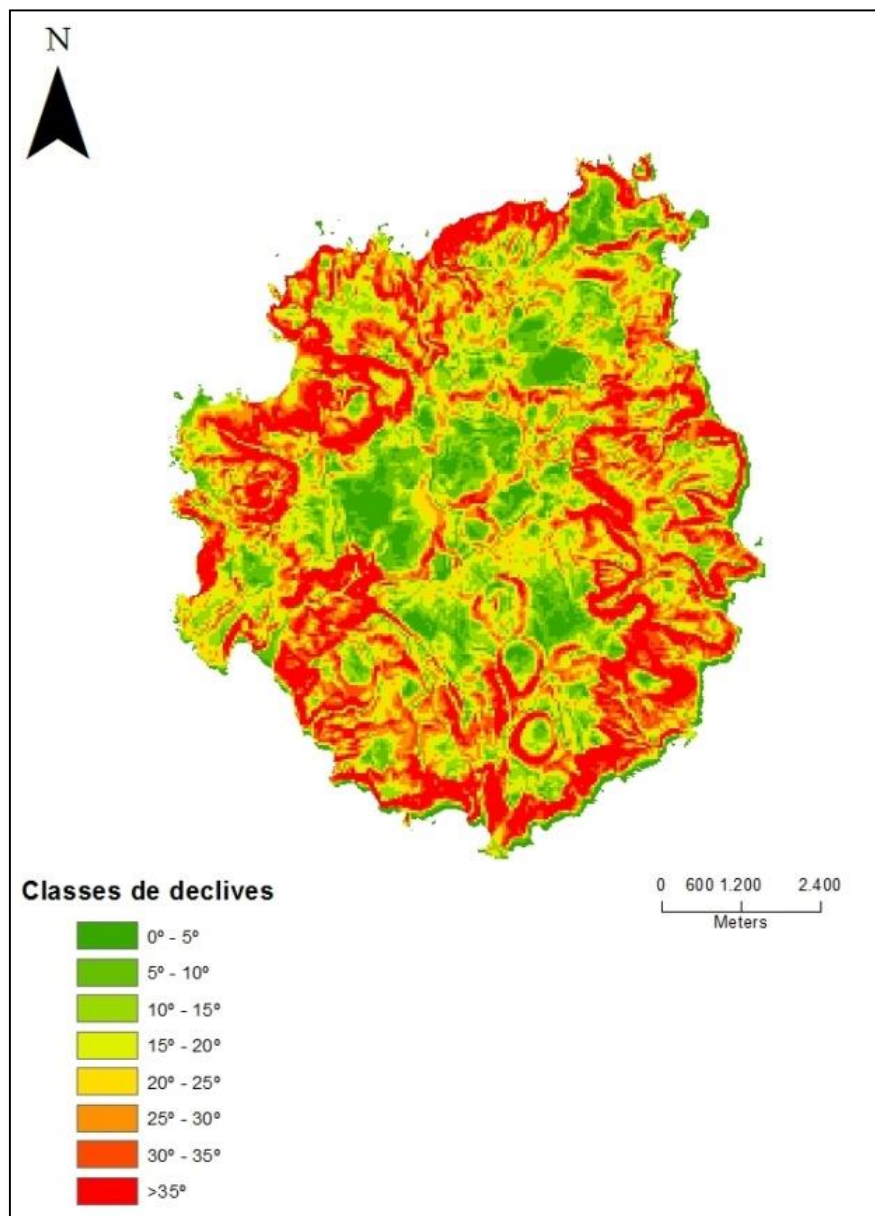


Figura 2. 5. Carta de declives da Ilha Brava.

Em suma, a ilha Brava é caracterizada por um planalto irregular, é delimitada por falésias costeiras íngremes e é cortada por incisão fluvial num padrão de drenagem geralmente

radial. A morfologia atual resultou de processos vulcânicos e tectónicos, erosão marinha e fluvial e processos associados a movimentos de vertente.

2.2. FORMAS E ESTRUTURAS VULCÂNICAS

O estudo das formas e estruturas vulcânicas possibilita a obtenção de elementos fundamentais para a reconstituição das condições que orientaram a sua instalação. A análise morfológica da ilha Brava constitui um importante instrumento para compreender as suas características vulcânicas e a evolução dos seus sistemas vulcânicos. Em termos globais é materializada por um planalto central com uma possível caldeira, onde se identificam domos, cones de escórias, *maars* (s.l.), crateras de explosão, escoadas lávicas e filões.

2.2.1. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

2.2.1.1. METODOLOGIA

De modo a fazer-se a caracterização morfométrica das formas e estruturas vulcânicas existentes na ilha Brava utilizou-se a metodologia a seguir descrita. Numa primeira fase fez-se a identificação de todas as estruturas vulcânicas existentes na ilha tendo em conta a análise de fotografias aéreas da *Município* nas escalas 1:28.800 e 1:14.400 de 2003 e na escala 1:25.000 de 1968. A seguir, efetuou-se uma observação das estruturas no campo que serviu para conferir o trabalho efetuado sobre a fotografia aérea. Seguidamente foram transpostos os limites dos domos e cones assim como os contornos das crateras e caldeira sobre uma base topográfica digital na escala de 1:25.000 de 1979 e ortofotomapas à escala 1:10.000 de 2004 da Direção Geral do Ordenamento do Território e Habitação (DGOTH) de Cabo Verde para um Sistema de Informação Geográfica, utilizando o *Software* ArcGIS® 10. Associada ao traçado vetorial das formas foi criada uma tabela para a inclusão da informação morfométrica relativa a cada forma (Anexo I). Uma vez digitalizadas, e tendo-se verificado a existência de estruturas cuja morfologia original não se encontra preservada, procedeu-se à remoção dos parâmetros das formas mais degradadas para efeitos do processo de análise morfométrica.

Deste modo, a análise morfométrica recaiu sobre as diferentes formas e estruturas vulcânicas selecionadas utilizando os critérios definidos por Wood (1980a). Na

identificação dos parâmetros morfométricos dessas estruturas adotou-se a terminologia de Porter (1972) com as definições sugeridas por Wood (1980a e 1980b) (Fig. 2.6).

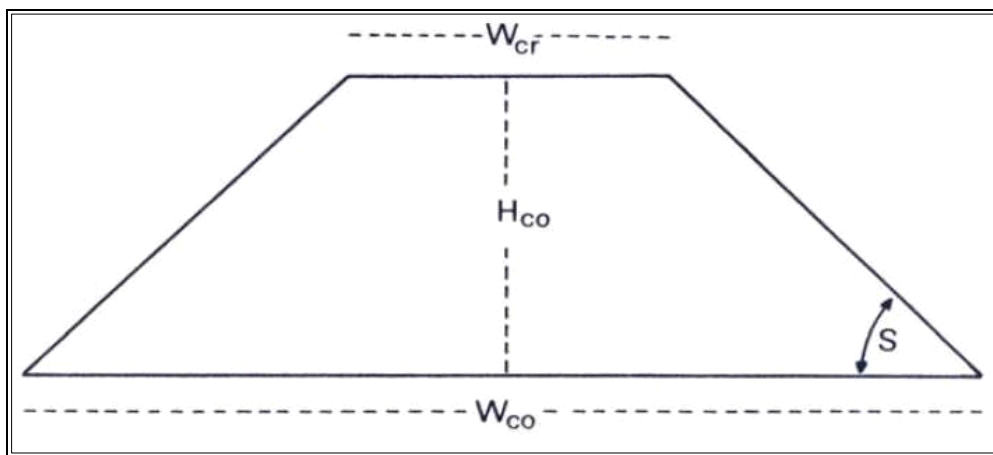


Figura 2. 6. Dimensões de um cone de escórias segundo Wood (1980a). Legenda: H_{CO} - Altura; W_{CO} - Diâmetro da base; W_{CR} - Diâmetro da cratera; S - Declive médio da vertente.

Em que (1) a altura (H_{CO}) das formas é compreendida como a diferença entre a cota do ponto mais elevado e a cota média da base do aparelho vulcânico; (2) o diâmetro basal médio (W_{CO}), correspondente à média dos eixos maior e menor da base das formas; (3) o diâmetro das crateras (W_{CR}), que representa a média dos seus eixos máximo e mínimo das crateras; e (4) a profundidade das crateras (D_{CR}), é a diferença entre a cota máxima do bordo e a cota mínima da base de cada cratera.

2.2.2. FORMAS E ESTRUTURAS VULCÂNICAS NA ILHA BRAVA

2.2.2.1. CALDEIRA VULCÂNICA

As características morfológicas da ilha Brava bem como a tipologia do vulcanismo aí registado têm sugerido a existência de uma ou mais estruturas do tipo caldeira, cuja gênese, desenvolvimento e definição espacial são alvo de discussão por vários autores (e.g. Day, 2008; Madeira *et al.*, 2010b). Day (2008) defende a existência de uma caldeira com cerca de 7 km x 5 km (de direção NS e EW, respectivamente) de extensão que se encontra subjacente a todo o planalto central da ilha e que foi quase completamente preenchida por rochas resultantes da atividade vulcânica pós-colapso da caldeira. Para este autor, os bordos da caldeira podem ser identificados numa série de locais nas zonas oeste e sul da ilha enquanto os bordos nos lados leste e norte parecem estar enterrados sob as rochas pós-colapso da caldeira. Madeira *et al.* (2010b) reconhecem Campo Baixo

como uma possível caldeira de pequeno porte, com cerca de 2,8 km de diâmetro e identificam duas discordâncias estratigráficas na sequência piroclástica, uma exposta no interior da cratera e outra mais a sul no vale da Ribeira dos Ferreiros, que separam prováveis depósitos pré, sin e pós-caldeira.

Os levantamentos de campo realizados no âmbito do presente trabalho permitiram recolher informações que parecem corroborar a existência de episódios de formação de caldeira, tendo-se considerado Campo Baixo uma pequena caldeira (Fig. 2.7).

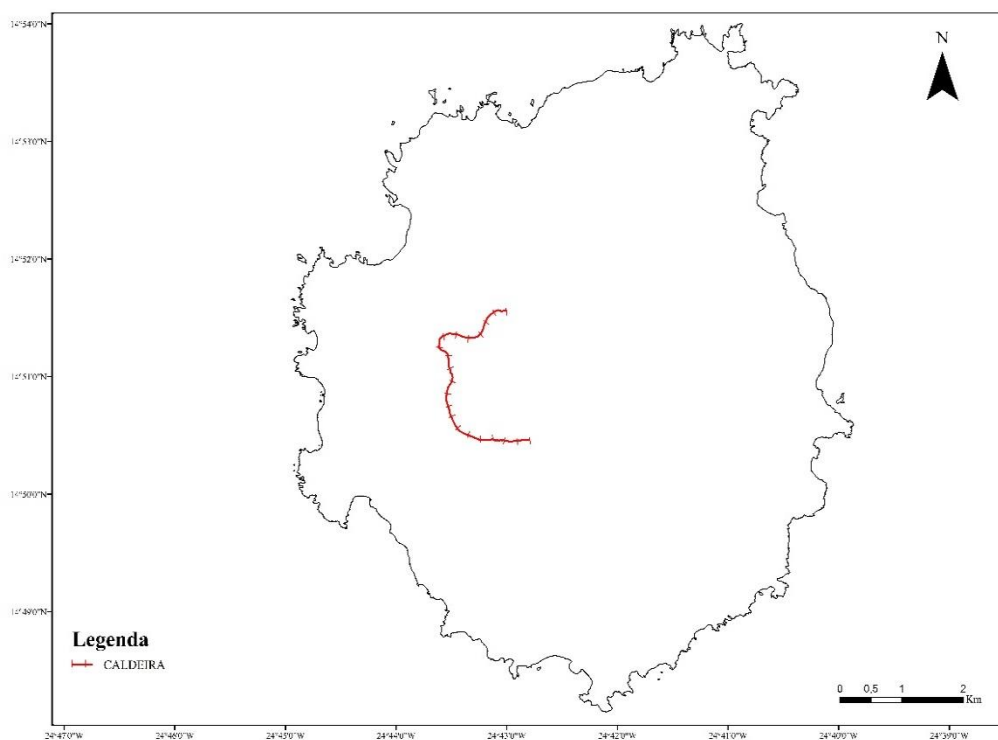


Figura 2. 7. Esboço da caldeira de Campo Baixo.

Esta, que possui cerca de 2 km de diâmetro (W_{cr}), uma área aproximada de 3 km² e uma profundidade (H_{cr}) de cerca de 270 metros, apresenta alguns bordos já apreciavelmente recuados pela forte erosão a que têm sido sujeitos, sendo, por isso, impossível reconhecer os limites da caldeira em toda a sua extensão. Nos sectores voltados a sul e este são facilmente reconhecidos os bordos comparativamente aos sectores norte e oeste, apresentando um nítido contraste em relação ao declive e à profundidade dos flancos (Fig. 2.8).

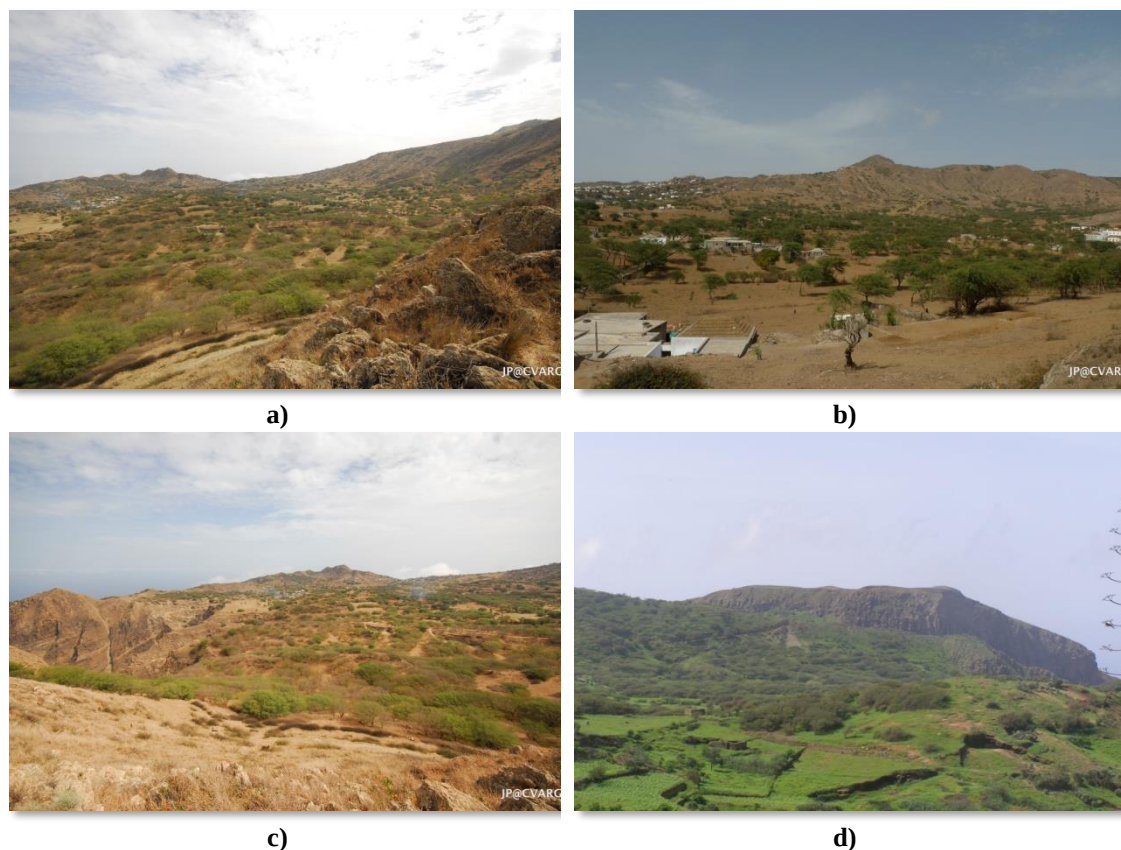


Figura 2. 8. Caldeira de Campo Baixo: a) lados norte e este, vistos do lado Sul da ilha; b) lado este visto do lado Oeste da ilha; c) Lados norte e oeste vistos do lado sul da ilha (imagens cedidas por José Pacheco da Universidade dos Açores); d) lado sul visto de Mato Grande, também se observa a escarpa do Vigia.

Os declives apresentados pelas vertentes internas do edifício junto à base variam entre 0° e 10° , essencialmente nos sectores norte e oeste, sendo bastante distintos dos verificados nas zonas mais inclinadas (25° a $> 35^\circ$) nos sectores sul e sudeste (ver figura 2.8).

Um dos aspetos mais distintivos desta estrutura vulcânica é a forte componente erosiva que domina a sua paisagem, sendo tal facto particularmente relevante na zona mais baixa nos sectores norte e este. Estes apresentam-se fortemente dissecados por linhas de água profundamente encaixadas, onde se destaca a Ribeira dos Ferreiros. É de realçar que no perímetro da caldeira é possível observar a existência de quatro pequenas crateras, nas partes nordeste e sudeste, com diâmetros variáveis entre os 128 e 348 m.

2.2.2.2. MAARS (S.L.)

Os *maars* (s.l.) constituem centros vulcânicos, regra geral, monogenéticos, produzidos no decurso de erupções hidrovulcânicas (Lorenz, 1973). Constituem formas cuja génese está, naturalmente, condicionada pela existência de água no momento da atividade eruptiva.

Segundo alguns autores (e.g. Fisher e Schmincke, 1984; Cas e Wright, 1988; Chester, 1993) os *maar* (s.l.) incluem, de modo geral, os *maars* (s.s.), os anéis de tufos (*tuff rings*) e os cones de tufos (*tuff cones*) e as suas características foram estabelecidas tendo em conta os aspetos estruturais. Os *maars* (s.s.) possuem a base da cratera abaixo da superfície topográfica preexistente e as suas paredes internas são muito inclinadas e com vertentes relativamente suaves (Fig. 2.9a). De acordo com Sheridan e Wohletz (1983), os restantes (anéis e cones de tufos), ao contrário, têm crateras ao nível ou acima da superfície topográfica original, e diferenciam-se entre si por apresentarem razões H_{co}/W_{co} de 0.02-0.04 e 0.1-0.5, respetivamente. Os anéis de tufos são normalmente mais baixos e de vertentes menos inclinadas do que os cones de tufos (Fig. 2.9b e 2.9c).

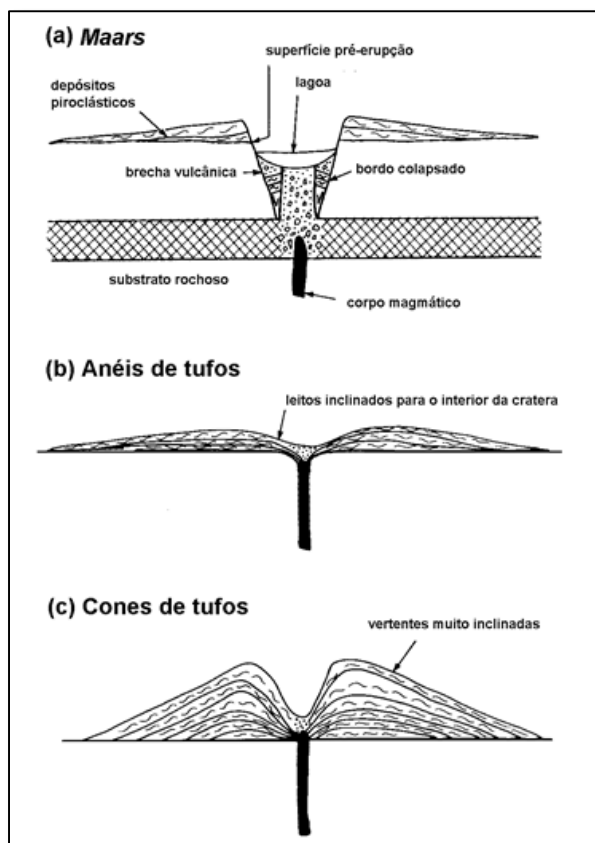


Figura 2. 9. Esquema simplificado da morfologia dos diferentes tipos de *maars* (s.l.) (adaptado de Cas e Wright, 1987 in Queiroz, 1997).

Para Gaspar (1996) a distinção entre estes tipos de estruturas pode ser muito difícil, particularmente quando os aparelhos vulcânicos estão degradados ou cobertos devido à subjetividade da análise dos parâmetros em questão. Ao mesmo tempo, a edificação de

um cone assimétrico pode originar-se na formação de uma estrutura com características mistas (Fisher e Schmincke, 1984) (Fig. 2.10).

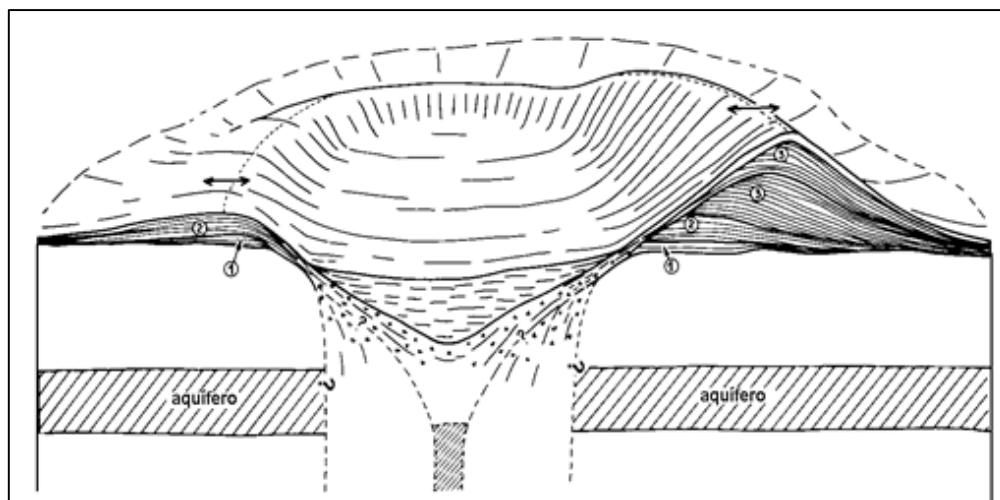


Figura 2. 10. Secção de um *maar* assimétrico com características mistas de *maar* (s.s) (1), anel de tufos (2) e cone de tufos (3) (Fisher e Schmincke, 1984).

Os *maars* (s.l.) correspondem à forma vulcânica mais abundante da ilha. Tem sido reconhecido por vários autores (e. g. Machado *et al.*, 1967; Machado *et al.*, 1968; Madeira *et al.*, 2006; Day, 2008; Madeira *et al.*, 2010b) que o vulcanismo recente da Brava é predominantemente explosivo com diferentes tipos de unidades eruptivas associadas aos numerosos *maars* (s.l.) que representam crateras hidromagmáticas, monogenéticas, encontradas essencialmente na região centro-norte, sendo originadas por atividade hidrovulcânica/freatomagmática ou freática em que a sua natureza indica a presença da água a dada altura da trajetória ascensional do magma. Os centros eruptivos, responsáveis pelo grande volume de piroclastos fonolíticos existentes na Brava, constituem cerca de sessenta *maars* (s.l.) com dimensões e formas variáveis (Fig. 2.11).

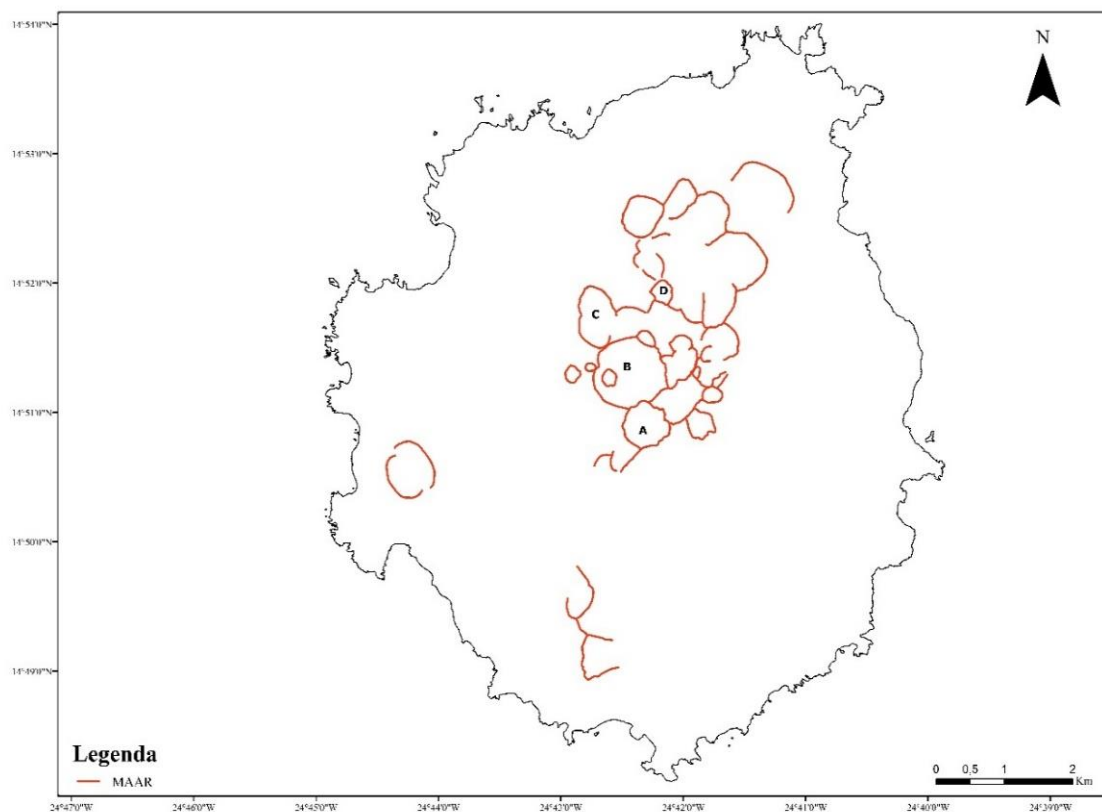


Figura 2. 11. Esboço da localização dos *maars* (s.l.) cartografados na ilha Brava: A – Fundo Grande, B – Cova Lima Doce, C – Cova Joana e D - Covoadá.

A maioria dos *maars* observados apresenta bordos incompletos ou num estado de degradação muito acentuado, cuja génese ter-se-á relacionado com fases hidromagmáticas e que poderão ter sido degradados na sequência de intensa atividade tectónica e erosiva. Muitos *maars* (s.l.) pequenos estão aninhados dentro de outros maiores.

A distribuição geográfica destes centros vulcânicos é caracterizada por um aglomerado na região centro-norte da ilha, sendo que alguns se encontram alinhados indicando um controle estrutural por falhas e fracturas de direcção NE-SW a ENE-WSW e NNW-SSE. Além do Fundo Grande, existem no planalto central várias depressões mais ou menos circulares sendo as mais notáveis Cova Joana, Fundo Baixo e Covoadá (Fig. 2.12).

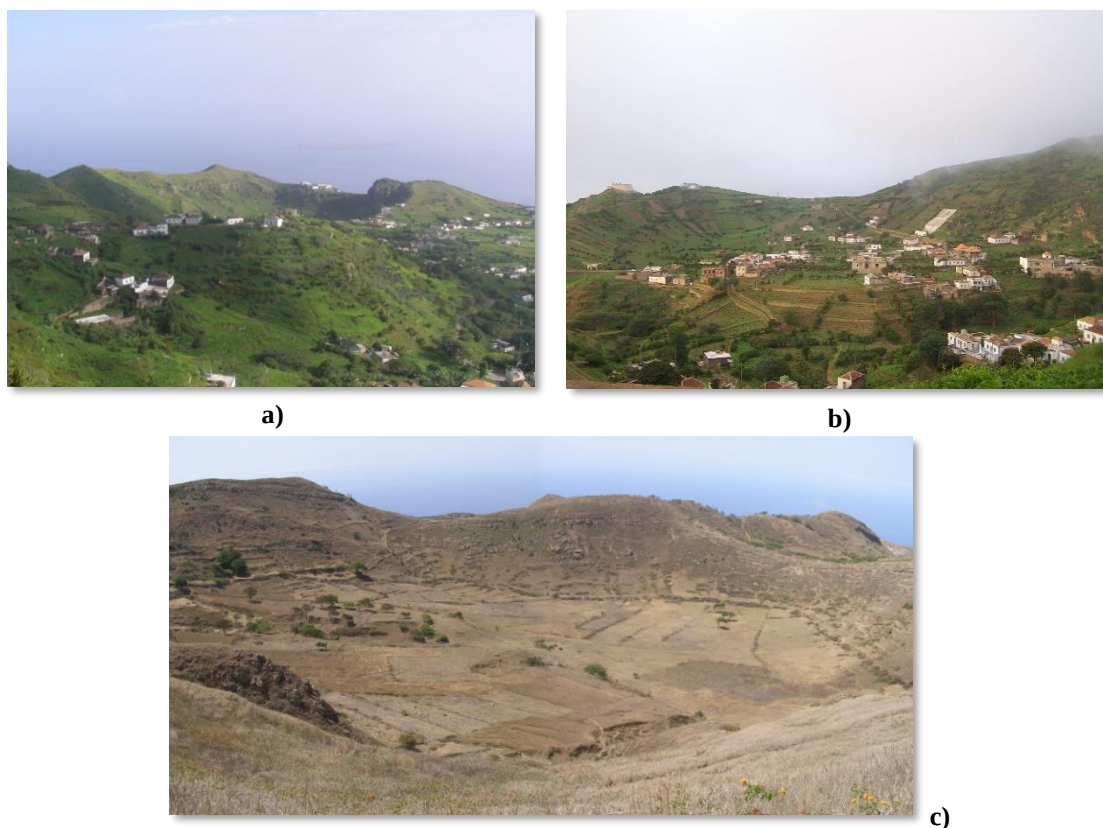


Figura 2. 12. Aspeto de alguns *maars* (s.l.): a) Covoada vista do Miradouro de Mato Grande; b) Cova Joana vista de Mato; c) Panorâmica do Fundo Baixo vista do Monte Fontainhas.

A abundância de actividade hidromagmática que conduziu à formação dos referidos *maars* é uma das características que distingue a ilha Brava das restantes ilhas do Arquipélago de Cabo Verde, em termos vulcanológicos. A existência destas estruturas freatomagmáticas é muito rara em Cabo Verde salvo algumas exceções como Cova e Lagoa, na ilha de Santo Antão, e Pedra de Lume, na ilha do Sal. No entanto, na ilha Brava a abundância de *maars* (s.l.) é notável indicando a disponibilidade de água subterrânea.

Para a determinação da morfometria dos *maars* da Brava, foram cartografados cerca de 60 *maars* e, no entanto, devido ao estado degradado de muitos somente 29 foram considerados neste estudo. Os parâmetros morfométricos determinados para cada *maar* (s.l.) foram o diâmetro basal médio (W_{CR}) e a profundidade (D_{CR}), de acordo com a metodologia referida no ponto 2.2.2.1 (tabela 2.2).

Tabela 2. 2. Parâmetros morfométricos dos *maars* (s.l.) na ilha Brava.

Nome	Diâmetro - W_{CR} (m)	Profundidade - D_{CR} (m)
Santa Bárbara	949	175
Covoada	546	115
S. Pedro	465	180
Nova Sintra N	675	103
Nova Sintra S	827	175
Cova Rodela	305	110
Paúl	307	95
Mato Grande	594	235
Cova Joana N	545	50
Cova Lima Doce Pq fora	231	45
Nha Preta1	528	95
Cova Galinha	262	65
Nha Preta2	522	105
Mato1	136	15
Campo Baixo Pq E	127	50
Cova Lima Doce Grande	1028	250
Os Fetos1	126	45
Campo Baixo Grande	231	25
Cova Lima Doce Pq	218	30
Mato2	650	75
Os Fetos2	194	60
Francelho	254	55
Campo das Fontes	555	80
Fundo Grande	659	165
Cova de Bicho	376	130
Fundinho	360	95
Achada Figueirinha	667	140
Achada Chão d'Ouro N	499	200
Achada Chão d'Ouro S	509	270

Legenda: Pq – pequeno; N – Norte; S – Sul; E – Este.

Conforme se pode verificar a partir da análise da tabela 2.2, os *maars* (s.l.) evidenciam diâmetros (W_{CR}) entre os 126 e os 1028 metros e profundidades entre (D_{CR}) os 15 e os 270 metros. As dimensões são apresentadas no diagrama da figura 2.13 onde os pontos projetados definem a relação $D_{CR} = 3.5489W_{CR}$ com um coeficiente de correlação (R^2) = 0,48.

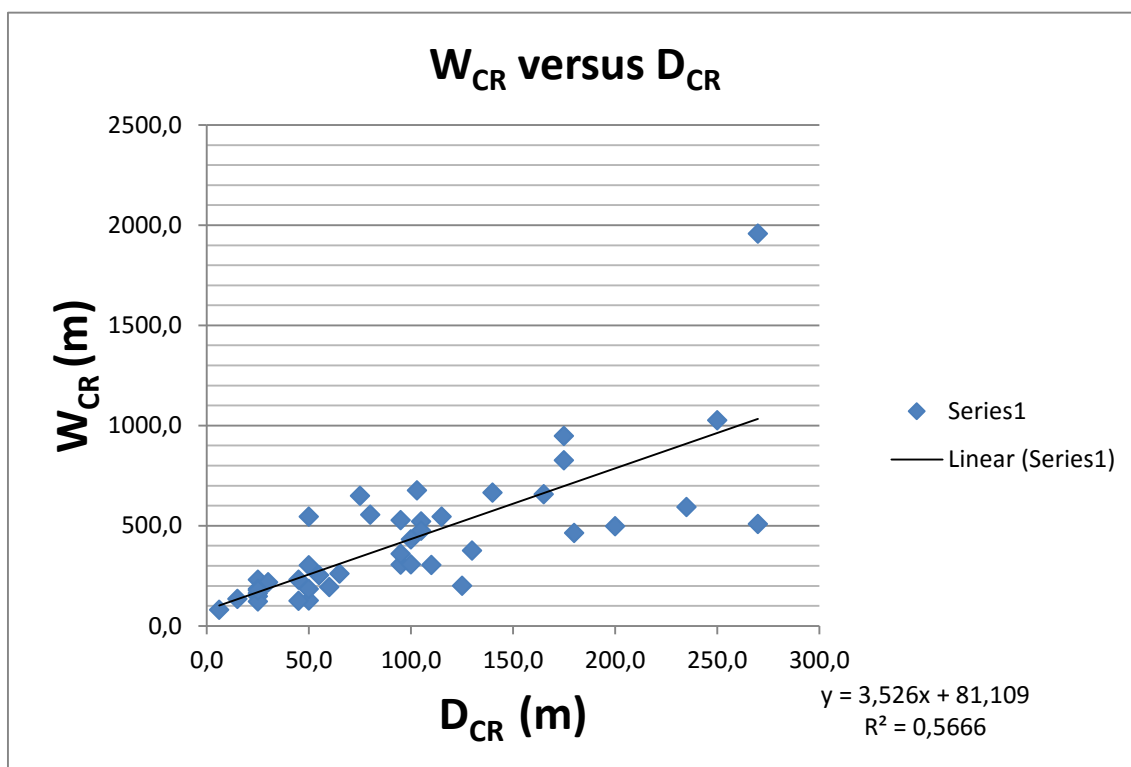


Figura 2. 13. Diagrama W_{CR} vs D_{CR} para os maars da ilha Brava. A profundidade dos maars (D_{CR}) corresponde à diferença entre a cota máxima do bordo e a cota mínima da base. O diâmetro dos maars (W_{CR}) representa a média dos seus eixos máximo e mínimo. A recta $D_{CR} = 3,53W_{CR}$ estabelece o grau de correlação entre as duas variáveis do gráfico (coeficiente de correlação (R^2) = 0,56).

Atendendo à subordinação da forma destes edifícios aos processos de fragmentação hidromagmática designadamente à razão água/magma, que pode apresentar uma evolução crescente, decrescente ou cíclica, encontra-se na natureza um espectro completo entre estas formas (Pacheco, 2001). A distinção entre as várias formas torna-se ainda mais ténue nos edifícios assimétricos, onde um lado do cone é mais alto do que o outro, por exemplo devido à deposição orientada dos depósitos de queda (Fisher e Schmincke, 1984) ou quando os aparelhos se encontram degradados, por força da erosão ou de movimentos tectónicos (Gaspar, 1996; Queiroz, 1997). A recta tem um coeficiente de correlação baixo de 0,48. Provavelmente isso deve-se, ao facto de as suas dimensões serem significativamente maiores e daí apresentarem uma razão D_{CR}/W_{CR} mais baixa, reflexo dos seus grandes diâmetros relativamente à altura dos bordos, o que fica a dever-se às dimensões das suas largas crateras, fruto da maior explosividade das erupções hidromagmáticas.

Existem algumas formas que se afastam mais da recta, estando associado aos *maars* de maiores dimensões. No presente trabalho não foi possível relacionar este aspeto com razões de natureza geológica ou geomorfológica. Os dados aqui recolhidos poderão ser um ponto de partida para uma pesquisa futura que poderá passar pela análise das condicionantes relacionadas com a morfologia do terreno preexistente, bem como das características físicas das formas descritas.

2.2.2.3. CONES DE ESCÓRIAS

Na sua maioria, os cones de escórias constituem estruturas cónicas de pequenas dimensões, monogenéticas e edificadas pela acumulação de piroclastos basálticos (*s.l.*) projetados com trajetória balística no decurso de erupções estrombolianas e/ou havaianas (Vespermann & Schmincke, 2000). Cones de formas alongadas são geralmente produzidos por erupções que se desenvolveram ao longo de fissuras durante um certo período de tempo antes de se concentrarem numa conduta central (Breed, 1964 *in* Wood, 1980). O topo de tais estruturas é frequentemente marcado pela existência de uma ou mais crateras terminais, circulares ou alongadas, cujos bordos apresentam por vezes roturas de origem tectónica e/ou decorrentes da extrusão de escoadas lávicas (Vespermann & Schmincke, 2000). Alguns fatores, como a taxa de efusão, a velocidade de ejeção e os ângulos de projeção, condicionam a temperatura dos clastos no momento da deposição e, influenciam a evolução das formas construtivas ao longo dos episódios eruptivos (Head & Wilson, 1989).

Os cones de escórias são considerados a nível mundial, e também em Cabo Verde, as estruturas vulcânicas mais comuns. No entanto, na ilha Brava constituem a forma vulcânica mais rara pois existe um único cone de escórias no flanco sul da ilha, o Monte Alcatraz (Fig. 2.14 e Fig. 2.15).

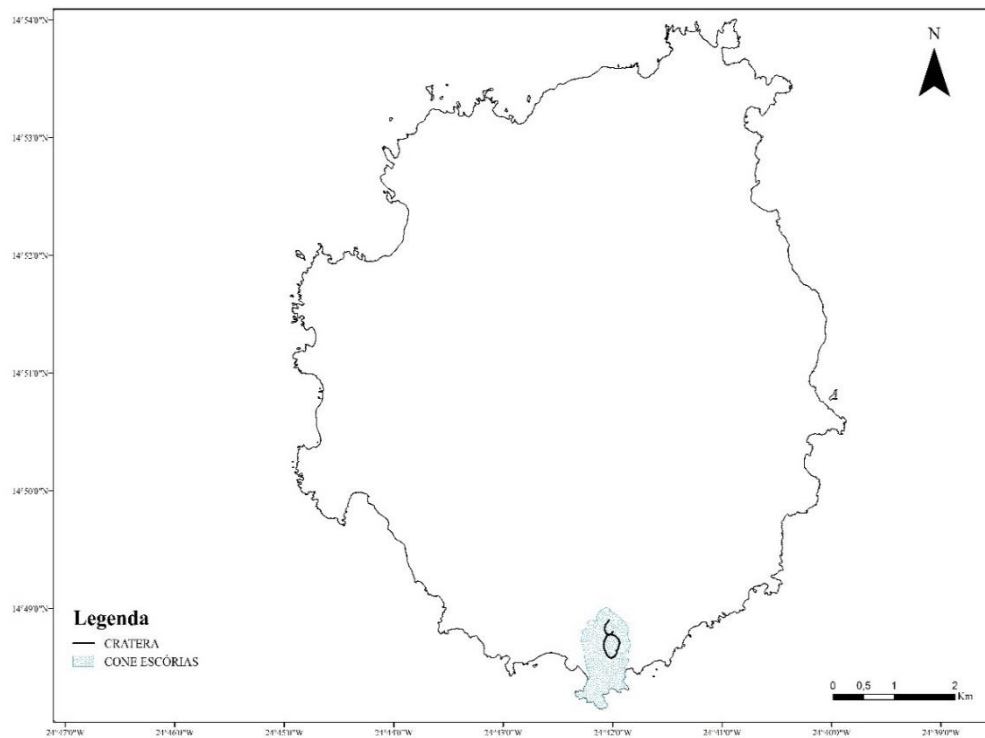


Figura 2. 14. Esboço da localização do cone de escórias existente na ilha Brava.

Este constitui um cone de cinzas e lapilli de queda de natureza fonolítica com duas crateras e foi edificado na erupção do Alcatraz, um evento considerado muito importante por representar a única forma bem preservada resultante de uma erupção estromboliana (Machado *et al.*, 1968; Madeira *et al.*, 2010b). Segundo Madeira *et al.* (2010b) e Mourão (2012), os depósitos deste cone ocorrem ainda no topo do domo de Monte Miranda, no rebordo das crateras da Achada de Chão de Ouro e na escarpa de falha do Vigia.



Figura 2. 15. Cone de escórias do Monte Alcatraz, visto do Monte Largo (a) e visto do Monte Miranda (b).

De acordo com os critérios sugeridos por Wood (1980a) a determinação dos parâmetros morfométricos incidiu, como é evidente, somente sobre o cone de escórias do Monte Alcatraz. Este cone de escórias apresenta uma forma alongada sendo a altura (H_{CO}) de 378 metros e o diâmetro basal (W_{CO}) de 1046 metros. Os diâmetros das duas crateras (W_{CR}) variam entre 174 e 275,5m e as profundidades (D_{CR}) variam entre os 25 e os 50 metros, respetivamente, para as crateras norte e sul.

2.2.2.4. DOMOS

Os domos são formas vulcânicas comuns em vulcões de natureza intermédia e/ou evoluída. Estes resultam da acumulação de lavas, com elevada viscosidade, sobre o centro emissor e são caracterizados por vertentes declivosas e um contorno aproximadamente circular ou oval, lembrando uma cúpula (Macdonald, 1972; Blake, 1990; Iverson, 1990; Fink e Anderson, 2000). Por vezes a inclinação do terreno favorece a fluência de lava segundo o gradiente mais elevado, originado um corpo lávico alongado que constitui uma escoada ou *coulée* (Blake, 1990).

A seguir aos *maars* (s.l.), os domos correspondem às formas vulcânicas mais comuns nesta ilha. Os domos estão alinhados ao longo de orientações tectónicas de direção NE-SW a ENE-WSW e NNW-SSE, já referidas para os *maars* (s.l.). São especialmente proeminentes no sul da ilha, onde domos com algumas centenas de metros de altura representam uma característica da paisagem, como o Monte Miranda (A) (Fig. 2.16).

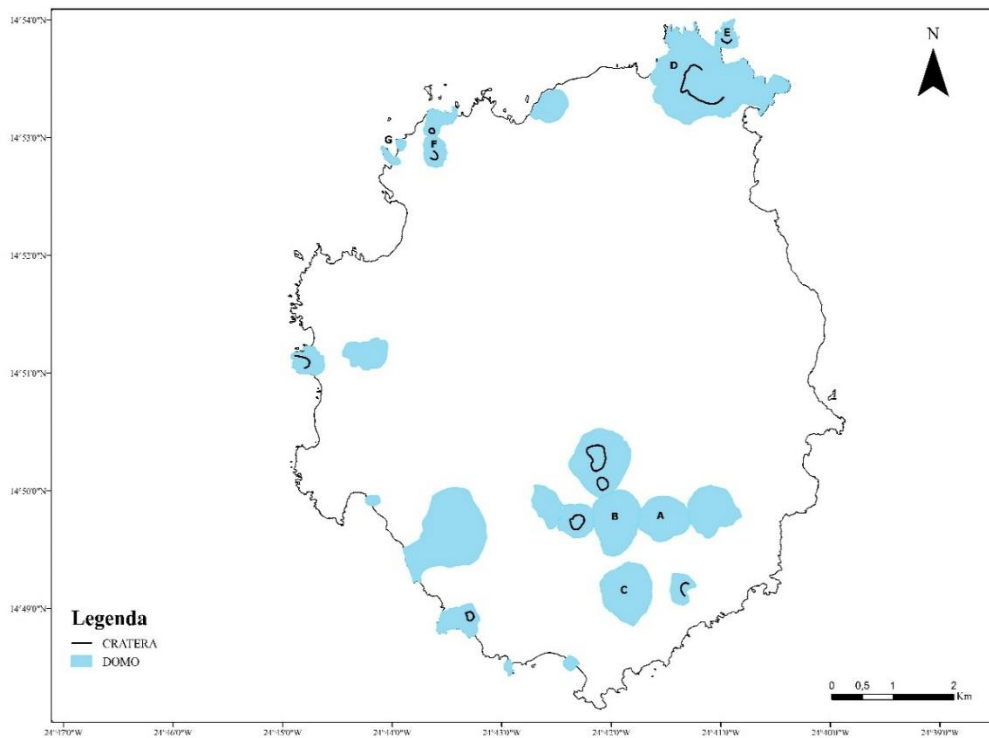


Figura 2. 16. Esboço da localização dos domos fonolíticos cartografados na ilha Brava: A – Monte Miranda, B – Morro Largo e C – Morro das Pedras.

A maioria dos domos estão localizados essencialmente na parte sul da ilha, destacando-se o Morro Largo, Monte Miranda e Morro das Pedras, que são notavelmente simétricos, e, ainda, no litoral norte da ilha como o Favatal, Ponta Incenso e Monte Figueiral (Fig. 2.17).



a)



b)



Figura 2. 17. Domos fonolíticos: **a)** Morro das Pedras (localizado no flanco sul da ilha); **b)** Morro Figueiral (perto de Fajã d'Água); **c)** Monte Miranda (Cachaço); **d)** Domos desmantelados pela erosão costeira, como são o caso de Ponta Cajau Grande, à direita, e Monte Pesqueiro, à esquerda (perto de Fajã d'Água).

Com vista à determinação dos parâmetros morfométricos foi utilizada a metodologia referida em 2.2.1 de modo a permitir a caracterização dos vários domos cartografados. Como tal, foram analisados 23 domos segundo os parâmetros sugeridos por diversos autores (Walker, 1973; Wood, 1980a; Settle, 1979) por forma a tentar obter-se uma boa caracterização geométrica dos mesmos. Os parâmetros morfométricos determinados para os domos existentes na Brava foram a altura (H_{CO}) e o diâmetro basal médio (W_{CO}) (Tabela 2.3). Para os domos que possuem crateras foram ainda determinados o diâmetro (W_{CR}) e a profundidade (D_{CR}) para cada uma delas.

Tabela 2. 3. Parâmetros morfométricos dos domos.

Nome	Diâmetro da base W_{CO} (m)	Altura H_{CO} (m)	V/H	Diâmetro da cratera W_{CR} (m)
Ponta Incenso	372,0	102	3,6	163,7
Favatal	1497,0	238	6,3	476,1
Morro Figueiral Norte	415,0	179	2,3	
Morro Figueiral Meio	370,0	195	1,9	149,0
Morro Figueiral Sul	193,0	110	1,8	81,1
Monte Quimbi	577,0	365	1,6	
Mamana/Monte Cachaço	1038,0	210	4,9	307,9 (N)
Mamana/Monte Cachaço	1038,0	210	4,9	185,1 (S)
Monte Ponta Verde	804,0	220	3,7	
Monte Largo	877,0	295	2,9	666,9
Monte Miranda	764,0	230	3,3	330,5
Gudo de Pomba	545,0	190	2,9	198,5
Achada Caçador	1213,0	615	1,9	
Morro das Pedras	878,0	200	4,4	366,7
Monte Façanha	385,0	100	3,9	185,0
Ponta Alto	495,0	229	2,2	122,9

Porto Ancião	241,0	140	1,7	302,5
Quebra Cabeças	181,0	83	2,2	
Ponta da Costa	426,0	159	2,7	201,3
Ponta Cajau Grande	201,0	130	1,5	
Boca de Porco	441,0	126	3,5	
Porto dos Ferreiros	203	124	1,6	
Monte Gâmbia	456	333	1,4	
Monte Pesqueiro	223	80	2,8	

Legenda: N – vertente norte, S – vertente sul.

Conforme se pode verificar a partir da análise da tabela 2.3, a altura dos domos (H_{co}), correspondente à diferença entre a cota do ponto mais elevado e a cota média da base do aparelho, varia entre 80 e 615 metros; o diâmetro basal médio (W_{co}), que é igual à média dos eixos maior e menor da base do cone, varia entre os 181,2 e os 1416,6 metros; as crateras evidenciam diâmetros médios (W_{cr}) que se situam entre os 81 e 669 metros.

Para os domos também se determinou o Coeficiente de Aspeto (Aspect Ratio) que segundo Walker (1973) permite expressar quantitativamente as dimensões relativas das lavas. Walker (1973) definiu o coeficiente de aspeto como a razão entre o diâmetro de um círculo com área equivalente à da escoada (V) e a respetiva altura (H). Este autor determinou valores de coeficiente de aspeto (V/H) para os diferentes tipos de lavas, correlacionando-os com a sua composição química e viscosidade. Deste modo, as lavas podem ser classificadas como domos ($V/H \leq 8$), coulées ($8 < V/H < 50$) e escoadas (s.s.) ($V/H \geq 50$), constituindo assim uma boa forma de expressar numericamente as morfologias dos diferentes tipos de lavas (Walker, 1973). Os valores de coeficiente de aspeto observados nos domos selecionados na Brava (ver tabela 2.3) variam entre 1,4 e 6,3, dados que os situam no intervalo definido por Walker (1973) para os domos.

As dimensões dos domos são apresentadas no diagrama da figura 2.18 onde os pontos projetados definem a relação $H_{co}=0.19W_{co}$. O valor do declive da recta, neste caso, é idêntico aos valores estabelecidos por Wallenstein (1999) para o conjunto relativo ao Vulcão do Fogo (S. Miguel) e Pimentel (2006) para o conjunto dos domos da Terceira. O valor obtido é mais baixo do que os determinados por Queiroz (1997) para os domos do vulcão das Sete Cidades (S. Miguel) e mais alto pelos determinados por Ferreira (2000) para o grupo de domos do Sistema Vulcânico da Região dos Picos (S. Miguel).

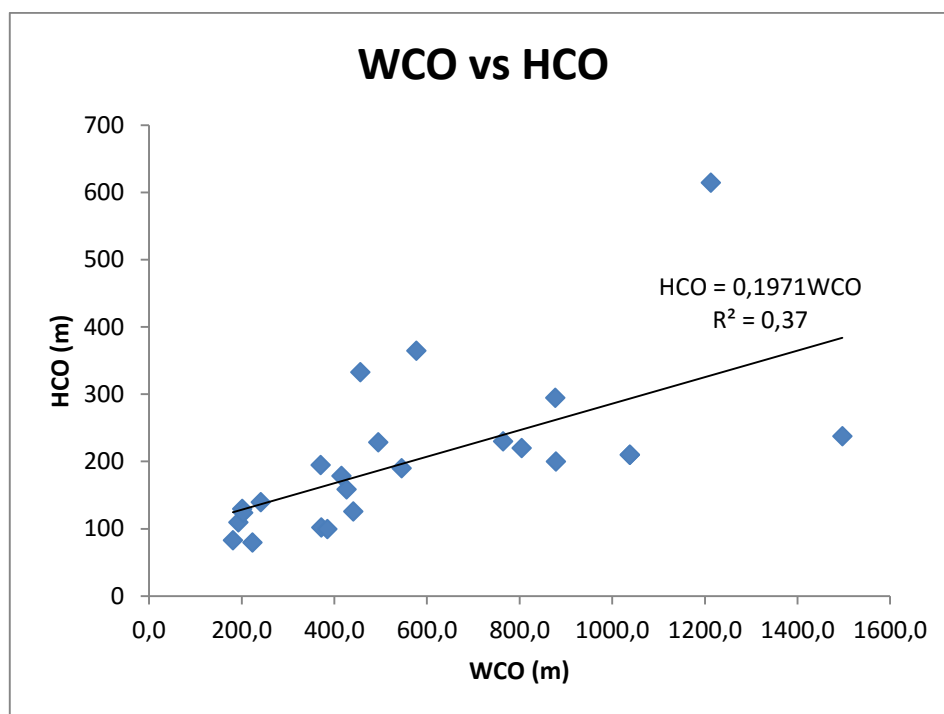


Figura 2. 18. Diagrama H_{co} vs W_{co} para os domos da ilha Brava. A altura dos domos (H_{co}) corresponde à diferença entre a cota do ponto mais elevado e a cota média a que se encontra a base do aparelho vulcânico. O diâmetro basal é definido pela média dos eixos maior e menor da base do domo. A recta $H_{co} = 0,19W_{co}$ estabelece a relação morfométrica (coeficiente de correlação (R^2) = 0.37).

O valor do declive da recta obtida para os domos da Brava ($H_{CO} = 0,19W_{CO}$) aproxima-se da recta $H_{CO}=0,20W_{CO}$ que segundo Settle (1979) define a forma média inicial destas estruturas vulcânicas anteriores à degradação da erosão. A recta representada em cada gráfico representa a relação $H = 0,20 D_{co}$ que pode descrever a forma média inicial de cones de escória anteriores à degradação da erosão.

No entanto, o coeficiente de correlação é baixo, o que é indicada pela dispersão de pontos relativamente à recta. Comparado com outros valores obtidos para alguns sistemas vulcânicos dos Açores, o valor do coeficiente de correlação é muito inferior aos valores estabelecidos por Queiroz (1997) $R^2 = 0,9$ para os domos do vulcão das Sete Cidades (S. Miguel), Wallenstein (1999) $R^2 = 0,96$ para o conjunto relativo ao Vulcão do Fogo (S. Miguel), $R^2 = 0,87$ pelos determinados por Ferreira (2000) para o grupo de domos do Sistema Vulcânico da Região dos Picos (S. Miguel) e Pimentel (2006) para o conjunto dos domos da Terceira ($R^2 = 0,99$). Tal razão reflete uma questão associada à origem, em virtude da idade dos domos e a fatores associados às condições eruptivas ou ao enquadramento geológico. Este aspecto foi igualmente constatado por Wood (1980a) e enquadram-se, neste âmbito, súbitas modificações no índice de explosividade (Wood,

1980a), a ocorrência de importantes fases de colapso (McGetchin *et al.*, 1974 in Gaspar, 1996; Chester *et al.*, 1985), a extrusão de escoadas lávicas (Chester *et al.*, 1985) e factores de ordem tectónica.

No entanto, como os parâmetros morfométricos foram determinados de modo independente, a baixa correlação entre eles pode também ser interpretada como um indicador de alguma imprecisão na determinação de alguns parâmetros morfométricos.

2.2.2.5. ESCOADAS LÁVICAS

As escoadas lávicas são fluxos de rocha fundida ou parcialmente fundida, expelidos à superfície como resultados de atividade vulcânica efusiva ou de baixa explosividade. Constituem uma das formas vulcânicas mais comuns da superfície terrestre e apresentam grande diversidade de dimensões, formas externas e estruturas internas, que refletem as diferentes dinâmicas dos seus regimes de instalação. Para que uma erupção vulcânica ocorra de um modo efusivo ou predominantemente não explosivo é fundamental que o magma envolvido se apresente empobrecido em gás. De fato, um baixo teor de gases pode condicionar o processo de fragmentação mantendo o magma coeso ao longo da sua extrusão.

As diferentes morfologias das lavas encontram-se estreitamente associadas a distintos regimes de instalação. Estes, por sua vez, são condicionados por uma multiplicidade de fatores intrínsecos e extrínsecos ao magma, como o seu comportamento reológico, resultante das suas propriedades físico-químicas, a taxa de efusão na fonte e as características do ambiente externo (e. g. Wlaker, 1973; Cas & Wright, 1988; Kilburn, 2000). A interação entre os vários fatores é extremamente complexa, podendo estes apresentar uma grande variabilidade, quer entre erupções quer no decurso de uma mesma erupção.

Neste contexto, é possível encontrar na Brava escoadas lávicas basálticas resultantes de um regime de fluxo fluído, de natureza mais básica e escoadas lávicas carbonatíticas distribuídas pela ilha. Na ilha Brava as escoadas lávicas de natureza basáltica (s.l.) são muito raras e formam unidades cuja exposição se resume praticamente aos afloramentos visíveis na base de alguns vales de linhas de água. As escoadas lávicas basálticas subaéreas observadas em pequenos afloramentos são essencialmente do tipo *aa* e ocorrem

em locais como Furna (Fig. 2.19), Santa Bárbara, Vinagre, Aguada e junto à base do cone de escórias do Alcatraz.

Em termos gerais, as lavas *aa* caracterizam-se pela sua superfície áspera, irregular, contínua ou fraturada que apresenta um nível de fragmentos de textura espinhosa (Gaspar *et al.*, 1992). Estes fatores determinam a extensa fracturação que se observa nas partes periféricas das escoadas, mais arrefecidas, face às elevadas tensões cisalhantes que se desenvolvem entre elas e o núcleo, mais quente, em movimento. Assim, a superfície destas escoadas apresenta um aspeto muito irregular, sendo composta por material fragmentado, solto, designado por *clinker* (Macdonald, 1972).



Figura 2. 19. Afloramentos de escoadas lávicas basálticas na localidade de Furna. a) Lavas intercaladas e cobertas por escoadas piroclásticas; e b) Escoda lávica por cima de depósitos de areia da praia.

Um dos aspectos observados em algumas escoadas lávicas é o desenvolvimento de disjunção prismática, visível nas zonas de Lombo de Porco (Fig. 2.20a), Portete (Fig. 2.20c) e Vigia. Da localidade de Palhal observa-se a disjunção prismática na lava do Vigia (Fig. 2.20b e d). A formação de disjunção é resultante da geração de tensões por contração durante o arrefecimento da lava, proporcionando assim a formação de fracturas (Macdonald, 1972). O desenvolvimento das fraturas na disjunção prismática é, geralmente, perpendicular à superfície de arrefecimento que normalmente coincide com o topo ou a base da escoada.

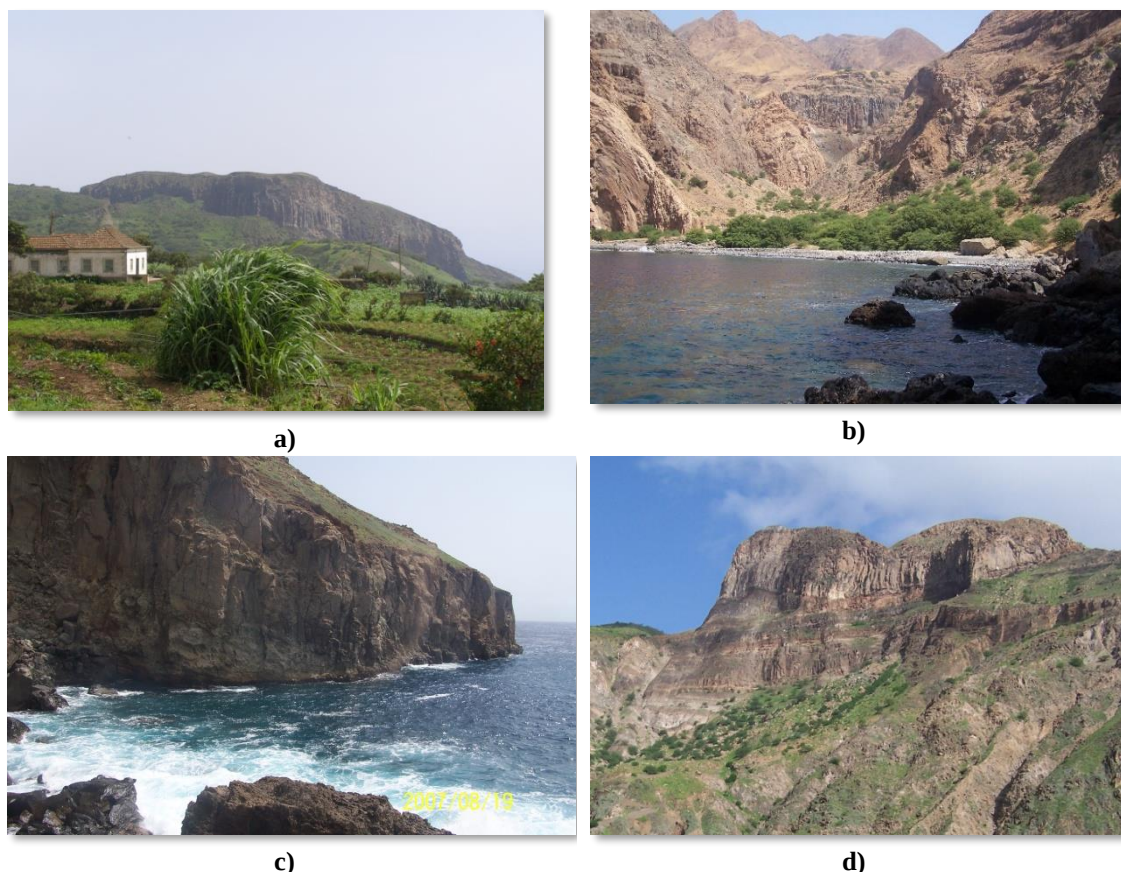


Figura 2. 20. Escoadas lávicas com disjunção prismática: a) Lombo de Porco/Vigia visto de Monte Grande; b) Porto de Anciã (imagem cedida por Francisco Coelho da Delegação Escolar da Brava); c) Portete (imagem cedida por Francisco Coelho da Delegação Escolar da Brava) e d) Lombo de Porco/Vigia visto de Palhal.

Também podem ser encontradas escoadas lávicas submarinas, essencialmente na parte noroeste da ilha, sendo observadas em grandes afloramentos junto às arribas costeiras. Quando as escoadas lávicas são extruídas em ambiente submarino, formam estruturas particulares denominadas por *pillow lavas* (lavas em almofada ou em rolo), devido à sua morfologia externa. Representam conjuntos de corpos aproximadamente elipsoidais, com topo arredondado e de dimensões variáveis que em corte evidenciam uma estrutura radial, definida por disjunção colunar incipiente e pela disposição das vesículas (Gaspar *et al.*, 1992). Estas lavas aparecem frequentemente associadas a depósitos hialoclastíticos (Cas & Wright, 1988).

Na Brava as lavas submarinas são encontradas, particularmente, na costa NW da ilha, nas regiões de Fajã d'Água, Esparadinha (Fig. 2.21), Portete (Fig. 2.21) e Sorno. Em Fajã d'Água existem afloramentos que apresentam *pillow lavas* numa matriz muito fina de hialoclastitos, de cor amarelada, e brechas, cortadas por inúmeros filões. Nalguns afloramentos, a cor muda para tons mais avermelhados, como é o caso de um afloramento

em Portete, provavelmente devido à ação do mar, ou seja, os minerais podem ter sido modificados pelo facto destes afloramentos se encontrarem numa arriba costeira.



Figura 2. 21. Lavas submarinas: **a)** Portete (imagem cedida por Francisco Coelho da Delegação Escolar da ilha Brava); **b)** Esparadinha.

Nesta ilha também ocorrem escoadas lávicas carbonatíticas. Como se sabe, a maioria das lavas na Terra tem conteúdo de sílica que varia de 30 a 78%, com temperaturas eruptivas relativamente altas, entre os 800 e os 1170°C (Pinkerton *et al.*, 2000). No entanto, as lavas carbonatíticas são bem conhecidas pelas suas baixas temperaturas (~500 a 700°C) e baixa viscosidade (~0.005 – 85 Pas, menor do que a viscosidade da água) (Tierney, 2002). De acordo com Lockwood e Hazlett (2010), as lavas carbonatíticas são as que apresentam menor temperatura (normalmente em torno dos 550°C), o que representa cerca de metade da temperatura do basalto em erupção. Isto significa que aos fluxos carbonatíticos fundidos falta a incandescência das lavas silicatadas, assemelhando-se a escoadas de lama escura. Fluxos ativos podem ter apenas alguns centímetros de espessura e escoar em canais através dos quais se torna mais fácil o seu avanço. Estes fluxos podem propagar-se mais rapidamente do que as escoadas lávicas convencionais, mas os seus volumes tendem a ser pequenos, de modo que raramente atingem grandes distâncias.

Na ilha Brava a ocorrência de lavas carbonatíticas é rara, conhecendo-se poucos afloramentos. Durante o trabalho de campo foram identificadas escoadas lávicas carbonatíticas na estrada para Cachaço (Fig. 2.22a) bem como junto ao reservatório de água do Cachaço (Fig. 2.22b).



Figura 2. 22. Escoadas lávicas carbonatíticas, **a)** na estrada do Cachaço, associada a um depósito de piroclastos carbonatíticos; **b)** junto ao reservatório de água do Cachaço.

2.2.2.6. FILÕES

As formas subvulcânicas, como filões/diques, chaminés (*necks*), soleiras (*sills*) e lacólitos, embora constituam corpos intrusivos a pequena profundidade, podem originar relevos residuais, que marcam igualmente a paisagem vulcânica, em especial nas regiões onde o vulcanismo está há muito extinto.

Os filões observados na ilha Brava estão localizados em zonas costeiras e ocorrem sempre a cortar as formações de lavas submarinas e hialoclastitos. Os complexos palagoníticos observados em Fajã d'Água e Portete são atravessados por numerosos filões (Fig. 2.23). Nalguns afloramentos os filões estão expostos (ver figura 2.23a) devido ao facto de a rocha encaixante ter sido erodida pela ação do mar. Por outro lado, observam-se redes filonianas em afloramentos (ver figura 2.23c e d). Segundo Machado *et al.* (1968), a maioria são filões ancaratríticos ou nefeliníticos, havendo alguns fonolíticos.





Figura 2. 23. Afloramentos de hialoclastitos cortados por filões: **a)** Filões expostos em Fajã d'Água; **b)** Filões cortando depósitos de hialoclastitos na estrada para Fajã d'Água; **c)** e **d)** Redes filonianas em Fajã d'Água e Portete, respectivamente.

2.3. ESTRUTURAS TECTÓNICAS

À semelhança do efetuado para as formas vulcânicas, para o trabalho de identificação das estruturas tectónicas fez-se a identificação de todas as estruturas tectónicas existentes na ilha tendo em conta as observações de campo e a análise de fotografias aéreas da *Município* nas escalas 1:28.800 e 1:14.400 de 2003 e na escala 1:25.000 de 1968. Seguidamente foram transpostos os limites das falhas, alinhamentos de estruturas vulcânicas e escarpas de falha sobre uma base topográfica digital na escala de 1:25.000 de 1979 e ortofotomapas à escala 1:10.000 de 2004 da Direção Geral do Ordenamento do Território e Habitação (DGOTH) de Cabo Verde para um Sistema de Informação Geográfica, utilizando o *Software* ArcGIS® 10. Paralelamente à vectorização das estruturas tectónicas foi criada uma tabela associada para a inclusão da informação relativa a cada forma.

Tal como referido por diversos autores (Machado *et al.*, 1968; Day, 2008; Madeira *et al.*, 2010b) o vulcanismo recente na ilha Brava é controlado tectonicamente, pois a análise da distribuição espacial dos centros eruptivos mostra que muitos se encontram alinhados ao longo de falhas ou estão cortados por elas. Os trabalhos de campo na Brava e a fotointerpretação permitiram cartografar as principais estruturas tectónicas da ilha que, de forma esquemática, se representam na figura 2.24.

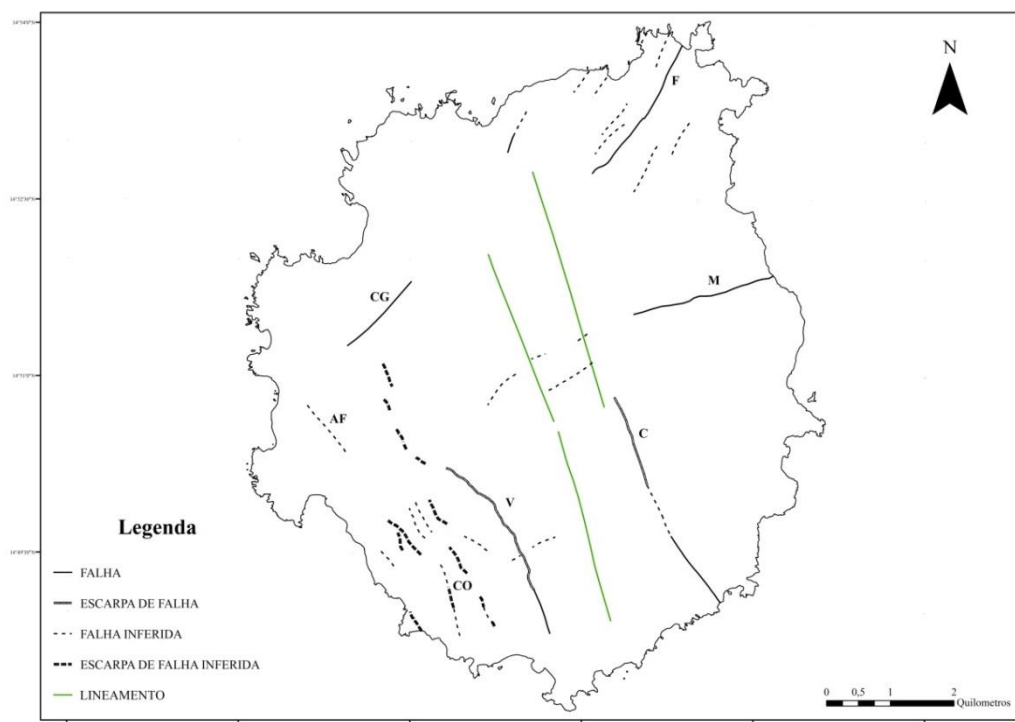


Figura 2. 24. Esboço das principais estruturas tectónicas. Legenda: F - Falha do Favatal; M - Falha do Minhoto; CG - Falha de Cutelo Gregório; AF - Falha inferida de Achada Figueirinha; CO - Falhas inferidas de Achada Chão de Ouro; V - Escarpa de falha do Vigia; e C - Falha do Cachaço.

De entre as principais estruturas tectónicas da Brava destacam-se:

- 1) Sistema de falhas principais da Zona de Falha do Vigia de direcções NW-SE a NNW-SSE;
- 2) Sistema de falhas principais da Zona de Falha do Minhoto, de direcções NE-SW a NNE-SSW;
- 3) As proeminentes escarpas de falha do Vigia e do Cachaço, que formam um graben com direcção NNW-SSE na parte sul da ilha;
- 4) Lineamentos vulcânicos, ou seja, alinhamentos de domos e crateras nas regiões sul e central, respectivamente, de direcções NE-SW a ENE-WSW e NNW-SSE.

De acordo com alguns autores (Silveira *et al.*, 1997; Madeira & Silveira, 2005), as principais direcções tectónicas, NW-SE a NNW-SSE e NE-SW a NNE-SSW, observadas na ilha Brava são idênticas às descritas e observadas na vizinha ilha do Fogo, o que poderá indicar um controlo regional para estas estruturas. O facto de algumas falhas nesta ilha afetarem estruturas e depósitos vulcânicos recentes pode ser um indicativo da sua natureza ativa.

Ao longo dos trabalhos de campo foram observados e analisados em vários afloramentos os indícios de actividade tectónica recente, nomeadamente a presença de planos de falha expostos pela erosão e zonas de rochas brechificadas dentro de caixas de falha (Fig. 2.25). Em vários locais, nomeadamente ao longo da estrada para Fajã d'Água, foram observadas caixas de falhas com material muito fraturado e caótico que pode ser indício do movimento das falhas.

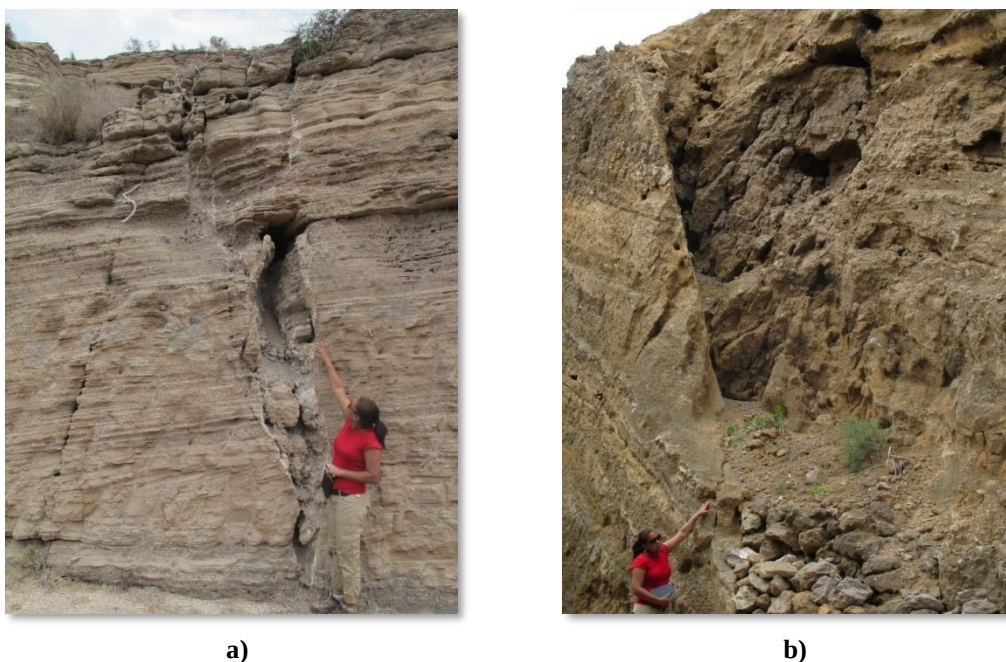


Figura 2. 25. Caixas de falha expostas pela erosão observadas na estrada para Fajã d'Água.

O sistema de falhas da Zona do Vigia, de orientação NW-SE a NNW-SSE, fica bem evidenciado pelas escarpas de falha mais ou menos retilíneas do Vigia (Fig. 2.26) e do Cachaço, e onde se distinguem ainda as falhas de Achada Chão de Ouro e a falha inferida de Achada Figueirinha, para além de algumas pequenas falhas e fracturas na região sul da ilha (ver figura 2.24). Uma das manifestações mais importantes deste sistema é traduzida por extensos alinhamentos: o alinhamento de domos entre Morro das Pedras e Monte Cachaço, na região sul, e os alinhamentos de crateras hidromagmáticas na região central.



Figura 2. 26. Escarpa de falha do Vigia.

O sistema de falhas do Minhoto, de direção NE-SW a NNE-SSW, tem menor expressão morfológica e as suas falhas são, geralmente, de menor extensão que as anteriores. Destacam-se entre elas a falha do Minhoto de direção NE-SW, a do Cutelo Gregório e a do Favatal, de direção NNE-SSW. Neste sistema de falhas também são encontrados pequenos alinhamentos de crateras hidromagmáticas na área centro-sul do planalto. Na região de Favatal, na parte norte da ilha, observa-se um conjunto de falhas onde se destaca a que atravessa o domo de Favatal. Para Madeira *et al.* (2010b) este sistema é marcado pela existência de brechas nas caixas de falha, *slinckensides*, escarpas de falhas, e vales fluviais lineares na área de Minhoto – Baleia (vertente leste) e defendem ainda que o vale da Ribeira dos Ferreiros também pode ser controlado por este sistema de falhas.

Madeira *et al.* (2010b) indicam ainda a existência de estruturas tectónicas de direção N-S e aproximadamente E-W, para além da existência de uma zona de falha de rejeito de mergulho de direção WNW-ESE a WSW-ENE na baía de Sorno.

2.4. REDE HIDROGRÁFICA

Tal como anteriormente referido, a atual morfologia da ilha é caracterizada por um plateau extremamente irregular, a altitudes entre 300 e 976 m acima do nível do mar, limitado por falésias escarpadas. Do maciço central irradiam várias ribeiras profundas com vales muito encaixados sendo encontradas nascentes de água em alguns vales. A rede hidrográfica (Fig. 2.27) reflete a morfologia geral da ilha e a dinâmica do relevo, é bastante densa e drena rapidamente toda a sua superfície, irradiando ora do topo planáltico interior, ora das orlas do mesmo.

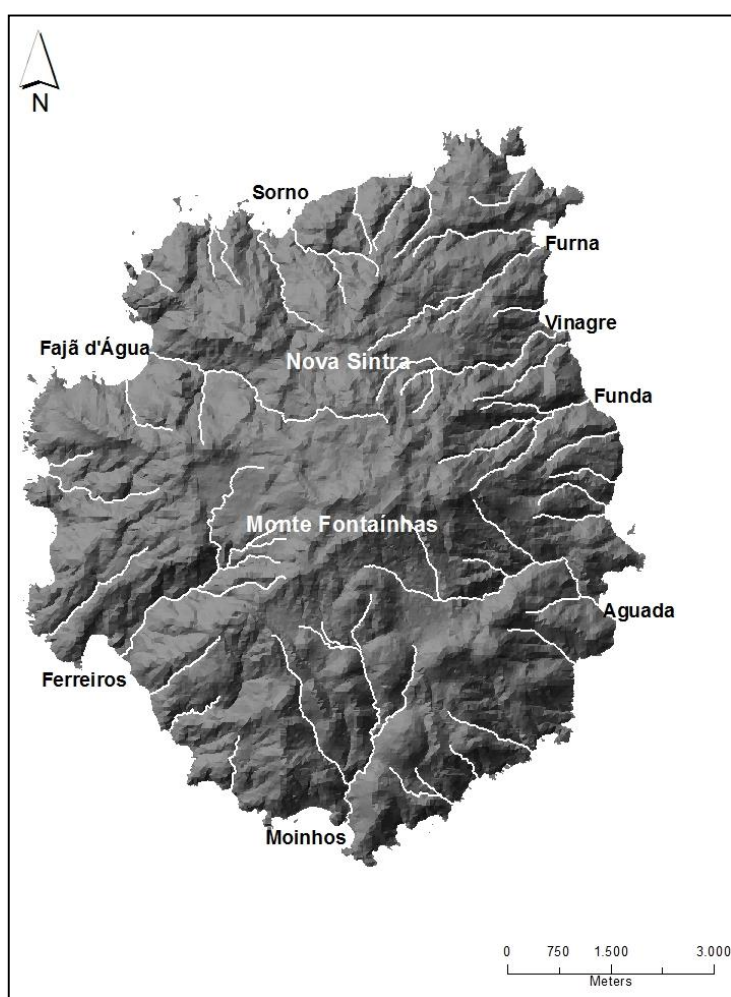


Figura 2. 27. Modelo digital de terreno representando a rede de drenagem da Brava.

A rede hidrográfica desta ilha apresenta 16 bacias hidrográficas. As zonas húmidas, com uma média de precipitação anual superior a 600 mm, situam-se nas partes mais altas, nas vertentes expostas aos ventos alísios e na metade norte, numa faixa que compreende cerca

de 12% da ilha. A pluviosidade é muito variável de ano para ano e, regra geral, as precipitações têm carácter torrencial. De acordo com o PAM 2005-2014, o Plano Diretor de Irrigação (INGRH, 1993) indicou os seguintes volumes de recursos hídricos na ilha Brava: 2,3 milhões de m³/ano de escoamento superficial e 1,9 milhões m³/ano da recarga dos aquíferos subterrâneos. As localidades situadas acima dos 600/700 m de altitude, em particular Fontainhas, contam com um grande potencial de água proveniente do nevoeiro.

As vertentes litorais da ilha Brava encontram-se profundamente recortadas pelos vales fluviais das principais linhas de água, entre as quais se destacam as ribeiras que correm para oeste (Fajã D'Água – Fig. 2.28a e Ferreiros – Fig. 2.28b) e leste (Aguada – Fig. 2.28c e Funda) e, menos importantes, as dos lados norte (Sorno e Furna) e sul (Moinhos – Fig. 2.28d).

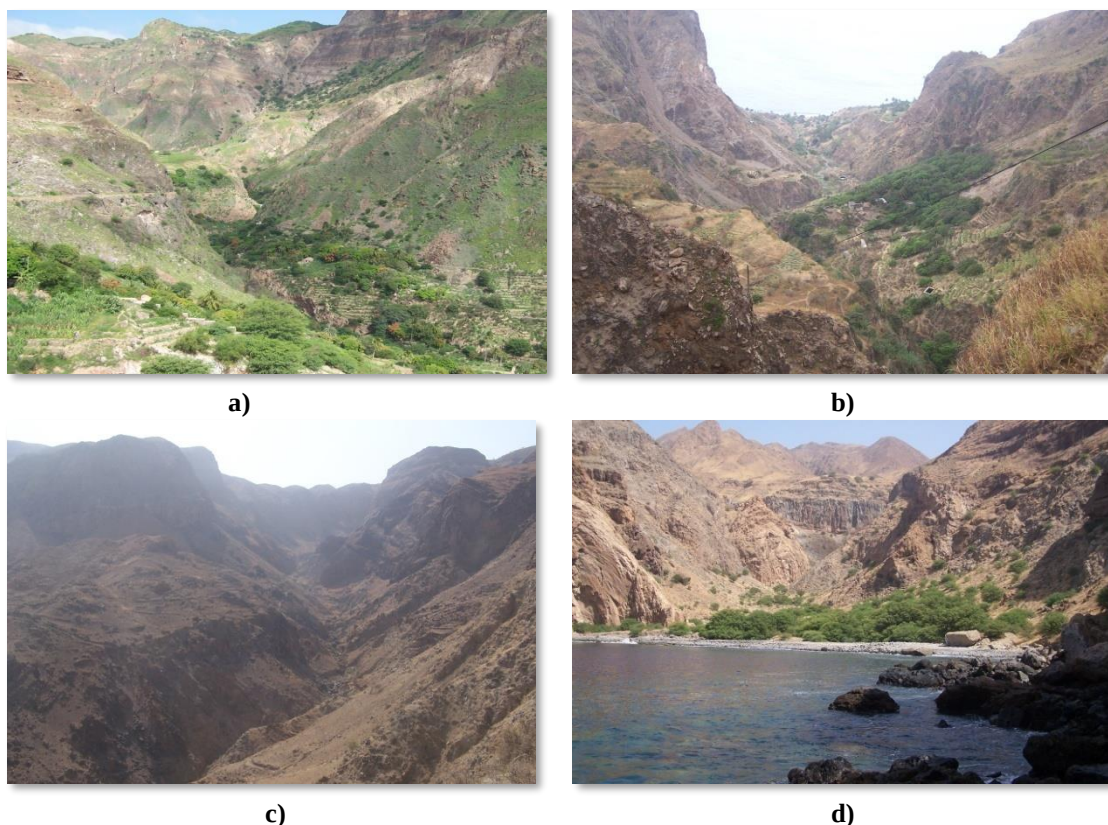


Figura 2. 28. Vista geral das principais ribeiras da ilha Brava: a) Ribeira de Fajã d'Água; b) Ribeira de Ferreiros; c) Ribeira de Aguada e d) Ribeira dos Moinhos.

De salientar que na orla montanhosa envolvente da ilha, os cursos principais afundam-se bruscamente, definindo vales majestosos em cânhão que, rapidamente, se ligam à orla

costeira, descobrindo os mantos lávicos intercalados com os depósitos piroclásticos, e na arriba costeira, as escarpas talhadas nas formações rochosas primitivas.

A dinâmica erosiva da ilha leva à multiplicação de linhas de água secundárias associadas às principais, particularmente na região planáltica, conduzindo à modelação dum relevo extremamente recortado e muito declivoso.

Na rede hidrográfica apenas se assinalam caudais temporários coincidentes com as fases de elevadas precipitações tornando-se frequente, nessa altura, o entulhamento do leito das ribeiras, indo os materiais grosseiros arrastados pelas enxurradas acumular-se na foz e nas orlas costeiras baixas. Deste modo, as ribeiras são esporádicas e têm perfil longitudinal torrencial estando em plena fase de encaixe.

Os aspetos mais intensamente contrastantes são determinados pelas formas de relevo mobilizado da zona montanhosa, onde profundas incisões de vale favorecem a concentração e incidência de humidade, mais patente no lado N-NE (Diniz e Matos, 1999). Segundo estes autores, tais incisões profundas são causa da interceção dos níveis freáticos que se interpõem entre as formações rochosas o que justifica a ocorrência de diversas nascentes como as de Fajã d'Água, Ferreiros, Aguada, Vinagre e Sorno, as quais asseguram o abastecimento da população em água potável, sendo aproveitados os excedentes para a irrigação de culturas alimentares. É nestas circunstâncias que se encontram todas as nascentes da ilha, cujos caudais no período de águas abundantes deram um total de 2.400m³ (Costa, 1962), referentes ao período final da época das chuvas. Nos ilhéus não há nascentes.

Boa parte dos vales possui nascentes ativas, como em Vinagre (Fig. 2.28a), Fajã d'Água, Ferreiros e Sorno, sendo que algumas delas possuem caudal significativo particularmente na época das chuvas. A água do Vinagre é gasocarbónica, ligeiramente alcalina (Bebiano, 1932). Algumas nascentes são captadas por galerias, como é o caso da nascente do Vinagre (Fig. 2.29b).

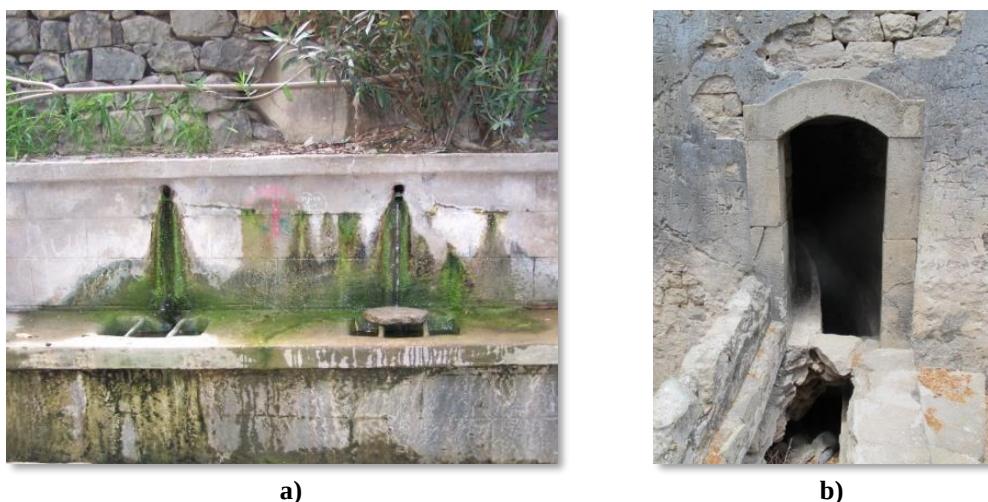


Figura 2. 29. Captações de água de nascentes: a) nascente do Vinagre e b) galeria de captação de água na nascente do Vinagre.

Devido à redução aleatória das precipitações registadas nos últimos anos, a diminuição de água potável disponível nas nascentes e galerias para as actividades agro-silvo-pastoris tem sido insuficiente, destacando-se as bacias da Ribeira de Ferreiros, Ribeira de Fajã d'Água e Ribeira do Sorno. Um dos principais constrangimentos reside no facto de continuar a subsistir um insuficiente aproveitamento das potencialidades hídricas existentes devido à deficiente gestão da água, ao subaproveitamento de nascentes e à baixa eficiência na utilização da água (particularmente devido à prática de rega tradicional).

2.5. ORLA COSTEIRA

A orla costeira da Brava é caracterizada por um relevo muito acidentado com falésias costeiras íngremes e cortada por incisão fluvial, muitas enseadas e poucas praias. O litoral da ilha é de arriba alcantilada (Fig. 2.30a) existindo somente alguns recantos em que o homem se pode estabelecer, como sucede nas povoações de Furna, Porto de Sorno e Fajã d'Água. Em alguns locais existem importantes baías com bons fundos, tais como: Furna, Ancião, Ferreiros, Portete, Fajã d'Água e Sorno.

As arribas da ilha Brava são, com raríssimas excepções, normalmente vivas. O litoral é extremamente recortado, em que a acção das linhas de água que o cortam tem papel importante na acção conjunta com a erosão marinha. O fato de todas as linhas de água

terem um perfil torrencial implica que estão em plena fase de encaixe facilitando, assim, a acção erosiva do mar provocando desta forma um denso retalhe da costa.

Em todo o litoral são encontrados afloramentos de vales suspensos e terraços marinhos, o que poderá constituir uma prova de levantamentos recentes da ilha (Monteiro Marques, 1990). É o caso de arribas observadas na estrada de Fajã d'Água (Fig. 2.30b) e de depósitos de cascalheira da praia assentes sobre hialoclastitos, observados na estrada para Fajã d'Água (Fig. 2.30 c e d).



Figura 2. 30. Arribas costeiras: **a)** Arribas alcantiladas em Ferreiros; **b)** Vista geral das arribas costeiras da Fajã d'Água; **c)** Depósitos de antigos níveis de cascalheira de praia, Fajã d'Água; e **d)** Depósitos de antigos níveis de cascalheira de praia por cima de hialoclastitos na estrada de Fajã d'Água.

Existem algumas praias de areias negras (Ilhéus, Sorno e Portete – Fig. 2.31b) e algumas de calhaus rolados, por vezes de grandes dimensões (Fajã d'Água, Furna, Anciã e Ferreiros) (Fig. 2.31c e d).

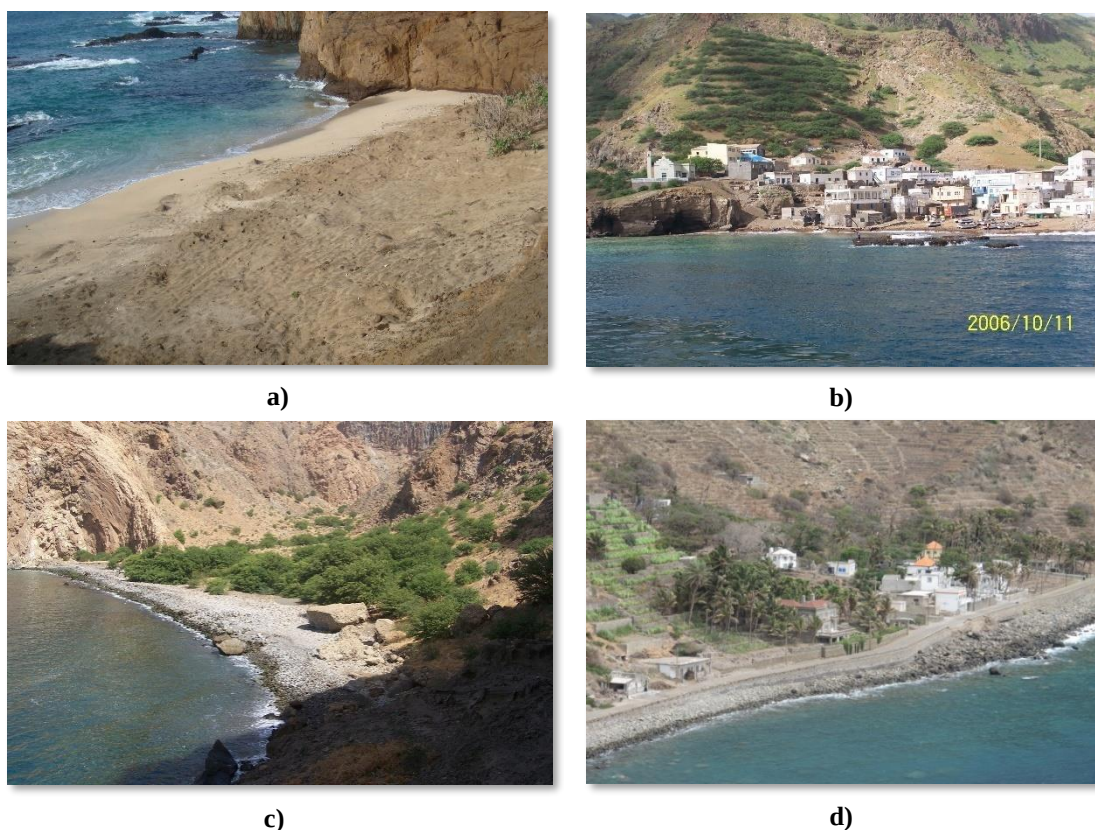


Figura 2. 31. Litoral na ilha Brava (imagens cedidas por Francisco Coelho da Delegação Escolar da Brava: **a)** praia de areias, Ilhéus; **b)** Praia de calhaus rolados, arribas costeiras íngremes, Furna; **c)** Praia de calhaus rolados, arribas costeiras íngremes e vale terminal, Anciã; **d)** praia de calhaus rolados em Fajã d'Água.

Para alguns autores (Assunção, 1968; Machado *et al.*, 1968) algumas das reentrâncias do litoral podem corresponder a crateras de aparelhos vulcânicos antigos desmanteladas pela erosão marinha. Estão neste caso Porto da Fajã d'Água, Porto dos Ferreiros e Porto da Furna.

No litoral as zonas de baixa altitude são de pequena extensão e resumem-se a Furna, Fajã de Água, Ponta Jalunga, Ponta Baixuda, Ponta de Nhô Padre e Porto dos Ferreiros. Segundo Monteiro Marques (1990) somente Ponta de Nhô Padre (nas imediações da zona de Esparadinha a NW) e Ponta Jalunga (a NE, perto da Furna) correspondem a fajãs lávicas.

Os ilhéus Secos ou do Rombo, dos quais fazem parte os ilhéus Grande, de Cima, Luís Carneiro, Sapado, Baixinha, Barrete e Boca de Porto, situados a cerca de 6 km a NNE da ilha Brava, foram fortemente modelados pela erosão marinha apresentando costas recortadas com extensas praias de areias e arribas abruptas (Fig. 2.32).

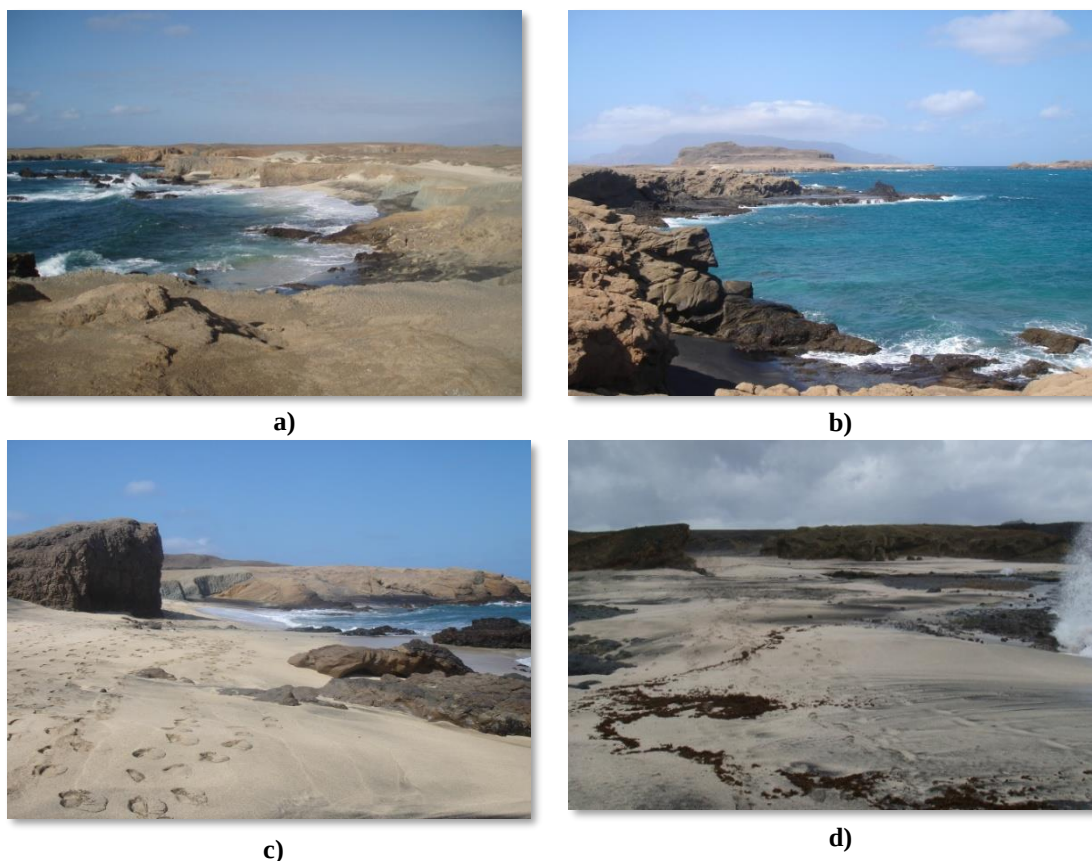


Figura 2. 32. Litoral no Ilhéu Grande com arribas abruptas (a e b) e praias (c e d).

2.6. CICATRIZES E DEPÓSITOS DE MOVIMENTOS DE VERTENTE

Dada a natureza litológica e o relevo declivoso (ver figura 2.5) que a ilha Brava apresenta, a ilha é muito susceptível à ocorrência de movimentos de vertente. Nesta ilha os movimentos de vertente são frequentes, particularmente na época das chuvas devido a precipitação elevada, podendo ocorrer também por atividade sísmica e vulcânica, por instabilidade gravitacional, ou ainda por erosão costeira. De facto, na Brava é possível reconhecer cicatrizes de deslizamentos de terra (Fig. 2.33) em várias zonas da ilha, principalmente nas regiões ocidental e meridional.





Figura 2. 33. Cicatrizes de movimentos de vertentes provocados por: elevada precipitação: **a)** Fajã d'Água; **b)** Fajã d'Água; e **c)** Mato Grande; instabilidade gravitacional: **d)** Estrada para Fajã d'Água.

Os movimentos de vertente traduzem o grau de instabilidade das encostas e vertentes. Segundo Monteiro Marques (1990) a extrema instabilidade das encostas e vertentes em função da frequente atividade sísmica é um dos problemas que afeta a ilha Brava. O facto de a ilha ser objeto de considerável atividade sísmica, que se manifesta em abalos de terra de fraca intensidade, ocasiona a aceleração do desequilíbrio das encostas e vertentes, traduzida no desenvolvimento de movimentos de vertentes superficiais. Madeira *et al.* (2008) defendem que muitos deslizamentos observados estão relacionados com a existência de arribas litorais, vertentes de vales fluviais e vertentes estruturais com desníveis e declives significativos.

Para Madeira *et al.* (2008) e Madeira *et al.* (2009a) reconhecem-se importantes movimentos de vertente nas regiões ocidental e meridional da ilha Brava. Para esses autores as arribas da região de Fajã d'Água apresentam abundantes depósitos de deslizamentos, enquanto os movimentos de vertentes associados a vertentes fluviais foram observados nas ribeiras da Fajã d'Água (escorregamentos de Travessa, Lavadura e Lagoa), Ribeira dos Ferreiros (Chãzinha de Olho d'Água) e no vale fluvial da Baía de Portete. Estes autores defendem, ainda, que o lado a norte da Baía da Fajã d'Água apresenta fortes evidências de instabilidade gravítica, sugerindo o potencial colapso deste sector para sul (Fig. 2.34), afetando diretamente a povoação de Fajã d'Água. Segundo Madeira *et al.* (2008) as evidências são constituídas por um conjunto de fraturas com abertura que cortam os taludes da estrada de acesso à Fajã d'Água, talhados em sequências de piroclastos freatomagmáticos da unidade superior, sendo que alguns espaços abertos foram preenchidos por blocos rodados do próprio material cortado pela

fratura, o que sugere um processo de abertura lento. A reativação do escorregamento poderá ser desencadeada por uma época de maior pluviosidade, por intrusão magmática superficial ou por um sismo de intensidade mais forte.

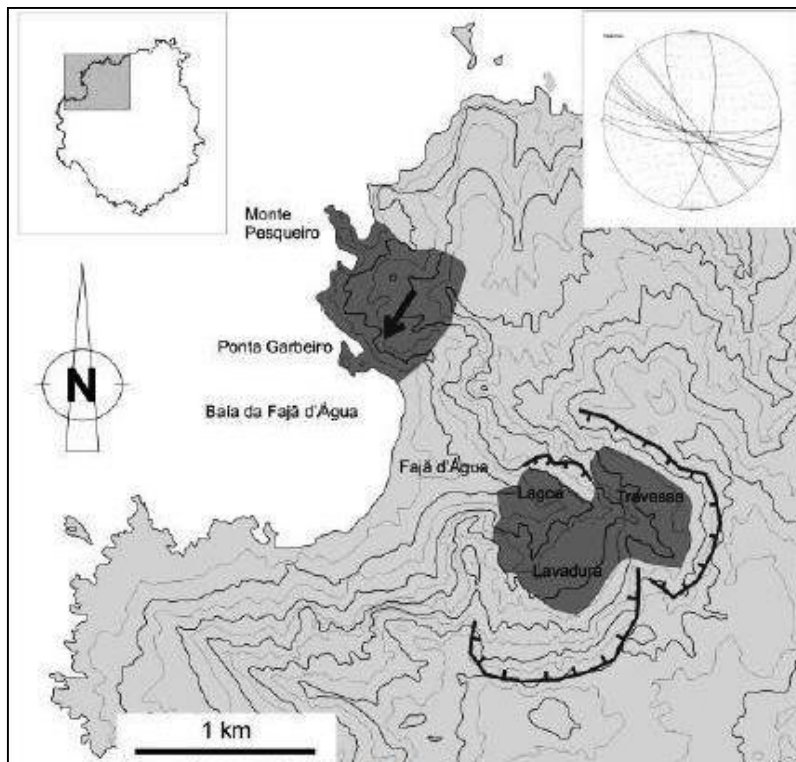


Figura 2. 34. Movimentos de massa observados na região de Fajã d'Água (no canto superior direito representa-se a projeção estereográfica das fraturas da arriba a norte da Baía da Fajã d'Água e no canto superior esquerdo indica-se a localização da área representada no mapa da ilha) (Madeira *et al.*, 2008).

Day (2008) sustenta a existência de espessos depósitos de blocos de queda e/ou de avalanches de detritos na vertente sul da Fajã d'Água. Estes foram observados numa das missões de trabalho de campo (Fig. 2.35a) intercalados com depósitos de fluxo com vários níveis. Para além de deslizamentos, é muito comum a ocorrência de desabamentos de rochas nas encostas da Fajã d'Água (Fig. 2.35b).



Figura 2. 35. Depósitos de vertente na zona de Fajã d'Água: a) Depósitos de vertentes intercalados com depósitos de fluxo e b) evidências de desabamentos de rochas.

Madeira *et al.* (2008) indicam outro desmoronamento de rochas, o de Chãzinha de Olho d'Água (Fig. 2.36), na zona média do vale da Ribeira de Ferreiros, que terá resultado de um desprendimento na vertente NW do vale. Os produtos deste desmoronamento terão produzido represamento da ribeira sendo o depósito constituído por uma brecha caótica de blocos de composição fonolítica envolvidos numa matriz arenoargilosa.

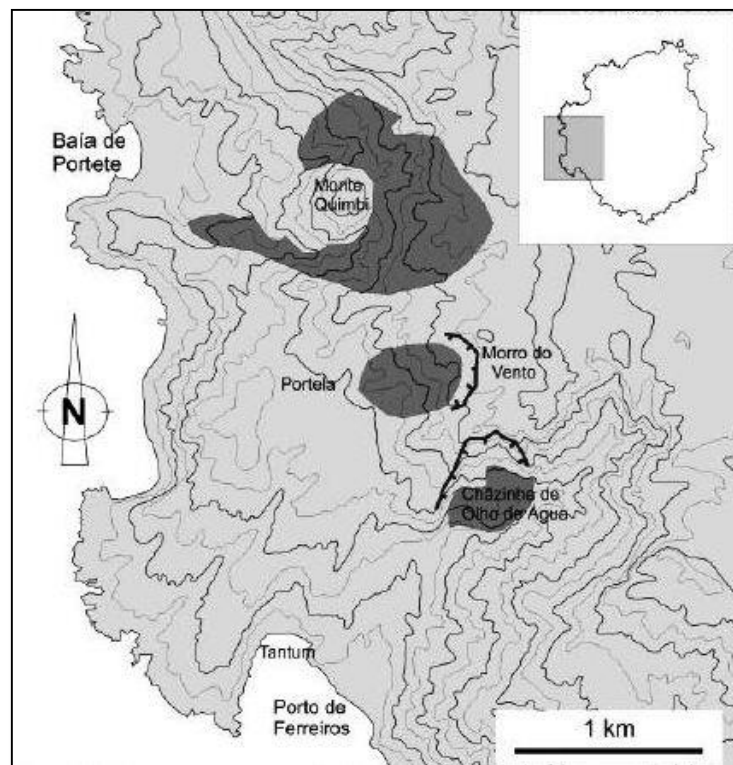


Figura 2. 36. Movimentos de massa descritos na região de Portete-Tantum (no canto superior direito da figura indica-se a localização da área representada no mapa da ilha) (Madeira *et al.*, 2008).

Convém realçar que as cicatrizes dos deslizamentos são alteradas devido à erosão e muitas vezes pela população que as aproveita para fazer exploração de material utilizado na construção civil.

2.7. CARTA MORFOESTRUTURAL

Em resultado da conjugação dos diversos elementos referidos nos pontos anteriores, ao nível da recolha da informação morfológica da ilha, apresenta-se neste ponto a carta morfoestrutural da ilha Brava (Fig. 2.37). A carta foi elaborada a partir de dados obtidos em trabalhos de campo, fotointerpretação bem como da análise de informação contida nas cartas geológicas de Machado *et al.*, 1968 e de Madeira *et al.*, 2010b.

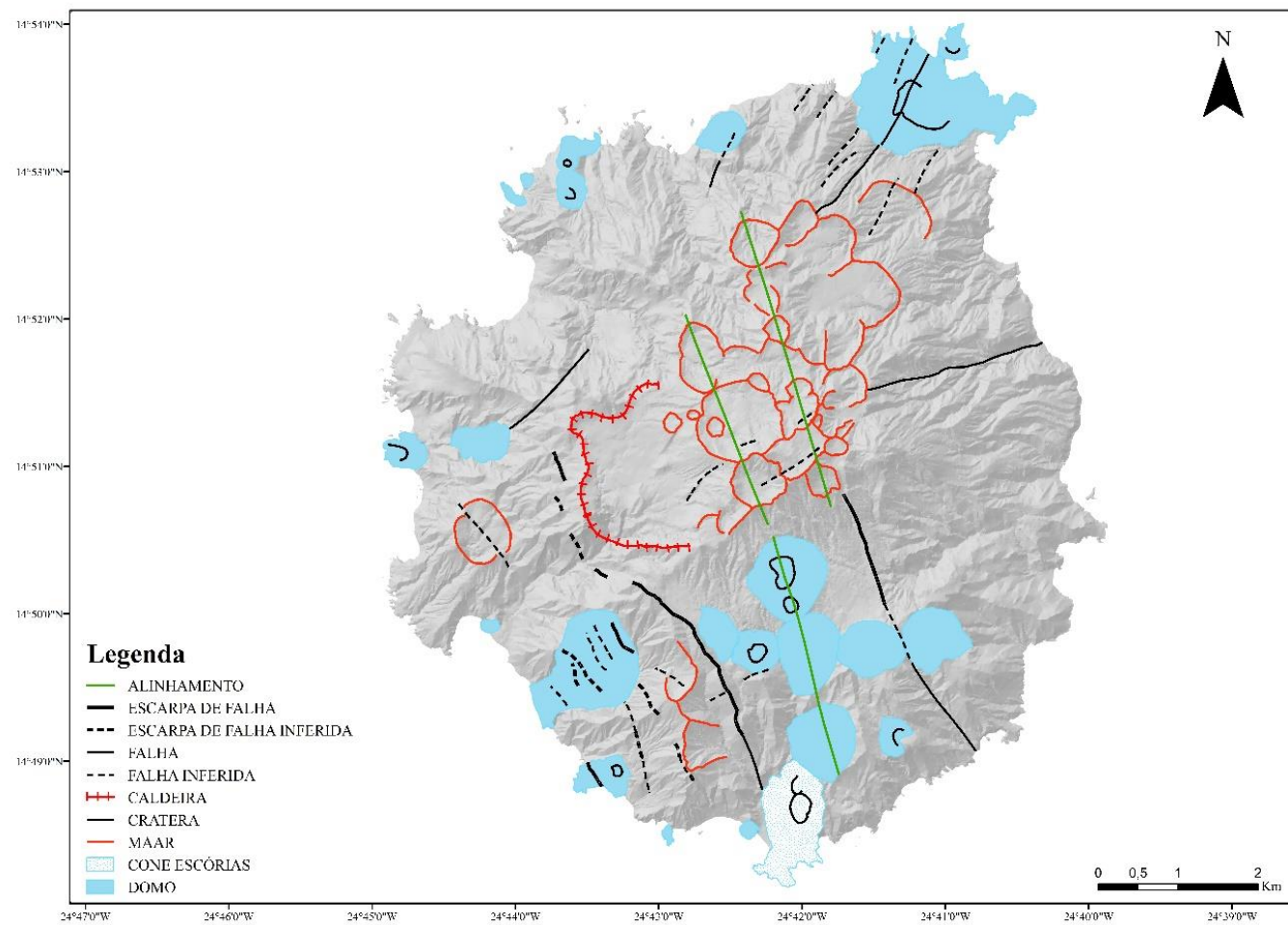


Figura 2. 37. Carta morfoestrutural da ilha Brava com diferentes estruturas vulcânicas e tectônicas.

CAPÍTULO III - AVALIAÇÃO DO PERIGO SÍSMICO

3.1. NOTA PRÉVIA

Os sismos constituem vibrações das rochas resultantes da passagem de ondas sísmicas que podem causar grandes danos materiais e perdas de vidas humanas. O efeito potencial das ondas sísmicas, bem como a acção de outros fenómenos associados aos eventos sísmicos, como os movimentos de vertente e erupções vulcânicas, representam um importante perigo geológico designado perigo (*hazard*) sísmico.

Nas denominadas zonas ativas do globo os sismos constituem um perigo geológico muito frequente e têm causado muita destruição, de acordo com a elevada quantidade de vítimas e danos materiais que se registam todos os anos (*e.g.* Carvalho & Oliveira, 1983; Samardjieva e Badal, 2002; Yong *et al.*, 2002). A atividade sísmica pode estar associada a diversos factores como a atividade vulcânica, o enchimento de reservatórios subterrâneos, o abatimento de minas e galerias, entre outro. No entanto, maioria dos sismos históricos é de origem tectónica, ou seja resulta da movimentação das placas tectónicas (Musset e Khan, 2000a).

Na tabela a seguir indica-se a frequência anual mundial de sismos para diferentes intervalos de magnitude, o que leva a concluir que em média ocorre cerca de 1 milhão de sismos por ano, de entre os quais mais de 7.000 provocam danos (tabela 3.1).

Tabela 3. 1. Classificação e frequência anual mundial de sismos com diferentes magnitudes (Lee e Stewart, 1981; Gomes, 2003).

Tipo	Classificação	Magnitude	Frequência anual
Sismo	Catastrófico	≥ 8.0	1
	Muito destruidor	7.0-7.9	18
	Destruidor	6.0-6.9	120
	Moderado (danos moderados)	5.0-5.9	1000
	Fraco (danos fracos)	4.0-4.9	6000
	Geralmente sentido	3.0-3.9	49000
Microssismo	Potencialmente perceptível	2.0-2.9	300000
	Impercetível	< 2.0	600000

Alguns dos eventos mais devastadores da história mundial estão indicados na tabela a seguir indicada (Tabela 3.2.):

Tabela 3.2. Exemplos de sismos devastadores da história da humanidade (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/>).

Data	Lugar	Magnitude
1556	Shaanxi (Shensi), China	~8.0
1755	Lisbon, Portugal	~8.7
1906	S. Francisco, EUA	7.8
1908	Messina, Italy	7.2
1920	Ningxia-Gansu, China	7.8
1976	Tangshan, China	7.5
1995	Kobe, Japan	6.9
1999	Izmit, Turkey	7.6
2004	Sumatra, Indonésia	9,1
2005	Pakistan	7.6
2008	Sishuan, China	7,9
2010	Port-au-Prince, Haiti	8,8
2011	Honsu, Japão	9,0
2015	Kathmandu e Pokhar, Nepal	7,8

A análise dos riscos sísmicos passa pela determinação do perigo ou da perigosidade inerentes à sua ocorrência. Segundo diversos autores (Cruz-Reyna, 1996; Queiroz, 1997; Gaspar *et al.*, 1997; Julião *et al.*, 2009), para o estudo dos sismos alguns conceitos são fundamentais como o (1) perigo representa o processo ou acção susceptível de produzir perdas e danos enquanto que a perigosidade é determinada pela probabilidade de um dado evento potencialmente destruidor afectar uma determinada área num certo intervalo de tempo.

Do ponto de vista geodinâmico, o arquipélago de Cabo Verde situa-se num ambiente intraplaca, estável, marcado pela presença de uma pluma mantélica ou de outros processos mantélicos profundos (e.g. Crough, 1978 e Sleep, 1990 *in* Madeira *et al.*, 2010b), cuja acção à superfície se manifesta pelas atividades sísmica e vulcânica que afectam algumas das ilhas, nomeadamente a ilha Brava. A sismicidade instrumental registada na região do Arquipélago de Cabo Verde é de reduzida expressão, como se ilustra na figura 3.1, em parte porque os eventos são de baixa ou moderada magnitude e, em parte, devido à falta de estações sísmicas permanentes nestas ilhas. A rede de observação sísmica mundial permite, desde 1914, efetuar a vigilância da atividade sísmica no arquipélago de Cabo Verde (Matias *et al.*, 1997). De acordo com alguns autores (Silveira *et al.*, 1997; Matias *et al.*, 1997) a análise da sismicidade instrumental

em Cabo Verde, tendo em conta dados do ISC para o período de 1900-2012 (NEIC – ISC Bulletin), leva a considerar que a atividade tectónica está bem marcada numa área a ocidente do arquipélago, onde se reconhecem vários alinhamentos de epicentros. Estes alinhamentos sugerem a existência de falhas ativas de orientação NW-SE e/ou NNW-SSE, num sector que inclui as ilhas do Fogo, Brava, Santo Antão e S. Vicente. Segundo os mesmos autores, esta sismicidade, com eventos de magnitude 6, não apresenta uma relação direta com a atividade vulcânica (Fig. 3.1).

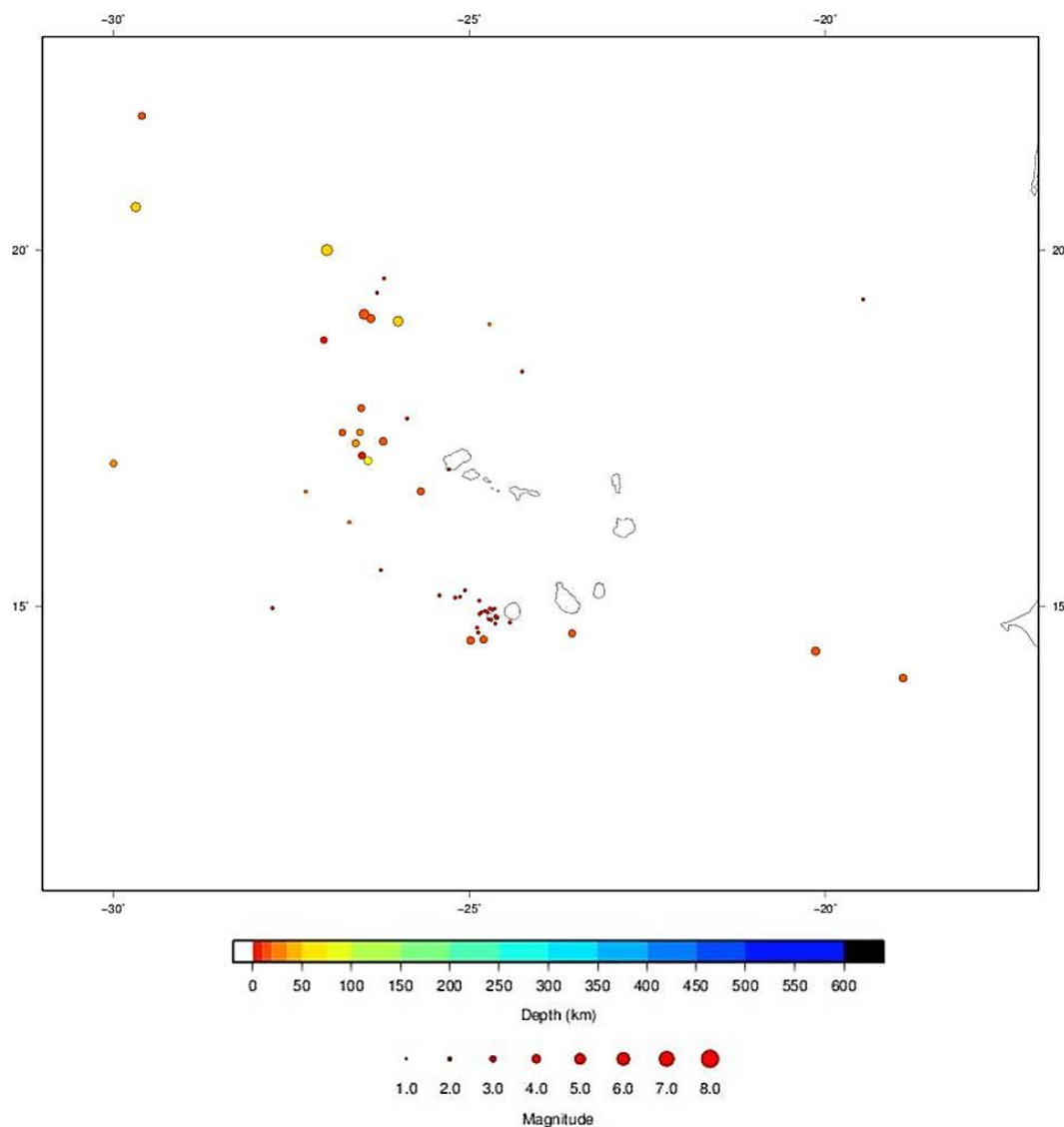


Figura 3. 1. Sismicidade instrumental registada na região do arquipélago de Cabo Verde tendo em conta dados do ISC para o período de 1900-2012 (NEIC – ISC Bulletin).

Esta visão calma do arquipélago é contrariada pela informação histórica que dá conta da existência de intensa atividade sísmica, responsável por diversos sismos sentidos em várias ilhas (Ferreira, 1956; Mendes, 1956), principalmente nas ilhas do Fogo, Brava,

3. AVALIAÇÃO DO PERIGO SÍSMICO

Santo Antão e S. Vicente. Durante o período 1941-1954 foram sentidos 33 sismos, a maior parte dos quais nas ilhas do Fogo e Brava (Fig. 3.2) (Ferreira, 1956; Mendes, 1956), com intensidade máxima de VI-VII. Em particular, a erupção no Fogo de 12 de Junho de 1951 foi precedida um ano antes por uma crise sísmica com eventos sentidos nas mesmas ilhas, tendo atingido uma intensidade máxima de V na escala de Mercalli Modificada (MM). A própria erupção foi acompanhada por fortes sismos que foram sentidos no Fogo e na Brava. Ferreira (1956) relata uma intensidade máxima de VI-VII (MM) sentida nos Mosteiros, na parte NE da ilha do Fogo.

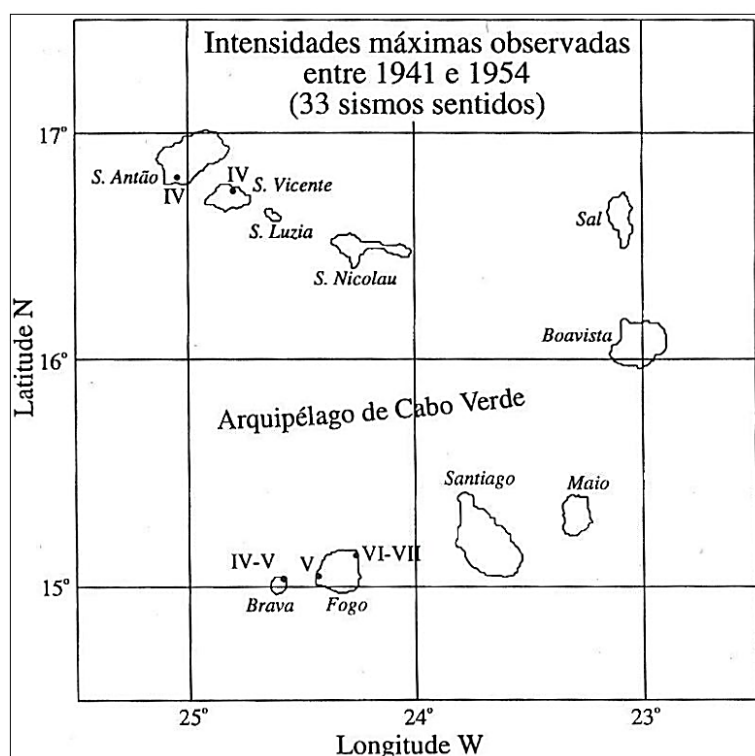


Figura 3. 2. Informação macrossísmica no arquipélago de Cabo Verde para o período de 1941-1954 (Matias *et al.*, 1997).

Os dados da sismicidade histórica na ilha o Fogo mostram por outro lado que os eventos sísmicos relatados estão maioritariamente associados à atividade vulcânica. Com efeito, são vários os registos que referem a ocorrência de numerosas “comoções subterrâneas” e “tremores de terra”, antecedendo as erupções vulcânicas naquela ilha (Bebiano, 1932; Ribeiro, 1960). Já na Brava ocorreram sismos relacionados tanto a eventos vulcânicos como a fenómenos vulcanotectónicos, sendo os últimos os que foram registados e sentidos em maior número nesta ilha. Ainda assim, a análise da sismicidade histórica e instrumental, bem como a história das erupções vulcânicas recentes ocorridas na ilha do

Fogo, revela a existência de atividade tectónica à escala regional e local, a qual condiciona e é condicionada, por sua vez, pela atividade vulcânica.

De acordo com os registos sísmicos e os relatos históricos em Cabo Verde, a atividade sísmica é mais elevada na ilha da Brava, caracterizando-se principalmente pela ocorrência de crises sísmicas. Outras ilhas que apresentam considerável atividade sísmica são, Fogo, Santo Antão e São Vicente enquanto que nas restantes ilhas, embora sujeitas à atividade sísmica, a manifestação deste perigo tem sido pouco frequente e de fraca intensidade, pelo que raras vezes é percebida pelas populações. Friedlaender (1913) a propósito deste facto temia que as nascentes de águas termais na ilha Brava viessem a secar, por deslocamento dos níveis dos aquíferos, em resultado da atividade sísmica. De entre as crises sísmicas ocorridas na Brava destacam-se: (1) a de 1950-51 (Anuário Sismológico de Portugal); (2) a de 1963 (Anuário Sismológico de Portugal); (3) a ocorrida entre Dezembro de 1980 e Maio de 1981, na qual se registou uma intensidade máxima de grau VII na escala de Mercalli Modificada (Pires e Neves, 1981); (4) a de Junho de 2006, com intensidade significativa responsável por pequenos danos em habitações (Mourão *et al.*, 2008); e (5) a de Janeiro de 2007. Também a atividade sísmica associada às erupções de 1816, 1847, 1951 (Ribeiro, 1960) e 1995 (Matias *et al.*, 1997) na ilha do Fogo foi sentida na Brava.

Vários autores têm procurado enquadrar a atividade sísmica registada na Brava com determinados tipos de fenómenos geológicos. Friedlaender (1913) fez referência à origem dos sismos da ilha Brava dizendo que podem estar relacionados tanto às erupções vulcânicas ocorridas na ilha do Fogo como à natureza tectónica desta ilha. Para Miranda (1947), fenómenos de levantamento verificam-se em especial na ilha Brava cujo território foi erguido, provocando, por tal emergência, uma sismicidade mais forte nesta do que nas outras ilhas. Heleno (2003) defende que a sismicidade que afecta a ilha Brava pode relacionar-se com ajustamentos induzidos por mudanças de volume nas câmaras magmáticas das ilhas do Fogo e Brava, ou seja, resultante da migração de magma da Brava em direcção ao Fogo através de condutas quase horizontais e superficiais. Esta interpretação foi contestada por Hildner (2011) que considera que os sistemas magmáticos associados a estas duas ilhas são independentes. Por seu turno, Madeira *et al.* (2006) e Madeira *et al.* (2010b) defendem uma origem vulcanotectónica para tais crises, eventualmente relacionadas com a deformação frágil gerada por ruturas em falhas activas. No entanto, Grevemeyer *et al.* (2010) tal como Faria (2010) defendem que os

sismos que ocorrem na Brava são resultantes da atividade vulcânica submarina existente no monte submarino Cadamosto localizado a SW desta ilha.

Para o presente capítulo efectuou-se a análise de informações disponíveis sobre os eventos sísmicos que ocorreram na ilha Brava. Para tal começou-se por fazer uma recolha sistemática de toda a informação disponível, que foi integrada numa base de dados. Para além dos documentos recolhidos, foram encontradas referências a diversas obras existentes em bibliotecas e arquivos, nacionais e estrangeiros. Procedeu-se também à recolha de informação macrossísmica existentes em anuários sismológicos, bem como em estudos relativos à sismicidade de Cabo Verde, em especial os dedicados à ilha Brava. Neste contexto fez-se (1) a compilação das principais referências bibliográficas, bem como a recolha de documentos históricos, de modo a permitir a caracterização dos eventos sísmicos, quer de natureza tectónica, quer associados a fenómenos de origem vulcânica, que provocaram prejuízos significativos na ilha Brava, (2) construção de uma tabela com a lista dos eventos sísmicos ocorridos na Brava (Anexo III), e (3) a avaliação dos dados de macrossísmica já existentes, utilizando a Escala Macrossísmica Europeia de 1988 (Grünthal, 1998).

3.2. SISMICIDADE HISTÓRICA

Os sismos ocorridos numa região habitada encontram-se geralmente assinalados nos registos dessa região, constituindo a sismicidade histórica, enquanto os eventos mais recentes, registados através do uso de estações sismológicas, representam a sismicidade instrumental. Para a determinação do perigo sísmico é fundamental ter em conta estes dois aspectos. Contudo, os relatos históricos apresentam limitações, nomeadamente no que respeita ao número de eventos, sua localização, dimensão e recorrência: os eventos menores são escassamente referenciados nos documentos históricos, e o intervalo de recorrência dos grandes sismos é geralmente superior ao período abrangido pelos registos, de modo que estes eventos podem não estar referenciados.

Os sismos ocorridos numa região habitada encontram-se geralmente assinalados nos registos dessa região, constituindo a sismicidade histórica, enquanto os eventos mais recentes, registados instrumentalmente, representam a sismicidade instrumental. Para a determinação do perigo sísmico é fundamental ter em conta estes dois aspectos. Contudo,

os relatos históricos apresentam limitações, nomeadamente no que respeita ao número de eventos, sua localização, dimensão e recorrência: os eventos menores são escassamente referenciados nos documentos históricos, e o intervalo de recorrência dos grandes sismos é geralmente superior ao período abrangido pelos registos, de modo que estes eventos podem não estar referenciados.

Desde o início do povoamento deste arquipélago de Cabo Verde que fenómenos naturais como erupções vulcânicas e sismos assustam o povo cabo-verdiano, particularmente as populações das ilhas do Fogo, Brava e Santo Antão. Ao contrário de outras paragens os fenómenos naturais mais relatados em Cabo Verde são as erupções vulcânicas ocorridas na ilha do Fogo. No entanto, alguns eventos sísmicos têm sido referidos nalguns relatos de cronistas como Feijó (1786), Deville (1848), Abranches (1877), Senna Barcellos (1899) e Ribeiro (1960). Em relação a catálogos contendo uma listagem de eventos sísmicos ocorridos em Cabo Verde não existe nenhuma publicação até à data. A ocorrência de sismos em Cabo Verde tem sido referenciada em algumas obras não sendo feitas descrições pormenorizadas sobre os mesmos.

Para o estudo da sismicidade histórica começou-se por fazer uma recolha sistemática de toda a informação disponível, como relatos de sismos e erupções presentes em obras de cronistas cabo-verdianos e estrangeiros, particularmente portugueses, manuscritos, artigos de jornais e revistas locais e Boletins Oficiais, a qual foi integrada numa base de dados. Centrou-se na análise de informações disponíveis sobre os eventos sísmicos que ocorreram no arquipélago de Cabo Verde especialmente aquelas dedicadas à ilha Brava. Para isso fez-se uma compilação das principais referências bibliográficas, bem como a recolha de documentos históricos, de modo a permitir a caracterização dos eventos sísmicos. Da análise da bibliografia existente é possível verificar que a atividade sísmica em Cabo Verde, em geral, e na ilha Brava, em particular, teve quer origem vulcanotectónica quer origem vulcânica. A informação existente sobre a origem vulcânica de alguns eventos é clara, o que não acontece para os outros eventos, pelo que devido à falta de informações concretas optou-se por dividir os eventos sísmicos em dois grupos: os sismos associados a atividade vulcânica e os sismos vulcanotectónicos, para os quais não se conhece uma relação directa com erupções vulcânicas. Apesar de a maioria destes eventos não ter provocado prejuízos significativos tanto no arquipélago como na ilha, apresentam-se os que se considera terem tido algum impacto.

3.2.1. SISMICIDADE ASSOCIADA A ERUPÇÕES VULCÂNICAS

O vulcão da ilha do Fogo é o único aparelho vulcânico em Cabo Verde em que se registaram erupções em tempos históricos desde o povoamento do arquipélago. Das cerca de 30 erupções registadas na ilha do Fogo, há notícias da ocorrência de atividade sísmica em pelo menos 8 erupções: 1680, 1785, 1799, 1815/16, 1847 e 1951 (Ribeiro, 1960), e 1995 (Torres *et al.*, 1997a; Matias *et al.*, 1997) e 2014, antes, durante e depois das mesmas, em alguns casos com consequências graves. No entanto, encontrou-se referência à ocorrência de uma erupção em 1601 com atividade sísmica (Pereira, 2005), que teria passado despercebida até mesmo a Orlando Ribeiro. Segundo Pereira (2005), numa carta do Padre Baltasar, residente na ilha de Santiago, ao Padre João Alvares, *in Monumenta missionária africana (África Ocidental)* Vol. IV, Doc. 45, p. 161, datada de 1 de Agosto de 1606, existe a seguinte informação:

“A segunda ilha depois desta de Santiago, que está à vista dela, é a de San Filipe e por outro nome a do Fogo, chamada assim por um pico mui alto que tem, o qual nos tempos passados lançava de si ordinariamente fogo, e haverá outra obra de cinco anos, lançou muitos dias com tão grandes sinzeiros e terremotos, que todos os moradores da ilha padeceram muito e se deram por acabados...”

Das erupções atrás mencionadas somente naquelas de 1815/16, 1847, 1951, 1995 e 2014 a atividade sísmica foi sentida sismo na ilha Brava. No presente trabalho foram escolhidos como casos de estudo três eventos, designadamente as crises sísmicas ocorridas aquando das erupções vulcânicas de 1847, 1951 e 1995 na ilha do Fogo. Como critérios de selecção consideraram-se a ocorrência de prejuízos apreciáveis e a existência de informação susceptível de permitir um estudo macrossísmico. Estas erupções apresentaram carácter semelhante, iminentemente do tipo estromboliano com edificação de cones e efusão de escoadas lávicas. Os relatos históricos foram analisados transcrevendo-se as descrições das erupções que indicam consequências destes na Brava e os acontecimentos relacionados com a atividade sísmica. Na análise dos dados, procurou-se discriminar os efeitos decorrentes da atividade sísmica dos provocados por fenómenos vulcânicos (queda e acumulação de material piroclástico, progressão de escoadas lávicas e libertação de gases vulcânicos).

Face à impossibilidade de avaliar as intensidades atingidas por cada um dos sismos individualmente, uma vez que os prejuízos relatados correspondem ao somatório dos efeitos dos inúmeros abalos então verificados, as intensidades foram avaliadas relativamente aos danos globais causados pela atividade ocorrida num determinado período. Deste modo, consideraram-se as consequências de um conjunto de eventos sísmicos equivalentes às que seriam provocadas por um único sismo. No entanto, sempre que a informação disponível permitiu, caracterizou-se cada evento quanto à data e hora de ocorrência e seus efeitos.

3.2.1.1. ERUPÇÃO DE 1847

3.2.1.1.1. RELATOS HISTÓRICOS

Desta erupção existe relato minucioso nos ofícios enviados ao governador pelo administrador da ilha do Fogo J. J. V. Vasconcellos. O primeiro tem a data de 12 de Abril e foi publicado no *Boletim Oficial* (nº183, pp. 753-754) seis dias depois:

... “No dia 9 do corrente pelas 7 horas e 7 minutos da noite depois de um trovão subterrâneo tremeu a terra, o que repetiu às 7 horas e 24 minutos, e às 8 horas e 7 minutos com mais violência; e então o vulcão abriu sete crateras nas extremidades das suas faldas entre o sítio de Antoninha e Relva, uma das quais expulsou um penedo de uma grandeza enorme que cortando o ar umas poucas de braças distante da terra caiu no mar causando um estampido horríssono, e depois lançou areias em toda a freguesia de Santa Catarina e Nossa Senhora da Ajuda; e depois começou a arrojear lavas ardentes pelas sete crateras que confluíram no sítio de Relva levando diante de si casas palhoças, animais domésticos, e toda a cultura de vinhas e mandioca, e entrou pelo mar dentro gastando no trânsito quatro horas a percorrer três milhas de terreno pouco mais ou menos, que dista das faldas do vulcão do mar; e ainda continua a correr, e a terra a tremer de quando em quando, posto que com menos força. Desabaram algumas rochas, estragaram algumas fazendas a que ficavam sobranceiras. No sítio do Matinho (Cova Matinho) e Bombardeiro caíram algumas casas palhoças por causa do tremor, em uma das quais ficou sepultada debaixo das ruínas uma criança de 6 anos e quatro pessoas ficaram feridas”...

Um mês depois (ofício de 13 de Maio, no *Boletim Oficial* nº191, p. 784), o administrador rectificava e ampliava as notícias anteriores. Não se diz expressamente que a erupção tivesse terminado, embora isso se depreenda do contexto. Assim, a sua duração foi

inferior a um mês e a efusão de lavas, muito importante pela área que veio cobrir (dois terços do sítio da Relva), parece ter-se produzido principalmente no início da erupção.

“Depois de ter obtido melhores informações acerca da explosão do vulcão, não só porque tendo-se dissipado o fumo observa-se melhor ... O vulcão somente abriu três crateras nas extremidades das faldas, no sítio da Relva e Antoninha... Também no sítio da Chã diz-se que abriu algumas bocas, cujas lavas correram pequena distância, e pararam. Eram cinquenta e sete, as casas palhoças que havia naquele sítio, das quais 32 foram queimadas, umas cobertas de lavas, outras pelas faíscas que lançavam. A terra tem cessado de tremer... Calcula-se terem as lavas reduzido a pedra dois terços do referido sítio chamado Relva.”

Segundo Senna Barcellos (págs. 346/347, 1899):

“Em 9 de Abril de 1847, às 7 horas e meia da noite, houve grande explosão do vulcão da ilha do Fogo, arrojando lavas sobre as propriedades da Relva, ficando completamente destruídas a da irmandade do Santíssimo Sacramento da freguesia de Nossa Senhora da Conceição. Esta erupção, muito maior do que a de 1815 (?), causou grandes estragos. Foi precedida de um tremor de terra a ao cabo de vinte minutos outros grandes tremores se seguiram. Na ilha Brava também houve violentos tremores. O vulcão abriu 7 novas crateras, mais próximo da base do que do pico. No dia 15 se sentiram ainda grandes detonações intervalladas, semelhantes a tiros de peça.”

Ribeiro (1960) afirma que a:

“Erupção de 1847 foi precedida e acompanhada de três abalos de terra e ruídos subterrâneos.”

3.2.1.1.2. ATIVIDADE SÍSMICA ASSOCIADA

A atividade sísmica associada a esta erupção foi perceptível pela população da ilha do Fogo. A erupção ter-se-á iniciado às “...19:07 depois de um trovão subterrâneo, e sucederam-se dois sismos “...às 19:24 e às 20:07 com mais violência”. Os tremores de terra continuaram a ocorrer durante a erupção “... a terra a tremer de quando em quando, posto com menos força...”. Por causa da intensidade destes sismos ocorreram alguns desabamentos de rochas que provocaram danos nalgumas fazendas sobranceiras. Na ilha Brava os sismos fora sentidos e relatados como “violentos tremores”.

3.2.1.1.3. ANÁLISE

Quanto aos efeitos do fenómeno eruptivo o início da erupção foi marcado por explosões violentas com expulsão de material piroclástico (cinzas, lapilli e blocos) através de três bocas eruptivas na Relva, Antoninha e Chã das Caldeiras. A queda de cinzas e lapilli deu-se essencialmente nas freguesias de Santa Catarina e Nossa Senhora da Ajuda. As lavas soterraram e queimaram 32 casas na Relva e campos de cultura de vinha e mandioca e correram até ao mar. A localidade de Relva foi a mais afectada tendo sido reduzida a dois terços pelas lavas.

Antes do início da erupção ocorreram três tremores de terra que provocaram desabamento de rochas que afectaram algumas fazendas a que ficavam sobranceiras. Em Cova Matinho e Bombardeiro caíram algumas habitações por causa dos abalos tendo morrido uma criança de 6 anos que ficou sob os escombros de uma das casas e quatro pessoas ficaram feridas. É a única erupção em que há notícia de vítimas mortais devido à ocorrência de sismos. Dos sismos sentidos na ilha Brava não há notícias de danos materiais nem de vítimas mortais ou feridos.

De acordo com a EMS-98 a ocorrência de desabamentos de terra indica sismos de intensidade igual a grau IV. O colapso total ou parcial de algumas casas indica certamente que alguns sismos terão atingido intensidade igual a grau VIII (EMS-98). No entanto, uma avaliação global dos danos causados pela atividade sísmica ocorrida na erupção de 1847 permite verificar que estes foram equivalentes aos que seriam provocados por um sismo que tivesse atingido as intensidades (EMS-98) entre os graus IV e VIII na localidade de Relva. Na ilha Brava os abalos de terra foram sentidos notavelmente pela população local mas não se registaram danos assinaláveis pelo que se admite que aí a intensidade máxima observada tenha sido entre os graus V e VI (EMS-98).

3.2.1.2. ERUPÇÃO DE 1951

3.2.1.2.1. RELATOS HISTÓRICOS

Esta erupção foi objecto de profunda e completa descrição pelo Professor Orlando Ribeiro, pelo que se apresenta um resumo dos relatos efectuados por este autor. De acordo com Ribeiro (1960), a erupção de 1951 iniciou-se a 12 de Junho, por volta das 8:00 da manhã, nas bocas do flanco sul do Pico (onde se formaram os cones do Monte Orlando e

Monte Rendall) e, cerca de uma hora depois, na zona NW da Chã, junto das povoações da Portela e Bangaeira, tendo retomado estruturas vulcânicas pré-existentes (Monte Preto de Cima e outros pequenos cones adjacentes). Conforme testemunhos de populares às 7:45 da manhã sentiu-se um abalo seguido pelo início da erupção um quarto de hora depois.

Segundo os habitantes da Chã das Caldeiras, a erupção iniciou-se mais cedo no lado sul com projecção de cinzas e fragmentos incandescentes. Uma hora depois, os mesmos fenómenos repetiram-se junto do Monte Preto, onde se abriram três bocas. A boca principal abriu-se cerca do meio-dia, com explosões violentas que provocaram deslocções de ar e arremessaram grandes blocos que caíram nas imediações. Nas bocas setentrionais a efusão de lava durou apenas um dia, sendo, ainda assim, apreciável o volume derramado (Ribeiro, 1960).

Em S. Filipe sentiu-se, às 7:45, um forte e rápido abalo, um quarto de hora depois novo abalo, seguido de forte estampido, avistando-se por cima da Bordeira grossa coluna de fumo negro. Cerca do meio-dia, de mistura com o fumo negro, avistam-se grandes rolos de fumo esbranquiçado. Por esta altura, as lavas derramadas ao nível da Chã já haviam alcançado o seu bordo SE, precipitando-se rapidamente pelo declive da encosta. Um rio de lavas desceu em direcção à povoação de Cova Matinho, em grande extensão, e terá provocado vários incêndios. Os derrames lávicos dividiram-se em vários braços, um correu em direcção ao mar encostado à escarpa do Espigão, destruindo pelo caminho a povoação de Cova Matinho e os seus terrenos de cultura, parando a pequena distância do litoral no sítio de Bombardeiro; os outros ramos espalharam-se pela encosta SE na região de Estância Roque, ramificando-se ao contornar os numerosos cones e campos de lava modernos existentes nessa região (Ribeiro, 1960). Desde as 10:00 que, impelidos pelo vento dominante, os fragmentos menores da escória expelida pela erupção caíam sobre o sudoeste e oeste da ilha, na forma de uma chuva de cinza negra e grossa. Junto aos centros emissores do lado sul, tanto no interior da Chã como nos flancos exteriores da Bordeira, as cinzas terão alcançado a espessura de alguns metros. Em S. Filipe chegaram a uns centímetros de espessura cobrindo as ruas. Cinzas com as dimensões de grãos de areias chegaram à ilha Brava.

No dia seguinte pelas 10:00, a erupção retomou a violência, acompanhada de estampidos e novos abalos. O derrame de lavas foi intenso mas pouco duradouro. As fendas dos centros emissores do lado norte emitiram-nas apenas durante um dia, correndo todas no interior da Chã, em direcção à Bordeira, que não chegaram a alcançar, imobilizando-se junto das casas da povoação e subvertendo parte mínima dos seus campos agrícolas. Aqui apenas se perderam quatro casas. Do lado sul, formaram-se várias correntes lávicas. Umas derramaram-se para o interior da Chã, outras alcançaram o seu bordo E, descendo a encosta em dois ramos: o mais extenso retomou o caminho das lavas de 1857, em direcção ao mar, destruindo quase totalmente Cova Matinho e aproximando-se de Bombardeiro; o outro, correndo em vários braços por uma encosta eriçada de antigos cones eruptivos, ameaçando o lugar de Estância Roque. Por este lado, as correntes progrediram rapidamente mas em pouco tempo se imobilizaram.

À entrada da Chã do lado meridional, no sopé do cone principal, junto de relevos antigos de cor acastanhada, formaram-se através da acumulação de produtos piroclásticos dois cones de escórias, que foram denominados Monte Orlando e Monte Rendall. A erupção continuou de forma menos violenta e teria durado pouco mais de dois meses, mais tempo do que qualquer das últimas de que havia notícia (Ribeiro, 1960).

3.2.1.2.2. ATIVIDADE SÍSMICA ASSOCIADA

Violentos abalos de terra precederam e acompanharam o início da erupção de 1951, que provocaram inúmeros danos materiais na ilha do Fogo tais como: a queda de rochas nas encostas da Bordeira e do cone (vulcão), abertura de fendas em algumas casas em Cova Figueira, corte da estrada leste da ilha numa extensão de um quilómetro, uma casa ruiu em Curral de Asno, várias casas sofreram grandes danos em Relva (48 casas), Achada Grande e Corvo, cisternas de água foram rachadas perdendo-se a água que abastecia as populações e o gado do noroeste da ilha (Ribeiro, 1960). Várias pessoas terão sentido um grande número de pequenos tremores de terra, cuja frequência foi aumentada até à véspera da erupção (Ribeiro, 1960). Os abalos repercutiram-se com desigual intensidade na ilha. Os que precederam imediatamente ou acompanharam o início da erupção eram violentos junto das crateras (desabamentos nas encostas, ruiu uma casa em Curral de Asno) e diminuíram rapidamente de intensidade com a distância, a ponto de em S. Filipe não serem sentidos por pessoas que se encontravam na rua. Foi no nordeste da ilha que um sismo que ocorreu às 3:00 da tarde se sentiu com maior violência (Ribeiro, 1960)

provocando danos em várias casas na Relva, Achada Grande e Corvo. Nos Mosteiros a população entrou em pânico refugiando-se em embarcações que se encontravam no seu porto. Os sismos também foram sentidos na ilha Brava mas não provocaram danos materiais nem vítimas.

3.2.1.2.3. ANÁLISE

Os primeiros dias da atividade eruptiva da erupção de 1951 foram de notável violência. A abertura de novos caminhos para a ocorrência da erupção foi precedida por um esforço vigoroso na subida de magma, de que fortes os tremores de terra dão testemunho. Estes sacudiram as paredes da Bordeira e provocaram o desprendimento e desabamento de rochas. O início da erupção provocou pânico nas populações de vários povoados que fugiram sem saber para onde.

Em relação aos produtos vulcânicos, alguns tipos (as escoadas lávicas e a queda de material piroclástico - cinzas, lapilli e blocos) tiveram impacto significativo sobre pessoas e bens. Os impactos da progressão das escoadas lávicas foi o seguinte: as lavas soterraram a povoação de Cova Matinho perdendo-se 17 casas e quase todos os terrenos agrícolas; Estância Roque teve 17 casas subvertidas pela lava; Monte Calçada e Chã das Caldeiras perderam algumas casas e Curral de Asno desapareceu sob a principal corrente de lavas. Ao todo foram 34 casas e alguns “funcos” e cisternas anexas. A canalização de água da Chã, que abastecia as populações a sueste da ilha, foi coberta e derretida pela lava; a cisterna da Baleia, que servia os lugares de Corvo e Relva, ficou inutilizada; a estrada do Leste da ilha foi cortada numa extensão de um quilómetro (Ribeiro, 1960).

As escórias cobriram plantações agrícolas na Chã das Caldeiras, junto ao vulcão; as cinzas caíram em forma de uma chuva grossa em toda a ilha do Fogo e Brava (com dimensões de grãos de areia). Em S. Filipe as cinzas atingiram a espessura de dois centímetros. As partículas mais finas terão sido arrastadas pelo fluxo das altas camadas da atmosfera e decaindo lentamente, provocaram, seis dias depois, bruma nas Antilhas (Ribeiro, 1960).

Relativamente à atividade sísmica há a assinalar o seguinte: os tremores de terra provocaram estragos em várias povoações e muitas cisternas foram inutilizadas com a abertura de fendas; a povoação que mais sofreu com os abalos foi Relva, onde 48 casas foram danificadas (Ribeiro, 1960). Na generalidade a análise dos efeitos decorrentes

destes tremores de terra ocorridos na erupção de 1951 podem ser equiparados aos originados por um sismo que tivesse atingido intensidades, na escala EMS-98; igual a grau VII. Um dos tremores mais violentos ocorreu às 3 da tarde no dia do início da erupção e foi sentida em toda a ilha do Fogo. Terá provocado desabamento de rochas nas encostas da Bordeira e do cone principal provocando a queda de alguns casebres, o desmoronamento de paredes de casas de pedra solta e as de alvenaria abriram brechas e racharam cisternas de cimento. Este tremor de terra terá tido maior intensidade do que os tremores ocorridos no início da erupção e pela análise dos danos assinalados pode-se equiparar aos danos originados por um sismo de intensidade igual a VIII na escala EMS-98.

Na ilha Brava apesar da atividade sísmica ter sido perceptível pela população não houve danos materiais registados, no entanto alguns sismos foram acompanhados de ruídos subterrâneos, pelo que admite-se que aí a intensidade máxima observada tenha sido igual a V (EMS-98). No entanto, de acordo com os registos do Anuário Sismológico de Portugal, Vol. 1, as intensidades máximas variaram nas duas ilhas: no Fogo terão sido de VI-VII (escala MM) enquanto na Brava foram de grau V (escala MM).

3.2.1.3. ERUPÇÃO DE 1995

3.2.1.3.1. RELATOS HISTÓRICOS

A erupção de 1995 mereceu atenção da comunidade científica, quer internacional, quer nacional, tendo sido efectuados diversos trabalhos instrumentais e observações rigorosas de onde resulta uma profunda caracterização. Segundo Torres *et al.* (1997a), o evento iniciou-se às 23:55 horas de 2 de Abril de 1995 e foi precedido por sismos premonitórios, sentidos nos cinco dias anteriores pela população local, e por tremor vulcânico. Inicialmente a atividade apresentou características fissurais, com a lava a ser emitida por um alinhamento de pequenos cones pré-existent na base da vertente SW do vulcão do Pico e ao longo de uma falha, designado Falha do Monte Beco de direcção NNE-SSW (Silveira *et al.*, 1997), e a base do cone principal. O início da erupção foi caracterizado pela emissão de cinzas e de piroclastos, logo depois, deu-se a emissão de lavas. Na sequência, formaram-se várias bocas eruptivas e em momentos pontuais houve a emissão grandes quantidades de lava através de fissuras.

A atividade explosiva originou uma coluna eruptiva que ascendia a uma altitude superior a 4 km nos dias iniciais, decrescendo gradualmente de intensidade. No decurso da erupção, em torno do centro eruptivo principal foi edificado um cone de escórias que se sobrepôs ao edifício vulcânico pré-existente, enquanto se registou queda de cinzas em toda a região para E e NE dos centros eruptivos (Torres *et al.*, 1997b). O estilo eruptivo evoluiu de havaiano para estromboliano, com atividade piroclástica contínua e emissão de volumosas escoadas *aa* até 22 de Abril e derrames *pahoehoe* que pararam de correr a 26 de Maio. Inicialmente formaram-se pequenas escoadas *pahoehoe* que acabaram por ser cobertas pelo volume principal de derrames *aa*. A fase efusiva terminal caracterizou-se pelo derrame de escoadas *pahoehoe* que cobriram parcialmente a área proximal dos derrames *aa* e ladearam a norte e a sul a porção distal dos volumosos derrames iniciais (Torres *et al.*, 1997b). As escoadas derramaram-se para oeste atingindo Boca Fonte quatro dias depois do início da erupção, inflectindo depois para norte em direcção à Portela que não foi afectada.

A emissão de gases durante a erupção de 1995 foi intensa, ocorrendo a partir de fumarolas localizadas em torno dos centros eruptivos e sobre as próprias escoadas, provocando rápida alteração daqueles materiais. A atividade fumarólica persistiu até junho de 1996 no edifício principal e em alguns pontos dos derrames (Torres *et al.*, 1997a). A atividade fumarólica persistia ainda em Junho de 1996 no edifício principal e em alguns pontos dos derrames. Os produtos emitidos foram essencialmente bombas, lapilli, cinzas e lavas, tendo estes dois últimos produtos representado o maior volume emitido (Torres *et al.*, 1997b; Wallenstein *et al.*, 1997; Madeira *et al.*, 1997). Esta erupção prolongou-se por quase de 2 meses (Torres *et al.*, 1997b).

3.2.1.3.2. ATIVIDADE SÍSMICA ASSOCIADA

Os sismos premonitórios foram sentidos tanto na ilha do Fogo como na Brava nos cinco dias que antecederam a erupção. Os abalos mais fortes ocorreram no próprio dia do início da erupção. A abertura do foco que deu origem às fontes de lava e início da erupção foi precedida ou acompanhada por dois sismos (o primeiro às 14:30 e o segundo às 19:30) que foram sentidos em toda a ilha, com uma intensidade de grau V (na escala MM) (Gaspar *et al.*, 1997; Silveira *et al.*, 1995). Durante e após a erupção, ocorreram sismos, de fraca a média intensidade, registados em diferentes redes de estações sismográficas (Martins *et al.*, 1997; Silveira *et al.*, 1997; Heleno & Fonseca, 1997; Heleno, 2003). Estes

sismos sentidos pela população nas ilhas do Fogo e Brava, não provocaram danos nem vítimas.

No que respeita à sismicidade, a atividade sísmica terá sido desencadeada pela reactivação de falhas sob a acção de tensões no interior do edifício vulcânico (Matias *et al.*, 1997). A intensidade dos sismos, grau V na escala de MM (Silveira *et al.*, 1997) não tendo sido assinalados danos materiais e vítimas. Os primeiros dias de atividade eruptiva foram acompanhados por uma elevada atividade sísmica registada (58 eventos registados em 10 dias) a grandes distâncias da fonte de lava, tendo sido a maioria classificados como sismos de alta frequência de origem tectónica (Matias *et al.*, 1997) e foram sentidos pela população. A atividade sísmica concentrou-se a sul e sudeste da ilha do Fogo. Na ilha Brava alguns dos principais abalos de terra foram sentidos pela população mas não devem ter ultrapassado o grau III (EMS-98). Para Matias *et al.* (1997) apesar de alguns sismos terem sido bastante superficiais, sentidos pela população, a sismicidade associada à erupção não representava um risco significativo para as pessoas e bens. Convém realçar que a qualidade das construções em 1995 era melhor do que as em 1847 e em 1951, pelo que este facto terá tido um papel relevante na não ocorrência de danos materiais.

3.2.1.3.3. ANÁLISE

Ao contrário da erupção de 1951, a erupção de 1995 teve um início da atividade eruptiva mais calmo e decorreu de forma menos violenta. Relativamente aos impactos provocados pelos fenómenos vulcânicos, o maior ficou a dever-se à progressão de escoadas lávicas. As escoadas lávicas da erupção de 1995 cobriram vastas áreas de terrenos agrícolas na região de Chã das Caldeiras com particular incidência na aldeia de Boca Fonte, povoado que foi completamente soterrado por lavas. A aldeia de Boca Fonte foi completamente destruída e coberta por lavas com destruição total todas as suas casas (13). Para além disso, a estrada de acesso à área afectada (Chã das Caldeiras, no geral, e Boca Fonte, em particular) foi cortada pelas lavas dificultando assim o acesso às povoações localizadas dentro da caldeira bem como a evacuação das pessoas (Correia *et al.*, 1997).

A queda de cinzas e lapilli teve impacto significativo na saúde da população das localidades próximas ao campo eruptivo com o aparecimento de inúmeros casos de conjuntivite, doenças respiratórias agudas e dermatoses (Bárber *et al.*, 1997). Já os gases vulcânicos provocaram o aparecimento de alguns sintomas na população local, tais como:

dores de cabeça, irritação na garganta com tosse, irritação nos olhos e na pele e sinais de indisposição (Bárber *et al.*, 1997). Não se encontrou qualquer registo sobre os impactos de cinzas e gases.

Os sismos foram sentidos nas ilhas do Fogo e Brava e apresentaram intensidades de grau V e III, respectivamente. Não provocaram danos materiais nem vítimas.

3.2.2. SISMOS ASSOCIADOS A FENÓMENOS VULCANOTECTÓNICOS

Os relatórios publicados e notícias de jornais e revistas locais têm relatado a ocorrência de várias crises sísmicas sentidas na ilha Brava, que se classificam como sendo de origem vulcanotectónicas. A maioria destes eventos foram sentidos pela população e provocaram, nalguns casos, pânico nas pessoas e alguns estragos e prejuízos socioeconómicos, comparativamente às restantes ilhas do arquipélago.

Apesar de existir pouca informação da ocorrência de sismos na Brava antes do século XX a não ser alguma relacionada à ocorrência de erupções vulcânicas no Fogo encontrou-se a seguinte declaração de Rendall (1951a) “*do período que decorre da erupção de 1799 à de 1817 registaram-se vários tremores de terra, o que se tem verificado durante este século (período entre as erupções de 1857 e de 1951), especialmente na vizinha Brava que, é de admitir, algo tenha sofrido com as erupções mas nem sequer referências a respeito encontramos*”. Esta afirmação confirma a ocorrência de sismos sentidos na ilha Brava.

Em primeiro lugar com base nos relatos históricos, enumeram-se as fontes bibliográficas consultadas efectuando-se uma descrição dos acontecimentos relacionados aos eventos sísmicos. Infelizmente as informações referentes às crises sísmicas ocorridas na ilha Brava são escassas, o que dificultou o trabalho realizado. Sempre que a informação disponível permitiu, caracterizou-se cada evento quanto à data e hora de ocorrência, seus efeitos sobre a população e parque habitacional. Seguidamente resumiram-se os resultados dos estudos anteriores que se debruçaram sobre cada um dos eventos. No caso dos sismos de natureza vulcanotectónica foram escolhidos 5 eventos designadamente as crises sísmicas de 1944, de 1963, de 1985 e de 2006. A abordagem dos sismos associados a fenómenos vulcanotectónicos é parecida à dos eventos de origem vulcânica.

3.2.2.1. ATIVIDADE SÍSMICA DE 26 DE FEVEREIRO 1944

3.2.2.1.1. RELATOS HISTÓRICOS

Segundo Miranda (1947) de acordo com informações fornecidas, a 26 de Fevereiro de 1944 ocorreu um abalo na ilha Brava, na vila de Nova Sintra, apresentou várias réplicas, tendo o tremor principal sido observado às 10 horas e 47 minutos e 30 segundos, seguindo-se-lhe outro de intensidade menor. A intensidade máxima do sismo terá sido de grau V (Escala de Mercalli-Sieberg) (Ferreira, 1956). Os dados macrossísmicos referentes à ocorrência desta crise sísmica indicam que o sismo foi sentido pela população que se encontrava quer dentro de casa quer na rua e que “...*muitas pessoas retiraram-se apressadamente das suas habitações com receio de desmoronamento*”. Os danos materiais apontam para “...*queda de estuque e fendas nas paredes, foram notadas em casas mesmo de sólida construção...*” e “...*noutras, mal construídas, os estragos foram mais valiosos e atingiram mais viva amplitude*” que por sua vez os danos foram classificados como sendo de nível 2.

3.2.2.1.2. ANÁLISE

A análise da ocorrência deste do evento permitiu confirmar que quase todos os habitantes da Vila Nova Sintra se aperceberam do fenómeno, quer os que estavam em casa quer o que se encontravam na rua. Ocorreram alguns estragos em algumas habitações como a queda de estuque e abertura de fendas nas paredes. Os dados da macrossísmica existentes sobre essa crise sísmica permitem afirmar que os efeitos da mesma são equivalentes aos provocados por um sismo de intensidade igual a grau VI (EMS-98) para a vila de Nova Sintra. As informações existentes apontam para a ocorrência de sismos na localidade de Nova Sintra pelo que a sua análise não permitiu a elaboração de uma carta de isossistas.

3.2.2.2. CRISE SÍSMICA DE 1963

3.2.2.2.1. RELATOS HISTÓRICOS

Esta crise sísmica começou às 04:45 do dia 01 de Abril de 1963 e prolongou-se até o dia 29 de Dezembro do mesmo ano (Anuário Sismológico de Portugal, Vol. 1). Foram registados um total de 60 eventos sísmicos sendo que alguns foram acompanhados de ruídos subterrâneos (Anuário Sismológico de Portugal, Vol. 1). Alguns jornais locais da época relataram os acontecimentos decorrentes desta crise. Um dos jornais que mais noticiou os eventos foi o Jornal “Arquipélago”. Na edição de 25 de Julho de 1963 o

referido jornal noticiava o seguinte: *“De oito a dezassete do corrente sentiram-se na ilha (Brava) vários abalos de terra, sendo o primeiro e o mais forte o do dia 8 – às 21:20 horas que fez oscilar as paredes, portas e janelas dos prédios. A população, apesar de habituada a tais fenómenos, veio para as ruas e aí se manteve até altas horas, calmamente e em conversa com os vizinhos”*. A 8 de Agosto do mesmo ano, o referido jornal publicou as seguintes notícias: *“No dia 5 do corrente, pelas 19:50 horas a Vila de Nova Sintra sofreu um violento abalo sísmico, tendo a população saído para as ruas. Desabaram, em consequência, duas pequenas casas, uma no sítio de Pé de Rocha e outra no Lém. Durante a noite registou-se outro abalo, mas de menor intensidade”*. A 29 de Agosto de 1963: *“Os últimos abalos, os mais violentos, puseram a população em alvoroço, tendo S. Excia o Governador ido pessoalmente verificar os efeitos e acalmar com a sua presença os habitantes da ilha-jardim (Ilha Brava). Felizmente e apesar da violência dos abalos apenas algumas casas apresentavam pequenas fendas, não havendo qualquer desastre a lamentar. O edifício dos CTT ficou muito danificado com os tremores de terra verificados no dia 24 de Agosto”*. A última notícia referente a eventos dessa crise sísmica aparece na edição de 05 de Setembro de 1963: *“Pequenos abalos sísmicos continuam fazendo-se sentir em toda a ilha (Brava), felizmente sem quaisquer consequências.”*

Um facto curioso refere-se a uma crença que existia na época na ilha Brava. As pessoas acreditavam que um ano com a ocorrência de muitos abalos sísmicos implicava um ano chuvoso *“Ano em que treme a terra há chuvas abundantes. E a profecia parece cumprir-se. A ilha está bem chovida e bem semeada... e também bem tremida.”* (Jornal “O Arquipélago”, edição de 29 de Agosto de 1963).

3.2.2.2.2. ANÁLISE

Segundo o Anuário Sismológico de Portugal, Vol. 1, as intensidades máximas variaram entre o grau III e V (escala MM). Como existem dados macrossísmicos referentes à ocorrência de 3 sismos (Jornal “O Arquipélago”) far-se-á a análise em separado para cada um dos eventos. Convém realçar que em todos os eventos as pessoas entraram em pânico e saíram para a rua com medo do desabamento das suas casas. Para o sismo ocorrido a 08 de Julho de 1963 de acordo com a informação disponível referente aos danos materiais admite-se que a intensidade máxima foi de grau igual a V (EMS-98). No entanto, o evento ocorrido a 08 de Agosto do mesmo ano parece ter sido mais forte e violento pois os danos

materiais foram maiores do que os do abalo. Os danos nas habitações foram de nível 4 e admitindo-se, assim, uma intensidade máxima de grau igual a VII (EMS-98). Para o caso do sismo de 24 de Agosto os danos nas habitações foram variáveis pelo que atribui-se aos danos exibidos nos níveis 1 e 3. A população terá entrado novamente em pânico. Estes dados levam a admitir-se que a intensidade máxima poderá ter sido igual a grau VII (EMS-98). As informações existentes apontam para a ocorrência de sismos na localidade de Nova Sintra pelo que a análise não permitiu a elaboração da carta de isossistas.

3.2.2.3. CRISE SÍSMICA DE JULHO DE 1985

3.2.2.3.1. RELATOS HISTÓRICOS

A crise sísmica de 1985 foi noticiada pelo Jornal “Voz di Povo” na edição de 12 de Julho de 1985 (único jornal existente na época). Segundo este jornal *“depois de várias sacudidelas”*, ocorreu no dia 8 de Julho de 1985 um violento tremor de terra na ilha Brava que terá provocado *“...fendas nas paredes e desabamentos das rochas e a uma vítima mortal, uma criança de 4 anos”*. Seguiu-se outro tremor de terra no dia 09 de julho. A ilha voltou a ser violentamente sacudida no dia 11 de Julho por um tremor de terra de grande intensidade que *“...provocou fendas nas paredes das casas, quedas de objectos móveis e deslizos de pedras pelas vertentes das rochas”*. Neste dia os habitantes da Vila de Nova Sintra ficaram alarmados *“...tendo-se registado, logo a seguir ao abalo no princípio da tarde, uma debandada quase geral das repartições públicas e residências e o comércio local fechou as portas nesse período”*. Entretanto, não houve vítimas deste sismo.

3.2.2.3.2. ANÁLISE

Dos relatos existentes sobre a ocorrência de sismos na ilha Brava, esta crise sísmica terá sido a única a provocar uma vítima mortal devido à ocorrência de desabamentos de rochas no sismo de 8 de Julho. Os relatos existentes permitem as seguintes considerações: de acordo com os efeitos provocados, os dois sismos ocorridos a 8 e 11 de Julho parecem ter tido intensidades semelhantes. Os danos provocados nas habitações (fendas nas paredes e quedas de objectos móveis) evidenciam danos de nível 2 e ambos os eventos foram sentidos pela população tendo o segundo provocado pânico nas pessoas. Ambos tiveram como efeitos o desabamento de rochas nas encostas. Assim, a análise dos efeitos dos dois eventos ocorridos, reflectem danos semelhantes pelo e apontam para intensidades

semelhantes de grau VI (EMS-98). Tal como nos sismos anteriores as informações existentes apontam para a ocorrência de sismos somente na localidade de Nova Sintra pelo que a análise não permitiu a elaboração da carta de isossistas.

3.2.2.4. ATIVIDADE SÍSMICA DE 2006

3.2.2.4.1. RELATOS HISTÓRICOS

De acordo com o Jornal “A Semana”, edição de 23 de Junho de 2006, Brava terá sido fustigada por abalos sísmicos de pequena intensidade, nas proximidades da ilha, nos dias 17 e 18 de junho deste ano tendo causados alguns danos materiais “... registou-se duas casas velhas parcialmente ruídas e algumas fissuras numa das instalações da Câmara Municipal” e não provocaram vítimas. No entanto, a população terá entrado em pânico.

Outro jornal, o “Expresso das Ilhas”, na sua edição de 21 de Junho de 2006, terá indicado a ocorrência às 04:00 de abalos sísmicos de fraca intensidade. Desta atividade sísmica não houve feridos, tendo-se verificado apenas danos materiais, designadamente “fissuras nas paredes de algumas casas e uma parte do tecto do edifício da Câmara Municipal que ruiu”. Algumas habitações antigas terão sofrido danos consideráveis e, por isso, dezenas de pessoas ficaram desalojadas. O sismo terá provocado pânico “A situação preocupa as autoridades municipais e os residentes de Nova Sintra estão em grande número na rua, com receio de possíveis réplicas”.

Este sismo ocorreu numa altura em que decorriam no país exercícios da North Atlantic Treaty Organization (NATO) em conjunto com a Protecção Civil de Cabo Verde, que incluíam uma simulação de uma erupção do vulcão do Fogo. Por isso uma equipa constituída pela Protecção Civil, pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e pela NATO deslocou-se à ilha para averiguar a dimensão do abalo e prestar ajuda à edificação da Brava.

3.2.2.4.2. ANÁLISE

Os dados macrossísmicos referentes à ocorrência desta atividade sísmica indicam que o sismo foi sentido pela população que se encontrava quer dentro de casa quer na rua. Os danos materiais foram classificados como sendo de níveis 3 e 4. Os dados existentes sobre essa atividade sísmica permitem afirmar que os efeitos da mesma são equivalentes aos

provocados por um sismo de intensidade igual a grau VII (EMS-98). Tal como os outros sismos ocorridos na ilha só existem dados referentes a Nova Sintra o que não permitiu a elaboração da carta de isossistas.

3.3. SISMICIDADE INSTRUMENTAL

A sismicidade registada na região do Arquipélago de Cabo Verde é considerada de reduzida expressão embora isso possa estar associada ao facto de muitos dos eventos serem de baixa magnitude e de não ter existido ao longo dos tempos instrumentação permanente nestas ilhas. Em relação à sismicidade instrumental os primeiros dados remontam a 1914 (Matias *et al.*, 1997).

3.3.1. REDES SISMOLÓGICAS NA ILHA BRAVA

3.3.1.1. Rede Sismológica de Portugal

A rede sismológica portuguesa registou a atividade sísmica desde o início do séc. XX (Miranda & Carrilho, 2014) nas regiões de Portugal continental, nos arquipélagos dos Açores e da Madeira bem como em todas as ex-colónias portuguesas (Cabo Verde, Guiné Bissau, Moçambique, Angola, S. Tomé e Príncipe e Timor Leste) (Anuário Sismológico Português Vol. 1). Na década de 70 esta rede deixou de fazer o registo nas ex-colónias portuguesas. Esta rede começou a fazer registos com três estações sísmicas em Portugal mas foi aumentando esse número, tendo atingido em 1973 as 13 estações sísmicas (em Portugal, Açores, Moçambique e Angola) (Miranda & Carrilho, 2014; Anuário Sismológico Português Vol. 1).

Os dados sísmicos relativos a Cabo Verde e referentes ao período entre 1947 e 1973 foram inventariados no Anuário Sismológico de Portugal, 1º volume, publicação do Instituto de Meteorologia Português que começou a ser divulgado em 1947. Nesta publicação encontra-se informação relativa ao número de estações em funcionamento, à sua localização e características, além da listagem dos sismos registados, indicando-se a data e local de ocorrência, locais onde foi sentido e respectiva intensidade, e outras informações consideradas relevantes.

3. AVALIAÇÃO DO PERIGO SÍSMICO

De 1947 a 1951 funcionaram nesta rede 5 estações, três em Portugal e dois nos Açores sendo as seguintes estações sismográficas: Serra do Pilar, Coimbra, Lisboa, Ponta Delgada e Angra do Heroísmo, respectivamente. No entanto, entre 1952 e 1973 foram instaladas mais estações sendo:

- a) Uma estação em 1952 em Lourenço Marques (Moçambique);
- b) Duas estações em 1958, uma na Horta (Açores) e outra em Luanda (Angola);
- c) Em 1961 a estação de Lourenço Marques foi transferida para Changelane (Moçambique);
- d) Em 1962 uma estação em Sá da Bandeira (Angola);
- e) Em 1970 uma estação em Dundo (Angola)
- f) Em 1971 estação do Tete (Moçambique)
- g) Em 1973 estação do Songo (Moçambique).

Os registos sísmicos existentes para o período de 1947-1954 associados à rede nacional portuguesa mostram que Brava é a ilha sísmicamente mais ativa (Anuário Sismológico de Portugal; Ferreira, 1956; Mendes, 1956). Durante este período foram registados 33 sismos, a maioria dos quais nas ilhas do Fogo e Brava (Fig. 3.3) (Ferreira, 1956; Mendes, 1956).

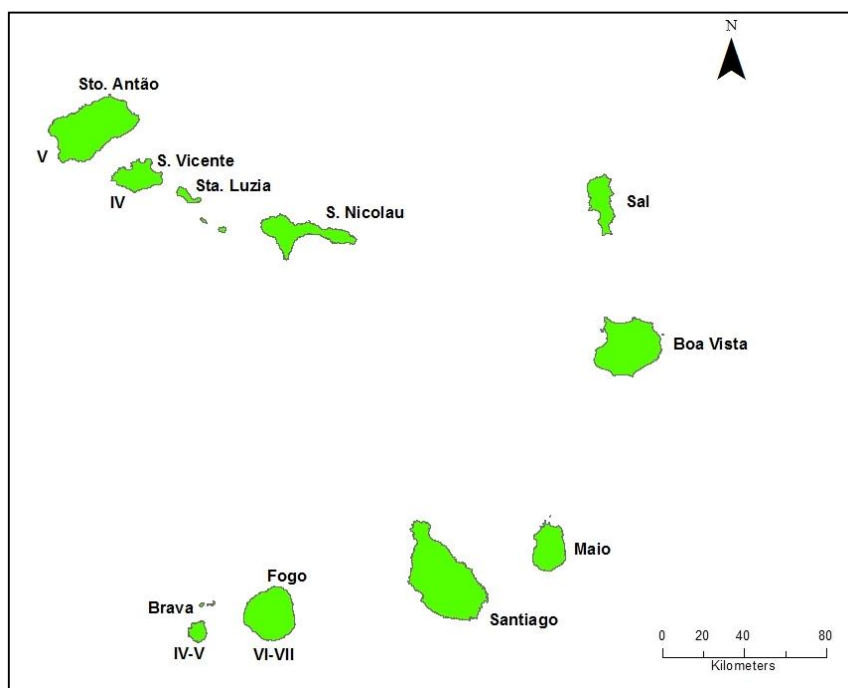


Figura 3. 3. Intensidades máximas observadas entre 1947 e 1954 disponíveis para as ilhas Fogo, Brava, Santo Antão e S. Vicente (Anuário Sismológico de Portugal; Ferreira, 1956; Mendes, 1956).

Destes sismos destaca-se a crise sísmica que está associada à erupção de 1951 na ilha do Fogo, que ocorreu entre Janeiro de 1950 e Junho de 1951, sentida em ambas as ilhas atingindo um máximo de intensidade de VI (Escala de Mercalli Modificada - EMM). Ferreira (1956) relata uma intensidade máxima de VI-VII (EMM) sentida nos Mosteiros, a NE da ilha do Fogo. Em 1963 ocorreu outra crise sísmica na ilha Brava, que não teve origem vulcânica.

3.3.1.2. Rede sismológica temporária durante a crise sísmica de 1981

Desde a independência do país, em 1975, devido à falta de instrumentação permanente no arquipélago, os dados referentes à sismicidade encontram-se em estudos especialmente dedicados à sismicidade em Cabo Verde quer devido à ocorrência de crises sísmicas quer devido à implementação de projectos de investigação.

Entre 16 de Novembro de 1980 e 5 de Maio de 1981 ocorreu uma crise sísmica nas ilhas do Fogo e Brava. Relatórios (Monteiro, 1981; Pires & Neves, 1981) e notícias de jornais dão informações sobre a ocorrência de frequentes tremores de terra de fraca intensidade nas ilhas da Brava e do Fogo. Na Brava os sismos fizeram-se sentir em toda a ilha, particularmente na Vila de Nova Sintra, causando queda de uma boa parte do estuque de alguns edifícios públicos e privados. Algumas famílias, um tanto ou quanto abaladas, viram-se obrigadas a deixar as suas casas indo passar a noite em barracas construídas na rua. De acordo com informações existentes houve desmoronamentos de rochas causados pelos abalos sísmicos. Não se registaram perdas humanas nem materiais.

A ocorrência desta crise sísmica levou à instalação da primeira rede de monitorização sísmica em Cabo Verde, tendo sido instalada nas ilhas do Fogo e da Brava. O Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica Português fez deslocar a Cabo Verde uma missão, de 10 de Abril a 10 de Maio de 1981, que instalou duas estações sísmicas com sensores de componente vertical, uma em Nova Sintra (Brava) e outra em S. Filipe (Fogo) (Pires & Neves, 1981). Estas estações trabalharam continuamente entre 11 de Abril e 5 de Maio, permitindo o registo de 135 sismos (Pires & Neves, 1981). Os inquéritos macrossísmicos realizados permitiram a elaboração de um mapa de intensidades médias (Fig. 3.4) (Pires e Neves, 1981). A localização de epicentros proporcionada pelos registos de duas estações sísmicas e pelos inquéritos macrossísmicos efetuados indicam como área epicentral provável o grupo de ilhéus situados a Norte da Brava (ver figura 3.4). Os mais importantes

sismos registados com magnitudes entre 2,6 e 2,9 foram sentidos na Brava e no Fogo. Em termos de intensidade, durante período de Dezembro de 1980 a Março de 1981, o valor máximo estimado foi de VI-VII (Escala MM) no extremo norte da ilha Brava (Pires & Neves, 1981).

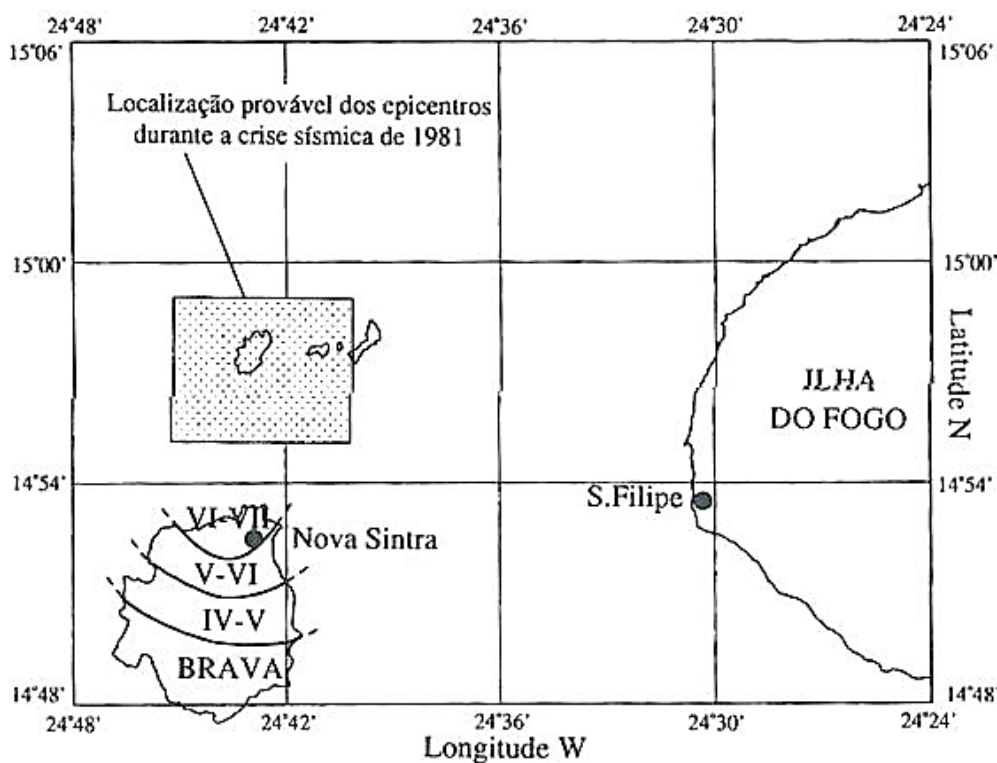


Figura 3. 4. A crise sísmica de 1981: carta de isossistas, área epicentral e localização das estações (*in* Matias et al., 1997 adaptado de Pires e Neves, 1981).

3.3.1.3. Campanha sismológica de 1994

Entre Janeiro e Abril de 1994 operou uma rede sismográfica analógica nas ilhas do Fogo (5 estações) e Brava (3 estações), no âmbito do projecto “Estudo Geofísico do Vulcão do Fogo”, com o objetivo de caracterizar a atividade sísmica associada a períodos inter-eruptivos no Fogo (Heleno e Fonseca, 1999 *in* Heleno, 2003). Foram instaladas redes locais entre 31/12/93 e 12/02/94 na Brava e no Sudoeste do Fogo, e entre 1/01/94 e 7/04/94 no interior da Chã das Caldeiras (Heleno, 2003). Foi registada atividade sísmica a Este da Brava que foi classificada como sendo precursora da erupção de 1995 no Fogo. Entre Janeiro e Abril de 1994 ocorreu uma pequena crise sísmica nas proximidades da Brava. Inicialmente a maioria dos sismos estava localizada entre o canal Brava - Fogo, no entanto mais tarde todos os eventos ocorreram a W da Brava (Heleno, 2003).

3.3.1.4. Rede de monitorização vulcânica permanente (VIGIL) entre 1999 e 2005

O aumento da consciencialização em relação aos perigos vulcânicos na Ilha do Fogo, na sequência da erupção de 1995, foi decisivo para a instalação de uma rede instrumental permanente de vigilância vulcânica (Projecto VIGIL) nas ilhas do Fogo e Brava. Segundo (Heleno, 2003), a rede VIGIL iniciou a sua operação em Maio de 1999, com a instalação de 7 sismómetros digitais (dois deles de banda larga). A rede instalada era constituída por sete estações sismográficas, duas inclinométricas e quatro repetidoras (Fig. 3.5) (Heleno, 2003). A seleção dos locais para a instalação destas estações teve em consideração a exposição do ruído ambiente, a geologia do local, a geometria da rede e a intervisibilidade entre as estações sísmicas e as estações repetidoras (Lima, 2000; Fonseca *et al.*, 2003; Heleno, 2003).

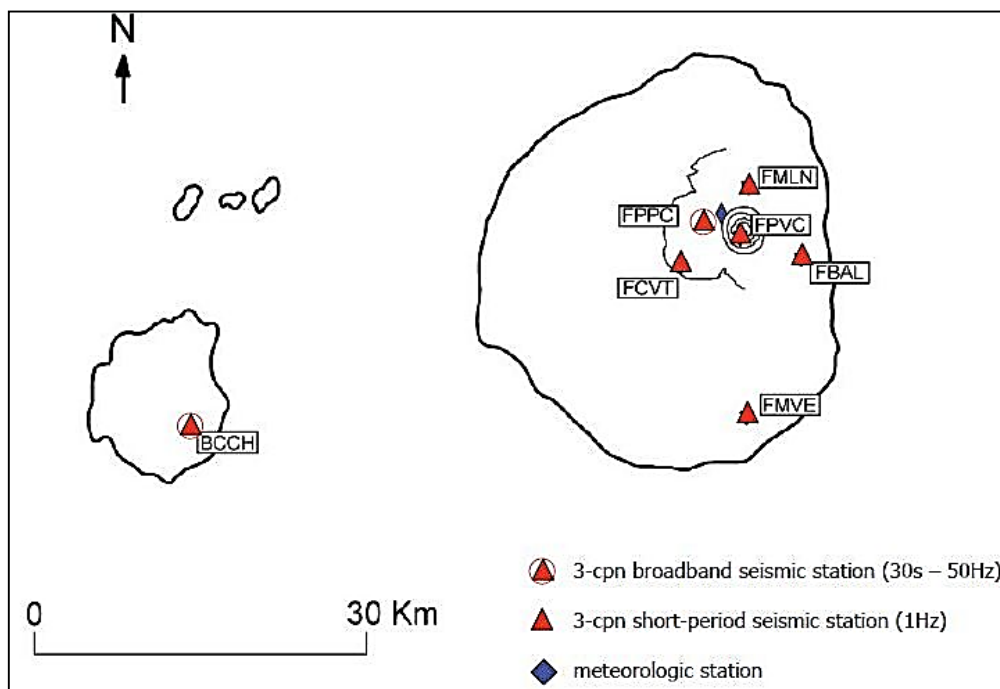


Figura 3. 5. Rede de monitorização vulcânica permanente das ilhas do Fogo e Brava (VIGIL) (*in* Heleno, 2003).

A estação instalada na ilha Brava foi colocada numa pequena gruta natural, perto da aldeia do Cachaço, na vertente do Monte Miranda, sendo constituída por um sismómetro de banda larga. Alguns autores (Heleno, 2003; Faria, 2010) consideraram importante a instalação desta estação devido: (1) à frequente atividade sísmica, sentida pela população local e por se tratar da ilha em Cabo Verde com maior registo de atividade sísmica sentida no arquipélago; (2) ao facto de a atividade sísmica poder estar relacionada com processos

vulcânicos na ilha ou próxima dela; e, (3) à necessidade de melhor controlar a atividade sísmica do Fogo, o que proporciona a cobertura a Oeste.

Todas as estações estavam ligadas telemetricamente ao Laboratório de Engenharia de Cabo Verde, na Cidade da Praia (Ilha de Santiago), o que permitia analisar (e armazenar) os dados registados nestas estações em tempo real. Os objetivos do projeto foram: monitorizar à distância e em tempo real a sismos vulcanotectónicos e vulcânicos, tremores vulcânicos e deformações do solo a curto prazo (Fonseca *et al.*, 2003).

De acordo com os dados referentes ao período compreendido entre Março de 2001 e Agosto de 2003 foram registados, analisados e classificados 1226 eventos na estação da Brava (Faria, 2010). Este mesmo autor assinalou que os eventos registados na ilha Brava tinham em média uma frequência diária, todavia era muito frequente a ocorrência de conjuntos de quatro a cinco eventos consecutivos com magnitudes similares.

Faria (2010) dividiu estes eventos registados na ilha Brava em dois grupos (Fig. 3.6):

- a) O *primeiro grupo* onde ficaram incluídos os eventos com magnitude igual ou superior a 1,6 registados também nas estações na ilha do Fogo, para os quais foi possível determinar a localização hipocentral. Os epicentros de 11 dos 18 eventos que compõem este grupo foram localizados entre o Fogo e a Brava e muito próximos desta última, enquanto os restantes sete também se situam no mar, mas a Oeste da Brava. Para Faria (2010) a localização dos epicentros desses sismos tem a mesma correlação espacial que apresentam as estruturas submarinas, as quais são consideradas cones vulcânicos (Masson *et al.*, 2008). Faria defende uma origem vulcânica para a ocorrência desses eventos.
- b) Do *segundo grupo* fazem parte os eventos com magnitude inferior a 1,6 e unicamente registados pela estação BCCH.

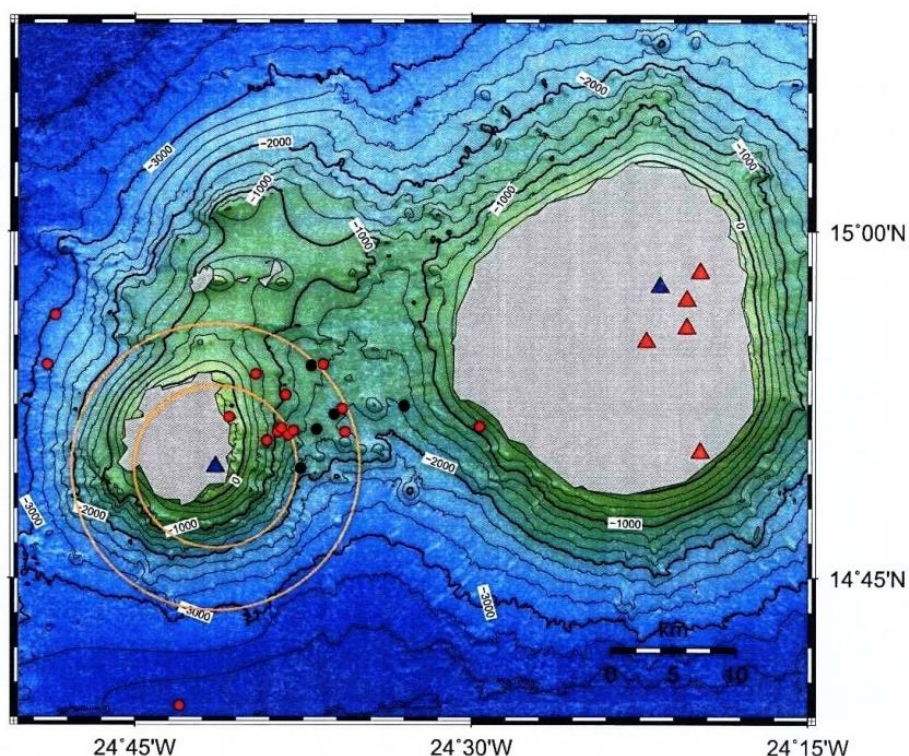


Figura 3. 6. Distribuição dos epicentros dos eventos do primeiro grupo (pontos vermelhos). Os pontos pretos referem-se a eventos registados anteriormente a Março de 2001. As circunferências (cor de laranja) centradas em BCCH e de raios iguais à distância epicentral média dos eventos do segundo grupo, respectivamente 6,5 e 11,5 Km (*in* Faria, 2010).

Esta rede registou alguns sismos de longo período na Brava e Fogo e tremor vulcânico na ilha do Fogo. Em Setembro de 2000 foi detetado um acréscimo da atividade sísmica em ambas as ilhas e uma deformação do solo no Fogo. Esta deformação acompanhada de sismos foi interpretada como sendo uma intrusão magmática o que desencadeou um alerta às autoridades locais (Lima, 2000; Fonseca *et al.*, 2003). A intrusão terá atingido níveis bastante próximos da superfície, sem chegar a atingi-la, e terá sido detectada pelos inclinómetros, primeiro com subida da zona a S do Pico (zona de Monte Cruz, à entrada da Chã das Caldeiras) acompanhada de tremor vulcânico muito forte e sismicidade de baixa frequência, e depois uma descida gradual (Lima, 2000).

3.3.1.5. Campanha sísmica da missão do navio Alemão M62/3 R/V Meteor, 2004

Esta missão esteve inserida no projecto CHARISMA (Cape Verde Hotspot: A Seismic Refraction Study of Isostasy and Magmatic Underplating) cujo objetivo principal era estabelecer a relação entre a origem de um *swell* batimétrico sob das ilhas de Cabo Verde com o vulcanismo de *hotspot*. Esta missão foi realizada entre 3 e 26 de Setembro de 2004 e incluiu as ilhas do Fogo e Brava.

O estudo batimétrico desta faixa revelou a existência de numerosos cones vulcânicos entre a ilha Brava e o monte submarino Cadamosto e entre o Fogo e Brava (Grevemeyer *et al.*, 2009). Foram implantadas estações sismológicas temporárias no fundo do oceano, em Setembro de 2004, próximo ao Cadamosto, tendo sido possível localizar um conjunto de sismos locais neste monte submarino (Grevemeyer *et al.*, 2009). A 22 de Setembro foram registados 12 sismos de magnitude 3.5 a nordeste do Cadamosto (Fig. 3.7).

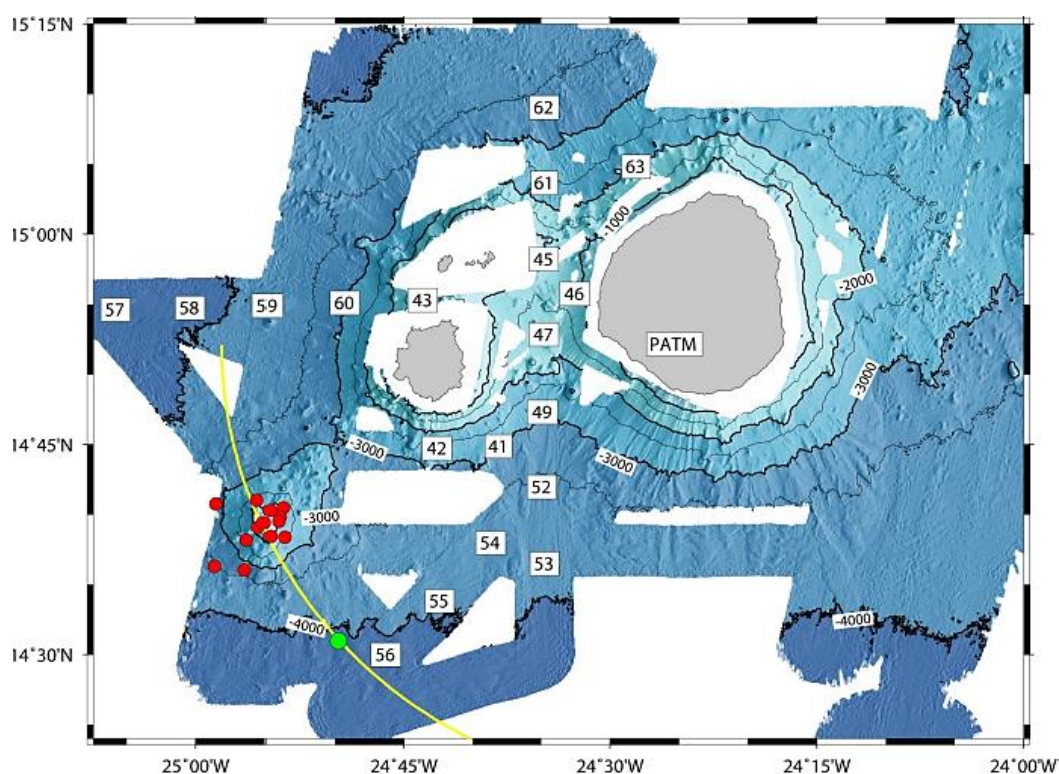


Figura 3. 7. Batimetria da faixa mapeada pelo Meteor R/V: os pontos vermelhos marcam os sismos locais registados e o ponto verde representa o epicentro do evento (*in Grevemeyer et al.*, 2009).

3.3.1.6. Campanha sísmica CV-Plume, 2008

Através do projecto CV-PLUME pretendeu-se estudar a geometria e a origem em profundidade da pluma mantélica sob Cabo Verde, recorrendo ao estudo das observações sísmicas, magnéticas e geoquímicas em diferentes escalas, desde a escala do arquipélago até à escala microscópica (Vales *et al.*, 2010a). A campanha Banda Larga (BB) do projecto CV-PLUME incluiu 9 ilhas do arquipélago e consistiu na instalação de uma rede temporária de 40 estações sísmicas de banda larga em finais de 2008 (Fig. 3.8), capazes de registar sismos locais e telessismos, tendo sido os dados registados continuamente durante 10 meses.

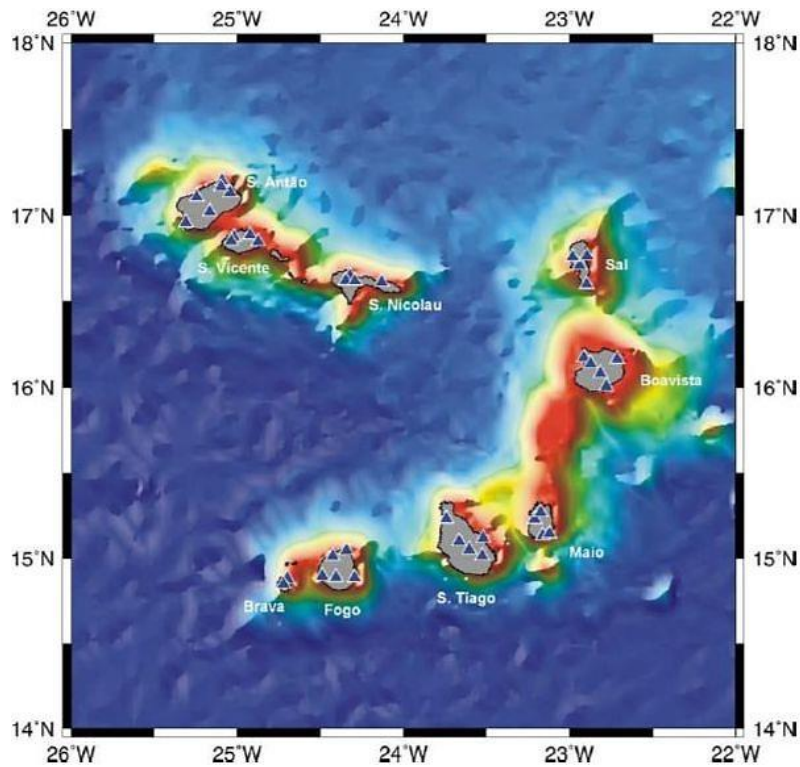


Figura 3. 8. Localização das estações BB instaladas no âmbito da campanha CV-PLUME (in Vales *et al.*, 2010a).

Vales *et al.* (2010a) apresentaram os resultados preliminares, obtidos a partir dos dados da rede sísmica CV-PLUME, os quais contribuíram para a caracterização da sismicidade local e regional. Dos oito meses analisados, verificou-se que a atividade sísmica no arquipélago e área adjacente foi relativamente baixa, com apenas alguns eventos de maior magnitude registados em todas as estações. Foram seleccionados 154 eventos, que cumpriam os critérios de pelo menos 5 estações e a localização apresentava um erro médio quadrático inferior (rms) a 0.5 (Vales *et al.*, 2010a). Estes autores constataram que este conjunto de sismos tinha magnitude local compreendida entre $0.4 < M_l < 4.2$, sendo possível identificar dois *clusters*, um a NW (próximo de Santo Antão) e, outro, mais activo, a SW da Brava na região da monte submarina Cadamosto (Fig. 3.9).

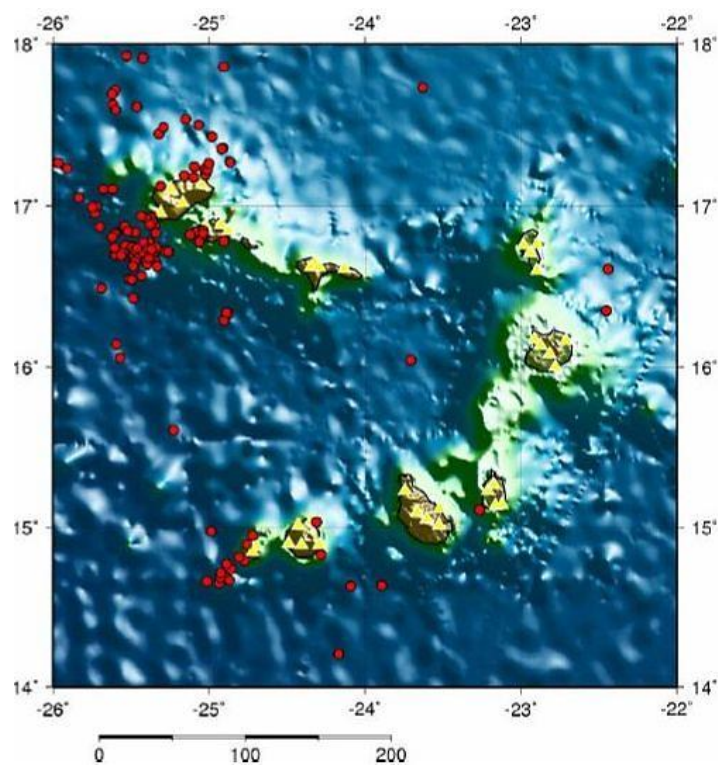


Figura 3. 9. Distribuição epicentral dos sismos registados durante a campanha CV-PLUMME (*in* Vales *et al.*, 2010a).

Segundo Vales *et al.* (2010a), os epicentros do conjunto de sismos ocorridos na zona Fogo-Brava marcam o alinhamento dos ilhéus Secos, ilha Brava, vulcão submarino Cadamosto (Fig. 3.10).

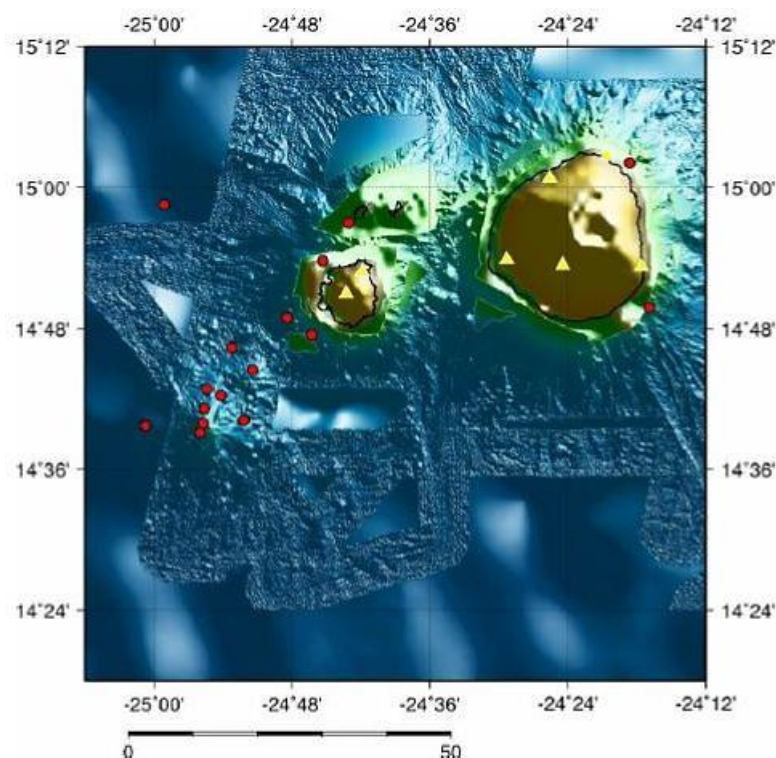


Figura 3. 10. Detalhe da distribuição epicentral (zona sudoeste, ilhas Brava e Fogo) dos sismos registados durante a campanha CV-PLUME (*in Vales et al.*, 2010a).

3.3.1.7. Projecto MIAVITA, de Junho de 2009 a Novembro de 2012

O projecto MIA-VITA teve por objectivo o desenvolvimento ferramentas integradas para atenuar os riscos de uma atividade vulcânica, através de identificação da vulnerabilidade, avaliação, prevenção e gestão de crises (<http://miavita.brgm.fr/pressroom/Pages/monitoringseismicnetworkfogovolcano.aspx>). O vulcão do Fogo foi um dos vulcões escolhidos para fazer parte deste projecto. Este projecto teve como parceiro o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) de Cabo Verde.

Em Abril de 2011 foi concluída a instalação de uma rede sísmica composta por oito estações sismométricas, duas na ilha Brava e seis no Fogo, e duas estações inclinométricas. A parte instrumental da vigilância sísmica nas duas ilhas teve por finalidade a monitorização do vulcão para detectar eventuais erupções no Fogo, e continuar os estudos sobre a frequente atividade sísmica sentida na ilha da Brava (Fig. 3.11) (<http://miavita.brgm.fr/pressroom/Pages/monitoringseismicnetworkfogovolcano.aspx>).

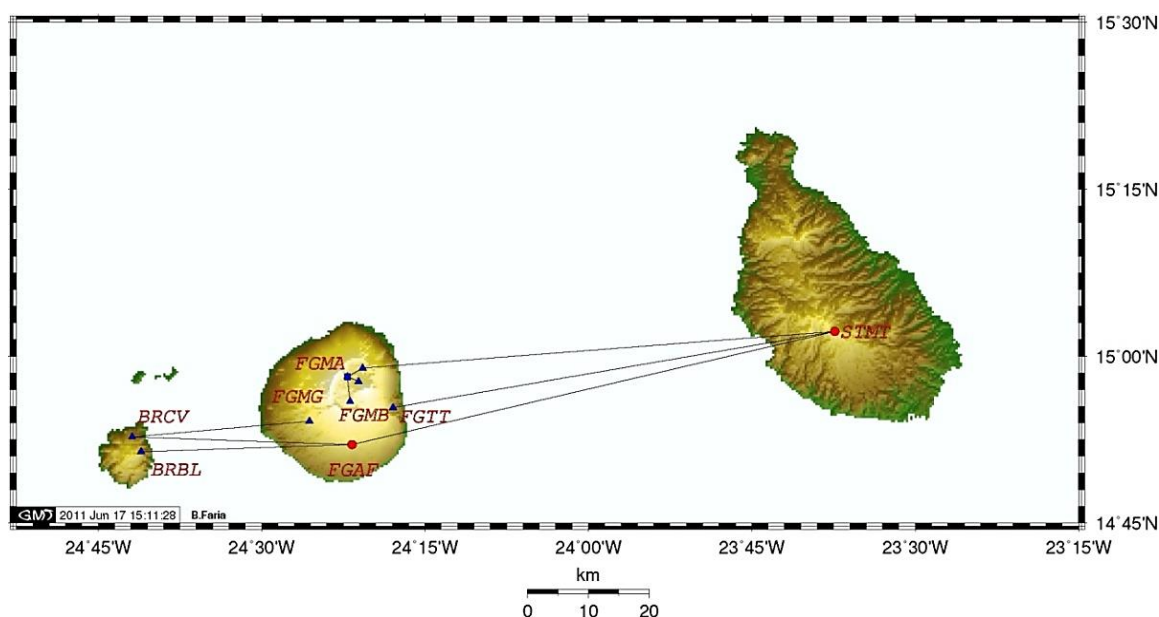


Figura 3. 11. Mapa da rede de monitorização sísmica do vulcão do Fogo, indicando igualmente a rede de telemetria entre Brava, Fogo e Santiago (<http://miavita.brgm.fr/pressroom/Pages/monitoringseismicnetworkfogovolcano.aspx>).

Esta rede registou a 11 de Agosto de 2011 um sismo sentido na ilha Brava, na cidade de Nova Sintra, por volta das 2:00. O sismo durou cerca de um minuto. O sismo teve 4,2 de magnitude na escala de Richter e localizou-se a NE da ilha a uma profundidade de 3.8 km, segundo o Departamento de Geofísica do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde (INMG) (<http://www.snpc.cv/images/stories/proc002.pdf>).

Esta rede terá registado entre 6 e 12 de Março de 2012 vários sismos na ilha do Fogo. Os sismos foram de magnitude baixa e alguns foram sentidos em São Filipe, a principal cidade da ilha. O mais energético ocorreu no dia 6 de Março e atingiu a magnitude de 3.2 na Escala de Richter.

3.3.1.8. Projecto MAKAVOL, de Maio de 2008 a Novembro de 2012

De Maio de 2008 a 2012 foi implementado o projecto MAKAVOL, integrado na criação do Observatório Vulcanológico de Cabo Verde (OVCV), com o objetivo de O projecto MAKAVOL teve como objectivo principal contribuir para a redução do risco vulcânico na Macaronésia. A criação deste observatório foi acordada através de um protocolo de parceria assinado em Novembro 2008 entre a Universidade de Cabo Verde (UniCV), o Instituto Tecnológico e de Energias Renováveis (ITER), das Canárias, o Serviço Nacional de Proteção Civil (SNPC) e o Laboratório de Engenharia Civil de Cabo Verde (LEC).

Neste âmbito foram realizadas algumas atividades entre as quais: (1) instalação de estações sísmicas e antenas de GPS na ilha do Fogo; e 2) realização de várias campanhas de campo na área da geoquímica nas ilhas do Fogo, Brava e Santo Antão, para a medição de emissão de CO₂.

Para o presente trabalho não se teve acesso aos dados quer relacionados à instalação da rede quer relativos aos possíveis resultados.

3.3.1.9. Rede Geofísica de Cabo Verde, desde 2011

O Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) implantou recentemente uma rede sísmica e geodésica para a avaliação e mitigação dos perigos vulcânicos, com especial ênfase para a monitorização da ocorrência de sismos em tempo real nas ilhas do Fogo, Brava e Santo Antão (Faria & Fonseca, 2014). A rede é composta por 15 estações sísmicas distribuídas sobre as ilhas de Santo Antão, S. Vicente, Sal, Fogo e Brava. Esta rede pode ser dividida em sub-redes de Fogo-Brava e Santo Antão. As estações adicionais em São Vicente e Sal ajudam a restringir a localização de sismos mais distantes, oferecendo monitorização limitada de eventos locais. Todas as estações estão equipadas com três sismógrafos analógicos com componente banda larga.

Tendo em conta a área de estudo do presente trabalho, analisa-se a sub-rede Fogo-Brava e os dados referentes à Ilha Brava. Esta sub-rede, implantada em abril de 2011, é constituída por sete estações sísmicas instaladas na ilha do Fogo e duas na Ilha Brava (Fig. 3.12).

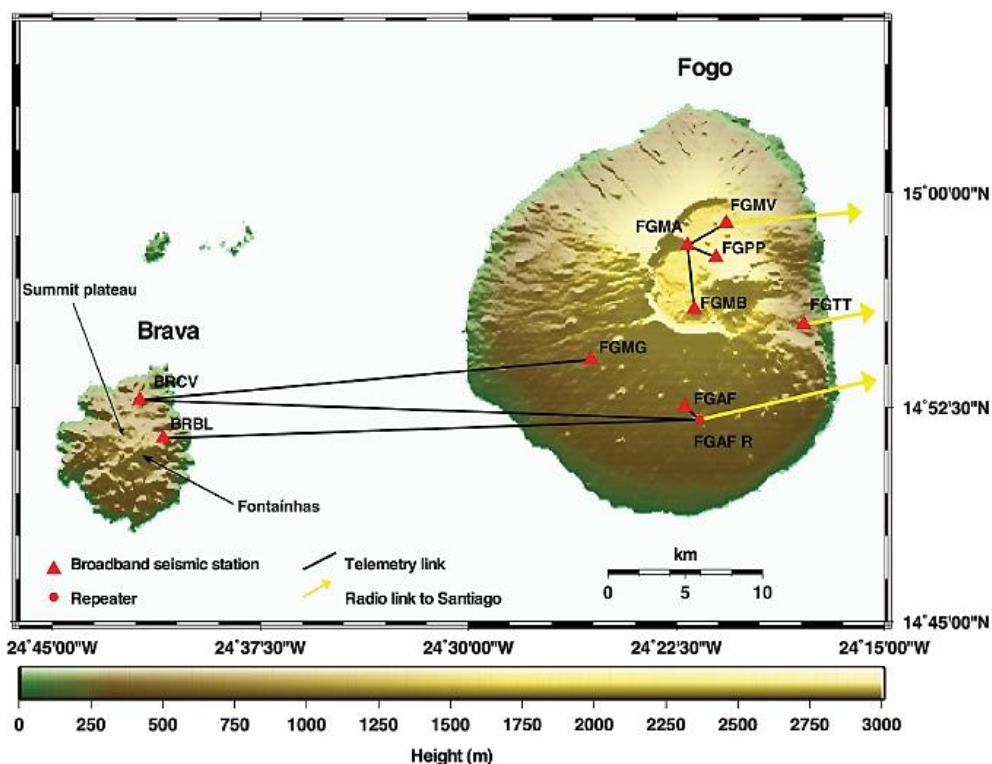


Figura 3. 12. Localização geográfica das estações sísmicas da sub-rede Fogo e Brava (in Faria & Fonseca, 2014).

As localizações das estações sísmicas na Brava foram escolhidas tendo em conta os resultados anteriores da sismicidade de redes temporárias (Heleno, 2003; Helffrich *et al.*, 2006 in Faria e Fonseca, 2014; Faria, 2010; Grevemeyer *et al.*, 2009.), da geologia local e da exigência de linha de visão para os repetidores de rádio instalados na sub-rede Fogo (Fonseca *et al.*, 2013).

Os primeiros resultados obtidos nesta sub-rede indicaram que a atividade sísmica registada na Brava é dominada por eventos vulcanotectónicos, sendo a taxa sísmica média de um evento por dia, mas, com uma grande variação que reflete a ocorrência de enxames sísmicos (Faria e Fonseca, 2014). Estes enxames consistem geralmente de pelo menos três a quatro eventos registados num período de tempo inferior a uma hora sendo que um desses enxames (março de 2012) atingiu um pico de mais de 40 eventos ocorridos num único dia. Os eventos vulcanotectónicos têm uma magnitude local entre 0,7 e 3,2, e a maioria tem epicentro no mar (Fig. 3.13).

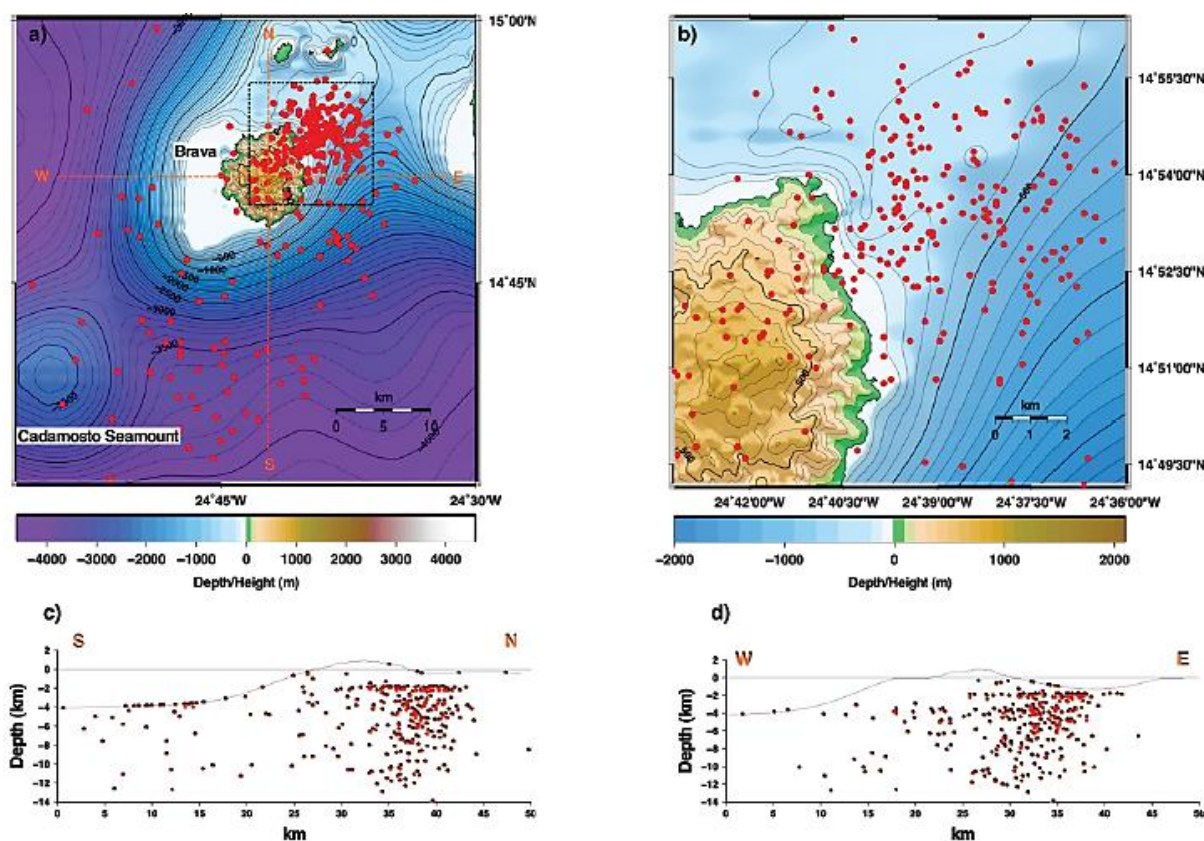


Figura 3. 13. Aspecto geral (a) e detalhe (b) da distribuição epicentral dos sismos registados na ou perto da Brava entre Setembro de 2011 e Maio de 2013. Projecção dos hipocentros num corte de direcção S-N (c); e num corte de direcção W-E (d) (Faria e Fonseca, 2014).

A forte concentração de epicentros observada a NE da ilha regista-se numa área onde Masson *et al.* (2008) e Grevemeyer *et al.* (2010) relataram a existência de cones vulcânicos submarinos. O segundo conjunto de epicentros, mais dispersa, pode ser visto a SE da ilha, onde Hansteen *et al.* (2013 in Faria e Fonseca, 2014) amostraram produtos vulcânicos frescos e sugeriram a ocorrência de erupção submarina recente.

Em março de 2012 foram localizados enxames sísmicos numa área a nordeste da ilha tendo coincidido com a ocorrência de episódios de tremor harmónico (Faria e Fonseca, 2014). O início de um enxame (cerca de 08:00 no dia 8 de março) foi marcado por um episódio de tremor harmónico de baixa frequência (3Hz), que durou cerca de 15 minutos. Este episódio foi registado na estação localizada mais a oeste do Fogo (FGMG) e na estação localizada na zona mais setentrional da Brava (BRCV), com maior amplitude, sendo assim aceitável que a fonte deste tremor também se situe próximo ou na zona dos epicentros localizados a NE da ilha (Faria e Fonseca, 2014).

3.4. DISCUSSÃO

A ilha Brava é uma região activa em termos sísmicos sendo a ilha com maior quantidade de registos no arquipélago de Cabo Verde. Os sismos registados apresentavam intensidades com graus entre V e VII (EMM) enquanto que a magnitude variava entre os 0,4 e os 4,2.

As informações recolhidas levam a concluir que as zonas mais activas em termos sísmicos nas proximidades da ilha Brava correspondem aos ilhéus, à área a sudoeste da ilha perto do vulcão submarino do Cadamosto e por fim à região a noroeste da ilha, que é a mais activa de todas de acordo com os dados obtidos nos vários estudos.

Alguns destes sismos apesar de terem sido sentidos não causaram grandes destruições cingindo-se em alguns casos a pequenos danos em edifícios e desmoronamento de rocha em algumas localidades.

Perante este panorama torna-se necessária a realização de estudos de índole sísmica nesta ilha para a mitigação dos riscos associados. A ausência de redes de monitorização contínuas não ajudou a que fosse feita uma caracterização geral da sismicidade da ilha.

No âmbito deste trabalho, os dados recolhidos sobre a sismicidade quer histórica quer instrumental, permitiram a criação de uma base de dados para todos os sismos históricos ocorridos na ilha Brava. Esta base de dados é um instrumento dinâmico, susceptível de revisão e atualização sempre que o surgimento de novos dados o justifique, quer por integração de novos elementos documentais não acessíveis até à data quer devido à ocorrência de futuros eventos sísmicos de maior impacto

CAPÍTULO IV - AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

4.1. NOTA PRÉVIA

A Terra é um planeta dinâmico que se encontra em constante evolução e que contém características únicas e processos complexos. A atividade vulcânica é um desses processos condicionados pela dinâmica interna da Terra, cuja distribuição à superfície circunscreve um padrão de faixas ativas correspondentes às margens de placas tectónicas, para além de zona intraplaca. No entanto, esta disposição cobre uma enorme variedade de ambientes, desde o vulcanismo submarino de grande profundidade às erupções subglaciares ou vulcanismo subaéreo. Desta multiplicidade de estilos eruptivos resulta uma gama de produtos vulcânicos responsáveis pela enorme variedade de tipos de rochas que constituem os terrenos vulcânicos.

No presente trabalho adota-se a designação de perigo (*hazard*), proposta por Julião *et al.* (2009), referido como um processo ou acção natural, tecnológico ou misto suscetível de produzir perdas e danos identificados.

4.2. PERIGOS VULCÂNICOS

Neste contexto serão caracterizados os vários perigos vulcânicos com base no reconhecimento do registo eruptivo de vários vulcões, considerando-se que todos os tipos de produtos vulcânicos gerados no passado são passíveis de ocorrer novamente.

A atividade vulcânica em geral origina diversos perigos (diretos ou indiretos) quer seja pelos produtos emitidos durante a erupção quer seja pelos efeitos secundários durante e/ou após a erupção. Dentre os vários perigos geológicos existentes, os vulcânicos são aqueles que ocorrem com menor frequência. Se se tiver em conta que cerca de 10% da população mundial habita em áreas com vulcanismo activo, deduz-se que os efeitos de tal tipo de eventos podem ter um impacte significativo (Baxter, 2000). Apesar da média das perdas anuais resultantes de perigos vulcânicos ser relativamente baixa se considerada globalmente, os desastres vulcânicos podem ter um impacte humano e económico significativo num curto intervalo de tempo. A título de exemplo, foi registado, entre 1783 e 1997 cerca de 222.000 mortes relacionadas com eventos desta natureza (Tanguy *et al.*, 1998).

Um dos importantes aspectos a considerar na avaliação do perigo vulcânico prende-se com o reconhecimento de que uma mesma erupção pode caracterizar-se por apresentar vários estilos eruptivos (Gaspar, 1996). Muitos tipos de atividade vulcânica podem ameaçar a vida e os bens das populações que vivem tanto próximo como longe de um vulcão, sendo alguns perigos mais graves que outros, dependendo da dimensão e alcance do evento e da proximidade das comunidades ao vulcão. Verifica-se, de um modo geral, uma estreita relação entre a localização dos vulcões relativamente às placas tectónicas e o estilo eruptivo dos mesmos e, consequentemente, o tipo e o grau de perigo vulcânico que encerram (Malheiro, 2002).

O conhecimento dos perigos vulcânicos é um factor essencial para a avaliação do risco e a gestão de crises. Segundo Walker (1974) a abordagem ao perigo vulcânico, dirigida para a mitigação do risco, faz-se por duas vertentes distintas e complementares:

- a) Predição geral, que considera a análise da actividade do aparelho ou sistema vulcânico ao longo dos tempos, procurando determinar o tipo de vulcanismo que caracterizou a sua evolução, a magnitude dos eventos e a frequência eruptiva. Tal atitude é fundamental para a modelação das principais categorias de perigo e, por conseguinte, indispensável para a concepção de planos de emergência em termos de protecção civil (Peterson, 1996; Gaspar, 1996).
- b) Predição específica, ela encerra no essencial os trabalhos de monitorização nas áreas da geofísica, da geodesia e da geoquímica com o objectivo de se determinar a linha de actividade base dos vulcões e, consequentemente viabilizar a detecção de eventuais agentes precursores (McGuire *et al.*, 1995; Scarpa e Tilling, 1996).

Compreender os perigos associados aos vulcões é importante para reduzir as perdas associadas a futuras erupções, especialmente considerando que milhões de pessoas vivem perto de vulcões activos. Os vulcões exibem uma vasta gama de estilos eruptivos e consequentemente uma gama diversificada de perigos vulcânicos, cuja natureza deve ser claramente compreendida aquando do planeamento de medidas de segurança. Esses perigos têm diferentes características físicas, afetando diferentes áreas, e podem ocorrer com diferentes frequências, causando, em termos de impacto, o desalojamento de pessoas, a fome, a poluição da água, doenças, a rutura das infraestruturas sociais e económicos, etc.

Distinguem-se diversos tipos de perigos vulcânicos sendo divididos em dois grupos: (1) os perigos vulcânicos directos, que correspondem aos produtos da erupção, e (2) os perigos vulcânicos indirectos, que correspondem a fenómenos que podem ser desencadeados em consequência da erupção. Fazem parte do primeiro grupo: as escoadas lávicas, os piroclastos de queda, os piroclastos de trajetória balística, as escoadas piroclásticas, os *surges* e os gases vulcânicos. Consideram-se como perigos vulcânicos indirectos: os *tsunamis*, sismos, *lahars* e movimentos de vertente.

Na tabela 4.1 encontra-se discriminada a frequência com que os perigos vulcânicos directos ocorrem e até que distâncias podem provocar danos. A sua análise permite concluir que os piroclastos de queda são o perigo que pode causar estragos a maiores distâncias, embora se saiba serem as escoadas piroclásticas as que provocam um maior número de vítimas, mais de 59000 pessoas entre 1783 e 1997 (Tanguy *et al.*, 1998).

Tabela 4.1. Frequência e distâncias atingidas pelos diferentes perigos vulcânicos directos (adaptado de Blong, 1984).

Perigo vulcânico	Frequência (%)	Nível de perigo (1-10) após 1600	Nível de perigo (1-10) após 1900	Frequência de efeitos adversos/ danos/mortes num raio de (km)					
				< 10	10-30	30-100	100-500	500-1000	> 1000
Escoadas lávicas	24	<1	<1	F	C	MR	--	--	--
Projecteis de trajetória balística	60	<<1	<<1	C	--	--	--	--	--
Piroclastos de queda	60	4	1	MF	F	F	C	R	--
Escoadas piroclásticas	5	10	10	S	F	R	MR	--	--
<i>Lahars</i>	6	4+	1,5	F	F	R	MR	--	--
Gases vulcânicos	40	<<1	<<1	F	F	R	R	MR	MR

Legenda: O nível de perigo é baseado na frequência relativa de mortes ocorridas para cada um dos perigos. S – Sempre; MF – Muito frequente; F – Frequente; C – Comum; R – Raro; MR – Muito raro.

4.2.1. ESCOADAS LÁVICAS

As escoadas lávicas são extrusões de rocha fundida, com baixa viscosidade, expelidas à superfície da Terra como resultado de actividade vulcânica efusiva. O desenvolvimento de escoadas lávicas pode verificar-se em qualquer ponto das vertentes do vulcão central na sequência de erupções havaianas e/ou estrombolianas. Representam o principal perigo num vulcão basáltico, podendo também ser geradas nos vulcões do tipo andesítico e carbonatítico (Queiroz *et al.*, 2010). Segundo estes autores, as escoadas lávicas basálticas subaéreas são tradicionalmente classificadas como *pahoehoe* e *aa* de acordo com as suas

características morfológicas dominantes as quais são reflexo das diferenças significativas na estrutura global das escoadas e no seu modo de avanço, uma vez que os aspectos superficiais dependem das condições térmicas e dinâmicas que as caracterizam num dado momento. Também existem as escoadas lávicas traquíticas que representam extrusões de rocha fundida de natureza traquítica, com elevada viscosidade, de cuja efusão podem ser formadas diferentes morfologias como os domos e escoadas lávicas (s.s.). Importa salientar que a localização do foco eruptivo e as características da superfície topográfica são factores determinantes no que respeita à modelação das áreas passíveis de serem cobertas (Guest e Murray, 1979 *in* Queiroz, 1997; Walker, 1982).

A área que poderá ser afectada pela implantação das escoadas lávicas depende de inúmeros factores como a sua magnitude, viscosidade, taxa de efusão, condições do seu escoamento (Walker, 1973), bem como da topografia. Sendo um produto vulcânico cuja velocidade e progressão no terreno é condicionada pela topografia, a avaliação das áreas afectadas passa pela modelação do seu desenvolvimento espacial, com base na localização do seu foco eruptivo e na topografia da área envolvente (Wallenstein, 1999).

Tudo o que se encontre no caminho de uma escoada de lava em movimento será derrubado, rodeado ou sepultado pela lava, ou incendiado pela sua temperatura elevada. Quando a lava irrompe sob um glaciar ou corre sobre neve ou gelo, a água de fusão pode desencadear *lahars* que podem atingir grandes distâncias. Se a lava entrar num corpo de água ou se entrar água num tubo de lava, a vaporização violenta da água pode originar explosões que projetam fragmentos de lava sobre a área em redor.

4.2.2. PIROCLASTOS DE QUEDA

Segundo Queiroz *et al.* (2010) os piroclastos de queda resultam da fragmentação do magma durante erupções explosivas e são ejetados para o ar, juntamente com o gás vulcânico, formando colunas eruptivas que apresentam geralmente um desenvolvimento vertical provocado, primeiro, pelo impulso proporcionado pelo jato de gás vulcânico e seguidamente, após a descompressão e expansão dos gases quentes, por convecção resultante da diferença de densidades entre a nuvem vulcânica e o ar atmosférico. De facto a coluna eruptiva ascende até que a sua densidade seja igual à da atmosfera circundante, podendo atingir alturas variáveis, em função da taxa de extrusão, do teor em gases, da velocidade de ejeção do gás e da eficiência com que se processa a introdução

do ar frio atmosférico. No decorrer de erupções explosivas foram observadas colunas eruptivas que atingiram alturas até próximo dos 45 km, sendo a dimensão dos fragmentos transportados predominantemente inferior a 64 mm (lapilli ou cinzas).

Ao progredir na atmosfera a dispersão das nuvens eruptivas é condicionada pelo vento pelo que se pode estender por grandes áreas na direcção do vento. A chuva é outro factor atmosférico que pode influenciar a deposição das cinzas vulcânicas pois ao atravessar a nuvem eruptiva as gotas de água arrastam consigo as cinzas finas, precipitando-as. Progressivamente a nuvem deixa de ter capacidade de sustentação dos piroclastos. Quando tal acontece os estes caem, verificando-se uma diminuição da sua dimensão à medida que aumenta a distância ao centro eruptivo. A distância percorrida pelos piroclastos de queda é condicionada pela altura da coluna eruptiva, e pela direcção e velocidade do vento, podendo atingir locais a mais de 1000 km. Geralmente as partículas maiores que 1 mm depositam-se até 30 minutos após a sua ejeção enquanto as partículas menores que 0,1 mm podem permanecer na atmosfera até um ou dois anos após a erupção.

Os depósitos piroclásticos resultam da deposição por acção da gravidade do material constituinte das colunas eruptivas e caracterizam-se por cobrir uniformemente a topografia preexistente, apresentando localmente a mesma espessura de material. Por outro lado, quer a espessura quer a dimensão dos fragmentos constituintes de um depósito piroclástico de queda diminuem com a distância ao centro eruptivo.

Os depósitos de piroclastos de queda mais comuns, segundo Queiroz *et al.* (2010) são:

- a) depósitos de escórias, associados a erupções de natureza basáltica (s.l.), produzidos no decurso de actividade de baixa a moderada explosividade a partir de centros eruptivos pontuais ou fissurais. A dispersão dos produtos é neste caso relativamente reduzida.
- b) depósitos de pedra pomes, gerados a partir de erupções de elevada explosividade, de natureza traquítica (s.l.), frequentemente associados a vulcões centrais. Resultam de colunas eruptivas que atingem maiores alturas que no caso anterior pelo que a dispersão dos depósitos é maior. Paralelamente, a direcção e intensidade do vento condicionam o padrão de deposição resultante.
- c) depósitos de cinzas (geralmente pomíticas) resultantes de erupções extremamente explosivas ou erupções hidromagmáticas, (onde a água introduzida no sistema faz

aumentar o grau de fragmentação do magma) e são os que potencialmente apresentam maior dispersão.

No âmbito do perigo associado aos piroclastos de queda assume especial relevância a espessura atingida pelos depósitos, parâmetro fortemente condicionado pelas características da coluna eruptiva, pela morfologia do centro eruptivo e por factores de ordem externa como a direcção e intensidade do vento e a chuva (e.g. Blong, 1984; Wallenstein, 1999; Cas & Wright, 1987; Walker, 1971). Outros aspectos a considerar prendem-se com a densidade dos depósitos e o seu ângulo de atrito interno. Enquanto a densidade dos depósitos de queda secos não compactados pode variar entre 0,4 a 0,7 g/cm³, a densidade das cinzas húmidas pode ascender a 1,25 g/cm³ (Queiroz *et al.*, 2010).

4.2.3. PIROCLASTOS DE TRAJETÓRIA BALÍSTICA

Os piroclastos de trajectória balística são fragmentos produzidos no decurso de erupções explosivas e projectados a partir do centro eruptivo segundo trajectórias balísticas, com velocidades que podem variar entre dezenas e centenas de m/s. A área de influência deste tipo de produtos é relativamente reduzida. O alcance dos fragmentos de trajectória balística expelidos durante um fenómeno eruptivo depende, naturalmente, da velocidade de ejeção, da respectiva densidade e velocidade terminal de queda (e.g. Blong, 1984; Gaspar, 1996; Wallenstein, 1999). No caso de actividade havaiana ou estromboliana, estes piroclastos depositam-se próximo do centro emissor, não sendo comum encontrar bombas num raio superior a 10 km do centro emissor. Na verdade, caem preferencialmente num raio inferior a 5 km da fonte (e.g. Blong, 1984; Cole *et al.*, 1995). Contudo, há exceções durante eventos de maior explosividade, geralmente associados a vulcões centrais, estes produtos atingem distâncias mais alargadas embora geralmente nunca superiores a 10 km, como foi o caso do Krakatoa (Indonésia), em 1883, cujas bombas, com uma dimensão entre 20 e 30 cm, atingiram os 40 km de distância (Tiedmann, 1992).

É a energia de impacto que vai determinar a sua perigosidade, pois possuem geralmente uma velocidade terminal de queda elevada (Malheiro, 2002). Esta depende de parâmetros como a dimensão, a densidade e a forma dos fragmentos projectados (Araña e Ortiz, 1996). Dada a sua grande velocidade terminal de queda, o impacto destes clastos representa um perigo considerável, podendo ser responsável pela morte ou ferimento de pessoas e

animais, bem como por danos importantes em infraestruturas (Wallenstein, 1999). As temperaturas aquando do impacto são também importantes do ponto de vista de perigo. Estes clastos podem depositar-se ainda incandescentes ou já frios, com velocidades de impacto que variam entre os 300 e os 500 km/h. Relativamente ao perigo inerente a este tipo de material há a considerar a espessura que o depósito pode atingir, o tamanho das partículas e a temperatura aquando da queda.

4.2.4. ESCOADAS PIROCLÁSTICAS

O termo escoada piroclástica é uma designação abrangente que engloba uma diversidade de fluxos de gases, rochas e cinzas vulcânicas, variando entre os fluxos caracterizados por elevada concentração de partículas (escoadas piroclásticas s.s.) e fluxos caracterizados por baixas concentrações de partículas (*surges*) (Queiroz *et al.*, 2010).

As escoadas piroclásticas (s.s.) são nuvens de material piroclástico suspenso em gás a elevadas temperaturas, comportam-se como um fluxo denso e são controladas pela topografia e gravidade (Sparks, 1976). Estes fluxos piroclásticos são gerados no decurso de erupções explosivas pelo colapso total ou parcial de colunas eruptivas verticais, por explosões laterais do edifício vulcânico ou pelo colapso gravitacional de domos ou escoadas lávicas. Trata-se, pois, de um grupo abrangente que engloba um conjunto de produtos vulcânicos descritos como nuvens ardentes, avalanches ardentes, escoadas de cinzas, escoadas de pedra-pomes, ignimbritos, escoadas de blocos e cinzas, escoadas de escórias, etc. (Queiroz *et al.*, 2010).

Ainda, de acordo com estes autores, as escoadas piroclásticas (s.s.) são caracterizadas por uma elevada concentração de partículas sólidas (cinzas, *lapilli* e blocos) numa suspensão de gases vulcânicos a alta temperatura. Devido ao seu elevado conteúdo de partículas, estes fluxos são substancialmente mais densos que o ar circundante, precipitando-se como avalanches a grande velocidade pelos flancos do vulcão. Ao progredirem, os gases vulcânicos contidos nos piroclastos são libertados, criando uma nuvem em constante expansão que arrasta os fragmentos sólidos ou semissólidos. A elevada densidade das escoadas piroclásticas permite o transporte de partículas sólidas de grande dimensão, fazendo com que estes fluxos apresentem um elevado poder erosivo. A diluição destas escoadas por ingestão de ar ou o desacoplamento de nuvens menos densas pode levar ao desenvolvimento de fluxos do tipo *surge* (Queiroz *et al.*, 2010).

Com velocidades de progressão que podem ser superiores a 300 km/h (Crandell *et al.*, 1984), podendo atingir várias dezenas de quilômetros de distância da fonte em apenas alguns minutos. A sua propagação é condicionada pela topografia, seguindo o percurso de maior declive, sendo canalizadas pelos vales e rede de drenagem em redor do vulcão, embora possam ultrapassar obstáculos topográficos se o volume envolvido for suficiente. As escoadas piroclásticas podem durar desde poucos minutos a algumas horas, podendo repetir-se em intervalos irregulares durante as erupções e em casos extremos podem continuar intermitentemente por vários anos.

A temperatura de extrusão das escoadas piroclásticas pode ser superior a 500° C (suficiente para queimar e carbonizar madeira), podendo em alguns casos atingir 800-900° C. A alta temperatura do material em suspensão e natureza coerente das escoadas implica que parte do material se deposita quando ainda se encontra muito quente ou incandescente, podendo formar uma crosta sólida de cinzas soldadas, que permite manter elevadas temperaturas por meses ou anos (Queiroz *et al.*, 2010). Os depósitos das escoadas piroclásticas podem apresentar várias dezenas de metros de espessura, dependendo da temperatura de instalação podem ser soldados ou desagregados e dependendo dos processos de transporte e deposição podem ser maciços ou estratificados.

As escoadas piroclásticas têm sido o fenómeno vulcânico mais devastador, em termos de vidas humanas, no século XX, tendo apenas sido suplantados pelos *tsunamis* e por doenças e fome associadas a fenómenos vulcânicos, desde o ano de 1600 (Blong, 1984).

4.2.5. *SURGES*

Os *surges* são fluxos turbulentos de gases, rochas e cinzas vulcânicas caracterizados por uma baixa concentração de partículas (baixa percentagem em volume), menos densos que as escoadas piroclásticas. Atingem velocidades semelhantes, as temperaturas e distâncias alcançadas, regra geral, são significativamente menores do que as das escoadas piroclásticas, embora possuam maior facilidade de ultrapassar barreiras topográficas devido à sua baixa densidade. O transporte das partículas processa-se predominantemente por suspensão turbulenta e arraste, e a fluidização é irrelevante devido à baixa concentração de partículas e por isso este tipo de produto não tem a capacidade de transportar fragmentos de grande dimensão e conseqüentemente tem menor capacidade

erosiva do que as escoadas piroclásticas s.s. (Queiroz *et al.*, 2010). Relativamente ao grau de destruição, este é semelhante ao das escoadas piroclásticas (Blong, 1996; Gaspar, 1996).

Os *surges* podem ser gerados (1) no decurso de erupções explosivas hidromagmáticas, por colapso total ou parcial de colunas eruptivas verticais formando nuvens anelares (*base surges*) que se afastam radialmente do centro eruptivo, como o anel de gás e pó que se desenvolve na base do cogumelo das explosões atômicas (Wallenstein, 1999); (2) associadas a erupções magmáticas pela rápida descompressão de explosões laterais do edifício vulcânico; pelo colapso de um sector de um domo ou de uma frente de escoada lávica; pela diluição de escoadas piroclásticas por ingestão de ar na frente e lados da escoada; ou ainda pela passagem de uma escoada piroclástica a regime turbulento o que pode acontecer por exemplo, quando a escoada piroclástica flui sobre uma superfície muito irregular (Wallenstein, 1999; Queiroz *et al.*, 2010).

De acordo com Queiroz *et al.* (2010), tendo em conta a sua origem e características, os *surges* distinguem-se: (1) *Surges* húmidos – têm temperaturas inferiores a 100° C, o que possibilita a presença de água líquida pelo que estes *surges* são sistemas com componentes sólidos, líquidos e gasosos. São gerados no decurso e erupções hidromagmáticas ou pela interacção de uma escoada piroclástica com um corpo de água; e (2) *Surges* secos – têm temperaturas superiores a 100° C, (podem atingir temperaturas superiores a 400° C) nos quais a água presente está toda sob a forma de vapor. São gerados no decurso de erupções magmáticas ou erupções hidromagmáticas com razões água/magma muito baixas.

Os *base surges* têm frequentemente velocidades superiores a 100 km/h e um alcance máximo que geralmente não ultrapassa os 5 a 10 km (Queiroz *et al.*, 2010). Os depósitos dos *base surges* variam com a distância à fonte, uma vez que perdem velocidade e energia com a distância percorrida. Nos locais mais próximos os depósitos são constituídos por numerosos leitos de cinzas grosseiras e blocos, enquanto nas zonas mais distais os depósitos têm menor espessura e são constituídos de pequenas camadas paralelas de cinzas finas.

4.2.6. LAHARS

Os *lahars* (termo específico utilizado em Vulcanologia e cuja palavra com origem em avalanche em javanês, uma das línguas da Indonésia segundo Queiroz *et al.*, 2010) são constituídos por uma mistura de cinzas e água, estas escoadas de detritos ou de lama comportam, de facto, um elevado poder destruidor, desenvolvendo-se de acordo com a topografia preexistente a velocidades que podem ultrapassar os 100 km/h e atingindo distâncias por vezes superiores a 100 km (Blong, 1984). São desencadeados exclusivamente em regiões vulcânicas e envolvendo maioritariamente material vulcânico de uma erupção e uma grande quantidade de água. Os *lahars* podem gerar-se em função de um vasto conjunto de situações, independentemente de se relacionarem, ou não, directamente com uma erupção vulcânica (Macdonald, 1972). Preenchem, normalmente, vales ou canais, podendo frequentemente extravasar essas depressões.

Os *lahars* podem ser: (1) primários, se associados directamente com um evento eruptivo; ou (2) secundários, quando ocorrem após a erupção, podendo ser despoletados por precipitação intensa (*e.g.* Gaspar, 1996). Assim, as causas de uns e outros são diversas. McGuire (1998) elaborou uma lista de mecanismos que podem despoletar este tipo de perigo, baseado em MacDonald (1972).

Os *lahars* primários podem ser formados a partir da:

- ✓ Mobilização de materiais durante uma erupção, em crateras ou caldeiras com lagoas;
- ✓ Explosões que causam o movimento de antigos materiais que constituem a cratera para linhas de água que drenam o vulcão;
- ✓ Penetração de escoadas de lava brechificada em linhas de água;
- ✓ Progressão de escoadas piroclásticas em linhas de água;
- ✓ Brechificação de lava que flui sobre neve ou gelo.

Quanto aos *lahars* secundários, estes podem ser causados por:

- ✓ Libertação da água de um lago de cratera, devido à rotura de um dos flancos do vulcão;
- ✓ Rápida fusão de neve ou gelo existente nas vertentes do aparelho vulcânico;
- ✓ Mobilização, por chuvas torrenciais, do material solto das vertentes da montanha;

- ✓ Movimento de materiais saturados de água provocado por sismos;
- ✓ Mobilização de materiais devido a outros processos de instabilidade de vertentes.

4.2.7. GASES VULCÂNICOS

Os gases vulcânicos correspondem aos voláteis que originalmente se encontravam dissolvidos no magma e que foram progressivamente libertados como consequência da diminuição da sua solubilidade. Durante uma erupção vulcânica, os gases vulcânicos surgem dispersos a partir das condutas sob a forma de aerossóis ácidos, adsorvidos a piroclastos ou como sais (Thorarinsson, 1979 *in* Gaspar 1996), quer nas zonas proximais, quer em zonas distais dos focos eruptivos. Adicionalmente, e em zonas mais afastadas da erupção pode ocorrer a formação de chuvas ácidas. Os gases emitidos durante uma erupção vulcânica variam consoante o tipo (efusiva vs. explosiva) e local da erupção e podem variar, inclusivamente, de composição e/ou concentração no decorrer de um mesmo fenómeno eruptivo.

Segundo Queiroz *et al.* (2010), o vapor de água (H_2O) é o gás vulcânico mais comum e a sua origem pode ser magmática ou resultante da infiltração de água meteórica. Para além das elevadas temperaturas, as fumarolas vulcânicas e as colunas eruptivas têm associadas grandes quantidades de gases vulcânicos, estando normalmente presentes os designados gases ácidos, destacando-se o dióxido de enxofre (SO_2), o cloreto de hidrogénio (HCl) e o fluoreto de hidrogénio (HF). Outros gases que estão presentes durante os fenómenos eruptivos são o dióxido de carbono (CO_2), o sulfureto de hidrogénio (H_2S), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de azoto (NO_2), o dissulfeto de carbono (CS_2), o metano (CH_4) e a amónia (NH_3).

A desgaseificação de vulcões activos é conhecida há muito tempo, graças a um conjunto variado de manifestações relativamente evidentes. Os gases vulcânicos, na sua maioria, são libertados a elevadas temperaturas através das crateras de vulcões activos. As plumas eruptivas, lagos ácidos, bolhas ao nível dos lagos de lava, fumarolas (s.l.) e nascentes termais, são um conjunto de manifestações relativamente evidentes da desgaseificação de vulcões activos. As fumarolas (s.l.) e as nascentes termais permanecem durante os períodos não eruptivos.

A desgaseificação ocorre de duas formas, através da:

A. Desgaseificação focalizada

A desgaseificação focalizada caracteriza-se por emissões gasosas que ocorrem de forma concentrada em áreas bem definidas (Viveiros, 2003). Constituem exemplos desta forma de desgaseificação as emanações observadas nas crateras de vulcões activos, que evidenciam a presença de magma a maior profundidade e se revestem de particular interesse para a compreensão da sua evolução. Associados a estas emanações estão, normalmente, gases de natureza ácida como o SO₂, o HCl e o HF (Allard, 1996; Stix e Gaonac`H, 2000 *in* Viveiros, 2003). As fumarolas correspondem, também, a zonas de desgaseificação focalizada e podem ser de elevada ou baixa temperatura, encontrando-se estas últimas, regra geral, relacionadas com a presença de um sistema hidrotermal (Viveiros, 2003). Segundo Ferreira (2000), o termo fumarola abrange actualmente qualquer foco de emissão natural de vapor de água e gases associado a sistemas hidrotermais.

B. Desgaseificação difusa

As emissões gasosas que constituem a desgaseificação difusa caracterizam-se por ocorrerem de forma contínua e impercetível através da superfície dos aparelhos vulcânicos. As zonas de ocorrência dos fenómenos de desgaseificação difusa encontram-se normalmente associadas a zonas de fratura, uma vez que estas constituem locais mais permeáveis permitindo a ascensão do gás (e.g. Baubron *et al.*, 1991; Toutain *et al.*, 1992 *in* Viveiros, 2003; King, 1993 *in* Viveiros, 2003; Allard, 1996; 2003; Delmelle e Stix, 2000 *in* Viveiros, 2003; Stix e Gaonac`H, 2000 *in* Viveiros, 2003). Os gases podem percolar através dos solos ou encontrar-se dissolvidos em águas de nascentes termais e de águas frias gaseificadas. Normalmente este tipo de desgaseificação está associado a baixas temperaturas e os gases presentes são considerados não ácidos, destacando-se como componente dominante o CO₂, acompanhado do He e do isótopo ²²²Rn (Baubron *et al.*, 1991; Williams-Jones *et al.*, 2000). De acordo com Ferreira (2000), os factores meteorológicos tais como a chuva, a pressão atmosférica e a humidade podem influenciar significativamente a quantidade de desgaseificação difusa pelo que devem ser tidos em linha de conta antes de qualquer variação ser correlacionada com fenómenos de origem sísmica ou vulcânica.

4.3. DEPÓSITOS VULCÂNICOS DA BRAVA

No presente trabalho para a caracterização dos perigos vulcânicos, teve-se em conta os produtos e as erupções que estão na origem dos perigos associados aos diversos estilos eruptivos na ilha Brava, atendendo às especificidades dos mecanismos eruptivos envolvidos e aos depósitos resultantes. A seguir aos quais tentou-se interpretar os depósitos e fez-se a divisão em grupos litológicos.

4.3.1. METODOLOGIA

Na prática tratou-se de recolher todo um conjunto de dados necessários para a identificação dos processos vulcânicos relacionados com a génese, transporte e deposição dos produtos gerados durante a história eruptiva recente da ilha Brava. Com o objectivo de definir e caracterizar os diferentes tipos de perigos vulcânicos, foram realizados trabalhos de campo, onde se fez (1) observação dos depósitos com consequente descrição detalhada (escrita e fotográfica); (2) elaboração de cortes geológicos; e (3) recolha de amostras para a determinação e análise da granulometria. (anexo IV).

4.3.1.1. CORTES GEOLÓGICOS

Para caracterizar a variedade de depósitos vulcânicos na Brava foram feitos diferentes cortes geológicos dos quais se seleccionaram 12 cortes geológicos, considerados suficientes para o que se pretendia com este estudo. A seleção dos 12 pontos deveu-se ao facto de na ilha Brava não ser fácil a realização de muitos cortes pois a espessura dos depósitos é muito grande, o que dificulta a sua representação num corte, para além disso na maioria dos casos os depósitos encontram-se em locais inacessíveis. As coordenadas dos cortes seleccionados em UTM (Fuso 26 e 27 nas Zonas P e Q) são indicadas na tabela 4.2.

Tabela 4.2. Coordenadas dos cortes geológicos realizados na Brava.

Corte geológico	M	P
Corte 1	0747535	1641185
Corte 2	0747473	1641160
Corte 3	0746439	1641275
Corte 4	0746324	1641249
Corte 5	0745776	1641672
Corte 6	0745800	1641712
Corte 7	0745770	1641738
Corte 8	0745858	1641865
Corte 9	0745734	1642257
Corte 10	0745694	1642750

4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

Corte 11	0744722	1643163
Corte 12	0745997	1642165

Para cada corte geológico foi feita a descrição de todos os elementos que se julgaram necessários para a identificação do(s) depósito(s) observado(s) seguindo-se a nomenclatura de Wright *et al.* (1980) e Schmid (1981).

Neste contexto, registaram-se: a espessura total do depósito e dos níveis que o compõem (Fig. 4.1), a cor, a granulometria, a quantidade relativa e o tipo de líticos, a forma dos piroclastos, o estado de preservação dos piroclastos, a forma e a dimensão das vesículas, a eventual presença de *lapilli* de acreção e as características dos solos quando aplicável. Para os depósitos pomíticos tentou-se sempre que possível medir os três maiores clastos de pedra-pomes e de líticos.



Figura 4.1. Medição da espessura dos níveis que compõem um depósito de queda no interior da caldeira Campo Baixo (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

Cada corte geológico foi redesenhado em papel vegetal e posteriormente digitalizado. Tentou-se utilizar em todos os perfis a mesma escala vertical de 1/10, embora nem sempre tenha sido possível manter tal critério, face à dimensão que alguns cortes atingiam.

4.3.1.2. RECOLHA DE AMOSTRAS

Para a recolha de amostras nos depósitos de materiais piroclásticos, quer de fluxo quer de queda, observados e considerados pertinentes para cada nível amostrado, no topo e na base, procedeu-se à limpeza dos mesmos, de modo a eliminar os materiais alterados ou materiais que podem ter sido deslocados de outros níveis. Depois fez-se a recolha da amostra com a ajuda de uma pá até se atingir a quantidade desejável. A amostra foi colocada num saco de plástico, fechado posteriormente e devidamente etiquetado (número da amostra, nome do local, data). Para o caso das amostras de materiais soldados procedeu-se à recolha da amostra utilizando o martelo de geólogo para partir a rocha.

Em cada local recolheu-se, sempre que possível, material dos diversos leitos que formam o depósito. A quantidade de material amostrado é variável, dependendo se se trata de níveis de cinzas ou de níveis de *lapilli*, bem como da sua expressão. As amostras foram recolhidas em vários níveis onde os depósitos se apresentavam intactos e em quantidades consideradas representativas, de acordo com a sua granulometria.

Foram também recolhidas algumas amostras de solos que encontrou-se em alguns depósitos observados. No entanto, não estava prevista a sua datação no âmbito este trabalho pelo que foram referenciados de modo a ajudar futuros trabalhos.

4.3.1.3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para proceder à determinação dos parâmetros físicos e granulométricos de alguns depósitos foram realizadas 5 amostragens (tabela 4.3).

Tabela 4.3. Correlação entre as amostras e os cortes.

Amostra	Corte
BRS-8	Corte 9*
BRS-9	
BRS-10	
BRS-14	Corte 11
BRS-18	---**

*Amostras colhidas no mesmo depósito mas em níveis diferentes. ** Retirado de um corte que não foi utilizado na descrição dos cortes.

O tratamento analítico foi posteriormente realizado no laboratório. Cada amostra foi, então, integralmente pesada, com uma precisão de 0,1g, a fim de quantificar as perdas

4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

durante o processamento subsequente. A separação granulométrica foi efetuada por peneiragem a seco com um conjunto de 11 peneiros, com crivo entre os 64 e os 0,0032, sendo cada um metade do precedente, o que corresponde, na escala *phi* de Krunbein (1936, *in* Lindholm, 1987, *in* Pacheco, 2001), a um leque de granulometrias entre -6 a 4 ϕ (64 a <0,0032 mm). O material grosseiro, a porção da amostra >8mm, foi processado na totalidade, por peneiragem manual de modo a diminuir a abrasão entre os clastos e evitar a fracturação da pedra-pomes, tendo-se separado e pesado, para cada classe granulométrica, os clastos pomíticos e líticos, com uma precisão de 0,1g.

Para a separação do material mais fino (com diâmetro inferior a 8 mm) houve a necessidade de recorrer a um divisor de amostras, de modo a reduzir a quantidade de material a tratar e obter uma amostra significativa dos leitos em estudo (com um volume aproximado de 300 cm³), que foi peneirada em 3 lotes de 100 cm³. As frações apuradas em cada classe granulométrica foram pesadas com uma precisão de 0,001g

O material recolhido em cada peneiro foi posteriormente separado nos seus diversos componentes (pedra-pomes, líticos e cristais). A análise dos componentes das classes granulométricas entre 4 e 0,5mm foi realizada por caracterização dos grãos à lupa binocular, tendo-se analisado, para cada classe 800 grãos, classificando-os como pedra-pomes, lítico, cristal ou não separado (nos casos em que não foi possível classificar o grão numa das classes precedentes), tendo-se pesado cada conjunto de grãos com uma precisão de 0,0001g.

Os resultados assim obtidos foram recalculados para o total da amostra e expressos como a percentagem em peso de cada classe granulométrica e de cada tipo de constituinte dentro da classe granulométrica e para cada constituinte da amostra (Anexo IV).

A partir dos dados do tamanho dos grãos em bruto o procedimento usual foi a construção de curvas cumulativas da distribuição de tamanho de grão em relação à probabilidade aritmética e para determinar os parâmetros de Inman (1952 *in* Cas & Wright, 1988), o diâmetro médio (Md ϕ) e o desvio padrão gráfico (σ_ϕ), que constitui uma medida da assimetria da distribuição.

4.3.2. CORTES GEOLÓGICOS

Dos 12 cortes geológicos selecionados na Brava foi feita a descrição detalhada, apresentadas a localização e as características de cada nível tendo em conta os parâmetros mencionados no ponto 4.2.1.2. A localização dos vários cortes foi determinada por GPS e representada num mapa, a seguir indicado (Fig. 4.2).

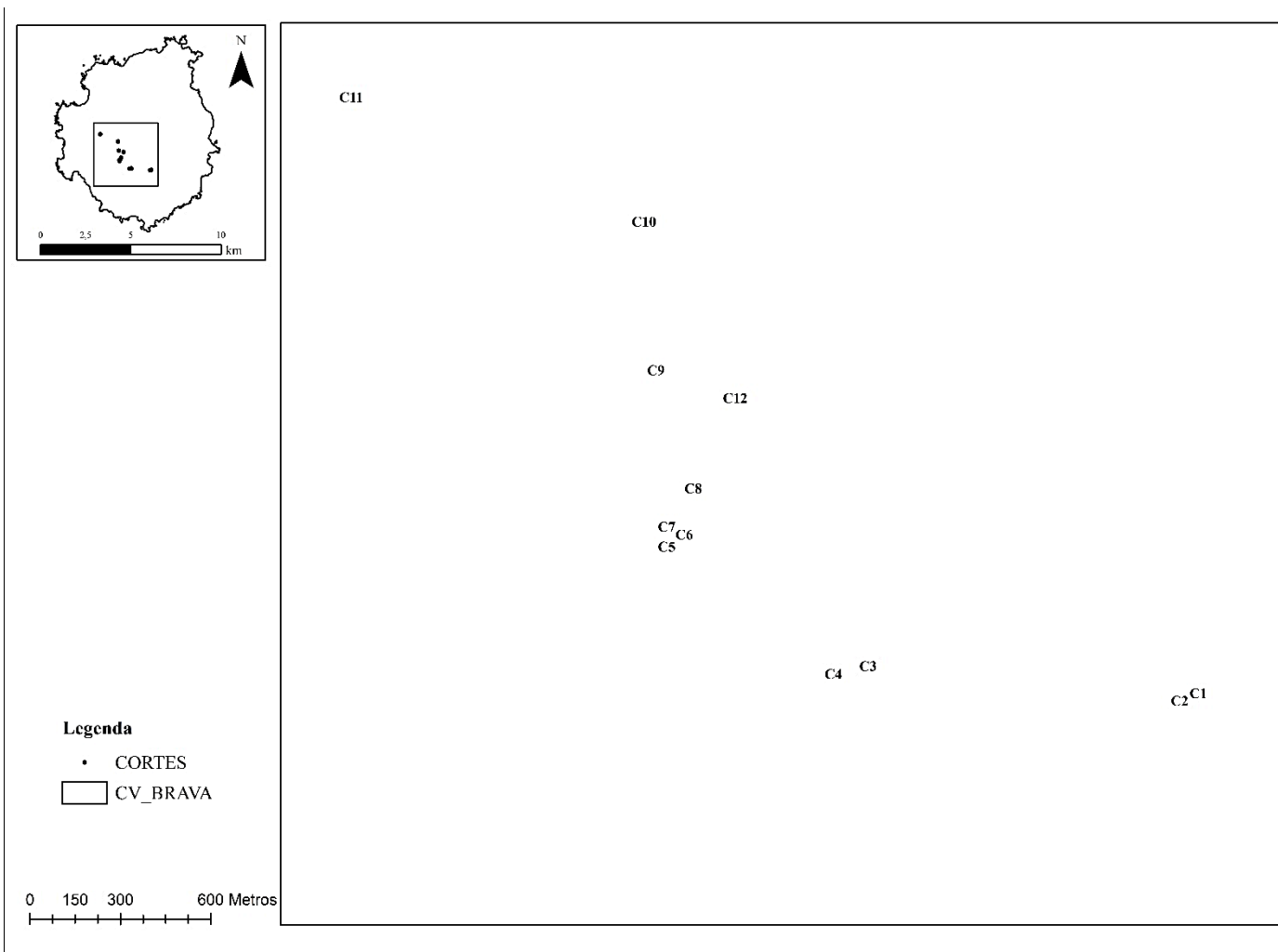


Figura 4.2. Localização dos cortes geológicos realizados na ilha Brava.

4.3.2.1. CORTE 1 – DEPÓSITO DE PEDRA-POMES E DE LAVA E PIROCLASTOS CARBONATÍTICOS

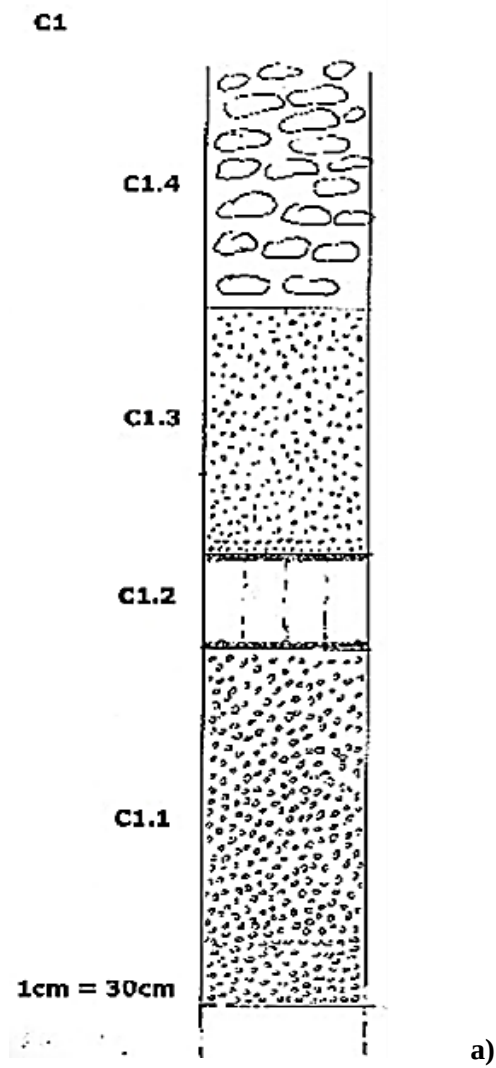
Trata-se de um afloramento de lava e piroclastos carbonatíticos a sobrepor uma camada de lapilli pomítico, observado na base do domo Cachaço (lado SE) junto à estrada para a localidade de Cachaço (Fig. 4.3).

Descrição: a base deste depósito é formada por um nível de pedra-pomes, os clastos são muito alterados, pouco vesiculares e finos, com cerca de 200cm de espessura (C1.1). Esta parece ser bem calibrada, sem estratificação e de cor cinzento claro. Os líticos maiores (ML) possuem dimensões (em cm) entre 1,8; 1,5 e 1,4, pedra-pomes (MP) maiores com dimensões (em cm) de 2,8; 2,5 e 3.

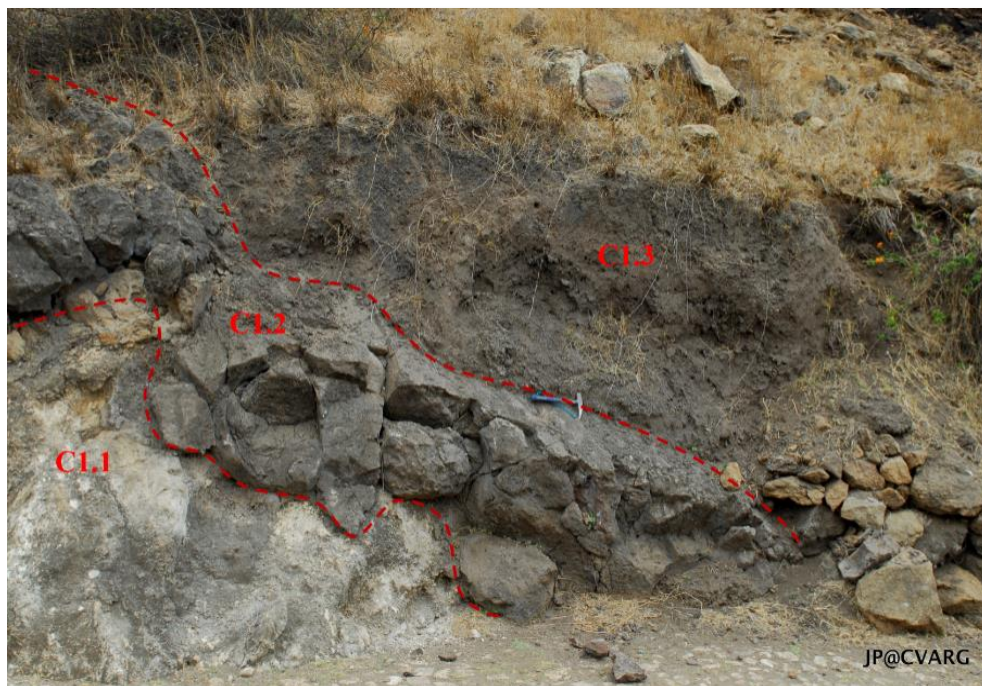
Por cima encontra-se material carbonatítico, que representa uma provável escoada lávica, de cor cinzento-escuro, com cerca de 70 cm de espessura (C1.2). A provável lava apresenta aspeto compacto. A lava parece estar a inclinar com um declive concordante com o da vertente do domo.

A seguir existe um nível de piroclastos carbonatíticos, de cor cinzento-escuro a negro, com cerca de 130cm de espessura (C1.3). Os piroclastos estão soldados e apresentam gradação normal.

O topo deste depósito é constituído por grandes blocos de fonólito que representam *crumble breccia* (C1.4). Apresentam cor cinzenta a castanho claro, sendo o seu aspeto alterado.



Legenda	
	Blocos pomíticos
	Lapilli pomítico
	Cinzas pomíticas
	Cinzas grosseiras / lapilli muito fino
	Piroclastos basálticos
	Escoada piroclástica
	Ignimbrito
	Ignimbrito empobrecido em finos
	Escoada de blocos e cinzas
	Surge
	Brecha
	Tufo
	Material remobilizado
	Escoada lávica
	Líticos
	Material juvenil denso
	Pedra pomes negra / obsidiana
	Lapilli de acreção
	Moldes de troncos de árvores
	Carvão
	Solo
	Superfície de erosão



b)

Figura 4.3. Aspecto geral do depósito do corte 1: a) Esquema do corte 1; b) Sequência de depósitos no corte 1 (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

4.3.2.2. CORTE 2 – DEPÓSITO POMÍTICO DE CINZAS E LAPILLI INTERCALADOS POR NÍVEIS DE SOLO

O depósito é constituído por cinzas e lapilli pomíticos intercalados por três níveis de cinzas com limites difusos, localizado na base do domo Cachaço (lado S) e entre os domos Cachaço e Monte Largo, com cerca de 350cm de espessura (Fig. 4.4).

Descrição: Observa-se da base para o topo: uma matriz de cinzas com pedra-pomes e líticos que estão mais concentrados no topo deste nível (C2.1). A pedra-pomes de cor clara, não é bem calibrada e apresenta gradação inversa.

Na base deste nível observa-se uma matriz de cinzas finas a lapilli com pedra-pomes e apresentam cor castanho-escuro. A espessura deste nível é de mais de 50cm pois a sua base não se encontra exposta por conter material remobilizado. Este nível encontra-se separado do nível a seguir por solo de cor castanho-escuro a negro, cuja matriz é formada essencialmente por cinzas e lapilli fino com pedra-pomes dispersa, na base do solo, que parece atravessar o nível. O solo possui uma espessura de 12cm.

Nível de cinzas finas castanhas com pouca pedra-pomes intercaladas, dispersas e finas (C2.2). Este nível possui uma espessura de 35cm e gradação normal. De realçar que a quantidade de pedra-pomes é superior à observada nos outros níveis. No topo deste nível

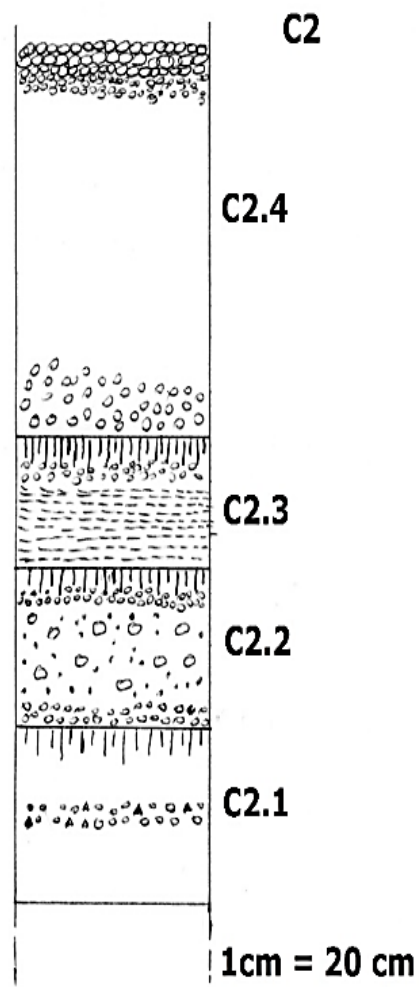
4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

existe solo com cerca de 8cm de espessura, com matriz de cinzas finas de cor negra com pedra-pomes na base.

Nível com matriz de cinzas e lapilli fino, castanho-escuro a preto, rico em cinzas muito finas e alguma pedra-pomes dispersas, de limites difusos e com 28cm de espessura (C2.3). A sua gradação é normal e observa-se pedra-pomes de maiores dimensões que se destacam do conjunto.

Existe um nível de solo com cinzas finas de cor castanha com pouca pedra-pomes dispersas, com gradação inversa, parecidas com as do nível de cima mas muito mais claro e com 13cm espessura.

O topo do depósito possui cinzas castanhas com pouca pedra-pomes dispersa e material remobilizado (C2.4). Apresenta gradação normal para a pedra-pomes e gradação inversa relativamente ao material remobilizado.



a)



b)

Figura 4.4. Aspecto do depósito do corte 2: a) Esboço do corte (ver legenda da figura 4.3.); b) Sequência de depósitos no corte 2 (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

4.3.2.3. CORTE 3 – DEPÓSITO DE PIROCLASTOS DE QUEDA INTERCALADOS COM FLUXOS PIROCLÁSTICOS

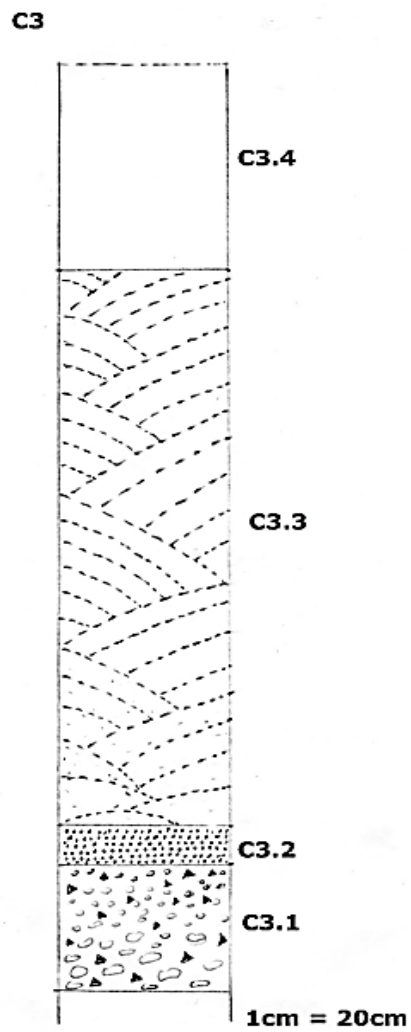
O depósito é constituído por cinzas e lapilli de intercalados com fluxos piroclásticos, localizado na base do domo Cachaço (vertente W) e próximo do Campo da Porca, com cerca de 600cm de espessura e mal calibrado (Fig. 4.5).

Descrição: A base deste depósito é formada por um nível com matriz de cinzas onde predomina a fracção grosseira, caótico, poligenéticos (C3.1). Apresenta gradação normal dos clastos grosseiros. No topo há um leito de pedra-pomes angulosa que parece ser de queda com líticos poligenéticos e grosseiros, apresenta fracturas de arrefecimento e com pouca matriz fina. A pedra-pomes possui cristais muito alterados. A espessura do nível é de 68cm.

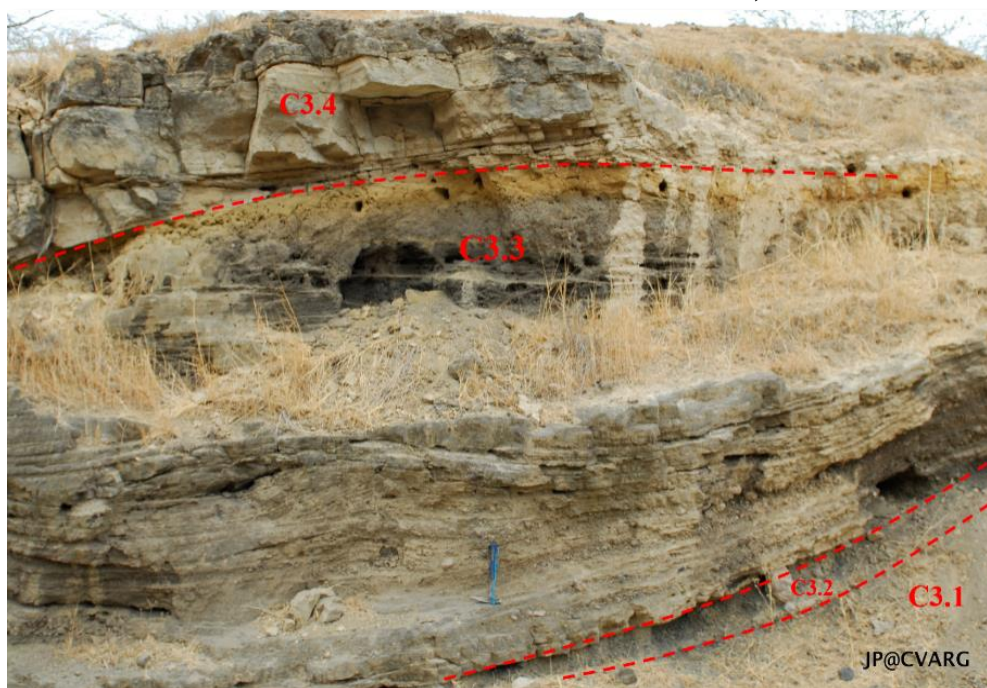
A seguir existe um nível descontínuo de areia fina e bem calibrada, de cor preta, muito rica em grãos brancos e com cerca de 20cm de espessura (C3.2).

Surges de cor escura, com estratificação entrecruzada evidente, com variação lateral de espessura e com leitos lenticulares (C3.3). Apresentam alternância de leitos de cinzas e leitos de lapilli (fino a grosseiro). Observam-se várias figuras de carga. Os clastos grosseiros apresentam gradação normal. Este nível tem cerca de 300cm de espessura. O topo deste nível é formado por cinzas basálticas finas, com 50cm de espessura.

No topo deste depósito existe um nível de cinzas ácidas finas, de cor clara, com líticos finos e dispersos, densamente consolidados ou soldados (C3.4). Apresenta vários leitos com estratificação paralela bem evidente, de diferentes espessuras, umas mais finas e outras mais espessas. Espessura entre 150 a 200cm.



a)



b)

Figura 4.5. Aspecto geral do depósito do corte 3: a) Esboço do corte (ver legenda da figura 4.3.); b) Sequência de depósitos no corte 3 (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

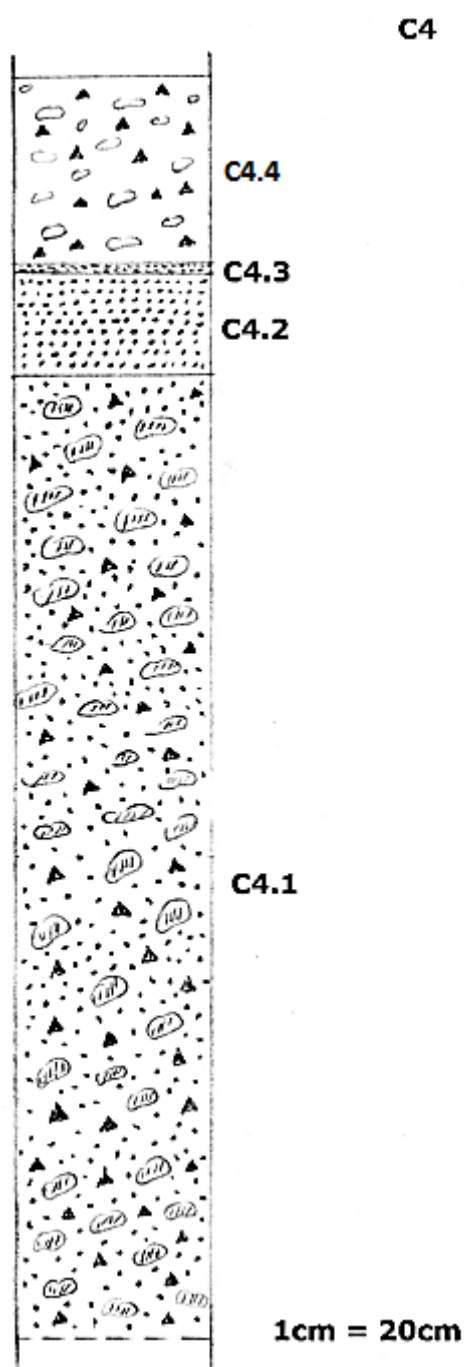
4.3.2.4. CORTE 4 – DEPÓSITO DE ESCOADA PIROCLÁSTICA CONSOLIDADA COM NÍVEIS POMÍTICOS DE CINZAS E LAPILLI

O depósito é constituído por escoada piroclástica soldada intercalada com níveis pomíticos de cinzas e lapilli, localizado na estrada nas proximidades de Campo da Porca e à frente do depósito apresentado no corte anterior, com cerca de 13,24m de espessura e mal calibrado (Fig. 4.6).

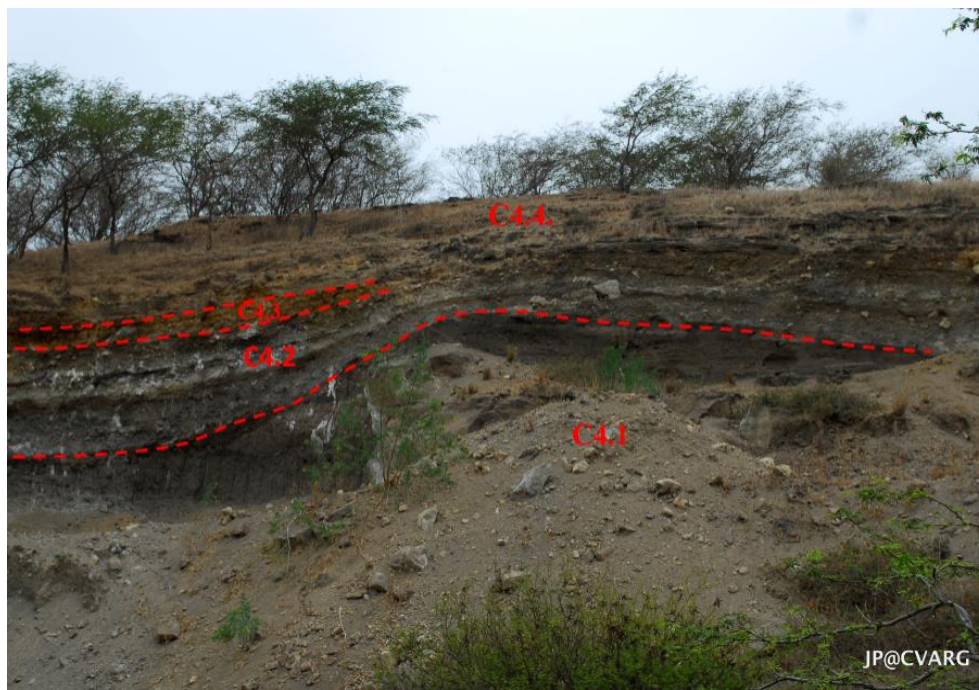
Descrição: a base deste depósito é constituída por uma escoada piroclástica consolidada (C4.1) com mais de 1000cm de espessura.

Nível de pedra-pomes grosseiro, não soldado, muito mal calibrado, rico em líticos que parecem sienitos (C4.2). Pedra-pomes parece suportada por clastos, com fraturas de arrefecimento e angulosos. Pedra-pomes pouco vesicular com alguns cristais máficos. Pedra-pomes (MP) (3; 8; 10) e Líticos (ML) (27; 32; 34); Espessura do nível – 110cm. Nível fino e estratificado formado por cinzas grosseiras e lapilli finos (C4.3). Vê-se alternância de leitos mais finos e menos finos, com espessuras inferiores a 1cm. Apresenta cor avermelhada e uma espessura de 14cm.

O limite superior é abrupto e passa para um novo leito de pedra-pomes fresca (C4.4). A pedra-pomes inferior é da dimensão de lapilli centimétrica (cerca de 1cm). Torna-se grosseiro para o topo, muito mal calibrado e muito rico em líticos grosseiros. Exemplares em crosta de pão, com fraturas de arrefecimento, angular, com pouca matriz de cinzas. Pedra-pomes muito vesicular, com cristais de feldspatos e poucos máficos. Dimensão dos clastos: pedra-pomes (MP) (12; 14; 14) e Líticos (ML) (20; 28; 35); Espessura do nível - 2m.



a)



b)

Figura 4.6. Aspecto geral do depósito do corte 4: a) Esboço do corte (ver legenda da figura 4.3.); b) Sequência de depósitos no corte 4 (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

4.3.2.5. CORTE 5 – DEPÓSITOS POMÍTICOS DE CINZAS E LAPILLI

Este depósito é constituído por níveis pomíticos de cinzas e lapilli, está localizado na estrada nas proximidades da Escarpa da Vigia, e possui cerca de 550cm de espessura (Fig. 4.7).

Descrição: a base deste depósito é constituída por um nível com matriz de cinzas e lapilli finos de cor amarelada com estratificação entrecruzada (C5.1). Não se consegue ver com exatidão a espessura deste nível devido à presença de muitos materiais remobilizados na sua base.

Nível de cinzas finas amarelas (C5.2) com cerca de mais de 80 cm, com limite abrupto passando gradualmente para um depósito que tem um topo mais grosseiro com alguns clastos (nível anterior).

Nível de *Pyroclastic Density Currents* (PDC) (C5.3) com uma grande variação lateral na espessura do nível, que varia entre os 25 e os 60cm.

Nível de pedra-pomes fino, muito rico em líticos e muito mal calibrado (C5.4). Não se vê a organização interna da pedra-pomes. Os líticos são heterogéneos. A base deste nível (os primeiros 5cm) é constituída por pedra-pomes com líticos grosseiros (ML = 2,8; 1,6; 1,4).

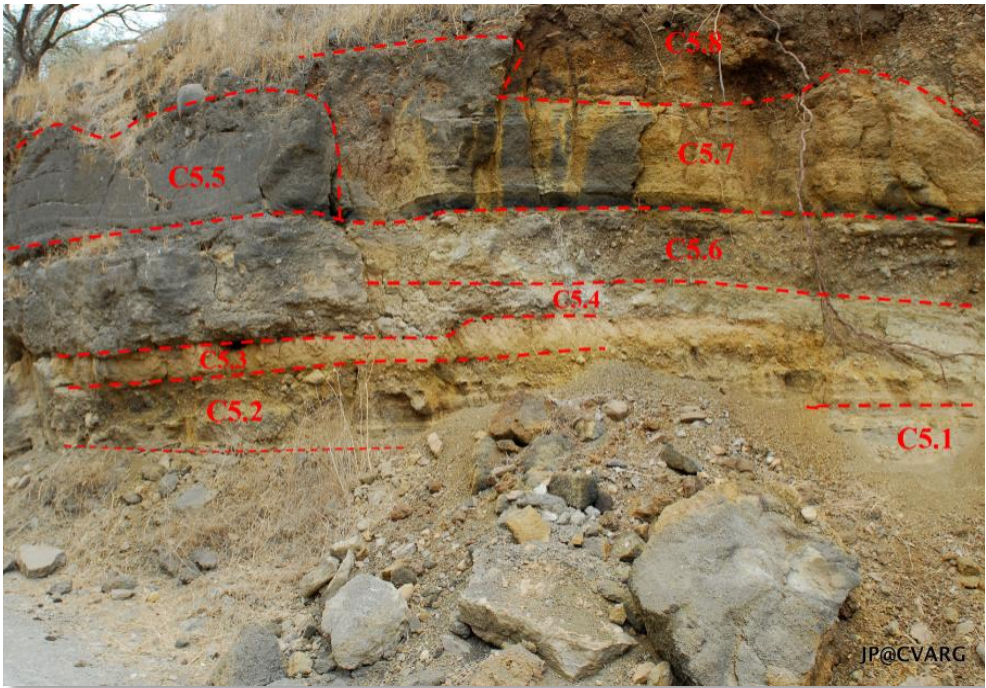
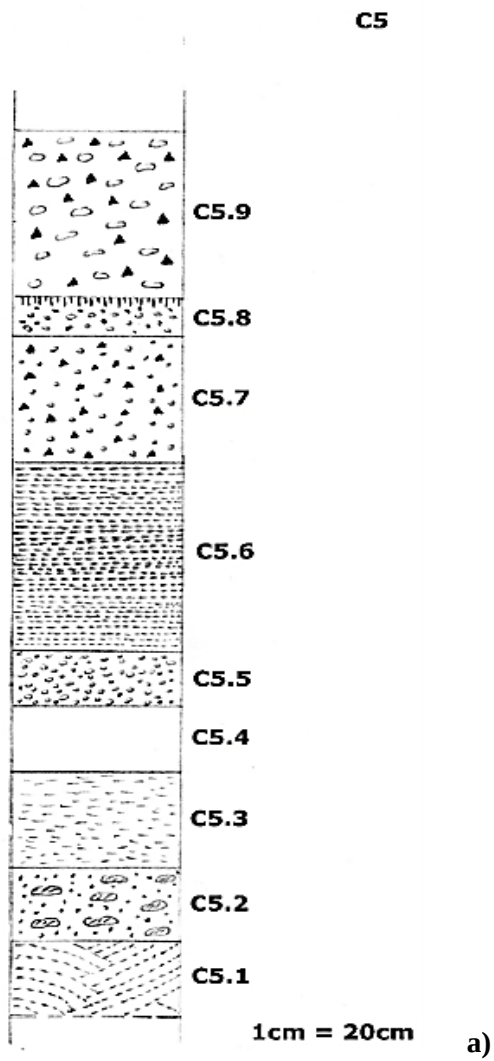
Pedra-pomes fina (menos de 1cm), com pouca cinza. A espessura total deste nível é de 54cm.

Nível piroclástico basáltico mais fino com dimensão de *lapilli* fino (dimensão típica abaixo de 1cm), soldado e com alguma estratificação (C5.6). A sua espessura é de 150cm. O limite deste nível é abrupto.

Nível de piroclastos basálticos, escórias (4; 2; 6; 10) com líticos muito grandes (50; 34; 26) e solo com 7cm de espessura, muito escuro, com limite superior abrupto e limite inferior difuso (C5.7).

Nível com uma matriz de pedra-pomes fina e cinzas sendo muito rica em líticos (de tamanhos variáveis) (C5.8). A sua espessura atinge os 37cm.

No topo deste depósito existe um nível pomítico com pedra-pomes angular, com fracturas de arrefecimento, pouco vesicular e com líticos (C5.9). Apresenta espessura superior a 70cm.



b)

Figura 4.7. Aspeto geral do depósito do corte 5: letras a) Esboço do corte (ver legenda da figura 43.); b) Sequência de depósitos no corte 5 (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

4.3.2.6. CORTE 6 – DEPÓSITO POMÍTICO COM NÍVEIS DE SOLO

Este depósito é constituído por níveis pomíticos de cinzas e lapilli intercalados por níveis de solo, está localizado na estrada a cerca de 200m do depósito apresentado no corte 5 e possui cerca de 490cm de espessura (Fig. 4.8).

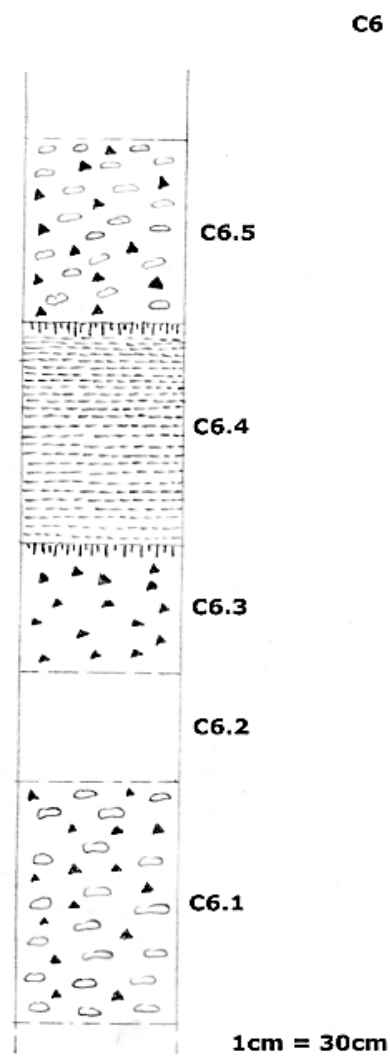
Descrição: A base deste depósito pomítico caótico é estratificado, rico em líticos poligenéticos, com dimensões variáveis (de finos a grosseiros), angulosos, com fraturas de arrefecimento, vesiculares (C6.1). Destacam-se alguns líticos de grandes dimensões. Clastos pomíticos com dimensões variáveis. Na base deste observam-se blocos que devem ter sido remobilizados. A espessura deste nível varia entre os 100 e 200cm.

Nível de cinzas finas e compactas (C6.2) com cerca de 50 cm de espessura. Níveis pomíticos com matriz de cinzas finas com líticos com dimensões variáveis.

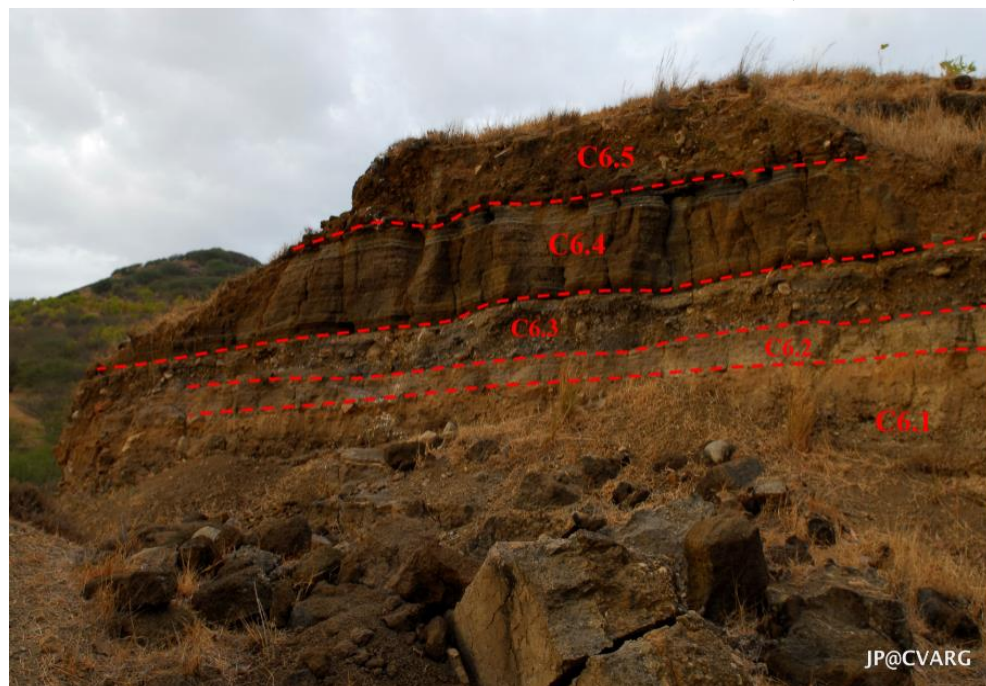
O nível C6.2 é separado do seguinte por um nível de solo fino (C6.3). Este nível apresenta cor acinzentada, caótico, com pedra-pomes vesicular e angulosa, muito rico em líticos poligenéticos, com dimensões variáveis, e com espessura de cerca de 80cm.

Nível cinzas pomíticas muito finas e estratificadas, mais denso, cor acastanhada que possui no topo um nível de solo (C6.4), com uma espessura de cerca de 200cm.

O topo deste depósito formado por um nível pomítico com matriz de cinzas, caótico, com muitos líticos de dimensões variáveis (C6.5). A espessura deste nível é de cerca de 150cm.



a)



b)

Figura 4.8. Aspecto geral do depósito do corte 6: a) Esquema do corte 6 (ver legenda da figura 43.); b) Sequência de depósitos no corte 6 (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

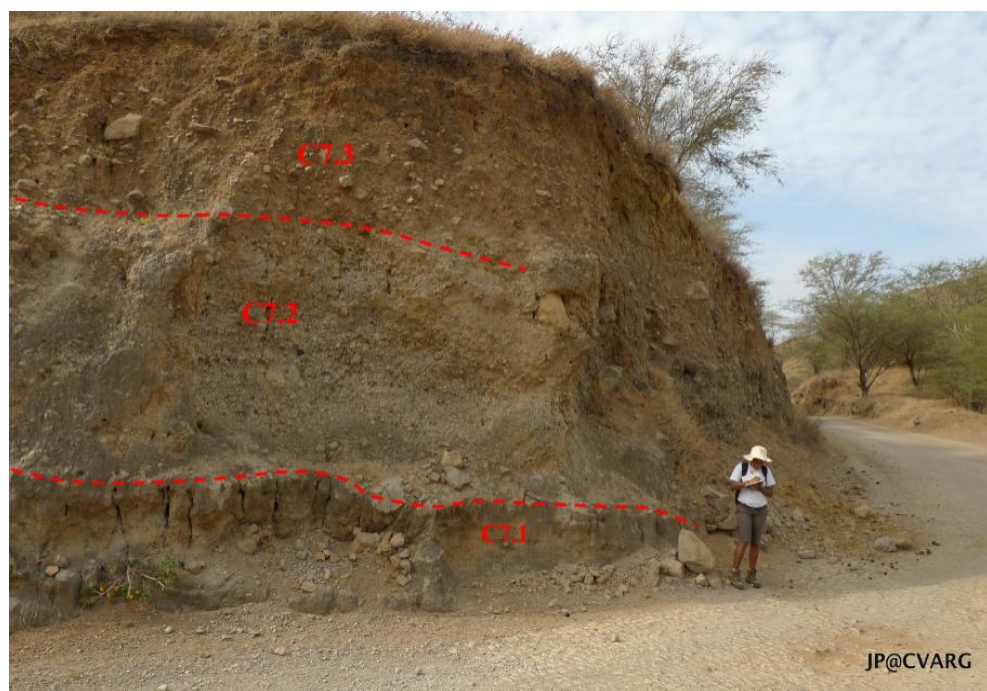
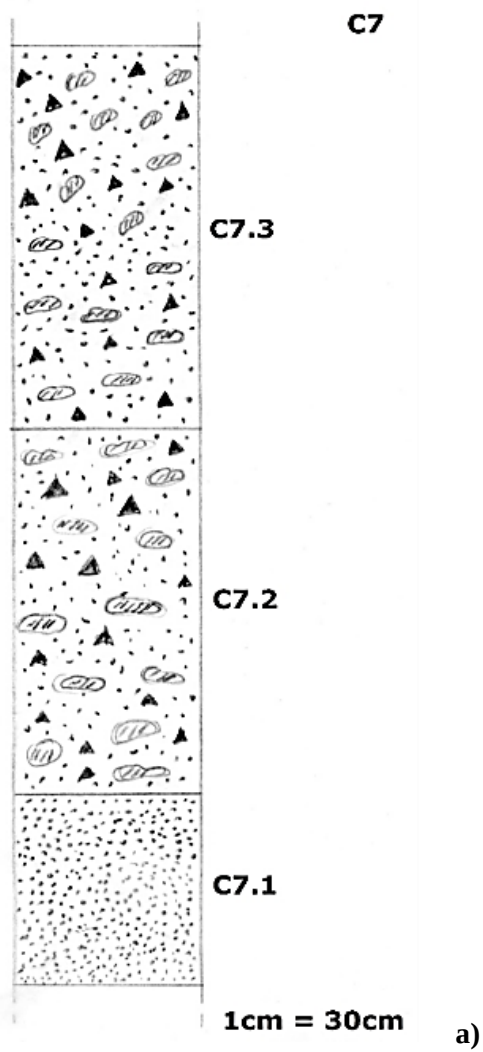
4.3.2.7. CORTE 7 – DEPÓSITOS ESCOADAS PIROCLÁSTICAS COM PDC

Este depósito é constituído por escoadas piroclásticas pomíticas e por um nível de PDC, está localizado na estrada a cerca de 100m do depósito apresentado no corte 6 e possui cerca de 630cm de espessura (Fig. 4.9).

Descrição: A base deste depósito é formada por um nível com leitos de cinzas finas (PDC), compactas e com figuras de fluxo (C7.1). Este PDC é diferente do observado no corte 5, as bancadas não se destacam como no nível do corte anterior e apresenta cor cinzento-clara. Possui leitos finos de *lapilli* fino. A espessura deste nível é de 130 cm.

Nível de pedra-pomes, muito grosseiro, mal calibrado, caótico e rico em líticos grosseiros (C7.2). Este nível pomítico é suportado por clastos, no seio de uma matriz grosseira de cor cinzento, densamente consolidada, rico em líticos poligenéticos, mal calibrado, pedra-pomes pouco densa, angulosa e com fracturas de arrefecimento. Observa-se líticos que se destacam pelo seu tamanho. A espessura do nível é superior a 250cm. Dimensões dos líticos (ML): 30; 33; 23; e, da pedra-pomes (MP): 14; 28; 20;22.

No topo deste depósito existe um nível constituído por pedra-pomes muito grosseira, de cor castanha, mal calibrada, vesiculares, com grandes clastos, caótico, rico em líticos poligenéticos e grosseiros, angulosos e mais frescos (C7.3). Este nível é rico em xenólitos pretos. A espessura do depósito é de 270cm. Líticos (ML): 40; 48; 63 e pedra-pomes (MP): 19; 22; 17. Em termos físicos estes níveis pomíticos são muito parecidos, sendo diferenciados em algumas zonas do depósito pela cor que é marcadamente diferentes.



b)

Figura 4.9. Aspecto geral do depósito do corte 7: a) Esquema do corte 7 (ver legenda da figura 4.3.); b) Sequência de depósitos no corte 7 (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

4.3.2.8. CORTE 8 – DEPÓSITO DE PIROCLASTOS BASÁLTICOS SOB NÍVEIS POMÍTICOS DE CINZAS E LAPILLI ESTRATIFICADOS

Este depósito é constituído por piroclastos basálticos sob níveis pomíticos de cinzas e lapilli estratificados, está localizado na estrada a cerca de 250m do depósito apresentado no corte 7 e possui cerca de 630cm de espessura (Fig. 4.10).

Descrição: Na base existe um nível de piroclastos basálticos compactos (parecido com o nível de piroclastos basálticos observados no corte 5) (C8.1), de cor cinzento com cerca de 200cm de espessura.

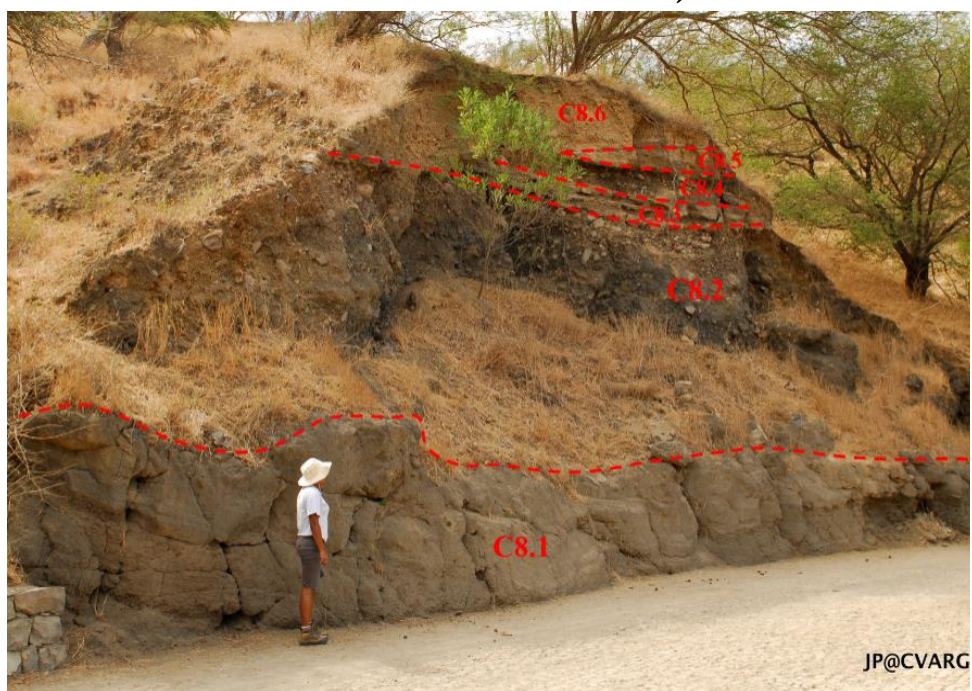
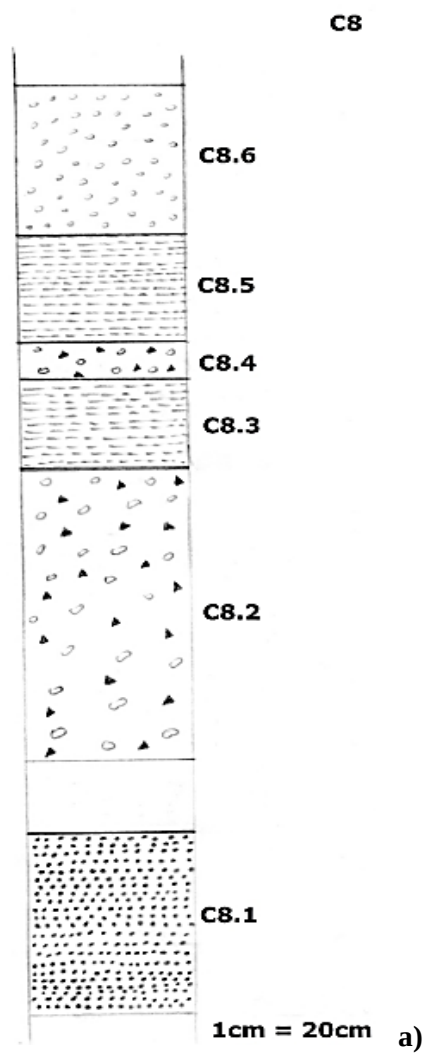
Nível de com matriz de cinzas grosseiras, rico em líticos grosseiros, de cor castanho-escuro a negro e com gradação inversa (C8.2). A sua espessura varia entre os 150 e os 300cm.

Nível com pequenos leitos de cinzas finas estratificadas, com alternância de níveis de cinzas e lapilli (C8.3) e com cerca de 50cm de espessura.

Nível pomítico grosseiro, caótico e rico em líticos grosseiros, de cor castanho-escuro a negro (C8.4) com cerca de 25cm de espessura.

Nível de cinzas finas estratificadas (C8.5) com espessura entre os 20 e os 50cm.

No topo deste depósito existe um depósito de pedra-pomes (C8.6) que parece ter gradação normal, de cor clara, com espessura de cerca de 70cm.



b)

Figura 4.10. Aspecto geral do depósito do corte 8: a) Esquema do corte 8 (ver legenda da figura 4.3.); b) Sequência de depósitos no corte 8 (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

4.3.2.9. CORTE 9 – DEPÓSITO POMÍTICO DE CINZAS E LAPILLI ESTRATIFICADOS

O depósito é caracterizado pela alternância de vários níveis e leitos finos de cinzas e *lapilli* pomítico (Fig. 4.11) e está localizado no chão da caldeira de Campo Baixo, numa área de extração de inertes. A espessura total deste depósito é superior a 10m.

Descrição: A base deste depósito é formada por leitos de cinzas finos com leitos de cinzas grosseiras e lapilli finos estratificados (C9.1). Dimensões da pedra-pomes (MP) (5; 5,5; 4) e líticos (ML) (2; 2,1; 2,3). Este nível possui cerca de mais de 60cm de espessura.

Nível de lapilli grosseiro com várias zonas de elevada concentração de líticos que formam bandas/faixas mais escuras (C9.2). Dimensões da pedra-pomes (MP) (10; 4; 5) e líticos (ML) (6; 4; 4,5) do nível grosseiro. Este nível possui cerca de 38cm de espessura.

Nível de cinzas grosseiras e cinzas finas (C9.3) com um total de 12cm de espessura.

Níveis de cinzas e lapilli alternados (C9.4) com 10cm de espessura e que passam a um nível de um leito de cinzas de 10cm.

Nível de lapilli grosseiro, pedra-pomes angulosa (C9.5) e com fraturas de arrefecimento. No topo deste nível vêem-se clastos maiores que atravessam o leito superior. O nível possui 22cm de espessura.

Leito de cinzas finas formado por vários leitos de cinzas grosseiras intercalados entre si (C9.6) e com 28cm de espessura.

Nível de lapilli pomítico sem matriz de cinzas no seio dos quais se encontram vários leitos finos de cinzas (C9.7). Este nível possui uma espessura de 70cm de lapilli. Não se observa variação lateral de espessura.

Nível de lapilli pomítico grosseiro sem matriz, rico em líticos (C9.8). Pedra-pomes pouco densa, pouco vesicular, com alguns cristais máficos e predominantemente feldspatos. Dimensões da pedra-pomes (MP) (5,5; 5; 7) e líticos (ML) (8; 5; 5,5). A espessura deste nível é de 25cm.

Nível de pedra-pomes ligeiramente rolada com alguns leitos com variação lateral de espessura formando níveis lenticulares geralmente de lapilli limitados na base e no topo por finos leitos de cinzas (C9.9). A dimensão da pedra-pomes (MP) (5,5; 7,5; 8) varia de

4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

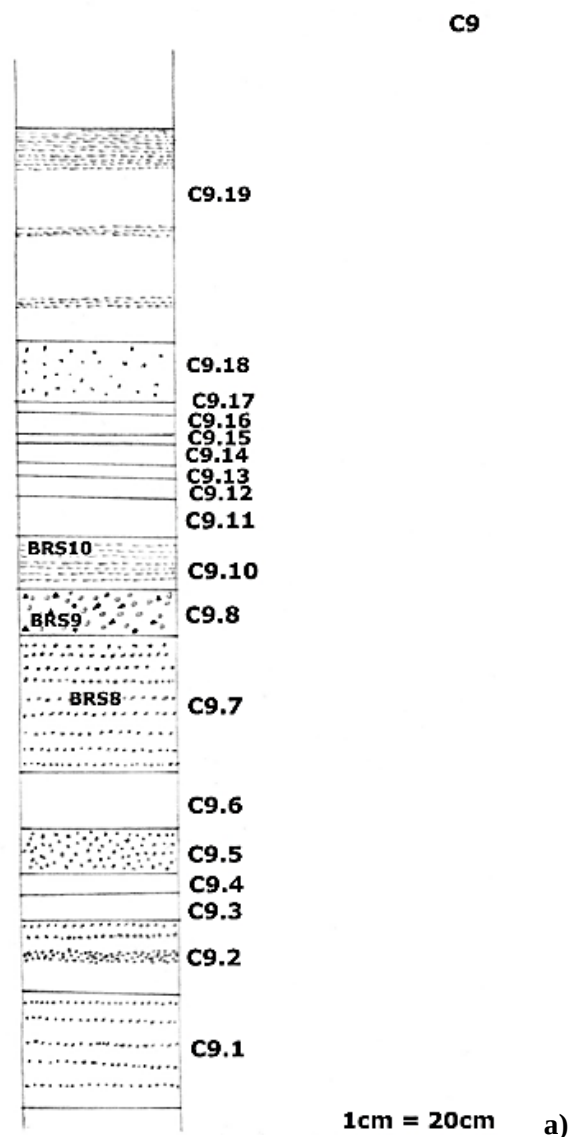
clastos mais grosseiros a pouco grosseiros e líticos (ML) (2; 2,5; 2,5). Espessura total deste nível é de 25cm.

Nível de leitos finos de lapilli (C9.10) com 20cm de espessura.

Vários leitos de cinzas finas bem marcados (C9.11) com espessuras a variar entre os 5 e 10cm.

Nível de lapilli fino com cinzas (C9.12) com 30cm de espessura.

O topo do depósito de mais de 3m de espessura é predominantemente constituído por leitos de cinzas com finos leitos de *lapilli* bem diferenciado que parecem soltos (sem matriz de cinzas) (C9.14, C9.15, C9.16, C9.17, C9.18 e C9.19). Por cima deste nível existe solo. Não foi possível fazer a medição da espessura a partir dos níveis que ficam no topo do depósito.



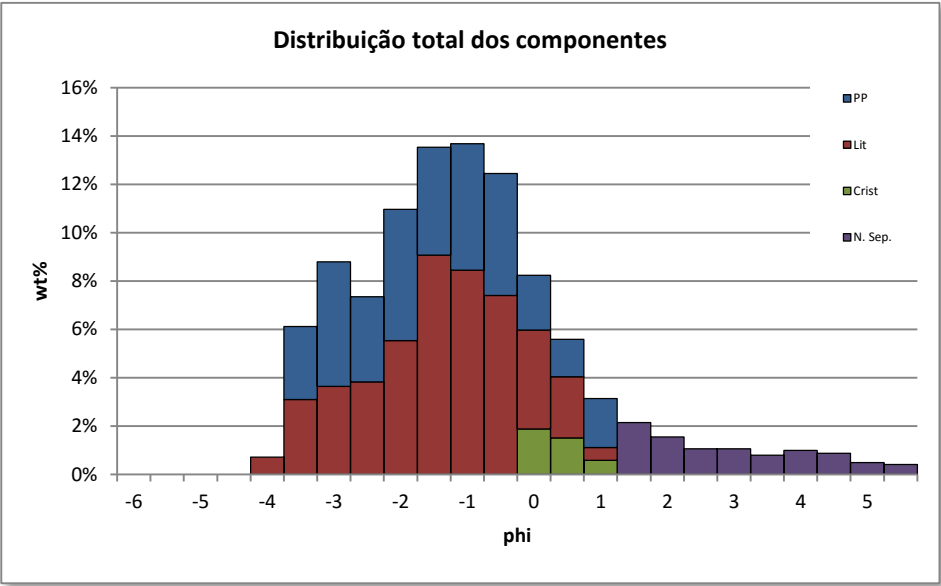


b)

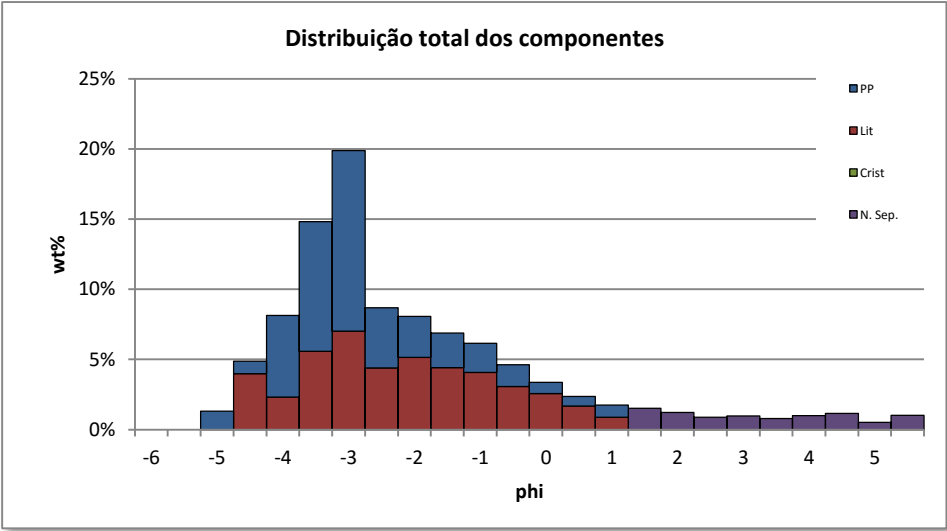
Figura 4.11. Aspecto geral do depósito do corte 9: a) Esquema do corte 9 (ver legenda da figura 4.3.); b) Sequência de depósitos no corte 9 (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

Neste corte fez-se a recolha de amostras para análise granulométrica (ver figura 4.20). Nas figuras seguintes apresentam-se três análises granulométricas deste depósito (BRS-8, BRS-9 e BRS-10) onde se destacam as diferentes proporções de líticos. As amostras têm, no entanto, diâmetros medianos (Md_ϕ) diferentes ($-1,41\phi$, $-2,94\phi$ e $-0,54\phi$ para as amostras BRS-8, BRS-9 e BRS-10, respectivamente), que condiz com o valor definido por Walker (1971) ($< 2,0$) mas não condiz com o de Inman (1952 *in* Cas & Wright, 1988) ($-0,35$) e uma boa calibração (σ_ϕ) ($1,58$, $1,76$ e $1,7$ para as amostras BRS-8, BRS-9 e BRS-10, respectivamente). São a seguir apresentados os histogramas referentes às análises granulométricas das amostras atrás referidas (Fig. 4.12).

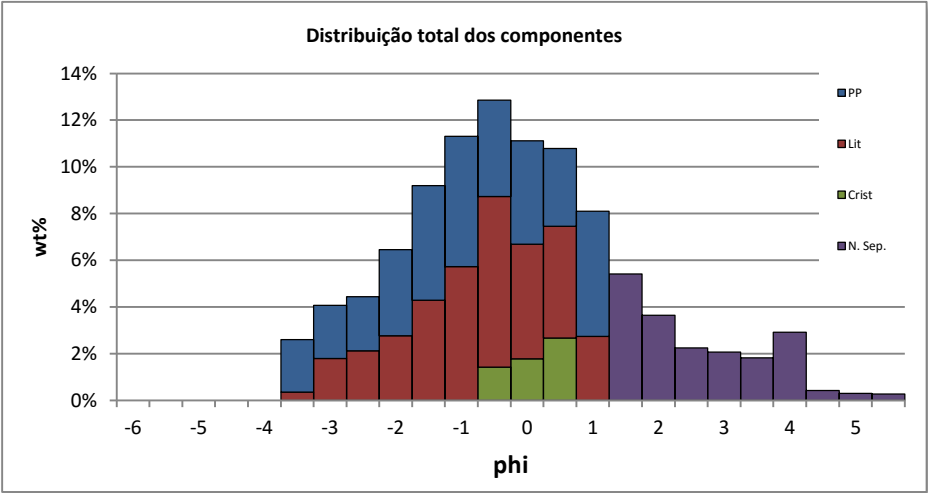
4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS



a)



b)



c)

Figura 4.12. Histogramas de análises granulométricas: a) amostra BRS-8; b) amostra BRS-9; c) amostra BRS-10.

4.3.2.10. CORTE 10 – DEPÓSITO POMÍTICO DE CINZAS E LAPILLI COM LEITO DE SOLO

O depósito é caracterizado por níveis pomíticos de cinzas e lapilli intercalados por um nível de solo (Fig. 4.13). Encontra-se localizado na estrada recta da caldeira de Campo Baixo e possui uma espessura de cerca de 213cm.

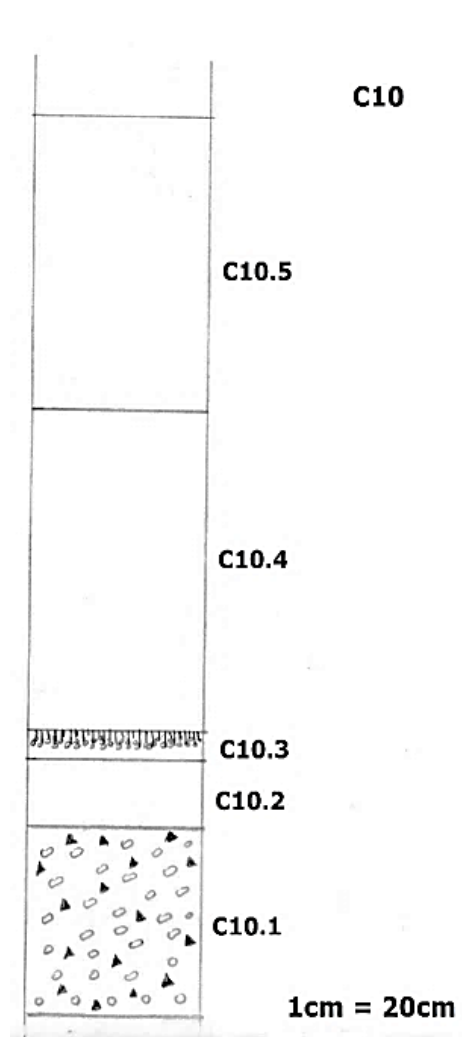
Descrição: na base deste depósito existe um nível de cinzas grosseiras e lapilli com líticos grosseiros (C10.1), de cor castanho-escuro e com mais de 70cm de espessura.

Nível de cinzas muito finas de cor castanho-escuro (C10.2) tal como o nível de base, com 9cm de espessura e com limite abrupto para as cinzas do nível a seguir.

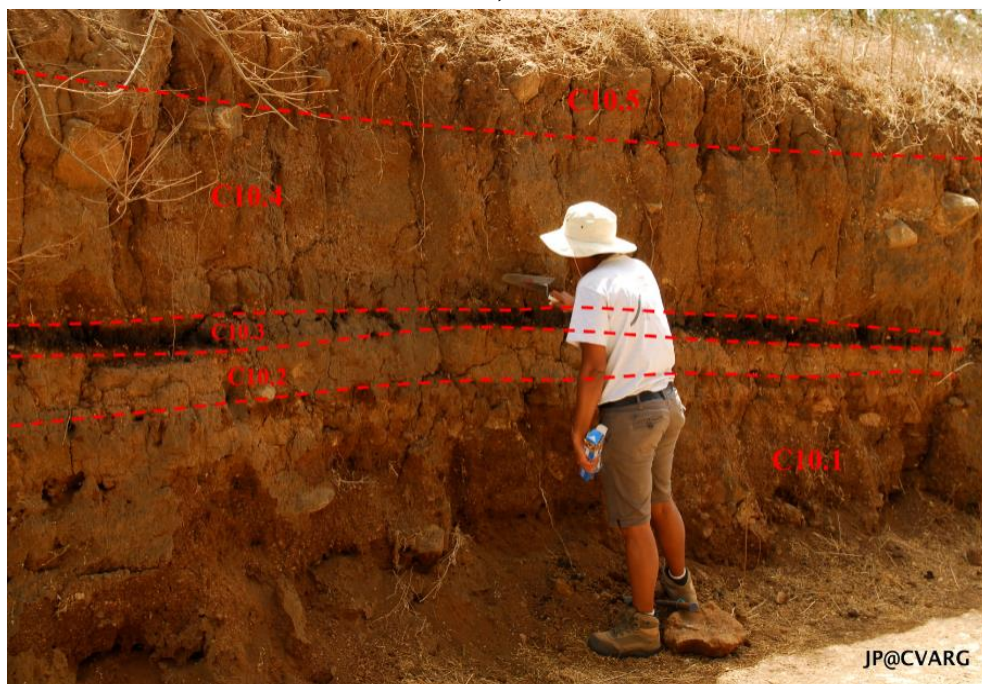
Nível de cinzas grosseiras e lapilli fino com alguma cinza fina à mistura (C10.3) e com 19cm de espessura. Deste nível de cinzas para o nível seguinte existe uma transição abrupta de cor. O castanho torna-se mais claro neste nível. Nível muito escuro, que é provavelmente solo de cor negra com 13cm de espessura, onde observam-se alguns clastos de pedra-pomes dispersos e raros, com gradação normal.

Nível pomítico com matriz de cinzas (C10.4) onde observam-se alguns clastos de pedra-pomes dispersos, com gradação normal e com espessura de 100cm.

No topo deste depósito existe um nível de material indiferenciado (C10.5) sendo a sua espessura de 100cm.



a)



b)

Figura 4.13. Aspecto geral do depósito do corte 10: a) Esquema do corte 10 (ver legenda da figura 4.3.); b) Sequência de depósitos no corte 10 (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

4.3.2.11. CORTE 11 – DEPÓSITO POMÍTICO DE CINZAS E LAPILLI COM NÍVEL DE SOLO

Este depósito é caracterizado por material denso, níveis de cinzas pomíticas finas e grosseiras, um pequeno nível de solo a intercalar as cinzas (Fig. 4.14). Encontra-se localizado em Alto Tomé Barrás na estrada para Palhal e possui uma espessura de cerca de 328cm.

Descrição: na base deste depósito pomítico existe um nível de cinzas (C11.1) de cor negra, rico em líticos máficos, sem organização interna e com uma espessura de 80cm. A cor escura pode ser devido à riqueza de líticos. Alguns líticos podem ser material comagmático, com forma exterior irregular, sem faces de fracturas bem marcadas e vesiculares no interior. Dimensão dos líticos (ML) (4,5; 4,5; 5,5) e pedra-pomes (MP) (2,7; 1,5; 1,5).

Matriz de cinzas pomíticas finas (C11.2) com 25cm de espessura, possui líticos com maior concentração no topo deste nível e abaixo do solo, limite difuso e com cinzas estratificadas na base. Nível de solo bem desenvolvido e rico em matéria orgânica e com 15cm de espessura.

Nível de cinzas pomíticas (C11.3), finas e grosseiras e bem estratificadas com uma espessura de 138cm.

No topo deste depósito observa-se material remobilizado (C11.4) por baixo de material indiferenciado duro e compacto. A espessura dos materiais no topo é de cerca de 70cm.

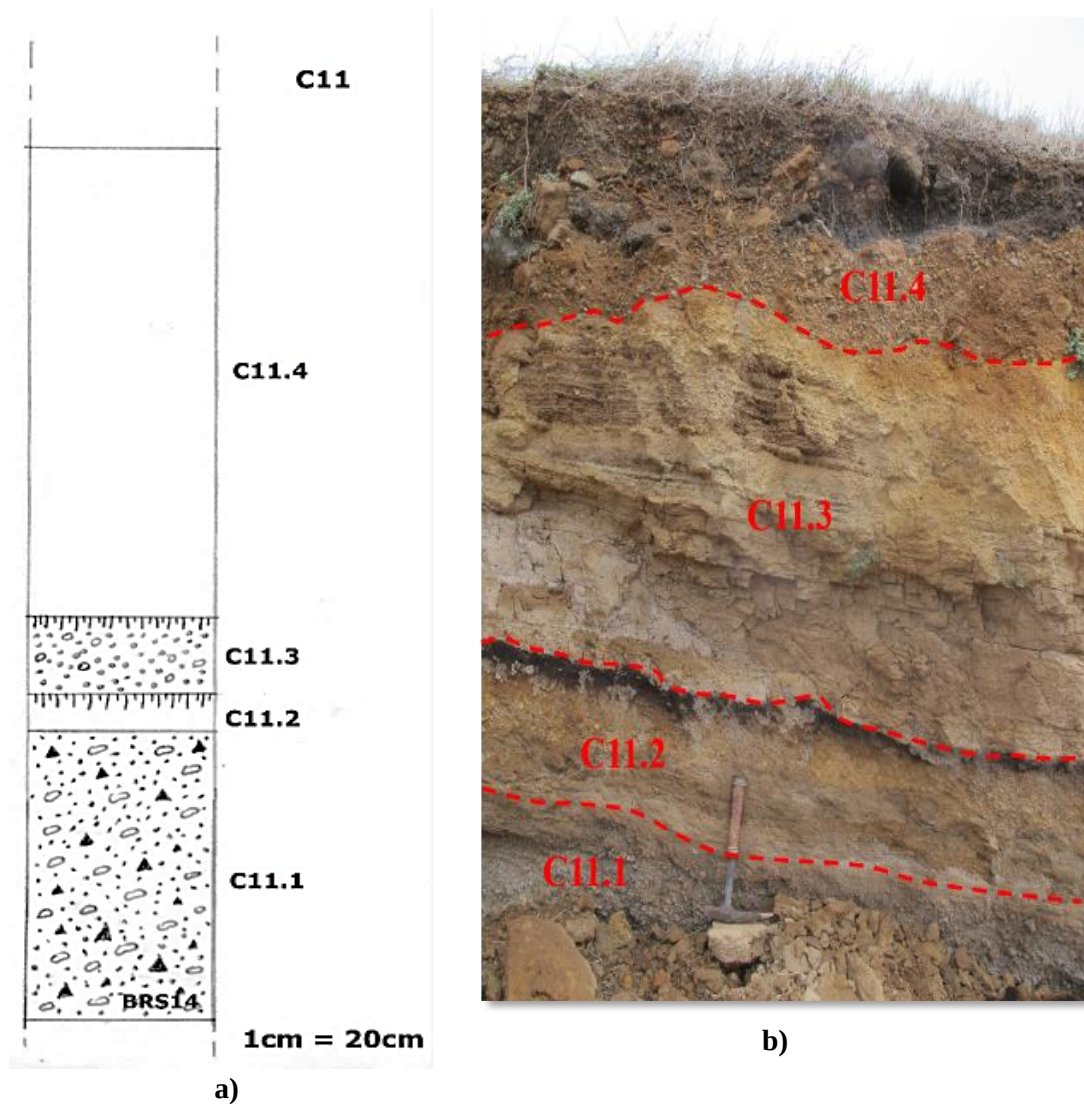


Figura 4.14. Aspecto geral do depósito do corte 11: a) Esquema do corte 11 (ver legenda da figura 4.3.); b) Sequência de depósitos no corte 11.

Também foram recolhidas amostras para neste depósito foi feita para determinar a granulometria dos seus grãos. Na figura seguinte (Fig. 4.15) apresenta-se a análise granulométrica deste depósito. A amostra BRS-14 tem diâmetro mediano (Md_ϕ) de $-2,84\phi$, típico dos *surges*, e apresenta uma boa calibração (σ_ϕ) (1,37), este valor é inferior ao definido por Inman (1952 in Cas & Wright, 1988) (1,85) para os depósitos de *surges*.

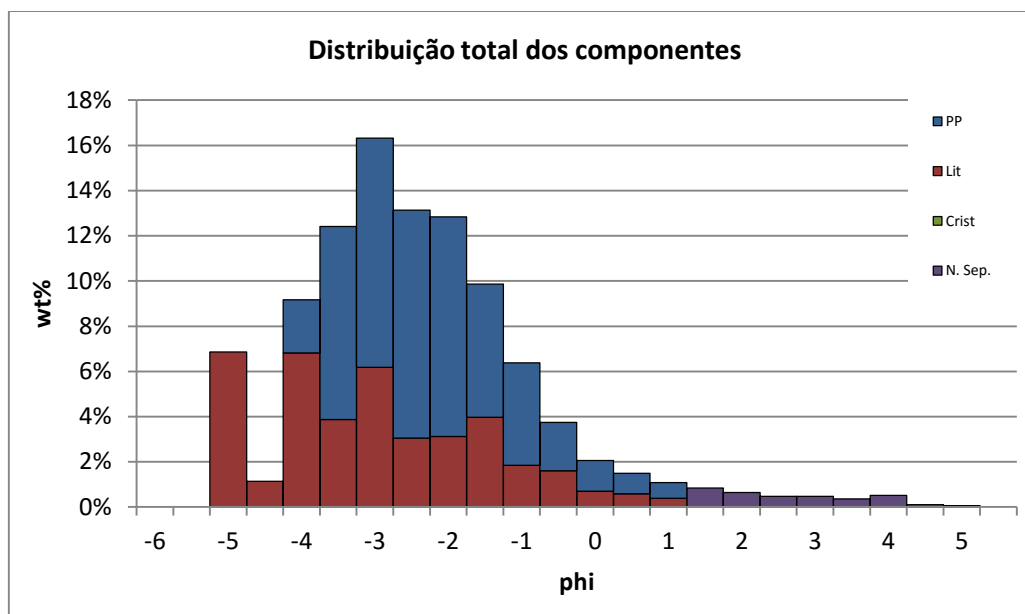


Figura 4.15. Histograma da análise granulométrica da amostra BRS-14.

4.3.2.12. CORTE 12 – DEPÓSITO DE IGNIMBRITO, PIROCLASTOS E CINZAS POMÍTICAS

Este depósito é caracterizado pela presença de um afloramento de ignimbrito rico em cristais de anfíbolos ou piroxenas (Fig. 4.16). Encontra-se localizado na estrada para Cachaço na vertente sul da caldeira de Campo Baixo e possui uma espessura de cerca de 328cm.

Descrição: na base deste depósito existe um nível de cinzas pomíticas (C12.1), endurecido, que apresenta estratificação paralela, com alguma pedra-pomes fina e alguns leitos de lapilli fino e com espessura que varia entre os 100 e os 200cm.

Nível de cinzas finas (C12.2) de cor castanha com espessura entre os de 100 e os 150cm. Passa a um nível de pedra-pomes (C12.3) de cor amarelada a branco, muito alterado. Apresenta estratificação, sendo as camadas compactas. A sua espessura varia entre 100 e 200cm

No topo deste depósito observa-se um afloramento de PDC (C12.4) rico em cristais de anfíbolos ou piroxenas, muito bem soldado, com um leito de lapilli solto. Os clastos apresentam materiais mais vesiculares, mais denso que a pedra-pomes e mais escuros na base do nível. O topo deste nível é estratificado, as camadas que ficam na parte de cima são menos espessas do que as da base. O material é compacto e duro. A espessura total do ignimbrito é a 3000cm.

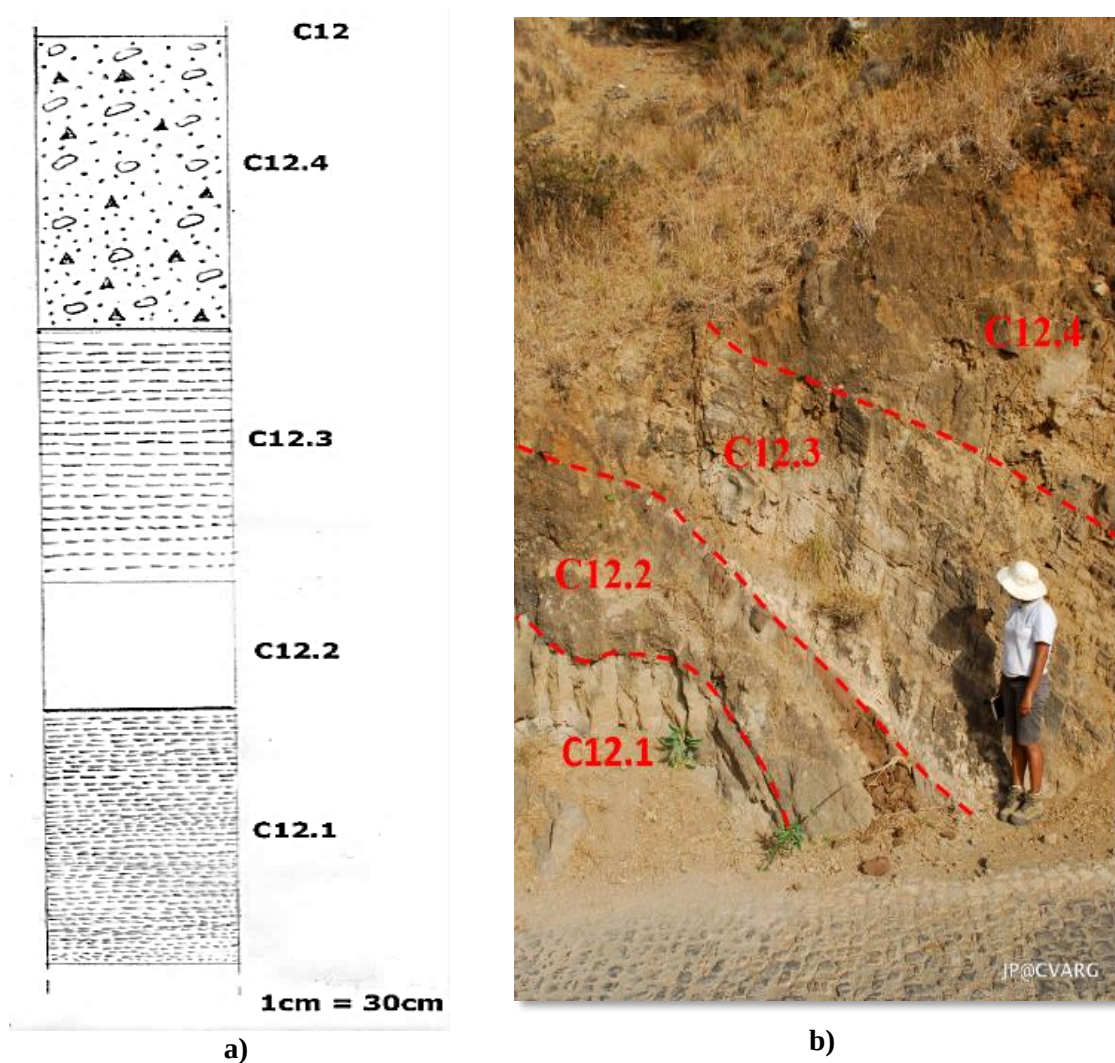


Figura 4.16. Aspecto geral do depósito do corte 12: a) Esquema do corte 12 (ver legenda da figura 4.3.); b) Sequência de depósitos no corte 12 (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

4.3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS GRUPOS LITOLÓGICOS DA ILHA BRAVA

No decorrer dos trabalhos de campo realizados na ilha Brava tentou-se interpretar os depósitos observados e fez-se a divisão das litologias em grupos. A caracterização de cada grupo acentuou nos aspetos da litologia, descrição dos cortes elaborados e na localização das suas ocorrências. Como tal foram identificados 5 grupos litológicos:

1. Depósitos piroclásticos de fluxo
2. Depósitos piroclásticos de queda
3. Depósitos piroclásticos e de escoadas lávicas basálticos
4. Depósitos piroclásticos e de escoadas lávicas carbonatíticos
5. Domos fonolíticos

4.3.3.1. DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS DE FLUXO

4.3.3.1.1. Características gerais que definem a litologia

Os depósitos piroclásticos de fluxo resultam de fluxos piroclásticos constituídos por fragmentos piroclásticos suscetíveis de se deslocar como uma alta concentração/dispersão de gases e partículas sólidas, sendo controlados pela gravidade, a quente e, em alguns casos, podem formar, parcialmente, leitos fluidizados (Cas & Wright, 1988). Regra geral, os depósitos são topograficamente controlados, enchendo vales e depressões. Muitas vezes, internamente, os depósitos piroclásticos de fluxo são maciços e mal calibrados ($\sigma\phi \geq 2,0$). A pobre calibração nos depósitos de fluxo é atribuída à alta concentração de partículas, e não à turbulência (Cas & Wright, 1988). Ainda de acordo com esses autores, a sobreposição de uma série de unidades de fluxo (cada unidade de fluxo deve ser considerada como o depósito de um único fluxo piroclástico) pode dar a aparência de estratificação interna, mas uma estratificação difusa é ocasionalmente observada dentro de unidades de fluxo individuais.

Os depósitos de fluxos piroclásticos podem apresentar várias dezenas de metros de espessura, dependendo da temperatura de instalação podem ser soldados ou desagregados/não soldados e dependendo dos processos de transporte e deposição podem ser maciços ou estratificados. De acordo com as suas características podem ser agrupados em:

1. **Depósitos de fluxos piroclásticos soldados ou ignimbritos** resultam de escoadas piroclásticas maciças contendo quantidades variáveis de cinzas e lapilli pomíticos arredondados e ocasionalmente contém blocos até 1m de diâmetro. Os ignimbritos geralmente são homogêneos, bem compactados e em camadas, que em alguns casos se assemelham a fluxos de lava. Muitos ignimbritos estão quentes quando são depositados, de modo que os fragmentos de pedra-pomes e cinzas continuam plásticos e maleáveis. Segundo Lockwood & Hazlet (2010) o grau com que os ignimbritos se encontram soldados varia de acordo com vários fatores sendo os principais (1) a espessura do fluxo, (2) a sua temperatura no momento de deposição, e (3) a quantidade de gás que continha;
2. **Depósitos de fluxos piroclásticos não soldados** são geralmente depósitos topograficamente controlados, que possuem uma matriz de cinzas contendo grandes blocos líticos, geralmente não vesiculares, que podem exceder os 5m de diâmetro. Alguns destes blocos contêm fraturas de arrefecimento dispostas radialmente que indicam que eles se depositaram quentes. Os depósitos podem conter tubos de segregação de gás (*fumarolic pipes*), embora estes não sejam comumente encontrados em depósitos de escoadas de blocos e cinzas, e madeira carbonizada;
3. **Depósitos de fluxos piroclásticos com estratificação entrecruzada ou *surges***, resultam de fluxos piroclásticos com movimento turbulento constituídos por material sólido e gás, normalmente com baixa concentração de partículas e fragmentos, que se movem acima do nível da superfície topográfica a alta velocidade (Cas & Wright, 1988), podendo exceder os 100 km/hora. São caracterizados por baixas temperaturas, normalmente inferiores a 100° C, e resultam de nuvens que se dispersam radialmente a partir do centro emissor (Crandell *et al.*,1984). Correm também preferencialmente por vales, podendo extravasar as margens destes devido à sua baixa densidade. Os depósitos acumulam-se em depressões, mas também podem cobrir a topografia. De acordo com Valentine & Fisher (2000), depósitos piroclásticos de *surges* são facilmente identificados no campo pela ocorrência de estratificação entrecruzada incluindo finas camadas (centimétricas para decimétricas) e estruturas ligeiramente onduladas.

4.3.3.1.2. Depósitos piroclásticos de fluxo na Brava

4.3.3.1.2.1. Depósitos piroclásticos de fluxo soldados ou ignimbritos

Localização:

Na Brava foram observados inúmeros depósitos piroclásticos de fluxos que constituem um dos grupos litológicos mais característicos da ilha. Os ignimbritos foram observados essencialmente na zona de Campo da Porca (Cortes C3, C4, C7 e C12), na Furna, particularmente ao longo da estrada Furna-Nova Sintra e ainda na estrada para Fajã d'Água.

Descrição da litologia:

De acordo com as características desses ignimbritos optou-se por discriminar as diferentes ocorrências observadas para maior facilidade na compreensão dos mesmos. Foram diferenciados dois tipos de ignimbritos na ilha Brava, os denominados ignimbrito da Furna e o ignimbrito da Porca.

a) Ignimbrito da Furna

Este ignimbrito encontra-se essencialmente bem expresso na zona da Furna. O ignimbrito da Furna possui fragmentos líticos de dimensões variadas, com escassos clastos juvenis, rico em brechas, e com grandes quantidades de líticos numa matriz de cinzas pomíticas endurecida de pequenos clastos pomíticos intensamente alterados. Os ignimbritos ocorrem de forma generalizada no planalto, mas também se encontram unidades a preenchem vales, nos flancos da ilha que se estendem para o litoral. A incisão de novas ribeiras abaixo dos flancos destes depósitos tem apresentado excelentes afloramentos, nomeadamente entre a Vila Nova Sintra e Furna no lado nordeste da ilha, onde os cortes de estrada oferecem depósitos com exposições excelentes. Os aspectos específicos dos depósitos deste tipo apresentam alguns casos com vários metros de espessura, possuem vários leitos individuais e, ainda, em alguns casos apresentam unidades em tons amarelos (Fig. 4.17a). A maior parte dos blocos líticos geralmente possuem 10cm a 1m de diâmetro e raramente atingem 5 m de diâmetro (Fig. 4.17b). Os clastos são essencialmente rochas vulcânicas sobretudo fonolíticas. A matriz dessas rochas é endurecida, além de ter uma pequena proporção de líticos menores, é dominada por cinzas e *lapilli* pomíticos amarelados a salmão alterados.

Fragmentos de brechas constituem depósitos maciços formados por pedra-pomes juvenis e vidro de composição fonolítica (Fig. 4.17c). Os topos destes depósitos também se caracterizam pelo desenvolvimento de canais de erosão (Fig. 4.17d) formados quando se depositaram em vertentes inclinadas, que apresentam ligeira estratificação e ondulação internas (Fig. 4.17e). Este ignimbrito é cortado por falhas (Fig. 4.17f) em vários pontos ao longo da estrada Furna-Nova Sintra.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Figura 4.17. Depósitos de Ignimbrito da Furna (ao longo da estrada Furna – Nova Sintra). a) Aspecto geral de um depósito (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); b) Pormenor do tamanho dos líticos; c) Pormenor de líticos com dimensões e composição diferente; d) Unidades maciças; e)

Unidades estratificadas com ondulações (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); e f) Pormenor da escoada piroclástica de cor amarelada cortada por uma falha (imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

b) Ignimbrito da Porca

Nas proximidades de Campo da Porca, no lado sul da ilha, foi observado outro tipo de ignimbritos. Este ignimbrito é, também, constituído por uma matriz de cinzas e apresenta líticos poligenéticos (material de diferentes litologias). Distinguem-se várias unidades de fluxo e alguns leitos com descontinuidade lateral que separam diferentes unidades de fluxo (indicativo de que a energia do fluxo foi-se alterando ao longo do percurso) (Fig. 4.18a). Apresenta estratificação fina de alguns níveis de cinzas finas. As espessuras dos depósitos são superiores a 10m. Observaram-se zonas onde o ignimbrito apresenta cor de salmão (típica de altas temperaturas), zonas onde o depósito está soldado e zonas onde está densamente compactado. Observam-se também *fumarolic pipes* (Fig. 4.18b), que indicam a libertação de gases que estavam no seio da escoada piroclástica. A matriz encontra-se de tal forma soldada que em muitos locais é constituída por vidro vulcânico e líticos. As unidades de fluxo notam-se fundamentalmente pela estratificação. Esta pode corresponder à variação de granulometria ou a intervalos de menor deposição, ou seja, superfícies de deposição com intervalos de tempo diferentes. Algumas vezes, o ignimbrito apresenta-se bem soldado (Fig. 4.18c). Em alguns depósitos a matriz apresenta-se muito rica em cristais de piroxenas ou anfíbolos (Fig. 4.18d). Pode-se constatar que este tipo de ignimbritos apresenta uma grande variação de fácies desde soldadas a compactadas, têm igualmente zonas com mais matriz e com menos matriz. Em alguns depósitos observam-se níveis de *surges* a separar unidades de ignimbrito na base (Fig. 4.18e). Observa-se a existência deste tipo de ignimbrito na vertente interior da parede sul da caldeira de Campo Baixo (Fig. 4.18f) o que pode ser indicativo de que a sua formação pode estar associada à génese da caldeira.

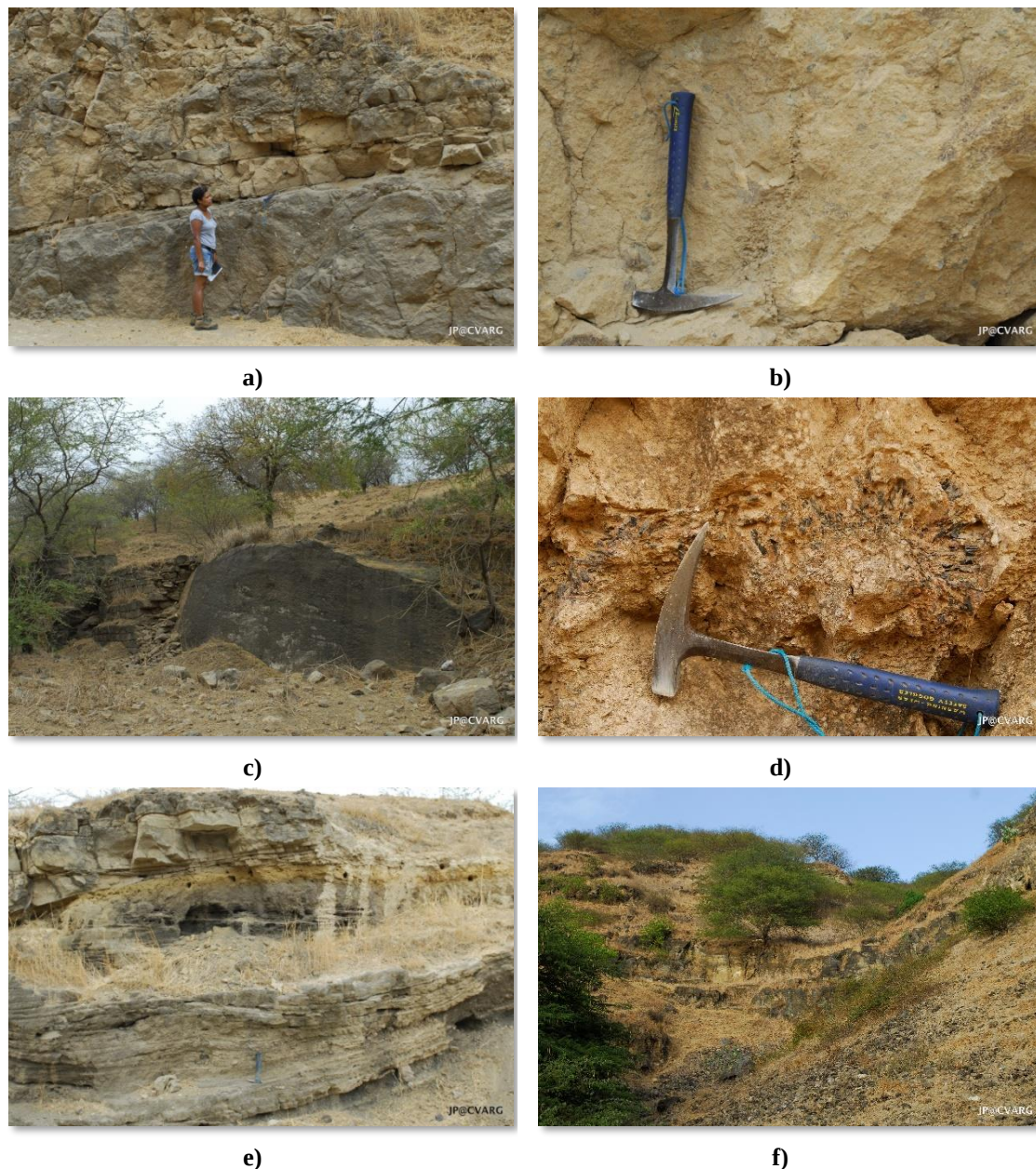


Figura 4.18. Depósitos de Ignimbrito da Porca (Imagens cedidas por José Pacheco da Universidade dos Açores): a) Aspecto estratificado dos depósitos, na estrada para Cachaço entre os cortes C3 e C4; b) *Fumarolic pipes*, na estrada para Cachaço entre os cortes C3 e C4; c) Aspecto compactado de um depósito, na estrada para Cachaço à frente do corte C4; d) Presença de cristais de anfíbolos ou piroxenas, na estrada para Fajã d'Água; e) Depósitos de *surges* na base dos ignimbritos, na estrada para Cachaço no corte C3; f) Depósitos localizados na vertente sul da caldeira de Campo Baixo.

Tal como referido no subcapítulo 4.2.1., foi feita a amostragem deste tipo de depósitos piroclásticos para determinar a granulometria. Apresenta-se a análise granulométrica deste depósito (Fig. 4.19) da amostra BRS-18 com diâmetro mediano (Md_{ϕ}) de $0,86\phi$, típico de escoadas piroclásticas, e apresenta uma calibração (σ_{ϕ}) de 1,57. Este valor da calibração não condiz com o definido por Inman (1952 *in* Cas & Wright, 1988) (2,8) nem com o definido por Walker (1971). Deduzimos que este valor poderá ter sido influenciado

pelo facto da quantidade da amostra ser reduzida. Convém destacar que este depósito estava ligeiramente compactado o que dificultou uma amostragem em maior quantidade.

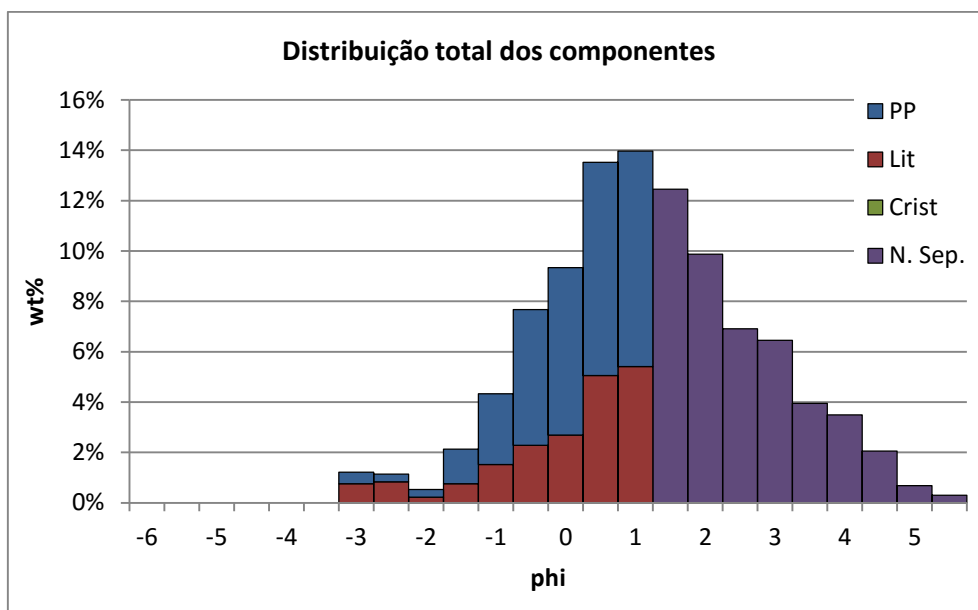


Figura 4. 19. Histograma da análise granulométrica da amostra BRS-18.

4.3.3.1.2.2. Depósitos piroclásticos de fluxo não soldados

Localização:

Os depósitos de fluxos piroclásticos não soldados foram observados na base do domo Cachaço (C3) e na estrada para Fajã d'Água.

Descrição da litologia:

Geralmente estes depósitos são constituídos por material muito heterogéneo sob o ponto de vista litológico e dimensional, caótico, com base constituída por material grosseiro numa matriz de cinza (onde predomina o grosseiro, da dimensão de *lapilli*, e blocos numa matriz de cinzas). Muitas vezes esses depósitos são encontrados na base de alguns domos, principalmente no lado sul da ilha. Por exemplo, na base do domo Cachaço observam-se várias unidades com material grosseiro, caótico, e mal calibrado e com alguma matriz de cinzas, coberta por outra camada compactada formada predominantemente por cinzas finas e clastos grosseiros dispersos na matriz (Fig. 4.20a). Todo o material é monolitológico idêntico ao material do domo. Parecem corresponder a pequenas unidades de *block and ash flow* com segregação das cinzas finas. As espessuras dos conjuntos variam entre 40cm e os 11 cm, sendo a parte mais grosseira com 24cm e a parte mais fina

4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

com 16cm do topo para a base. Também foram observados depósitos com estruturas idênticas com espessuras maiores, superiores a 1m. Alguns depósitos apresentam vários leitos (Fig. 4.20b). Alguns depósitos apresentam líticos grosseiros e de cor escura (Fig. 4.20c). Pode-se observar a presença de falhas (Fig. 4.20d) a cortar alguns depósitos. Junto às falhas existe normalmente material caótico, fraturado e remobilizado. Nalguns casos observam-se também depósitos de *lag breccia* associados a alguns depósitos de fluxo piroclástico com matriz de cinzas muito finas (Fig. 4.20e; 4.20f). Estes depósitos de *lag breccia* são heterogêneos em termos de dimensão dos clastos. Podem representar material secundário, muito grosseiro em maiores quantidades e com pouco materiais finos, revelando brechas proximais associadas a algumas escoadas piroclásticas.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Figura 4.20. Depósitos de escoadas piroclásticas: a) Depósitos de escoadas piroclásticas observadas na base do domo Cachaço, próximo do Corte C3 (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); b) Visão geral das escoadas piroclásticas em bancadas, na estrada para Fajã d'Água (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); c) Pormenor de uma escoada onde observam-se líticos grandes e escuros, na estrada para Fajã d'Água (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); d) Falha a cortar os depósitos, na estrada para Fajã d'Água junto à localidade de Figueiral (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); e) Aspecto geral dos depósitos de fluxo piroclástico com *lag breccia*, na estrada para Fajã d'Água; f) Pormenor do material dos *lag breccia*, na estrada para Fajã d'Água.

4.3.3.1.2.3. Depósitos piroclásticos de fluxo com estratificação entrecruzada ou *surges*

Localização:

As ocorrências de *surges* foram observadas em várias localidades da ilha como: Campo da Porca (Corte C3) na parte sul da ilha, Alto Tomé Barrás na estrada para Palhal (Corte C11) na parte oeste da ilha, no lado NW da ilha na estrada para Fajã d'Água, Estrada Nova Sintra – Furna e Santa Bárbara na descida para Vinagre, a NE da ilha.

Descrição da litologia:

Depósitos de *surges* são particularmente comuns na Brava, formando em várias localidades a litologia dominante. Depósitos deste tipo são caracterizados pelo tamanho dos grãos geralmente finos e pela presença de estratificação entrecruzada (Fig. 4.21). Alguns depósitos de *surges* são constituídos unidades cruzadas finas intercaladas com leitos de cinzas maciças e bem ordenadas e unidades de grãos de cinzas ricos em líticos e uma pequena quantidade de blocos maiores (Fig. 4.21a). Sempre que identificáveis, os clastos são principalmente fonolíticos, com líticos dispersos de material máfico. Estes depósitos ocorrem em alguns casos na base de depósitos de ignimbritos ricos em líticos. Outros depósitos de *surges*, com níveis ou leitos ricos em materiais juvenis, tais como a pedra-pomes e leitos de blocos de com indícios de terem sido desgastados pela erosão e de aspeto vítreo, normalmente ocorrem como unidades na base das sequências de tufos e ignimbritos (Fig. 4.21c). Também aparecem associados, em alguns casos, a depósitos pomíticos de queda bem selecionados com brechas de ignimbritos nas partes superiores desses depósitos. Os líticos nestes depósitos são totalmente ou quase totalmente compostos por rochas vulcânicas, principalmente fonolíticas. Em alguns depósitos de *surges* é comum encontrar *lapilli* de acreção (Fig. 4.21d). Em alguns locais, por exemplo, na estrada para Fajã d'Água, pode-se verificar a intercalação de depósitos de *surges* com depósitos de leitos de pedra-pomes e cinzas de queda com líticos escuros. Vários níveis

4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

de *surges* com diferente granulometria, em alguns casos foram afetados por figuras de carga (Fig. 4.21e), o que pode indicar a direção do foco eruptivo. Alguns depósitos de *surges* apresentam-se compactados (Fig. 4.21f).

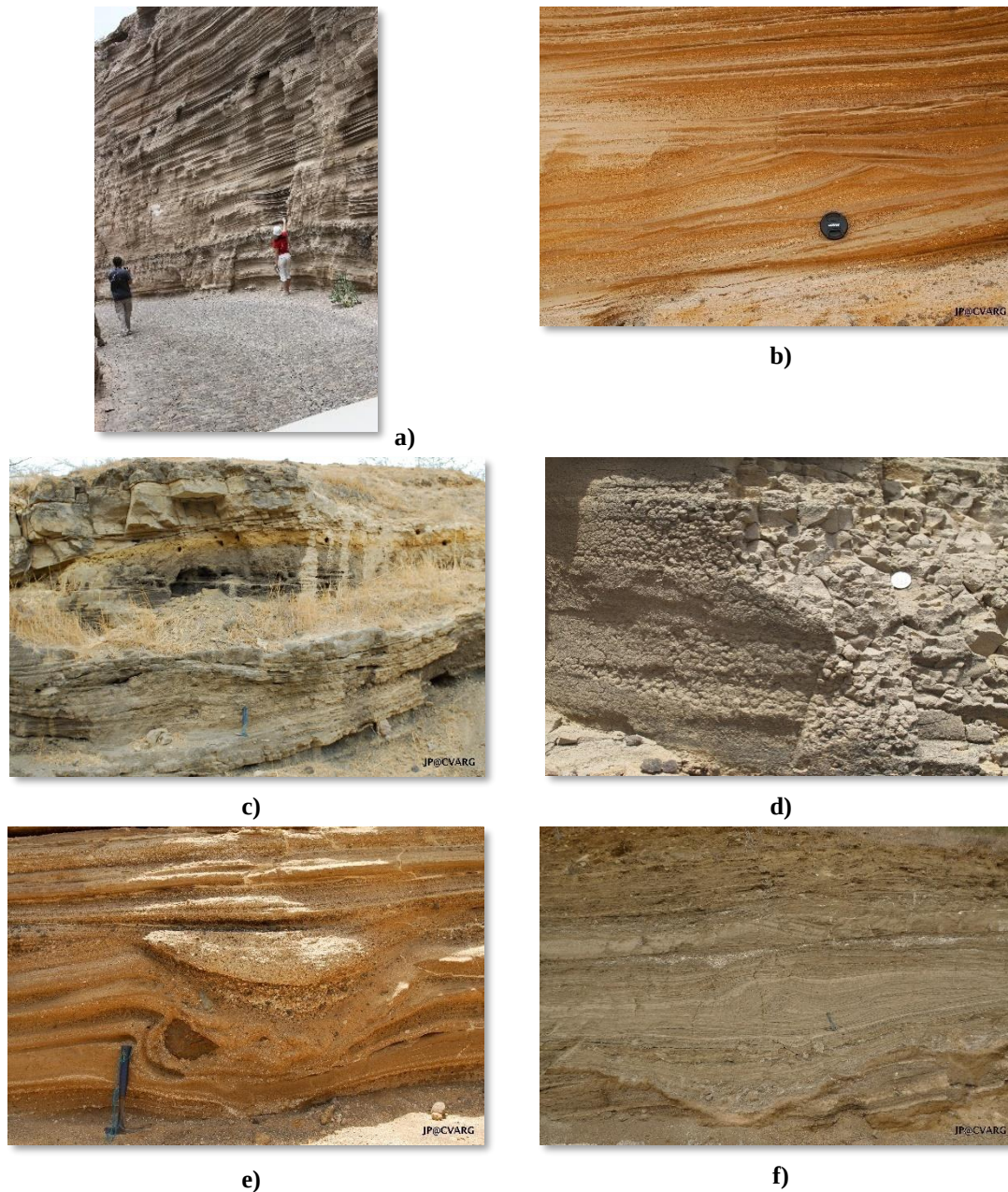


Figura 4.21. Depósitos de *surges*: a) visão global dos depósitos na estrada para Fajã d'Água; b) pormenor dos depósitos de níveis de cinzas e lapilli estratificados com grandes líticos escuros, Fajã d'Água (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); c) depósitos de *surges* na base de ignimbritos, Campo da Porca (corte C3) (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); d) *Lapilli* de acreção associados a *surges*, estrada para Fajã d'Água; e) depósitos de *surges* associados a *lapilli* de queda com figuras de carga, estrada para Fajã d'Água (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); e f) pormenor de *surges* compactados na estrada Furna-Nova Sintra (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

4.3.3.2. DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS DE QUEDA

4.3.3.2.1. Características gerais que definem a litologia

Os depósitos piroclásticos de queda resultam da deposição por acção da gravidade do material constituinte das colunas eruptivas e caracterizam-se por cobrir uniformemente a topografia preexistente, apresentando localmente a mesma espessura de material. Por outro lado, quer a espessura quer a dimensão dos fragmentos constituintes de um depósito piroclástico de queda diminuem com a distância ao centro eruptivo.

Os depósitos de queda são os mais simples dos produtos piroclásticos e as suas propriedades podem ser usadas para inferir os parâmetros da erupção. Todos os depósitos formam-se a partir da ejeção dos piroclastos do centro emissor, produzindo uma coluna eruptiva, que é uma coluna de flutuação de gases e piroclastos ascendente para a alta atmosfera. A geometria e tamanho de um depósito refletem a altura da coluna eruptiva e a velocidade e direcção do vento atmosférico aquando da erupção (Walker, 1973; Wilson *et al.*, 1978 in Cas & Wrigth, 1988). À medida que a pluma se expande, os piroclastos caem de volta para a solo, sob o efeito da gravidade, a distâncias variáveis de acordo com as condições do vento a partir da fonte, dependendo do seu tamanho e da densidade (ou velocidade de queda terminal) formando assim depósitos de queda derivados da pluma eruptiva.

Os fragmentos maiores serão frequentemente ejetados a partir do centro emissor em trajetórias balísticas, chamados clastos balísticos, não sendo afectados pelo vento. O tamanho os grãos reflete inicialmente o processo eruptivo e seguidamente o transporte. O transporte selecciona os grãos por forma. Esses depósitos são relativamente bem calibrados (valores $\sigma\phi$ são normalmente $\leq 2,0$) por causa do fracionamento durante o transporte na nuvem eruptiva (Cas & Wright, 1988). Ainda segundo esses autores, às vezes, eles exibem estratificação interna planar ou laminar, devido às variações no comportamento da pluma eruptiva, mas não estratificação cruzada. Também não mostram capacidade de erosão ou truncamento nas camadas subjacentes. Perto do centro emissor, os piroclastos em alguns depósitos de queda estão soldados ou apresentam características de *spatter*.

4.3.3.2.2. Depósitos piroclásticos de queda na Brava

4.3.3.2.2.1 Depósitos piroclásticos de queda com estratificação planar

Localização:

Os depósitos piroclásticos de queda estratificados constituem um grupo litológico comum na ilha Brava tendo sido observados em áreas próximas da caldeira de Campo Baixo (Corte C9), na estrada para Palhal (Corte 11) e na estrada para Fajã d'Água em vários depósitos de espessuras consideráveis.

Descrição da litologia:

Esses depósitos são caracterizados pela alternância de níveis de cinzas e *lapilli* pomíticos de espessuras variáveis (entre 5cm e 70cm) e possuem estratificação bem definida (Fig. 4.22a). A pedra-pomes em alguns depósitos é ligeiramente rolada apresentando alguns leitos com variação lateral de espessura formando níveis lenticulares, geralmente de *lapilli* limitados abaixo e acima por finos leitos de cinzas. Há depósitos de pedra-pomes que nalguns casos são muitos ricos em líticos. Os *lapilli* pomíticos de queda variam de dimensão entre finos a grosseiros. Alguns níveis de *lapilli* pomíticos não apresentam matriz e são ricos em líticos. Também foram observados alguns níveis com pedra-pomes pouco densa e mais vesicular, com alguns cristais máficos e feldspatos, que predominam. Encontram-se depósitos onde se observa alternância de leitos de *lapilli* pomítico com leitos finos de cinzas bem como leitos de cinzas finas intercalados por vários leitos de cinzas grosseiras. Muitas vezes, os *lapilli* grosseiros apresentam forma angulosa. Alguns depósitos apresentam *grain flow* (fluxo granular) possivelmente resultantes da remobilização do depósito por acção da gravidade, quando o depósito se encontra em vertentes muito inclinadas, tendo sido observados na estrada para Fajã d'Água. Os grãos rolam pela encosta e produzem este tipo de depósitos que resultam de transporte, relativamente a curta distância, e normalmente observa-se a segregação dos clastos mais grosseiros. A presença de cinzas finas pode significar presença de água na altura da erupção. Vários níveis de materiais muito finos representam pulsação da erupção correspondendo cada nível a um impulso. Associados a esses depósitos observam-se, na estrada para Fajã d'Água e em Campo Baixo, níveis de pedra-pomes constituídos por *lapilli* fino intercalados com cinzas grosseiros ricos líticos muito escuros. Em alguns afloramentos são observados depósitos de queda associados a depósitos de *surges*, particularmente na estrada para Fajã d'Água (Fig. 4.22b), sendo que em alguns pontos

apresentam-se compactados (Fig. 4.22c). As figuras de carga são frequentes nesse tipo de depósitos (Fig. 4.22d), observa-se também a presença de *lapilli* de acreção em alguns depósitos pontuais, na estrada para Fajã d'Água (Fig. 4.22e). Também foram observados afloramentos desses depósitos de cinzas e *lapilli* pomíticos estratificados que apresentam solo bem desenvolvido e rico em matéria orgânica, com 10cm de espessura, próximo à localidade de Tomé Barras (Fig. 4.22f), sendo que a matriz de cinzas finas pomíticas possui líticos com maior concentração abaixo do solo (Corte C11).

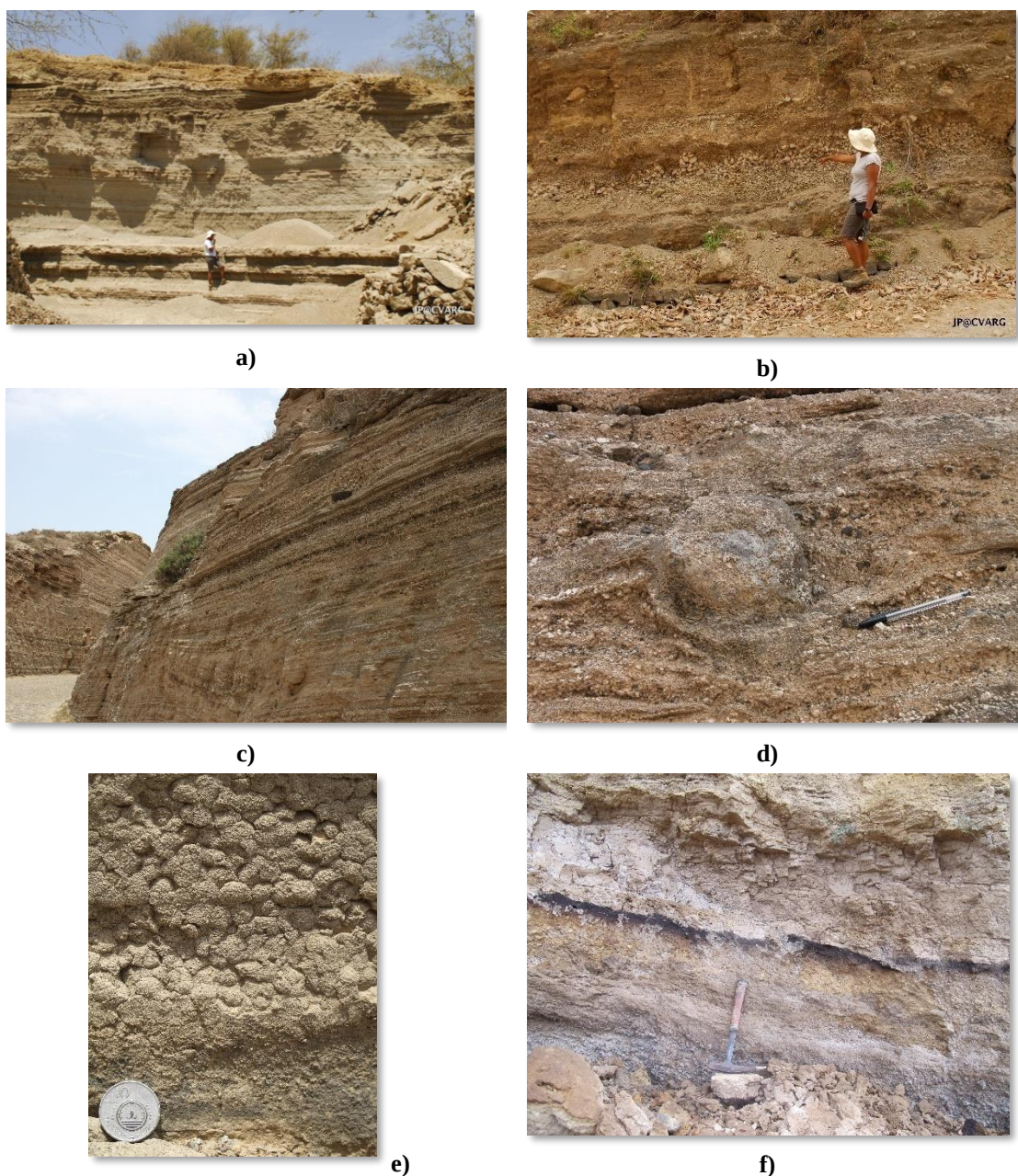


Figura 4.22. Depósitos piroclásticos de queda com níveis de cinzas e *lapilli* estratificados: a) Aspecto geral dos depósitos na caldeira do Campo Baixo, corte C9 (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); b) Presença de *grain flow* em alguns depósitos, na estrada para Fajã d'Água (Imagem cedida

por José Pacheco da Universidade dos Açores); c) Depósitos pomíticos de queda associados a depósitos de surges, na estrada para Fajã d'Água; d) Figuras de carga em depósitos de queda, na estrada para Fajã d'Água; e) Lapilli de acreção, na estrada para Fajã d'Água; f) Pormenor do solo e dos níveis de cinzas e lapilli pomíticos, na estrada para Palhal, corte C11.

4.3.3.2.2. Depósitos piroclásticos de queda sem estratificação

Localização:

Os depósitos piroclásticos de queda sem estratificação são outro tipo de depósitos de queda observados na Brava, essencialmente na parte sul da ilha em alguns afloramentos na estrada para Cachaço e nas proximidades da caldeira de Campo Baixo (Cortes C2, C7 e C8) e na estrada para Fajã d'Água.

Descrição da litologia:

Estes depósitos caracterizam-se por serem constituídos por pedra-pomes grosseiras da dimensão de lapilli e blocos, bem calibrados (Fig. 4.23a), ricos em líticos poligenéticos, com dimensões variáveis (variam entre 5 e 63 cm) (Fig. 4.23b), podendo alguns atingir dimensões métricas (Fig. 4.23c), angulosos e vesiculares muito alterados. A pedra-pomes apresenta dimensões variáveis, pouco vesicular, com grandes clastos e de aspecto pouco alterado. Os clastos pomíticos podem estar inseridos em depósitos com ou sem matriz de cinzas finas. Quando existe matriz muitas vezes os limites são difusos. Alguns depósitos são ricos em xenólitos máficos. A cor desses depósitos varia entre diferentes tonalidades de cinzento e castanho (podendo ser mais escuras ou mais claras). Quase sempre têm solos desenvolvidos (com dimensões entre 8 e 13cm) no topo que estão intercalados entre os diferentes níveis pomíticos (Fig. 4.23d). Observaram-se afloramentos cujos níveis de solo negro parecem possuir alguns clastos de pedra-pomes dispersos e raros. Em alguns casos, não existe separação entre os diferentes dos depósitos o que pode significar as erupções que lhes deram origem não ocorreram durante muito tempo pelo que não houve tempo de se formar solos. Em alguns afloramentos observam-se falhas a cortar os depósitos (Fig. 4.23e), havendo casos em que as falhas ao serem ativadas provocaram a queda de material (Fig. 4.23f). Geralmente os depósitos possuem espessuras consideráveis, com mais de 10m.

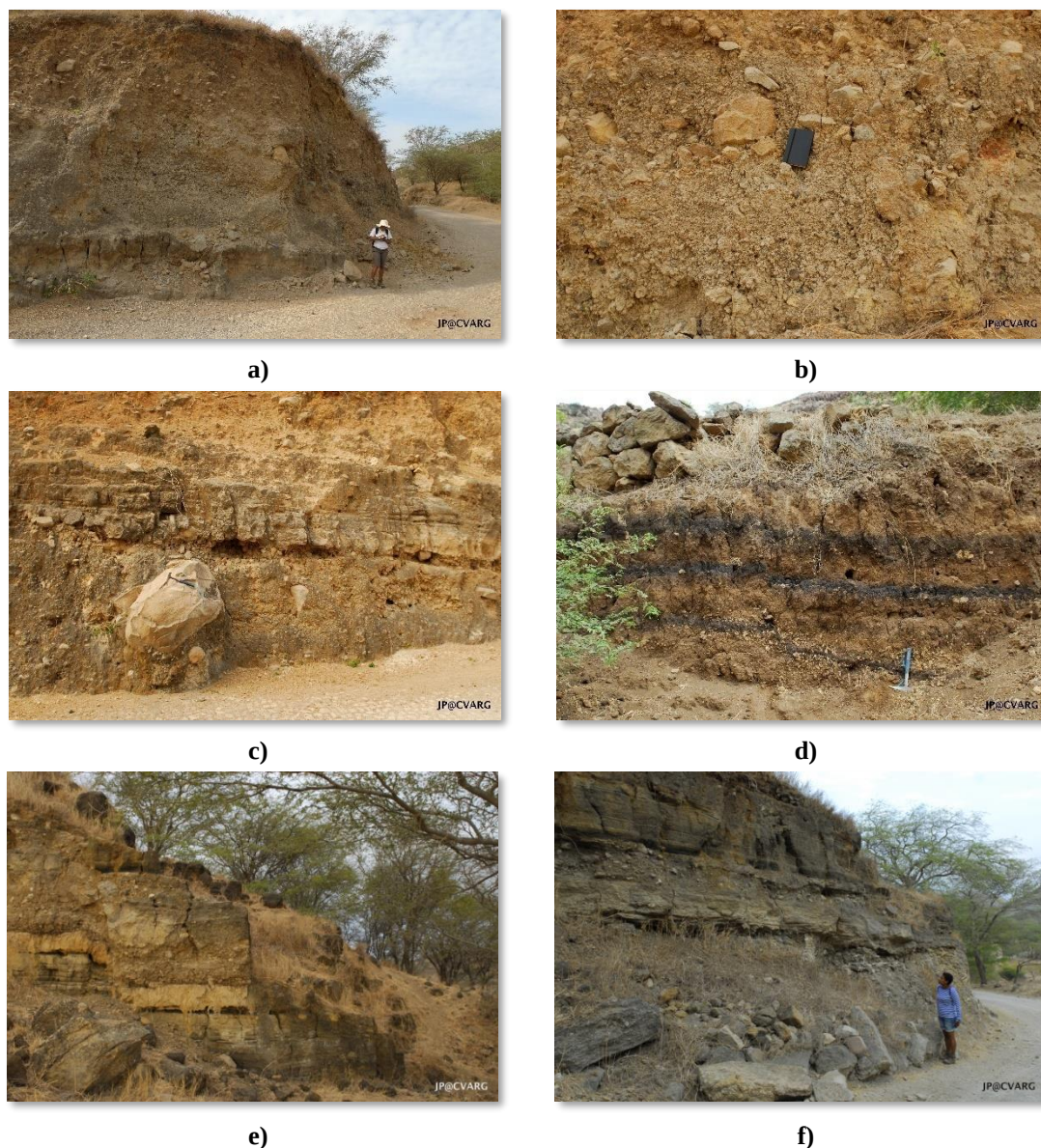


Figura 4.23. Depósitos piroclásticos de queda sem estratificação (imagens cedidas por José Pacheco da Universidade dos Açores): a) Aspeto geral de um depósito, na estrada para Cachaço, corte C7; b) Pormenor de líticos poligenéticos de dimensões variáveis, na estrada para Cachaço, corte C7; c) Depósito com lítico de dimensões métricas a destacar-se, na estrada para Cachaço, corte C7; d) Níveis de solos a intercalar níveis pomíticos, na estrada para Cachaço, corte C2; e) Presença de falhas a cortar depósitos, na estrada para Cachaço nas proximidades do corte C7; f) Presença de material remobilizado na base do depósito, na estrada para Cachaço nas proximidades do corte C7.

4.3.3.3. DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS E DE ESCOADAS LÁVICAS BASÁLTICOS

4.3.3.3.1. Características gerais que definem a litologia

Produtos vulcânicos de natureza química básica originam depósitos basálticos (s.l) geralmente formados por erupções do tipo efusivo ou moderadamente explosivo. Esses depósitos podem ser encontrados em forma de escoadas lávicas com diferentes aspectos (*aa*, *pahoehoe*, *pillow* lavas entre outros), como material piroclástico conhecido por

escórias. Tal como referido no capítulo 2.2, as escoadas lávicas estão associadas a fases efusivas e resultam de material em fusão expelidos à superfície como resultados de atividade vulcânica efusiva ou de baixa explosividade. Geralmente, apresentam grande diversidade de dimensões, formas externas e estruturas internas, que refletem as diferentes dinâmicas dos seus regimes de instalação. As escoadas lávicas possuem uma composição muito variada, desde carbonatíticas a basálticas, dacíticas a riolíticas, sendo que, para além da respectiva composição química, outros parâmetros influenciam as suas propriedades físicas, como é o caso do teor em voláteis, do conteúdo em cristais e do modo de arrefecimento da escoada.

Os depósitos de piroclastos, por seu turno, estão associados a fases explosivas e incluem sobretudo fragmentos resultantes directamente do arrefecimento e da solidificação de magma, bem como da fragmentação de rochas encaixantes, pré-existentes e já consolidadas. As escórias, piroclastos de cor escura, com vesicularidade, densidade e formas muito variadas, estão associadas a magmas pouco viscosos (básicos a intermédios), emitidas ainda fluídas, solidificam no ar ou depois de atingirem o solo, o que lhes confere formas muito diversas.

Os depósitos hidromagmáticos estão associados a atividade hidrovulcânica básica destacando-se: i) as *pillow lavas* (“lavas em almofada”): lavas submarinas que podem apresentar uma forma tubular ou alongada (daí também se designarem por “lavas em rolo”); ii) hialoclastitos: clastos vitrificados resultantes da fragmentação de lavas devido ao seu rápido arrefecimento em contacto com água. Este último termo tem, igualmente, uma aplicação mais generalizada, englobando todos os materiais vítreos gerados em erupções hidrovulcânicas básicas, incluindo aqueles derivados de escoadas submarinas, bem como os fragmentos de natureza explosiva (piroclastos submarinos).

4.3.3.3.2. Depósitos piroclásticos e de escoadas lávicas na Brava

Localização:

Na ilha Brava a presença de depósitos de natureza basáltica é rara tendo sido observados pequenos afloramentos nas seguintes localidades: Campo da Porca (Corte C3), nas proximidades da escarpa de falha do Vigia (Corte C5), na estrada para Cachaço nas paredes da caldeira de Campo Baixo (Corte C8). No alto de Tomé Barrás na estrada para

Palhal foram observados depósitos hidromagmáticos basálticos (nas proximidades do Corte C11). As lavas submarinas e os hialoclastitos foram observados na Fajã d'Água.

Descrição da litologia:

Um destes afloramentos foi observado nas imediações de Campo da Porca contendo depósitos de *surges* máficos, possivelmente basálticos (s.l.), com estratificação entrecruzada evidente, com variação lateral de espessura e com leitos lenticulares (Fig. 4.24a). Apresentam alguns líticos como figuras de carga (Fig. 4.24b). Apresentam alternância de leitos de cinzas e leitos de *lapilli* (fino a grosseiro). O topo é formado por cinzas basálticas finas. No geral os leitos grosseiros são mais grosseiros na base do afloramento (gradação normal). Possuem ainda um nível descontínuo da dimensão de areia fina (Fig. 4.24c) e bem calibrada de cor preta e muito rica em grãos brancos. Foram também observados alguns depósitos basálticos hidromagmáticos (Fig. 4.24c) com alternância de *lapilli* e cinzas basálticas, com figuras de fluxo, parecem estar associados a erupção hidromagmática basáltica, tendo sido cortados pela parede da caldeira.

Foram observados alguns depósitos de piroclastos basálticos por baixo de depósitos pomíticos grosseiros na estrada para Cachaço (Fig. 4.24d) e em Alcatraz foi observado o único cone de escórias da ilha (ver capítulo 2.2.). As escoadas lávicas foram observadas na Furna (Fig. 4.24a) e as *pillow* lavas foram observadas na Fajã d'Água associados a hialoclastitos (Fig. 4.24d).



a)



b)



Figura 4.24. Depósitos basálticos: a) Nível de piroclastos basálticos, Campo da Porca (corte C3) (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); b) Depósitos piroclásticos basálticos, na estrada para Cachaço (corte C8) (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); c) Depósitos basálticos de origem hidromagmática, nas proximidades do corte C11 na parede oeste da caldeira do Campo Baixo em Tomé Barrás (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); e, d) Pillow lava e hialoclastitos, na Fajã d'Água.

4.3.3.4. DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS E DE LAVAS CARBONATÍTICOS

4.3.3.4.1. Características gerais que definem a litologia

Os carbonatitos são rochas usualmente associadas a complexos de rochas alcalinas, podendo ocorrer como derrames lávicos e material piroclástico representando formas extrusivas e, ocorrer como diques ou filões revelando formas intrusivas. Tal como referido no capítulo 2.2, os depósitos carbonatíticos resultam de erupções cujas lavas são de baixas temperaturas (~ 500 a 700°C) e baixa viscosidade ($\sim 0.005 - 85$ Pas, menor do que a viscosidade da água) (Tierney, 2002). A baixa temperatura das lavas carbonatíticas indicam que aos fluxos carbonatíticos fundidos falta a incandescência das lavas silicatadas, assemelhando-se a escoadas de lama escura.

4.3.3.4.2. Depósitos piroclásticos e de escoadas lávicas carbonatíticos na Brava

Localização:

Na ilha Brava foram observados alguns depósitos de carbonatitos em três áreas: a Noroeste da ilha, em Mato Grande, nas proximidades de Nova Sintra, e em Santa Bárbara, e a sul, na área de Cachaço (junto a um depósito de água e na base do domo Cachaço, Corte C1).

Descrição da litologia:

Tal como os depósitos basálticos, os depósitos carbonatíticos, sob o ponto de vista do volume dos depósitos extruídos, surgem em afloramentos relativamente pequenos e

localizados, constituindo assim, o segundo tipo de litologia mais raro nesta ilha. A maioria dos depósitos carbonatíticos compreendem cinzas e *lapilli* de queda resultantes de atividade explosiva magmática e/ou hidromagmática e escoadas lávicas associadas a fases efusivas, sendo que contém abundantes fragmentos líticos de fonólitos e, ocasionalmente, de outras litologias. Na estrada que segue para o Mato Grande, 750 m a Sudoeste do centro da vila de Nova Sintra, os taludes expõem um depósito piroclástico de queda intercalado entre depósitos de queda pomíticos ambos com composição fonolítica (Fig. 4.25a). Este depósito carbonatítico é composto por cinzas finas estratificadas contendo cristais de biotite e pequenos fragmentos líticos de natureza variada (Fig. 4.25b). Foram observados dois afloramentos de uma provável escoada lávica carbonatítica, em Santa Bárbara e Cachaço.

A cerca de 300 m a sul de Santa Bárbara na estrada para Vinagre observa-se um afloramento constituído por uma provável escoada lávica (Fig. 4.25c), com cor cinzento-escura a negra com uma cinza muito fina de tom esbranquiçado por cima em alguns locais. O seu aspeto é fragmentado e possui uma direção de progressão para a costa leste da ilha.

No segundo afloramento observa-se material carbonatítico não fragmentado que pode ser lava (Fig. 4.25f). Esta provável lava com uma espessura de 70 cm parece estar a inclinar com uma tendência concordante com a inclinação da vertente do domo. Neste segundo afloramento também se encontrou alguns depósitos de piroclastos carbonatíticos observados na localidade de Cachaço, particularmente no cume ou junto à base do domo Cachaço, indicando esta associação à ascensão de magma carbonatítico de baixa viscosidade através dos sistemas de fraturas existentes neste domo. Na sua maioria são depósitos de cinzas e *lapilli* consolidados, evidenciando sinais visíveis de alteração. No flanco sudeste do domo fonolítico do Cachaço existem afloramentos carbonatíticos resultante da acumulação de *lapilli* grosseiros formando *spatter* (Fig. 4.25d), sugestiva de proximidade do centro eruptivo. O depósito de piroclastos carbonatíticos apresenta uma espessura de 130 cm e possui clastos centimétricos. Não tem estratificação, parece bem calibrado.



Figura 4.25. Depósitos carbonatíticos que ocorrem na Ilha Brava: a) Aspecto geral do depósito de piroclastos carbonatíticos, na estrada para Mato Grande. b) Pormenor do depósito com líticos de natureza e dimensão variada, mesmo afloramento, na estrada para Mato Grande; c) Escoda lávica carbonatítica, Santa Bárbara; d) Vista geral do depósito carbonatítico na base do domo Cachaço; e) Aspecto da provável escoda lávica, na base do domo Cachaço (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores); f) Pormenor do lapilli carbonatítico, na base do domo Cachaço (Imagem cedida por José Pacheco da Universidade dos Açores).

O facto de os depósitos carbonatíticos se sobreporem aos outros depósitos dá indicações que provavelmente estarão associados às erupções mais recentes na ilha e segundo Hoernle *et al.* (2002) alguns afloramentos de carbonatitos extrusivos mais recentes na

Brava possuem uma idade muito recente (< 1000 anos) com base na sua morfologia não-erodida. Para os carbonatitos intrusivos há referência de afloramentos na Brava mas não foram observados.

4.3.3.5. DOMOS FONOLÍTICOS

4.3.3.5.1. Características gerais que definem a litologia

Tal como o referido no subcapítulo 2.2, os domos resultam de magmas de composições evoluídas, muito viscosos e com muito pouca mobilidade, pelo que se formam em torno do centro emissor. Os domos evidenciam frequentemente uma estrutura maciça interna segundo camadas concêntricas (relacionadas com o crescimento do domo) e níveis mais externos compostos por material muito fragmentado e solto, do tipo brechóide (*crumble breccia*), o qual resulta da fracturação da crosta solidificada do domo, à medida que este cresce (Green & Short, 1971). Nalguns casos se desenvolvem coulées que são termos transicionais entre os domos baixos e as escoadas lávicas (s.s.) e caracterizam-se por uma curta e espessa extrusão lávica que apresenta características morfológicas comuns tanto aos domos como às escoadas lávicas (Pimentel, 2006). As propriedades reológicas destas lavas permitem que estas fluam sobre declives suaves em vez de formarem domos. Deste modo, verifica-se que o processo de instalação das coulées depende do declive do terreno, ara além das propriedades da lava envolvida (Blake, 1990).

4.3.3.5.2. Domos fonolíticos na Brava

Localização:

Na ilha Brava os domos encontram-se localizados essencialmente na parte sul da ilha (corte C1) podendo encontrar-se alguns domos nas zonas oeste e norte da ilha (ver mapa da localização dos domos no capítulo 2).

Descrição da litologia:

Na ilha Brava a maioria do vulcanismo efusivo está relacionada com a existência de magmas de elevada viscosidade (fonolíticos) sendo representada essencialmente pelos inúmeros domos com formas bem definidas, tanto no planalto como, sobretudo, nos flancos da ilha. Alguns domos apresentam até algumas centenas de metros de altura e um quilómetro ou mais de largura como o Monte Cachaço, no lado sul da ilha (Fig. 4.26a). Também existem alguns domos com *coulées* nos flancos costeiros da ilha (Fig. 4.26b).

4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

Alguns domos apresentam formas bem definidas e estão bem conservados enquanto que outros encontram-se desmantelados devido à erosão. Os domos existentes na Brava apresentam aspeto diferente, sendo que alguns apresentam o topo com forma arredondada, são largos e achatados como é o caso do Monte Largo, Morro das Pedras e do Monte Cachaço. Outros estão associado a coulées encontrando-se localizados em declives inclinados como o Moro Figueiral. A cor dos domos é cinzento claro.

Associados aos domos fonolíticos observam-se blocos de *crumble breccia* (Fig. 4.26c e 4.26d) no topo e nos flancos dos mesmos. Os blocos de *crumble breccia* observados apresentam diferentes dimensões, acumulados de forma caótica, de cor cinzento claro e encontram-se na parte superior dos domos.

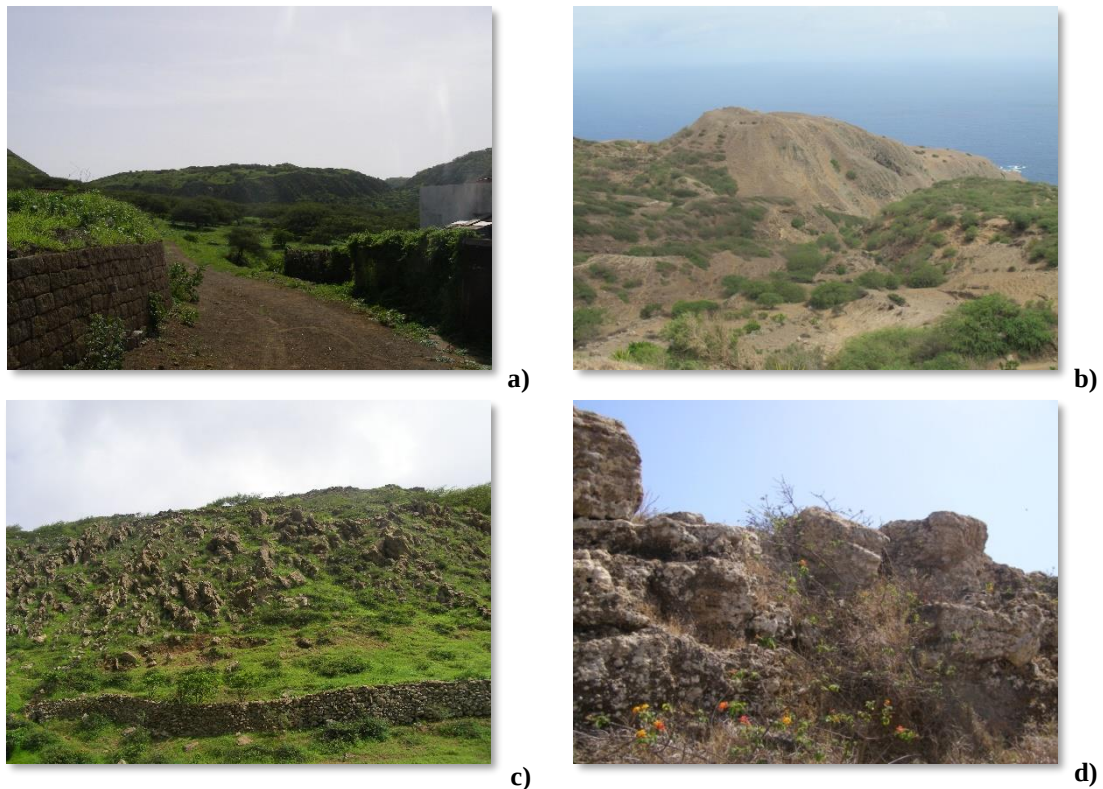


Figura 4.26. Domos fonolíticos: a) Aspeto achatado e largo do Domo Cachaço ou Mamana, na parte sul da ilha; b) Domo associado a coulées no Morro Figueiral, lado oeste da ilha; c) Aspeto geral dos *crumble breccia* observados em flancos do domo Morro Largo, na parte sul da ilha; b) Pormenor dos *crumble breccia* observados no topo do Morro Largo.

4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS ESTILOS ERUPTIVOS NA ILHA BRAVA

4.4.1. NOTA PRÉVIA

Apesar de não ter sido registada nenhuma erupção vulcânica desde o seu povoamento, a Brava é considerada ativa de acordo com as datações existentes sobre os depósitos mais recentes (Machado *et al.*, 1968; Day, 2008; Madeira *et al.*, 2010) que indicam erupções relativamente recentes com menos de 1000 anos (Hoernle *et al.*, 2002), a existência de estruturas vulcânicas bem conservadas e a presença de indicadores sísmicos e de desgaseificação. As características litológicas e geoquímicas dos seus depósitos vulcânicos são essenciais para a determinação dos estilos eruptivos existentes nesta ilha. Pelo que, o estudo dos estilos eruptivos na Brava foi feito através do levantamento detalhado de vários depósitos vulcânicos observados na ilha tendo em conta a avaliação da sua dispersão, a morfologia e características, para daí inferir as particularidades que marcaram a génese, o transporte e a deposição dos produtos que os constituem. O estudo realizado no ponto anterior, sobre os grupos litológicos, também ajudaram a determinar os estilos eruptivos na Brava.

De um modo geral, o vulcanismo nesta ilha é caracterizado pela ocorrência de vulcanismo submarino (mais antigo) e subaéreo (mais recente) representados por eventos explosivos e efusivos, de composição fonolítica, carbonatítica e basáltica. Dentro deste leque assim definido, destaca-se o vulcanismo hidrovulcânico, entendido como o vulcanismo onde a interação magma/água desempenha um importante papel na dinâmica eruptiva. O seu vulcanismo explosivo é representado por fases marcadas por atividade freatomagmática e magmática explosiva que produziu *block and ash flow*, *surges*, escoadas piroclásticas, depósitos piroclásticos de queda e numerosas crateras freatomagmáticas (*maars*, *s.l.*). Eventos efusivos são representados essencialmente por algumas escoadas lávicas, domos lávicos e coulées. A ocorrência de *pillow* lavas e hialoclastitos acima do nível do mar atual indica a ocorrência de erupções submarinas. Como tal, na ilha Brava a variedade de depósitos vulcânicos observados, de acordo com a nomenclatura proposta por Walker (1973) (Fig. 4.27), levam a considerar a existência de uma variedade de estilos eruptivos existentes que vão desde erupções havaianas, estrombolianas, plinianas, subplinianas, surtseianas a hidrovulcânicas.

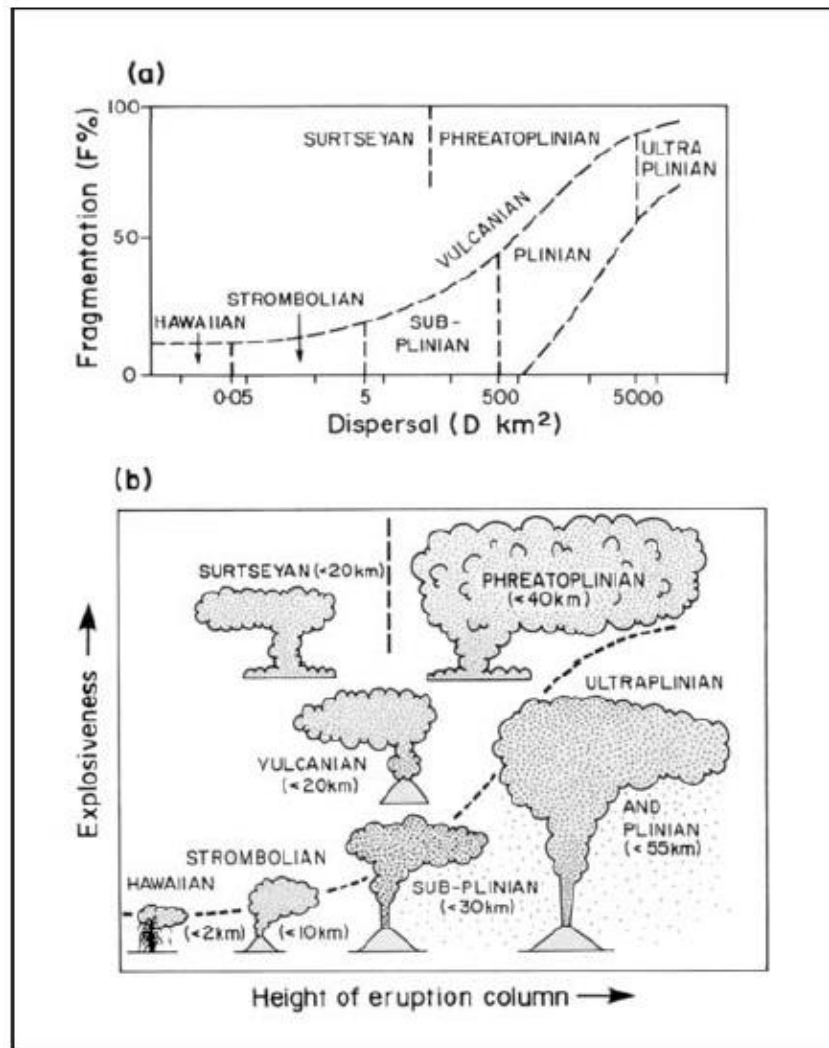


Figura 4.27. Classificação da atividade vulcânica proposta por Walker (1973) in Cas e Wright (1988).

4.4.2. ERUPÇÕES HAVAIANAS

O termo havaiano está relacionado aos vulcões do arquipélago do Havai, EUA. Elas representam erupções predominantemente efusivas, a partir de magmas essencialmente basálticos (s.l.), onde há extrusão de escoadas lávicas, pequenos volumes de depósitos piroclásticos e de acumulações de *spatter*, formação de vulcões em escudo e gases vulcânicos. As erupções carbonatíticas também podem ser englobadas neste estilo eruptivo relativamente à forma como ocorrem.

As erupções carbonatíticas possuem características peculiares comparativamente às erupções de natureza basáltica e traquítica. A lava tem uma composição abundante em silicatos, sódio, potássio e carbono, pelo que não necessita de temperaturas altas para que ocorra uma erupção, apresentando a lava destas erupções temperaturas entre os 500 e os 600°C (Bell 1998, Bell *et al.* 1998). As erupções são relativamente frias

(comparativamente às outras erupções) e tem ainda como característica o facto de não possuir o típico brilho associado à lava vermelha que se costuma ver nas erupções ditas “normais”. Esta diferença torna-se mais patente à noite quando a sua luz é apenas um leve brilho avermelhado e insuficiente para iluminar a escassos metros. Devido à peculiar composição da sua lava, esta comporta-se quase como se de água se tratasse por ser extremamente fluída, e ao solidificar-se torna-se numa espécie de pó branco-acinzentado (Bell 1998, Bell *et al.* 1998). Isto é explicado pela presença na lava de carbonato de potássio e também dá a esta zona um aspeto e cor característicos, diferente dos outros vulcões do mundo.

Na ilha Brava este estilo eruptivo representa o tipo mais raro em termos de futuras ocorrências. As erupções deste tipo estão essencialmente representadas por algumas erupções carbonatíticas e basálticas.

De acordo com alguns autores na ilha Brava as erupções carbonatíticas deram origem a carbonatitos intrusivos e extrusivos e foram os seguintes produtos:

- (1) Fluxos de lava carbonatíticos (Hoernle *et al.*, 2002) relacionados a um pequeno cone no Cachaço, perto da parte central da ilha, à qual se atribuiu uma idade muito recente (os últimos 1000 anos) com base na sua morfologia conservada, na descrição petrográfica e nas composições isotópicas de uma amostra;
- (2) Mourão *et al.* (2010) reconheceram cinco erupções carbonatíticas distintas através da identificação de 20 afloramentos de carbonatitos extrusivos. Estes afloramentos terão sido encontrados no noroeste da ilha ao redor de Nova Sintra, no sudoeste perto do Campo de Baixo e no sul nos arredores de Cachaço e Morro das Pedras. Defendem que a maioria dos carbonatitos extrusivos são piroclásticos, compreendem depósitos de cinzas e lapilli de queda magmáticos e/ou freatomagmáticos, um fluxo piroclástico e um provável fluxo de lava, e a maioria contêm abundantes fragmentos líticos de litologias fonolíticas e ocasionalmente outras. Fluxos de lava também podem estar presentes no afloramento de Santa Bárbara.

Os trabalhos de campo permitiram a observação de alguns afloramentos apontados pelos autores atrás referidos (ver ponto anterior referente aos grupos litológicos).

As erupções havaianas ocorridas na Brava também estão associadas a materiais máficos particularmente os basálticos que estão representados pela ocorrência de poucas escoadas lávicas observadas em pequenos afloramentos essencialmente do tipo *aa* e que ocorrem em locais como Furna, Santa Bárbara, Vinagre, Aguada e junto à base do cone de escórias do Alcatraz (ver capítulo 2.2). Na região da Furna foram reconhecidos derrames lávicos de pequenas dimensões aflorantes em posições estratigráficas superiores na sequência vulcânica.

4.4.3. ERUPÇÕES ESTROMBOLIANAS

Erupções estrombolianas (cujo nome deriva do vulcão Stromboli, Itália) caracterizam-se por serem moderadamente explosivas, representadas por várias explosões discretas e intermitentes, sem uma coluna eruptiva permanente. São características de magmas básicos e dão origem à projeção de bombas e de *lapilli* escoriáceos (com trajetória balística). São responsáveis pela formação de cones de escórias e podem ter escoadas lávicas associadas. De acordo com Sigurdsson *et al.* (2000) o magma envolvido é frequentemente de maior viscosidade do que nas havaianas, devido tanto a temperaturas mais baixas (por exemplo, 1080° C é comum no Monte Etna). Esse estilo em relação ao havaiano é caracterizado pela libertação de gás episódica, levando a pressões maiores, erupções mais intensas e graus mais elevados de ruptura magmática (ou seja, tamanhos de material ejetado menores).

As manifestações de vulcanismo do tipo estromboliano são escassas na ilha Brava. Os poucos testemunhos observados incluem o cone de escórias de Alcatraz e ainda alguns pequenos derrames lávicos quase todos localizados nas encostas nordeste da ilha. A erupção de Alcatraz constituiu um evento importante. Outros depósitos de erupções estrombolianas foram observados no cume do domo do Monte Miranda, nas margens das crateras da Achada de Chão de Ouro e na escarpa de falha do Vigia.

4.4.4. ERUPÇÕES PLINIANAS E SUBPLINIANAS

O estilo eruptivo pliniano deriva de “Plínio, O Velho” (naturalista romano), que assistiu à erupção do Vesúvio em 79 dC que soterrou a cidade romana de Pompeia. Erupções plinianas normalmente se inserem nos VEI de grau 4 a 8 (Newhall e Self, 1982) e são consideradas como as mais enérgicas e potencialmente devastadoras de toda a atividade

vulcânica. A erupção pliniana apresenta grande explosividade, com colunas eruptivas convectivas que atingem a estratosfera. As velocidades de ejeção rondam os 400 a 600 m/s provocando assim grande dispersão de piroclastos (*e.g.* pedra-pomes), que cobrem uniformemente grandes áreas (Cas & Wright, 1988). São erupções típicas de magmas diferenciados, muito viscosos (siliciosos), nomeadamente de composição traquítica, fonolítica e riolítica. Estão associadas à produção de piroclastos de trajetória balística associados a uma coluna eruptiva, a piroclastos de queda também associados a uma coluna eruptiva, a escoadas piroclásticas, a *surges*, à extrusão de domo na sua fase final, e, aos gases vulcânicos. Segundo Lockwood & Hazlett (2010) na classificação de Lacroix as erupções plinianas são caracterizadas como sendo erupções muito violentas com libertação de grandes quantidades de pedra-pomes e cinzas, geralmente associadas a escoadas piroclásticas, às vezes incluindo ignimbritos. O colapso de caldeira é frequentemente associada a erupções plinianas que podem formar colunas eruptivas na ordem dos 20-55 km de altura que penetra na estratosfera, injetando grandes quantidades de água e enxofre na atmosfera superior. Este tipo de erupções pode provocar o resfriamento global temporário. A maioria do que se sabe sobre erupções plinianas provêm de estudos dos seus depósitos de queda distintos.

Erupções subplinianas caracterizam-se por serem muito explosivas, com colunas eruptivas de até cerca de 30 km de altura e que se mantêm por longos períodos de tempo. Envolvem emissão de grandes volumes de piroclastos, associada a magmas dacíticos e riolíticos cujas velocidades de ejeção rondam os 100 a 400 m/s. As fases efusivas associadas dão origem a domos e *coulées*. As erupções subplinianas formam depósitos de pedra-pomes de queda que se assemelham a depósitos de erupções de fases plinianas no campo, especialmente perto da fonte eruptiva mas quando cartografados apresentam menor dispersão e volume. De um modo geral, os produtos efusivos representam apenas uma pequena fração da totalidade dos produtos eruptivos e encontram-se normalmente associados a depósitos piroclásticos de queda e/ou fluxo (Cas e Wright, 1988; Chester, 1993).

Na ilha Brava as erupções explosivas são representadas por uma quantidade significativa de volumosos depósitos de pedra-pomes de queda, presentes na zona sul da cratera do Campo Baixo, bem como vários fluxos de pedra-pomes e cinzas observados, como por

exemplo os expostos na escarpa da falha Vigia. Na parte sul da ilha, particularmente na estrada que liga Campo Baixo a Cachaço são observados inúmeros depósitos com fluxos de cinzas e pedra-pomes, escoadas piroclásticas soldadas (ignimbritos) e não soldadas e PDCs. Também são observados na estrada Furna-Nova Sintra vários afloramentos de depósitos de ignimbritos descritos no subcapítulo 4.2. Em alguns casos percebe-se que no final dos estilos plinianos e subplinianos terá ocorrido uma fase efusiva que deu origem aos inúmeros domos existentes na ilha.

No entanto, as características dos depósitos associados a erupções explosivas, quer plinianas quer subplinianas, observados na ilha Brava não permitiram distinguir com clareza o tipo de estilo eruptivo associado aos mesmos.

4.4.5. ERUPÇÕES SURTSEIANAS

Erupção Surtseiana (da Ilha de Surtsey, Islândia) representa uma atividade hidrovulcânica equivalente à estromboliana, associada a magmas básicos, provoca uma descoloração da água e a formação de bancos/ilhas. Forma vigorosas colunas eruptivas, de vapor e cinzas, estas últimas sob a forma de “jatos cipressóides” de cor escura. Também forma *base surges*, podendo ter várias semanas a meses de duração e provocar a edificação de anéis e de cones de tufos surtseianos. Este tipo de erupções forma depósitos tipicamente de *pillow* lavas e depósitos piroclásticos submarinos (normalmente formados cinzas finas e grosseiras que resultam quer da queda quer do fluxo). Normalmente os fragmentos de natureza explosiva (piroclastos submarinos) sedimentam-se dando origem a hialoclastitos. Os hialoclastitos também são clastos vitrificados resultantes da fragmentação de lavas devido ao seu rápido arrefecimento em contacto com água mostram uma estratificação nítida e coloração amarelada ou acastanhada típica (Cas e Wright, 1987). O rápido arrefecimento resultante do contacto magma-água dá origem a um depósito piroclástico no qual dominam as dimensões de cinzas e *lapilli*, com clara predominância para a primeira, denominando-se este processo de palagonitização.

Os depósitos de erupções submarinas observadas na Brava indicam a existência de erupções surtseianas particularmente em algumas zonas litorais. Este tipo de erupções representa o vulcanismo mais antigo da Brava. Na região litoral da Brava foram observadas uma sequência de lavas submarinas, hialoclastitos alternados com brechas e *pillow* lavas. Estes depósitos são cortados por inúmeros filões de orientação N-S e E-W.

Os depósitos de hialoclastitos apresentam cor amarelada ou acastanhada e uma matriz de cinzas muito fina. Em alguns locais, como na estrada para Fajã d'Água, observam-se depósitos cobertos por níveis de cascalheira de praia com calhaus muito rolados numa matriz de areia basáltica. Estas sequências vulcânicas submarinas são observadas essencialmente no litoral da ilha, particularmente a noroeste de Fajã d'Água, na região do Sorno e um pequeno afloramento na costa NW perto de Vinagre. O vulcanismo efusivo é representado pela formação de lavas submarinas e *pillow* lavas enquanto que a vulcanismo explosivo é representado pela ocorrência de hialoclastitos e brechas.

4.4.6. ERUPÇÕES HIDROVULCÂNICAS

Erupção hidrovulcânica (também designada freatomagmática ou hidromagmática) trata-se de uma atividade que engloba todos os fenómenos vulcânicos explosivos, resultantes da interação entre o magma e uma fonte externa de água, seja esta proveniente de um aquífero, de um sistema hidrotermal, do mar ou de um lago (Sheridan & Wohletz, 1983). O efeito imediato é o superaquecimento, ebulição, volatilização, aumento da pressão gasosa da água externa, e por conseguinte, na pressão confinante, permitindo a expansão explosiva dos gases produzidos. As erupções hidrovulcânicas podem ser subdivididas em vários tipos de erupções dentre as quais as freatomagmáticas.

Erupções freatomagmática, atividade vulcânica explosiva caracterizadas pela erupção do magma após a sua interação com um nível freático (Sterns & Vaksvik, 1935 in Fisher & Schmincke, 1984). A erupção é provocada pelo aumento no grau de superaquecimento e transferência de energia. Como resultado, o grau de fragmentação do magma é muito alto e a atividade explosiva poderá ser muito intensa produzindo colunas e plumas de erupção ricas em vapores com elevada proporção de cinzas e piroclastos com grande variação na vesicularidade.

Na ilha Brava existem várias evidências de hidrovulcanismo particularmente do tipo hidromagmático e subtipo freatomagmático. Uma parte significativa da sequência fonolítica aflorante na Brava teve origem no vulcanismo explosivo freatomagmático. Os materiais piroclásticos decorrentes da atividade freatomagmática são abundantes e incluem depósitos de *surges* e depósitos piroclásticos de queda, contendo abundantes fragmentos líticos e *lapilli* acrecionário indicativos do papel da água nos processos

eruptivos. Também são encontradas camadas espessas e compactas de cinzas consolidadas suportando blocos líticos dispersos de dimensões variáveis, que são interpretados como cinzas de fluxos relacionados com atividade freatomagmática (Madeira *et al.*, 2010; Mourão, 2012). Existem, ainda, níveis pouco espessos de *lapilli* pomítico de queda correspondentes a episódios magmáticos (s.s.) de curta duração que ocorrem de forma alternada à atividade freatomagmática. Os trabalhos de cartografia realizados durante as missões de campo nesta ilha permitiram evidenciar a existência várias estruturas vulcânicas de origem freatomagmáticas como os *maars* referidos no capítulo 2. Note-se que a distribuição geográfica da grande maioria dos *maars* existentes se encontra essencialmente restrita à área centro-norte.

As crateras freatomagmáticas da Achada de Chão de Ouro e depósitos relacionados também fazem parte deste tipo de estilo. A erupção da Achada de Chão de Ouro é posterior à de Alcatraz, tendo dado origem a crateras freatomagmáticas. Toda a área circundante foi coberta pelos seus produtos, com um depósito piroclástico rico em fragmentos líticos angulosos de sienito nefelínico, piroxenito e carbonatito (Madeira *et al.*, 2010; Mourão, 2012). Os depósitos mais próximos do centro emissor contêm abundantes partículas juvenis de composição máfica.

4.5. PERIGOS VULCÂNICOS NA ILHA BRAVA

4.5.1. NOTA PRÉVIA

Uma vez que não houve erupções históricas nesta ilha, a evidência para os diferentes estilos eruptivos é fornecida pelos vários depósitos e morfologias resultantes das várias erupções ocorridas num passado geológico recente. As características descritas apontam para a probabilidade do vulcanismo não se encontrar extinto na ilha Brava, pelo que futuras erupções poderão apresentar forte actividade explosiva, sobretudo se forem hidromagmáticas, implicando a interação entre magma e água, podendo afetar vastas áreas da ilha, quer pela queda de piroclastos, quer pela passagem de fluxos piroclásticos. No caso de erupções efusivas ou de fraca explosividade (com formação de escoadas lávicas e edificação de domos e cones de escórias) a área afetada será menor, sendo essencialmente em torno do centro eruptivo. No caso deste tipo de erupção se desenvolver em ambiente submarino, pode dar origem a actividade do tipo surtseano.

Tendo em conta o que se descreveu ao longo deste capítulo, particularmente em relação aos grupos litológicos e aos estilos eruptivos, deduz-se que na ilha Brava os perigos vulcânicos passíveis de ocorrer são: escoadas lávicas, escoadas piroclásticas, *surges*, piroclastos de queda, projeteis de trajetória balística, *lahars* e gases vulcânicos.

4.5.2. ESCOADAS LÁVICAS

Tendo em conta a quantidade de afloramentos de escoadas lávicas observadas na Brava, erupções futuras que possam dar origem a este tipo de perigo vulcânico serão pontuais e raras provocando efeitos locais, pelo que constitui o perigo vulcânico menos provável de ocorrer nesta ilha. O desenvolvimento de escoadas lávicas, quer basálticas quer carbonatíticas, pode verificar-se locais pontuais na sequência de erupções havaianas e/ou estrombolianas, como são os casos da Furna, Santa Bárbara, Cachaço e Campo Grande. Caso essas erupções ocorram nos flancos destas localidades é que os danos sejam maiores pelo que poderá ser possível colocar em prática localmente planos de acção para a minimização do risco associado ao potencial escoamento de lavas. Como o provam os depósitos de eventos surtseianos, constata-se que as zonas costeiras serão propícias à ocorrência deste tipo de erupções, como é o caso da Fajã d'Água.

4.5.3. ESCOADAS PIROCLÁSTICAS E *SURGES*

A predominância de erupções explosivas implícitas nas abundantes rochas piroclásticas na Brava, em particular depósitos piroclásticos de escoadas piroclásticas e de *surges*, implica que a maioria das erupções futuras na Brava terão um alto potencial de destruição e perda de vidas. Enquanto os depósitos de escoadas piroclásticas estão tipicamente confinados a vales, os *surges* são caracteristicamente móveis e por isso suscetíveis de afectar toda a ilha caso a fonte estiver localizada no planalto. No entanto, em caso de interação magma-água as erupções serão mais perigosas porque invariavelmente desencadeará explosões hidromagmáticas violentas conducentes ao desenvolvimento de escoadas piroclásticas, *surges* bem como de piroclastos de queda, que poderão afetar a ilha inteira. Este tipo de perigo vulcânico também está associado às fases efusivas de erupções plinianas.

A génese das escoadas piroclásticas, na ilha Brava, pode ter resultado (1) de eventos paroxismais de formação de crateras hidromagmáticas, (2) do colapso de colunas eruptivas de eventos magmáticos e hidromagmáticos, e (3) associadas à edificação de domos. Nesta ilha são abundantes os exemplos observáveis de depósitos de escoadas piroclásticas essencialmente constituídas por fluxos de blocos e cinzas pomíticos de natureza fonolítica.

Uma das características mais marcantes das sequências mais recentes na Brava é a ocorrência frequente de ignimbritos em vários locais. Estes estão associados a erupções vulcânicas muito explosivas (magmas ácidos), resultando do depósito de materiais provenientes das escoadas piroclásticas (essencialmente pedra-pomes) e podem apresentar-se soldados ou não soldados. Em caso de futuras erupções poderão cobrir áreas consideráveis na ilha, particularmente toda a Furna e Campo da Porca. Na ilha Brava a existência de inúmeros domos poderá estar associada à formação de escoadas piroclásticas.

Depósitos de *surges* são, também, particularmente comuns na Brava, às vezes formando a litologia dominante. As ocorrências de *surges* foram observadas em várias localidades da ilha como: Campo da Porca na parte sul da ilha, Alto Tomé Barrás na estrada para Palhal na parte oeste da ilha, no lado NW da ilha na estrada para Fajã d'Água, Estrada

Nova Sintra – Furna e Santa Bárbara na descida para Vinagre, a NE da ilha. Embora com menor capacidade destruidora que as escoadas piroclásticas, conhecem-se situações em que estes produtos de fluxo atingem distâncias superiores a 10 km com velocidades da ordem dos 100 km/h (Crandell *et al.*, 1984), o que poderá colocar a cidade de Nova Sintra, ou mesmo a ilha toda, em maior risco, caso a fonte eruptiva esteja localizada no centro da ilha.

4.5.4. PIROCLASTOS DE QUEDA

Este tipo de perigo está associado a erupções explosivas. A existência de depósitos de piroclastos de queda é muito comum na ilha Brava. Para este perigo destacam-se na Brava as cinzas e *lapilli* de queda e os projéteis de trajetória balística que em caso de erupções futuras poderão estar associados a danos consideráveis na ilha. Este tipo de perigo será estudado no subcapítulo seguinte com mais detalhes por se considerar que as erupções subplinianas/plinianas constituem o pior cenário em caso de ocorrência de erupções futuras.

4.5.4.1. CINZAS E LAPILLI DE QUEDA

De modo geral, são encontrados vários depósitos de cinzas e lapilli de queda essencialmente pomíticos intercalados com fluxos piroclásticos e *surges* em diversos locais da ilha, entre os quais pode-se observar na estrada para Fajã d'Água, na estrada para Cachaço e Campo Baixo. Estes depósitos estão associados a erupções subplinianas/plinianas e hidromagmáticas. Para o caso de ocorrência futura de erupções plinianas e hidromagmáticas poderão provocar danos em toda a ilha caso a área fonte se localize no planalto central.

Este tipo de perigo pode causar situações de destruição parcial e/ou total, pelo que os estragos mais significativos em termos de estruturas se podem estender até à cidade de Nova Sintra sendo que os danos mais consideráveis vão ocorrer nas localidades de Nossa Senhora do Monte e aos povoados próximos desta dada a proximidade da área eruptiva. Coloca-se a hipótese de ocorrência de um evento predominantemente hidromagmático, podendo também se registar uma erupção estromboliana ou surtseiana.

4.5.4.2. PROJÉTEIS DE TRAJETÓRIA BALÍSTICA

Como atrás referido, os projéteis de trajetória balística encontram-se associados à ocorrência de fenómenos explosivos, subaéreos ou submarinos, e, em função de parâmetros como a sua densidade, velocidade terminal e temperatura, podem ser responsáveis pela ocorrência de mortes ou de ferimentos, assim como pela danificação de estruturas.

Na ilha Brava são encontrados afloramentos em que se podem identificar figuras de carga com dimensões variadas, que representam blocos de trajetória balística, em alguns locais. Alguns depósitos destacam-se pela dimensão dos blocos que chegam a ser extremamente grandes. Foram observados no campo alguns afloramentos de cinzas e lapilli de queda com blocos maiores particularmente na região de Fajã d'Água, em Achada Bandonela e na estrada para Cachaço, sendo que os projéteis pomíticos ou basálticos terão sido formados por erupções hidromagmáticas. Para o caso de ocorrência de um evento de magnitude parecido ao que deu origem aos depósitos de Fajã d'Água, toda a região em torno desta localidade poderá ser atingida por material de trajetória balística passível de causar avultados estragos.

Em Alcatraz e arredores existem depósitos que foram formados por erupções estrombolianas. Como referido, este tipo de erupção é raro na ilha Brava. Os poucos testemunhos observados incluem o cone de escórias de Alcatraz e ainda alguns pequenos derrames lávicos quase todos localizados nas encostas nordeste da ilha. Caso ocorra uma erupção estromboliana futura os efeitos serão pontuais e provavelmente a maior parte do material formado se depositará no mar.

4.5.5. LAHARS

Na ilha Brava a atividade hidromagmática poderá potenciar a formação de *lahars* pois (1) as partículas finas das nuvens vulcânicas hidromagmáticas atuam como núcleos de condensação, promovendo o desenvolvimento de chuva (por exemplo, depois da erupção de 1995 na ilha do Fogo registaram-se aumentos de pluviosidade em relação a anos anteriores), (2) os depósitos hidromagmáticos nas vertentes da ilha aceleram os processos erosivos e o desenvolvimento de regimes de escoamento torrencial e (3) os elevados

teores de vapor de água associados aos *surges* e escoadas piroclásticas de origem hidromagmática possibilitam o desenvolvimento de *lahars* a partir destas escoadas.

Na ilha Brava, uma das zonas mais vulneráveis a este tipo de perigos é a vertente leste, nas proximidades de Fajã d'Água, contudo não se inclui a hipótese de existirem outras zonas na ilha com condições favoráveis para que estes possam ser ativados. Note-se que este fenómeno pode acontecer em qualquer altura em que haja precipitações suficientes para os desencadear, independentemente que seja ou não um período eruptivo.

Como se infere da análise dos produtos e depósitos vulcânicos, a evolução da Brava tem sido marcada por importantes fenómenos hidromagmáticos, no decurso dos quais, por vezes, se desenvolveram *lahars*. Atendendo à presente morfologia do planalto central, admite-se que apenas na eventualidade de erupções semelhantes, hidrovulcânicas e de grande explosividade, se possam criar as condições necessárias para a produção de escoadas de lama primárias. Perante um evento de tal magnitude, naturalmente que toda a região em causa poderá ser afectada, estendendo-se certamente ao resto da ilha os problemas associados a outros produtos vulcânicos.

4.5.6. GASES VULCÂNICOS

O perigo de emissão de gases vulcânicos está associado a desgaseificação difusa e a fumarolas mas na ilha Brava só existe desgaseificação difusa, em algumas localidades.

Durante a missão de campo realizada em Julho de 2011 à ilha Brava, no âmbito deste trabalho, realizou-se uma campanha expedita tendo sido efetuadas algumas medições de desgaseificação difusa do solo nos seguintes locais: na estrada para Fajã d'Água, Cova Joana, Tomé Barrás, na estrada para Lomba Tantom, Campo Baixo, na estrada para Cachaço, Cachaço, Cova Lima Doce e Vinagre.

A metodologia adotada consistiu na medição da concentração de CO₂ no solo em alguns pontos, em cujos nós se introduziu uma sonda de ferro até cerca de 1 metro de profundidade no solo. O gás foi então aspirado e a sua concentração determinada por um analisador portátil automático de CO₂, com detetor de infravermelhos, preparado para

4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

medir concentrações numa gama variável entre 0 e 100%. Os resultados obtidos indicam valores que variam entre 0 e 21% (tabela 4.4).

Tabela 4.4. Resultados da amostragem da concentração de CO₂ na ilha Brava.

Ponto de amostragem	Local	Coordenadas		Concentração de CO ₂
		M	P	
1	Estrada para Fajã d'Água	0744686	1645827	0
2	Cova Joana	0746182	1644419	0,4
3	Cova Joana	0746268	1644403	0,5
4	Tomé Barras	0745389	1643662	0,1
5	Tomé Barras	0745373	1643383	0,1
6	Estrada para Lomba Tantom	0745043	1643323	0,2
7	Estrada para Lomba Tantom	0744835	1643247	0,3
8	Campo Baixo	0744724	1643255	0
9	Campo Baixo	0745134	1643056	0,3
10	Estrada para Cachaço	0745502	1643182	0,2
11	Estrada para Cachaço	0745620	1642908	0
12	Estrada para Cachaço	0745782	1642549	0,3
13	Estrada para Cachaço	0745882	1642279	0,5
14	Cachaço	0747783	1641568	0
15	Perto da falha do Vigia	0745918	1641493	0,2
16	Perto da falha do Vigia	0745889	1641448	0,2
17	Perto da falha do Vigia	0745864	1641420	0,1
18	Perto da falha do Vigia	0745822	1641402	0,2
19	Perto da falha do Vigia	0745804	1641382	0,2
20	Cova Lima Doce	0746321	1643621	0
21	Vinagre (dentro da galeria)	0749341	1645134	21
22	Vinagre (fora da galeria)	-	-	0,7
23	Vinagre (junto à entrada da galeria)	-	-	15
24	Vinagre (nas ruínas)	-	-	13,5
25	Vinagre (nas ruínas)	-	-	13,5
26	Vinagre (nas ruínas)	-	-	1,5
27	Vinagre (nas ruínas)	-	-	5
28	Vinagre (nas ruínas)	-	-	0,2
29	Vinagre (na ribeira)	-	-	0

Convém realçar foram obtidos valores médios entre 0 e 0,5% para a concentração de CO₂ para a maioria das localidades atrás indicadas, verificando-se que o valor máximo de 21% no interior da galeria existente na localidade de Vinagre. Constatou-se que na localidade de Vinagre os teores eram mais elevados do que os registados nas outras localidades. Como o âmbito deste trabalho não era fazer um estudo da desgaseificação difusa, por isso não se fez uma amostragem significativa pelo que não se fez uma análise pormenorizada dos resultados.

No entanto, estudos realizados na Brava sobre a desgaseificação difusa indicam que existem duas áreas (Baleia e Vinagre) que apresentam elevados teores de CO₂ no solo e,

que produziram vários acidentes letais a animais como pombos e cabras (Rodriguez *et al.*, 2010; Dionis *et al.*, 2015).

Estes autores realizaram levantamentos de emissão difusa de CO₂, em 2008, 2009, 2010 e 2012 e as medições de fluxo de CO₂ no solo foram realizadas seguindo o método da câmara de acumulação por meio de uma câmara de acumulação portátil e um sensor de infravermelhos, bem como medições da temperatura do solo a uma profundidade de 15-40 cm. Durante os levantamentos os maiores valores foram medidos nas aldeias de Baleia e Vinagre, tendo-se verificado um aumento significativo do valor máximo na taxa de emissão de CO₂ estimada para toda a ilha: 42 e 233 dT⁻¹ para 2010 e 2012, respetivamente (Dionis *et al.*, 2012a). A figura a seguir indicada (Fig. 4.28) mostra a distribuição espacial do fluxo de CO₂ do solo onde várias áreas foram caracterizadas por valores relativamente altos localizados no centro da ilha (Dionis *et al.*, 2015).

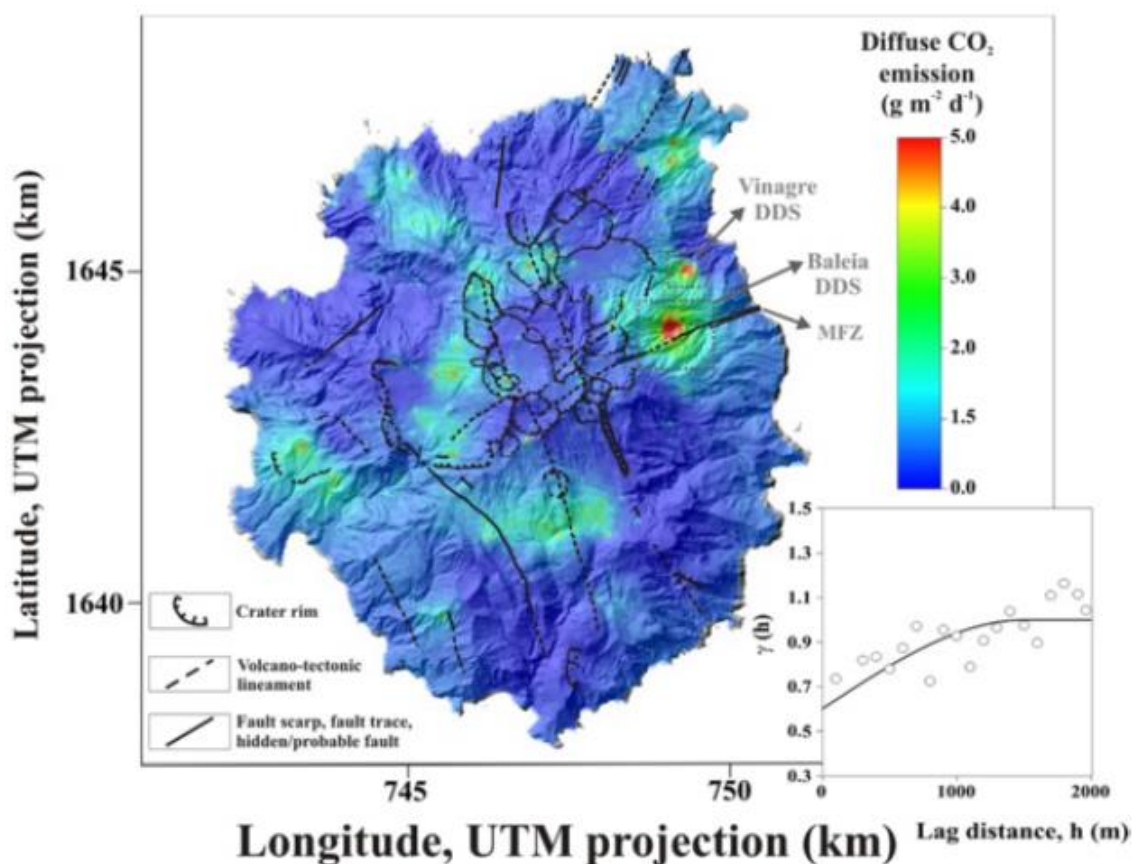


Figura 4.28. Mapa de distribuição espacial da emissão de CO₂ difuso para a ilha Brava com as estruturas vulcânico-tectónicas definidas por Madeira *et al.* (2010) (Dionis *et al.*, 2015).

Estes autores fizeram a sobreposição dos resultados obtidos com as características vulcanotectónicas propostas por Madeira *et al.* (2010) (ver figura 4.43.). Verificaram que uma estrutura de desgaseificação difusa (Baleia DDS) observada poderá estar ligada à Zona de Falha Minhoto (MFZ), que atravessa a ilha numa direção NE-SW, sendo caracterizada por valores de fluxo de CO₂ anómalos, o mais elevado medido ao longo da ilha em conjunto com os medidos no Vinagre DDS. No entanto, nenhuma estrutura tectónica parece estar associada à zona do Vinagre DDS. O valor médio estimado para o total de CO₂ difuso libertado na Ilha Brava durante o estudo foi de $50 \pm 10 \text{ td}^{-1}$ (Dionis *et al.*, 2015).

4.6. AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À QUEDA DE PIROCLASTOS

4.6.1. NOTA PRÉVIA

A complexidade de qualquer sistema vulcânico e de seus processos eruptivos associados, juntamente com a falta de dados que é típico de muitos vulcões ativos em áreas vulcânicas (e em particular aqueles com longos períodos entre erupções), faz da quantificação vulcânica do perigo um desafio. Uma avaliação dos perigos vulcânicos a longo prazo é necessário para saber como a próxima erupção poderia ser. Ela se baseia no passado histórico do vulcão e as informações necessárias provém do registo geológico. A caracterização de erupções vulcânicas no passado, geralmente com base na determinação de parâmetros eruptivos derivados do estudo de produtos eruptivos encontrados nos registos geológicos, é crucial para a compreensão do comportamento eruptivo passado e para prever futura atividade vulcânica.

A suscetibilidade expressa a “incidência espacial do perigo e representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência” (Julião *et al.*, 2009). Para este estudo optou-se por estudar a suscetibilidade em detrimento da perigosidade, devido às dúvidas que ainda persistem relativamente à sequência vulcanoestratigráfica dos eventos registados na ilha Brava.

A análise dos perigos vulcânicos, feita ao longo deste capítulo, indica que as erupções mais frequentes nesta ilha são as hidromagmáticas e constituem o cenário mais provável à ocorrência de erupções futuras. No entanto, a queda de piroclastos na Brava foi simulada assumindo uma erupção pliniana de VEI 4, tendo-se considerado os impactos significativos a distâncias superiores a várias dezenas de quilómetros da área fonte, o que representaria uma das erupções de elevada intensidade que em caso de ocorrência futura de erupções constitui o pior cenário que poderia ocorrer na ilha. Optou-se pela avaliação da suscetibilidade à queda de piroclastos devido à predominância de depósitos observados e estudados de acordo com algumas características como a sua dimensão, a espessura, a dispersão, o tamanho das estruturas vulcânicas particularmente os *maars* (*s.l.*).

Com tal atitude pretende-se contribuir para a avaliação do risco vulcânico nesta área, não obstante reconhecer-se que tal estudo deverá implicar, numa outra fase, a análise complementar da perigosidade/suscetibilidade da região em causa à cobertura de outros produtos vulcânicos oriundos de qualquer um dos vulcões que limitam a área em apreço. O estudo aqui apresentado teve em conta a sua eventual transposição para outras regiões vulcânicas ativas do arquipélago caracterizadas pela existência de vulcanismo explosivo. Tal abordagem partiu da constatação de que a análise dos perigos vulcânicos, em geral, e dos piroclastos de queda, em particular, deve assentar em premissas idênticas para todo o arquipélago, de modo a que a sua aplicação quer em termos do ordenamento do território, quer no âmbito do planeamento de emergência seja coerente e transversal.

4.6.2. MODELAÇÃO DE PIROCLASTOS DE QUEDA

Existe uma ampla gama de modelos descritos na literatura científica para a modelação de processos vulcânicos. Estes modelos, chamados de modelos físicos diretos, são aqueles que, com base numa série de parâmetros que caracterizam a erupção, avaliam os seus efeitos, em qualquer ponto e a qualquer instante no tempo. Nos últimos vinte anos, a modelação física de processos vulcânicos tornou-se uma das linhas de investigação em Vulcanologia, que constitui uma ferramenta essencial não só para quantificar vários processos vulcânicos, mas para entender como e porque ocorrem estes processos (Felpeto, 2002).

A modelação física é utilizada como uma ferramenta para a gestão do risco vulcânico. O papel fundamental da modelação física é o de ser capaz de simular os efeitos de uma erupção e o seu impacto sobre o meio ambiente. Para tal, os modelos físicos de processos vulcânicos usados na criação de mapas de perigo vulcânico e, portanto, na gestão do risco vulcânico deverão: (1) descrever os processos físicos básicos envolvidos no fenómeno; (2) não requer os parâmetros que não podem ser determinados ou pelo menos delimitados; e, (3) ser capaz de reproduzir o efeito de erupções passadas (Felpeto, 2002). O emprego de modelos físicos de processos vulcânicos no âmbito da gestão de risco vulcânico não se limita à produção de mapas de suscetibilidade, com o seu uso permite a determinação de estratégias mitigadoras do risco vulcânico.

A queda de piroclastos que foram injetados para a atmosfera por uma coluna convectiva depende basicamente da velocidade limite de queda das partículas, da altura a que as

partículas são elevadas pela coluna e da velocidade e direção do vento ao longo da descida das partículas. Isto é, todos estes fatores, por sua vez dependem de múltiplos parâmetros, que permitem calcular a trajetória de cada partícula e, portanto, determinar a sua posição final à superfície terrestre. O resultado da sobreposição de todas as partículas de diferentes tamanhos, forma e densidade dá lugar aos depósitos de queda.

A modelação da queda de piroclastos pode ter dois objetivos diferentes. Por um lado, deduzir, a partir das características dos depósitos, diversos parâmetros relativos às fontes que os deram origem, tais como a altura máxima alcançada pela coluna, o volume total de material emitido, suas características granulométricas, etc. A informação obtida deste tipo de modelos é fundamental para conhecer o comportamento do vulcão em erupções passadas e inferir as características de uma possível erupção futura. Este tipo de modelos denomina-se modelos inversos.

O outro objetivo é desenvolver modelos que permitam prever, tanto a evolução da nuvem de cinzas, como a distribuição à superfície das mesmas em caso de uma crise vulcânica. Este tipo de modelos representa uma ferramenta fundamental, tanto para a mitigação do perigo em zonas que possam ser afetadas pela queda de piroclastos, como para a definição de alertas em caso de uma erupção. Este tipo de modelos denomina-se modelos diretos.

Como no presente trabalho utiliza-se modelos diretos, neste subcapítulo faz-se um resumo sobre os principais modelos diretos publicados, para a simulação da evolução da coluna eruptiva bem como as informações dos depósitos.

Segundo Felpeto (2002) os primeiros modelos de queda de piroclastos de erupções plinianas surgiram de estudos da dispersão de material de explosões nucleares tendo sido a erupção do Monte Sta. Helena em 1980, nos Estados Unidos da América, que proporcionou uma oportunidade única para estudar o fenómeno de queda de cinzas já que, muitos dos parâmetros (tais como a altura da coluna ou o campo dos ventos, espessura dos depósitos e granulometria) puderam ser medidos durante o evento explosivo antes que os ventos removessem parte do material depositado.

4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

Carey e Sigurdsson (1982) desenvolveram uma simulação numérica para explicar a espessura máxima secundária de um depósito a 325km do vulcão do Monte Sta. Helena e a ocorrência de uma distribuição bimodal do tamanho das partículas. A simulação considerava como parâmetros de entrada os dados obtidos dos produtos da erupção, a altura da coluna e os ventos medidos durante a mesma e um fator empírico para controlar a expansão da pluma. O resultado mais importante da simulação foi apontar a importância da agregação de partículas durante o processo de queda.

Hopkins e Bridgman (1985) desenvolveram um modelo mais completo baseado no cálculo do eixo principal de dispersão segundo a trajetória de 20 partículas de tamanhos diferentes e na distribuição de toda a massa de cinzas segundo o eixo calculado conforme uma função bidirecional normal. O modelo foi aplicado à erupção de 1980 do Monte Sta. Helena, utilizando como parâmetros de entrada: a altura da coluna observada, a disposição das dimensões de partículas obtidas em amostragens de depósitos e a taxa de expansão da nuvem de cinzas obtida a partir de imagens de satélite. Os resultados obtidos para a trajetória do eixo principal de dispersão mostram uma grande correlação com os dados observados, enquanto que para a distribuição das espessuras, os autores tiveram que empregar uma distribuição de tamanhos de partículas significativamente distintas das observadas, sendo que o conteúdo de partículas muito finas ($10\mu\text{m}$) era muito menor do que a distribuição obtida para os depósitos com partículas de $60\mu\text{m}$, que era muito maior. A explicação dos autores para esta diferença entre as dimensões é devido ao facto de as partículas mais finas se agregarem durante a queda. No entanto, estas agregações são tão frágeis que são destruídas durante o processo de medição dos tamanhos das partículas em amostragens de campo.

Posteriormente, um novo tipo de modelo começou a ser desenvolvido, os denominados modelos de advecção-difusão. Suzuki (1983) desenvolveu um modelo baseado na dispersão de partículas desde a coluna eruptiva, sendo que a advecção horizontal é devido ao vento e difusão horizontal das partículas é devido à turbulência atmosférica e queda de partículas por efeito de gravidade. O autor, baseando-se em dados experimentais de Wilson e Huang (1979), propõe uma expressão para o cálculo da velocidade limite das partículas em função do seu tamanho, forma, densidade e, ainda, da gravidade, viscosidade e densidade do ar. As maiores limitações do modelo são a generalização do vento constante (modificado por Glaze e Self, 1991) e o eixo, que não se baseia num

modelo realista de estrutura ou dinâmica da coluna (Carey, 1996), pelo que os padrões de queda são controlados por parâmetros empíricos que não podem ser diretamente relacionados com o processo eruptivo.

Armienti *et al.* (1998) desenvolveram um modelo de advecção-difusão tridimensional no qual se considera nula a componente vertical do vento e constantes as componentes horizontais para cada coluna.

Oberhuber *et al.* (1998) e Herzog *et al.* (1998) propuseram um modelo para a simulação de plumas vulcânicas que poderiam ser empregues para avaliar o depósito de queda resultante de uma erupção pliniana. O modelo, denominado ATHAM (Active Tracer High Resolution Atmospheric Model) simula explosões vulcânicas em condições atmosféricas realistas. Assumindo que todas as partículas são pequenas, as equações do modelo simplificaram-se de modo que, além da concentração das fases líquidas e gasosas, o modelo prevê valores médios de momento e calor. O modelo, também tem em conta processos microfísicos com o intercâmbio de calor e momento entre o ar seco, o vapor de água, gotas de chuva, cristais de gelo e partículas vulcânicas. Os autores dos trabalhos citados estudaram diversos tipos de erupções teóricas para avaliar a influência de distintos parâmetros atmosféricos no desenvolvimento da pluma. Assim, por exemplo, mostram como a energia libertada ao condensar-se em vapor de água que é arrastado pela pluma pode aumentar notavelmente a altura máxima alcançada pela coluna eruptiva (até 13% para uma coluna de 14km em condições tipicamente tropicais). Apesar da parametrização dos marcadores atmosféricos ser muito detalhada, a das partículas é mais simples, considerando unicamente dois tamanhos de partículas (0,60mm e 2mm) e a simetria esférica das mesmas. Para que este modelo seja aplicado às previsões da evolução de nuvens de cinzas seria preciso incluir um maior número de tamanhos de partículas vulcânicas e considerar estas nos processos de acreção considerados no modelo.

Felpeto (2002) propõe um modelo que pode ser considerado como um modelo de advecção-difusão. Este modelo assume que todo o material é emitido no momento inicial da erupção com formação de uma coluna vertical, ignorando os efeitos da dimensão horizontal. Adotando uma determinada distribuição do volume do material entre os diferentes tipos de partículas e ao longo da coluna eruptiva, o efeito de advecção é

estimado para cada tipo de partícula e para a altura inicial de cada coluna, calculando a sua trajetória segundo a velocidade limite de queda e o campo de vento. O efeito da difusão atmosférica é estimada de acordo com o valor da difusividade do ar horizontal e o tempo gasto para as partículas chegarem à superfície. O depósito final é obtido pela soma dos resultados obtidos para todos os tipos de partículas considerados. Para a validação do modelo devem existir condições necessárias para cada fracção transversal da pluma tais como (1) a variação horizontal do vento deve ser desprezável para a largura da nuvem de cinzas e (2) a variação do campo de vento deve ser desprezável para o tempo necessário para as partículas alcançarem a superfície. Geralmente, quanto menor a erupção, menor será a altura da coluna e menor o tempo necessário para as partículas se depositarem à superfície e, menor também será a largura da nuvem de cinzas e, conseqüentemente, o depósito. Este modelo assume que, longe da área fonte, o transporte das partículas a partir de uma coluna pliniana é controlado pelo efeito advectivo do vento, a difusão devido à turbulência atmosférica e a velocidade de sedimentação das partículas.

4.6.3. MODELAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À QUEDA DE PIROCLASTOS NA ILHA BRAVA

4.6.3.1. SELEÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A escolha do modelo numérico a utilizar para a modelação da queda de piroclastos depende, particularmente, dos objetivos do estudo e do tipo de dados existentes para a área vulcânica que se pretende estudar. Neste estudo, a inexistência de dados obtidos a partir de medições diretas na ilha Brava e o facto de dados de outras regiões vulcânicas poderem não representar convenientemente as características dos produtos de futuras erupções, levou a que, no âmbito do presente trabalho, se tivesse optado por realizar a simulação da queda de piroclastos empregando o modelo probabilístico VORIS (**VO**lcanic **R**isk **I**nformation **S**ystem) (Felpeto *et al.*, 2007).

O modelo utilizado para simular a piroclastos é um modelo probabilístico proposto por Felpeto (2002), que assume que, longe das áreas fonte, o transporte das partículas a partir de uma coluna resultante de uma erupção pliniana é controlado pelos efeitos do vento advectivo, da difusão devido à turbulência atmosférica e da velocidade de sedimentação das partículas.

A ferramenta utilizada é o VORIS baseada em SIG para a avaliação dos perigos vulcânicos, cujo objetivo é fornecer ao usuário as ferramentas necessárias para a geração de cenários de perigos vulcânicos e mapas de perigos para os diferentes riscos vulcânicos, com base em simulações numéricas desses perigos (Felpeto, 2002; Felpeto *et al.*, 2007). Esta ferramenta é capaz de simular a queda de cinzas, fluxos de lava e fluxos piroclásticos densos (PDC). A versão usada nesse trabalho é VORIS 2.0.1, que também inclui ferramentas para o cálculo de suscetibilidade a cada um dos perigos vulcânicos.

O programa de simulação de queda de piroclastos VORIS (Felpeto *et al.*, 2007) necessita de alguns parâmetros de entrada, que serão a seguir caracterizados discutindo-se os valores a utilizar para cada um deles e apresentando-se a metodologia utilizada para a sua determinação, quando aplicável.

4.6.3.2. CARACTERIZAÇÃO E DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS UTILIZADOS

De acordo com os estilos eruptivos passíveis de ocorrerem na ilha Brava e descritos no subcapítulo 4.3 para a realização dos possíveis cenários eruptivos optou-se pela escolha do estilo eruptivo que constitui o pior cenário de ocorrência de erupções no futuro. Dado o número significativo de depósitos piroclásticos de queda encontrados optou-se pela simulação da queda de piroclastos de uma erupção explosiva, do tipo pliniano, utilizando os parâmetros. Para a modelação da queda de piroclastos na nossa área de estudo foram necessários os seguintes parâmetros:

a) Ponto de origem

O ponto de origem corresponde ao valor mínimo das coordenadas da grelha resultante. Para este trabalho como ponto de origem selecionou-se um ponto que fica fora da ilha cujas coordenadas são: $X = 80839$ e $Y = 14609$, de modo a permitir que toda a ilha seja incluída no domínio do cálculo.

b) Definição da área fonte

Um dos problemas que se coloca na simulação de um evento eruptivo reside, naturalmente, na determinação da área fonte. Para a ilha Brava a região centro-norte constitui uma potencial área fonte devido à existência de inúmeros *maars* (s.l.), sendo que qualquer um dos *maars* cartografados no capítulo 2 poderá constituir a área fonte. Importa

realçar que apesar de se saber que os maars não são formados por erupções plinianas, a sua escolha deveu-se ao fato de, devido ao seu estado de conservação, representar as formas vulcânicas mais recentes da ilha. Após a identificação das características morfológicas e dos centróides de cada um desses *maars* (s.l.) e baseando-se em dados morfoestruturais da ilha escolheu-se um ponto no centro da ilha, o *maar* Fundo Grande, para a realização das simulações devido ao facto (1) deste estar muito bem preservado e (2) pela sua localização e altitude (962 m) (caso ocorra uma erupção neste *maar* a ilha toda pode ser afetada dependendo da direção dos ventos). Como tal, determinaram-se as coordenadas desta área fonte, sendo $X = 85662$ e $Y = 19707$.

c) Volume do depósito

Na ilha Brava foram observados vários depósitos de queda mas para a simulação de cenários eruptivos decorrentes de uma erupção pliniana e optou-se pela escolha de um depósito localizado no chão da caldeira de Campo Baixo (localizado num ponto de extração de inertes) cuja espessura é superior a 10m (ver corte 9, no subcapítulo 4.2.2. referente aos cortes geológicos). Nas erupções de VEI4 a altura da coluna varia entre os 10km e 25 km e o volume varia entre os $0,1\text{km}^3$ e 1 km^3 , sendo esses os valores assumidos para a modelação.

d) Parâmetro de forma da coluna (A)

O parâmetro A é o que controla a forma da coluna eruptiva e está associada à distribuição vertical do material na coluna. Quanto mais baixo for o valor do parâmetro, maior será a localização do máximo de concentração. O parâmetro A é um valor constante dependente da erupção. Para este parâmetro foi utilizado o valor 15.

e) Amostra utilizada (granulometria)

Relativamente às partículas para a simulação optou-se por usar a amostra BRS-008 (depósito do local da extração de inertes na caldeira de Campo Baixo) porque representa um depósito de queda (ver subcapítulo 4.2.3) e por ter sido identificada como o pior cenário eruptivo encontrado na ilha em termos de dimensão e espessura do depósito. Para os tamanhos das partículas foram considerados num intervalo de -4 a 4 (ϕ), cobrindo, assim, toda a gama de tamanhos de partícula observados neste depósito.

De acordo com os dados obtidos na granulometria deste depósito (ver subcapítulo 4.2.3), foram utilizados os seguintes dados:

- Média ($Md\phi$) da distribuição do tamanho das partículas, expressa em unidade ϕ . Para as simulações realizadas o valor da média é igual a -1,3;
- Desvio-padrão ($\sigma\phi$) da distribuição do tamanho das partículas, expresso em unidade ϕ . Para este parâmetro o valor utilizado nas simulações é igual a 1,46;
- Valor mínimo de ϕ utilizado no cálculo. O valor utilizado é igual a -4;
- Valor máximo do ϕ utilizado no cálculo. Ele não pode ser superior a 4 (dimensão característica 0,0625 milímetros). Para as simulações o valor usado é igual a 4.

f) Discretização

Para a discretização (distribuição das células de cálculo) foram assumidos os seguintes dados para cada um dos parâmetros:

- A altura das camadas verticais na qual o espaço será dividido, o valor usado corresponde a 100m;
- O tamanho da célula da grelha resultante sendo que o valor usado corresponde a 200m;
- Para as células X e Y, ou seja o número de colunas e linhas da grelha resultante foi utilizado o valor 100;
- A precisão das classes de partículas (Step_Fi) (por exemplo, se o valor da partícula Step_Fi é 1, isto significa que o modelo irá distribuir o volume entre os tamanhos de partículas como -2, -1, 0, 1, 2, ... etc. Se o valor é de 0,5, as classes consideradas serão -2, -1,5, -1, -0,5, 0, 0,5, 1, 1,5, 2, ... etc. no entanto, os valores tipicamente utilizados são 1 e 0,5). Para este parâmetro foi utilizado o valor 1.

g) Atmosfera

Para o parâmetro atmosfera são utilizados os dados referentes à difusão horizontal atmosférica, em m^2/s , à altura da tropopausa (em m), à densidade do ar (em kg/m^3) e temperatura do ar (em K), sendo estes dois últimos dados valores pré-definidos.

A difusão atmosférica tem sido alvo de vários estudos que têm salientado que a influência da concentração de uma determinada substância na atmosfera varia no tempo e no espaço em função dos fenômenos de transporte, fatores meteorológicos e da topografia da região.

Dentre estes fatores atuantes, talvez o de maior importância seja o conhecimento de condições atmosféricas favoráveis ou não, à dispersão de partículas, por possuir um papel determinante na concentração e deposição das cinzas. O campo do vento e a turbulência (flutuações do campo do vento em relação à média) controlam os mecanismos de transporte e dispersão de partículas na atmosfera (Carvalho, 1999 *in* Paz, 2004). Segundo Zannetti (1990 *in* Paz, 2004), os principais fatores meteorológicos que influenciam o fenómeno do transporte e dispersão atmosférica são: vento horizontal (direção e velocidade), estabilidade atmosférica, intensidade da inversão de altitude e movimento vertical devido aos sistemas da pressão, ou efeitos de terreno. Para a difusão horizontal atmosférica foi utilizado o valor de $1500 \text{ m}^2/\text{s}$.

A altura da tropopausa à superfície terrestre varia conforme as condições meteorológicas da troposfera, a temperatura do ar, a latitude, além de outros fatores (Dias *et al.*, 2007). A altura máxima da troposfera depende da medida a partir da superfície da Terra variando de acordo com o local onde é medida. Sobre os pólos ela atinge uma altitude de 7 km a partir do nível do mar mas nos trópicos a troposfera alcança cerca de 18 km (Barry & Chorley, 2010). Como o arquipélago de Cabo Verde localiza-se na região tropical foi assumido o valor de 18000m (valor definido para esta região).

h) Ventos

Os dados de perfis de vento para a região de Cabo Verde foram compilados a partir da Universidade de Purdue usando o banco de dados da Vhub - Collaborative Volcano Research and Risk Mitigation adquiridos *online* (<http://vhub.org>) para a ilha do Fogo. Este estudo focou-se no valor médio do vento de 1990 a 2011, ou seja, foram compilados dados para um período de 22 anos em níveis obrigatórios (para a região em estudo) de 5 km, 15 km e 25 km.

Para os ventos levou-se em conta as duas estações definidas para Cabo Verde. Optou-se por esta definição porque em termos climáticos o arquipélago de Cabo Verde possui duas estações: a estação das águas ou húmida (de julho a outubro) e a estação seca (de novembro a junho) de acordo com o regime de variação dos ventos alísios (Amaral, 1964). Para cada uma das estações foram descarregados dados do *site* Vhub, <https://vhub.org>, através da ferramenta *Wind Reanalysis* (ferramenta que permite calcular as estatísticas de direção e velocidade do vento em ou perto de vulcões ativos) para a área

do vulcão do Fogo (Cabo Verde) já que é o único vulcão do arquipélago para o qual existem dados. Os dados dos ventos para o vulcão do Fogo foram assumidos para a ilha Brava dada a proximidade destas ilhas (17 km de distância). Pensa-se que estes dados são perfeitamente ajustáveis às simulações realizadas na ilha Brava bem como pelo facto de ambas as ilhas apresentarem climas semelhantes.

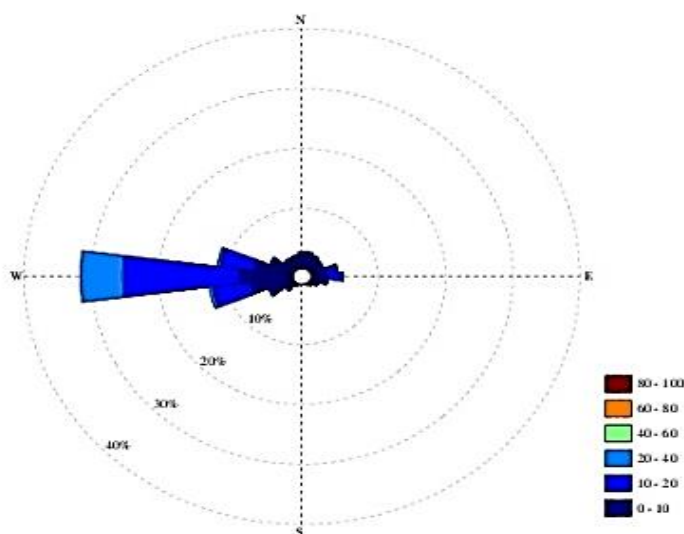
Foram seleccionados os dados relativos à altitude, direcção e intensidade, tendo sido obtidas rosas-dos-ventos e a respetiva análise estatística para cada uma das três alturas (5 km; 15 km e 25 km). Os dados estatísticos assumidos foram escolhidos de acordo com a frequência máxima, a maior coluna da rosa-dos-ventos e a intensidade máxima representada nessa coluna, e de acordo com esses dados reconheceu-se o ângulo da direcção correspondente.

Para cada estação foram encontrados os seguintes dados da análise estatística da rosa-dos-ventos:

- a) Para a **estação seca** obtiveram-se as seguintes rosas-dos-ventos de acordo com a altura, direcção e intensidade dos ventos (tabela 4.5 e figura 4.29):

Tabela 4.5. Dados dos ventos, para cada parâmetro necessário, da estação seca.

Altura (m)	Direcção (grau)	Intensidade (m/s)
5000	75	40
15000	90	60
25000	270	40



a)

4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

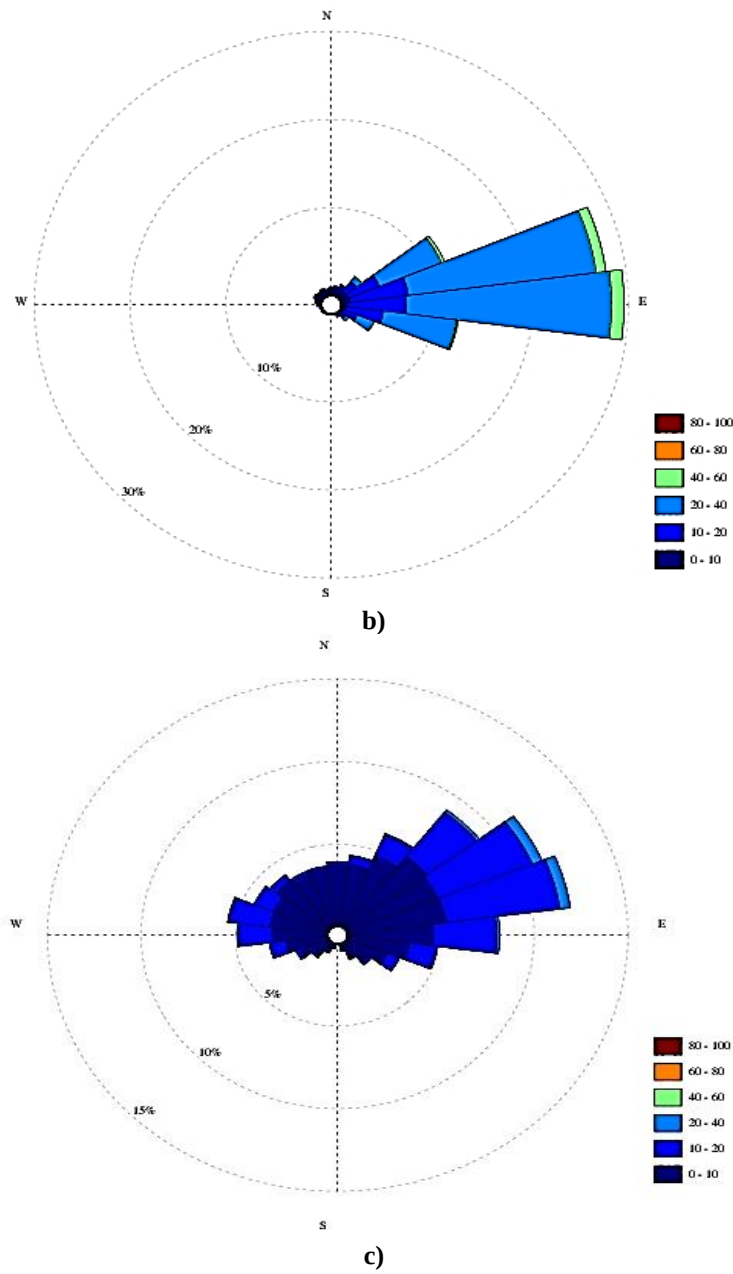
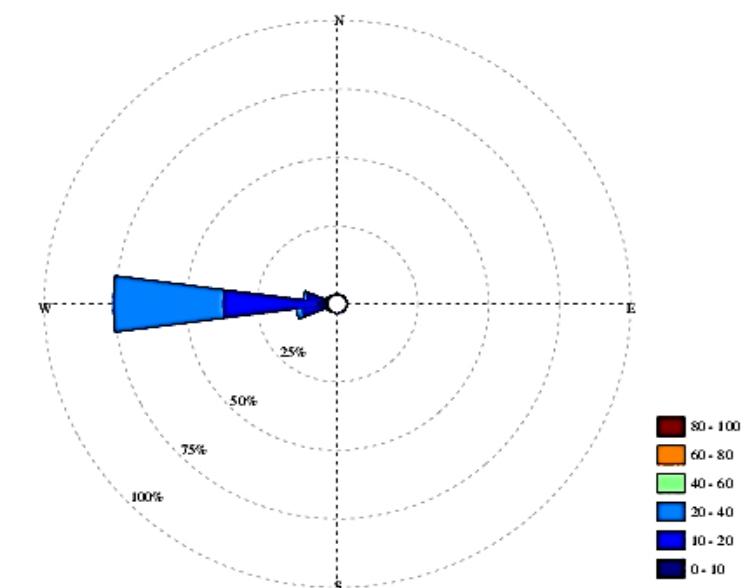


Figura 4.29. Rosas-dos-ventos para a estação seca por classes de distribuição da velocidade para altitudes de a) 25km, b) 15km e c) 5Km.

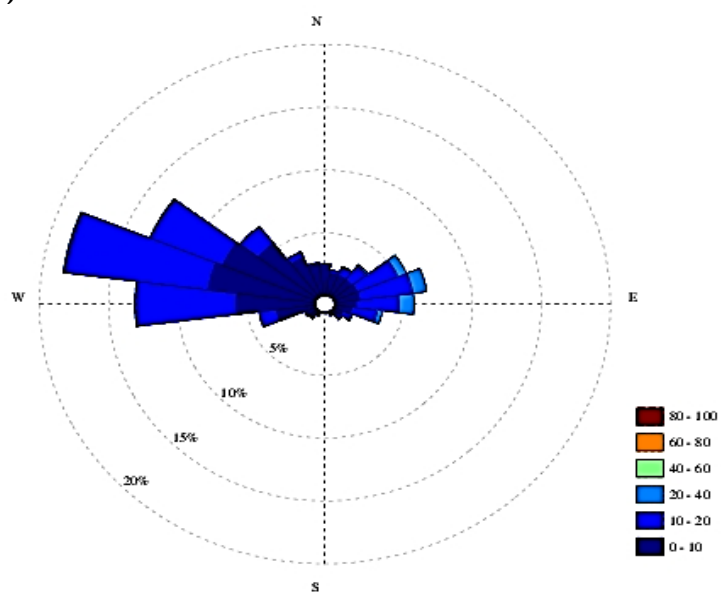
b) Para a **estação húmida** foram descarregados os seguintes dados da análise estatística de cada rosa-dos-ventos de acordo com a altura, direção e intensidade dos ventos (tabela 4.6 e figura 4.30):

Tabela 4.6. Dados dos ventos, para cada parâmetro necessário, da estação húmida.

Altura (m)	Direção (grau)	Intensidade (m/s)
5000	270	40
15000	285	20
25000	270	40



a)



b)

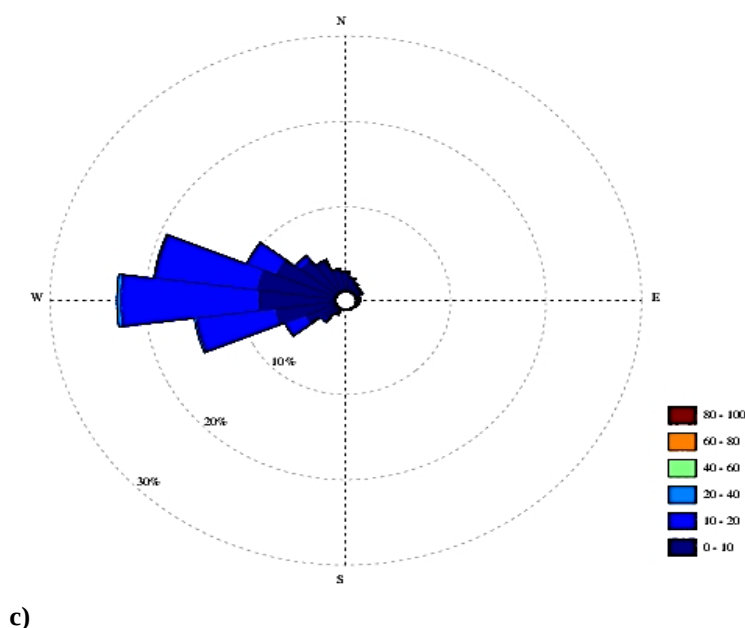


Figura 4. 30. Rosas-dos-ventos para a estação húmida por classes de distribuição da velocidade para altitudes de a) 25km, b) 15km e c) 5Km.

A análise dos dados das rosas-dos-ventos indica não haver correlação estatística significativa entre a direção do vento e a velocidade, entretanto não se pode afirmar o mesmo relativamente à altura. A análise do conjunto de dados de vento mostra que a direção dos ventos nas duas estações definidas varia em função da altura.

Para a estação seca as direções dos ventos mais frequentes são de E a NE a alturas de 5 e 15 km, enquanto que a 25 km a direção é de W. No entanto, para a estação húmida a direção dos ventos apresenta uma tendência significativa para W para todas as alturas definidas, variando entre NW a altitudes de 5 a 15 km a W à altitude de 25 km.

Foram realizados testes que permitiram identificar a influência dos diferentes parâmetros de entrada no modelo de depósito final obtido a partir da simulação numérica. Foi definida uma erupção base e comparados os depósitos resultantes modificando para cada teste um único parâmetro. Da comparação dos resultados obtidos nos testes realizados verificou-se que o aumento do parâmetro A (que controla a forma da coluna eruptiva) não é influenciado pelos ventos a maiores altitudes na coluna ao contrário dos restantes parâmetros.

4.6.3.3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A DISPERSÃO DE PIROCLASTOS DE QUEDA

4.6.3.3.1. ESTAÇÃO HÚMIDA

Para as duas estações os resultados obtidos indicam que a direção da dispersão das partículas e a espessura dos depósitos variam de acordo com os parâmetros utilizados.

Para a estação húmida os resultados obtidos para todos os valores de acordo com os parâmetros do depósito (a altura da coluna e o volume) são a seguir apresentados (Fig. 4.31, 4.32, 4.33 e 4.34).

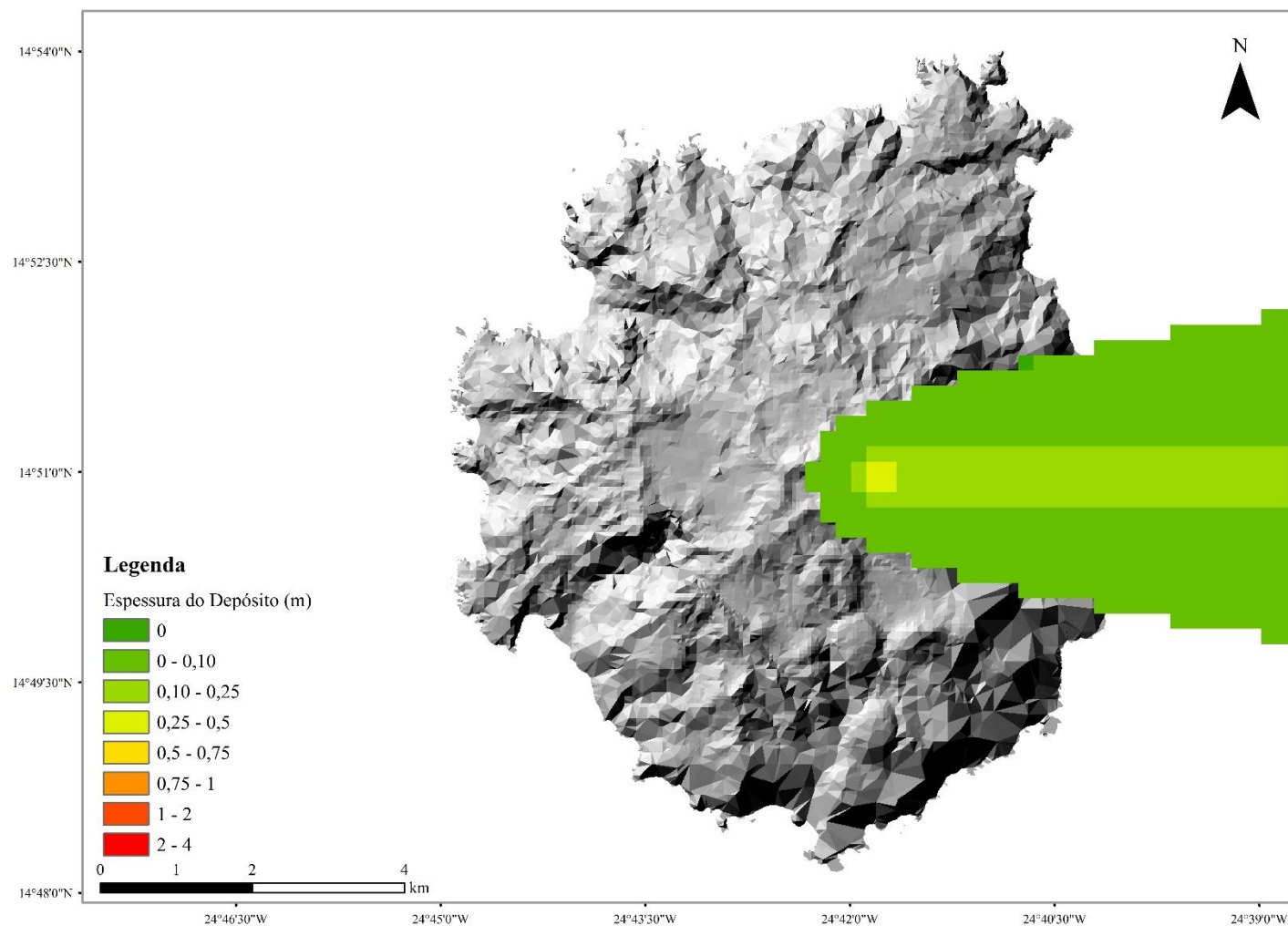


Figura 4.31. Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação húmida tendo em conta os valores de $0,1\text{Km}^3$ de volume e 10.000m de altura da coluna eruptiva.

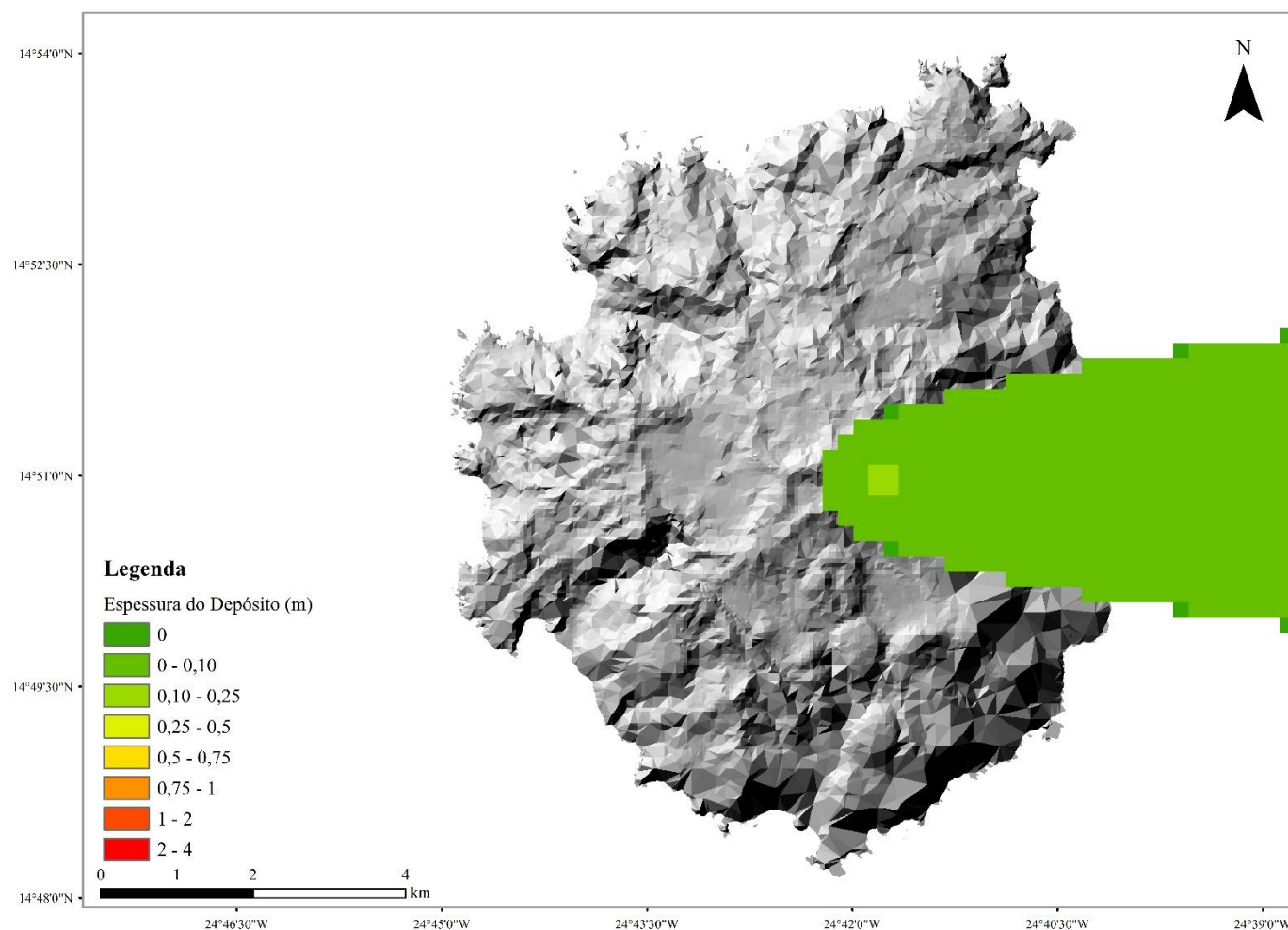


Figura 4.32. Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação húmida tendo em conta os valores de $0,1\text{Km}^3$ de volume e 25.000m de altura da coluna eruptiva.

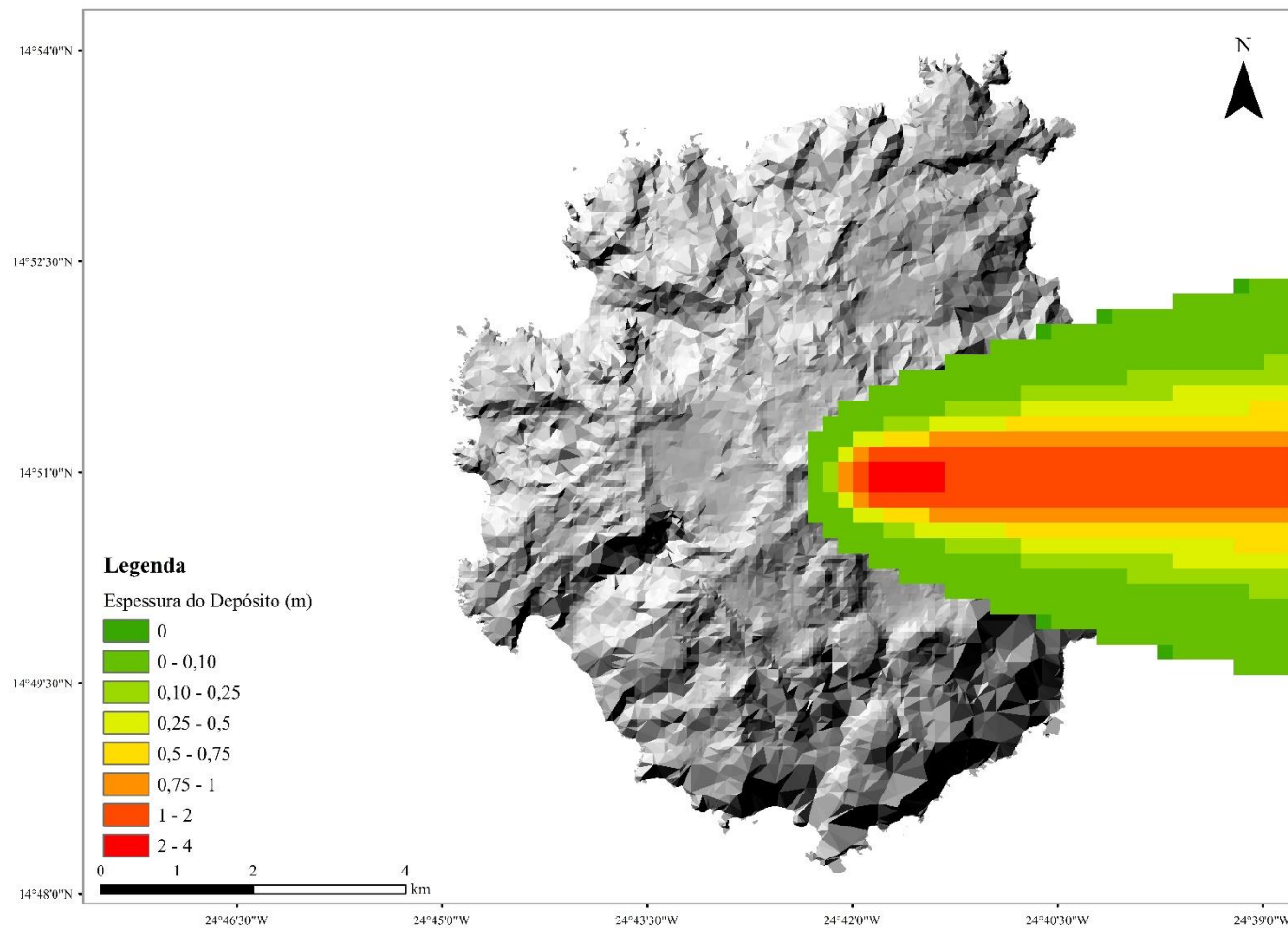


Figura 4.33. Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação húmida tendo em conta os valores de 1Km^3 de volume e 10.000m de altura da coluna eruptiva.

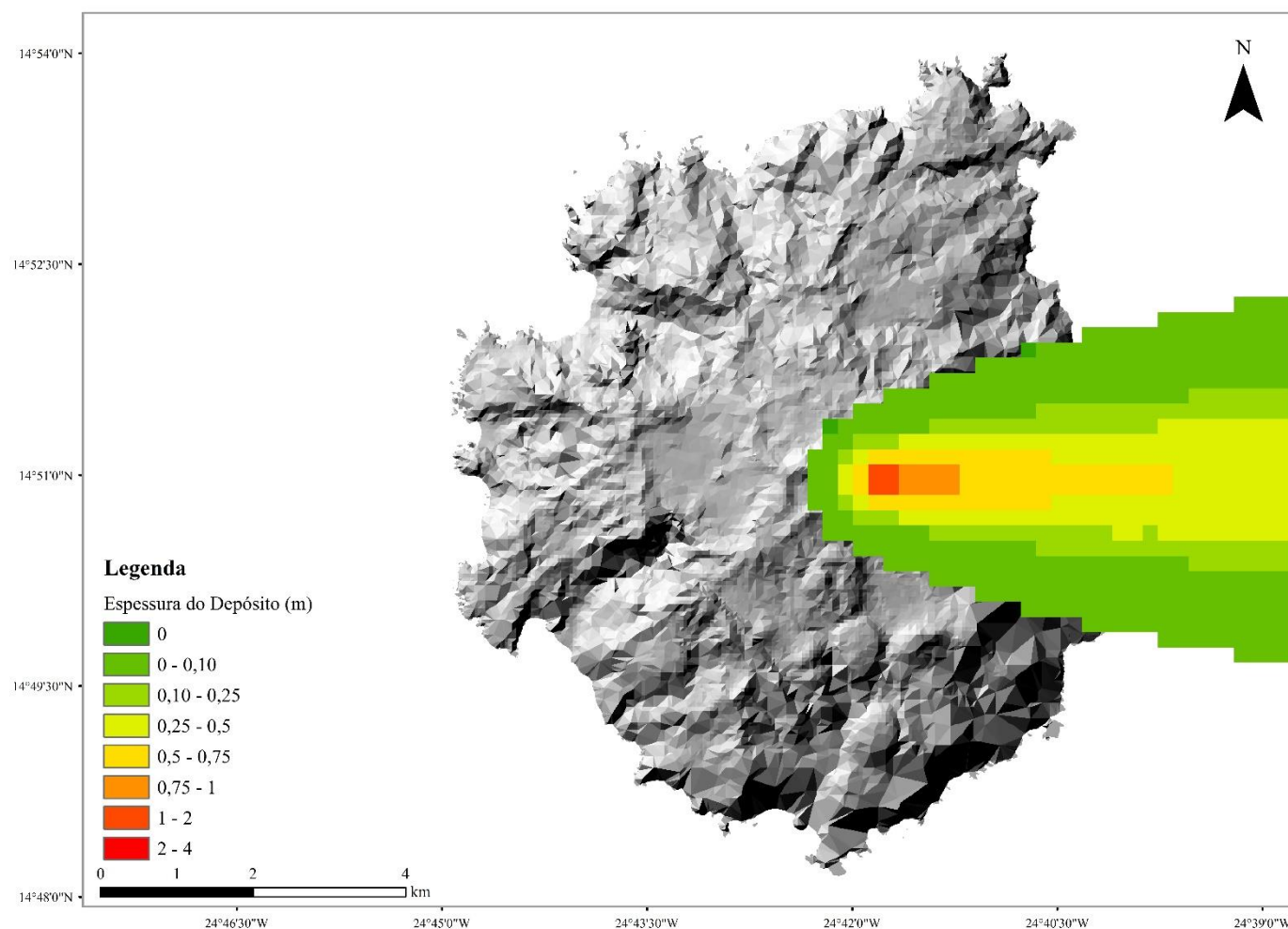


Figura 4.34. Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação húmida tendo em conta os valores de 1Km^3 de volume e 25.000m de altura da coluna eruptiva.

4. AVALIAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS

A análise dos resultados foi feita de acordo com os valores dos parâmetros do depósito (a altura da coluna e o volume). Todas as simulações apontam para a formação da coluna eruptiva com direcção para E da ilha e com variação da espessura dos depósitos.

- a) **Volume de 0,1 km³ e 10.000m de altura da coluna** - Para esses valores, a espessura dos depósitos é essencialmente de pequena dimensão, de 0,10 a 0,50 m, sendo que a concentração de partículas que poderá dar origem a depósitos de maiores espessuras (0,50 m) é muito reduzida;
- b) **Volume de 0,1 km³ e 25.000m de altura da coluna** - Para esses valores todos os depósitos formados são pouco espessos e variam entre 0,10 e 0,25m;
- c) **Volume de 1 km³ e 10.000m de altura da coluna** - Comparativamente aos valores referidos em a) e b) observa-se que os depósitos com maiores espessuras destacam-se, sendo formados em quantidades significativas e produzidos depósitos de espessuras que variam entre 0,10 e 4 m, para além de ser significativa a sua área de dispersão;
- d) **Volume de 1 km³ e 25.000m de altura da coluna** - Para esses valores nota-se que a formação de depósitos de grandes espessuras diminui comparativamente aos valores de 1km³ e 10.000m.

4.6.3.3.2. ESTAÇÃO SECA

Para a estação seca os resultados obtidos são diferentes dos obtidos para a estação húmida, particularmente em relação à direcção da dispersão das partículas. Os resultados são a seguir apresentados (Figs 4.35, 4.36, 4.37 e 4.38).

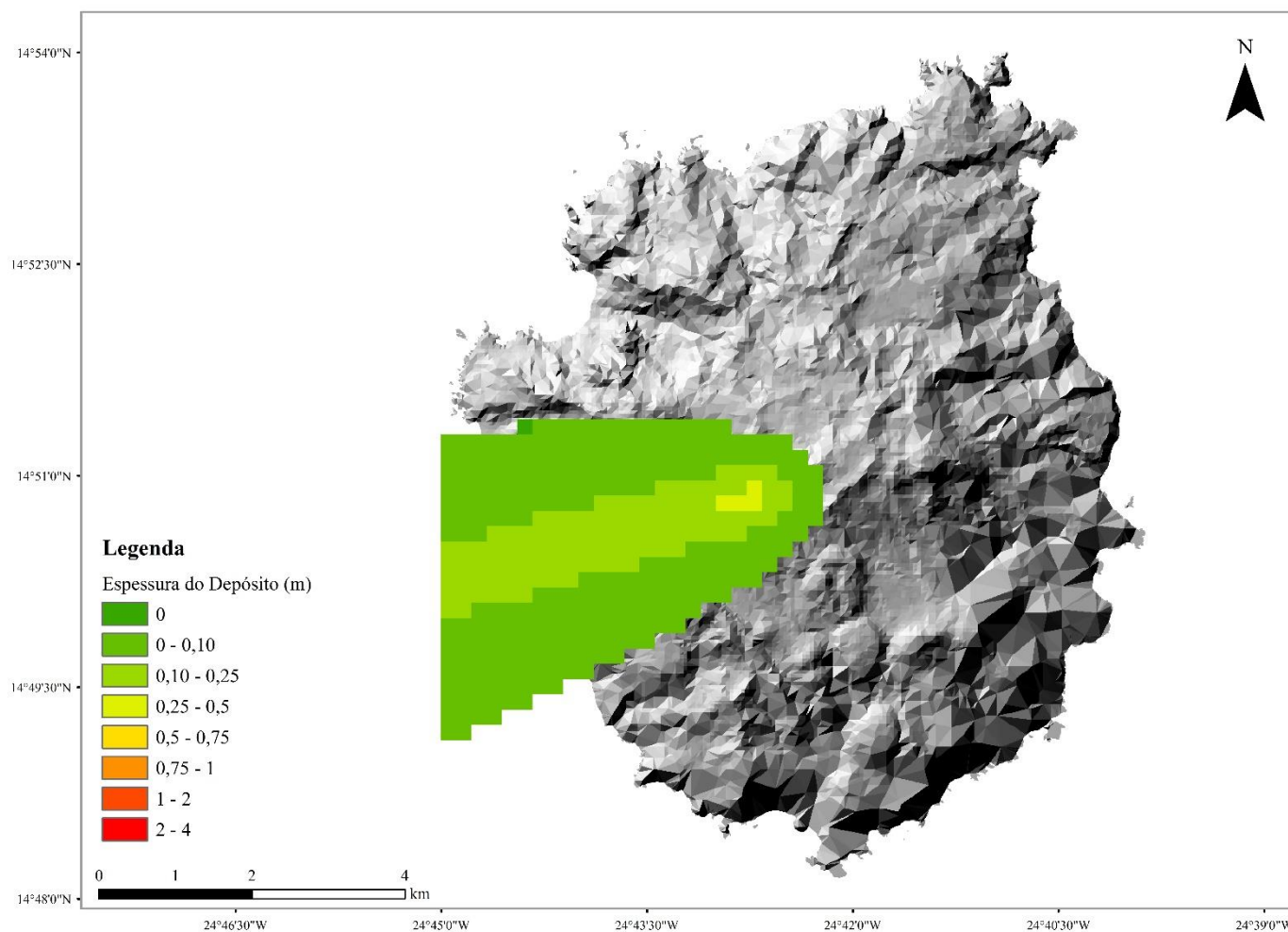


Figura 4.35. Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação seca tendo em conta os valores de $0,1\text{Km}^3$ de volume e 10.000m de altura da coluna eruptiva.

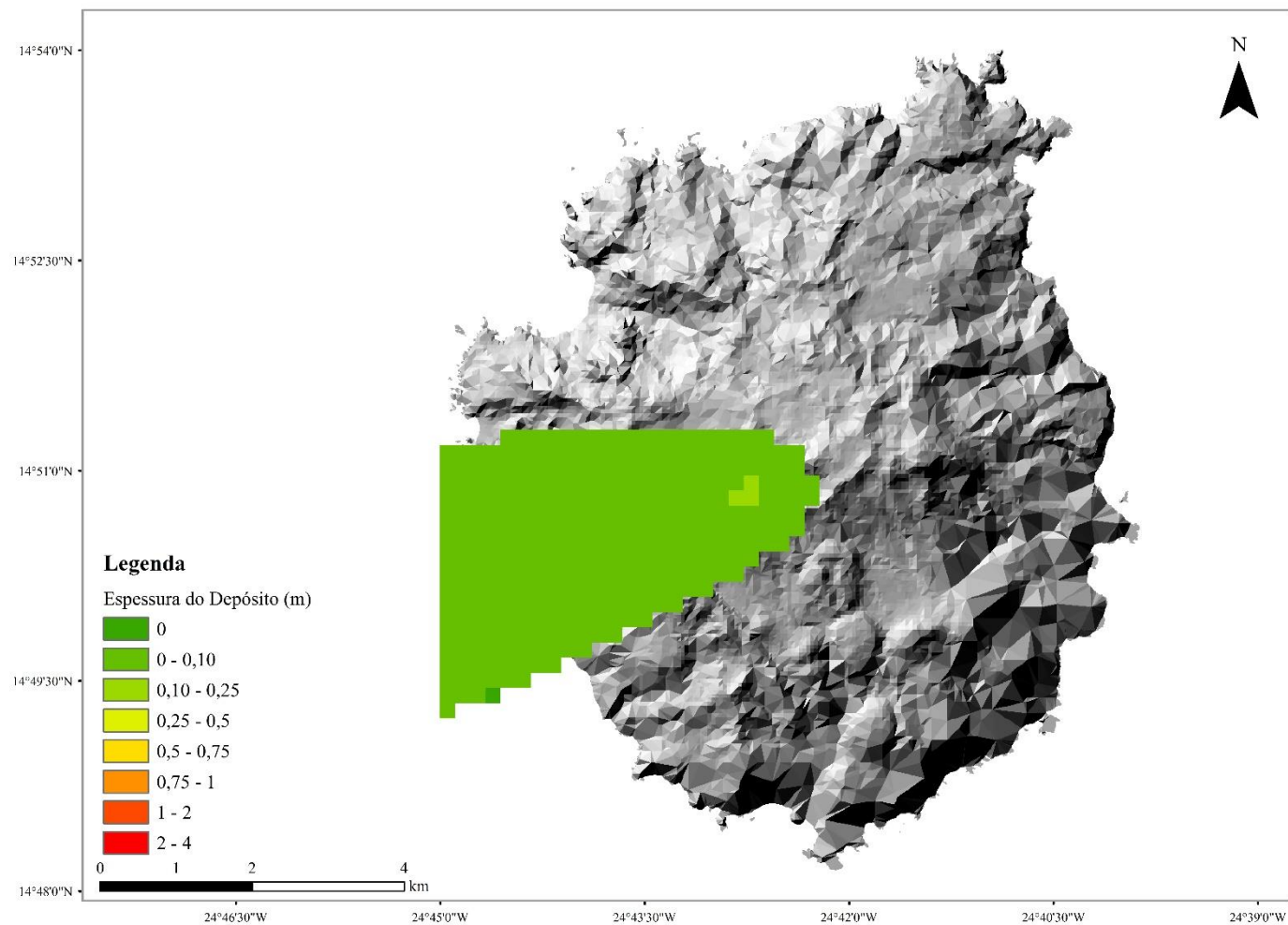


Figura 4.36. Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação seca tendo em conta os valores de $0,1\text{Km}^3$ de volume e 25.000m de altura da coluna eruptiva.

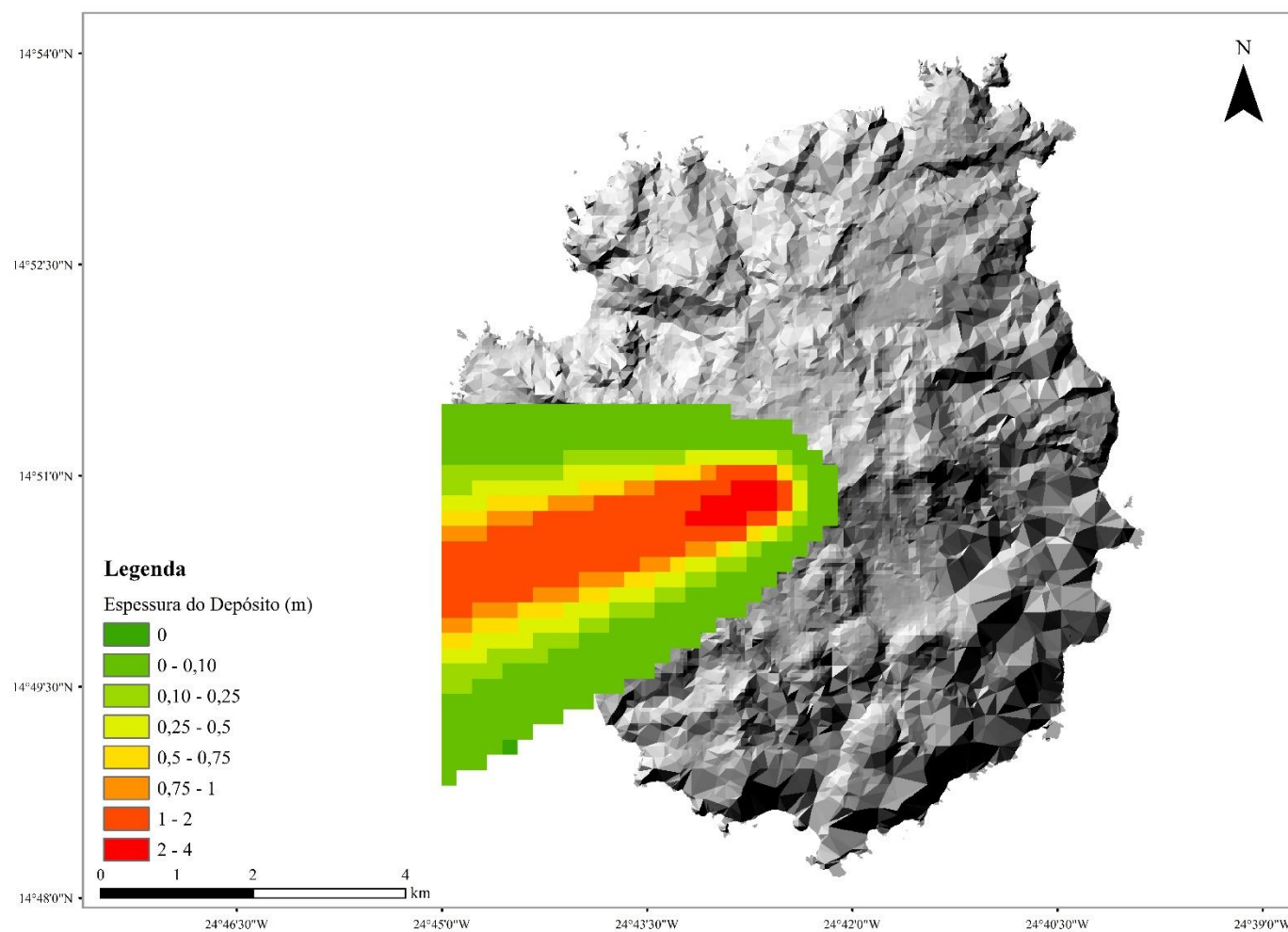


Figura 4.37. Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação seca tendo em conta os valores de 1Km^3 de volume e 10.000m de altura da coluna eruptiva.

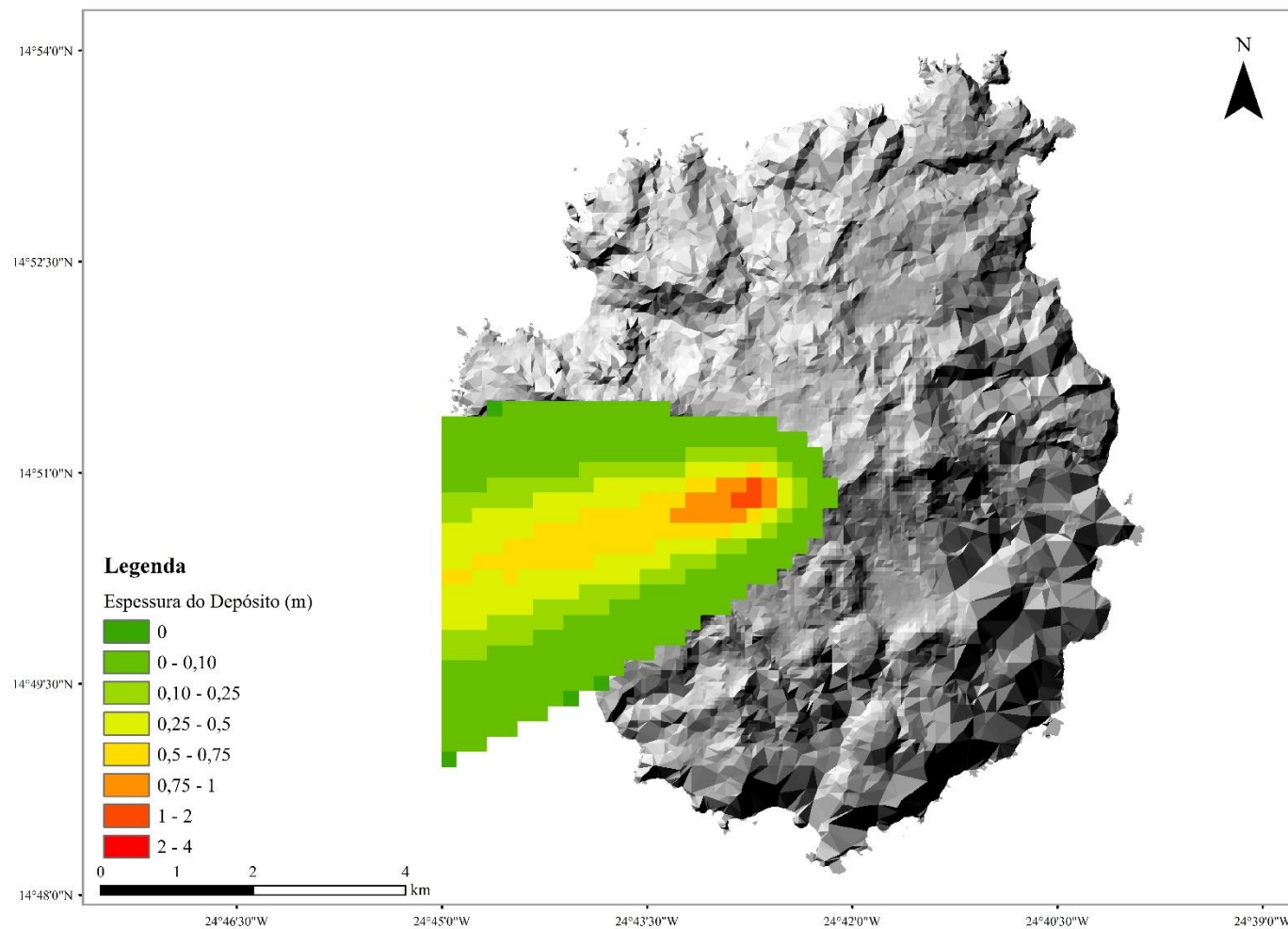


Figura 4.38. Cenários de queda de piroclastos na ilha Brava, a partir de uma erupção pliniana de VEI 4, para a estação seca tendo em conta os valores de 1Km³ de volume e 25.000m de altura da coluna eruptiva.

A análise dos dados indica que para a estação seca verifica-se que a direcção de dispersão da coluna formada mantém-se para o lado SW da ilha variando a espessura dos depósitos formados. Os resultados obtidos para a estação seca são parecidos aos da estação húmida embora com direcções opostas. Observa-se ainda que os depósitos localizam-se próximas da fonte nas regiões de Nossa Senhora do Monte e de Tomé Barrás, no lado W da ilha, e Palhal, no lado SW da ilha.

- a) **Volume de 0,1 km³ e 10.000m de altura da coluna** - A espessura dos depósitos é maioritariamente de pequena dimensão, entre 0,10 a 0,50 m;
- b) **Volume de 0,1 km³ e 25.000m de altura da coluna** – a espessura dos depósitos formados diminui relativamente aos valores atrás referidos sendo menos espessos com dimensões que variam entre 0,10 e 0,25 m.
- c) **Volume de 1 km³ e 10.000m de altura da coluna** - Comparativamente aos valores atrás referidos observam-se depósitos com maiores espessuras (2 a 4 m) com área de dispersão significativa. Estes dados destacam-se comparativamente aos restantes por formarem camadas mais espessas com um maior área de dispersão concentrando-se nas proximidades do centro emissor.
- d) **Volume de 1 km³ e 25.000m de altura da coluna** - Para esses valores a formação de depósitos de maiores espessuras diminui comparativamente aos valores de 1km³ e 10.000m, sendo no máximo formados depósitos com espessuras entre os 1 e 2 m.

Os trabalhos realizados ao longo deste subcapítulo permitiram a obtenção de cenários de queda de piroclastos em caso de ocorrência de uma futura ocorrência de erupções plinianas. Os resultados obtidos das simulações efectuadas indicam o seguinte:

- A. Tanto para a estação húmida como para a estação seca, as classes de espessura dos depósitos variam de acordo com a alteração dos valores do volume de 0,1 km³ para 1km³, notando-se que esta variação ocorre de acordo com a modificação da altura da coluna. A espessura dos depósitos aumenta consideravelmente quando o volume é de 1km³ representando os depósitos de maiores espessuras;
- B. A direcção da dispersão das partículas mantém-se constante em ambas as estações. Na estação húmida a direcção da dispersão ocorre para o lado E da ilha enquanto que na estação seca para o lado SW, indicando que as regiões mais suscetíveis de serem afectadas pela queda de piroclastos variam consoante a estação do ano. É

de realçar que a região SW será a mais afetada em termos de destruição devido à quantidade de povoados existentes nesta área enquanto que o lado leste da ilha por ser o menos povoado será o menos afetado (para mais detalhes ver subcapítulo 5.4);

- C. Dos dados obtidos para as duas estações as combinações mais prováveis de ocorrer são as referentes a $0,1 \text{ km}^3$ e 10.000 m e a 1 km^3 e 25.000 m enquanto que as combinações menos prováveis de ocorrer são as de $0,1 \text{ km}^3$ e 25.000 m e a de 1 km^3 e 10.000 m;
- D. Os dados obtidos são semelhantes para as duas estações porém com direcções de dispersão de partículas opostas.

CAPÍTULO V – VULNERABILIDADES

5.1. NOTA PRÉVIA

A vulnerabilidade representa o grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado da ocorrência de um processo (ou acção) natural, tecnológico ou misto de determinada severidade (Julião *et al.*, 2009). É expressa numa escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total). Reporta-se aos elementos expostos e pressupõe a definição de funções ou matrizes de vulnerabilidade reportadas ao leque de severidade de cada perigo considerado.

Segundo Julião *et al.* (2009) os elementos expostos são avaliados na vulnerabilidade de acordo com as suas características e valor estratégico, podendo ser agrupados em:

- ✓ Elementos expostos que representam a população, propriedades, estruturas, infraestruturas, actividades económicas, etc., expostos (potencialmente afetáveis) a um processo perigoso natural, tecnológico ou misto, num determinado território;
- ✓ Elementos expostos estratégicos, vitais e/ou sensíveis constituídos por um conjunto de elementos expostos de importância vital e estratégica, fundamentais para a resposta à emergência (rede hospitalar e de saúde, rede escolar, quartéis de bombeiros e instalações de outros agentes de protecção civil e autoridades civis e militares) e de suporte básico às populações (origens e redes principais de abastecimento de água, rede eléctrica, centrais e retransmissores de telecomunicações).

A análise das vulnerabilidades possibilita o reconhecimento de problemas antes da implementação de qualquer programa de mitigação porque permite compreender a ameaça do perigo no contexto da sociedade.

5.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS ELEMENTOS DE VULNERABILIDADE NA ILHA BRAVA

Para o presente trabalho procedeu-se à listagem dos elementos de vulnerabilidade expostos aos perigos sísmico e vulcânicos na ilha Brava, considerando-se os seguintes elementos: a população, o edificado e as infraestruturas básicas.

5.2.1. POPULAÇÃO

Para o estudo da população na ilha Brava recorreu-se aos dados do Censo 2010 para o arquipélago de Cabo Verde, realizado pelo Instituto Nacional de Estatística (www.ine.cv). A ilha Brava constitui um único concelho dividido em duas freguesias: a de São João Baptista e a de Nossa Senhora do Monte (Fig. 5.1).



Figura 5. 1. Mapa de freguesias da Ilha Brava (freguesia de Nossa Senhora do Monte e freguesia de S. João Baptista).

A ilha possui cerca de 5.995 habitantes (Censo 2010) que se distribuem pela região central e setentrional. A população da ilha representa 1,2% da população do arquipélago de Cabo Verde e teve uma diminuição de 1,3% em relação ao Censo de 2000. A densidade populacional da ilha é de 95,9 habitantes/m². A área de maior concentração populacional é a Cidade de Nova Sintra, capital e sede do concelho. A restante população localiza-se, um pouco dispersa, pelos povoados de Nossa Senhora do Monte, Mato, Tomé Barrás, Cova Rodela, Mato Grande, Lima Doce, Campo Baixo, Cachaço, Fajã d'Água e Furna. A região meridional da ilha é desabitada.

Os dados obtidos pela informação censitária de 2010 evidenciam que do total de habitantes 49.6 % são homens (2.974) e 50.4 % são mulheres (3.021), divididos por 1587 agregados familiares. A freguesia de S. João Baptista é a mais populosa com 4.064 habitantes enquanto que na freguesia de Nossa Senhora do Monte vivem 1.931 habitantes. A população urbana é de 1.127 habitantes equivalendo a 18,8% sendo a rural de 4.868 habitantes, o que corresponde a 81,2% da população total.

À semelhança do resto do país, a população é maioritariamente jovem, sendo que a população juvenil (de 0 a 25 anos) constitui um total de 2.976 habitantes, representando cerca de 51% da população da ilha. A faixa etária igual ou superior aos 65 anos é menor e representa cerca de 8% da população. A população residente na ilha apresenta flutuações de habitantes devido à emigração tanto interna, dentro do país, como externa, para o estrangeiro, havendo períodos com maior quantidade de pessoas em detrimento de outros.

5.2.2. EDIFICADO

A ilha é dotada de cerca de 2.025 unidades de alojamento, sendo a grande maioria (cerca de 85,5%) composta por casas individuais. É notória a existência de casas que não estão permanentemente ocupadas, cerca de 534 habitações (Censo, 2010), na sua maioria pertencentes a emigrantes, radicados nos Estados Unidos da América, ou naturais da ilha que por razões diversas mudaram a sua residência para as ilhas de Santiago, Fogo e São Vicente (PDM, 2013).

5.2.2.1. METODOLOGIA DE TRABALHO

Para o presente estudo foi elaborado um levantamento ao edificado na ilha Brava em Setembro de 2012, tendo sido escolhidas 5 áreas: Nova Sintra, Cova Joana, Nossa Senhora do Monte, Furna e Lém. Estas áreas foram escolhidas pelo facto de serem as mais populosas e possuírem maior número de edificado. Para este levantamento foi utilizado como base cartográfica a Carta Militar da ilha Brava, à escala 1:25.000, editada pelo Instituto Geográfico do Exército Português em 1979, e ortofotomapas à escala 1:10.000 de 2004, editados pela Direção Geral do Ordenamento do Território e Habitação (DGOTH) de Cabo Verde, a partir dos quais se procedeu à individualização de cada um dos edifícios. Paralelamente os trabalhos de campo na Brava permitiram a verificação do edificado existente atualizando alguma informação, particularmente para

os casos de edifícios ampliados, e criando novas informações para edifícios novos (Fig. 5.2).

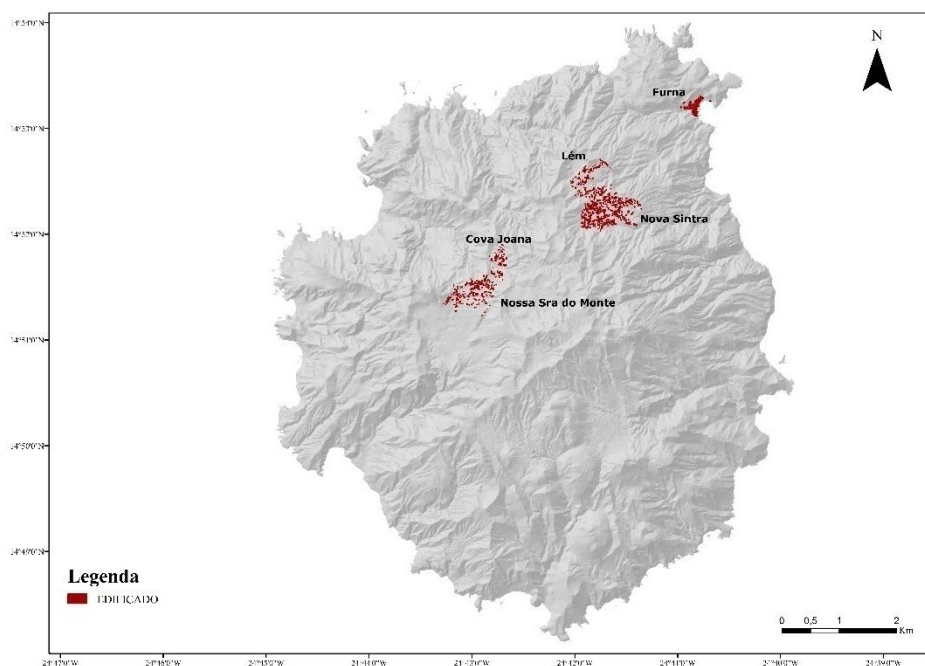


Figura 5. 2. Mapa referente ao levantamento do edificado feito nos maiores povoados da ilha Brava.

O edificado foi organizado segundo a sua importância social, económica e cultural, optando-se pela catalogação proposta por Gomes (2003). Para a inventariação do edificado das áreas escolhidas, tendo como principal fator o fim a que se destina o edifício, optou-se por considerar cinco grandes categorias: (1) habitações; (2) edifícios públicos; (3) monumentos; (4) edifícios para o comércio; e (5) “outros”.

Dentre as categorias atrás referidas a organização do edificado foi feita da seguinte forma:

- ✓ As “habitações” incluem todos os edifícios destinados ao domicílio das populações;
- ✓ Os edifícios “públicos” compreendem as construções destinadas à prática de serviços públicos, como, por exemplo, o Tribunal, a Câmara Municipal, o Centro de Saúde, as escolas, etc.;
- ✓ Os “monumentos” são edifícios com interesse cultural, religioso e histórico, por exemplo igrejas e museus;

- ✓ Na categoria de edifícios para o comércio encontram-se todos os edifícios que se coadunam a esse uso;
- ✓ Na categoria “Outros” foram inseridas todas as construções que não estão abrangidas por nenhuma das categorias anteriores, como sejam garagens, anexos, armazéns.

Também foram observados edifícios com 2 ou mais pisos que possuem dois fins como por exemplo:

- ✓ Edifícios em que o rés-do-chão é utilizado para o comércio, ou qualquer das outras categorias indicadas, e os restantes andares como habitação. Neste caso, optou-se por incluir na categoria habitação.
- ✓ Edifícios em que o rés-do-chão é utilizado para o comércio e os restantes andares usados por instituições públicas foram registados na categoria dos edifícios públicos.

A tabela 5.1 e o gráfico da figura 5.3 permitem identificar, para cada área escolhida, a quantidade de edifícios pertencente a cada uma das categorias atrás referidas.

Tabela 5. 1. Número de edifícios segundo a respetiva categoria.

Localidades	Classe de edifício	Nº de habitações	Total
Nova Sintra	Habitação	418	551
	Público	48	
	Monumento	6	
	Comércio	26	
	Outros	53	
Furna	Habitação	150	175
	Público	7	
	Monumento	3	
	Comércio	2	
	Outros	13	
Lém	Habitação	193	210
	Público	2	
	Monumento	1	
	Comércio	0	
	Outros	14	
Cova Joana	Habitação	76	86
	Público	0	
	Monumento	0	
	Comércio	1	

5. VULNERABILIDADES

	Outros	9	
Nossa Senhora do Monte	Habitação	209	244
	Público	13	
	Monumento	3	
	Comércio	7	
	Outros	12	

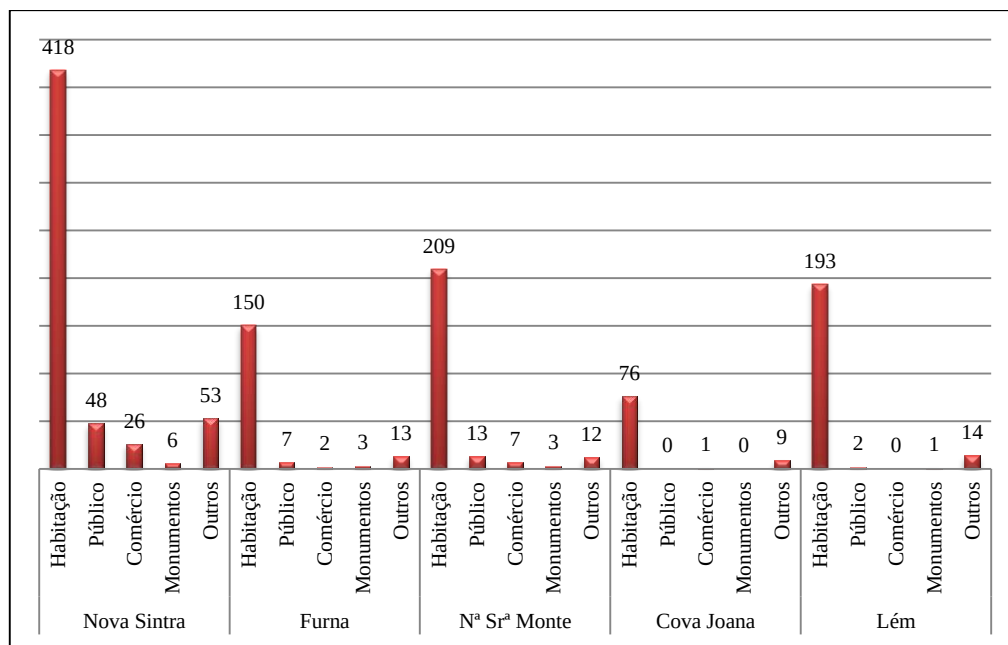


Figura 5. 3. Quantidade de edifícios, por categoria, em cada localidade.

No total foram inventariados 1.266 edifícios correspondentes a 1.046 habitações; 70 edifícios públicos; 13 monumentos; 36 edifícios para o comércio e 101 edifícios para outros fins.

5.2.3. INFRAESTRUTURAS BÁSICAS

Como infraestruturas básicas foram consideradas as redes de transportes, as redes de distribuição de água e eletricidade, as redes de telecomunicações e as estruturas de saúde.

5.2.3.1. REDES DE TRANSPORTES

5.2.3.1.1. Terrestre

A ilha está completamente coberta por rede de acesso a todas as localidades (Fig. 5.4). A principal estrada insular é a que une a localidade de Furna à Cidade de Nova Sintra, no lado norte da ilha, e continua até Cachaço, no lado sul, atravessando vários povoados.

Esta estrada sofreu recentemente algumas mudanças de traçado, adaptando-se a uma topografia mais favorável, ainda que com um percurso mais extenso. Existe uma importante rede de estradas secundárias que conecta as localidades da ilha.

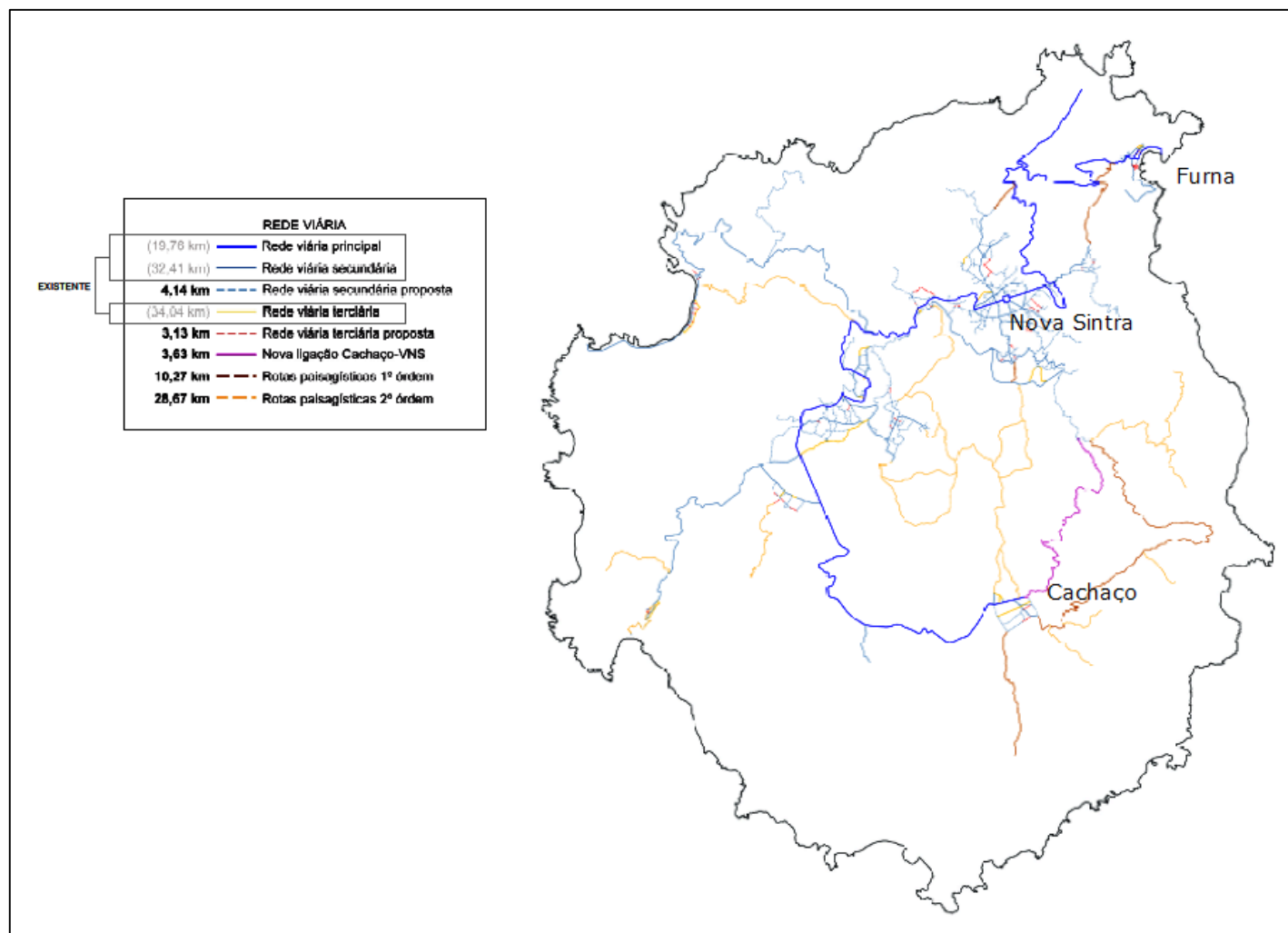


Figura 5.4. Rede viária existente na Planta de Ordenamento e distâncias de cada estrada e caminho (PDM Brava, 2013).

Nesta ilha existem os seguintes tipos de estradas:

- ✓ As estradas nacionais de 3ª classe (EN3), com boas condições de circulação, são maioritariamente calcetadas sendo a de Nova Sintra/Furna a única estrada asfaltada da ilha. A EN3-BR01 Furna-/Nova Sintra, com 7km de extensão, asfaltada, liga a sede do concelho (Nova Sintra) ao porto da Furna. A EN3-BR02 Nova Sintra/Cachaço, com 14,5km de extensão, é calcetada e possui condições razoáveis de circulação;
- ✓ As restantes estradas são consideradas como sendo estradas municipais (EM) sendo: (1) EM Nova Sintra/Fajã d'Água, com 13km de extensão, liga Nova Sintra ao antigo aeroporto da ilha em Esparadinha, calcetada e com condições razoáveis de circulação; (2) EM Cova Rodela/Mato Grande, com 2.5km de extensão, calcetada e com condições razoáveis de circulação; e, EM Nª Sra. Monte/Palhal, com cerca de 2km de extensão, calcetada e com condições razoáveis de circulação.

De um modo geral, o sistema de transportes terrestre é muito precário na ilha. Não existe na Brava um sistema estabelecido de transportes públicos quer municipal quer privado nem firmas de transportes públicos colectivos. Existem, no entanto, alguns veículos pertencentes a privados, que fazem o transporte de passageiros entre as várias localidades e a cidade de Nova Sintra. Estes possuem uma lotação regular de 12 pessoas (carrinhas de caixa aberta) a 15 pessoas (carrinhas fechadas denominadas hiaces). A Câmara Municipal da Brava (CMB) possui quatro autocarros para o transporte de alunos, do ensino secundário, de localidades mais distantes para a cidade sendo que a capacidade dos mesmos é de 30 pessoas.

5.2.3.1.2. Marítimo

A ilha Brava está dotada de portos de pesca nas localidades de Lomba Tantom, Fajã D'Água, Sorno, Pedrinha e Furna, com possibilidade de ancoragem. Dos portos existentes na ilha faz-se uma descrição da sua possibilidade de ancoragem:

- ✓ Porto da Furna é o principal porto da ilha e recebe navios de passageiros e carga (diariamente); navios de combustíveis (mensalmente) e navios de longo curso (6 a 8 vezes por ano).
- ✓ Porto da baía de Fajã d'Água, é um porto de abrigo ou de emergência na chamada época de tempo sueste e também para embarcações de recreio;

- ✓ Baía de Sorno é um porto de embarcações de recreio;
- ✓ Pedrinha e Lomba Tantum são pequenos portos de pesca e com molhe de acostagem para botes, sendo ambos de difícil acesso.

Em relação ao transporte marítimo de passageiros e cargas da ilha Brava para outras ilhas, este é assegurado pelo navio Kriola da empresa privada Fast Ferry. O navio Kriola faz viagens diárias para a ilha do Fogo e para a cidade da Praia (na ilha de Santiago) com excepção das quintas-feiras e domingos em que o barco fica ancorado no porto da Furna para manutenção e folga da tripulação, respetivamente. Este navio tem uma capacidade de carga de 164 passageiros e 65 toneladas de carga. O navio Kriola pernoita no porto da Furna.

5.2.3.1.3. Aéreo

A Brava actualmente não possui um aeroporto ou aeródromo. A ilha teve um aeródromo, na zona de Esparadinha, que foi inaugurado em 1992 e encerrado em Março de 1997. O encerramento deste aeródromo foi devido às más condições operacionais. Devido à topografia da região, o aeródromo de Esparadinha era frequentemente fustigado por ventos transversais à pista, por vezes muito intensos, que inviabilizavam a realização de operações aeronáuticas no mesmo (ASA, 2001). Desde 1997, com o fecho do aeródromo que a ilha Brava ficou sem ligação aérea com as outras ilhas do arquipélago.

O PDM (2013) propõe a construção de um heliporto na Brava. Para tal, foi realizado um estudo altimétrico e de pendentes de toda a ilha tendo sido escolhidas as localizações mais viáveis (Baía da Pedrinha e Campo Baixo) já que reúnem uma série de condicionantes necessárias para o estabelecimento de uma infraestrutura deste tipo (PDM, 2013).

5.2.3.2. REDES DE DISTRIBUIÇÃO

5.2.3.2.1. Rede de água

Em toda a ilha existem 10 nascentes mas somente a do Encontro, na zona de Lavadura (Fajã d'Água), é explorada e possui um caudal de 890m³. Na Brava, a produção e distribuição da água é assegurada pela empresa AguaBrava, Lda. Esta constitui uma

empresa intermunicipal responsável pelo abastecimento de água nos concelhos da ilha do Fogo e Brava. As áreas abastecidas na ilha Brava são: Mato (Cima e Baixo), Pau, Tomé Barrás, Roncante, Cova Rodela (de Cima e de Baixo), João da Noli, Pai Luís, Mato Grande (Cima e Baixo), Baleia, Cabeça de Avenida – Vila Nova Sintra, Pé de Rocha – Vila Nova Sintra, Braga, Santa Bárbara e Furna. O abastecimento de água às populações é feito duas vezes por semana (às terças e quintas). Atualmente estão a ser utilizadas duas estações de bombagem (Nascente de Encontro e em Travessa) e um reservatório principal de distribuição em Risco Vermelho. Cada localidade habitada possui um reservatório de distribuição, que é reabastecido através do reservatório principal e de seguida faz-se a distribuição de água pelas casas (tabela 5.2). Cada reservatório principal tem uma capacidade de 1000 m³ e está dividido em duas células de 500 m³ cada.

Tabela 5. 2. Tabela de medições de reservatórios de água na ilha Brava (tabela cedida pela empresa AguaBrava através do seu representante na ilha Brava em 2010).

Item	Discriminação	Volume		
		Largura	Comprimento	Altura
1	Célula 1 - Nascente Encontro	2,80	12,0	2,50
2	Célula 2 - Nascente Encontro	5,00	12,0	2,80
3	Reservatório n.º 4 - Travessa	8,00	10,0	2,50
4	Reservatório Roncante	3,10	5,20	2,30
5	Reservatório Cova Rodela de Cima	4,80	6,40	2,50
6	Reservatório Cova Rodela de Baixo	2,50	3,50	1,60
7	Reservatório de Braga	3,00	6,60	1,90
8	Reservatório Santa Barbara	2,80	6,20	2,10
9	Reservatório João da Noli	2,50	6,20	2,50
10	Reservatório Baleia	2,50	4,50	2,00
11	Reservatório Mato Grande Baixo	2,50	6,00	2,00
12	Reservatório Mato Grande Cima	2,60	7,50	2,00

Convém realçar que o Ministério da Agricultura tem construído alguns dispositivos de retenção da água como diques em vários pontos da ilha. Existem várias cisternas de captação e retenção de água com capacidade para mais de 200m³, tais como:

- ✓ Três cisternas na praça Eugénio Tavares no centro da vila de Nova Sintra que fazem a captação de águas pluviais;
- ✓ Cisternas com espelho de captação nas seguintes localidades: Furna, Covoada, Mato, Cova Joana, Campo Baixo, Pau, Cachaço, Lomba (a que existe nesta localidade faz a captação das águas a partir da estrada).

As águas captadas destas cisternas são depois utilizadas para irrigação na maior parte das vezes. Várias casas possuem cisternas privadas de captação de águas pluviais principalmente as mais antigas. Não existem sistemas de drenagem de águas residuais nem rede de esgotos. A maior parte das casas possuem fossas sépticas individuais com excepção de algumas casas mais antigas.

5.2.3.2.2. Rede de energia

A produção, distribuição e venda de eletricidade na ilha, e em todo o território nacional, é da responsabilidade da empresa ELECTRA – Eletricidade e Água, SARL. A ilha tem uma cobertura de eletrificação de quase 100%, existindo neste momento dois pequenos povoados (Esparadinha e Morgáida em Cova Rodela) que não têm cobertura. No entanto, estão a ser realizados trabalhos para a eletrificação dos mesmos.

O fornecimento para 1800 consumidores é feito a partir de uma central única localizada na zona de Favatal. A rede de passagem é feita através de uma rede de transporte sendo a sua distribuição feita em moldes aéreos e subterrâneos. A rede elétrica na ilha é de média potência. O transformador de energia possui 3 grupos de geradores *diesel* e a transformação é feita na central elétrica de Favatal. Algumas instituições possuem geradores particulares fixos caso do Banco Comercial do Atlântico (BCA), Cabo Verde Telecom (empresa de telecomunicações) e Shell (empresa de combustíveis). Esses geradores estão todos localizados na Vila Nova Sintra.

5.2.3.2.3. REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

A ilha Brava é abrangida por centrais telefónicas da Cabo Verde Telecom (CVTelecom) e coberta por duas redes de telefones móveis digitais (GSM e rede 3G) a operar no país (CVMóvel e a Unitel T+). O telefone fixo é da responsabilidade da CVTelecom e cobre 98% da ilha em todas as localidades habitadas num total de 1286 assinantes.

Para a rede móvel a CVMóvel possui para o efeito 4 antenas localizadas em Nova Sintra, Furna, Nossa Senhora do Monte e Fajã d'Água. Esta rede não possui uma cobertura total da ilha que devido à sua topografia provoca a existência de algumas zonas de sombra particularmente em Fajã d'Água e Lomba Tantum.

A Internet e a Televisão por Cabo apenas possuem um operador na Brava, a CVMultimédia, que presta ambos os serviços. Tanto a cobertura da rede da internet como da televisão por cabo está limitada aos povoados principais (Vila Nova Sintra, Nossa Senhora do Monte, Furna e Fajã d'Água).

Quanto à televisão existem canais abertos e por cabo. Para a rádio são escutadas 4 estações. Realça-se que nem todas as localidades da ilha possuem cobertura tanto da televisão como da rádio. A polícia local (Polícia de Ordem Pública – POP) possui serviços de radiocomunicação.

5.2.3.3. ESTRUTURAS DE SAÚDE

O sector da saúde na Ilha Brava, sob o ponto de vista administrativo, encontra-se estruturado, como em todo o território nacional, através da Delegacia de Saúde, que presta serviços à população de todo o concelho. Atualmente os serviços de saúde na ilha Brava fazem parte do Serviço Regional de Saúde da ilha do Fogo.

No tocante a infraestruturas sanitárias, existem no concelho, para além do Centro de Saúde em Nova Sintra, 2 postos sanitários (um na Furna e outro em Nossa Senhora do Monte) e duas unidades sanitárias de base (uma em Lomba Tantum e outra no Cachaço). A ilha dispõe de uma farmácia localizada na cidade de Nova Sintra. No Centro de Saúde são prestados cuidados primários tais como vacinação, acompanhamento de grávidas, curativos e pequenas cirurgias. A capacidade de internamento é limitada sendo 8 camas para adultos, 4 para crianças e 5 para maternidade.

5.3. VULNERABILIDADE AO PERIGO SÍSMICO

5.3.1. NOTA PRÉVIA

A ocorrência de sismos representam uma ameaça à vida de pessoas e animais e aos bens materiais devido ao colapso das estruturas construídas, quer o edificado quer as infraestruturas básicas. O edificado constitui a principal causa de vítimas e danos sendo por isso importante a sua inclusão na análise de vulnerabilidades. O maior volume de população residente, edifícios e alojamentos em áreas de exposição ao perigo sísmico abrange um enquadramento de maior vulnerabilidade, podendo resultar em maiores danos pessoais (vítimas mortais, feridos, desalojados) e materiais (destruição de edifícios e de infraestruturas básicas) em caso de abalo sísmico destrutivo.

A redução do risco sísmico passa necessariamente por reduzir a vulnerabilidade das construções e de outros elementos expostos ao perigo sísmico. Assim sendo, a vulnerabilidade ao perigo sísmico de uma dada região está, então, diretamente relacionado com a resistência sísmica do edificado aí existente (vulnerabilidade do edificado e da população exposta).

O arquipélago de Cabo Verde, ao longo da sua história, tem sido palco de fenómenos naturais com origens diversas que em virtude da sua magnitude e dos impactes causados provocaram danos consideráveis à população e aos seus bens. Neste contexto, destaca-se a Ilha Brava, a qual foi afectada deste o seu povoamento por sismos e crises sísmicas com significativo impacte em termos de estragos e prejuízos socioeconómicos, comparativamente às restantes ilhas do arquipélago. As populações não tem sido afectadas em termos de vítimas mortais ou feridos. Alguns sismos ocorridos provocaram o desalojamento de algumas pessoas (ver capítulo 3).

A caracterização populacional da ilha Brava permitiu identificar alguns aspectos que poderão contribuir para a diminuição da vulnerabilidade das pessoas ao perigo sísmico, nomeadamente:

- a) o fato da população juvenil constituir a maioria dos habitantes da ilha, o que permitirá uma maior e mais rápida mobilidade das populações em caso de

- ocorrência de sismos constituindo uma mais-valia em caso de ajuda a idosos e crianças;
- b) as flutuações da população residente por causa das emigrações, caso ocorra um sismo numa época de menor fluxo na população residente o número de pessoas afetadas será menor em contraste com períodos de maior fluxo;
 - c) o fato da maioria da população estar concentrada nas áreas rurais locais com menos quantidade de edificados e infraestruturas.

Convém realçar a importância das características geomorfológicas da ilha no que respeita a aspectos de ordem operacional e a efeitos catastróficos indiretos, como se verificou na ocorrência de alguns sismos. As zonas de maior declive poderão ser palco de importantes movimentos de massa, incluindo o desenvolvimento de escoadas detriticas ou de queda de blocos rochosos isolados, eventualmente responsáveis pelo aumento do número de vítimas e pelo corte de vias de acesso indispensáveis às ações de socorro imediato.

A rede viária da ilha Brava é um elemento fulcral para a circulação de pessoas, bens e meios de socorro, por isso importa salientar a sua vulnerabilidade à ocorrência de um sismo. A ruptura de troços da rede viária, o colapso de edifícios junto a estradas e caminhos e a queda de muros ou árvores de porte médio a elevado podem igualmente concorrer com a obstrução das vias de comunicação, constituindo um primeiro problema para a operação das equipas de socorro e a movimentação das populações. Desta forma as vias de muitas localidades poderão ficar obstruídas, junto às habitações estimando-se que as famílias que vivem nestas habitações possam vir a necessitar de ser realojadas. Realça-se a elevada probabilidade de se verificar o corte das estradas nacionais de 3ª classe (EN3) principal via de comunicação para as várias localidades existentes na ilha (Nova Sintra/Furna, Nova Sintra/Nossa Senhora do Monte, Nova Sintra/Fajã d'Água, Cova Rodela/Mato Grande, Nossa Senhora do Monte/Cachaço e Nossa Senhora do Monte/Palhal), porque muitos dos seus troços se desenvolvem nas margens de taludes instáveis.

A ruptura, ainda que, pontual ou temporal, de infraestruturas como o sistema de abastecimento da água, de energia e de telecomunicações são igualmente situações que

podem ocorrer em caso de sismo de grau entre V e VII (EMS-98) (intensidades mais prováveis de ocorrer na ilha Brava).

5.3.2. VULNERABILIDADE DO EDIFICADO

Nesta ilha o edificado é um dos elementos de vulnerabilidade mais afectado em caso de ocorrência de sismos tornando-se imprescindível ter um conhecimento detalhado do tipo de construções existentes em toda a área de estudo. Por isso, no presente trabalho optou-se por um estudo mais aprofundado sobre a vulnerabilidade do edificado na Brava.

5.3.2.1. METODOLOGIA

No presente trabalho teve-se como base a Escala Macrossísmica Europeia (EMS98) que permite atribuir uma determinada intensidade a um evento sísmico tendo em conta os efeitos sentidos pela população e/ou os danos causados nos edifícios, estipulando um intervalo de percentagem para cada nível de danos dentro do qual se pode considerar que um sismo atingiu um determinado grau (Grünthal, 1998). Inclui, assim, uma tabela de vulnerabilidades onde são considerados diversos tipos de edifícios e respectivos intervalos de vulnerabilidade. Os edifícios são classificados, em função da sua vulnerabilidade em seis classes, de A (mais vulneráveis) a F (menos vulneráveis) (Grünthal, 1998).

A metodologia utilizada implicou a construção de uma matriz da informação a ser recolhida. Com esse propósito, efectuou-se um inquérito porta-a-porta em algumas povoações escolhidas, à semelhança do efectuado por Pomonis *et al.*, (1999) para as habitações das freguesias próximas do Vulcão das Furnas (Açores) e por Gomes (2003) para os edifícios localizados na região do Sistema Vulcânico das Sete Cidades (Açores), de modo a se obter informações sobre o tipo de construção de diferentes elementos do edificado. Os dados recolhidos referem-se ao número de pisos para cada edifício; ao tipo de material utilizado, quer nas paredes exteriores, quer nas paredes interiores; e ao material do pavimento utilizado para cada piso. Estes parâmetros servem para determinar as classes de vulnerabilidade do edificado relativamente ao perigo sísmico.

Procedeu-se ao preenchimento de uma ficha-tipo (Fig. 5.5) com os dados obtidos. A ficha tipo encontra-se dividida em campos, sendo os primeiros (ID_GEOG, ID_EDIF, Localidade e Rua) somente para identificação e referenciação do edifício. No campo “ID_GEOG” é colocado um número do código geográfico (definido e fornecido pelo Instituto Nacional de Estatísticas de Cabo Verde) para cada uma das freguesias (911 para a freguesia de S. João Baptista e 912 para a de Nossa Senhora do Monte); no campo “ID_EDIF” é colocado um número que representa a identificação de cada uma das casas numa base de dados ao nível do arquipélago. Foram definidos os campos Localidade e Rua porque na ilha Brava, em relação à toponímia, somente algumas ruas possuem nome e os edifícios não estão numerados, por isso para o caso das ruas que possuem nome utilizamos o campo Rua e para as que não possuem nome optamos por usar o campo Localidade. Para o campo “Nº de andar” indica-se o número de pisos existente no edifício bem como a existência de cave e sótão. O campo “Paredes” refere-se ao tipo de material utilizado nas paredes externas e internas. O campo “Pavimento” indica o tipo de material utilizado na pavimentação em todos os pisos do edifício. No campo “Teto” existem 4 itens: (a) o material de suporte do teto, (b) o material das telhas, (c) a inclinação e, (d) o sistema de drenagem da água. Nos campos “Janela” e “Porta” existem 2 itens: o tipo de material das janelas/portas e a proteção da janela/porta. No campo denominado “Observações” assinalaram-se informações complementares relevantes que possibilitaram completar a caracterização de cada imóvel. No campo “ID_Foto” aponta-se a referência dada à fotografia relativa a cada edifício.

Convém referir que os dados obtidos neste inquérito permitiram a criação de uma base de dados (BD) em SIG, para análise das vulnerabilidades das construções relativamente aos perigos estudados. Esta base de dados inclui para cada edifício levantado no inquérito todas as informações constantes na ficha-tipo, constitui uma plataforma tecnológica para as construções existentes na ilha e possui um carácter dinâmico permitindo a atualização dos dados sempre que necessária. Estes dados podem interessar a entidades públicas (como a câmara municipal local) e privadas que operam nas mais diversas áreas, como o ordenamento do território e a protecção civil.

5. VULNERABILIDADES

	ID_GEOG							
	ID_EDIF							
	Localidade							
	Rua							
	Tipo de Edifício							
Nº de andar	Cave							
	Rés-do-chão							
	Andar							
	Sotão							
Paredes	Externas							
	Internas							
Pavimento	Cave							
	Rés-do-chão							
	Andar							
	Sotão							
Tecto	Material							
	Telhas							
	Inclinação							
	Sistema drenagem							
Janela	Material							
	Proteção							
Porta	Material							
	Proteção							
	Observações							
	ID_Fotos							

Figura 5. 5.Ficha-tipo utilizada no inquérito para o levantamento das vulnerabilidades do edificado.

Perante os dados provenientes do levantamento efectuado, e adaptando-se as classes de vulnerabilidade estabelecidas pela EMS98 à realidade da ilha, foram definidas 4 classes de vulnerabilidade para os edifícios (tabela 5.3), de acordo com o material das paredes exteriores e o tipo de material do pavimento.

Tabela 5.3. Descrição das tipologias das habitações para cada uma das classes de vulnerabilidades definidas para a ilha Brava de acordo com a EMS98 (adaptado de Gomes, 2003).

Classe de Vulnerabilidade	Descrição	Exemplo
Classe A	- Edifícios com paredes exteriores (rebocadas ou não) em pedra irregular ou talhada de pequenas dimensões.	
Classe B	- Edifícios com paredes exteriores em blocos de cimento mas que não possuem placas de betão armado entre os diferentes pisos; - Edifícios com paredes de pedra pequena talhada mas com reforço, isto é, com cimento embutido entre estas.	 
Classe C	- Edifícios com paredes exteriores em pedra grande talhada ou paredes em blocos de cimento com placas de betão armado entre os andares.	
Classe D	- Edifícios com construção sismo-resistente moderada, os quais possuem armação em betão armado, com paredes de enchimento em blocos de cimento.	

A elaboração do inquérito permitiu aferir que as paredes exteriores são de blocos de cimento, de betão armado, de pedra. Para o caso do material em pedra foi difícil definir os parâmetros de resistência uma vez que não se consegue observar a presença de material ligante entre as pedras devido à existência de reboco. Constatou-se nas casas

mais antigas que sofreram remodelações/ampliações que as paredes exteriores para além de serem construídas por pedra também possuem blocos de cimento nas partes mais recentes do edifício. Perante estas situações decidiu-se, em concordância com o estipulado pela escala EMS-98, elevar a classe de vulnerabilidade. Para os edifícios que estão degradados, com danos estruturais consideráveis, ou em ruínas optou-se por diminuir pelo menos um valor na classe de vulnerabilidade

Conforme proposto por Gomes (2003), a fim de estabelecer uma ligação entre a nomenclatura adotada quanto ao tipo de intervenção a efectuar nas habitações quando afetadas com determinada intensidade por um evento sísmico e os diferentes níveis de danos considerados na escala EMS-98 definiu-se: (1) edifícios que apresentem danos de nível 1 e 2 corresponderão a pequenas reparações; (2) edifícios que apresentem danos de nível 3 podem ser reabilitados; e finalmente, (3) edifícios que apresentem danos de nível 4 e 5 envolvem destruição total ou parcial que conduzirão à reconstrução ou a nova construção, conforme a tabela 5.4.

Tabela 5. 4. Correspondência entre o tipo de intervenção a efetuar e os níveis de danos definidos pela EMS-98.

Nível de danos (EMS-98)	Tipo de intervenção a efectuar
1 - 2	Pequenas reparações
3	Reabilitação
4 - 5	Reconstrução ou nova construção

Na escala EMS-98, para cada intensidade, os valores percentuais dos níveis de estragos apenas são apresentados para os níveis de danos mais elevados. O cálculo dos valores para os níveis mais baixos foram feitos conforme Gomes (2003). Isto é, considerando que a distribuição dos estragos sofridos pelos edifícios de uma determinada classe de vulnerabilidade segue uma curva normal, a percentagem excedente é dividida por três sendo atribuída dois terços desta ao nível de estragos imediatamente a seguir. Esta operação é repetida consecutivamente até se atingir o menor nível de danos.

De acordo com o exposto no capítulo 3, para se analisar a vulnerabilidade com base nos registos existentes, estudou-se a possibilidade de ocorrência de sismos passíveis de afetarem a ilha Brava com as seguintes intensidade: (1) a ocorrência mais provável, ou

seja um sismo de grau V (EMS98); e (2) um sismo com a intensidade máxima histórica observada, grau VII (EMS98).

5.3.2.2. RESULTADOS OBTIDOS

De acordo com os dados obtidos no que se refere às classes de vulnerabilidade verifica-se que nas localidades onde foi aplicado o inquérito existe um claro predomínio da classe B com 60,1%, seguido da classe C com 24,2%, da classe A com 15,2% e por fim, a menos vulnerável a classe D com 0,5%, gráfico a seguir apresentado (Fig. 5.6).

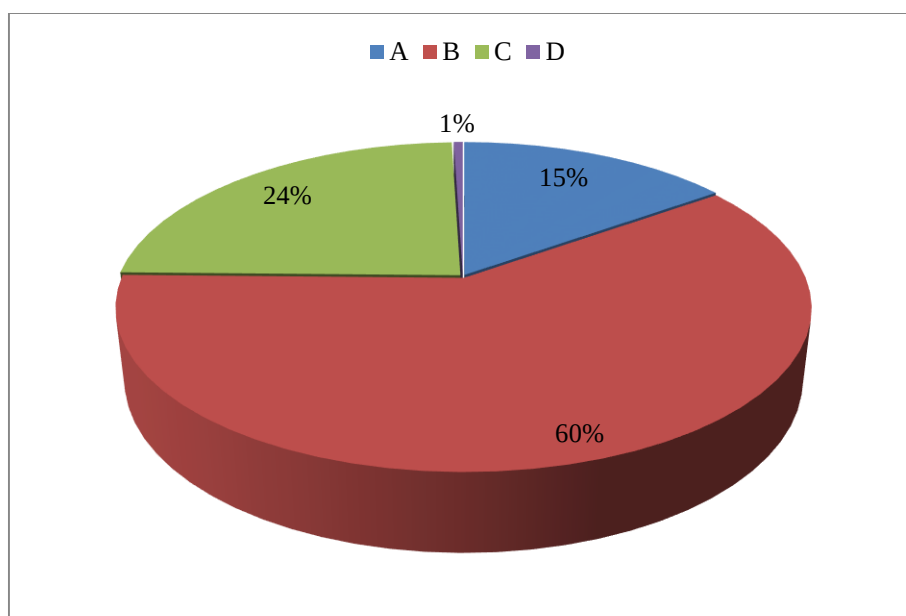


Figura 5. 6. Percentagem de edifícios existentes nas localidades de acordo com as diferentes classes de vulnerabilidade definidas.

Analisando a tabela 5.5 nota-se uma predominância da classe de vulnerabilidade B, facto que se atribui a um crescente número de edifícios que têm sido remodelados, acrescentando-lhes pisos em materiais diferentes dos usados na construção previamente existente. As construções mais antigas da ilha não possuíam placa de cimento entre os pisos, mas à medida que têm sido remodeladas têm-se colocado placa de cimento entre os diferentes pisos. Este fato vai implicar diferente comportamento dos materiais provocando a diminuição da resistência da habitação aos efeitos das ondas sísmicas.

Os cerca de 24,2% do total de edifícios pertencentes à classe C constituem principalmente construções recentes. Para o caso dos edifícios da classe D correspondem a novas edificações, cujos donos tiveram a preocupação em construí-los

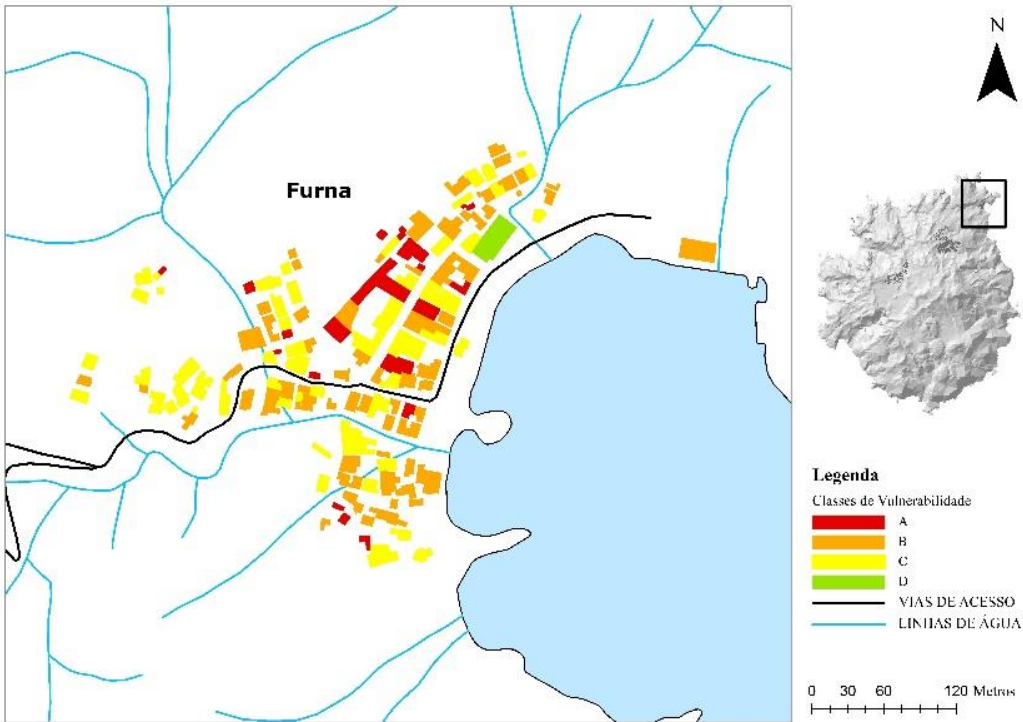
5. VULNERABILIDADES

com maior resistência. De todas as localidades estudadas, Cova Joana é a que apresenta a maior percentagem de construções classificadas tanto na primeira classe de vulnerabilidade como na última categoria (Tabela 5.5).

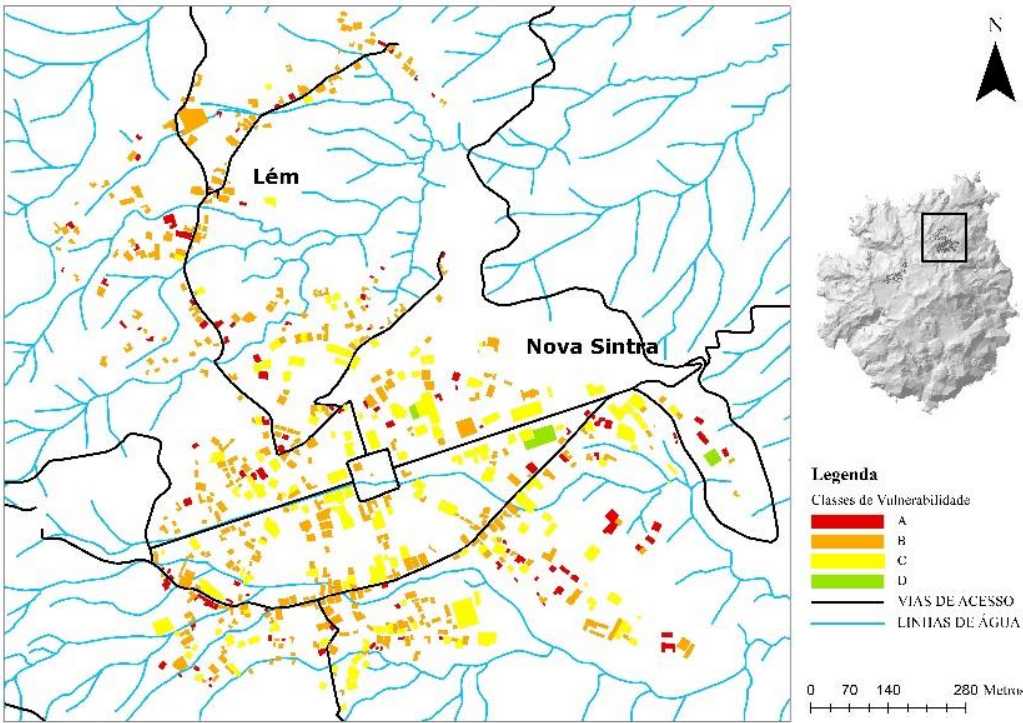
Tabela 5. 5. Discriminação, por localidade, dos edifícios pertencentes a cada classe de vulnerabilidade.

Localidades	Classe de vulnerabilidade	Nº de habitações	% Nº de habitações
Nova Sintra	A	82	14,9
	B	292	53
	C	174	31,6
	D	3	0,5
Furna	A	21	12
	B	82	46,9
	C	71	40,6
	D	1	0,5
Lém	A	38	18,1
	B	144	68,6
	C	28	13,3
	D	0	0
Cova Joana	A	18	20,9
	B	63	73,3
	C	4	4,6
	D	1	1,2
Nossa Senhora do Monte	A	33	13,5
	B	180	73,8
	C	30	12,3
	D	1	0,4

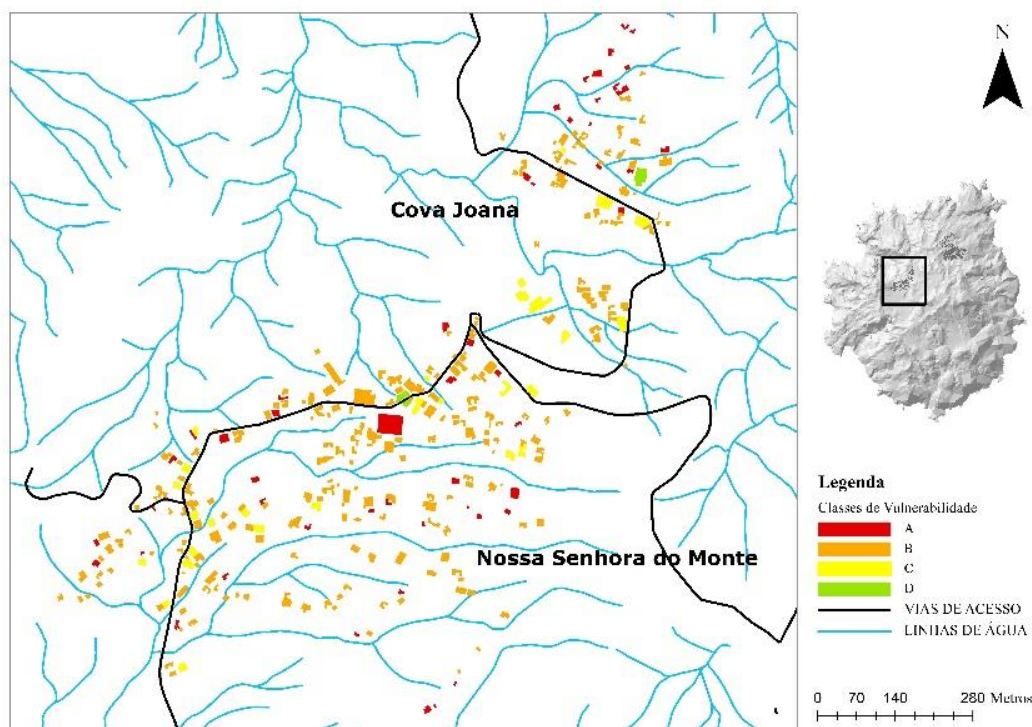
A partir dos dados obtidos elaboraram-se mapas de acordo com as classes do edificado na ilha Brava para a localidades estudadas (Fig. 5.7) tendo em conta a sua localização e a proximidade de umas em relação a outras. As localidades que ficam próximas umas das outras, caso de Nova Sintra-Lém (Fig. 5.7b) e Cova Joana-Nª Sra do Monte (Fig. 5.7c) foi elaborado um mapa conjunto e para a Furna foi elaborado um mapa individual (Fig. 5.7a).



a)



b)



c)

Figura 5.7. Distribuição do edificado segundo as classes de vulnerabilidade ao perigo sísmico nas localidades estudadas na ilha Brava.

No que respeita à vulnerabilidade a eventos sísmicos verifica-se que a maior parte das habitações correspondem à classe de vulnerabilidade B. Isso faz com que não seja necessário um sismo de intensidade muito elevada para se observarem danos numa proporção considerável de edifícios.

Foram calculadas as percentagens de construções que, segundo as suas classes de vulnerabilidade, sofreriam danos de diferentes níveis para sismos com intensidades de grau V e VII na escala EMS-98. Esses graus de intensidade para o qual são atribuídos valores de danos, na EMS-98, correspondem às intensidades mais prováveis e às máximas históricas observadas na ilha Brava, como atrás referido. Os resultados apresentados nas tabelas a seguir pertencem à distribuição do número de edifícios, em percentagem, segundo o nível de danos que sofrerão se ocorrer um sismo de determinada intensidade, considerando dois cenários.

O melhor cenário considera os valores mínimos atribuídos enquanto o pior cenário tem em atenção as percentagens máximas de danos mais graves. Dessas tabelas sobressai, naturalmente, o acréscimo gradual das percentagens de edifícios que serão afetados por

níveis de danos mais elevados à medida que a intensidade dos sismos aumenta, em prejuízo dos valores atribuídos a níveis de danos inferiores, independentemente de ser para um melhor ou pior cenário.

Para um sismo de grau V, na EMS98 apenas os edifícios com classes de vulnerabilidade A e B têm danos atribuídos, sendo neste caso para ambos de grau 1. A tabela a seguir permite mostrar que no caso de um sismo afetar a ilha Brava com uma intensidade V (EMS-98) que para o melhor cenário nenhuma das casas sofreria danos. No entanto, para o pior cenário entre 10,2% e 14% do total das habitações poderão ter de ser sujeitas a pequenas reparações pois apresentaram danos de nível 1, enquanto que as restantes construções não sofrerão danos. Furna apresentará a menor percentagem de casas afetadas no pior cenário (8,6%) em oposição à freguesia de Cova Joana (14,0%) (Tabela 5.6).

Tabela 5.6. Número de habitações em cada freguesia que podem sofrer danos provocados por um sismo de grau V considerando dois cenários (EMS-98).

Localidades	Classe Vulnerabilidade	Melhor Cenário (V)		Pior Cenário (V)			
		Sem danos	Danos 1	Sem danos	%	Danos 1	%
Nova Sintra	A	82	0	70	89,8	12	10,2
	B	292	0	248		44	
	C	174	0	174		0	
	D	3	0	3		0	
Furna	A	21	0	18	91,4	3	8,6
	B	82	0	70		12	
	C	71	0	71		0	
	D	1	0	1		0	
Lém	A	38	0	32	86,7	6	13,3
	B	144	0	122		22	
	C	28	0	28		0	
	D	0	0	0		0	
Cova Joana	A	18	0	15	86,0	3	14,0
	B	62	0	53		9	
	C	5	0	5		0	
	D	1	0	1		0	
Nossa Senhora do Monte	A	33	0	28	86,8	5	13,2
	B	180	0	153		27	
	C	27	0	27		0	
	D	4	0	4		0	

5. VULNERABILIDADES

Contudo, se a área de estudo for atingida por um sismo de intensidade VII (EMS-98), os níveis de danos susceptíveis de se verificarem serão expressivamente mais destruidores, pois para esta intensidade de acordo com a EMS-98 os estragos susceptíveis de ocorrerem nas construções são danos 1, 2, 3 e 4. Sendo assim de acordo com a tabela a seguir indicada, estima-se que:

- ✓ Entre 14,8% e 15,2% do total do edificado da área em estudo poderá sofrer destruição parcial ou total, necessitando, assim, de uma reconstrução ou uma de nova construção, respectivamente;
- ✓ Entre 14,9% e 57% das construções terão de ser reabilitadas;
- ✓ Entre 25% e 76,5% dos edifícios poderão precisar de pequenas reparações.

Para um evento de intensidade VII, as localidades de Lém e de Nossa Senhora do Monte apresentarão, para os dois cenários, a maior percentagem de habitações que irão necessitar de pequenas reparações, grandes obras de reabilitação e de reconstrução ou novas construções e Nova Sintra deverá manifestar a menor percentagem de edifícios que irão precisar de intervenções profundas, em consequência dos danos de nível 4 que o sismo poderá provocar.

Tabela 5. 7. Número de habitações em cada localidade que podem sofrer danos provocados por um sismo de grau VII considerando dois cenários (EMS-98).

Localidade	Classe Vulnerabilidade	Melhor Cenário (VII)								Pior Cenário (VII)									
		Sem danos	%	Danos 1	%	Danos 2	%	Danos 3	%	Sem danos	%	Danos 1	%	Danos 2	%	Danos 3	%	Danos 4	%
Nova Sintra	A	7	8,9	16	19,3	47	56,9	12	14,9	3	3,1	6	6,9	16	20	45	55,2	12	14,8
	B	26		56		166		44		9		20		58		161		44	
	C	16		33		99		26		5		12		35		96		26	
	D	0		1		2		0		0		0		1		2		0	
Furna	A	2	8,6	4	19,4	12	57,1	3	14,9	1	3,4	1	6,9	4	19,4	12	55,4	3	14,9
	B	7		16		47		12		3		6		16		45		12	
	C	6		14		40		11		2		5		14		39		11	
	D	0		0		1		0		0		0		0		1		0	
Lém	A	3	9,1	7	18,6	22	57,1	6	15,2	1	2,9	3	7,1	7	20	21	54,8	6	15,2
	B	13		27		82		22		4		10		29		79		22	
	C	3		5		16		4		1		2		6		15		4	
	D	0		0		0		0		0		0		0		0		0	
Cova Joana	A	2	9,3	3	18,6	10	57	3	15,1	0	2,3	1	5,8	4	19,8	10	57	3	15,1
	B	6		12		35		9		2		4		12		35		9	
	C	0		1		3		1		0		0		1		3		1	
	D	0		0		1		0		0		0		0		1		0	
Nª Sra. do Monte	A	3	9	6	18,9	19	56,9	5	15,2	1	2,8	2	7	7	20,1	18	54,9	5	15,2
	B	16		34		103		27		5		13		36		99		27	
	C	3		5		15		4		1		2		5		15		4	
	D	0		1		2		1		0		0		1		2		1	

5.3.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os efeitos provocados pelos sismos, tanto nas pessoas como nas construções dependem não só da severidade da acção sísmica como também da resistência e qualidade dessa construção ou seja, por outras palavras, da vulnerabilidade da construção a essa acção.

A caracterização do edificado na ilha Brava permitiu a obtenção de dados sobre a vulnerabilidade face à ocorrência de sismos. Para a análise dos dados da macrossísmica das várias crises sísmicas estudadas utilizou-se a Escala Macrossísmica Europeia de 1998 (EMS-98) (Grünthal, 1998) de modo a atribuir a classificação relativa às classes de vulnerabilidade do edificado. Verificou-se que esta ilha apresenta uma predominância de classe B seguida da classe C. As classes A e D, de maior e menor vulnerabilidade respectivamente, existem em menor quantidade. Estes dados estão intimamente relacionados à antiguidade das construções.

Verificou-se que o tipo de construções na ilha Brava especialmente nas zonas rurais, consistia em casas de pedra geralmente construídas com pedra não talhada, sem argamassa ou com argamassa de má qualidade (barro), com ou sem revestimento e com teto geralmente de palha ou de telha que foram incluídas na classe A. Salvo algumas excepções, pertença de famílias abastadas, algumas casas eram construídas com blocos de pedra talhada com reforço, isto é, com cimento embutido entre eles tendo sido incluídos na classe B. A partir da década de 80 do séc. XX registou-se uma melhoria significativa na construção civil, com a introdução de novos materiais e técnicas, quer na remodelação de casas tradicionais, quer na construção de raiz de habitações e edifícios públicos. Tanto para os sismos associados a erupções vulcânicas como os de origem vulcanotectónica é importante ter em conta a antiguidade das construções pois implica maior vulnerabilidade em caso de sismos fortes. Verificou-se que a vulnerabilidade do edificado na ilha Brava é acrescida pela existência de um elevado número de habitações antigas, sem grandes capacidades de resistência.

De modo geral, as localidades estudadas apresentam edificado com vulnerabilidade variável entre baixa a elevada, sendo Cova Joana a que possui maior número de construções mais vulnerável e Nova Sintra a que apresenta edificado menos vulnerável,

tanto para os cenários com sismos de grau V como para os de grau VII. Perante os resultados obtidos, verifica-se que as construções na ilha Brava são pouco resistentes à ocorrência de sismos.

O conhecimento das zonas com edificado mais vulnerável ao perigo sísmico deve permitir aos decisores desencadear medidas preventivas de modo a minimizar os impactos de um futuro sismo intenso na ilha Brava. Para uma minimização dos riscos sísmicos na ilha Brava que reduza significativamente o impacto negativo dos sismos sobre a segurança das pessoas, o edificado e as infraestruturas, torna-se indispensável proceder a políticas de prevenção que envolvem a adoção de construções mais resistentes e o reforço das construções mais vulneráveis à ação sísmica e, ainda, a preparação para a eventualidade da ocorrência de um desastre. Outro aspeto importante é a existência de fiscalização efetiva e rigorosa de acordo com a legislação vigente sobre a construção civil. A política de construções mais resistentes e do reforço das construções é tarefa delicada e difícil podendo demorar várias décadas, mas cujos resultados irão certamente ser compensados a médio/longo prazo. Ela exige a adesão da população e a participação de inúmeros parceiros da sociedade civil e do Estado e deverá ser lançada com a maior brevidade possível. Deve-se também proceder ao reforço das construções existentes através da utilização de obras de beneficiação e promoção de incentivos, para reforçar as construções mais vulneráveis. A preparação para o desastre tem efeitos a curto prazo e deve ser levada a cabo no mínimo prazo de tempo pelas autoridades nacionais e locais. Devendo-se promover ações de proteção civil de preparação para o Desastre, definindo Planos de Emergência que incluem o socorro, a evacuação e realojamento das populações. Ações de aconselhamento da população com vista ao comportamento das pessoas, antes, durante e após um sismo.

5.4. VULNERABILIDADE AOS PERIGOS VULCÂNICOS

Na análise de vulnerabilidades relativa aos perigos vulcânicos deve-se ter em conta o fato de cada um dos perigos vulcânicos (escoadas lávicas, piroclastos de queda, escoadas piroclásticas, *surges*, *lahars* e gases vulcânicos) afetar de modo distinto os diversos elementos de vulnerabilidade. Malheiro (2002) apresenta, neste contexto, uma resenha dos parâmetros a ter em conta na avaliação da vulnerabilidade a eventos vulcânicos, assim como os valores críticos e os impactes mais expressivos sofridos pelos diversos elementos expostos a tais perigos (Anexo VI – quadro de parâmetros críticos).

Tal como feito para a vulnerabilidade ao perigo sísmico foram considerados como elementos de vulnerabilidade expostos aos perigos vulcânicos: a população, o edificado e as infraestruturas básicas. Convém realçar que dada a variedade de perigos vulcânicos cada um destes elementos expostos será afetado tendo em conta alguns fatores bem como o tipo de perigo vulcânico existente na área e estudo.

5.4.1. VULNERABILIDADE DA POPULAÇÃO

Para a população de um modo geral, as mortes ou ferimentos resultantes da actividade vulcânica dependem de diversos factores, como sejam a distância ao vulcão à qual vivem as comunidades, o número de pessoas que compõem essas comunidades, os tipos de perigos vulcânicos passíveis de ocorrerem e ainda a magnitude e frequência da atividade vulcânica. Os principais perigos causadores de mortes ou feridos resultantes das erupções vulcânicas são as escoadas piroclásticas, *surges*, *lahars* e piroclastos de queda. Os perigos vulcânicos como as escoadas lávicas e os gases vulcânicos raramente causam mortes mas podem provocar lesões graves nas pessoas.

Segundo McGuire (1998) a combinação das altas velocidades (dezenas de metros por segundo) e altas temperaturas (300-800°) fazem com que as escoadas piroclásticas e os *surges* estejam entre os perigos vulcânicos mais ameaçadores para a vida humana. Blong (1984) constatou que este tipo de perigo vulcânico foi responsável pela maioria das mortes associadas a erupções vulcânicas nos últimos 400 anos. Só no século XX, estima-se que esse valor seja da ordem dos 70% do total de mortes provocadas pelos

fragmentos de rocha transportados, do seu enorme poder abrasivo e do calor, no caso dos *surges* quentes e escoadas piroclásticas, e ainda, do efeito dos gases tóxicos ou paralisantes transportados por estes fluxos (Crandell *et al.*, 1984). Causam a morte generalizada de pessoas e animais por asfixia, calor, presença de gases nocivos e falta de oxigénio. Nos casos em que há sobreviventes, estes podem sofrer queimaduras graves e irritações na garganta e narinas devido aos gases altamente sulfúreos.

Os *lahars* têm sido responsáveis por grande parte das mortes relacionadas com atividade vulcânica nos últimos anos. Podem ser gerados durante a erupção ou no período pós-erupção, por remobilização de piroclastos. Em ambos os casos, podem ter um enorme impacto destrutivo nas comunidades circundantes, causando a morte de pessoas e animais por soterramento, asfixia (inalação de cinzas ou gases tóxicos) e provocando graves lesões (como fraturas e queimaduras) (Blong, 1984). Através da destruição de pontes e de estradas, importantes do ponto de vista de evacuação, os *lahars* podem ainda encurralar as pessoas em locais vulneráveis a outros perigos vulcânicos, especialmente se estes deixarem depósitos que sejam muito espessos, pouco coesos ou muito quentes para serem atravessados.

Apesar de não constituírem um dos principais factores causadores de morte, os piroclastos de queda representam um perigo bastante importante atendendo à vasta área que geralmente afetam, na medida em que podem provocar escoriações, fraturas, queimaduras, infeções na vista e no aparelho respiratório e inclusive a morte. Mesmo a queda de pequenas quantidades de piroclastos da dimensão das cinzas e das poeiras, é suficiente para causar problemas respiratórios e de irritação nos olhos. Também podem provocar o aparecimento de doenças respiratórias crónicas, como a bronquite ou a silicose (doença pulmonar resultante da inalação de partículas finas de sílica cristalina livre) (Baxter e Searl, 2002).

As escoadas lávicas, particularmente devido às suas baixas velocidades, raramente provocam a morte de pessoas, resultando os seus efeitos nefastos essencialmente na destruição de casas, infraestruturas diversas e propriedades. Contudo, existiram casos em que o avanço da lava foi tão rápido que causou a morte a algumas pessoas (principalmente idosos e crianças) (Crandell *et al.*, 1984; Fisher *et al.*, 1997). Para além destas, outras situações relacionadas com a existência de escoadas lávicas que podem

resultar em mortes devem-se ao fato das pessoas serem cercadas pela lava face às diferentes direções seguidas pelas escoadas (Ferreira, 2000). Noutros casos, as pessoas são atingidas por fragmentos lávicos projetados, na sequência de explosões que ocorrem quando as escoadas entram em contato com a água (Blong, 1984). Noutras situações ainda, as mortes resultam da circulação de pessoas sobre tubos lávicos cujos tetos abatem.

Os gases vulcânicos podem constituir um perigo para a saúde das pessoas, dependendo da concentração e do grau de toxicidade, na medida em que podem causar a morte por asfixia (falta de oxigénio) ou provocar graves lesões ao nível do cérebro, do aparelho respiratório, da pele e da vista (Ferreira, 2000). Por exemplo, relacionado com a produção de gases tóxicos pode dar-se o transporte e a precipitação de elementos venenosos como o flúor (F_2) e o cloro (Cl_2). Estes elementos podem concentrar-se quer nos alimentos dos animais causando doenças e morte, quer nos reservatórios de água, causando danos aos dentes e ossos da população. Podem também provocar irritações na pele e nos olhos das pessoas e causar danos nas roupas. Convém realçar que esse perigo vulcânico ocorre tanto durante uma erupção como em períodos não-eruptivos.

5.4.2. VULNERABILIDADE DAS INFRAESTRUTURAS BÁSICAS

Diversas infraestruturas básicas na ilha Brava, como por exemplo, as redes de abastecimento de energia, de água e de telecomunicações, as redes viárias e os portos podem ser significativamente afetados pela ocorrência de erupções vulcânicas e os efeitos nefastos continuam a fazer-se sentir mesmo após estas erupções terem terminado. Embora não se disponha de uma grande quantidade de dados, admite-se que os *lahars* resultantes da actividade vulcânica constituem a maior ameaça para as infraestruturas a nível mundial (Blong, 1984).

Os sistemas de abastecimento de água podem ser afectados ao nível do reservatório, ao nível do sistema de distribuição ou, ainda, na qualidade da água de consumo. Os danos podem ser causados por qualquer dos perigos vulcânicos anteriormente tratados, sendo de salientar que a água dos reservatórios pode ser contaminada, mesmo na ausência de erupções, simplesmente pela actividade fumarólica (Blong, 1984). A turvação e a acidez dos reservatórios também pode ser afectada pela queda de piroclastos. Um factor muito

importante a ter em conta é a possibilidade das cinzas arrastarem consigo elementos nocivos, como o arsénio ou o flúor, que podem provocar a contaminação da água de consumo (Araña e Ortiz, 1996). Os sistemas de abastecimento de água são igualmente muito vulneráveis aos *lahars* porque o sistema de distribuição pode ser soterrado por lama, podendo estes danos ocorrer a grandes distâncias do vulcão.

Os sistemas elétricos são, muitas vezes, afetados pelos efeitos das erupções vulcânicas, quer ao nível dos geradores de energia, quer ao nível das redes de distribuição, quer ainda ao nível do consumo. As centrais elétricas podem ser destruídas por vários dos perigos vulcânicos, particularmente pelos piroclastos de queda e pelas escoadas lávicas (Blong, 1984). As redes de distribuição elétrica são frequentemente danificadas durante as erupções vulcânicas, particularmente sob o efeito da queda de cinzas podendo as linhas serem aquecidas por uma chuva de cinzas e vergadas quase até ao chão devido ao seu peso (Blong, 1984). Apenas 1 mm de cinzas é suficiente para provocar interrupções de energia elétrica devido a curto-circuitos nos componentes (Suto, 2002). As linhas de distribuição de eletricidade e quaisquer outros objetos metálicos são corroídos quando expostos a gases vulcânicos.

As telecomunicações, particularmente as via rádio e via telefone são frequentemente afetadas pelas erupções. As centrais de telecomunicações bem como os cabos submarinos podem também ser destruídos por vários perigos vulcânicos, particularmente as escoadas lávicas e/ou as escoadas piroclásticas. As linhas de distribuição de comunicações, assim como todo o equipamento fixo, também podem ser deterioradas pela corrosão quando expostos a gases vulcânicos.

As diversas vias de comunicação terrestres podem ser afetadas, em particular, pelas escoadas lávicas, pela queda de cinzas, pelas escoadas piroclásticas e pelos *lahars*. Uma das situações mais críticas é a interrupção de estradas e caminhos de acesso, o que pode dificultar a evacuação das populações e as operações de socorro e salvamento. Quanto aos veículos, estes podem ser afetados por, praticamente, todos os perigos vulcânicos referidos, embora os exemplos descritos na literatura se refiram essencialmente a danos provocados por escoadas piroclásticas, *lahars*, projéteis de trajetória balística e queda de piroclastos. Mais concretamente, a queda de cinzas pode provocar estragos no exterior das viaturas e a nível dos motores. Um dos efeitos mais nefastos é o sobreaquecimento

que pode ocorrer na sequência do entupimento dos filtros de ar. Os gases vulcânicos têm também a capacidade de corroer todos os componentes metálicos das viaturas, provocando danos, por vezes, significativos. Tanto os portos como os barcos têm sido afetados, ao longo dos tempos, por diversos perigos vulcânicos, sendo os mais comuns, a queda de piroclastos, escoadas lávicas e *lahars*, por vezes, afetado a funcionalidade de alguns portos provocando a sua destruição.

Para a Brava em caso de ocorrência de erupções futuras, as infraestruturas poderão ser afetadas pela maioria dos perigos vulcânicos existentes na ilha. Convém realçar que existe um perigo vulcânico, a emissão difusa de gases vulcânicos, que tem afetado particularmente a qualidade da água das nascentes. Na ilha Brava, tal como atrás referido, a maioria da água distribuída e consumida pela população provém de nascentes. Em várias nascentes na ilha Brava a composição química da sua água foi modificada devido à presença de desgaseificação, como é o caso da Nascente do Vinagre. Este aspeto tem afetado a saúde dentária da população local que apresenta uma quantidade considerável de pessoas com fluorose dentária. Não se sabe precisar a quantidade exata de pessoas com este problema devido ao fato de, apesar de ser conhecido das autoridades sanitárias na ilha e da água destas nascentes ser analisada com frequência, nunca foi objeto de estudo até à data.

5.4.3. VULNERABILIDADE DO EDIFICADO

5.4.3.1. NOTA PRÉVIA

Tal como realizado para o perigo sísmico, optou-se por aprofundar o estudo da vulnerabilidade do edificado para os perigos vulcânicos existentes na ilha Brava. Para a análise da vulnerabilidade do edificado relativamente aos diferentes perigos vulcânicos é necessário atender a diversos parâmetros intrínsecos aos próprios edifícios e respectivos conteúdos que podem sofrer diversos tipos de estragos. Alguns autores, Blong (1984), Blong (1996) e Pomonis *et al.* (1999), defendem que estes danos podem ocorrer isoladamente ou associados e incluem: impactos de projéteis balísticos; soterramento; excessiva carga nas paredes e telhados, incineração, colapso; transporte; sub-escavações; corrosão, etc., de acordo com a tabela a seguir indicada (tabela 5.8).

Tabela 5. 8. Danos em edifícios associados a perigos vulcânicos (Blong, 1984; Pomonis *et al.*, 1999).

Perigo vulcânico	Principal agente destrutivo	Principais danos causados
Escoadas piroclásticas/ <i>surges</i>	Pressão dinâmica; calor	Danos nas paredes, soterramento; incêndios; colapso; deslocamentos; inundações; danos nas fundações.
Queda de piroclastos	Impacto de blocos ou bombas; excessiva carga de cinzas	Danos nas coberturas; danos nas paredes; soterramento; corrosão; incêndios.
<i>Lahar</i>	Água; pressão dinâmica	Inundação; danos nas paredes e fundações; colapso; deslocamento; corrosão; soterramento;
Gases vulcânicos	Ataque químico	Corrosão; incêndios

Os mecanismos resultantes da acção de um ou vários perigos vulcânicos, simultaneamente, podem desencadear destruição total, danos graves, estragos mínimos ou danos descuráveis em cada localidade (Blong, 1996), dependendo de fatores como a distância à erupção, a topografia, a altitude, etc. Segundo Blong (1984), escoadas lávicas, escoadas piroclásticas e *lahars* são os perigos vulcânicos que provocam mais destruição nos edifícios, enquanto os gases vulcânicos são os menos destrutivos. Para Pomonis *et al.* (1999), a vulnerabilidade das construções depende da sua resistência a cada um dos perigos considerados, que por sua vez está dependente do tipo de construção, dos materiais utilizados, da qualidade da mão-de-obra, do nível de manutenção, da idade do edifício, etc.

No entanto, para Blong (1996) a presença de aberturas no edifício (portas, janelas, claraboias, etc.) é talvez mais importante que o próprio material de construção, do ponto de vista das vulnerabilidades aos perigos vulcânicos. A localização de empreendimentos em zonas potencialmente perigosas, tais como planícies aluviais e vales, onde podem desenvolver-se *lahars* e escoadas piroclásticas, é outro fator que pode contribuir para a vulnerabilidade das construções, para além dos fatores próprios ao material e ao tipo de construção.

5.4.3.1.1. ESCOADAS LÁVICAS

As escoadas lávicas representam um perigo para todo o tipo de construções, como aconteceu nas erupções do Etna (Itália) que originaram o soterramento de Mascalli (1928) e parte de Catania (1969) (MacDonald, 1972), em Goma, aquando da erupção do Nyiragongo (Zaire), em Janeiro de 2002, ou, ainda, a erupção de 2014 na ilha do Fogo cujas escoadas lávicas destruíram três povoados na zona de Chã das Caldeiras. Os mecanismos de perda associados às escoadas lávicas incluem, geralmente, a exagerada força exercida nas paredes, no soterramento, no colapso e nos incêndios. As escoadas mais lentas e viscosas têm maior capacidade destrutiva, relativamente à força de derrube das paredes, sendo que todas as escoadas possuem temperaturas capazes de incendiar os materiais inflamáveis existentes nas construções, embora as mais fluídas sejam as de maiores temperaturas (Blong, 1984). Segundo este autor, de forma geral, constatou-se que os imóveis que possuem paredes largas construídas em pedra, com pouca madeira ou outros materiais inflamáveis nas portas, janelas e telhados são os que melhor resistem às escoadas lávicas. Por outro lado, paredes exteriores posicionadas na diagonal à direção de fluxo da lava mostram melhor comportamento do que as paredes normais a esse fluxo.

5.4.3.1.2. PIROCLASTOS DE QUEDA

Para além da possibilidade de soterramento, nas estruturas podem ocorrer vários estragos provocados pelo impacto dos piroclastos de queda (tanto maiores quanto menor for a distância ao vulcão), incluindo o colapso devido ao peso dos depósitos e ocorrência de incêndios. Geralmente, pode-se considerar como proporções críticas para os piroclastos de queda, diâmetros de 5 a 10 cm, pois verificou-se que clastos de natureza pomítica com mais de 10 cm conseguem manter temperaturas elevadas até ao momento do impacto, podendo causar queimaduras e incêndios, e clastos de escórias com dimensões iguais ou superiores a 5 cm podem perfurar as telhas de barro vulgarmente utilizadas nas construções (Blong, 1984; Crandell *et al.*, 1984). Constatou-se ainda que projéteis com diâmetros da ordem dos 5 a 10 cm têm capacidade de perfurar coberturas em fibrocimento, em madeira e em telhas de xisto ou argila (Blong, 1984). Os telhados com claraboias são mais vulneráveis relativamente ao impacto das bombas vulcânicas, sendo que para este caso, os valores de peso para que este tipo de piroclastos cause dano poderá ser bastante menor. Vidros temperados com 2 cm de

espessura podem ser perfurados por bombas de 10 g; qualquer vidro de janela pode ser danificado por projéteis com mais de 25 g (Blong, 1984). Os valores de referência atrás mencionados devem ser tomados com precaução pois existem outros fatores a ter em conta como a dimensão e peso dos projéteis, a energia de impacto, a diminuição da resistência dos edifícios com o tempo e, ainda, a forma dos projéteis, já que os pontiagudos possuem maior capacidade de perfuração do que os esféricos ou os cúbicos (Blong, 1984).

O colapso de telhados devido ao peso das cinzas aí acumuladas representa o maior perigo para as edificações por este tipo de materiais. A acumulação de cinzas depende não só do tipo de material que constitui a cobertura (mais ou menos rugoso), mas também da configuração dessa cobertura, nomeadamente a inclinação (Blong, 1984). Não é possível definir com exatidão uma espessura crítica que provoque o colapso das coberturas, uma vez que são vários os fatores a ter em conta. No entanto, constatou-se que depósitos de piroclastos com espessuras superiores a 4 m causam a destruição total de edifícios (Booth *et al.*, 1983); por outro lado, espessuras da ordem de 1 m podem provocar o colapso parcial de várias estruturas (Blong, 1984), particularmente se acompanhadas por chuvas intensas. Booth *et al.* (1983) consideraram que para que ocorra o colapso de alguns telhados é necessária uma espessura de 25 cm, sobretudo se não houver o cuidado de os limpar durante a fase eruptiva. Uma acumulação de 25 cm de cinzas ou *lapilli* secos representa uma carga extra de cerca de 200 kg/m^2 , a qual quando multiplicada pela área do telhado pode atingir um peso de várias dezenas de toneladas, valor que pode duplicar se as cinzas se encontrarem molhadas. Neste caso, 10 cm de cinzas são suficientes para provocar estragos apreciáveis em edifícios (Blong, 1984; Crandell *et al.*, 1984; Baxter, 1994; Pomonis *et al.*, 1999). A tabela a seguir indicada (tabela 5.9) apresenta vários exemplos dos efeitos da queda de piroclastos nos edifícios.

Tabela 5. 9. Efeitos da queda de piroclastos nos edifícios.

Erupção	Data	Espessura dos depósitos de piroclastos não compactados (cm)	Danos	Referências
Soufrière (St. Vincent)	1812	15 - 25	Telhados colapsaram	Anderson e Flett, 1903, <i>in</i> Blong

5. VULNERABILIDADES

				1984
Tambora (Indonésia)	1815	9.5	Telhados colapsaram	Anon, 1816, <i>in</i> Blong 1984
St. Maria (Guatemala)	1902	20	Casas ruíram	Coleman, 1946, <i>in</i> Blong 1984
Soufrière (St. Vincent)	1902	7.5 - 12.5 46	Telhados colapsaram Casas colapsaram	Anderson e Flett, 1903, <i>in</i> Blong 1984
Ulawun (Papua Nova Guiné)	1967	1.0 - 1.2	Danos menores	Johnson <i>et al.</i> , 1970, <i>in</i> Blong 1984
Fuego (Guatemala)	1971	30, incluindo bombas	20% dos telhados colapsaram	Bonis e Salazar, 1973, <i>in</i> Blong 1984
Pinatubo (Filipinas)	1991	20	1/3 dos telhados colapsaram	Blong, 2000
Rabaul (Papua Nova Guiné)	1994	< 20 30 50-60	80-90% dos telhados resistiram > 50% dos telhados resistiram > 50% dos telhados colapsaram	Blong, 2000

Segundo Pomonis *et al.*, (1999), os principais fatores a considerar no que diz respeito à resistência dos edifícios a elevadas cargas de piroclastos são: o tipo, a inclinação e o estado da cobertura dos mesmos. A estrutura da cobertura poderá ser basicamente de dois tipos: em madeira e em laje de betão, sendo estas últimas as mais resistentes. Relativamente à inclinação dos telhados, constatou-se que a cinza tende a acumular-se em telhados cuja inclinação seja inferior a 20°, tendo-se verificado casos em que a espessura de apenas 2-3 cm de cinzas foi suficiente para provocar o colapso dos mesmos (Araña e Ortiz, 1996). A medida preventiva mais eficaz nestas situações, para além de uma construção adequada, é a remoção contínua destes depósitos dos telhados, de modo a não porem em perigo a estrutura (Pomonis *et al.*, 1999). Os materiais de suporte empregues na construção das coberturas deverão ser concebidos para resistirem a potenciais cargas de cinzas. A estrutura de cobertura deverá ser preferencialmente construída em betão armado, em detrimento da madeira, ou então, recorrer a inovações como um sistema de ventilação durante a queda de cinzas (Blong, 2000).

5.4.3.1.3. ESCOADAS PIROCLÁSTICAS E SURGES

As escoadas piroclásticas e os *surges* provocam danos graves em habitações e outras estruturas, dependendo do grau de destruição, da densidade, da velocidade e

temperatura das escoadas (Blong, 1984), sendo os maiores danos resultantes das elevadas energias cinéticas que estes materiais apresentam. Portanto, os danos em construções advêm basicamente do impacto (a acção de grandes forças nas paredes), do colapso, do soterramento e de incêndios. Mesmo em áreas pequenas, a extensão dos danos pode variar substancialmente. Em relação às escoadas piroclásticas, *surges* e *lahars*, é fundamental o material constituinte das paredes exteriores da habitação, assim como o tipo de aberturas (portas e janelas), a localização de tais aberturas e o tipo de protecção (portadas ou persianas) que eventualmente apresentem.

5.4.3.1.4. LAHARS

O elevado poder de destruição dos *lahars* é devido às elevadas densidade e velocidade que apresentam, podendo destruir violentamente os edifícios. Estes podem ser esmagados ou transportados pelo impacto do *lahar* e serem parcialmente soterrados pela massa de sedimentos e fragmentos rochosos. Embora apresentem, frequentemente, velocidades mais baixas do que as escoadas piroclásticas, as energias de impacto que apresentam são semelhantes, uma vez que estes são mais densos (Blong, 1984). Ainda de acordo com o citado autor, por possuírem temperaturas mais baixas do que as escoadas piroclásticas (40°-50°), é pouco provável que provoquem directamente incêndios. Havendo a possibilidade de estes ocorrerem, indirectamente, devido a ruturas de canalizações de gás ou a curtos-circuitos.

5.4.3.1.5. GASES VULCÂNICOS

Estes perigos vulcânicos representam os que menores danos causam aos edifícios. No entanto provocam a corrosão do material eléctrico que pode levar a curtos-circuitos e incêndios, para além de uma possível reacção da chuva ácida com o zinco galvanizado dos telhados das casas (Blong, 1984).

5.4.3.2. METODOLOGIA

Tendo em atenção alguns trabalhos realizados neste âmbito, como seja na Papua Nova Guiné, após a erupção dos Vulcões Tavurvur e Vulcan em Setembro de 1994 (Blong, 2003), e o efectuado por Pomonis *et al.* (1999) na freguesia das Furnas, na ilha de São Miguel (Açores), decidiu-se classificar o edificado em categorias de acordo com o tipo

de utilização (conforme referido no ponto 5.3.1) e definir os parâmetros a ter em conta na análise da vulnerabilidade do edificado. Tendo em conta os estudos realizados no capítulo 4, particularmente no que diz respeito ao pior cenário traçado em caso de ocorrência de uma erupção vulcânica pliniana e ao perigo vulcânico optou-se por estudar a vulnerabilidade do edificado à queda de piroclastos. O inquérito porta-a-porta realizado para a vulnerabilidade do edificado ao perigo sísmico inclui parâmetros utilizados na determinação da vulnerabilidade das construções ao vulcanismo. Por isso, alguns dos dados recolhidos no inquérito efectuado são referentes à análise da vulnerabilidade associada à queda de piroclastos, tais como: (1) tipo de material de suporte do teto e (2) a inclinação do telhado (Tabela 5.10). Estes parâmetros constituem elementos essenciais para a análise das vulnerabilidades em relação aos piroclastos de queda, atribuindo a espessura de piroclastos capaz de se acumular antes de ser excedido o ângulo de atrito do material depositado.

Tabela 5.10. Descodificação dos parâmetros da ficha-tipo utilizada no inquérito para o levantamento das vulnerabilidades do edificado.

Campo		Opções
Telhado	Material de suporte do teto	A - Madeira B - Cimento C - Metal
	Inclinação do telhado	0 - Sem inclinação 1 - Suave (< 20°) 2 - Normal (20° to 45°) 3 - Saliente (> 45°)

5.4.3.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

5.4.3.3.1. Telhado

Em relação ao telhado serão indicados e analisados os seguintes parâmetros: o tipo de material de suporte do telhado e a inclinação do telhado.

5.4.3.3.1.1. Tipo de material de suporte do telhado

Para este parâmetro material de suporte do telhado foram considerados os seguintes materiais: madeira (A), cimento (B) e metal (C). De acordo com o inquérito realizado foram obtidos os seguintes resultados relativamente a este parâmetro (Tabela 5.11):

Tabela 5.11. Quantidade de edifícios relativamente ao tipo de material de suporte do telhado para cada uma das localidades em estudo.

Tipo de material de suporte do telhado	Quantidade por localidades											
	Nova Sintra	%	Furna	%	Lém	%	Cova Joana	%	Nossa Senhora do Monte	%	Total	%
A	228	41,4	55	31,4	103	49,1	59	68,6	133	54,5	578	45,7
B	130	23,6	113	64,6	107	50,9	26	30,2	111	45,5	487	38,5
C	5	0,9	2	1,1	0	0	0	0	0	0	7	0,5

Em todas as localidades estudadas foram encontrados edifícios cujo material de suporte do telhado era composto por dois ou mais tipos diferentes:

- ✓ Para o caso de construções que foram remodeladas e que apresentavam parte do telhado suportado por madeira (A) e outra parte suportada por cimento (B): em Nova Sintra encontrou-se 75 edifícios nessas condições; 14 em Furna, 12 em Cova Joana, 26 em Nossa Senhora do Monte e 13 em Lém;
- ✓ Em Nova Sintra encontrou-se um edifício cujo suporte de telhado era constituído por todos os tipos de materiais considerados (madeira, cimento e metal).

Alguns edifícios em construção não permitiam saber o tipo de material de suporte utilizado no telhado. Para os edifícios antigos que foram remodelados, nos casos em que há mais de um tipo de material de suporte e que a maior parte do edifício possui madeira, foram considerados como sendo de madeira (A). Para os casos em que os edifícios estão em construção foram subtraídos ao número total de edifícios determinados no inquérito (5 em Furna e 1 em Cova Joana).

Em relação ao tipo de material de suporte do telhado verificou-se o seguinte:

- ✓ Há um predomínio da utilização de material de tipo A (madeira) como suporte do telhado nas localidades de Nova Sintra, Cova Joana e Nossa Senhora do Monte. Contudo em relação ao tipo de material B (cimento) predominam nas localidades de Furna e Lém;
- ✓ Em relação ao material do tipo C (metal) foram encontrados poucos edifícios em Nova Sintra e Furna com este tipo de material de suporte do telhado. Enquanto que nas outras localidades não se encontrou construções com este tipo de material;

5. VULNERABILIDADES

- ✓ De um modo geral, as casas cujo material de suporte do telhado é de madeira (A) predomina com 45,7% do total das casas inquiridas, sendo seguido do material em cimento (B) com 38,5% e por fim as de material em metal (C) com 0,5%.

5.4.3.3.1.2. Inclinação do telhado

A inclinação do telhado é um dos parâmetros utilizado na avaliação do perigo de queda de piroclastos na Brava. Para tal teve-se em conta os seguintes critérios: Sem inclinação (0) (para estes casos significa que os edifícios possuem no telhado uma laje de betão armado), Suave (ângulo $<20^\circ$) (1), Normal (ângulo entre 20° e 45°) (2) e Saliente (ângulo $>45^\circ$) (3). Os resultados obtidos são a seguir indicados na tabela 5.12.

Tabela 5. 12. Quantidade de edifícios relativamente à inclinação do telhado para cada uma das localidades em estudo.

Inclinação do telhado	Quantidade por localidade						
	Nova Sintra	Furna	Lém	Cova Joana	Nossa Senhora do Monte	Total	%
0	172	116	108	27	114	537	42,3
1	21	1	2	1	5	30	2,4
2	32	11	3	0	1	47	3,7
3	218	30	84	46	100	478	37,8

Conforme se pode verificar na tabela atrás apresentada em relação à inclinação do telhado existe um predomínio de edifícios sem dados (0) com cerca de 42,3% do total das casas seguido de saliente (3) com o total de 37,8% casas em todas as localidades onde foi realizado o inquérito. Nota-se que as construções mais recentes não possuem telhas sendo o telhado constituído por uma laje de betão armado, enquanto que as construções mais antigas possuem telhas com inclinação com mais de 45° . Uma pequena parte dos edifícios na ilha Brava possuem inclinação entre suave (1) e normal (2).

Em todas as localidades foram encontradas edifícios com teto que possuem partes cujos ângulos de inclinação do telhado variam devido a fato de terem sido remodeladas e ampliadas. Como é o caso de edifícios em que encontrou-se dados de 0-1; 0-2; 0-3; 1-3, 2-3 e 0-1-3. Relativamente a cada localidade os dados são os seguintes (tabela 5.13):

Tabela 5.13. Quantidade de edifícios relativamente à inclinação do telhado para valores diferentes em cada uma das localidades em estudo.

Inclinação do telhado	Quantidade por localidades				
	Nova Sintra	Furna	Lém	Cova Joana	Nossa Senhora do Monte
0-1	2	3	--	--	--
0-2	4	1	--	--	1
0-3	46	7	13	11	24
1-3	1	--	--	--	--
2-3	2	--	--	--	--
0-1-3	1	--	--	--	--

De acordo com estes dados existe um claro predomínio em todas as localidades da variação da inclinação 0-3 ou seja, parte do edifício (a remodelada) não possui dados (0) e parte (a mais antiga) possui telhado com inclinação superior a 45° (3). É de ressaltar que em Nova Sintra existe uma quantidade considerável de casas (56) cujos ângulos de inclinação variam, seguido da localidade de Nossa Senhora do Monte (25). Relativamente às outras localidades somente apresentam inclinações com variações entre 0-2 (sem dados e normal) e 0-3 (sem dados e saliente). Alguns edifícios não têm dados referentes à inclinação do telhado por se encontrarem em construção ou por constituírem ruínas.

5.4.3.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Baseado nos estudos da avaliação dos perigos vulcânicos (ver capítulo 4) realizados ao longo deste trabalho procedeu-se à realização de um inquérito relativo à vulnerabilidade do edificado em algumas localidades da Brava tendo a análise dos resultados obtidos incidido sobre o perigo vulcânico considerado mais comum na ilha, a queda de piroclastos (ver subcapítulo 4.4 e 4.5). Por isso somente os parâmetros relacionados a este tipo de perigo vulcânico (tipo de material de suporte do teto e inclinação do telhado) serão tidos em conta na análise dos resultados do inquérito.

Tal como mencionado no subcapítulo 4.4, os piroclastos de queda raramente são responsáveis pela morte directa de pessoas, muito embora causem diversos problemas em termos de saúde pública. As excepções prendem-se, naturalmente, com a proximidade das comunidades aos centros eruptivos e as espessuras acumuladas. A espessura é, aliás, o parâmetro mais crítico no que se refere aos danos causados no

edificado, nas infraestruturas básicas e na economia, de um modo geral. A dimensão das partículas e o teor de humidade dos depósitos são igualmente determinantes neste domínio, tendo-se constatado que o facto dos piroclastos se encontrarem secas ou húmidas, influencia significativamente as cargas adicionais exercidas por estes materiais sobre os edifícios.

O tipo de material de suporte e a inclinação do telhado são parâmetros utilizados na avaliação da vulnerabilidade do edificado à queda de piroclastos. O tipo de material de suporte varia entre madeira, cimento e metal. Destes três materiais o mais resistente à acumulação de piroclastos é o cimento, de menor vulnerabilidade, sendo o menos resistente a madeira, de maior vulnerabilidade.

Quanto à inclinação dos telhados, os edifícios com telhados sem inclinação (cobertura plana de betão) e os com inclinação considerada suave (ângulo $<20^\circ$) acumulam piroclastos constituindo uma elevada probabilidade de ocorrência de colapso dos mesmos; os de inclinação considerada normal (ângulo entre 20° a 45°) o risco de colapso é moderado sendo possível com ajuda de pessoas retirar os piroclastos; e, por fim, os de inclinação considerada acentuada (ângulo $> 45^\circ$) pois os piroclastos acumulados caem por si o que implica menor risco.

Os resultados das simulações sobre futuras ocorrências de erupções plinianas efetuadas no subcapítulo 4.5 permitem concluir que as regiões mais afetadas pela queda de piroclastos seriam as regiões situadas a SW da ilha Brava variando a espessura dos depósitos formados. Das localidades inquiridas as mais afetadas serão Nossa Senhora do Monte e Cova Joana mas somente na estação seca, porque para a estação húmida nenhuma das localidades inquiridas seria afetada. Este aspeto é muito importante porque a quantidade de danos pode ser consideravelmente menor, já que o fator humidade contribui para aumentar o peso dos depósitos e consequentemente causar mais estragos.

Tendo em conta as simulações de queda de piroclastos e as características do edificado, os dois cenários prováveis de ocorrer são:

- (1) O melhor cenário acontece perante uma erupção com $0,1\text{km}^3$ de volume e 25.000 m da altura da coluna em que serão formados depósitos com menores espessuras entre os 0,10 e 0,25m, mas que podem provocar danos apreciáveis. A

acumulação de piroclastos até 0,10 m pode provocar o colapso de telhados para as espessuras superiores a 0,25m.

- (2) O pior cenário acontecerá com a ocorrência de uma erupção com 1km³ de volume e 10.000m da altura da coluna com formação de depósitos com maior espessura entre 2 e 4 m e com área de dispersão significativa, provocando o colapso total de todas as habitações naquelas localidades.

De acordo com o tipo de material de suporte do telhado a localidade que será mais afectada será Cova Joana pois possui um total de 68,6% de edifícios com suporte em madeira. Em Nossa Senhora do Monte cerca de 54,5% das casas poderão ser afectadas. Em ambas as localidades os efeitos nos edifícios podem ser de danos apreciáveis a colapsos dos telhados para os dois cenários referidos.

Quanto à inclinação dos telhados Cova Joana seria a localidade menos afetada porque a maioria dos telhados tem inclinação superior a 45° (em 61,3% das casas), representando os menos vulneráveis pois os piroclastos caem por si ao deslizarem dos telhados. No entanto, 36% dos edifícios podem sofrer colapsos caso a espessura dos piroclastos for superior a 0,25m para os dois cenários referidos. No povoado de Nossa Senhora do Monte os danos serão maiores porque cerca de 52% do total das casas poderá sofrer colapso do telhado em ambos os cenários e 45,6% poderá sofrer somente danos apreciáveis no melhor cenário caso a espessura dos piroclastos seja de 0,10m.

Ao se fazer o cruzamento dos parâmetros (tipo de material de suporte e a inclinação do telhado) conclui-se que a localidade de Nossa Senhora do Monte será a mais afetada em caso de ocorrência de uma erupção pliniana, porque a maioria dos edifícios apresenta maior vulnerabilidade à queda de piroclastos, sendo essencialmente constituída por:

- ✓ 54,5% dos edifícios possuem telhados com material de suporte em madeira (A);
- ✓ 52% dos edifícios possuem telhados sem inclinação.

CAPÍTULO VI – PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA

6.1. PROTEÇÃO CIVIL: ASPETOS GERAIS DO PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA

O conceito de proteção civil é aceite de um modo geral como o conjunto das atividades que salvam, cuidam e protegem as populações, o ambiente e o património, dos efeitos dos acidentes e catástrofes (Alexander, 2003 *in* Anderson, 2006). Essas atividades são atribuição do Estado em primeiro lugar, contudo a colaboração e os primeiros reflexos da população, especialmente nas primeiras horas, são essenciais na situação de acidente, catástrofe, calamidade. Acidente Grave e Catástrofe é definido como situações crescentes de gravidade e em que, o factor abrupto e inesperado da situação e o factor efeito provocados nas pessoas, bens e/ou ambiente são a principal característica.

De acordo com a Lei de Bases da Protecção Civil Cabo-verdiana (Lei nº 12/VIII/2012, de 7 de Março), *“a proteção civil é a atividade desenvolvida pelo estado, pelas autarquias locais, pelos cidadãos e por todas as entidades públicas e privadas com a finalidade de prevenir riscos coletivos inerentes a situações de acidente grave ou catástrofe, de atenuar os seus efeitos, proteger e socorrer as pessoas, outros seres vivos e bens em perigo quando aquelas situações ocorram”*. Acidente grave é *“um acontecimento inusitado com efeitos relativamente limitados no tempo e no espaço, suscetível de atingir as pessoas e outros seres vivos, os bens ou o ambiente”*. Catástrofe é *“o acidente grave ou a série de acidentes graves suscetíveis de provocarem elevados prejuízos materiais e eventualmente, vítimas, afetando intensamente as condições de vida e o tecido socioeconómico em todo ou parte do território nacional”*. Nestes conceitos a causa do acidente ou da catástrofe, não são relevantes para a aplicação de medidas de atenuação ou de limite de efeitos nas populações, bens ou ambiente, pelo que, a resposta dada pelo planeamento de emergência irá prever, no essencial, os mesmos aspetos.

Alguns conceitos essenciais, para esta temática, contemplados na legislação de protecção civil cabo-verdiana e na sua totalidade referem-se a um universo que na literatura científica se enquadra no designado ciclo das catástrofes, conceptualizando-se desta forma, a catástrofe em termos de ciclo. A ideia de ciclo pressupõe uma sequência de factos ou acontecimentos que se sucedem periodicamente e que, partindo de um determinado estado, voltam a si mesmo. Por outro lado admite também que a série de acontecimentos e dependências se mantém. Assim sendo, e no campo da teoria, o estágio de catástrofe é

previsível pelo que, na lógica de proteção civil o planeamento da resposta é uma etapa óbvia deste ciclo. Deste modo o conceito de catástrofe constitui o ponto de partida para a estruturação dos restantes conceitos em redor dela. O ciclo das catástrofes pode ser representado por vários modelos gráficos. As diferenças que apresentam entre si referem-se aos pormenores da subdivisão das quatro fases essenciais que o caracterizam: preparação/prevenção, mitigação, recuperação, resposta (Fig.6.1) (Alexander, 2002).

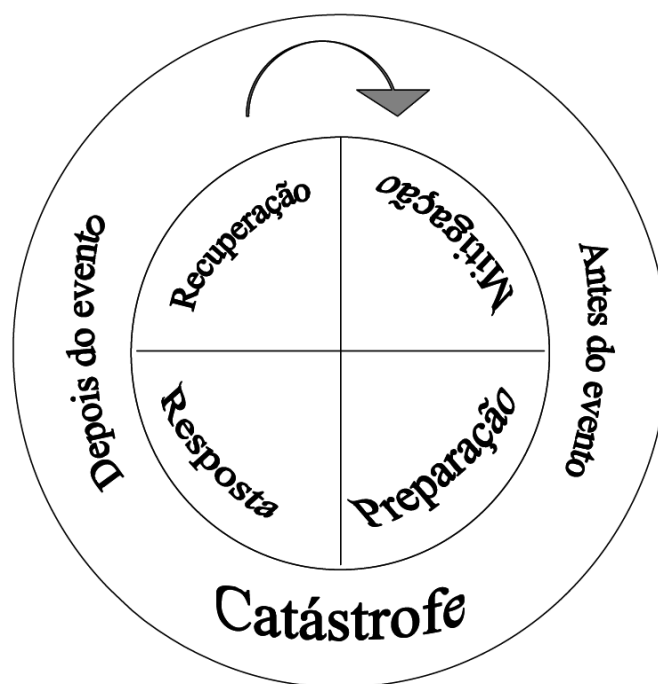


Figura 6. 1. Esquema do ciclo das catástrofes (Alexander, 2002).

O ciclo das catástrofes distingue dois tempos de atuação: o tempo de antes do evento durante o qual devem ser preparados os aspectos relativos à preparação e mitigação, e o tempo depois do evento, onde as etapas de resposta e de recuperação são programadas no plano de emergência (Anderson, 2006).

Segundo Anderson (2006), nas fases do ciclo de catástrofe que se desenvolvem no tempo de antes do evento, as atividades de preparação/prevenção incluem as atividades relacionadas com a análise de riscos e vulnerabilidades bem como a definição/adoção de medidas para a sua redução. As atividades de mitigação pressupõem o cumprimento da etapa anterior e incluem a implementação das medidas determinadas como necessárias à redução do impacto de uma catástrofe, isto é, o desenvolvimento das acções que reduzam ou eliminem o risco de ocorrência de uma catástrofe que afete as populações, bens e/ou

meio ambiente. Esta é uma etapa crucial no planeamento a médio-longo prazo e determinante na estabilidade das comunidades. Neste tempo a resposta corresponde a todas as medidas tomadas imediatamente após o desastre, enquanto que a recuperação corresponde à adoção de medidas para o restabelecimento e recuperação das condições normais de funcionamento social (Anderson, 2006).

No ciclo das catástrofes a escala temporal de cada uma das quatro fases não é considerada apesar de este ser um parâmetro importante de dimensionamento da catástrofe. Esta dinâmica do ciclo das catástrofes deve ser refletida no planeamento de emergência. Apesar de na sua essência os acidentes e as catástrofes não poderem ser considerados como um problema social, especialmente quando a sua causa é natural, do ponto de vista do planeamento de emergência, e em termos de recursos e de evolução potencial da situação no tempo, esta perspetiva do cenário de risco em transformação deve ser encarada (Stallings, 1995 in Anderson, 2006).

Por isso, planear consubstancia-se numa previsão, assente em estudos aprofundados, relativamente a acontecimentos futuros e em função do que é exetável, devido às conclusões extraídas, no estabelecimento de ações que deverão ser levadas a cabo nesse contexto. Por isso, nos termos da legislação em vigor no domínio da proteção civil *“os meios e recursos utilizados para prevenir ou enfrentar os riscos de acidente ou catástrofe são os previstos nos planos de emergência de proteção civil ou, na sua ausência ou insuficiência, os determinados pela autoridade de proteção civil que assumir a direção das operações”*.

O plano de emergência, sendo um instrumento de atuação em situação de acidente grave, catástrofe ou calamidade tem por isso um potencial de propor medidas preventivas através da relação institucional e protocolar apoiada para fins de gestão da situação de emergência e reposição das condições de normalidade.

6.2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA NACIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL EM CABO VERDE

6.2.1. CONSTITUIÇÃO

A organização de um sistema de proteção civil constituiu sempre uma preocupação dos sucessivos Governos de Cabo Verde desde a independência do país em 1975, porém somente em 1991 é que essa questão, pela primeira vez, fez parte do Programa do Governo com a subsequente criação de uma Comissão Instaladora por despacho do Primeiro-ministro.

O programa do Governo de 1991 compreendia:

- a) A definição de dois níveis para o sistema nacional de protecção civil, um nacional e outro regional/municipal, colocados, respetivamente, sob a autoridade do Primeiro-ministro e de um órgão executivo singular municipal ou, se existir regional;
- b) A definição da operacionalidade do sistema que seria assegurada pela intervenção articulada e coordenada de um conjunto de instituições e serviços públicos como: Bombeiros, Forças Armadas, a Polícia, e os serviços de obras públicas, de engenharia rural, de saúde, de transportes, serviços municipais, etc. Tal como algumas instituições dentre as entidades privadas de solidariedade social especialmente vocacionadas, como a Cruz Vermelha, as organizações religiosas e de beneficência das comunidades e população em geral;
- c) A intenção de dedicar particular atenção à organização do Corpo de Bombeiros, no âmbito dos municípios, apoiando a sua estruturação, preparação e equipamento e a dignificação do exercício de tão elevado serviço de interesse público. A criação de instrumentos normativos tendo em vista permitir a requisição e disponibilização de meios necessários à operacionalidade do sistema nacional de proteção civil.

Com vista à criação de um Sistema Nacional de Proteção Civil, como previsto no Programa do Governo, o Primeiro-ministro criou em Dezembro de 1992 através do Despacho n.º 42/92, publicado no Boletim Oficial n.º 24, I Série, uma Comissão Instaladora do Sistema Nacional de Proteção Civil.

A Comissão era presidida pelo Secretário de Estado da Administração Interna, mais tarde Ministro da Administração Interna, e integrava ainda um representante dos seguintes organismos: Ministério das Infraestruturas e dos Transportes; Ministério da Saúde; Estado Maior das Forças Armadas e a Cruz Vermelha de Cabo Verde. Para participar nos trabalhos, a Comissão podia convidar representantes de outros organismos públicos ou privados cuja atividade interessa a proteção civil ou personalidades de reconhecida competência na matéria.

À Comissão competia preparar e organizar a instituição e instalação do Sistema Nacional de Proteção Civil em conformidade com o Programa do Governo, incumbindo-lhe designadamente, preparar e submeter ao Primeiro-ministro:

- ✓ A proposta do quadro normativo e organizacional do sistema de proteção civil, a nível nacional e municipal;
- ✓ O inventário dos recursos humanos e materiais disponíveis no país e na diáspora, suscetíveis de utilização no âmbito do sistema de proteção civil e das necessidades do sistema;
- ✓ O inventário das possíveis fontes interna e externa de financiamento do sistema;
- ✓ A proposta do programa de atividades do sistema.

Não obstante todo o trabalho realizado pela Comissão, o sistema não chegou a ser organizado nem foi produzido nenhuma legislação até o termo do mandato do Governo, em Dezembro de 1995.

A nova estrutura do Governo em 1996, atribuiu ao Ministério da Defesa Nacional a função de propor, coordenar e executar a política de proteção civil, tarefa até então da responsabilidade do Ministério da Administração Interna e o Programa do Governo retomou a questão do Sistema Nacional de Proteção Civil apontando desta feita para a necessidade de:

- ✓ Criar uma Comissão Nacional para a Proteção Civil, concebida como órgão de consulta para a definição de estratégia global no domínio de proteção civil e de coordenação operacional de intervenção do sistema em situações de catástrofe;
- ✓ Criar um Serviço Nacional de Proteção Civil, incumbido de acompanhar a execução da política definida, de estabelecer e garantir a ligação entre o ponto focal da proteção civil e as instituições integrantes do sistema nacional e de

centralizar e coordenar as acções de cooperação bilateral ou multilateral em matéria de protecção civil;

- ✓ Estabelecer o diagnóstico dos principais riscos de catástrofe a que Cabo Verde está sujeito, tanto no que diz respeito às catástrofes naturais como as de origem humana;
- ✓ Elaborar um plano nacional de prevenção de catástrofes, abarcando, entre outras, acções de sensibilização dos responsáveis da administração central e local, das empresas públicas e privadas e da população;
- ✓ Elaborar planos operativos de gestão de catástrofes em função de cada tipo de evento, indicando para as diferentes fases da sua possível evolução, as acções a desencadear, as instituições responsáveis pela execução das mesmas e os meios a mobilizar;
- ✓ Estabelecer relações com os organismos e serviços de protecção civil dos países da sub-região oeste africana, designadamente para troca de informações e para elaboração e execução de estratégias conjuntas de intervenção;
- ✓ Reforçar e desenvolver as relações de cooperação com a Organização Mundial da Protecção Civil e as estruturas da Organização das Nações Unidas vocacionadas para a formação em matéria de prevenção e gestão de catástrofes;
- ✓ Apoiar os municípios na criação e funcionamento dos respectivos sistemas municipais de protecção civil.

Em 1998 deu-se início à elaboração da legislação para além de contatos com países amigos destinados a conhecer as suas experiências e com Portugal houve troca de delegações com vista a aprofundar essa matéria. Esses contatos revelaram-se de grande utilidade permitindo que 1999 tivesse sido um ano muito profícuo para a protecção civil em Cabo Verde pois, foi publicada a principal legislação com destaque para a Lei de Bases da Protecção Civil (Lei N.º 100/99 de 19 de Abril) e a partir daí as condições ficaram reunidas para se iniciar a implementação da protecção civil em todo o território nacional.

Em 2000 foi criado o Serviço Nacional de Protecção Civil (SNPC) sendo “*um serviço que presta assessoria técnica e coordena operacionalmente a atividade de protecção civil no país*”(cf. Lei nº 100/V/99, de 19 de Abril: Artigo 24º). Trata-se de um organismo público e constitui um elemento essencial do Sistema Nacional de Protecção Civil que, no entanto,

começou a funcionar em pleno a partir do ano 2000. Em 2012, este serviço muda de nome para Serviço Nacional de Proteção Civil e Bombeiros (SNPCB) (cf. Lei nº 12/VII/2012, de 7 de Março: Artigo 43º) representando “*a autoridade nacional de proteção civil e bombeiros que tem por missão planejar, coordenar e executar a política de proteção civil, designadamente, na prevenção e reação a acidentes graves e catástrofes, de proteção e socorro das populações e de tutela da atividade dos bombeiros*”.

A proteção civil tem como objetivos fundamentais os seguir indicados:

- a) Prevenir os riscos coletivos e a ocorrência de acidente grave ou de catástrofe deles resultantes;
- b) Atenuar os riscos coletivos e limitar os seus efeitos no caso das ocorrências descritas na alínea anterior;
- c) Socorrer e assistir as pessoas e outros seres vivos em perigo e proteger bens e valores culturais, ambientais e de elevado interesse público;
- d) Apoiar a reposição da normalidade da vida das pessoas em áreas afetadas por acidente grave ou catástrofe.

6.2.2. ENQUADRAMENTO LEGAL

Cabo Verde apresenta características geográficas e climáticas particulares que contribuem para a multiplicação dos riscos que as populações enfrentam, sobretudo as mais desprotegidas. A seca e os efeitos da degradação ambiental atingem quer as zonas rurais, como urbanas e suburbanas, resultante da ação combinada das mudanças climáticas, da gestão deficiente dos escassos recursos naturais e de um processo de desenvolvimento pouco equilibrado onde os aspetos ambientais e sociais não são suficientemente ponderados. A origem vulcânica do arquipélago e os condicionalismos climáticos, aliados à configuração geográfica do país e às condições deficientes em que vivem muitas famílias fazem com as populações de certas localidades vivam em situação de risco (erupção vulcânica, sismos, secas, inundações, incêndios, entre outros). Com efeito, muitas famílias vivem em zonas consideradas de risco, (leito das ribeiras, zonas de alto risco sísmico ou vulcânico, etc.), o que coloca as pessoas numa situação de risco por estarem sujeitas aos cataclismos naturais. Perante este cenário e devido à ocorrência de várias catástrofes naturais, Cabo Verde teve necessidade de criar um Sistema de Proteção Civil e como tal foi fundamental a produção de legislação.

Da independência do país (1975) até 1999 não existia nenhuma legislação referente à proteção civil em Cabo Verde. Somente em 1999 é que foram publicadas as primeiras leis referentes à proteção civil em Cabo Verde devido à ocorrência de dois eventos que ditaram a criação do Sistema de Proteção Civil: 1) a erupção do vulcão do Fogo de 1995, que terá provocado mais de mil desalojados; e 2) os acidentes com os aviões Twin Otter na Cidade da Praia, em Setembro de 1998, e Dornier 228 em Santo Antão, em Agosto de 1999, tendo provocado 1 e 18 mortes, respetivamente. Antes deste momento, para preencher o vazio institucional que existia, as Forças Armadas e a Cruz Vermelha foram as instituições que deram “resposta” aos acidentes graves ocorridos em Cabo Verde até à data. No entanto, com vista à criação de um Sistema de Proteção Civil em Cabo Verde, já tinha sido publicado o **Despacho nº 42/92 de 10 de Dezembro** referente à constituição de uma Comissão Instaladora do Sistema de Proteção Civil.

A primeira lei criada para o efeito foi a **Lei nº 100/V/99 de 19 de Abril**, que estabelece as bases gerais de proteção civil. Esta lei define a proteção civil como sendo a atividade conjuntamente desenvolvida pelo Estado, pelas demais pessoas coletivas públicas e pelos cidadãos, com o objetivo de prevenir riscos causados por acidentes graves, catástrofes ou calamidades de origem natural ou tecnológica e debelar os seus efeitos sempre que essas situações ocorram, socorrendo as pessoas e bens em perigo. Nessa lei foram definidos os objetivos, os domínios e as políticas da proteção civil, bem como as competências em matéria de coordenação e execução das políticas, o Sistema de Proteção Civil (natureza e composição), os Centros Operacionais, as entidades com dever especial de colaboração, o regime dos planos de emergência e as disposições finais.

Neste mesmo ano é publicado o **Decreto-Regulamentar nº 5/99 de 21 de Junho**, que define a composição do Conselho Nacional de Proteção Civil bem como a Composição e funcionamento do Centro Nacional de Operações de Emergência de Proteção Civil e a composição do Centro Municipal de Operações de Emergência de Proteção Civil.

No final de 1999, é publicado o **Decreto-Regulamentar Nº 18-99 de 20 de Dezembro** que estabelece a organização, o estatuto, as atribuições, as competências, o quadro do pessoal, o funcionamento dos serviços que integram o sistema nacional de proteção civil em geral e em especial do Serviço Nacional de Proteção Civil – SNPC.

No ano 2000, com a legislação necessária é criado o Serviço Nacional de Proteção Civil. No ano 2004, é publicado novo **Decreto-Regulamentar nº 3/2004 de 12 de Julho** que define o regimento e a composição do Conselho Nacional de Proteção Civil, designado abreviadamente CNPC.

No entanto, no ano 2012 a **Lei de Bases de proteção civil** sofre alterações e passa a ser regulamentada pela **Lei nº 12/VII/2012 de 7 de Março, I Série, nº16**.

Em Novembro de 2007 fez-se o lançamento da Plataforma Nacional para a Redução de Riscos de Catástrofes (RRC), tendo-se constatado uma forte vontade e engajamento políticos por parte do Governo de Cabo Verde no processo de Redução dos Riscos de Catástrofes, tanto a nível nacional como local.

Entretanto, várias leis foram publicadas em Cabo Verde, que terão implicações diretas na Redução de Riscos de Catástrofes (RRC), a saber, Decreto-lei n.º 1/2006 de 13 de Fevereiro de 2006 e Decreto Legislativo n.º 6/2010, de 21 de Junho de 2010 que define as bases do Ordenamento do Território e Planeamento Urbanístico; o Decreto-lei n.º 43/2010, de 27 de Setembro que aprova o Regulamento Nacional do Ordenamento do Território Nacional e do Planeamento Urbanístico; e, o Decreto-lei n.º 130/88, de 31 de Dezembro sobre o Regulamento Geral de Construção e Habitação Urbana.

Para além da Lei de Bases de Proteção Civil (12/VII/2012) e dos Decretos Regulamentares existentes, existe vontade política do governo na revisão da legislação atual e na criação de novas leis relativas aos riscos, introduzindo regulamentos e mecanismos que estimulem o cumprimento e promovem incentivos para as atividades de redução dos riscos.

6.2.3. ESTRUTURA DO SISTEMA NACIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL E BOMBEIROS

6.2.3.1. DIREÇÃO E COORDENAÇÃO DA POLÍTICA DE PROTEÇÃO CIVIL

A Assembleia Nacional contribui, no exercício das suas competências política, legislativa e financeira, para enquadrar a política de proteção civil e para fiscalizar a sua execução. O Governo informa periodicamente à Assembleia Nacional sobre a situação do país no que toca à proteção civil, bem como sobre a atividade dos organismos e serviços por ela responsáveis.

A condução da política de proteção civil é da competência do Governo, que, no respetivo Programa, deve inscrever as principais orientações a adotar ou a propor naquele domínio. Ao Conselho de Ministros compete:

- a) Definir as linhas gerais da política governamental de proteção civil, bem como a sua execução;
- b) Programar e assegurar os meios destinados à execução da política de proteção civil;
- c) Declarar a situação de calamidade;
- d) Adotar, no caso previsto na alínea anterior, as medidas de carácter excecional destinadas a repor a normalidade das condições de vida nas zonas atingidas;
- e) Deliberar sobre a afetação extraordinária dos meios financeiros indispensáveis à aplicação das medidas previstas na alínea anterior.

O Primeiro-Ministro é responsável pela direção da política de proteção civil, competindo-lhe, designadamente:

- a) Coordenar e orientar a ação dos membros do Governo nos assuntos relacionados com a proteção civil;
- b) Garantir o cumprimento das competências previstas ao Conselho de Ministros.

O Primeiro-Ministro pode delegar as competências referidas ao membro do Governo responsável pela área da Administração Interna a quem compete, no exercício de funções de responsável nacional da política de proteção civil, desencadear, na iminência ou ocorrência de acidente grave ou catástrofe, as ações de proteção civil de prevenção, socorro, assistência e reabilitação adequadas em cada caso.

O membro do Governo responsável pela área da Administração Interna, no exercício das suas funções é apoiado pelo Serviço Nacional de Proteção Civil e Bombeiros e pelos agentes de proteção civil de âmbito nacional.

6.2.3.2. CONSELHO NACIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL

O Conselho Nacional de Proteção Civil (CNPC) é o órgão de coordenação nacional da política de proteção civil, ao qual compete:

- a) Garantir a concretização das linhas gerais da política governamental de proteção civil em todos os serviços da administração;
- b) Apreciar as bases gerais da organização e do funcionamento dos organismos e serviços que, direta ou indiretamente, desempenhem funções de proteção civil;
- c) Apreciar os acordos ou convenções sobre cooperação internacional em matéria de proteção civil;
- d) Apreciar os planos de emergência de âmbito nacional ou municipal;
- e) Adotar mecanismos de colaboração institucional entre todos os organismos e serviços com responsabilidades no domínio da proteção civil, bem como formas de coordenação técnica e operacional da atividade por aqueles desenvolvidos, no âmbito específico das respetivas atribuições estatutárias;
- f) Estudar e propor os critérios e normas técnicas sobre a organização do inventário de recursos e meios, públicos e privados, mobilizáveis ao nível local ou nacional, em caso de acidente grave ou catástrofe;
- g) Definir os critérios e normas técnicas sobre a elaboração de planos de emergência;
- h) Estabelecer as prioridades e objetivos, com vista ao escalonamento de esforços dos organismos e estruturas com responsabilidades no domínio da proteção civil, relativamente à sua preparação e participação em tarefas comuns de proteção civil;
- i) Aprovar e acompanhar as iniciativas públicas tendentes à divulgação das finalidades da proteção civil e à sensibilização dos cidadãos para a autoproteção e para a colaboração a prestar aos organismos e agentes que exercem aquela atividade;
- j) Apreciar e aprovar as formas de cooperação externa que os organismos e estruturas do sistema de proteção civil desenvolvem no domínio das suas atribuições e competências específicas;

- k) Desencadear as ações previstas nos planos de emergência e assegurar a condução das operações de proteção civil delas decorrentes;
- l) Possibilitar a mobilização rápida e eficiente das organizações e pessoal indispensáveis e dos meios disponíveis que permitam a condução coordenada das ações a executar;
- m) Formular junto do Governo pedidos de auxílio a outros países e às organizações internacionais, através dos órgãos competentes;
- n) Determinar a realização de exercícios, simulacros ou treinos operacionais que contribuam para a eficácia de todos os serviços intervenientes em ações de proteção civil;
- o) Difundir os comunicados oficiais que se mostrem adequados às situações previstas na presente Lei.

O CNPC assiste o Governo no exercício das suas competências em matéria de proteção civil, sendo o seu regulamento de funcionamento aprovado por portaria do membro do Governo responsável pela área da Administração Interna.

O CNPC é presidido pelo membro do Governo responsável pela área da Administração Interna e dele fazem parte:

- a) Delegados dos ministros responsáveis pelos setores da defesa, justiça, ambiente, economia, agricultura e florestas, obras públicas, transportes, comunicações, segurança social, saúde e investigação científica;
- b) O presidente do Serviço Nacional de Proteção Civil e Bombeiros (SNPCB);
- c) Representantes da Associação Nacional de Municípios de Cabo Verde, do Estado Maior das Forças Armadas, da Polícia Nacional, da Polícia Judiciária, da Autoridade Marítima, da Autoridade Aeronáutica e da Cruz Vermelha de Cabo Verde.

O presidente, quando o considerar conveniente, pode convidar a participar nas reuniões do Conselho outras entidades que, pelas suas capacidades técnicas, científicas ou outras, possam ser relevantes para a tomada de decisões, no âmbito das políticas de proteção civil. O secretariado e demais apoio às reuniões do Conselho são assegurados pelo SNPCB.

6.2.3.3. EXECUÇÃO DA POLÍTICA DE PROTEÇÃO CIVIL

A execução da política de proteção civil é assegurada pelos seguintes órgãos de proteção civil: o SNPCB, a nível nacional, e os SMPC, na área dos municípios. Esses órgãos de proteção civil no âmbito das suas competências próprias definidas na lei coordenam operacionalmente a atividade de todos os agentes de proteção civil, nos termos definidos no Sistema de Operações de Proteção e Socorro (SOPS), sem prejuízo das estruturas de direção, comando e chefia de cada agente.

6.2.3.4. SERVIÇO NACIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL E BOMBEIROS (SNPCB)

Conforme a Lei nº 12/VII/2012, de 7 de Março: Artigo 43º, o SNPCB é a autoridade nacional de proteção civil e bombeiros que tem por missão planejar, coordenar e executar a política de proteção civil, designadamente, na prevenção e reação a acidentes graves e catástrofes, de proteção e socorro das populações e de tutela da atividade dos bombeiros. O SNPCB dispõe também de um comando nacional e de comandos regionais de operações de socorro, competindo-lhes assegurar o comando operacional integrado das operações de proteção e socorro e dos corpos de bombeiros, previsto na Lei nº 12/VIII/2012 (I Série, nº16). A organização e funcionamento do SNPCB são desenvolvidos em diploma próprio, que segundo responsáveis do SNPCB a elaboração está em curso. Ao Comando Nacional, cinco Comandos Regionais de Proteção Civil (Região Santo Antão, S. Vicente e S. Nicolau; Região Sal e Boa Vista; Região Santiago Norte; Região Santiago Sul e Maio; e, Região Fogo e Brava) bem aos Serviços Municipais de Proteção Civil, compete-lhes assegurar o comando operacional integrado das operações de proteção e socorro e dos corpos de bombeiros. O SNPCB atualmente encontra-se na dependência do Ministério da Administração Interna. A organização e funcionamento do SNPCB são desenvolvidos em diploma próprio (Decreto-regulamentar nº 18/99 de 20 de Dezembro).

Segundo o Decreto-Regulamentar n18/99 de 20 de Dezembro, o SNPC é dirigido pelo presidente, equiparado para todos os efeitos a diretor-geral, sendo coadjuvado por um vice-presidente (que substitui o presidente nas suas ausências e impedimentos), a quem compete:

- a) Coordenar toda a atividade do SNPC, garantindo o seu funcionamento;

- b) Representar o SNPC em juízo e fora dele;
- c) Autorizar a realização de despesas dentro dos limites legalmente admissíveis;
- d) Superintender nas relações internacionais do SNPC, no quadro das orientações do membro do governo responsáveis pela área de proteção civil em estreita coordenação com o Ministério dos Negócios Estrangeiros.

O cargo de Vice-presidente do SNPC pode ser desempenhado em regime de exclusividade de funções, equiparado a um diretor de serviços, e por acumulação, que poderá ser desempenhado pelo Diretor de Planeamento, Operações e Telecomunicações.

O SNPC contém quatro serviços, aos quais compete:

1. Direção de Planeamento, Operações e Telecomunicações:

- ✓ Elaborar a nível nacional os planos de emergência de proteção civil, dar parecer sobre os planos de emergência municipais e colaborar na sua elaboração e aperfeiçoamento, quando tal lhe for determinado;
- ✓ Garantir o funcionamento permanente de um centro de operações e acompanhar a evolução constante da situação nacional, com vista a assegurar a intervenção oportuna do Centro Nacional de Operações de Emergência de Proteção Civil (CNOEPC) e o desencadeamento imediato das ações de emergência necessária;
- ✓ Assegurar o levantamento de meios e recursos e inventariar as carências, propondo as soluções adequadas para fazer face a acidentes graves, catástrofes ou calamidades;
- ✓ Estudar e planear o apoio logístico propondo a criação de depósitos e centros de abastecimentos com vista a prestar o atendimento necessário às vítimas bem como às forças de socorro em situações de emergência;
- ✓ Apoiar a organização e funcionamento dos centros de operações avançados;
- ✓ Promover a realização de exercícios visando testar a operacionalidade dos planos de emergência de proteção civil bem como o funcionamento das telecomunicações mantendo a prontidão e eficácia dos agentes de proteção civil;
- ✓ Assegurar as ligações necessárias ao bom funcionamento dos serviços do SNPC, bem como garantir um oportuno alerta das populações em risco, integrando os diversos serviços especializados na detenção de cada risco;

- ✓ Proceder ao levantamento dos meios de telecomunicações susceptíveis de serem utilizados como complemento ou em reforços da capacidade de intervenção do SNPC em situações de emergência.

2. Direção de Formação, Estudos, Investigação e Prevenção de Riscos:

- ✓ Promover e incentivar a divulgação em matéria de proteção civil e difundir conhecimentos e normas de procedimento convenientes á autoproteção em caso de acidente grave, catástrofe ou calamidade;
- ✓ Acompanhar a informação nacional e internacional e propor as medidas adequadas face á evolução técnica e legislativa;
- ✓ Elaborar, em estreita colaboração com os organismos próprios, as propostas de regulamentação de prevenção e segurança ou das convenientes alterações;
- ✓ Elaborar os estudos, análises comparativos e pareceres que lhe forem determinados;
- ✓ Promover o estudo e a avaliação dos riscos naturais, industriais e outros e ainda a cartografia dos riscos avaliados;
- ✓ Representar o SNPC em grupos ou comissões que tenham como missão o estudo e a avaliação dos riscos e colaborar com outros organismos que se dediquem a tal problemática;
- ✓ Organizar e manter atualizado um centro de documentação em coordenação com outros organismos afins;
- ✓ Dar conhecimento periódico da documentação recebida aos restantes serviços do SNPC, às CMPC e ainda às organizações que operam na área da proteção civil;
- ✓ Dar tratamento conveniente aos dados estatísticos recebidos, divulgando os resultados;
- ✓ Promover, executar e apoiar as ações de instrução e formação na área de proteção civil.

3. Direção de Administração e Finanças:

- ✓ Prestar apoio administrativo ao funcionamento geral do SNPC;
- ✓ Realizar todas as ações relativas a gestão de pessoal;
- ✓ Assegurar o expediente geral e arquivo;
- ✓ Elaborar as propostas orçamentais e as contas de gerência;

6. PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA

- ✓ Assegurar a execução dos orçamentos, arrecadar as receitas e efetuar o pagamento das despesas, procedendo á sua escrituração;
- ✓ Zelar pela segurança e conservação das instalações, mobiliários e equipamentos;
- ✓ Elaborar as propostas relativas à aquisição de materiais que se mostre necessário;
- ✓ Organizar e manter atualizado o inventário e cadastro dos bens;
- ✓ Gerir o parque de viaturas;
- ✓ Promover o armazenamento e distribuição dos bens adquiridos, efetuando a gestão das existências;
- ✓ Organizar os concursos públicos e a celebração de contratos para aquisição de bens e serviços.

4. Inspeção de Proteção Civil:

- ✓ Prestar apoio técnico em matérias de proteção civil aos agentes e órgãos nacionais e municipais de proteção civil;
- ✓ Realizar ações de avaliação dos serviços do sistema nacional de proteção civil previstos no artigo 21º da Lei nº100/V/99, de 19 de Abril, de modo a detetar deficiências na execução de planos e programas de proteção civil;
- ✓ Inspeccionar periodicamente as comissões municipais de proteção civil, visando a prestação de orientações em matérias administrativas, organizativas e de pessoal;
- ✓ Dar parecer sobre as medidas mais adequadas a empreender, em relação aos locais ou regiões do país que, pela sua situação, sejam passíveis de serem atingidos por catástrofes ou calamidades;
- ✓ Acompanhar no local, em caso de acidente grave, catástrofe ou calamidade, as ações de socorro desenvolvidas pelas várias entidades e organizações e apurar as circunstâncias em que o fenómeno se produziu e em que decorreram as operações de emergência, com a finalidade de detetar a origem ou causa da ocorrência e de colher ensinamentos que possam contribuir para a adoção das medidas adequadas;
- ✓ Fiscalizar o cumprimento da legislação de prevenção;
- ✓ Instruir processos de averiguações, realizar sindicâncias, inquéritos e ações de âmbito disciplinar, bem como promover auditorias específicas que lhe sejam determinadas superiormente.

O SNPCB é auxiliado por alguns agentes de proteção civil, de acordo com as suas atribuições próprias, sendo a seguir indicados:

- a) Os corpos de bombeiros;
- b) As Forças Armadas;
- c) A Polícia Nacional;
- d) A Polícia Judiciária;
- e) As autoridades marítima e aeronáutica;
- f) Os serviços de saúde.

A Cruz Vermelha de Cabo Verde exerce, em cooperação com os demais agentes e de harmonia com o seu estatuto próprio, funções de proteção civil nos domínios da intervenção, apoio, socorro e assistência sanitária e social.

São ainda agentes de proteção civil, sobre quem impende especial dever de cooperação:

- a) Associações Humanitárias de Bombeiros Voluntários;
- a) Os Serviços de Medicina Legal;
- b) Instituições de Segurança Social;
- c) Instituições com fins de socorro e de solidariedade;
- d) Organismos responsáveis pelas florestas, conservação da natureza, meteorologia, indústria, energia e transportes, comunicações, recursos hídricos e ambiente;
- e) Serviços de segurança e socorro privativos das empresas públicas e privadas, dos portos e aeroportos.

6.2.3.5. SERVIÇO MUNICIPAL DE PROTEÇÃO CIVIL (SMPC)

De acordo com a legislação atual existe uma repartição de responsabilidades em termos de proteção civil (nacional e municipal). A nível das autarquias cada município é dotado de um Serviço Municipal de Proteção Civil (SMPC), responsável pela prossecução das atividades de proteção civil no âmbito municipal. Os SMPC são os adequados ao exercício da função de proteção e socorro, variáveis de acordo com as características da população e dos riscos existentes no município e que, quando a dimensão e características do município o justificarem, podem incluir os gabinetes técnicos que forem julgados adequados. O SMPC é dirigido pelo Presidente da Câmara Municipal, com a faculdade de delegação no vereador por si designado.

No âmbito do planeamento e operações, compete ao Serviço Municipal de Proteção Civil:

6. PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA

- ✓ Elaborar e atualizar o plano municipal de emergência e os planos especiais necessários;
- ✓ Assegurar a funcionalidade e a eficácia da estrutura do SMPC;
- ✓ Inventariar e atualizar permanentemente os registos dos meios e dos recursos existentes no município, com interesse para a proteção e segurança das populações e do património, bem como para a defesa do ambiente;
- ✓ Realizar estudos técnicos com vista à identificação, análise e consequências dos riscos naturais, tecnológicos e sociais que possam afetar o município, em função da magnitude estimada e do local previsível da sua ocorrência, promovendo a sua cartografia, de modo a prevenir, quando possível, a sua manifestação e a avaliar e minimizar os efeitos das suas consequências previsíveis;
- ✓ Manter informação atualizada sobre acidentes graves e catástrofes ocorridos no município, bem como sobre elementos relativos às condições de ocorrência, às medidas adotadas para fazer face às respetivas consequências e às conclusões sobre o êxito ou insucesso das ações empreendidas em cada caso;
- ✓ Planear o apoio logístico a prestar às vítimas e às forças de socorro em situação de emergência;
- ✓ Levantar, organizar e gerir os centros de alojamento a acionar em situação de emergência;
- ✓ Elaborar planos prévios de intervenção, preparar e propor a execução de exercícios e simulacros que contribuam para uma atuação eficaz de todas as entidades intervenientes nas ações de proteção civil;
- ✓ Estudar as questões de que vier a ser incumbido, propondo as soluções que considere mais adequadas.

No âmbito da prevenção e segurança, cabe ao SMPC:

- a) Propor medidas de segurança face aos riscos inventariados;
- b) Emitir os pareceres técnicos de segurança contra incêndios em edifícios e efetuar as correspondentes vistorias, nos termos do regulamento de segurança contra incêndios em edifícios;
- c) Colaborar na elaboração e execução de treinos e simulacros;
- d) Elaborar projetos de regulamentação de prevenção e segurança;
- e) Realizar ações de sensibilização para questões de segurança, preparando e organizando as populações face aos riscos e cenários previsíveis;

- f) Promover campanhas de informação sobre medidas preventivas, dirigidas a segmentos específicos da população alvo, ou sobre os riscos específicos em cenários prováveis previamente definidos;
- g) Fomentar o voluntariado em proteção civil;
- h) Estudar as questões de que vier a ser incumbido, propondo as soluções que entenda mais adequadas.

Compete ao SMPC no âmbito da informação:

- a) Assegurar a pesquisa, análise, seleção e difusão da documentação com importância para a proteção civil;
- b) Divulgar a missão e estrutura do SMPC;
- c) Promover e incentivar ações de divulgação sobre proteção civil junto dos munícipes com vista à adoção de medidas de autoproteção;
- d) Indicar, na iminência de acidentes ou catástrofes, as orientações, medidas preventivas e procedimentos a ter pela população para fazer face à situação;
- e) Dar seguimento a outros procedimentos, por determinação do Presidente da Câmara Municipal ou do Vereador com competência delegadas.

Em cada município existe um Conselho Municipal de Proteção Civil (CMPC), de coordenação da política municipal de proteção civil, ao qual compete:

- a) Assegurar que todas as entidades e instituições de âmbito municipal imprescindíveis às operações de proteção e socorro, emergência e assistência previsíveis ou decorrentes de acidente grave ou catástrofe se articulam entre si, garantindo os meios considerados adequados à gestão da ocorrência em cada caso concreto;
- b) Acionar a elaboração do plano municipal de emergência, remetê-lo para aprovação pelo CNPC e acompanhar a sua execução;
- c) Determinar o acionamento dos planos de emergência e de operações de proteção civil, quando tal se justifique;
- d) Garantir que as entidades e instituições que integram o CMPC acionam, ao nível municipal, no âmbito da sua estrutura orgânica e das suas atribuições, os meios necessários ao desenvolvimento das ações de proteção civil;
- e) Difundir comunicados e avisos às populações e às entidades e instituições, incluindo os órgãos de comunicação social.

O regulamento de funcionamento do CMPC é aprovado pelo CNPC e homologado pelo membro do Governo responsável pela área da Administração Interna. Este conselho é constituído pelo:

- ✓ Presidente da Câmara Municipal, como responsável municipal da política de proteção civil, que preside;
- ✓ Chefe do Serviço Municipal de Proteção Civil;
- ✓ Um elemento do comando de cada corpo de bombeiros existente no município;
- ✓ Representantes do comando da Polícia Nacional e das unidades das Forças Armadas presentes no município;
- ✓ A autoridade de saúde do município;
- ✓ O dirigente máximo da unidade de saúde local ou o Diretor do Centro de Saúde e o Diretor do Hospital da área de influência do município, designados pelo Diretor-geral da Saúde;
- ✓ Um representante dos serviços de segurança social;
- ✓ Representantes de outras entidades e serviços, implantados no município, cujas atividades e áreas funcionais possam, de acordo com os riscos existentes e as características da região, contribuir para as ações de proteção civil.

Em situação de emergência deve-se criar a nível municipal um Centro Municipal de Operações de Emergência de Proteção Civil (CMOEPCC), órgão que assegura o controlo da situação e as ações a desencadear em situação de emergência, devendo apresentar a seguinte composição:

- a) Presidente da Câmara ou Vereador seu delegado, que preside;
- b) Um representante das Forças Armadas sempre que haja no concelho uma unidade militar;
- c) O responsável dos bombeiros municipais;
- d) O comandante da Polícia de Ordem Pública no concelho;
- e) Um delegado, no concelho, da Cruz Vermelha de Cabo Verde;
- f) A autoridade sanitária do concelho;
- g) Um representante da principal unidade de saúde no concelho;
- h) Um representante do Instituto Nacional de Previdência Social no concelho;
- i) Um representante das instituições particulares de solidariedade social existentes no concelho e vocacionadas para ações de proteção civil;

- j) Representantes de outras entidades e serviços, implementados no concelho e cujas atividades possam, de acordo com os riscos existentes e as características do concelho, contribuir para as ações de proteção civil.

Convém realçar que este CMOEPC deve ser criado antes da emergência, sendo este ativado durante a emergência. Compete a este órgão: assegurar a direção das operações de proteção civil; coordenar os meios a empregar e adequar as medidas de carácter excecional a adotar na iminência ou na ocorrência de acidente grave, catástrofe ou calamidade.

Os Municípios de Cabo Verde nos últimos anos têm recebido mais atenção por parte do Serviço Nacional de Proteção Civil, por precisamente constituírem a base do sistema nacional de proteção civil. Por esse facto, de importância decisiva, são normalmente os municípios (comunidades), no quadro dos seus poderes e capacidades, que enfrentam o primeiro e o mais duro impacto da situação de emergência, decorrente de acidente grave, catástrofe ou calamidade, em que a rapidez, a organização, a coordenação e a eficácia são exigências fundamentais, para impedir o número de vítimas. Neste âmbito a política descentralizada do Governo para o setor da proteção civil visa reforçar a capacidade dos municípios com vista a dotar os mesmos de condições para a sua sustentabilidade operacional e capacidade de reação face a um acidente grave, catástrofe ou calamidade.

6.2.3.6. SERVIÇO MUNICIPAL DE PROTEÇÃO CIVIL NA ILHA BRAVA

Tal como os restantes municípios do país, a Brava possui um Serviço Municipal de Proteção Civil. Mas é a única ilha em Cabo Verde que não dispõe de um corpo de bombeiros. A Polícia de Ordem Pública (POP) costuma fazer o trabalho dos bombeiros. Inclusive esta instituição possui o número de emergência dos bombeiros (112) que é diretamente acionado na esquadra local. A esquadra local faz parte do Serviço Regional do Fogo e possui 16 efetivos para toda a ilha sendo 11 destacados para a Vila Nova Sintra e 5 para a localidade de Furna. A polícia local possui noção de evacuação/ocorrência de catástrofes mas não existe ninguém especializado na ilha. Em caso de evacuação terão de contar com os efetivos da ilha do Fogo e também da cidade da Praia.

Em caso de ocorrência de catástrofe natural na ilha será necessário pedir ajuda externa. A capacidade de resposta dos serviços de proteção civil na Brava é bastante precária e limitada senão ineficiente (Vereador responsável pela Proteção Civil, Francisco Tavares *in* comunicação oral, Novembro de 2014). Ainda segundo o vereador, na ilha há necessidade urgente da criação do corpo de bombeiros, que deve ser feito em regime de voluntariado devido às limitações da CMB. No entanto, reforça dizendo que numa ilha onde o desemprego é expressivo torna-se difícil conseguir voluntários para este serviço. Defende ainda, a formação de jovens da ilha para o corpo de bombeiros e proteção civil.

Apesar de a ilha possuir um Serviço Municipal de Protecção Civil (SMPC), este não está minimamente preparado, nem em termos de equipamentos e nem de recursos humanos para dar resposta em caso de emergência, pelo que torna-se urgente a criação do corpo da proteção civil na Brava através da disponibilização de mais recursos financeiros para a câmara municipal. A estrutura física do SMPC é composta por duas salas no chamado “Auditório Municipal” que constitui uma das dependências da Câmara Municipal da Brava (CMB) onde está instalada uma estação de rádio transmissor que, às vezes, é ligada para o Serviço Nacional de Protecção Civil com sede na Cidade da Praia para testar a sua funcionalidade. A nível de equipamentos existe uma viatura ligeira de combate a incêndios, uma viatura ambulância e outros equipamentos. Em termos de recursos humanos não existe pessoal especializado e destinado exclusivamente para essa unidade. Pontualmente em caso de necessidade são solicitados os préstimos de um condutor da câmara municipal e de um jovem formado em combate a incêndios.

6.3. PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA

Tal como noutras áreas também na proteção civil, o planeamento, mais concretamente o planeamento de emergência assume um papel preponderante como forma de resposta às catástrofes. Os planos de emergência de proteção civil são documentos formais nos quais as autoridades de proteção civil, nos seus diferentes níveis, definem as orientações relativamente ao modo de atuação dos vários organismos, serviços e estruturas a empenhar em operações de proteção civil. A reposição da normalidade das áreas afetadas constitui outro dos seus objetivos, de forma a minimizar os efeitos de um acidente grave ou catástrofe sobre as pessoas, bens e o ambiente.

A eficaz gestão de uma situação de emergência de proteção civil regula-se com um bom planeamento e deverá ter por base um plano de emergência simples, flexível, dinâmico, preciso e adequado às características locais. Por outro lado, o seu conteúdo não pode assumir-se como irrevogável: as constantes mudanças sociais, geográficas, técnicas, logísticas e mesmo operacionais terão de ser constantemente refletidas no documento, numa lógica de melhoria contínua.

Os planos de emergência de proteção civil são documentos desenvolvidos com o intuito de organizar, orientar, facilitar, agilizar e uniformizar as ações necessárias à resposta. Como tal, deverão permitir antecipar os cenários suscetíveis de desencadear um acidente grave ou catástrofe, definindo, de modo inequívoco, a estrutura organizacional e os procedimentos para preparação e aumento da capacidade de resposta à emergência.

No âmbito das estratégias e concepções internacionais, há um conjunto de medidas e orientações que seguem uma linha orientadora comum, a concretização de uma medida universal, redução de risco de desastre/catástrofe. Para tal, as orientações internacionais são: criar medidas promotoras para reduzir o risco de catástrofe; melhorar a informação sobre riscos e o alerta precoce; construir uma cultura de segurança e resiliência; reduzir os riscos em setores chave e fortalecer a capacidade de resposta das sociedades (UNISDR, 2005, ISRD, 2007 e 2009).

6.3.1. ELABORAÇÃO DE PLANOS DE EMERGÊNCIA

O processo de planeamento de emergência, de acordo com o Manual de Apoio à Elaboração e Operacionalização de Planos de Emergência da Autoridade Nacional de Protecção Civil de Portugal (ANPC) é o processo pelo qual se definem medidas, normas, procedimentos e missões para serem postas em prática durante um acidente grave/catástrofe (Almeida *et al.*, 2008).

Pelo fato do processo de planeamento de emergência ser contínuo, ele não culmina com a produção de um documento formal, o denominado plano de emergência. Um plano de emergência tem como principal objetivo definir orientações relativamente ao modo de atuação dos vários agentes, organismos e estruturas envolvidas nas operações de proteção civil, procedimentos que levam à reposição da normalidade em áreas afetadas e medidas mitigadoras para minimizar os efeitos dos riscos identificados na zona de atuação do plano. Por isso, um plano deverá ser simples, flexível, dinâmico, preciso e adaptável à sua zona de atuação.

Este processo divide-se em 4 fases: elaboração, aprovação, validação e revisão (Fig. 6.2).

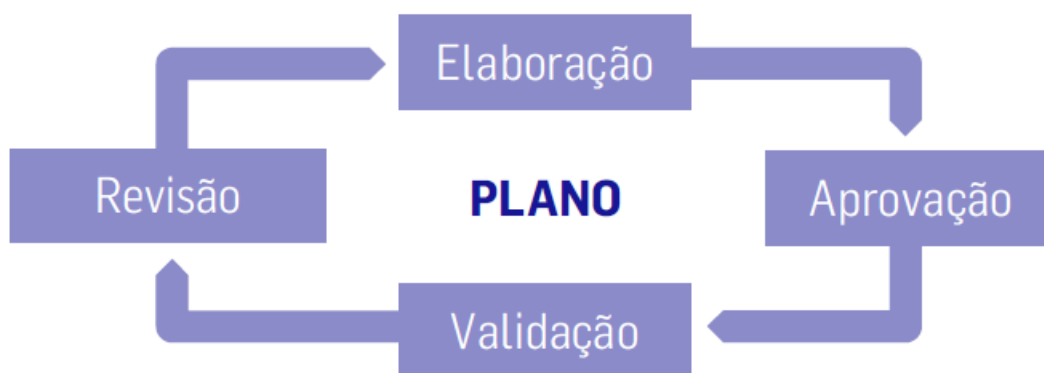


Figura 6.2. Etapas da elaboração de um plano de emergência (Almeida *et al.*, 2008).

Na etapa de **elaboração** do plano de emergência inclui-se a constituição de equipas pluridisciplinares responsáveis pela integração de conhecimentos de várias áreas, tais como avaliação de riscos, conduta operacional ou logística. Para o sucesso desta etapa é importante a caracterização do território e a identificação e quantificação dos riscos que a comunidade a que se destina o plano poderá ter de enfrentar, através da identificação

das vulnerabilidades, concepção dos cenários e avaliação dos danos prováveis. Com base nesta informação será então possível definir as normas e procedimentos a adotar pelos serviços e agentes de proteção civil, bem como pelas demais entidades cooperantes, por forma a proteger as populações, bens e ambiente num cenário de acidente grave ou catástrofe. Esta etapa deverá englobar uma fase de consulta pública e, preferencialmente, um exercício de postos de comando para teste.

A etapa de **aprovação** corresponde ao processo pelo qual a entidade responsável pela elaboração do plano desencadeia o conjunto de ações tendente à aprovação do plano pela entidade competente. Nesta fase o responsável pela realização do plano assegura que o plano é distribuído e compreendido pelas entidades envolvidas no plano e pela população em geral.

A etapa de **validação** corresponde à realização de treinos e exercícios, de diferentes tipos e de complexidade variada, de modo a verificar a funcionalidade do plano, a manter a prontidão e a eficiência de todas as entidades intervenientes e a garantir a manutenção da eficácia do plano e dos serviços e agentes nele envolvidos.

A etapa de **revisão** do plano é a etapa através da qual se incorporam no documento as alterações consideradas pertinentes fruto da sua aplicação prática em exercícios ou em situações reais de emergência. Pode também ser motivada pela perceção de novos riscos, pela identificação de novas vulnerabilidades, pela existência de informações decorrentes de novos estudos ou relatórios de carácter técnico e científico, pela mudança dos meios e recursos disponíveis, pela alteração dos contatos das diversas entidades envolvidas no plano ou por mudanças do quadro legislativo em vigor.

Segundo o mesmo manual, editado pela ANPC (Almeida *et al.*, 2008), os planos devem seguir uma determinada estrutura, dividindo-se em 4 secções: secção I – Enquadramento Geral do Plano, secção II – Organização da Resposta, secção III – Áreas de Intervenção e secção IV – Informação Complementar. Este modelo é usado em Cabo Verde atualmente para a elaboração dos planos de emergência.

Na secção I é feito um enquadramento legal no qual o plano é inserido e a articulação entre o plano e os instrumentos de planeamento e ordenamento do território existente na

zona de aplicabilidade do mesmo (a título de exemplo os planos directores municipais), sendo também definidos os critérios e competências para a ativação do mesmo. Nesta primeira parte é determinada a calendarização e o tipo de exercícios a praticar para validar o plano e por último são descritos todos os antecedentes do processo de planeamento, a existência de versões anteriores do plano, a existência de ativações do plano anterior, a existência de exercícios praticados relativos ao plano anterior, entre outros.

Na secção II são definidos os conceitos de atuação das diversas Comissões de Proteção Civil (exemplo: Comissões Locais, Comissões Municipais) e dos Centros de Coordenação Operacionais (sistema de gestão de operações). Nesta parte são ainda descritas a organização geral das operações de proteção civil durante a fase de emergência e na fase de reabilitação. É definida a articulação e a atuação dos agentes, organismos e entidades e determinadas as diversas missões dos agentes de proteção civil, organismos e entidades de apoio. Na última seção (informação complementar) é descrita a organização geral da proteção civil, os seus mecanismos, a estrutura das operações, critérios utilizados para a declaração de situações de alerta, contingência e calamidade, e por fim são descritos os sistemas de monitorização, alerta e aviso.

Na secção III do plano (áreas de intervenção) são focados os aspetos que se relacionam com a administração de meios e recursos, apoio logístico, comunicações, gestão da informação, procedimentos de evacuação, manutenção da ordem pública, serviços médicos e transporte de vítimas, socorro e salvamento, serviços mortuários e por fim protocolos celebrados entre a entidade responsável pelo plano e os diferentes agentes de proteção civil, organismos e entidades públicas e privadas.

Na secção IV, parte II, é elaborada uma caracterização geral da zona de incidência do plano. Esta caracterização baseia-se nos aspetos físicos como a orografia, geotecnia, sismicidade, clima, entre outros; factores socioeconómicos; infraestruturas e riscos. Na caracterização do risco, é feita a avaliação do risco, através da análise do mesmo, identificação e caracterização do perigo e das consequências decorrentes do mesmo. Analisam-se as vulnerabilidades e propõem-se medidas/estratégias de mitigação. Constroem-se cenários após a prévia identificação dos riscos e respetivos impactos. Por fim nesta secção é produzida cartografia no sentido de se utilizar como instrumento de apoio às operações de socorro.

Em Cabo Verde, de acordo com a Lei de Bases da Protecção Civil (nº 12/VII/2012), os planos de emergência de protecção civil são elaborados de acordo com as diretivas emanadas da Comissão Nacional de Protecção Civil, constando deles, entre outros itens:

- ✓ A tipificação dos riscos;
- ✓ As medidas de prevenção a adotar;
- ✓ A identificação dos meios e recursos mobilizáveis, em situação de acidente grave ou catástrofe;
- ✓ A definição das responsabilidades que incumbem aos organismos, serviços e estruturas, públicas ou privadas, com competências no domínio da protecção civil;
- ✓ Os critérios de mobilização e mecanismos de coordenação dos meios e recursos, públicos ou privados, utilizáveis;
- ✓ A estrutura operacional que garantirá a unidade de direcção e o controlo permanente da situação.

De acordo com a mesma lei, os planos de emergência consoante a extensão territorial da situação visada, são nacionais, regionais ou municipais e, consoante a sua finalidade, são gerais ou especiais e os planos especiais podem abranger áreas homogéneas de risco cuja extensão seja supramunicipal, regional ou nacional. Devem ser sujeitos a actualização periódica e devem ser objeto de exercícios frequentes com vista a testar a sua operacionalidade. Daí que os mesmos se devam caracterizar pela flexibilidade, dinamismo, precisão e adequação ao ambiente envolvente, tendo sempre em linha de conta as mudanças que aí se vão operando ao nível social, geográfico, técnico, logístico e operacional.

Os planos de emergência de âmbito nacional e regional são aprovados pelo Conselho de Ministros, enquanto que os planos de âmbito municipal são aprovados pelo CNPC. Os planos de emergência de âmbito nacional e regional são elaborados pelo SNPCB e os de âmbito municipal são elaborados pelas câmaras municipais. Os planos de emergência regionais são elaborados pelo SNPCB se a sua extensão territorial abranger mais de um município, ou pelas câmaras municipais, nos restantes casos. Os agentes de protecção civil devem colaborar na elaboração e na execução dos planos de emergência.

Em Cabo Verde todas as câmaras municipais possuem um plano de emergência mas estes encontram-se desatualizados com excepção da Câmara Municipal da Praia cujo plano foi elaborado recentemente. Para a ilha Brava o plano de emergência foi elaborado desde o ano 2002 e carece com urgência de atualização.

Foi também elaborado um Plano Nacional de Proteção Civil que está em vias de ser aprovado (Dr. Nuno Oliveira, Diretor de Operações do SNPC, em comunicação oral Novembro de 2014). Espera-se, por isso, a sua aprovação e consequente publicação para que seja possível testá-lo através de exercícios de simulação, pondo à prova os diversos intervenientes, e desta forma corrigir algumas deficiências entretanto detetadas, adquirir experiência e identificar novas necessidades ou problemas em termos de recursos (humanos, materiais, espaços de atuação sobrepostos, vazios ou concorrenciais). Não se pode esquecer o fato de que a qualidade da resposta da proteção civil, num caso real, depende, sobretudo, do grau de preparação dos diferentes atores e da experiência obtida quer em simulações quer em situações reais, trabalhando sobre a base e dentro das balizas estabelecidas num plano de emergência de proteção civil.

6.3.2. PLANO DE EMERGÊNCIA DA ILHA BRAVA

A ilha Brava dispõe de um plano de emergência que foi elaborado em 2002 e aprovado em 2004, não tendo sido atualizado e/ou revisto desde aquela data. O plano que ainda está em vigor seguiu todas as diretrizes emanadas do SNPC para a elaboração de um plano de emergência. Segundo essas diretrizes o plano apresenta os seguintes pontos:

- (1) Secção I onde são apresentados o parecer do Presidente da Câmara Municipal da Brava, bem como uma introdução e a folha de controlo de atualização;
- (2) Secção II que apresenta as referências legislativas e cartográficas, a situação (as características físicas e socioeconómicas, os fatores de risco (riscos naturais e antrópicos), a missão, a execução (com a apresentação dos conceitos; da organização, direção e condução das atividades de emergência; a constituição dos grupos do Conselho Municipal de Operações de Emergência de Proteção Civil – CMOEPC; as missões dos agentes de proteção civil e as missões de outras entidades e organismos de apoio); as instruções de coordenação; a administração e logística; as telecomunicações e a informação pública).
- (3) Secção III onde são expostos os anexos.

Este plano constitui um instrumento que a Câmara Municipal da ilha Brava dispõe para o desencadeamento das operações de proteção civil, com vista a possibilitar uma unidade de direção e controlo, para a coordenação das ações a desenvolver e gestão de meios e recursos mobilizáveis face a um acidente grave, catástrofe ou calamidade, tendo em vista minimizar os prejuízos e perdas de vida e o restabelecimento da normalidade.

Relativamente aos perigos, quer os naturais quer os antrópicos, são destacados neste plano de emergência. Como perigos naturais são indicados as inundações/cheias, tempestades, ciclones, incêndios florestais, deslizamentos de terra, enxurradas, sismos, erupções vulcânicas, secas e epidemias. E como perigos antrópicos são apontados: os incêndios urbanos, acidentes industriais, acidentes graves de tráfego (rodoviário, aéreo e marítimo), transporte de mercadorias perigosas e poluição marítima.

O PME da Brava carece de determinados elementos referenciados ao nível normativo, como uma cronologia de eventos históricos e de uma matriz de risco, ou a identificação precisa de pessoas e estruturas vulneráveis. Na caracterização do risco deve ser feita a avaliação do risco, através da análise do mesmo, identificando e caracterizando o perigo bem como as consequências decorrentes do mesmo, bem como analisar as vulnerabilidades e propor medidas/estratégias de mitigação. Também deve-se construir cenários tendo-se previamente identificado os riscos e os respetivos impactos. Por fim, deve ser produzida a cartografia no sentido de ser utilizada como instrumento de apoio às operações de socorro. Este aspeto devia ser colocado em planos futuros ou em caso de atualização do plano existente atualmente. Ou seja, as análises de risco e de vulnerabilidades são ferramentas utilizadas apenas no planeamento de emergência e, não podendo ser confirmado o fato de assim ser em todos os municípios, no caso do PME da Brava estas

Constatou-se, no entanto, que a ilha não possui planos municipais de evacuação, apesar deste tipo de planos ser muito importante. Na Brava é bastante comum a existência de pequenos povoados dispersos dos grandes povoados para além da presença de casas isoladas das restantes em algumas povoações. Por isso, é necessário a escolha e o estabelecimento de um ponto de encontro em caso de emergência para cada povoado. Ou

seja, em cada localidade convém definir um local seguro para o estabelecimento de ponto de encontro em caso de emergência com consequente evacuação.

6.4. CAPACIDADE DE RESPOSTA

6.4.1. NOTA PRÉVIA

Não obstante a incidência cada vez mais significativa de catástrofes naturais e o número de vítimas relacionadas à sua ocorrência, uma parte significativa da população mundial reside em áreas que apresentam vários perigos. A mitigação dos riscos associados aos múltiplos fenómenos naturais existentes envolve todo um conjunto de medidas preventivas, que visam a eliminação ou o atenuar do impacte catastrófico produzido pela ocorrência do evento. Ao conjunto de medidas que tendem a contribuir para a minimização de determinado risco natural, designa-se por Capacidade de Resposta. A capacidade de resposta, quando tomada na eminência de ocorrência de um evento, traduz-se no saber estruturar a gestão de uma crise, ou seja, na capacidade de tornar fluído um processo que permita a manutenção da segurança da população em risco.

Portanto, o risco pode ser efetivamente reduzido através de uma resposta social ou de preparação. A preparação ou capacidade de resposta envolve a redução da vulnerabilidade e do valor do que é vulnerável através de diferentes medidas, em resultado de uma devida avaliação do perigo. Esta preparação envolve uma clara compreensão, por parte da população e das autoridades, dos fenómenos naturais passíveis de ocorrerem, assim como os seus efeitos destrutivos. Envolve ainda o desenvolvimento de medidas preventivas baseadas nessa compreensão e a elaboração de planos de resposta para a eventualidade de ocorrência de um evento (Cruz-Reyna *et al.*, 2000).

Os planos de emergência de proteção civil deverão permitir antecipar os cenários suscetíveis de desencadear um acidente grave ou catástrofe, definindo, de modo inequívoco, a estrutura organizacional e os procedimentos para preparação e aumento da capacidade de resposta à emergência. Os exercícios ou simulacros realizados após a elaboração de um plano de emergência são fundamentais para testar o estado de prontidão e a capacidade de resposta e de mobilização de meios das diversas entidades envolvidas nas operações de emergência. Para uma eficiente capacidade de resposta é fundamental

que alguns organismos e entidades estejam minimamente preparados para assumir o seu papel no decorrer de uma situação de emergência.

O organismo principal em Cabo Verde é o Centro Municipal de Operações de Emergência de Proteção Civil (CMOEPC) responsável pela condução e coordenação das operações a levar a cabo e que deve ser ativado de imediato em caso de emergência promovendo as seguintes ações:

- a) Acionar o aviso às populações em risco;
- b) Coordenar e promover a atuação dos meios de intervenção, de modo a possibilitar, o mais rapidamente possível, o controlo da situação e a prestação do socorro às pessoas em perigo, através das ações de proteção, busca, salvamento, combate e mortuárias adequadas;
- c) Promover a evacuação dos feridos e doentes para os locais destinados à prestação de cuidados médicos;
- d) Coordenar e promover a evacuação das populações sedeadas nas zonas em risco, bem como as medidas destinadas ao seu alojamento, alimentação e agasalho;
- e) Assegurar a manutenção da lei e da ordem, garantindo a circulação nas vias de acesso necessárias à movimentação dos meios de socorro e evacuação das populações em risco;
- f) Garantir as ações adequadas a minimizar as agressões ao ambiente, bem como à salvaguarda do património histórico e cultural;
- g) Manter-se permanentemente informado sobre a evolução da situação, promovendo, em tempo útil, a atuação oportuna dos meios de intervenção;
- h) Informar da situação ao Centro Nacional de Operações de Emergência de Proteção Civil (CNOEPC) e solicitar os apoios e meios de reforço que considere necessários;
- i) Difundir através dos órgãos de comunicação social ou de outros meios, os conselhos e medidas de proteção a adotar pelas populações em risco.

A capacidade de resposta não se resume ao decorrer da emergência. Após a emergência existem outras ações que devem ser levadas a cabo e que devem permitir com a máxima rapidez ao restabelecimento das condições de vida. Dentre essas ações encontram-se:

- a) Adotar as medidas de reabilitação necessárias à urgente normalização da vida das populações atingidas, procedendo ao rápido restabelecimento dos serviços

públicos essenciais, fundamentalmente os de abastecimento de água, energia e comunicações;

- b) Promover a demolição, desobstrução e remoção dos destroços e obstáculos, a fim de evitar o perigo de desmoronamento e estabelecer a circulação;
- c) Promover a reunião das famílias atingidas e o regresso das populações, bens e animais deslocados;
- d) Proceder à avaliação e quantificação dos danos pessoais e materiais e elaborar os respetivos relatórios, de acordo com a legislação aplicável.

6.4.2. CAPACIDADE DE RESPOSTA NA ILHA BRAVA

No plano de emergência para a ilha Brava estão inseridas todas as medidas atrás referidas para a efetivação da capacidade de resposta em caso de emergência. No entanto, como foi atrás afirmado o fato de não existir um Serviço Municipal de Protecção Civil efetivo poderá constituir um problema para uma resposta eficiente particularmente a nível das primeiras ações a serem realizadas em caso de emergência.

No subcapítulo 5.2 referente à caracterização dos elementos de vulnerabilidade aos perigos estudados nesta ilha, verifica-se a existência de um conjunto de infraestruturas básicas fundamentais para dar resposta em caso de emergência. No entanto, a existência destas infraestruturas não significa que a ilha esteja preparada para dar resposta a situações de emergência. A maioria dessas infraestruturas carece de algumas condições o que implica o condicionamento das mesmas perante situações de emergência, como é o caso das unidades de saúde, da rede viária, dos sistemas de transporte particularmente o marítimo e o aéreo em caso de evacuação da população bem como os sistemas de comunicação existentes na ilha. Perante este cenário, a ilha apresenta uma reduzida capacidade de resposta em caso de situações de emergência para os mais variados perigos naturais ali existentes.

Recentemente foi instalado o Comando Regional do Serviço Nacional de Protecção Civil e Bombeiros (SNPCB) para a região Fogo/Brava sendo o culminar de um processo de descentralização deste serviço, iniciado em 2012. Espera-se que este comando regional venha a representar uma melhoria de condições para a protecção civil na ilha Brava.

6.4.3. PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA DURANTE A ERUPÇÃO VULCÂNICA DE 2014 NA ILHA DO FOGO

Na fase final da elaboração deste trabalho ocorreu uma erupção vulcânica na ilha do Fogo. A autora teve a oportunidade de integrar a equipa científica da Universidade de Cabo Verde no acompanhamento da erupção vulcânica, por motivo de interesse público. Realça-se que a Universidade de Cabo Verde, na qual é docente, foi designada pelo Governo da República de Cabo Verde como a entidade científica responsável pelo acompanhamento da erupção vulcânica. Neste contexto, esteve envolvida no desenvolvimento de atividades de avaliação dos perigos vulcânicos e da resposta à emergência na ilha do Fogo.

O Serviço Nacional de Proteção Civil e Bombeiros de Cabo Verde teve um papel determinante na gestão da crise decorrente da erupção e por isso optou-se por fazer uma breve descrição da erupção e do trabalho desenvolvido pelo SNPCB. Como a Brava faz parte do Comando Regional Fogo-Brava pensa-se que as experiências vividas nesta crise podem servir para a gestão de crises futuras nesta ilha.

Convém frisar que não se pretende descrever o fenómeno vulcânico uma vez que recai fora do âmbito da tese mas estabelecer a relação entre a ocorrência da erupção e o planeamento de emergência e a respetiva capacidade de resposta dos serviços nacionais e municipais e proteção civil.

6.4.3.1. CRONOLOGIA DA ERUPÇÃO VULCÂNICA DE 2014 NA ILHA DO FOGO

A atividade vulcânica teve início no dia de 23 de novembro, por volta das 9:45h, tendo sido precedida por abalos sísmicos sentidos desde 20 de novembro até minutos antes da erupção, sentidos nas localidades de Chã das Caldeiras e Cova Figueira. A erupção ocorreu ao longo de uma fissura SSW-NNE no flanco leste do Pico Novo (cone edificado na erupção de 1995), com formação de quatro crateras eruptivas com emissão de gases, piroclastos e lavas (Fig. 6.3a e b).



Figura 6.3. Imagens da erupção de 2014-15 na ilha do Fogo: a) Aspeto da erupção nas primeiras horas (imagem cedida por Nadir Cardoso da Universidade de Cabo Verde); b) Aspeto do avanço das lavas na localidade de Portela (imagem cedida por Saulo Montrond da Greenstudios).

O estilo eruptivo do tipo estromboliano iniciou com uma fase explosiva caracterizada pela libertação de gases e piroclastos (cinzas), formando uma coluna eruptiva com cerca de 6 km. As primeiras emissões de fluxos de lavas foram inicialmente do tipo *pahoehoe* mudando de seguida para lavas *aa*, tendo-se deslocado entre o Monte Cova Tina e o Monte Beco. Formaram-se mais três crateras eruptivas com emissões de gases, piroclastos e escoamento de lavas. Desenvolveram-se ainda mais duas frentes de escoadas de lavas, uma com sentido aos povoados Ilhéu de Losna/Cova Tina e outra frente em direcção à localidade de Portela.

As lavas cortaram a estrada principal por volta das 12:00. De seguida formaram-se cerca de quatro crateras eruptivas em círculo ao longo da fissura, no lado este do Pico Novo (cone eruptivo formado na erupção de 1995). O terceiro fluxo de lavas *aa* alcançou a localidade de Portela. O avanço das lavas em Portela deu-se com velocidades médias de 30-50 metros/hora, decrescendo para 8-13 metros/hora até 1-3 metros/hora. As lavas seguiram-se em duas direcções, uma do tipo *aa* na direcção SW, em direcção a Cova Tina tendo cortado a estrada alternativa. O outro fluxo de lavas do tipo *pahoehoe* seguiu em direcção a Monte Beco. Nesta fase, particularmente intensa, violentas explosões projetaram piroclastos de maiores dimensões (bombas e escórias) atingindo altitudes de 4 metros.

No dia 24 de Novembro, mantiveram-se as explosões com a formação de seis crateras eruptivas alinhadas na direcção NE-SW, com emissão de gases e produtos piroclásticos formando a coluna eruptiva que apresentava altura considerável. No dia 26 de Novembro

às 6h10, as lavas atingiram as imediações da primeira casa a sul da localidade de Portela, sendo a velocidade das lavas de 2 metros/hora e com altura média de 7-8 metros. No período da tarde, 15 casas já tinham sido destruídas, para além de algumas cisternas, currais de animais e áreas de cultivo. No dia 2 de Dezembro por volta das 4h da manhã a velocidade do fluxo das escoadas de lava aumentou tendo estas alcançado o centro da Portela destruindo várias casas e infraestruturas (Sede do Parque Natural do Fogo, Escola Básica, cisternas, duas unidades hoteleiras, Posto Sanitário e a Delegação da Câmara Municipal.)

No dia 7 de dezembro houve um aumento do fluxo de lavas que continuaram a provocar destruição em Portela e atingiram a localidade de Bangaeira (Fig. 6.4a e b), que foi destruída em poucas horas.



a)



b)

Figura 6.4. Aspeto das escoadas lávicas que destruíram as localidades de Portela e Bangaeira: a) Aspeto das escoadas de lavas junto à Adega Chã em Portela; b) Aspeto da destruição ocorrida e Bangaeira (imagem cedida por Nadir Cardoso da Universidade de Cabo Verde);

A 16 de Dezembro uma escoada lávica muito fluída desviou-se para Monte Saia e para o pequeno povoado de Ilhéu de Losna (Fig. 6.5a) tendo atingido esta localidade na madrugada do dia 18 de Dezembro, começando por soterrar os campos de cultivo e as primeiras casas. A 20 de Dezembro, em Ilhéu de Losna a escoada ativa ramificou-se em duas frentes provocando destruição nos lados sul e norte deste povoado e cortando a estrada alternativa de ligação a Portela. Todas as casas do lado norte em Ilhéu de Losna foram atingidas pelas lavas a 22 de Dezembro (Fig. 6.5b).



Figura 6.5. Escuada lávica em Ilhéu de Losna: a) Aspeto da fluidez da lava; f)Aspeto da destruição provocada pelas escoadas lávicas neste povoado.

No dia 5 de Janeiro de 2015 por volta das 17 horas a erupção aumentou novamente de intensidade e ocorreram fortes explosões seguidas de estrondos com emissão de gases e cinzas. Na base do cone vulcânico reiniciou-se a emissão de lavas e observou-se que a distância percorrida pelas escoadas foi de cerca de 50 m de extensão, com direcção para sul, ou seja, deslocando-se sobre a primeira escoada que se dirigiu para Cova Tina no primeiro dia de erupção vulcânica. No dia 7 de fevereiro de 2015 ocorreram várias explosões de intensidade variáveis e acompanhadas por fortes ruídos ou estrondos. A erupção terminou no dia 8 de Fevereiro de 2015.

6.4.3.2. CAPACIDADE DE RESPOSTA DO SERVIÇO NACIONAL DE PROTEÇÃO CIVIL E BOMBEIROS

As primeiras ações de resposta das autoridades de proteção civil após o início da erupção vulcânica foram desenvolvidas pelos serviços municipais de proteção civil, sob orientação directa das câmaras municipais e iniciaram a evacuação dos habitantes da Chã das Caldeiras (Fig. 6.6). Logo no início da erupção os moradores fizeram uma auto-evacuação espontaneamente, retornando quando o fluxo de lava parou no dia seguinte.



Figura 6.6. Evacuação da população de Chã das Caldeiras (imagens cedidas por Saulo Montrond da Greenstudios).

No dia do início da erupção o Serviço Nacional de Proteção Civil foi acionado através da convocação de uma reunião na qual estiveram presentes todos os agentes da proteção civil. As autoridades da Protecção Civil e uma equipa composta por várias instituições (como a Universidade de Cabo Verde, Forças Armadas, Cruz Vermelha, Polícia Nacional e da Comunicação Social) seguiram para a ilha do Fogo. A equipa fez uma primeira avaliação da situação no final da tarde do dia 23 de Novembro.

Conforme as informações, iniciou-se a evacuação fracionada de Chã das Caldeiras, primeiro os velhos, crianças, grávidas e deficientes. A 25 de Novembro, as autoridades nacionais de Protecção Civil implementaram a evacuação de todos os moradores, limitando ainda mais o acesso a Chã das Caldeiras. Algumas pessoas recusaram-se a sair mas acabaram por fazê-lo dias depois quando a erupção começou a destruir as primeiras casas.

O Governo de Cabo Verde declarou estado de emergência a 25 de Novembro, criou um Gabinete de Crise (numa primeira fase para acompanhar a erupção e apoiar a situação de emergência e numa segunda fase preparar um plano de reconstrução) e solicitou ajuda internacional. A ajuda foi oferecida por organizações internacionais e vários países e organizações entre os quais Nações Unidas, União Europeia, CEDEAO, Angola, Portugal, Japão, Argentina, Brasil, Austrália, Guiné Bissau, China, São Tomé e Príncipe, Timor Leste, bem como por instituições nacionais. Todos os donativos foram centralizados num armazém em São Felipe e geridos pela Cruz Vermelha de Cabo Verde e Proteção Civil.

Dados indicam que as pessoas desalojadas foram alojadas em centros de acolhimento, tendo sido criados 4 centros de acolhimento em Achada Furna, Monte Grande, Mosteiros e S. Filipe. Nos Mosteiros o centro de acolhimento foi sediado numa antiga escola, em S. Filipe as populações ficaram inicialmente nas instalações da Cruz Vermelha e depois foram acolhidas por familiares, em Achada Furna nas casas construídas após a erupção de 1995 e em Monte Grande na escola e em tendas. Estes centros acolheram cerca de 1.194 pessoas sendo 212 em S. Filipe, 169 nos Mosteiros, 360 em Monte Grande e 453 em Achada Furna. Nos centros de acolhimento os deslocados tiveram acompanhamento e apoio técnico de nutricionistas na preparação da cesta básica, assistência médica e medicamentosa, apoio psicológico; fornecimento de água e energia elétrica, e todas as crianças em idade escolar foram reintegradas no sistema de ensino.

Poucas semanas após a sua instalação, os Centros de Acolhimento foram desativados, em primeiro lugar os de Monte Grande e Achada Furna e por fim dos Mosteiros, com a transferência das famílias deslocadas para habitações unifamiliares, algumas arrendadas (Relatório GRF, 2015). As lavas provocaram a destruição quase total de 3 povoados: Portela, Bangaeira e Ilhéu de Losna, destruíram mais de 230 edificações (incluindo casas, escolas, igrejas, adegas, instituições hoteleiras e outras infraestruturas), cobriram cerca 420 hectares de terra e destruição de aproximadamente 120 hectares de terreno agrícola.

Instituições como a Cruz Vermelha de Cabo Verde, Escuteiros e voluntários de organizações religiosas estiveram envolvidas na resposta à crise provocada pela erupção, ajudando com o registo e distribuição de artigos de emergência nos locais de alojamento.

A área de Chã das Caldeiras teve acesso limitado desde o dia 07 de dezembro pelas autoridades de protecção civil devido ao aumento da atividade vulcânica. Dada a possibilidade de as escoadas lávicas saírem para fora da caldeira, após a destruição das localidades de Portela e Bangaeira, em direcção ao lado nordeste da ilha, as autoridades de protecção civil e as câmaras locais trabalharam num plano de contingência para a eventual evacuação das áreas de Cutelo Alto e Fonsaco (no concelho dos Mosteiros). Estas localidades podiam ser afetadas caso as lavas atingissem a localidade de Fernão Gomes no lado norte de Chã das Caldeiras. De acordo com a análise efetuada pela comunidade científica local e especialistas internacionais presentes no Fogo, se o fluxo de lava atingisse Fernão Gomes, esse podia descer o lado NE do vulcão. Perante este cenário um número adicional de 2.109 pessoas necessitariam ser evacuadas e precisariam de alojamento temporário e assistência. Como medida preventiva, a Protecção Civil identificou a área circundante ao estádio de futebol e o antigo aeródromo dos Mosteiros como locais de possíveis centros de acolhimentos onde poderiam ser estabelecidas 20 tendas com capacidade de albergar 1000 pessoas. Cerca de 60% das 2.109 pessoas tinham alojamento com familiares e começaram a evacuação dos seus pertences espontaneamente. Porém tal cenário não aconteceu porque as lavas estagnaram a cerca de 3km da localidade de Fernão Gomes.

A atividade vulcânica não teve impacto directo para a saúde humana, não tendo sido relatado nenhuma ocorrência. A assistência humanitária esteve e continua em curso. O deslocamento continuou por um período de tempo indeterminado pois as condições em Chã das Caldeiras não são seguras para o retorno.

Numa crise vulcânica, à semelhança do que se verifica para todas as que envolvem perigos naturais, o sucesso da operação depende do modo de atuação de cada um dos órgãos envolvidos, do relacionamento entre cada elemento individual e da dinâmica de cada grupo, sejam eles os cientistas, as autoridades os *media* ou o público. Cabe aos cientistas estruturar a mensagem de forma clara, simples e objetiva e transmiti-la às autoridades responsáveis pelo alerta que por sua vez fazia a transmissão dessa mensagem à população através da comunicação social. A mensagem devia chegar à população por via dos meios de comunicação, onde eventualmente poderia intervir um membro do grupo de cientistas, previamente sugerido para a missão de interlocutor científico, por forma a satisfazer as curiosidades do público, prestando os possíveis esclarecimentos, novamente

por meio de uma mensagem perceptível e pouco interpretativa. Segundo Gaspar (2004), a existência de diferentes grupos de cientistas numa região resulta, na sua maioria, na multiplicidade de interpretações dos fatos, acarretando um problema adicional às autoridades responsáveis pela decisão oficial, não estando estas habilitadas a julgar diferentes opiniões científicas.

Como foi atrás referido na ilha do Fogo, aquando da crise despoletada pela erupção vulcânica não houve tempo de ser dado o alerta. Ao longo da erupção vários cientistas, nacionais e internacionais, estavam presentes na ilha do Fogo. Como já foi também referido, o Governo de Cabo Verde designou a Universidade de Cabo Verde (UniCV) como sendo a entidade científica a coordenar o seguimento da erupção. No entanto, nas duas primeiras semanas da crise vulcânica cada grupo de cientistas trabalhava isoladamente e não havia partilha de informação e nem interpretações conjuntas da crise.

Na altura cada grupo de cientistas trabalhava isoladamente e não havia partilha de informação e nem interpretações conjuntas da crise. Não existia, uma coordenação clara e cada grupo de cientistas prestava declarações à comunicação social causando má interpretação e provocando a desvirtualização da mensagem transmitida em alguns casos. A situação indicava a não existência de uma dinâmica intra cientistas que considera-se como sendo o primeiro entrave ao correto fluir da mensagem.

Esta situação foi ultrapassada após um encontro entre os cientistas e as autoridades, tendo ficado definido que a Universidade de Cabo Verde seria a única entidade científica a transmitir a mensagem de teor científico e que suscitasse esclarecimentos. Cabia à UniCV fazer a estruturação de uma mensagem simplista, clara e objetiva, resultante de uma interpretação consensual da situação, a qual devia transmitir numa linguagem acessível e compreensível, às autoridades responsáveis pelas operações de emergência (o SNPCB). A este último, competia transmitir a informação ao público em geral através dos órgãos de comunicação social.

Os *media* são o principal veículo que permite à informação oficial, divulgada pelas autoridades competentes, chegar ao público. Uma crise sísmica ou vulcânica é inevitavelmente um importante foco de atenção para os *media*, que de imediato acorrem

ao manipulamento intencional das mensagens transmitidas, fato que normalmente se verte no exagero dos acontecimentos.

Contudo, particularmente no início, e ao longo da crise vulcânica na ilha do Fogo houve situações em que a mensagem transmitida de forma muito exagerada e faltava veracidade noutros casos. No primeiro caso, criou-se um certo pânico nas pessoas, particularmente as que se encontravam fora da ilha, e no segundo caso despoletou desconforto entre cientistas e as autoridades, colocando em causa a credibilidade de alguns cientistas, e surgindo como uma agravante de desestabilização e de fragilização da capacidade de resposta.

Ocorreram casos em que os cientistas visitantes, presentes na região com ou sem consentimento da comunidade científica local, constituíram outro alvo preferencial dos meios de comunicação. Desconhecendo a realidade sociocultural da região, ao serem abordados pelos jornalistas, proferiram comentários, que mesmo bem-intencionados, foram mal interpretados e usados como forma de contradizer as posições tomadas pelos cientistas locais e questionar as estratégias empregues pelas autoridades. Contudo, a equipa de cientistas locais soube implementar e manter uma imagem forte do grupo, difundindo um espírito de confiança por parte da população.

Há necessidade da população local ser informada e sensibilizada de modo a despoletar numa cultura de risco. Houve casos que a falta de informação por parte da população constituiu um entrave na capacidade de resposta da população. Houve muitos casos de pessoas que resistiram e não saíram da Chã das Caldeiras. Estes não acreditavam nos cientistas e não obedeceram a ordem de evacuação das autoridades. Uma forma de ultrapassar estes constrangimentos é de, em períodos de acalmia e de uma forma periódica, se proceder ao desenvolvimento de campanhas de sensibilização, contribuindo para a divulgação e incremento do conhecimento da população sobre os riscos naturais a que estão sujeitos pela sua posição geográfica.

Após o término da erupção o Governo de Cabo Verde aprovou a criação do Gabinete de Reconstrução do Fogo, extinguindo o Gabinete de Crise, para dar início à recuperação das zonas devastadas pelo vulcão. O novo gabinete integra representantes do Governo, autarquias, Cruz Vermelha e organizações da sociedade civil, bem como uma delegação

dos cerca de 1.500 habitantes das localidades destruídas, que, em conjunto, elaborarão o plano de recuperação, os projetos de recuperação e os cronogramas das obras, criando ainda comissões de acompanhamento e de gestão. O plano de reconstrução de Chã das Caldeiras prevê a edificação de uma nova localidade, em zona ainda a definir, com casas de habitação, escolas, igrejas e outros edifícios, como hotéis e estabelecimentos comerciais. Até à data do término desta tese não tinha sido aprovado nenhum plano de reconstrução. No entanto, atualmente já foram construídas casas e unidades hoteleiras bem como estradas em cima das lavas desta erupção nas localidades de Portela, Bangaeira e Ilhéu de Losna. No entanto, uma boa parte da população já regressou a Chã das Caldeiras, reconstruindo as casas que foram parcialmente destruídas e construindo novas casas. Inclusive já existem estradas e unidades hoteleiras construídas pela população, às quais, segundo a Câmara Municipal, não foram atribuídas licenças para construção. As construções foram feitas em cima das lavas da erupção de 2014.

Convém realçar que a Protecção Civil deu resposta imediata face a esta situação de emergência e que comparativamente à erupção de 1995 a capacidade de resposta das autoridades governamentais e locais estava melhor organizada. A última erupção vulcânica na ilha do Fogo constituiu um aprendizado e experiência para o Serviço Nacional de Protecção Civil e Bombeiros e para todos aqueles que estiveram envolvidos no processo de transferência e alojamento dos deslocados de Chã das Caldeiras e na mobilização dos recursos necessários. Esta experiência pode ser utilizada para outros casos de ocorrência de situações de emergência decorrentes de erupções vulcânicas entre as quais a ocorrência de um evento natural na ilha Brava.

6.4.3.3. CONSIDERAÇÕES

Conhecer em profundidade o território, os fenómenos perigosos, as suas potenciais consequências e agir na informação e sensibilização, além de um correto ordenamento do território, passou a ser um desígnio claro no futuro do planeamento territorial e de emergência na Brava. Verifica-se que há, ainda, trabalho a fazer de forma a congregar estratégias de atuação ao nível da prevenção e da preparação nos domínios da protecção civil.

Pensa-se que há necessidade de alteração do quadro legal da atividade de proteção civil e que este deverá projetar um quadro de mudança nas ações de planeamento de emergência. Este tem que refletir uma nova dinâmica, uma nova estratégia e assim surgir um novo quadro legal que o regulamenta. Urge fazer novas reflexões e direcionar o sistema de proteção civil para uma vertente de resposta, sem lacunas na linguagem e no quadro conceptual de proteção civil. Ou seja, ao produzir-se leis, devem-se emitir orientações técnicas e que envolvam todos os atores.

Quanto à elaboração dos planos de emergência em Cabo Verde, no geral, e na Brava, em particular, julga-se necessário o envolvimento da comunidade académica pois possuem o conhecimento científico necessário e atualizado, para um maior rigor na criação de base de dados a incorporar na elaboração dos planos. Defende-se assim que urge reverter a atual situação, sendo que apenas com um trabalho em conjunto entre comunidade científica e técnicos da proteção civil a nível nacional e das autarquias, poderá dar-se uma aproximação quanto à linguagem e terminologia utilizadas, bem como o estabelecimento de estratégias comuns para a exposição do tema e participação da sociedade civil, acerca dos riscos que podem condicionar o território, e das medidas de prevenção e resposta a adotar.

Há necessidade de se ter em conta alguns aspetos tais como a interdisciplinaridade nas equipas que elaboram os PME, no sentido de aproximar os diferentes atores em torno do interesse e da concertação de estratégias na prevenção dos riscos, que por todos sejam assimiladas e executáveis, há a necessidade de (a) proceder a uma atualização e uniformização dos conceitos fundamentais do risco, para que a sua utilização seja clara e inequívoca, entre especialistas da proteção civil, comunidade científica, decisores políticos e população em geral; (b) reforçar o trabalho de cooperação entre os técnicos da administração local (ou de outros níveis, se necessário) e a comunidade científica, promovendo o intercâmbio conhecimentos e a troca de experiências entre o trabalho no terreno e o trabalho académico; (c) dar mais atenção, aquando do processo de aprovação dos PME, à componente científica (particularmente à caracterização do território, identificação e análise dos perigos e das vulnerabilidades, à elaboração de cenários e cartografia temática).

Também há necessidade de envolver as populações sobretudo na vertente reativa que esta tende a aparecer para auxiliar ou usufruir do apoio das autoridades. Os cidadãos devem conhecer e salvaguardar o território onde se inserem, no entanto, as entidades responsáveis devem agir de uma forma rápida e eficaz na prevenção e gestão de situações de crise.

O estudo dos riscos geológicos revela-se de especial importância pelo que assim, torna-se necessário implementar medidas preventivas do impacte nas pessoas e bens, através (1) de boas práticas do ordenamento do território, (2) da promoção de exercícios de gabinete e no campo, (3) da análise da capacidade de resposta a todos os intervenientes perante diferentes cenários face aos diferentes riscos passíveis de provocarem alterações sociais súbitas, e (4) sobretudo, de acções de sensibilização que informem a população sobre os riscos a que está permanentemente sujeita, as medidas preventivas que podem ser tomadas e a conduta a adotar em caso de situações de emergência.

A aplicação destas medidas permitirá contrariar o fato que se observa em Cabo Verde, em que só se ouve falar em protecção civil, nos destaques da comunicação social, quando esta necessita de atuar na eminência/ocorrência de uma calamidade ou acidente grave, natural ou tecnológico. O Sistema Nacional de Protecção Civil deve ser capaz de manter canais com estreita ligação entre a comunidade científica, a comunicação social e o cidadão comum.

Outro aspeto importante é a falta de recursos humanos na protecção civil na ilha Brava que é agravada pela não especialização dos poucos recursos humanos existentes. Aqueles que têm uma tarefa específica em qualquer serviço de protecção civil devem estar sempre preparados para fazer face a desastres ou calamidades, naturais ou tecnológicas, com meios próprios suficientes e, também, com bons conhecimentos teórico-práticos.

Com a realização desta dissertação fica a intenção de demonstrar, acima de tudo, o papel que a prevenção e análise dos perigos naturais pode assumir no contexto do ordenamento do território. Como tal, a elaboração de estudos de caracterização do território, identificação dos riscos, e análise de riscos e de vulnerabilidades, assumem-se como bases de trabalho, na perspectiva de, no futuro, a evolução do conhecimento científico e a revisão das políticas de ordenamento do território e de protecção civil, possam permitir a

adopção de modelos de integração e a articulação dos mesmos, entre instrumentos para o planeamento. Para tal, há também que rever o contributo ativo de todos os atores que em comum têm o dever e o direito de atingir esse objectivo, como técnicos, comunidade científica, decisores e população em geral.

CAPÍTULO VII
CONSIDERAÇÕES
FINAIS

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O arquipélago de Cabo Verde é constituído por dez ilhas de origem vulcânica e encontra-se localizado no Oceano Atlântico, na costa ocidental africana. A ilha Brava, localizada entre as latitudes 14° 54' N e 14° 48' N e as longitudes 24°40'W e 24°44'W, é a menor ilha, habitada, em área, com cerca de 64 km². O presente trabalho incidiu sobre a avaliação dos perigos sísmicos e vulcânicos na ilha Brava e nas suas implicações no planeamento de emergência.

Neste trabalho foram apresentados e discutidos dados de natureza diversa, como a morfologia, o perigo sísmico, os perigos vulcânicos, a vulnerabilidade aos perigos estudados e o planeamento de emergência, obtidos a partir de estudos realizados na ilha Brava.

Em termos morfológicos esta ilha é caracterizada por possuir um planalto irregular sendo delimitada por falésias costeiras íngremes e cortada por incisão fluvial num padrão de drenagem geralmente radial. A morfologia atual resultou de processos vulcânicos e tectónicos, da erosão marinha e fluvial e de movimentos de vertente. Para a presente dissertação foram realizados trabalhos de campo e de fotointerpretação que permitiram identificar e caracterizar as diferentes estruturas vulcânicas da ilha bem como as estruturas tectónicas, a rede hidrográfica, a orla costeira e a modificação da paisagem pela ocorrência de movimentos de vertentes. Estes trabalhos permitiram a elaboração de uma carta morfoestrutural, bem como a criação de uma base de dados vetorial sobre a morfologia desta ilha. Conclui-se que em termos globais a morfologia da ilha é materializada por possuir um planalto central cuja paisagem é dominada pela existência de uma pequena caldeira (Campo Baixo), 60 *maars* (*s.l.*), 23 domos, um cone de escórias. Quanto às principais estruturas tectónicas na ilha Brava destacam-se: (1) dois sistemas de falha principais (Zona de Falha do Vigia de direções NW-SE a NNW-SSE e a Zona de Falha do Minhoto de direções NE-SW a NNE-SSW); (2) proeminentes escarpas de falha do Vigia e do Cachaço, que formam um graben com direção NNW-SSE na parte sul da ilha; e (3) lineamentos vulcânicos que constituem alinhamentos de domos e *maars* nas regiões sul e central, respectivamente, de direções NE-SW a ENE-WSW e NNW-SSE. Quanto à rede hidrográfica, esta ilha apresenta 16 bacias hidrográficas. A sua orla costeira é caracterizada por um relevo muito acidentado com falésias costeiras íngremes e cortada

por incisão fluvial, muitas enseadas e poucas praias. Ainda, é possível reconhecer cicatrizes de deslizamentos de terra em várias zonas da ilha, principalmente nas regiões ocidental e meridional.

Para o estudo dos perigos geológicos foram selecionados apenas o perigo sísmico e os diferentes perigos vulcânicos, tendo sido efetuada a avaliação de cada um destes perigos individualmente.

Atendendo a que a ocorrência de sismos representa um dos perigos geológicos estudado na Brava, foi realizado um levantamento de toda a informação da sismicidade histórica e instrumental relativa a esta ilha. No que respeita à análise da sismicidade histórica, foi utilizada informação encontrada em notícias, crónicas entre outros documentos. Constatou-se que a sismicidade histórica que afetou a Brava compreendeu o período que se estende desde a erupção de 1816, ocorrida na vizinha ilha do Fogo e que provocou a ocorrência de sismos na Brava, até à presente data. Para a verificação da sismicidade recente, foi efetuada a análise da informação instrumental existente o que permitiu a localização exata e a caracterização de alguns sismos ocorridos na Brava desde 1914, de acordo com a rede sísmica mundial, até à presente data. Verificou-se que tanto a sismicidade histórica como a instrumental registada na região da Brava comparada com a sismicidade do arquipélago de Cabo Verde é significativa. De acordo com as informações disponíveis num total de 412 sismos registados no arquipélago, 220 ocorreram na Brava. No entanto, entre a data da independência do país em 1975 e 1980/81, data de ocorrência de uma crise sísmica, não existem dados da sismicidade instrumental. Os dados instrumentais passaram a existir novamente, a partir de 1994, quando foram instaladas algumas redes sísmicas temporárias de monitorização sismovulcânica. A primeira rede permanente foi instalada em 1997, após a ocorrência da erupção de 1995, e esteve operacional até 2006. Na mesma altura, outras redes temporárias operaram no âmbito de alguns projetos. Atualmente, o registo de dados referentes a eventos sísmicos é feito através de uma rede sismológica permanente instalada em algumas ilhas pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), entidade nacional responsável pela vigilância sismovulcânica em termos geofísicos. Durante a última erupção vulcânica de 2014-15, ocorrida na ilha do Fogo, esta rede foi a responsável pelo registo e deteção de dados sísmicos naquela ilha tendo sido apresentados relatórios diários.

Os dados obtidos para a sismicidade, quer histórica como instrumental, permitiram concluir que Brava é uma das ilhas mais ativas em termos sísmicos no arquipélago de Cabo Verde. Os estudos realizados apontam para a localização dos epicentros dos sismos particularmente a norte, a nordeste e a sudoeste da ilha, verificando-se que a região a nordeste é a mais ativa. Os dados obtidos indicam a ocorrência de sismos com intensidades máximas entre os graus V e VII (EMS), enquanto a magnitude varia entre os 0,4 e os 4,2. Atendendo às intensidades, nenhum destes eventos sísmicos causou grandes destruições, cingindo-se em alguns casos a pequenos danos em edifícios e desmoronamento de rochas em algumas localidades.

Para a avaliação dos perigos vulcânicos existentes na Brava foi necessário a realização do estudo da história eruptiva da ilha que compreendeu a execução de trabalhos de campo para a identificação e caracterização de grupos litológicos. Tais grupos possibilitaram o reconhecimento dos estilos eruptivos ocorridos na Brava e a indicação dos perigos vulcânicos associados. Cada grupo litológico foi caracterizado e descrito com base na interpretação dos depósitos observados e acentuou nos aspetos da litologia, na descrição dos cortes elaborados e na localização das suas ocorrências. Assim, foram identificados e caracterizados cinco grupos litológicos na ilha Brava: (1) depósitos piroclásticos de fluxo, (2) depósitos piroclásticos de queda, (3) depósitos piroclásticos e de escoadas lávicas basálticos, (4) depósitos piroclásticos e de escoadas lávicas carbonatíticos, e (5) domos fonolíticos.

A atividade vulcânica nesta ilha é caracterizada pela ocorrência de vulcanismo submarino (mais antigo) e subaéreo (mais recente) de natureza variada sendo essencialmente fonolítica, carbonatítica e basáltica. A identificação e a descrição dos grupos litológicos permitiu o reconhecimento de diferentes estilos eruptivos como os havaianos, estrombolianos, plinianos/subplinianos, surtseianos e hidrovulcânicos. De entre estes estilos eruptivos os mais susceptíveis de ocorrerem na Brava serão as erupções hidromagmáticas, que constituem o cenário mais provável à ocorrência de erupções futuras, e as erupções plinianas/subplinianas envolvendo a emissão de cinzas e *lapilli*, que em caso de ocorrência futura de erupções constitui o pior cenário que poderia ocorrer na ilha. Com menor probabilidade, mas também possível de ocorrer, situam-se as erupções estrombolianas e havaianas. Atendendo a tais estilos eruptivos, foi possível

identificar os seguintes perigos vulcânicos associados: escoadas lávicas, escoadas piroclásticas, *surges*, piroclastos de queda, projeteis de trajetória balística, *lahars* e gases vulcânicos. Dentre estes perigos os piroclastos de queda, escoadas piroclásticas e *surges* foram definidos como sendo os mais comuns e os que apresentam maior probabilidade de ocorrer na Brava, sugerindo que a maioria das erupções futuras na Brava terão um alto potencial de destruição. As erupções mais perigosas evidenciadas pelos depósitos observados na Brava são as erupções de magma fonolítico que parecem ter invariavelmente desencadeado explosões freatomagmáticas violentas conducentes ao desenvolvimento de *surges* e ignimbritos, que constituem fluxos piroclásticos. Foram, também, gerados fluxos de blocos e cinzas no decurso de erupções magmáticas. Enquanto os depósitos de fluxo piroclástico são tipicamente confinados a vales, os *surges* são caracteristicamente móveis e por isso susceptíveis de afectar toda a ilha caso a fonte esteja localizada no planalto. Algumas erupções fonolíticas nos flancos da ilha conseguem, provavelmente, produzir domos de lava, podendo, também, ter fases explosivas produzindo depósitos freatomagmáticos de *surges* ou fluxos de blocos e cinzas. Apenas as erupções carbonatíticas e basálticas, parecem ser relativamente pequenas e locais nos seus efeitos. No entanto, mesmo estas podem desencadear explosões freáticas quando o magma interage com a água. A ilha Brava no seu todo deve, portanto, ser considerada como uma zona de perigosidade vulcânica elevada em caso de erupções fonolíticas futuras, apenas erupções de magma básico e/ou carbonatíticas (relativamente raro) afectarão zonas locais e de menores dimensões.

Apesar das incertezas que persistem sobre as possíveis fontes eruptivas na ilha Brava, após o levantamento e análise dos dados atrás referidos, fez-se um estudo sobre a suscetibilidade ao desenvolvimento de erupções plinianas, com queda de piroclastos, que constitui o pior cenário em caso de ocorrência futura de erupções na ilha. Para a simulação da ocorrência de erupções plinianas recorreu-se à ferramenta VORIS (Felpeto *et al.*, 2007) para a elaboração de cenários em detrimento da análise da perigosidade. Para a realização da modelação foram utilizados como parâmetros de entrada: o ponto de origem, a definição da área fonte, o volume do depósito, o parâmetro da forma da coluna (A), a amostra utilizada (granulometria), a distribuição das partículas ou discretização, a atmosfera e os ventos. Com a simulação obtiveram-se mapas de suscetibilidade para a queda de piroclastos para cada estação do ano definida. Os resultados obtidos das simulações efetuadas indicam que: (1) tanto para a estação húmida como para a estação

seca, as classes de espessura dos depósitos variam de acordo com a alteração dos valores do volume ($0,1 \text{ km}^3$ e 1 km^3), notando-se que a variação da espessura dos depósitos ocorre de acordo com a variação da altura da coluna (10.000m e 25.000m). A espessura dos depósitos aumentam consideravelmente quando o volume é de 1 km^3 , representando os depósitos de maiores espessuras; (2) a direcção da dispersão das partículas mantém-se constante em ambas as estações, na estação húmida para o lado E da ilha, enquanto na estação seca para o lado SW, indicando que as regiões mais suscetíveis de serem afetadas pela queda de piroclastos variam consoante a estação do ano. É de realçar que a região SW será a mais afetada em termos de destruição devido à quantidade de povoados existentes nesta área, sendo o lado leste da ilha o menos povoado; (3) dos dados obtidos para as duas estações as combinações mais prováveis de ocorrerem são as referentes a $0,1 \text{ km}^3$ e 10.000 m e a 1 km^3 e 25.000 m. As combinações menos prováveis de ocorrerem são as de $0,1 \text{ km}^3$ e 25.000 m e a de 1 km^3 e 10.000 m; e (4) os dados obtidos em relação à espessura dos depósitos são semelhantes para as duas estações porém com direcções de dispersão de partículas opostas.

Dos dois perigos geológicos estudados, os perigos vulcânicos são os que ocorrem com menor frequência, todavia na história do arquipélago, e particularmente na ilha do Fogo, são inúmeros os registos de eventos desta natureza. Apesar de não ter ocorrido nenhuma erupção histórica na ilha Brava os depósitos vulcânicos permitiram considerar os seguintes cenários distintos, atendendo ao tipo de erupção: (1) erupções estrombolianas nos flancos; (2) fenómenos explosivos com forte carácter hidromagmático no planalto central e região sul; e (3) erupções explosivas do tipo subpliniano ou pliniano no planalto central. Se se estiver perante o primeiro cenário, ou seja, a possibilidade de uma erupção nos flancos da ilha, os maiores perigos estarão relacionados com a emissão de projéteis de trajetória balística, queda de cinzas e *lapilli* e escoadas lávicas, podendo afetar áreas distantes do centro emissor. No entanto, dada a localização dos centros eruptivos atuais nenhuma localidade será afetada pelo escoamento de lavas. No que concerne às erupções intracaldeira, e erupções subplinianas ou plinianas, o evento mais provável apresentará um carácter predominantemente hidromagmático, com emissão de cinzas de queda e piroclastos de trajetória balística, podendo verificar-se o desenvolvimento de escoadas piroclásticas e *surges*. Há ainda que admitir a possibilidade de formação de escoadas piroclásticas devido ao colapso da coluna eruptiva durante a formação de domos. A área

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

afetada, assim como a devastação provocada, será substancialmente maior numa erupção intracaldeira do que no primeiro cenário.

Neste trabalho foi, também, efetuada a análise da vulnerabilidade dos elementos expostos aos perigos estudados e avaliados (sísmico e vulcânicos) tendo-se aprofundado a vulnerabilidade do edificado. Para tal procedeu-se à recolha de dados referentes a parâmetros relativos à estrutura das habitações.

Para o perigo sísmico, com base no tipo de material utilizado na construção, mormente das paredes exteriores, classificou-se cada edifício segundo uma classe de vulnerabilidade, tendo-se adaptado à realidade local as classes definidas pela EMS-98. Para a ilha Brava foram definidas as seguintes classes: A (classe de maior vulnerabilidade), B, C e D (classe de menor vulnerabilidade). Verificou-se que 60,1% do parque habitacional da ilha Brava se insere na classe de vulnerabilidade B, seguido da classe C com 24,2%, da classe A com 15,2% e por fim, a classe D com 0,5%. O predomínio da classe de vulnerabilidade B é atribuído a um crescente número de edifícios remodelados. Dentre as localidades onde foi realizado o inquérito, Cova Joana é a que apresenta maior percentagem de edifícios na classe A com 20,9%.

Para o estudo da vulnerabilidade do edificado associada a eventos de natureza sísmica consideraram-se dois cenários: (1) a região em estudo ser afetada por um sismo com intensidade V (EMS-98) e (2) um sismo com uma intensidade de VII (EMS-98) atingir a ilha Brava. No primeiro caso, constata-se que apenas os edifícios com classes de vulnerabilidade A e B têm danos atribuídos, sendo neste caso para ambos de grau 1, necessitando assim de pequenas reparações. Para o melhor cenário nenhuma das casas sofreria danos. No entanto, para o pior cenário entre 10,2% e 14% do total das habitações poderão ser sujeitas a pequenas reparações. Todavia se a área de estudo for afetada por um sismo de intensidade VII, os níveis de danos passíveis de se observarem são substancialmente superiores, sendo que entre 14,8% a 15,2% do total do edificado da área em estudo poderá sofrer destruição parcial ou total, necessitando, assim, de uma reconstrução ou uma de nova construção, entre 14,9% a 57% das construções terá de ser reabilitado e entre 25% a 76,5% dos edifícios poderão precisar de pequenas reparações. Para um evento de intensidade VII, as localidades de Lém e de Nossa Senhora do Monte apresentarão, para os dois cenários, a maior percentagem de habitações que irão necessitar

de pequenas reparações, grandes obras de reabilitação e de reconstrução ou novas construções e Nova Sintra deverá manifestar a menor percentagem de edifícios que irão precisar de intervenções profundas, em consequência dos danos de nível 4 que o sismo poderá provocar. Este fato foi associado à existência de construções recentes e a inúmeras remodelações que as construções mais antigas foram sujeitas.

Para a vulnerabilidade do edificado associada a eventos vulcânicos importa referir que ela será distinta consoante o tipo de fenómeno vulcânico. Tendo em conta a modelação efetuada para a ilha Brava é fundamental o conhecimento do tipo de material do telhado assim como a inclinação deste, pois são elementos essenciais para a análise das vulnerabilidades em relação aos piroclastos de queda. Conclui-se que, de acordo com o inquérito realizado, as localidades de Cova Joana e Nossa Senhora do Monte serão as mais afetadas pela queda de piroclastos, sendo que para as localidades os efeitos nos edifícios podem ser de danos apreciáveis a colapsos dos telhados, para os dois cenários referidos. No entanto, de acordo com o cruzamento dos parâmetros referidos, a localidade de Nossa Senhora do Monte seria a mais afetada visto o edificado apresentar maior vulnerabilidade à queda de piroclastos, pelo que entre 52% e 54,5% das casas poderão colapsar devido ao peso das camadas de piroclastos.

Perante os dados obtidos, tanto dos perigos avaliados como das vulnerabilidades dos elementos expostos, há necessidade da ilha Brava ter um serviço municipal de proteção civil com capacidade de resposta em caso de crise sísmica e/ou vulcânica. Essa capacidade de resposta deverá representar a combinação de meios (planeamento, infraestruturas, meios de combate, entre outros) e recursos disponíveis e que podem reduzir o risco e implicar uma gestão de emergência. Conclui-se que apesar da proteção civil a nível nacional encontrar-se organizada em termos de estrutura e possuir legislação que lhe serve de suporte, ainda carece de algumas mudanças particularmente no que respeita a recursos humanos especializados, a meios e recursos disponíveis de modo a dar resposta em caso de emergência. Para a ilha Brava a situação é ainda mais grave porque a proteção civil municipal não se encontra estruturada, não possui recursos humanos e possui poucos recursos materiais apesar da existência de legislação. Isso reflete-se na atualização do plano de emergência e na elaboração de planos de evacuação bem como na informação e sensibilização da população e das autoridades locais particularmente nos agentes de proteção civil na ilha.

No atual plano de emergência da ilha Brava estão inseridas as medidas para a efetivação da capacidade de resposta em caso de emergência. No entanto, o fato de não existir um Serviço Municipal de Protecção Civil funcional, poderá constituir um problema para uma resposta eficiente particularmente a nível das primeiras ações a serem realizadas em caso de emergência. Apesar de existirem algumas infraestruturas fundamentais para dar resposta em caso de emergência, a maioria carece de algumas condições o que implica o condicionamento das mesmas perante situações de emergência, como é o caso das unidades de saúde, da rede viária, dos sistemas de transporte em caso de evacuação da população bem como os sistemas de comunicação existentes na ilha. Perante este cenário, a ilha apresenta uma reduzida capacidade de resposta em caso de situações de emergência para os mais variados perigos naturais ali existentes.

Termina-se o presente trabalho com a plena consciência de que, embora se tenha contribuído para um melhor conhecimento dos perigos sísmico e vulcânicos da ilha Brava bem como das vulnerabilidades dos elementos expostos e o papel da protecção civil em relação a estes aspetos, algumas das questões inicialmente colocadas não puderam ser totalmente esclarecidas e que outras surgiram no seu decurso, fundamentando a necessidade de se continuar este projeto, agora que as bases de trabalhos futuros foram lançadas. Deste modo, propõe-se:

- a) No âmbito da avaliação do risco sísmico
 - ✓ Elaborar cartas de intensidades máximas históricas e cartas de localização epicentral dos sismos para a ilha;
 - ✓ Identificar as zonas sismogénicas de modo a servir de base para futuros trabalhos.

- b) No âmbito da vulcanologia:
 - ✓ Efetuar mais estudos de vulcanoestratigrafia fina na ilha por forma a colmatar as incertezas ainda presentes;
 - ✓ Determinar as fontes eruptivas dos depósitos na Brava, particularmente para os que ilustram erupções de elevada explosividade do tipo hidromagmática, pois constitui um estilo eruptivo que interessa analisar no âmbito da avaliação do perigo vulcânico;

- ✓ Aprofundar o estudo dos depósitos piroclásticos presentes na caldeira de Campo Baixo, em particular no que respeita à sua dispersão e à determinação das respetivas fontes;
- ✓ Aplicar outros modelos de simulação de queda de piroclastos para se avaliar as vantagens e desvantagens de cada um, e se discutir comparativamente os resultados obtidos;

c) No âmbito da vulnerabilidade:

- ✓ Quantificar a dependência socioeconómica dos elementos vulneráveis e o impacto socioeconómico de uma erupção vulcânica com desenvolvimento de queda de piroclastos na ilha Brava. Desta forma poder-se-ão determinar as reais implicações futuras de uma erupção deste tipo, quer a nível da área mais afetada, quer também em relação aos contextos local e regional;
- ✓ Integração de outros perigos geológicos que podem ocorrer, tais como movimentos de vertente;

d) No âmbito do planeamento de emergência e da resposta à emergência:

- ✓ Reestruturar o Serviço Municipal de Proteção Civil (SMPC) e atualizar o plano de emergência para a Brava com base em estudos científicos e no PDM;
- ✓ Criação de um corpo de bombeiros efetivo;
- ✓ Efetuar diversos cenários sísmicos e eruptivos que possam ser usados em exercícios de simulação pela proteção civil e na definição de planos de emergência e evacuação;

Com este documento pretende-se contribuir para a avaliação dos perigos sísmicos e vulcânicos na ilha Brava, podendo este ser utilizado como um elemento orientador, não só nas acções de prevenção e mitigação, mais concretamente no âmbito de Planos de Emergência, mas também na gestão da ocupação do solo nomeadamente nos Planos Directores Municipais e no Ordenamento do Território.

BIBLIOGRAFIA

A

- ABRANCHES, J. C. (1877) - Convulsões da terra; Notícias d'estes phenomenos colleccionadas. Typographia de Manoel Corrêa Botelho, Ponta Delgada, 138 pp.
- AIRES-BARROS, L. (1968) - Petrologia do Ilhéu Grande (Ilha Brava, Cabo Verde); Garcia de Orta, vol. 16 (nº 2): 249 - 258, Lisboa.
- ALEXANDER, D. (2002) - "Long-Term planning" *Principles of emergency planning management*, Terra publishing, England.
- ALFAMA, V. (2007) – Património Geológico da ilha do Fogo (Cabo Verde): Inventariação, Caracterização e Propostas de valorização, Tese de Mestrado em Património Geológico e Geoconservação, Departamento Ciências da Terra, Escola de Ciências da Universidade do Minho: 114pp.
- ALFAMA, V. & PEREIRA, J. M. (2008) - Património Geológico das ilhas de Santiago e do Fogo (Cabo Verde); Conferência Internacional subordinada ao tema "As Geociências no Desenvolvimento das Comunidades Lusófonas", 13-14 de Outubro de 2008, Coimbra.
- ALFAMA V. I., GOMES A. M., BRILHA J., (2008), Guia geoturístico da Ilha do Fogo (Cabo Verde), Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciência e Tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra, pp. 61;
- ALI, M. Y.; WATTS, A. B. & HILL, I. (2003) - Structure of Mesozoic oceanic crust in the vicinity of the Cape Verde islands from seismic reflection profiles. *Marine Geophysical Researches* 24:329-343.
- ALLARD, P.; CARBONNELLE, J.; DAJLEVIC, D.; LE BRONEC, J.; MOREL, P.; ROBE, M. C.; MAURENAS, J. M.; FAIVRE-PIERRET, R.; MARTIN, D.; SABROUX, J. C. & ZETTWOOG, P. (1991) – Eruptive and diffuse emissions of CO₂ from Mount Etna. *Nature*, 351, 387-391.
- ALLARD, P. (1996) – Geochemistry of volcanic gases: composition, origin and flux. Applications to volcano monitoring. In Barberi, F; Casale, R.; Fantechi, R. (Eds.), *Proceedings of the course: the mitigation of volcanic hazards*. European Commission, 375-392.
- ALLÈGRE, C.J., PINEAU, F., BERNAT, M., & JAVOY, M., (1971) - Evidence for the occurrence of carbonatites on Cape Verde and Canary Islands. *Nat. Phys. Sci.* 233, 103-104.
- ALMEIDA, R., MENDES, C., SERRANO, S., ARAÚJO, F., CARLOS, P., COELHO, C. & GOMES, A. (2008) - Cadernos Técnicos PROCIV #3: Manual de Apoio à elaboração e operacionalização de Planos de Emergência de Protecção Civil. Unidade de Planeamento/Núcleo de Planeamento de Emergência e Escola Nacional de Bombeiros. Autoridade Nacional de Protecção Civil/Direcção Nacional de Planeamento de Emergência, Portugal, 48 pp.
- ALVES, C. A. MATOS, MACEDO, J.R, SILVA CELESTINO, L., SERRALHEIRO, A., & FARIA PEIXOTO, A.F. (1979) - Estudo Petrológico e Vulcanológico da ilha de Santiago (Cabo Verde). Garcia de Orta, Ser. Geol., Lisboa, 3 (1-2), 47 - 74.
- AMARAL, I. (1964) - Santiago de Cabo Verde: A Terra e os Homens. Memórias da Junta de Investigação do Ultramar, nº 48: 444 p. Lisboa.
- ANCOCHEA, E., HUERTAS, M. J., HERNÁN, F. & BRÄNDLE, J. L. (2010) - Volcanic evolution of São Vicente, Cape Verde Islands: The Praia Grande landslide. *Journal of Volcanology and Geothermal research* 198: 143 - 157.
- ANDERSON, M. A. C. G. da S. (2006) - Contributos para o Planeamento de Emergência: Aplicação ao caso do Plano Especial de Emergência para o risco sísmico da área Metropolitana de Lisboa e Concelhos limítrofes. Dissertação de Mestrado do Curso Integrado de Estudos em Gestão de Riscos Naturais, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 105pp.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, A. S. (2009) - Cape Verde and its rocks: a historical perspective. *Cheochimica Brasiliensis*, 23 (3): 291 - 302.
- ARAÑA, V. e ORTIZ, R. (1996) – Riesgo volcánico. Introducción. In: R. Ortiz (Ed.), *Riesgo volcánico-Série Casa de los Volcanos*. Lanzarote, Canárias, vol.5, 1-36.
- ARMIENTI, P., MACEDONIO, G. & PARESCHI, M. T. (1998) – A numerical model for simulation of tefra transport and deposition: applications to May 18, 1980, Mount St. Helens eruption. *J. Geophys. Res.*, 93 (B6): 6463-6476.
- ASSUNÇÃO, C.T. de (1964) – Geologia da Província de Cabo Verde. Junta de Investigações do Ultramar, Curso de Geologia do Ultramar, vol. 1: 50 p., Faculdade de Ciências de Lisboa e Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- ASSUNÇÃO, C. F. T. & CANILHO, M. H. S. (1965) - Petrografia da ilha de S. Vicente: Novos elementos para o seu conhecimento. *Garcia de Orta*, vol. 13 (nº 2): 235 - 258, Lisboa.
- ASSUNÇÃO, C.F.T., MACHADO, F., GOMES, R.A.D. (1966) - On the occurrence of carbonatites in the Cape Verde Islands. *Bol. Soc. Geol. Portugal* 16, 179-188.
- ASSUNÇÃO, C.T. de (1968) – Geologia da Província de Cabo Verde: Curso de Geologia do Ultramar, Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa, 3 - 52.

B

- BÁRBER, R. L., MOTA GOMES, A. & RODRIGUES, R. L. (1997) - Riscos para a saúde pública causados pela erupção vulcânica de 1995 na Ilha do Fogo. In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 315 - 322.
- BARBERI, F., BERTAGNINI, A., LANDI, P. & PRINCIPE, C. (1992) - A review on phreatic eruptions and their precursors. *Journal of Volcanology and Geothermal Researches*, 52: 231 - 246.
- BARKER, A. K., HOLM, P. M., PEATE, D. W. & BAKER, J. A. (2009) - Geochemical Stratigraphy of Submarine Lavas (3-5 Ma) from the Flamengos Valley, Santiago, southern Cape Verde Islands. *Journal of Petrology* Vol. 50, Number 1, pages 169 - 193.
- BARKER, A., ANDERSSON, A., TROLL, V., HANSTEEN, T. & ELLAN, R. (2010a) - The Brava seamount, Cape Verde: Beyond the spatial extent of EM1 and petrogenesis of highly evolved alkaline lavas. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 12, EGU2010-1426. EGU General Assembly 2010.
- BARKER, A. K., HOLM, P. M., PEATE, D. W. & BAKER, J. A. (2010b) - A 5 million year record of compositional variations in mantle sources to magmatismo on Santiago, southern Cape Verde archipelago. *Contrib. Mineral. Petrol.* 160:133-154.
- BARKER, A. K., TROLL, V. R., ELLAM, R. M., HANSTEEN, T. H., HARRIS, C., STILLMAN, C. J. & ANDERSON, A. (2012) - Magmatic evolution of the Cadamosto Seamount, Cape Verde: beyond the spatial extent of EM1. *Contrib. Mineral. Petrol.* 163:949 - 965.
- BARRY, R. G. & CHORLEY, R. J. (2010) - Atmosphere, Weather and Climate. 9th Edition, Bookman, Taylor and Francis Group, 512 p.
- BAXTER, P. (1994) - Case studies: Health aspects of volcanic activity. *European school of climatology and natural hazards: course on the mitigation of volcanic hazards*, 12-18 June, 8p.
- BAXTER, P. (2000) – Impacts of eruptions on human health. In *Encyclopedia of volcanoes* (Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H. e Stix, J., Eds.), Academic Press, San Diego, 1ª Edição, 1035 - 1043.

- BAXTER, P. & KAPILA, M. (1989) - Acute health impact of the gas release at Lake Nyos, Cameroon, 1986. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 39, 265-275.
- BAXTER, P. e SEARL, A. (2002) – Respiratory health hazard of volcanic ash from lava dome eruptions. *In* Montagne Pelée 1902-2002. Explosive volcanism in subduction zones. Saint-Pierre, Martinique, 76.
- BEBIANO, J. B. (1932); - A geologia do arquipélago de Cabo Verde. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 275p.
- BELL, K. (1998) - Radiogenic isotopic constrains on relationships between carbonatites and associated silicate rocks - a brief review. *Jour. Petrology*, (39), Number 11 &12, 1987 - 1996.
- BELL, K., KJARSGAARD, B. A. & SIMONETTI, A. (1999) - Carbonatites: Into the twenty-first century. *Journal of Petrology* Vol. 93, nº 11-12, p. 1839 - 1845.
- BERTHOIS, L. (1950) Contribution a la connaissance lithologique de l'Archipel du Cap Vert. *Ens. Doc. J. Inv. Col.*, 7: 194p.
- BLAKE, S. (1990) - Viscoplastic models of lava domes. *In* Lava Flows and Domes: Emplacement mechanisms and hazard implications. J. H. Fink (Ed.). IAVCEI Proceedings in Volcanology 2: 88 - 126.
- BLONG, R. (1984) - Volcanic hazards. A sourcebook on the effects of eruptions. Academic Press, 424p.
- BLONG, R. (1996) – Volcanic hazards risk assessment. *In* Scarpa e Tilling (Eds.), Monitoring and mitigation of volcano hazards. Springer-Verlag, 675 - 698.
- BLONG, R.J. (2000) – Volcanic hazards and risk management. *In*: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H. e Stix, J., (Eds.), Encyclopedia of volcanoes. Academic Press, San Diego, 1215-1227.
- BLONG, R. (2003) - A new damage index. *Natural Hazards* 30: 1 - 23.
- BOOTH, B., CROASDALE, R. e WALKER, G. (1983) – Volcanic hazard on São Miguel, Azores. *In* Tazieff, H. e Sabroux, J. C. (Eds.), Forecasting volcanic events. Elsevier Amsterdam, 99 - 109.
- BAUBRON, J. C.; ALLARD, P.; SABROUX, J.; TEDESCO, D. e TOUTAIN, J. P. (1991) – Soil gas emanations as precursory indicators of volcanic eruptions. *J. Geol. Soc. London*, 148, 571-576.
- BROOKINS, D.G. (1990) - The indoor radon problem. Columbia University Press, New York, 229p.

C

- CABO VERDE (1951) - A erupção do vulcão: resumo de notícias telegráficas. Boletim de Propaganda e Informação, Ano II, nº 22, Julho de 1951, pp. 8.
- CALDEIRA, R. & SILVA, L. C. (2010) - Geoquímica das estruturas estratiformes sub-circulares da ilha do Sal, Arquipélago de Cabo Verde. Geochemistry of sub-circular layered structures from Sal Island, Cape Verde archipelago. X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, XVI Semana de Geoquímica. Porto: 101 - 105.
- CÂMARA MUNICIPAL DA BRAVA (CMB) & Serviço Nacional de Protecção Civil de Cabo Verde (SNPC) (2002) - Plano Municipal de Emergência.
- CÂMARA MUNICIPAL DA BRAVA E DIRECÇÃO GERAL DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO (2013) - Plano Director Municipal da Ilha Brava - RELATÓRIO DE ORDENAMENTO - Volume III. Junho 2010 (1ª versão), Sociedade de Execução de Projectos (SEP Lda), Praia, Cabo Verde, 47 p.

BIBLIOGRAFIA

- CAREY, S. (1996) – Modeling of tefra fallout from explosive eruptions. In: Scarpa e Tilling (Ed.) Monitoring and Mitigation of Volcano Hazard. Springer-Verlag, Berlin, 429-461.
- CAREY, S. & SIGURDSSON, H. (1982) – Influence of particle aggregation on deposition of distal tefra from the May 18, 1980 eruption of Mount St. Helens volcano. J. Geophys. Res., 87 (B8): 7061-7072.
- CARVALHO, E. e OLIVEIRA, C. (1983) – Manual de construção antissísmica. Edifícios de pequeno porte. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Ministério do Equipamento Social, 123 p.
- CAS, R.A.F. e WRIGHT, J.V. (1988) – Volcanic Successions. Modern and Ancient. Unwin Hyman, London, 2ª Edição, 485 p.
- CATALÃO, J., REPRESAS, P., MONTESINOS, F., ANTUNES, C., MADEIRA, J. & MATA, J. (2010) – Analysis of gravity anomalies in Maio, Cape Verde. Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU 2010-8359-1, EGU Genral Assembly 2010.
- CAZENAVE, A., DOMINH, K., RABINOWICZ, M., CEULENEER, G. (1988) - Geoid and depth anomalies over ocean swells and troughs: evidence of an increasing trend of the geoid to depth ratio with age of plate. J. Geophys. Res. 93, 8064 – 8077.
- CHESTER, D. K. (1993) - *Volcanoes and Society*. Edward Arnold, Londres, 351 p.
- CHESTER, D., DUNCAN, A., GUEST, J. e KILBURN, C. (1985) - *Mount Etna. Anatomy of a volcano*. Ed. Chapman and Hall Lda., London, 404 p.
- CHESTER, D., DEGG, M., DUNCAN, A.M. e GUEST, J. (2001) – The increasing exposure of cities to the effects of volcanic eruptions: a global survey. *Apontamentos do Curso de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, U.A., Ponta Delgada*.
- CIONI, R., MARIANELLI, P., SANTACROCE, R. & SBRANA, A. (2000) - Plinian and Subplinian Eruptions. In Encyclopedia of volcanoes (Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H. e Stix, J., Eds.), Academic Press, San Diego, 1ª Edição, 477 - 494.
- COLE, P.D., QUEIROZ, G., WALLENSTEIN, N., GASPAS, J.L., DUNCAN, A.M. e GUEST, J. (1995) - A historic subplinian/phreatomagmatic eruption: the 1630 AD eruption of Furnas Volcano, São Miguel, Açores. J. Volcanol. Geotherm. Res., 69, 117 - 135.
- CÔRREA, A. M. (1954) - Ultramar Português II - Ilhas de Cabo Verde. Agência Geral do Ultramar. Divisão de Publicações e Biblioteca, 261 p. Lisboa.
- CORREIA, E. (1997) - Riscos de queda de cinzas e concentração de gases associados às condições atmosféricas na ilha do Fogo. In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 279 - 291.
- CORREIA, J., ARAÚJO, M.G.M. & NASCIMENTO, J. (1997) - Impactos socioeconómicos da erupção vulcânica de 1995 na Ilha do Fogo. In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 325 - 334.
- CORREIA, R.; MONTEIRO, S. & CUNHA, L. (2008) - Riscos Naturais em Cabo Verde - Casos de estudo em Santiago e Santo Antão. Memórias e Notícias, nº 3 (Nova Série): 441-446, Publ. do Depa. Ciên. Terra e do Mus. Mineral. Geol., Universidade de Coimbra.
- COSTA, F. L. (2011) - Volcanic geomorphosites assessment of the last eruption, on April to May 1995, within the natural park of Fogo Island, Cape Verde. GeoJournal of Turismo and Geosites, Year IV, nº 2, Vol. 8, 167 - 177.
- COSTA, M. A. (1962) – Acerca do reconhecimento hidrogeológico do Arquipélago de Cabo Verde e abastecimento de água às populações. Praia, Cabo Verde.

CRANDELL, D., BOOTH, B., KAZUMADINATA, K., SHIMOZURU, D., WALKER, G. & WESTERCAMP, D. (1984) - Source-book for volcanic-hazards zonation. UNESCO, France, 97p.

CRUZ-REYNA, S. (1996) – Long-term probabilistic analysis of future explosive eruptions. In: Scarpa e Tilling (eds.) Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards. p. 599 - 629.

D

DARWIN, C. (1876) - Geological Observations on the Volcanic Islands and parts of South America visited during the voyage of H.M.S. Beagle. 2nd ed., Smith Elder & Co., London: 674p.

DAY, S. (2008) - Preliminary evaluation of volcanic hazards on Brava Island, Cape Verde Islands, from a short field visit in February 2008. Report on a geological reconnaissance of Brava, 13-20 February 2008.

DEVILLE, Ch. S-C. (1848) - Études géologiques sur les îles de Ténériffe et de Fogo suivi d'une statistique abrégée des îles du Cap-Vert et d'une notice bibliographique. Gide et C^{ie}., Libraires-Éditeurs, 143 p.

DIAS, A. A. C., ANDRADE-NETO, A. V. & MILTÃO, M. S. (2007) - A atmosfera terrestre: composição e estrutura. Caderno de Física da UEFS 06 (01 e 02): 21-40, BA, Brasil.

DINIZ, A. C. & MATOS, G. C. (1999) – Carta de Zonagem Agro-ecológica e de Vegetação de Cabo Verde: IX – Ilha Brava. Garcia de Orta, Sér. Bot., Lisboa, 14 (1), 55-82.

DIONIS, S., RODRÍGUEZ, F., PADRÓN, E., BANDOMO, Z., FERNANDES, P., MELIAN, G., BARRANCOS, J., PADILLA, G., NOLASCO, D., HERNÁNDEZ, I., PERAZA, M. D., CORDERO, M., GUILLÉN, C., CALVO, D., HERNÁNDEZ, P. A., GONÇALVES, A. & PÉREZ, N. M. (2012) - Observed Changes On The Diffuse CO₂ Emission From Brava Volcanic System, Cape Verde. MAKAVOL 2012 · El Hierro, Abstracts, 1st Anniversary International Conference Commemorating the 2011-2012 El Hierro Submarine Eruption; Canary, Spain, pp. 36.

DIONIS, S., M., PÉREZ, N. M., HERNÁNDEZ, P. A., MELIÁN, G., RODRÍGUEZ, F., PADRÓN, E., SUMINO, H., BARRANCOS, J., PADILLA, G. D., FERNANDES, F., BANDOMO, Z., SILVA, S., PEREIRA, J. M., SEMEDO, H. & CABRAL, J. (2015) - Diffuse CO₂ degassing and volcanic activity at Cape Verde islands, West Africa. Earth, Planets and Space (2015) 67:48. DOI 10.1186/s40623-015-0219-x

DOELTER, C. (1882) - Os vulcões de Cabo Verde e seus produtos. Traduzido por Eugène Ackermann - Lisboa: Sociedade de Geografia de Lisboa, 1910, 130 p.

DOUCELANCE, R., ESCRIG, S., MOREIRA, M., GARIÉPY, C. & KURZ, M. (2003) - Pb-Sr-He isotope and trace element geochemistry of the Cape Verde Archipelago. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 67, No. 19, pp.3717 - 3733.

DUNCAN, A.M., CHESTER, D. & GUEST, J.E. (1981) - Mount Etna Volcano: Environmental impact and problems of volcanic prediction. *The Geographical Journal*, Vol. 147, 2, 164-178.

DUNCAN, A.M., DIBBEN, C., CHESTER, D.K., GUEST, J.E. (1996) – The 1928 eruption of Mount Etna volcano, Sicily, and the destruction of the town of Mascali. *Disasters*, 20, 1-20.

DYHR, C. T. & HOLM, P. M. (2009) - A volcanological and geochemical investigation of Boa Vista, Cape Verde Islands. ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology and field constraints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Doi:10.1016/j.jvolgeores.2009.10.010.

E

EMPRESA NACIONAL DE AEROPORTOS E SEGURANÇA AÉREA (ASA) (2001) - Relatório de Missão à Ilha Brava. Relatório inédito. 2 pp.

F

- FARIA, B. (2003) – Algumas considerações sobre os riscos e a perigosidade vulcânica na ilha do Fogo. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (Cabo Verde) - Instituto Superior Técnico, 1 - 19, Lisboa.
- FARIA, B. (2010) - Monitorização geofísica e níveis de alerta do vulcão do Fogo. Tese de doutoramento em Engenharia Física Tecnológica. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 265 pp.
- FARIA, B. & FONSECA, J. F. B. D. (2014) - Investigating volcanic hazard in Cape Verde Islands through geophysical monitoring: network description and first results. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 485 – 499, 2014. Doi: 10.5194/nhess-14-485-2014.
- FEIJÓ, J.S: (1786) “Itinerários F(i)losóficos que contem Rellação das Ilhas de Cabo Verde Disposto pelo methodo epistolar Dirigidas ao Ill.mo e Ex.mo Senhor Martinho de Mello e Castro pelo Naturalista Régio das mesmas Ilhas João da Sylva Feijó”. Manuscrito inédito, Biblioteca Nacional, Lisboa: 117f.
- FELPETO, A.R. (2002) - Modelización física y simulación numérica de procesos eruptivos para la generación de mapas de peligrosidade volcánica. Madrid [s.n.]. Tese de doutoramento apresentada à Universidad Complutense de Madrid, 250 p.
- FELPETO, A., MARTÍ, J., ORTIZ, R. (2007) - Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Elsevier. Vol. 166, p. 106 - 116.
- FELPETO, A. R. (2009) - VORIS: A GIS-based tool for volcanic hazard assessment - USER’S GUIDE. Version 2.0.1. 40 pp.
- FERREIRA, H. A. (1956) - Macrossismos sentidos em Portugal no período de 1901-1954. Simpósio sobre a Acção de Sismos e sua consideração no cálculo das construções. Comunicação nº 16. Boletim da Ordem dos Engenheiros. Memória nº 128.
- FERREIRA, T. (2000) – Caracterização da actividade vulcânica da ilha de S. Miguel (Açores): vulcanismo basáltico recente e zonas de desgaseificação. Avaliação de riscos. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Univ. dos Açores, Dep. Geociências, 248 p.
- FERREIRA, T., GASPAR, J. L., QUEIRÓZ, G., COUTINHO, R., MOTA GOMES, A. & RAMOS, M. (1996) - Avaliação do risco associado à emissão de gases vulcânicos durante a erupção da ilha do Fogo (Cabo Verde). Simpósio Internacional Sobre a Erupção da ilha do Fogo, Cabo Verde Lisboa, FCG, Setembro 1996.
- FERREIRA, T., GASPAR, J. L., QUEIRÓZ, G., COUTINHO, R., MOTA GOMES, A. & RAMOS, M. (1997) - Avaliação do risco associado à emissão de gases vulcânicos durante a erupção da ilha do Fogo (Cabo Verde). In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 275 - 278.
- FINK, J. H. & ANDERSON, S. W. (2000) - Lava Domes and Coulees. In *Encyclopedia of volcanoes* (Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H. e Stix, J., Eds.), Academic Press, San Diego, 1ª Edição, 307 - 319.
- FISHER, R. V. e SCHMINCKE, H.-U. (1984) - *Pyroclastic rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 472 p.
- FISHER, R.V., HEIKEN, G. e HULEN, J.B. (1997) – *Volcanoes. Crucibles of change*. Princeton Univ. Press, 317 p.
- FONSECA, J. B. D., HELENO DA SILVA, S. I. N., BARROS, I. & RAMOS, M. S. (1995) - Vigilância geofísica do vulcão do Fogo, Cabo Verde. Lisboa, Protecção Civil, Orgão do Serviço Nacional de Protecção Civil, II Série, 7, pp. 3 - 9.

FONSECA, J.F.B.D., FARIA, B. V.E., LIMA, N.P., HELENO, S.I.N., LAZARO, C., D'OREYE, F., FERREIRA, A.M.G., BARROS, I.J.M., SANTOS, P., BANDOMO, Z., DAY, S.J., OSORIO, J.P., BAIIO, M. & MATOS, J.L.G. (2003) - Multiparameter monitoring of Fogo Island, Cape Verde, from volcanic risk mitigation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 125: 39 - 56.

FONSECA, J. F. B. D., FARIA, B. V. E., TRINDADE, J., CRUZ, G., CHAMBEL, A., SILVA, F. M., PEREIRA, R. L., AND VAZÃO, T. (2013) - “Last mile” challenges to *in situ* volcanic data transmission, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 3419 – 3428, Doi: 10.5194/nhess-13-3419-2013.

FRIEDLAENDER, I. (1913) - Subsídios para o conhecimento das ilhas de Cabo Verde: resultados de uma viagem de estudo no verão de 1912. Trad. Autor de A. J. Garcia Guerreiro. - Lisboa: Tipografia da Cooperativa Militar, 1914. - 117 p.

G

GABINETE DE RECUPERAÇÃO DO FOGO (GRF) (2015) - Memória descritiva do Fórum para a Reconstrução do Fogo – não editado. Governo de Cabo Verde. São Filipe, Fogo, 2 e 3 Março de 2015.

GASPAR, J.L., QUEIROZ, G., MATOS ALVES, C. e FORJAZ, V. (1992) – Morfologia e estrutura interna de escoadas lávicas. Doc. CV/INIC 01/92, 25 p.

GASPAR, J. L., WALLENSTEIN, N., QUEIROZ, G., FERREIRA, T., COUTINHO, R. & MOTA GOMES, A. (1995a) - Increased explosive activity; intense fumarolic emissions. Relatório Inédito 05/1995 (BGVN 20:05), 2 p.

GASPAR, J. L., WALLENSTEIN, N., QUEIROZ, G., FERREIRA, T., COUTINHO, R. & MOTA GOMES, A. (1995b) - PRELIMINARY REPORT ON THE VOLCANIC ACTIVITY AT FOGO ISLAND, CABO VERDE (APRIL.11TH - MAY.18TH). Bull. Global Volcanism Network, vol.20, nº5, Maio, 1995.

GASPAR, J. L., WALLENSTEIN, N., QUEIROZ, G., FERREIRA, T., COUTINHO, R. & MOTA GOMES, A. (1995c) - Resumo da actividade vulcânica registada na ilha do fogo (Cabo Verde) nos meses de Abril e Maio de 1995. Universidade do Porto, Faculdade de Ciências. Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico. Memória nº4, p. 1005-1007, 1995, ISSN 0871 - 1607.

GASPAR, J. L., WALLENSTEIN, N., QUEIROZ, G., FERREIRA, T., COUTINHO, R. & MOTA GOMES, A. (1995d) - Resumo da actividade vulcânica registada na ilha do fogo (Cabo Verde) nos meses de Abril e Maio de 1995: História eruptiva entre 12 de Abril e 18 de Maio. IV Congresso Nacional de Geologia, Dezembro de 1995.

GASPAR, J. L., WALLENSTEIN, N., QUEIROZ, G., FERREIRA, T., COUTINHO, R. & MOTA GOMES, A. (1995e) - Resumo da actividade vulcânica registada na ilha do fogo (Cabo Verde) nos meses de Abril e Maio de 1995: I - Precusores e fase inicial da erupção. IV Congresso Nacional de Geologia, Dezembro de 1995.

GASPAR, J. L., FERREIRA, T., COUTINHO, R., QUEIROZ, G. & MOTA GOMES, A. (1995f) - Resumo da actividade vulcânica registada na ilha do fogo (Cabo Verde) nos meses de Abril e Maio de 1995: II - História eruptiva entre 4 e 11 de Abril. IV Congresso Nacional de Geologia Dezembro de 1995.

GASPAR, J.L., WALLENSTEIN, N., MOTA GOMES, A., COSTA, F. & CORREIA, E. (1995g) - Report on the volcanic activity at Fogo island, Cabo Verde from the 2nd until the 11th of April 1995. Bull. Global Volcanism Network, vol.20, nº3, Março, 1995.

GASPAR, J.L., WALLENSTEIN, N., MOTA GOMES, A., COSTA, F., CORREIA, E., MOORE, R., F. TRUSDELL, F. & MARTINS, V. C. (1995h) - New eruption on 2 April generates lava flows within the caldera. Relatório inédito 03/1995 (BGVN 20:03), 5p.

BIBLIOGRAFIA

- GASPAR, J.L. (1996) – Ilha Graciosa (Açores): história vulcanológica e avaliação do hazard. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 261 p.
- GASPAR, J. L., QUEIROZ, G., FERREIRA, T. e COUTINHO, R. (1996) - A monitorização geoquímica no quadro geral da vigilância sismovulcânica da ilha do Fogo (Cabo Verde). Simpósio Internacional Sobre a Erupção da ilha do Fogo, Cabo Verde Lisboa, FCG, Setembro 1996, Resumo, 1p.
- GASPAR, J. L., QUEIROZ, G., FERREIRA, T. & COUTINHO, R. (1997) - A monitorização geoquímica no quadro geral de vigilância sismovulcânica da Ilha do Fogo (Cabo Verde). In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 93-101.
- GASPAR, J. L., (2004) – Gestão de Crises e Mecanismos de Resposta. Relatório apresentado para a obtenção do título de Agregado. Universidade do Açores, 92p.
- GERLACH, D.C., CLIFF, R.A., DAVIES, G.R., NORRY, M., HODGESON, N., (1988) - Magma sources of the Cape Verdes Archipelago: isotopic and trace element constraints. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, 2979 – 2992.
- GLAZE, L. & SELF, S. (1991) – Ashfall dispersal from the 16 September 1986, eruption of Lascar, Chile, calculated by turbulent diffusion model. *Geophys. Res. Lett.* 18 (7): 1237-1240.
- GOMES, A. I. M. M. (2003) - Contribuição para o estudo dos Riscos geológicos no vulcão das Sete Cidades (S. Miguel, Açores). Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Departamento de Geociências. Universidade dos Açores, 129 p.
- GONÇALVES, R., SANTOS, F. A. M., REPRESAS, P., MOTA GOMES, A., PINA, A. F. L. de & ALMEIDA, E. P. (2009) - Modelação de intrusão salina nas ribeiras da ilha de Santiago (Cabo Verde). Santiago island seawater intrusion modelling (Cape Verde). 6º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG, 10º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia. Caparica, Portugal - 16 a 18 de Março, pp. 43.
- GREEN, J. & SHORT, N. M. (1971) – Volcanic Landforms and Surface Features: A Photographic Atlas and Glossary. Springer-Verlag New York Inc., 519 p.
- GREVEMEYER, I., HELLFRICH, G., FARIA, B., SCHNABEL, M., WEINREBE, W., (2009) - Seismic activity at Cadamosto seamount near Fogo Island, Cape Verde - formation of a new ocean island? *Geophysical Journal International*.
- GRÜNTAL, G. (ed.) (1998) – European Macroseismic Scale 1998. *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, Vol. 15, 101 p.

H

- HEAD, J. e WILSON, L. (1989) - Basaltic pyroclastic eruptions: influence of gas-release patterns and volume fluxes on fountain structure, and the formation of cinder cones, spatter cones, rootless flows, lava ponds and lava flows. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 37, 261 - 271.
- HELENO DA SILVA, S., FOULGER, G. R., BARROS, I. J., QUERIDO, A., WALKER, A. B. & FONSECA, J. F. B. (1997a) - Seismicity activity in Fogo and Brava islands, Cape Verde. In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 79 - 91.
- HELENO, S. da S. & FONSECA, J. F. B. (1997b) - Estrutura interna do vulcão do Fogo: contributo da monitorização da erupção de Abril de 1995. In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 13 - 40.
- HELENO, S. I. N. & FONSECA, J. F. B. D. (1999a) - A seismological investigation of the Fogo Volcano, Cape Verde Islands: preliminary results. *Volc. Seis.*, pp. 199 - 217.

- HELENO DA SILVA, S. I. N., DAY, S. J. & FONSECA, J. F. B. D. (1999) - Fogo volcano, Cape Verde Islands: seismicity - derived constraints on the mechanism of the 1995 eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 94: 219 - 231.
- HELENO, S. (2003) - O vulcão do Fogo - estudo sismológico. Teses. IPAD, 463 p.
- HELENO, S., CUSTÓDIO, S., FARIA, B. & BANDOMO, Z. (2004) - Volcanic tremor observations in Fogo Island, Cape Verde. *In* SÍSMICA 2004 - 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, pp. 397 - 406.
- HELENO, S. I. N., FARIA, B. V. E., BANDOMO, Z. & FONSECA J. F. B. D. (2006) - Observations of high-frequency harmonic tremor in Fogo, Cape Verde Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 158, 361 - 379.
- HELENO, S. I. N., FRISCHKNETCHT, C., D'OREYE, N., LIMA, J. N. P., FARIA, B., WALL, R. & KERVYN, F. (2009) - Seasonal tropospheric influence on SAR interferograms near the ITCZ - the case of Fogo Volcano and Mount Cameroon. *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 58, Issue 5: 833 - 856. Elsevier.
- HELFFRICH, G., HELENO, S. I. N., FARIA, B. & FONSECA, J. F. B. D. (2006) - Hydroacoustic detection of volcanic ocean-island earthquakes. *Geophys. J. Int.*, 167, 1529 - 1536.
- HELFFRICH, G., FARIA, B., FONSECA, J. F. B., LODJE, A. & KANESHIMA, S. (2010) - Transition zone structure under a stationary hot spot: Cape Verde. *Earth and Planetary Science Letters* 289, 156 - 161.
- HERZOG, M., GRAF, H. F., TEXTOR, C. & OBERHUBER, J. M. (1988) - The effect of phase changes of water on the development of volcanic plumes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 87: 55-74.
- HIDNER, E., KLÜGEL, A. & HANSTEEN, T. H. (2011a) - Barometry of lavas from the 1951 eruption of Fogo, Cape Verde Islands: implications for historic and prehistoric magma plumbing systems; Submitted to *Journal of Volcanology and Geothermal Research*: received 29.07.2011.
- HILDNER, E., KLÜGEL, A. and HAUFF, F. (2011b) Magma storage and ascent during the 1995 eruption of Fogo, Cape Verde Archipelago *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162 (4). pp. 751 - 772.
- HILDNER, E. (2011) - Magma storage and ascent of historic and prehistoric eruptions of Fogo, Cape Verde Islands: a barometric, petrologic and geochemical approach. Dissertation for the doctorate degree of the Department of Geosciences at the University of Bremen, 132 pp.
- HOERNLE, K., TILTON, G. R., LE BAS, M. J., DUGGEN, S., GARBE-SCHÖNBERG, D. (2002) - Geochemistry of oceanic carbonatites compared with continental carbonatites: mantle recycling of oceanic crustal carbonate. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, (142), 520 - 542.
- HOLM, P. M., WILSON, J. R., CHRISTENSEN, B. P., HANSEN, L., HANSEN, S. L., HEIN, K. M., MORTENSEN, A. K., PEDERSEN, R., PLESNER, S. & RUNGE, M. K. (2006) - Sampling the Cape Verde Mantle Plume: evolution of melt composition on Santo Antão, Cape Verde Islands. *Journal of Petrology*, Vol. 47, nº 1: 145 - 189.
- HOLM, P. M., GRANDVUINET, T., FRIIS, J., WILSON, J. R.; BARKER, A. K. & PLESNER, S. (2008) - An ^{40}Ar - ^{39}Ar study of the Cape Verde hot spot: Temporal evolution in a semistationary plate environment. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, 1 - 22, B08201, Doi: 10.1029/2007JB005339.
- HOPKINS, A. & BRIDGAM, C. (1985) - A volcanic ash transport model and analysis of Mount St. Helens ashfall. *J. Geophys. Res.*, 90: 10620-10630.

BIBLIOGRAFIA

INSTITUTO DE METEOROLOGIA DE PORTUGAL - Anuário Sismológico de Portugal Vol. I - nºs 1 - 27.

INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXERCITO (IGeoE) (1968) - Fotografias aéreas da ilha Brava (Cabo Verde) - escala 1:25.000.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICAS (INE) (2010) - Censo 2010. Censo Geral da População e Habitação.

INSTITUTO NACIONAL DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS (INGRH) & CONSELHO NACIONAL DA ÁGUA (CNA) (2000) - Visão Nacional sobre a Água, a Vida e o Ambiente no horizonte 2025. Praia.

ISRD (2007) – Learning from Disaster Recovery Guidance for Decision Makers Preliminary version for consultation. May 2007

ISRD (2009) – UNISRD Terminology, Disaster Risk Reduction. United Nations.

J

JOHNSON, M.E., BAARLI, B.G., CACHÃO, M., SILVA, C.M. da, LEDESMA-VÁZQUEZ, J., MAYORAL, E.J., RAMALHO, R.S. & SANTOS, A. (2012) - Rhodoliths, uniformitarianism, and Darwin: Pleistocene and Recent carbonate deposits in the Cape Verde and Canary archipelagos. *Paleogeography, paleoclimatology, Paleoecology* 329-330: 83 - 100.

JØRGENSEN, J. O. & HOLM, P. M. (2000) - The role of carbonatites in the Cape Verde magmatism: Pb, Sr and Nd isotopic evidence of multiple source regions. *Workshop Carbonatite, 2000. A-20 Journal of African Earth Sciences*.

JØRGENSEN, J. O. & HOLM, P. M. (2002) - Temporal variation and carbonatite contamination in primitive ocean island volcanism from São Vicente, Cape Verde Islands. *Chemical Geology*, 192: 249 - 267.

JULIÃO, R.P., NERY, F., RIBEIRO, J. L., BRANCO, M. C. E ZÊZERE, J. L. (2009) – Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal. Autoridade Nacional de Protecção Civil, Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano e Instituto Geográfico Português, 93 pp.

K

KELLER, J. (1981). Carbonatitic volcanism in the Kaiserstuhl alkaline complex: evidence for highly fluid carbonatitic melts at the earth's surface, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (9), 423–431.

KILBURN, C. R. J. (2000) - Lava Flows and Flow Fields, In *Encyclopedia of volcanoes* (Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H. e Stix, J., Eds.), Academic Press, San Diego, 1ª Edição, 291 - 306.

KOGARKO, L.N., (1993). Geochemical characteristics of oceanic carbonatites from the Cape Verde Islands. *South African J. Geol.* (96), 119–125.

KOGARKO, L. N. (2008) - Characteristics of Alkali Magma Differentiation at the Cape Verde Islands. *Geochemistry International*, Vol. 46, No. 11: 1071 - 1080.

KUSAKABE, M. (1996) – Hazardous crater lakes. In Scarpa, R. e Tilling, R. (Eds.), *Monitoring and mitigation of volcanic hazards*. Springer-Verlag, Berlin, 573 - 598.

L

- LANCELOT, Y., SEIBOLD, E., CEPEK, P., DEAN W.E., EREMEEV, V., GARDNER, J., JANSÁ, L. F., JOHNSON, D., KRASHENINNIKOV, V., PFLAUMANN, U., RANKIN, J. G., TRABANT, P., BUKRY, D. (1977). Site 367: Cape Verde Basin. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, (41), 163–232.
- LAMPUGNANI, A. & SCIUNNACH, D. (2005) “Paisagem e geossítios da Ilha do Sal, Cabo Verde”. Regione Lombardia, Milão: 50 p.
- LE BAS, E., LE FRIANT, A., BOUDON, G., WATT, S.F.L., TALLING, P.J., FEUILLET, N., DEPLUS, C. & BERNDT, C. (2011) - Multiple widespread landslides during the long-term evolution of a volcanic island: Insights from high-resolution seismic data, Montserrat, Lesser Antilles. G3: Geochemistry, Geophysics, Geosystems Vol. 12, Number 5: 1525-Q05006, doi:10.1029/2010GC003451.
- LEE, W.H.K. e STEWART, S.W. (1981) – Principle and applications of microearthquake networks. Academic Press, 293 p.
- LIMA, J. N. R. P. (2000) - O Sistema Global de Posicionamento na monitorização geodésica da ilha do Fogo. Dissertação para o concurso de acesso à categoria de Investigador Auxiliar. Instituto de Investigação Científica Tropical, 181 p.
- LOCKWOOD, J. P. & HAZLETT, R. W. (2010) - Volcanoes: global perspectives; Wiley - Blackwell, 541 pp.
- LODGE, A. & HELFFRICH, g. (2006) - Depleted swell root beneath the Cape Verde Islands. Geological Society of America 34, 449 - 452.
- LORENZ, V. (1973) - On the formation of maars. Bulletin Volcanologique. Journal of The International Association of Volcanology and Chemistry of the earth's Interior Vol. 37, Nº2: 1 - 22.

M

- MACDONALD, G. (1972) - Volcanoes. Ed. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 510 p.
- MACEDO, J. R.; SERRALHEIRO, A. & SILVA, L. C. (1988) - Notícia Explicativa da carta geológica da ilha de S. Nicolau (Cabo Verde) na escala de 1:50.000; Garcia de Orta, Sér. de Geol. Vol. 11, Nº 1 e 2: 1-32; Revista do Instituto de Investigação Científica Tropical; Lisboa.
- MACHADO, F. & ASSUNÇÃO, C.T. DE (1965) – Carta Geológica de Cabo Verde (na escala de 1/100.000). Notícia explicativa da folha da ilha do Fogo – Estudos petrográficos. Garcia de Orta, vol. 13 (nº4), 597-604, Lisboa.
- MACHADO, F. (1967) - Geologia das ilhas de Cabo Verde. Agrupamento Científico de Geologia da Universidade de Lisboa da Junta de Investigações do Ultramar. Lisboa. 25 p.
- MACHADO, F., AZEREDO LEME, J. & MONJARDINO, J. (1967) - O complexo sienito-carbonatítico da ilha Brava, Cabo Verde. Garcia de Orta (Lisboa), vol. 15 (nº 1): 93 - 98.
- MACHADO, F., AZEREDO LEME, J. & MONJARDINO, J. & SEITA, M. F. (1968) - Carta geológica de Cabo Verde. Notícia explicativa da folha da ilha Brava e dos ilhéus Secos (na escala 1/50000). Garcia de Orta (Lisboa), vol. 16 (nº 1): 123 - 130.
- MADEIRA, J., BRUM DA SILVEIRA, A. (2005) - Geomorphic and structural analysis of the Fogo island volcano (Cape Verde). International Workshop on Ocean Island Volcanism (Sal, Cape Verde), 45 (abstract).
- MADEIRA, J.; MATA, J. & MOURÃO, C. (2006) - Estrutura vulcano-tectónica da ilha Brava (Cabo Verde). VII Congresso Nacional de Geologia. Universidade de Évora. Estremoz. 1 - 4 p.

BIBLIOGRAFIA

- MADEIRA, J.; BRUM DA SILVEIRA, A. & MOTA GOMES, A. (2007) – Contradição aparente entre os volumes finais dos derrames e a estimação das taxas de efusão: o caso da erupção do Fogo de 1995. In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 153 - 163.
- MADEIRA, J., BRUM DA SILVEIRA, A., MATA, J., MOURÃO, C. & MARTINS, S. (2008) - The role of mass movements on the geomorphologic evolution of island volcanoes: examples from Fogo and Brava in the Cape Verde archipelago. *Comunicações Geológicas*, t. 95, pp. 93 - 106.
- MADEIRA, J., BRUM DA SILVEIRA, A., MATA, J. & MOURÃO, C. (2009a) - Perigos geológicos na ilha Brava (Cabo Verde). *Geologic hazard in Brava island (Cape Verde)*. 6º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG; 10º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia. Caparica, Portugal. pp. 26.
- MADEIRA, J. (2009b) - Perigos geológicos em ilhas oceânicas: exemplos da Macaronésia. *Geologic hazards in oceanic islands: examples from Macaronesia*. 6º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG; 10º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia. Caparica, Portugal. pp. 13.
- MADEIRA, J., SILVEIRA, A. B., MATA, J. & MOURÃO, C. (2010a) – Perigos geológicos na Ilha Brava (Cabo Verde). *Actas do 6º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG: Desastres naturais – um desafio para a humanidade*: 29 - 34.
- MADEIRA, J., MATA, J., MOURÃO, C., SILVEIRA, A. B., MARTINS, S., RAMALHO, R. & HOFFMAN, D. L. (2010b) - Volcano-stratigraphic and structural evolution of Brava Island (Cape Verde) based on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, U–Th and field constraints; *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Volume 196, Issues 3-4, 1 October 2010, Pages 219 - 235.
- MALHEIRO, A. (2002) – Identificação, caracterização e proposta de sistematização dos elementos e parâmetros de vulnerabilidade a considerar no âmbito na avaliação de riscos vulcânicos. Tese de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Universidade dos Açores, 137 p.
- MASSON, D. G., WATTS, A.B., GEE, M.J.R., URGELES, R., MITCHELL, N.C., LE BAS, T.P. & CANALS, M. (2002) - Slope failures on the flanks of the western Canary Islands. *Earth-Science Reviews* 57: 1 - 35.
- MASSON, D. G., LE BAS, T. P., GREVEMEYER, I. & WEINREBE, W. (2008) - Flank collapse and large-scale landsliding in the Cape Verde Islands, of West Africa. *G³ - Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol. 9, Nº 7.
- MATA, J., MOREIRA, M., DOUCELANCE, R., SILVA, L. C., MOURÃO, C., RAQUIN, A., MARTINS, L. & MADUREIRA, P. (2006) - A origem dos carbonatitos de Cabo Verde à luz de dados isotópicos de Sr, Nd e gases nobres; VII Congresso Nacional de Geologia. Livro de Actas: 201 - 203. Estremoz.
- MATA, J., MOREIRA, M., DOUCELANCE, R., ADER, M., SILVA, L. C. (2010) Noble gas and carbon isotopic signatures of Cape Verde oceanic carbonatites: implications for carbon provenance. *Earth Planet Sci Lett* 291:70–83
- MATIAS, L., CRUZ, J., PENA, J. A., MARTINS, I. & SENOS, M. L. (1997) - A sismicidade registada na ilha do Fogo durante os primeiros dias de actividade do vulcão na erupção de Abril de 1995. In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 13 - 32.
- MCGUIRE, W.J., KILBURN, C.R.J., MURRAY, J. (1995) - *Monitoring active volcanoes*. UCL Press, University College London, 421p.
- MCGUIRE, W.J. (1998) – Volcanic hazards and their mitigation. In: Maund, J.G. e Eddleston, M. (Eds.), *Geohazards in Engineering Geology*. Geol. Soc. London, Engineering Geol., Special Publ., 15, p. 79-95.
- MEDEIROS, J. M. de S. (2004) - Contribuição para o estudo dos riscos geológicos no concelho de Vila Franca do Campo (S. Miguel, Açores) e suas implicações em termos de planeamento de

- emergência. Tese de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Departamento de Geociências. Universidade dos Açores.
- MENDES, A. S. (1956) - Contribuição para o conhecimento da sismicidade dos territórios portugueses; Simpósio sobre a Acção de Sismos e sua consideração no cálculo das construções. Comunicação nº 19, 1 - 4. Boletim da Ordem dos Engenheiros. Memória V.
- MILEU, N., FONSECA, J., ZÊZERE, J. L., LOPES, A., NEVES, M. & SOUSA, C. (2014) – Análise e Cartografia da Perigosidade em Cabo Verde. Comprehensive Hazard Assessment and Mapping in Cape Verde. Relatório final: Perfil da Perigosidade de Cabo Verde. Final report: Comprehensive National Hazard Profile of Cape Verde. Versão F1.0. Lisboa, 385p.
- MINISTÉRIO DO AMBIENTE, AGRICULTURA E PESCAS (2004) - Recenseamento Geral da Agricultura.
- MIRANDA, R. (1947) - Cabo Verde: A sismicidade do arquipélago nos anos de 1944-1945. Separata das Memórias e Notícias nº 20. Museu Mineral. e Geológico, Coimbra.
- MIRANDA, J. M. & CARRILHO, F. (2014) – 45 anos do sismo de 28 de Fevereiro de 1969. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, relatório inédito, 17p.
- MONTEIRO MARQUES, M. (1990) - Estudo da compartimentação da paisagem na ilha Brava (República de Cabo Verde). Centro de Estudos de Pedologia. Instituto de Investigação Científica Tropical/Instituto para a Cooperação Económica. Relatório Inédito. Lisboa.
- MONTEIRO, M. de N. (1981) - Relatório sucinto sobre pequenos abalos sísmicos que se vêm verificando na ilha Brava desde fins de Novembro de 1980 a 26 de Março de 1981. Secretariado Administrativo do Concelho da Brava. Cabo Verde.
- MONTEIRO, S. M. L. (2007) – Riscos Naturais e vulnerabilidades no Concelho da Ribeira Grande, ilha de Santo Antão (Cabo Verde); Dissertação de Mestrado em Dinâmicas Sociais e Riscos Naturais, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- MONTEIRO, S., CORREIA, R. & CUNHA, L. (2009) - Riscos Naturais, Ordenamento do Território e Sociedade. Estudos de caso nas ilhas de Santo Antão e Santiago. 1º Congresso de Desenvolvimento Regional de Cabo Verde; 15º Congresso da APDR; 2º Congresso Lusófono de Ciência Regional; 13º Congresso de Gestão e Conservação da Natureza. Universidade Jean Piaget de Cabo Verde. Praia.
- MONTEIRO, S. & CUNHA, L. (2011) - Cheias rápidas em Cabo Verde. Um breve apontamento acerca das tempestades de Setembro e Outubro de 2009 na ilha de S. Nicolau. Interioridade/Insularidade, Despovoamento/Desertificação - Paisagens, Riscos Naturais e Educação Ambiental em Portugal e Cabo Verde. Iberografias, Vol. 17, Praia, 177 - 189.
- MONTEIRO, S. e MENDES, J. M. (2011) - Riscos naturais e percepção da vulnerabilidade em Cabo Verde. Interioridade/Insularidade, Despovoamento/Desertificação - Paisagens, Riscos Naturais e Educação Ambiental em Portugal e Cabo Verde. Iberografias, Vol. 17, Praia, 135 - 157.
- MONTEIRO, S. (2014) - Relatório final sobre o Levantamento de dados históricos sobre Desastres (Eventos perigosos) em Cabo Verde no período de 1900 - 2013. Relatório inédito, Projeto SIERA, Praia 2014, 77 p (relatório não publicado).
- MOREIRA, A.A.T. (2009) - O património geomorfológico do Vale da Ribeira Principal (Parque Natural da Serra da Malagueta, ilha de Santiago, Cabo Verde). Avaliação e propostas de valorização. Tese de Mestrado. Universidade de Lisboa: 113 p.
- MOTA GOMES, A. (2007) - Hidrogeologia e Recursos Hídricos da ilha de Santiago (Cabo Verde). Tese de doutoramento em Geociências especialidade Hidrogeologia. Universidade de Aveiro.

BIBLIOGRAFIA

- MOURÃO, C., MATA, J., MADEIRA, J. & MOREIRA, M. (2007a) - Intrusive carbonatites from Brava Island (Cape Verde): preliminary geochemical data. XV Semana, VI Congresso Ibérico de Geoquímica, pp. 89 - 92.
- MOURÃO, C., MATA, J., MADEIRA, J., SILVEIRA, A. B., SILVA, L. C. & MOREIRA, M. & DOUCELANCE, R. (2008) - Peculiaridades da ilha Brava no contexto da geologia do Arquipélago de Cabo Verde. *Memórias e Notícias*, nº 3 (Nova Série), Publ. Do Depa. Ciên. Terra e do Mus. Mineral. Geol., Universidade de Coimbra.
- MOURÃO, C., MATA, J., DOUCELANCE, R., MADEIRA, J., SILVEIRA, A. B., SILVA, L. C. & MOREIRA, M. (2010) - Quaternary extrusive calciocarbonatite volcanism on Brava Island (Cape Verde): a nephelinite-carbonatite immiscibility product. *Journal of African Earth Sciences* 56 (2/3), 59 - 74.
- MOURÃO, C. C. P. (2012) - Geoquímica das Rochas Magmáticas da Ilha Brava: Implicações para a Origem e Variabilidade Espaço-temporal do ponto quente de Cabo Verde. Tese de doutoramento em Geologia (especialidade de Geoquímica), Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciência e Departamento de Geologia, 908 pp.
- MOURÃO, C., MOREIRA, M., MATA, J., RAQUIN, A. & MADEIRA, J. (2012a) - Primary and secondary processes constraining the noble gas isotopic signatures of carbonatites and silicate rocks from Brava Island: evidence for a lower mantle origin of the Cape Verde plume. *Contrib. Mineral Petrol* 163: 995 - 1009.
- MOURÃO, C., MATA, J., DOUCELANCE, R., MADEIRA, J., MILLET, M.A. & MOREIRA, M. (2012b) - Geochemical temporal evolution of Brava Island magmatism: Constrains on the variability of Cape Verde mantle sources and on carbonatite-silicate magma link. *Chemical Geology* 334: 44 - 61.
- MÜLLER, R.D., SDROLIAS, M., GAINA, C., ROEST, W.R. (2008) - Age, spreading rates, and spreading asymmetry of the world's ocean crust. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 9, Q04006.
- MUNICÍPIA S.A. (2003) - Fotografia aéreas da ilha Brava (Cabo Verde) nas escalas 1:28.800 e 1:14.400.
- MUSSETT, A. & KHAN, M. (2000) – Looking into the earth. An introduction of geological geophysics. Cambridge University Press, 470 p.

N

- NEIVA, J.M.C. (1940) - Considerações sobre o quimismo das formações eruptivas de Cabo Verde. Publ. MLMG Fac. Ciênc. Porto, 17: 54p.
- NEIVA, J.M.C. (1946) - Afinidades provinciais petrográficas entre ilhas do Atlântico. Separata do "Bol. Da Soc. Geolo. de Portugal. Vol. V, Fasc. III, Imprensa Moderna, Lda, Porto, 11p.
- NEWHALL, C. & SELF, S. (1982) – The volcanic explosivity index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *J. Geophys. Res.*, 87, NO, C2, 1231 - 1238.
- NEWHALL, C. & DECKER, R. (2002) – Can the veil of an eruption reforecast? In: *Montagne Pelée 1902-2002. Explosive volcanism in subduction zones*. Saint-Pierre, Martinique, 85.
- NUNES, J. R. (2010) - Estudo do Ruído Sísmico no Arquipélago de Cabo Verde. Dissertação de Mestrado em Ciências Geofísicas Especialização em Geofísica Interna, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Lisboa, 59 p.

O

- OBERHUBER, J. M., HERZOG, M., GRAF, H.-F. & SCHWANKE, K. (1988) – Volcanic plume simulation on large scales. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 87: 29-53.

P

- PACHECO, J.M.R. (2001) – Processos associados ao desenvolvimento de erupções vulcânicas hidromagmáticas explosivas na ilha do Faial e sua interpretação numa perspectiva e avaliação do hazard e minimização do risco. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 330p.
- PARIS, R., GIACHETTI, T., CHEVALIER, J., GUILLOU, H. & FRANK, N. (2011) - Tsunami deposits in Santiago Island (Cape Verde archipelago) as possible evidence of a massive flank failure of Fogo volcano. *Sedimentary Geology* 239: 129 - 145.
- PAZ, S. R. da (2004) - Simulação numérica da atmosferautilizando modelo digital de superfície para o estudo da dispersão de poluentes na região de Candiota. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, área de concentração em Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais e ao Meio Ambiente. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 95 p.
- PEREIRA, D. A. (2005) - Apontamentos históricos sobre a ilha do Fogo. Alfa-Comunicações, 173 pp. Praia.
- PEREIRA, J.M. (2005) – O Património Geológico da Ilha de Santiago (Cabo Verde): Inventariação, Caracterização e Propostas de Valorização. Tese de Mestrado em Ciências do Ambiente, Departamento Ciências da Terra, Escola de Ciências da Universidade do Minho: 93p.
- PEREIRA, J. L. & BURTON, P. W. (1997) - Preliminary results of spectral studies on tectonic and volcanic seismicity in Fogo, Cape Verde. In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 41 - 50.
- PEREIRA, J. M. (2010) - Concepção de uma estratégia de geoconservação para Cabo Verde e sua aplicação à Ilha de Santiago. Tese de doutoramento em Ciências, Área de conhecimento Geologia, Departamento Ciências da Terra, Escola de Ciências da Universidade do Minho: 404 p.
- PEREIRA, J.L.V. & BURTON, P.W., (1996) - Preliminary results from observations of volcano seismic events in Fogo Island, Cape Verde. In Thorkelson, B. (Ed.), *Seismology in Europe*. IMO, Reykjavik.
- PÉREZ, N. M., HERNÁNDEZ, P. A. & SUMINO, H. (2010a) - Helium isotope signatures in terrestrial fluids from Cape Verde. *MAKAVOL*, 2010, Praia, Cabo Verde, 23 - 24.
- PETERSON, D.W. (1996) - Mitigation measures and preparedness plans for volcanic emergencies. In: Scarpa e Tilling (Eds.), *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*. Springer-Verlag, 701-718.
- PIM, J., PEIRCE, C., WATTS, A. B., GREVEMEYER, I. & KRABBENHOEFT, A. (2008) - Crustal structure and origin of the Cape Verde Rise. *Earth and Planetary Science Letters* 272: 422 - 428.
- PIMENTEL, A. H. G. (2006) – Domos e Coulées da Ilha Terceira (Açores): Contribuição para o estudo dos mecanismos de instalação. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Departamento de Geociências. Universidade dos Açores, 198 p.
- PINA, A. F. L. de (2009) - Hidroquímica e qualidade das águas subterrâneas da ilha de Santiago - Cabo Verde. Tese de Doutoramento em Hidrogeologia pela Universidade de Aveiro, 247p, Aveiro.
- PINKERTON, H., FAGENTS, S. A., PROCKTER, L., SCHENK, P. & WILLIAMS, D. A. (2000) - Exotic Lavas Flows, p. 207-243 In ZIMBELMAN, R. & GREGG, T. K. P., eds., *Environmental effects on volcanic eruptions: from deep oceans to deep space*. New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers, 260 pp.
- PIRES, J. C. A. C. & NEVES, J. V. das (1981) - Relatório preliminar da Missão Geofísica a Cabo Verde no período de 10 de Abril a 11 de Maio de 1981. Relatório Interno, INMG, Lisboa.

BIBLIOGRAFIA

POMONIS, A., SPENCE, R. & BAXTER, P. (1999) – Risk assessment of residential buildings for an eruption of Furnas Volcano, São Miguel, the Azores. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 92, p. 107 - 131.

PORTER, S. C. (1972) – Distribution, morphology and size frequency of cinder cones on Mauna Kea Volcano, Hawaii. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83, 3607-3612.

Q

QUEIROZ, G. (1997) – Vulcão das Sete Cidades (S. Miguel, Açores). História eruptiva e avaliação do hazard. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 226 p.

QUEIROZ, G., MARQUES, R., FERREIRA, T., VIVEIROS, F., PACHECO, J., & PEREIRA, C. (2009) - Avaliação de perigos geológicos e delimitação de áreas vulneráveis a considerar em termos de riscos no ordenamento do território da RAA. R2 – Glossário de termos e designações. Documento Técnico-Científico 34/CVARG/CIVISA/09, Centro de Vulcanologia, 2009, 17 p.

R

RAMALHO, R. (2009) - Building the Cape Verde Islands. PhD Thesis of Doctor in Philosophy in the Faculty of Science. Department of Earth Sciences, University of Bristol, 251 pp.

RAMALHO, R., HELFFRICH, G., COSCA, M., VANCE, D., HOFFMANN, D. & SCHMIDT, D. N. (2010a) - Vertical movements of ocean island volcanoes: Insights from a stationary plate environment. *Marine Geology* 275: 84 - 95.

RAMALHO, R., HELFFRICH, G., SCHMIDT, D. N. & VANCE, D. (2010b) - Tracers of uplift and subsidence in the Cape Verde archipelago. *Journal of the Geological Society*, Vol. 167, pp 519 - 538, London.

RAMALHO, R., HELFFRICH, G., COSCA, M., VANCE, D., HOFFMANN, D. & SCHMIDT, D. N. (2010c) - Episodic swell growth inferred from variable uplift of the Cape Verde hotspots islands. *Nature Geoscience - Supplementary Information*, Vol. 3: 1 - 5.

RENDALL, L. S. (1951a) - O vulcão do Fogo. Cabo Verde - Boletim de Propaganda e Informação, Ano II, nº 19, Abril de 1951, pp. 5 - 8.

RENDALL, L. S. (1951b) - O vulcão do Fogo. Cabo Verde - Boletim de Propaganda e Informação, Ano II, nº 20, Maio de 1951, pp. 18 - 20.

RIBEIRO, O. (1960); - A ilha do Fogo e as suas erupções (2ª Edição) - Memórias Série Geográfica. Junta de Investigação do Ultramar.

ROBERTSON, A.H.F. (1984). Mesozoic deep-water and Tertiary volcanoclastic deposition of Maio, Cape Verde Islands: Implications for Atlantic paleoenvironments and ocean island volcanism. *Geol. Soc. Am. Bull.*, (95), 433-453.

RODRÍGUEZ, F., BANDOMO, Z., BARROS, I., FONSECA, J., FERNANDES, P., RODRIGUES, J., MELÍAN, G., PADRÓN, E., DIONIS, S., VICTÓRIA, S., GONÇALVES, A., BARBOSA, A., NASCIMENTO, J., HÉRNANDEZ, P. A. & PÉREZ, N. M. (2010) - Geochemical signatures of the diffuse CO₂ emission from Brava volcanic system, Cape Verde. Makavol 2010, Fogo Workshop - Program & Abstracts; Poster, Reunião Internacional sobre Gestão de Risco Vulcânico em Ilhas; Praia, Cabo Verde, 17.

S

SAMARDJIEVA, E. e BADAL, J. (2002) – Estimation of the number of casualties caused by strong earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, vol. 92, nº 6, p. 2310 - 2322.

- SANTOS, P. C. (2013) - Aplicações geodésicas no Arquipélago de Cabo Verde. A Bissau: Actas do Colóquio Internacional Cabo Verde e Guiné Bissau: Percursos do Saber e da Ciência. Lisboa, 21-23 de Junho de 2012, 13 p.
- SCARPA, R. & TILLING, R. I. (1996) (Eds.) - Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards. Springer-Verlag, 841 p.
- SCHMID, R. (1981) - Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic rocks and fragments: recommendation of IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology*, Vol. 9, p. 41 - 43.
- SCIUNNACH, D. (2003) - Santo Antão (Ilhas de Cabo Verde): Itinerários geológicos voltados ao ecoturismo sustentável. Regione Lombardia, Milão: 100 p.
- SEITA, M. F. (1973) - Ocorrência de minerais fosfatados no ilhéu Grande (Brava), Cabo Verde. Garcia de Orta, Sér. Geol., Lisboa, 1 (1), 29 - 30.
- SENNA BARCELLOS, C. J. de (1899) - Subsídios para a História de Cabo Verde e Guiné. Instituto da Biblioteca Nacional e do Livro. Volumes I a IV; 2ª Edição, Praia. 1771 p.
- SERRALHEIRO, A. (1966) - Contribuição para o conhecimento geológico da ilha de S. Vicente (Cabo Verde). Garcia de Orta, vol. 14 (nº 1): 139 - 152.
- SERRALHEIRO, A. (1968) - Formações sedimentares do arquipélago de Cabo Verde; Agrupamento Científico de Geologia da Universidade de Lisboa da Junta de Investigações do Ultramar, Lisboa. 22 p.
- SERRALHEIRO, A. (1970) - Geologia da Ilha do Maio (Cabo Verde); Junta de Investigação do Ultramar: 103 p.; Lisboa.
- SERRALHEIRO, A. (1976) - A Geologia da ilha de Santiago (Cabo Verde). Lisboa. Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa Vol. 14, Fasc. 2, Lisboa, 218p.
- SERRALHEIRO, A., MATOS ALVES, C. A., ROCHA MACEDO, J. & SILVA, L. C. (1974) - Note préliminaire sur la géologie de l'île de Boa Vista (Cap-Vert). Garcia de Orta, Sér. Geol., 1 (3): 53 - 60, Lisboa.
- SERVIÇO METEOROLÓGICO NACIONAL (1947 – 1973) - Anuário Sismológico de Portugal, Year Book from Serviço Meteorológico Nacional, No 1 – N°27, Lisboa.
- SETTLE, M. (1979) - The structure and emplacement of cinder cone fields. *American Journal of Science*, Vol. 279, 1089 - 1107.
- SHERIDAN, M. F. & WOHLLETZ, K. H. (1983) - Hydrovolcanism: basic considerations and review. *Journal of Volcanology and geothermal research*, 17: 1 - 29.
- SIGURDSSON, H., HOUGHTON, B., MCNUTT, S., RYMER, H. E STIX, J., (Eds.) (2000) - Encyclopedia of volcanoes., Academic Press, San Diego, 1ª Edição.
- SILVA, L. C., LE BAS, M. J., ROBERTSON, H. F. (1981) - An oceanic carbonatite volcano on Santiago, Cape Verde Islands. *Nature*, (294), 644-645.
- SILVEIRA, A. B., SERRALHEIRO, A., MARTINS, I., CRUZ, J., MADEIRA, J., MUNHÁ, J., PENA, J., MATIAS, L. & SENOS, M. L. (1995) - A erupção da Chã das Caldeiras (Ilha do Fogo) de 2 de Abril de 1995. Lisboa, Protecção Civil, Órgão do Serviço Nacional de Protecção Civil, II Série, 7, pp. 3-14.B.,
- SILVEIRA, A., MADEIRA, J. & SERRALHEIRO, A. (1997) – A estrutura da ilha do Fogo; in “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 63-78.

- SIMONETTI, A., BELL, K., (1995). Nd, Pb and Sr isotopic data from the Mount Elgon volcano, eastern Uganda-western Kenya: implications for the origin and evolution of nephelinite lavas. *IMJws* 36, 141-153.
- SPARKS, R.S.J. (1976) – Grain size variations in ignimbrites and implications for the transport of pyroclastic flows. *Sedimentology*, 23, p. 147-188.
- SPARKS, R.S.J. (1986) – The dimensions and Dynamics of volcanic eruption columns. *Bull. Volcanol.*, 48, p. 1-15.
- STILLMAN, C. J., FURNES, H., LE BAS, M.J., ROBERTSON, A. H. F. & ZILEONKA, J. (1982) - The geological history of Maio, Cape Verde Island. *Journal of Geological Society of London*, (139), 347 - 351.
- SUTO, S. (2002) – Volcanic ash fall disaster map of Japan. *In: Montagne Pelée 1902-2002. Explosive volcanism in subduction zones. Saint-Pierre, Martinique*, 89.
- SUZUKI, T. (1983) – A theoretical model for dispersion of tephra. *In: D. Shimozuru e I. Yokoyama (Ed.) Arca Volcanism: Physics and Tectonics. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo*, 95-113.

T

- TANGUY, J. C., RIBIÈRE, Ch., SCARTH, A. & TJETJEP, W.S. (1998) – Victims from volcanic eruptions: a revised database. *Bull. Volcanol.*, 60, p. 137 - 144.
- TARFF, R. W. & DAY, S. J. (2013) - Chilled margin fragmentation as a trigger for transition from Strombolian to phreatomagmatic explosive activity at Cova de Paul Crater, Santo Antão, Cape
- TEIXEIRA, C. (1950) - Notas sobre a geologia das Ilhas Atlântidas. Imprensa Portuguesa, Porto. 233 p.
- THIERRY, P., VAGNER, A., FONTAINE, M. & MIAVITA TEAM (2009) - Mitigate and Assess risk from Volcanic Impact on Terrain and human Activities: the FP7 MIAVITA project. Sylvain Coulonges, Arnaud Pecher, Annegret Wagler. Triangle-Free Strongly Circular-Perfect Graphs. *Discrete Mathematics, Elsevier*, 2009, 309, pp. 3632 - 3643.
- TIEDEMANN, H. (1992) - Earthquakes and volcanic eruptions: A handbook on risk assessment. Zurich, Swiss Re., 951 p.
- TIERNEY, L. (2002) - Exotic lava flows: Carbonatites. AGU Copyright by The American Geophysical Union.
- TILLING, R.I. (ed.) (1989) – Volcanic hazards and their mitigation: progress and problems. *Rev. Geophys.*, 27 (2), 237 - 269.
- TORRES, P. C., SILVA, L. C., MENDES, M. H., SERRALHEIRO, A., MADEIRA, J., SILVEIRA, A. B. & MOTA GOMES, A. (1997a) – Cronologia da erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde. *In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”*, Lisboa, 133 - 144.
- TORRES, P. C., SILVA, L. C., BRUM DA SILVEIRA, A., SERRALHEIRO, A. & MOTA GOMES, A. (1997b) – Carta Geológica das Erupções Históricas da ilha do Fogo: Revisão e actualização. *In “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”*, Lisboa, 119 - 132.
- TURBEVILLE, B.N., WOLFF, J.A., MILLER, D.J. & LE BAS, M.J. (1987). An oceanic nepheline-phonolitecarbonatite association, Brava, Cape Verde Islands (abstract). *Eos, Transactions American Geophysical Union* 68 (44), 1522.

U

UNISDR (2005) - Hyogo Framework for Action 2005-2015: I S D R International Strategy for Disaster Reduction. International Strategy for Disaster Reduction. Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. I World Conference on Disaster Reduction. 18-22 January 2005, Kobe, Hyogo, Japan.

V

VALA, F. (2009) - Darwin em Cabo Verde. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 88p.

VALDEZ, F. T. (1864) - Africa Occidental: Notícias e Considerações, Tomo I. Ministério de Marinha e Ultramar. Imprensa Nacional, 406 p., Lisboa.

VALENTINE, G. A. & FISHER, R. V. (2000) – Pyroclastic surge and blasts. *In* Encyclopedia of volcanoes (Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H. e Stix, J., Eds.), Academic Press, San Diego, 1ª Edição, 571 - 580.

VALES, D., MATIAS, L., HABERLAND, C., SILVEIRA, G., WEBER, M., CARRILHO, F., DIAS, N. and the CV-PLUME TEAM (2010a) - Intraplate seismicity across the Cape Verde Swell. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 12, EGU2010 - 10582.

VALES, D., MATIAS, L., RIO, I., SILVEIRA, G., DIAS, N., CARRILHO, F., HABERLAND, C., WEBER, M. & The CV-Plume TEAM (2010b) - Actividade sísmica na região de Cabo Verde. 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, p. 1-11, Lisboa.

VESPERMANN, D. & SCHMINCKE, H-U. (2000) - Scoria cones and Tuff rings. *In* Encyclopedia of volcanoes (Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H. e Stix, J., Eds.), Academic Press, San Diego, 1ª Edição, 683 - 694.

VINNIK, L., SILVEIRA, G., KISELEV, S., FARRA, V., WEBER, M. & STUTZMANN, E. (2012) - Cape Verde hotspot from the upper crust to the top of the lower mantle. *Earth and Planetary Science Letters* 319-320: 259 - 268.

VIVEIROS, M.F. (2003) – Contribuição para o estudo dos processos de desgaseificação difusa nos Açores no âmbito da monitorização sismovulcânica e da avaliação do risco: discriminação de factores que influenciam a variação do fluxo de CO₂. Tese de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Universidade dos Açores, 135 p.

VOIGHT, B. (1990) – The 1985 Nevado del Ruiz volcano catastrophe: anatomy and retrospection. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 44, p. 349-386.

W

WALKER, G.P.L. (1971) – Grainsize characteristics of pyroclastic deposits. *J. Geol.*, 79, 696-714.

WALKER, G.P.L. (1973) - Lengths of lava flows. *Phil. Trans. R. Soc. A.* 274, 107 - 118.

WALKER, G.P.L. (1974) – Volcanic hazards and the prediction of volcanic eruptions. *In* The prediction of geological hazards (Mis. Paper 3), *Geol. Soc. Lond.*, p. 23 - 41.

WALKER, G.P.L. (1981) - Plinian eruptions and their products. *Bull. Volcanol.*, Vol. 44, 2, 223-240.

WALKER, G.P.L. (1982) – Volcanic hazards. *Interdisciplinary science reviews*, vol. 7 (2), 148-157.

WALLENSTEIN, N., GASPAR, J. L., GUEST, J. & DUNCAN, A. (1997) - Estilos eruptivos observados durante a erupção vulcânica de 1995 na Ilha do Fogo, Cabo Verde. *In* “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, 145 - 152.

WALLENSTEIN, N. (1999) – Estudo da história recente do comportamento eruptivo do Vulcão do Fogo (S. Miguel, Açores). Avaliação preliminar do hazard. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 266 p.

BIBLIOGRAFIA

- WILLIAMS, R.W., GIU, J.B., BRULAND, K.W. (1986). Ra-Th disequilibrium systematics: timescale of carbonatite magma formation at Oldoinyo Lengai volcano, Tanzania. *Geochimica et Cosmochimica Acta* (50), 1249-1259.
- WILLIAMS, C. A., HILL, I. A., YOUNG, R. & WHITE, R. S. (1990) - Fracture zones across the Cape Verde Rise, NE Atlantic. *Journal of Geological Society*, Vol. 147; n° 5: 851 - 857.
- WILLIAMS-JONES, G. e RYMER, H. (2000) – Hazards of Volcanic gases. *In: Sigurdsson H. (Ed.), Encyclopedia of Volcanoes*. American Press, 997-1004.
- WILSON, C. J. N. & HOUGHTON, B. F. (2000) – Pyroclastic transport and deposition. *In Encyclopedia of volcanoes* (Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H. e Stix, J., Eds.), Academic Press, San Diego, 1ª Edição, 545 - 554.
- WILSON, L. & HUANG, T. C. (1979) – The influence of shape on the atmospheric settling velocity of volcanic ash particles. *Sarth Planet. Sci. Lett.*, 44: 311-324.
- WOLLEY, A. R. & CHURCH, A. A. (2005) - Extrusive carbonatites: a brief review. *Lithos*, Vol. 85, Issues 1-4, pages 1 - 14.
- WOOD, C. (1980a) - Morphometric evolution of cinder cones. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 7, 387 - 413.
- WOOD, C. (1980b) - Morphometric analysis of cinder cone degradation. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 8, 137 - 160.
- WRIGHT, J., SMITH, A. e SELF, S. (1980) - A working terminology of pyroclastic deposits. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 8, 315 - 336.
- Y**
- YONG, C., LING, C., GÜENDEL, F., KULHÁNEK, O. e JUAN, L. (2002) – Seismic hazard and loss estimation for Central America. *Natural Hazard*, 25, p. 161 - 175.
- Z**
- ZIMANOWSKI, B. (1998) – Phreatomagmatic explosions. *In: From magma to tefra* (Freundt, A. & Rosi, M., Eds), Elsevier Science B. V., Amsterdam, 1ª Edição, 318p.

LEGISLAÇÃO CONSULTADA

Despacho nº 42/92 de 10 de Dezembro referente à constituição de uma Comissão Instaladora do Sistema de Protecção Civil.

Lei nº 100/V/99 de 19 de Abril, que estabelece as bases gerais de protecção civil.

Decreto-Regulamentar nº 5/99 de 21 de Junho, que define a composição do Conselho Nacional de Protecção Civil.

Decreto-Regulamentar Nº 18-99 de 20 de Dezembro que estabelece a organização, o estatuto, as atribuições, as competências, o quadro do pessoal, o funcionamento dos serviços que integram o sistema nacional de protecção civil em geral e em especial do Serviço Nacional de Protecção Civil.

Decreto-Regulamentar nº 3/2004 de 12 de Julho que define o regimento e a composição do Conselho Nacional de Protecção Civil.

Lei nº 12/VII/2012 de 7 de Março, I Série, nº16, alterações sobre a Lei de Bases da Protecção Civil.

Decreto-lei nº 1/2006 de 13 de Fevereiro de 2006 e Decreto Legislativo nº 6/2010, de 21 de Junho de 2010 que define as bases do Ordenamento do Território e Planeamento Urbanístico;

Decreto-lei nº 43/2010, de 27 de Setembro que aprova o Regulamento Nacional do Ordenamento do Território Nacional e do Planeamento Urbanístico;

Decreto-lei nº 130/88, de 31 de Dezembro sobre o Regulamento Geral de Construção e Habitação Urbana.

Decreto-Regulamentar nº13/2009 de 20 de Julho, que aprova Novos Estatutos do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.

SITES CONSULTADOS

<http://www.snpc.cv/images/stories/proc002.pdf> consultado a 14 de Agosto de 2011 às 9:15.

<http://miavita.brgm.fr/pressroom/Pages/monitoringseismicnetworkfogovolcano.aspx> consultado a 15 de Agosto de 2011 às 11:00.

<http://miavita.brgm.fr/pressroom/Pages/monitoringseismicnetworkfogovolcano.aspx> consultado a 15 de Agosto de 2011 às 11:05.

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/> consultado a 15 de Julho de 2011 às 11:05.

<http://vhub.org> consultado a 10 de Julho de 2013 às 08:05.

www.ine.cv consultado a 15 de Abril de 2013 às 09:12.

ANEXOS

ANEXO I

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS (EM METROS) DAS ESTRUTURAS VULCÂNICAS DA ILHA BRAVA

H_{co} - Altura do cone/domo, igual à diferença entre a cota do ponto mais elevado e a cota média da base do aparelho vulcânico.

W_{co} - Diâmetro basal do cone/domo, igual à média dos eixos maior e menor da base.

W_{CR}- Diâmetro da cratera, igual à média dos seus eixos maior e menor.

D_{CR} - Profundidade da cratera, igual à diferença entre a cota máxima e a cota mínima da cratera.

Parâmetros morfométricos de formas vulcânicas da ilha Brava. CE - cones de escórias; CA – caldeira; CH - crateras hidrovulcânicas; DO – domos.

Ref. ^a	Tipo de estrutura	Designação do local	Coordenadas		Diâmetro da base Wco (m)	Diâmetro da cratera Wcr (m)	Altura Hco (m)	Profundidade da cratera Dcr (m)
			M	P				
1	DO	Ponta Incenso	88127	25140	372,4	163,7	102	25,0
2	DO	Favatal	87744	24425	1496,6	476,1	238	105
3	DO	Morro Figueiral Norte	83506	23996	415,2	-	179	-
4	DO	Morro Figueiral Meio	83293	23701	369,8	81,1	195	6,0
5	DO	Morro Figueiral Sul	83308	23299	193,2	149,0	110	25,0
6	DO	Monte Quimbi	82266	20155	576,6	-	365	-
7	DO	Mamana/Monte	86049	18479	1038,3	-	210	-
8	DO	Cachaço	87795	17789	804,4	-	220	-
9	DO	Monte Ponta Verde	86320	17612	877,2	666,9	295	95,0
10	DO	Monte Largo	87167	17578	764,0	330,5	230	125,0
11	DO	Monte Miranda	85674	17522	545,0	198,5	190	25,0
12	DO	Gudo de Pomba	83686	17411	1213,2	-	615	-
13	DO	Achada Caçador	86574	16527	875,8	366,7	200	50,0
14	DO	Morro das Pedras	87419	16509	385,1	185,0	100	25,0
15	DO	Monte Façanha	83921	16064	495,1	122,9	229	25,0
16	CE	Ponta Alto	86197	15604	1145,8	-	378	-
17	DO	Alcatraz	85560	15316	240,9	302,5	140	50,0
18	DO	Porto Ancião	84544	15262	181,2	-	83	-
19	DO	Quebra-cabeças	82322	17885	202,9	-	124	-
20	DO	Porto dos Ferreiros	81245	20022	425,9	201,3	159,0	125,0
		Ponta da Costa						

Parâmetros morfométricos de formas vulcânicas da ilha Brava. CE - cones de escórias; CA – caldeira; CH - crateras hidrovulcânicas; DO – domos; CR – crateras de explosão.

Ref. ^a	Tipo de estrutura	Designação do local	Coordenadas		Diâmetro da base Wco (m)	Diâmetro da cratera Wcr (m)	Altura Hco (m)	Profundidade da cratera Dcr (m)
			M	P				
21	DO	Monte Gâmbia	85201	23991	555,5	-	333	-
22	DO	Monte Pesqueiro	82582	23236	223,2	-	80	-
23	DO	Ponta Cajau Grande	82781	23456	200,8	-	130	-
24	DO	Boca de Porco	85193	17806	441,0	-	126	-
25	CH	Santa Bárbara	87376	23009	-	948,5	-	175,0
26	CH	Covoadá	86133	22882	-	545,8	-	115,0
27	CH	S. Pedro	85645	22650	-	464,7	-	180,0
28	CH	Nova Sintra Norte	86586	22643	-	674,7	-	103,0
29	CH	Nova Sintra Sul	86990	22054	-	827,4	-	175,0
30	CH	Cova Rodela	85784	21953	-	305,1	-	110,0
31	CH	Paúl	85924	21589	-	306,7	-	95,0
32	CH	Mato Grande	86734	21420	-	593,5	-	235,0
33	CH	Cova Joana Norte	84947	21177	-	545,4	-	50,0
34	CH	Cova Lima Doce Pq fora	85710	20914	-	230,9	-	45,0
35	CH	Nha Preta1	86793	20894	-	528,3	-	95,0
36	CH	Cova Galinha	86203	20837	-	261,9	-	65,0
37	CH	Nha Preta2	86598	20712	-	521,8	-	105,0
38	CH	Mato1	85997	20619	-	136,1	-	15,0
39	CH	Campo Baixo cratera pq Este	84866	20509	-	127,2	-	50,0
40	CH	Cova Lima Doce Grande	85475	20463	-	1027,6	-	250,0
	CH	Os Fetos1	86427	20437	-	126,3	-	45,0
	CH	Campo Baixo cratera maior	84606	20404	-	230,6	-	25,0
	CH	Cova Lima Doce pq dentro	85148	20312	-	218,0	-	30,0

Parâmetros morfométricos de formas vulcânicas da ilha Brava. CE - cones de escórias; CA – caldeira; CH - crateras hidrovulcânicas; DO – domos; CR – crateras de explosão.

Ref. ^a	Tipo de estrutura	Designação do local	Coordenadas		Diâmetro da base Wco (m)	Diâmetro da cratera Wcr (m)	Altura Hco (m)	Profundidade da cratera Dcr (m)
			M	P				
41	CH	Mato2	86054	20312	-	650,4	-	75,0
42	CH	Os Fetos2	86745	20301	-	194,2	-	60,0
43	CH	Francelho	86657	20121	-	253,7	-	55,0
44	CH	Campo das Fontes	86212	20051	-	555,1	-	80,0
45	CA	Campo Baixo	84394	19683	-	1958,6	-	270,0
46	CH	Fundo Grande	85670	19691	-	658,6	-	165,0
47	CH	Cova de Bicho	86491	19682	-	376,2	-	130,0
48	CH	Fundinho	85313	19241	-	360,1	-	95,0
49	CH	Achada Figueirinha	82233	19043	-	666,5	-	140,0
50	CH	Achada Chão d'Ouro Norte	84696	17035	-	498,9	-	200,0
51	CH	Achada Chão d'Ouro Sul	85060	16418	-	508,7	-	270,0
52	CR	Alcatraz Norte	86204	15886	-	178,0	-	25,0
53	CR	Alcatraz Sul	86180	15607	-	302,5	-	50,0
54	CR	Mamana/Monte Cachaço Norte	86007	18553	-	307,9	-	100,0
55	CR	Mamana/Monte Cachaço Sul	86082	18134	-	185,1	-	50,0
56	CH	Cova Joana Sul	84928	21046	-	432,1	-	100,0

ANEXO II

**NOTÍCIAS SOBRE A OCORRÊNCIA DE
SISMOS NA ILHA BRAVA - TRECHOS DE
JORNAIS CONSULTADOS, IMPRESSOS E
ONLINE**

JORNAIS IMPRESSOS

Jornal “Opinião”

03 de Fevereiro de 1903

“Tem continuado os abalos de terra na ilha da Brava”.

Jornal “Notícias de Cabo Verde”

15 de Fevereiro de 1938

E também abalos de terra!

“Na madrugada de ontem para hoje sentiram-se também nesta ilha (S. Vicente) três abalos de terra com ruídos subterrâneos! O primeiro deu-se pouco depois das 1:30 horas. Não foi de violentas oscilações, mas a terra vibrou em secousses¹ pequenas e contínuas, de sentido horizontal, como quando passa um camião carregado, durante 40 segundos, o que é uma duração excepcional, pois que, se as oscilações fossem maiores, não ficaria de pé um único edifício.

Cerca de uma hora depois deu-se outro, de igual género de vibrações, mas que passou imediatamente. O terceiro abalo, ainda do mesmo género, sentiu-se às cinco horas da madrugada, e deve ter durado uns 5 segundos. A impressão que nos ficou foi a deste arquipélago ter estado na periferia de vibrações provocadas por alguma série de violentíssimos abalos cujo centro deve ter sido em qualquer região longínqua.

O sismógrafo da Western Telegraph registou que o primeiro abalo durou 40 segundos e teve uma inclinação de 20°.

Não houve felizmente desastres pessoais ou materiais a lamentar e não consta até agora, que o centro dessa formidável convulsão sísmica tenha sido em qualquer continente. Deve pois ter-se passado no fundo de um dos oceanos. É caso para dizer-se valha-nos isso!

Os abalos nas outras ilhas – informações recebidas:

S. Nicolau – sentiram-se os mesmos abalos, às mesmas horas.

Sal – idem, idem.

Brava – idem, idem, talvez com maior violência do que em S. Vicente.

S. Tiago e Fogo – não se sentiram.

Santo Antão e Boa Vista – não trabalhava o telégrafo de forma que ignoramos o que ali se passou.”

Jornal “O Arquipélago”

25 de Julho de 1963

“De oito a dezassete do corrente sentiram-se na ilha (Brava) vários abalos de terra, sendo o primeiro e o mais forte o do dia 8 – às 21:20 horas que fez oscilar as paredes, portas e janelas dos prédios. A população, apesar de habituada a tais fenómenos, veio para as ruas e aí se

¹ Abalos

manteve até altas horas, calmamente e em conversa com os vizinhos. Segundo diz a boca do povo: “ano de tremer terra é bom ano agrícola.”. Que assim seja.”

08 de Agosto de 1963

“No dia 5 do corrente, pelas 19:50 horas a Vila de Nova Sintra sofreu um violento abalo sísmico, tendo a população saído para as ruas. Desabaram, em consequência, duas pequenas casas, uma no sítio de Pé de Rocha e outra no Lém. Durante a noite registou-se outro abalo, mas de menor intensidade.”

29 de Agosto de 1963

“O povo diz: “Ano em que treme a terra há chuvas abundantes”. E a profecia parece cumprir-se. A ilha está bem chovida e bem semeada... e também bem tremida. Os últimos abalos, os mais violentos, puseram a população em alvoroço, tendo S. Excia o Governador ido pessoalmente verificar os efeitos e acalmar com a sua presença os habitantes da ilha-jardim (Ilha Brava). Felizmente e apesar da violência dos abalos apenas algumas casas apresentavam pequenas fendas, não havendo qualquer desastre a lamentar. O edifício dos CTT ficou muito danificado com os tremores de terra verificados no dia 24 de Agosto.”

05 de Setembro de 1963

“Pequenos abalos sísmicos continuam fazendo-se sentir em toda a ilha (Brava), felizmente sem quaisquer consequências.”

27 de Fevereiro de 1964

“Voltaram a sentir-se nesta ilha (Brava) diversos abalos sísmicos, felizmente de pouca intensidade e sem qualquer prejuízo.”

Jornal “Voz di Povo”

19 de Novembro de 1980

“Tremor de terra na Brava”

“Tremores de terra de fraca intensidade fizeram tremer nos dias 16 e 17 do corrente, domingo e segunda-feira, a ilha da Brava embora segundo a Direcção Geral da administração Interna, não haja nenhum acidente a registar. Este fenómeno sísmico pode ser relacionado à proximidade existente entre a Brava e a ilha do vulcão, Fogo, e, mais ainda, à natureza preocupante da plataforma de apoio da “ilha das florestas”. Efectivamente, a ilha Brava possui uma base que, de acordo com estudiosos, não oferece grande plano de apoio, dado a sua forma um bocado irregular. Em todo o caso, até ao momento da redacção desta notícia, não havia nada a apontar em relação à normal segurança e ritmo de vida da ilha e dos seus habitantes”.

21 de Março de 1981**“Na Brava: a terra voltou a tremer”**

“Violentos tremores de terra fizeram-se sentir na ilha da Brava durante a madrugada do passado dia 19 do corrente, chegando mesmo a provocar pânico no seio da população de certas localidades – apurou o “Voz di Povo” em conversa telefónica mantida com Delegado do Governo naquela ilha, camarada Manuel Natividade Monteiro. Contudo, segundo a mesma fonte, o fenómeno não provocou perdas humanas nem materiais, embora, observadores acreditam ter sido um dos mais violentos de que há memória naquela ilha. O período mais crítico – informamos – compreende entre as 4 e as 6 da madrugada, em que os abalos sísmicos foram mais frequentes e duradouros”.

12 de Julho de 1985**“Brava: A terra treme desde terça-feira”**

“Depois de várias sacudidelas que tiveram início desde terça-feira, a ilha Brava foi violentamente abalada ontem por um tremor de terra que provocou fendas nas paredes e desabamentos das rochas. Houve uma vítima mortal: uma criança de 4 anos”.

“Ontem, a Brava foi sacudida violentamente por um tremor de terra”

“Registando desde a passada terça-feira, dia 8, tremores de terra, de maior ou menor intensidade, que já vitimaram, entretanto, uma criança de 4 anos de idade, a ilha da Brava foi violentamente sacudida ontem, sexta-feira, por um tremor de terra de grande intensidade – ignora-se ainda o seu grau na escala de Richter – que provocou fendas nas paredes das casas, quedas de objectos móveis e deslizos de pedras pelas vertentes das rochas. Segundo um responsável da ilha, falando para a Rádio Nacional de Cabo Verde – a preocupação começou já a dominar os habitantes da ilha, tendo-se registado ontem, logo a seguir ao abalo no princípio da tarde, uma debandada quase geral das repartições públicas e residências, porquanto, afirmou aquele correspondente, a estadia das pessoas naqueles locais é susceptível de acarretar perigos maiores. Há notícias que o comércio local fechou as suas portas nesse período. Entretanto, não houve, felizmente vítimas a lamentar do tremor de ontem a tarde. Até o momento do fecho da nossa edição não havia informações mais seguras sobre o facto e mesmo os habitantes da ilha, na incerteza do que poderá vir a acontecer, esperam alguma confirmação de peritos”.

11 de Maio de 1988

“Já no fim do mês de Março outro tremor de terra ou série de tremores fora sentido na região Fogo/Brava”.

10 de Novembro de 1988**“Brava voltou a tremer”**

“A ilha Brava voltou a assustar os seus habitantes com os sismos terrestres que se verificaram nos dias 25 e 26 do mês passado. Os abalos sísmicos que se repetem em ciclos anuais naquela

ilha atingiram, desta vez, proporções consideráveis, embora não haja notícia de que se tenham registado perdas humanas. De qualquer modo, houve alguns estragos materiais, nomeadamente a destruição da estação de bombagem de água à vila de Nova Sintra e a obstrução parcial do troço de estrada que dá acesso à povoação de Fajã d'Água/Esparadinha. Quanto ao espírito da população, tudo faz crer que é normal, porquanto os bravenses estão já habituados a estas “brincadeiras” da natureza. O que não quer dizer que não deva precaver-se contra ocorrências do género”.

29 de Maio de 1990

“Abalo sísmico sentido na capital e noutras ilhas do país”

“A capital foi domingo de manhã sacudida por um tremor de terra, fenómeno invulgar na cidade da Praia. O sismo, que aparentemente não causou quaisquer danos, ocorreu cerca das 9h. O abalo sísmico foi igualmente sentido pelas populações do interior de Santiago e de outras ilhas do Sul (Fogo e Brava) do arquipélago. Entretanto, não foi possível determinar a amplitude do sismo registado devido à inexistência no país de aparelhos apropriados para o efeito”.

Jornal “Horizonte”

12/10/2000

“Vários sismos abalam Brava”

“A ilha Brava, no extremo sul do nosso arquipélago, foi abalada, sexta-feira, 6, por vários tremores de terra, o primeiro dos quais “muito forte”, segundo uma fonte local citada pela rádio nacional – RTC-FM. Em declarações à estação radiofónica, o Padre Paulino disse às 23 horas locais que os abalos não causaram danos, mas que a “população se alarmou”. “A situação está agora mais calma, mas as pessoas estão na rua e vão passar a noite ao relento, por precaução”, disse o pároco bravense, explicando que o movimento telúrico começou cerca das 18:30, tendo repetido com intervalos de aproximadamente meia hora. Os sismos de sexta-feira na Brava ocorreram uma semana depois de a rede de controlo sísmico e vulcânico ter registado um agravamento da actividade do vulcão, com os técnicos a admitirem a hipótese de nova erupção”.

18 de Janeiro de 2007

“Brava sofre seis abalos sísmicos terça-feira. Rede de Vigilância do Vulcão do Fogo foi vandalizada”

“Seis meses depois, Brava voltou a ser sacudida, seis vezes, por sismos, terça-feira, 16. O dia 16 foi turbulento para a população da Ilha das Flores ao se confrontarem com fortes abalos sísmicos. Muitas pessoas, preocupadas, saíram à rua, com medo do pior vir a acontecer, havendo até quem deixasse de ir trabalhar”.

Jornal “A Semana”

13/10/2000

“Brava treme”

“Apesar dos constantes tremores de terra que desde a última sexta-feira sacodem a ilha Brava a população preserva a quietude que lhes é própria e fala do fenómeno com a naturalidade de quem está habituado a sentir a terra mexer-se por baixo dos pés. Os tremores que ultrapassam os dois pontos da escala de Richter no final da semana passada voltaram à carga esta quarta-feira – já no dia anterior tinha tremido por três vezes consecutivas -, com igual intensidade do primeiro. Bety Mascarenhas, moradora de Achada da Losna, confirmou a A Semana que a ilha tremeu forte na última sexta-feira, 6 de Outubro, e voltou a registar réplicas com igual intensidade na madrugada de terça-feira. Mesmo assim, abandonar a ilha está fora de questão. “Brava treme todos os dias. Já estamos acostumados, portanto, isso não nos afecta”, observa tranquila. Os “forasteiros” – chefes de serviços e pessoas colocadas na ilha – e familiares em outros pontos do país e no exterior é que não aparentam a mesma disposição dos bravenses. “Na sexta-feira, aquando do primeiro tremor, senti medo. Mas já estamos mais ou menos acostumados, depois das muitas réplicas registadas no sábado e no domingo que nem deu para perceber os tremores da última terça-feira”, refere o delegado da Electra. Outra inquietação da autarquia tem a ver com as casas velhas e os barrancos que podem ruir por causa dos sucessivos tremores. Segundo o vereador, devido à queda das chuvas dos últimos dias, os terrenos estão moles e, por causa disso, sempre que a ilha treme, a Câmara é confrontada com a queda de mais barrancos”.

23 de Junho de 2006

“Actividade sísmica na Brava. Danos foram pequenos”

“A equipa de avaliação do Serviço Nacional de Protecção Civil, que se deslocou à Brava na segunda-feira, 19, para avaliar no terreno as perturbações causadas pelos abalos sísmicos que fustigaram a ilha nos dias 17 e 18, concluiu que os danos foram apenas materiais e de pouco valor. “A equipa registou duas casas velhas parcialmente ruídas e algumas fissuras numa das instalações da Câmara Municipal”, enumera o responsável do SNPC, que aproveita para informar os cabo-verdianos que os abalos sísmicos ocorridos nas proximidades da ilha das flores, conforme análises técnicas, foram de pequena intensidade e não provocaram vítimas. O capitão José Graça destaca ainda a colaboração das autoridades locais que estão a trabalhar em coordenação com o SNPC para que as pessoas afectadas beneficiem de alguma atenção e possam regressar à sua vida normal. “Por exemplo, após a avaliar a situação, mobilizamos os meios e montamos duas tendas com condições aceitáveis de habitabilidade, que acolheram as duas famílias cujas casas ficaram danificadas”.

Jornal “Expresso das Ilhas”

21 de Junho de 2006

“Sismo na ilha Brava levanta divergências quanto à sua origem. Falhas tectónicas ou actividades vulcânicas submarinas dividem investigadores.”

“Desconhece-se a magnitude da actividade sísmica, que abalou na madrugada de sábado, para domingo, a ilha Brava – onde, com frequência ocorrem abalos sísmicos de fraca intensidade devido à inoperacionalidade dos sismógrafos ali instalados, desde 1995, altura da última erupção vulcânica registada na vizinha ilha do Fogo. Dessa actividade sísmica não houve feridos, tendo-se verificado apenas danos materiais, pouco significativos, designadamente, fissuras nas paredes de algumas casas e uma parte do tecto do edifício da Câmara Municipal que ruiu.

JORNAIS ONLINE

Inforpress

Consultado a 15/07/2009 às 17:45

Ilha da Brava tremeu

Brava, 18 Junho de 2006 - A ilha Brava foi sacudida na madrugada de hoje por um forte abalo sísmico. Não há vítimas mortais, mas, de acordo com o correspondente da Rádio de Cabo Verde na ilha das Flores, houve apenas danos materiais.

Algumas casas afectadas apresentam fissuras nas paredes e uma parte do tecto do edifício da Câmara Municipal ruiu. A situação preocupa as autoridades municipais e os residentes de Nova Sintra estão em grande número na rua, com receio de possíveis réplicas.

Mesmo desconhecendo a intensidade dos abalos sísmicos, o presidente da Câmara Municipal da Brava, Camilo Gonçalves mostra-se preocupado, afirmando que este novo abalo põe a nu o problema do isolamento que, há anos, afecta a ilha Brava e lamenta o facto de a ilha continuar a debater-se, em pleno século XXI, com problemas de transporte.

Este sismo ocorre numa altura em que decorrem no País os exercícios da NATO que seguidamente terão uma vertente de ajuda humanitária, numa simulação de erupção do vulcão do Fogo, por isso Camilo Gonçalves não exclui a possibilidade de um estudo conjunto Cabo Verde – NATO versando a problemática da vulcanologia, para que o país possa estar preparado para fazer face a este fenómeno da natureza.

Portugal Digital - Brasil/Portugal

Tremores de terra abalam ilha de Cabo Verde

Praia - A ilha da Brava, a mais pequena das nove habitadas do arquipélago de Cabo Verde, foi sacudida quarta-feira por seis abalos sísmicos sem causar vítimas, noticiou a Panapress. A ilha da Brava é frequentemente abalada por sismos, alguns dos quais de forte intensidade. Devido à falta de sismógrafos nessa ilha situada a escassos quilómetros da ilha do Fogo, onde existe um vulcão activo que entrou em erupção em 1995, foi impossível determinar a intensidade dos tremores.

De acordo com fontes no local, os equipamentos colocados pelo Laboratório de Engenharia Civil nas ilhas da Brava e do Fogo teriam sido alvo de actos de vandalismo que levaram à sua desactivação temporária.

A ilha da Brava é frequentemente abalada por sismos, alguns dos quais de forte intensidade, tal como o que aconteceu a 18 de Junho de 2006, que provocou danos materiais em habitações e deixou dezenas de pessoas desalojadas.

www.achanoticias.com.br e www.portugaldigital.com.br, consultados no dia 22/09/2009 às 17:34

Notícias Lusófonas

Forte sismo assusta população da ilha Brava, apenas danos materiais

19-Jun-2006 - 17:28

A ilha Brava, a mais pequena de Cabo Verde, situada no Sotavento do arquipélago, foi sacudida por um forte abalo sísmico na madrugada de sábado, disse hoje à Agência Lusa fonte do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Não há registo de danos humanos, apenas materiais, e o LNEC cabo-verdiano está no terreno desde a manhã de hoje com uma equipa, transportada por um helicóptero da NATO, que está em exercícios no país, para averiguar a dimensão do abalo.

Até ao momento, explicou à Lusa o presidente do LNEC, António Gonçalves, por dificuldades técnicas, "ainda não foi possível determinar a magnitude do sismo", embora seja já possível saber que "este foi bastante mais intenso que os normais que atingem a ilha".

"A ilha Brava é diariamente atingida por sismos de baixa intensidade, a maior parte dos quais não é sentido pela população, mas este foi além do normal e deixou as pessoas algo inquietas devido a alguns estragos materiais em casas e edifícios públicos", explicou."

<http://www.noticiaslusofonas.com/view.php?load=arcvview&article=14894&catogory=Cabo%20Verde> consultado a 22/09/2009 às 17:00

Liberal Online

18 Jun 2006, 13:08h

Bravenses surpreendidos com forte abalo sísmico na madrugada de hoje Ilha da Brava tremeu

Brava, 18 Junho - A ilha Brava foi sacudida na madrugada de hoje por um forte abalo sísmico. Não há vítimas mortais, mas, de acordo com o correspondente da Rádio de Cabo Verde na ilha das Flores, houve apenas danos materiais.

Algumas casas afectadas apresentam fissuras nas paredes e uma parte do tecto do edifício da Câmara Municipal ruiu. A situação preocupa as autoridades municipais e os residentes de Nova Sintra estão em grande número na rua, com receio de possíveis réplicas.

Mesmo desconhecendo a intensidade dos abalos sísmicos, o presidente da Câmara Municipal da Brava, Camilo Gonçalves mostra-se preocupado, afirmando que este novo abalo põe a nu o problema do isolamento que, há anos, afecta a ilha Brava e lamenta o facto de a ilha continuar a debater-se, em pleno século XXI, com problemas de transporte.

Este sismo ocorre numa altura em que decorrem no País os exercícios da NATO que seguidamente terão uma vertente de ajuda humanitária, numa simulação de erupção do vulcão do Fogo, por isso Camilo Gonçalves não exclui a possibilidade de um estudo conjunto Cabo Verde – NATO versando a problemática da vulcanologia, para que o país possa estar preparado para fazer face a este fenómeno da natureza.

<http://liberal.sapo.cv/index.asp?IdEdicao=50&idSeccao=483&id=8208&Action=noticia>
consultado a 22/09/2009 às 17:15

Pequenos abalos sísmicos foram sentidos na ilha

Vila de Nova Sintra, 02 Março 2011 - A Brava está a ser afectada por abalos sísmicos de pequena intensidade, escreve hoje a Inforpress, com base em testemunhos de pessoas que vivem na ilha.

Ainda assim, estas sucessivas réplicas têm causado alguma preocupação junto da população, já que depois dos abalos registados ontem, estas réplicas voltaram a ser sentidas provavelmente com mais intensidade durante praticamente toda a madrugada de hoje.

De acordo com um dos habitantes da cidade de Nova Sintra, contactada pela agência, Helga Gonçalves, “se na madrugada de segunda para terça-feira” apenas ouviu relatos do tremor de terra depois de acordar, já esta madrugada por volta das quatro horas sentiu a terra a tremer, “provocando mesmo pânico em casa”. Helga Gonçalves acrescentou que a mãe, Geovavina Gonçalves, passou inclusive por alguns momentos de aflição. Segundo esta testemunha, ela e mãe tiveram de sair à rua com medo que o pior acontecesse.

Perante estas réplicas, a população da Brava volta a levantar a problemática da falta de um sismógrafo e técnicos especializados nesta ilha, assim como de um serviço de emergência para precaver possíveis casos de evacuações, termina assim a notícia da Inforpress.

<http://liberal.sapo.cv/noticia.asp?idEdicao=64&id=32009&idSeccao=517&Action=noticia>
consultado no dia 06/03/11 às 10:10

Expresso das Ilhas

Tremores de terra abalam Cabo Verde

Praia, Cabo Verde (PANA) - A ilha da Brava, a mais pequena das nove habitadas do arquipélago de Cabo Verde, foi sacudida quarta-feira por seis abalos sísmicos sem causar vítimas, soube a PANA na capital cabo-verdiana, Praia, de fonte segura.

Devido à falta de sismógrafos nessa ilha situada a escassos quilómetros da ilha do Fogo, onde existe um vulcão activo que entrou em erupção em 1995, foi impossível determinar a intensidade dos tremores.

De acordo com fontes no local, os equipamentos colocados pelo Laboratório de Engenharia Civil nas ilhas da Brava e do Fogo teriam sido alvo de actos de vandalismo que levaram à sua desactivação temporária.

A ilha da Brava é frequentemente abalada por sismos, alguns dos quais de forte intensidade, tal como o que aconteceu a 18 de Junho de 2006, que provocou danos materiais em habitações e deixou dezenas de pessoas desalojadas.

O presidente da Câmara Municipal da Brava, Camilo Gonçalves, alertou as autoridades governamentais para a necessidade de se começar a desencadear mecanismos de segurança para fazer face a situações de maior complexidade resultantes dos abalos sísmicos que afectam a ilha periodicamente.

"A população da Brava está habituada a estes sismos, mas é preciso ter em conta que as residências são antigas", explicou Camilo Gonçalves em declarações à Rádio de Cabo Verde (RCV), apelando ao Governo central para reforçar a segurança das habitações locais, muitas das quais em risco de ruir.

Aquando dos abalos registados no ano passado, Camilo Gonçalves tinha chamado a atenção do Governo para a precariedade das habitações, muitas das quais são antigas e bastante degradadas. Tendo em conta que a maior parte dos proprietários dessas casas carecem de recursos para a sua manutenção regular, o edil exigiu que a ilha fosse incluída nas políticas e programas nacionais de construção ou de beneficiação de habitações de pessoas vulneráveis, mas até agora nada foi feito.

Ilha Brava: tremores de terra sem vítimas

07 Out 2000

A ilha Brava (Cabo Verde) foi abalada ontem por vários tremores de terra. Os abalos não causaram danos, mas a população ficou alarmada. A rede de controlo sísmico e vulcânico do Fogo registou actividade do vulcão e os técnicos admitem a hipótese de nova erupção.

A ilha Brava, no extremo Sul do arquipélago de Cabo Verde, foi abalada ontem por vários tremores de terra, o primeiro dos quais «muito forte», segundo uma fonte local citada pela rádio nacional.

Em declarações à estação radiofónica, o padre Paulino disse às 23:00 locais (mais duas horas em Lisboa) que os abalos não causaram danos, mas que a «população se alarmou».

«A situação está agora mais calma, mas as pessoas estão na rua e vão passar a noite ao relento, por precaução», disse o pároco bravense, explicando que o movimento telúrico começou cerca das 18:30, tendo-se repetido com intervalos de aproximadamente meia hora. No contacto para a rádio, o padre Paulino pediu a deslocação para a Brava de um navio «para, no caso de algum acidente, se transportarem pessoas».

«É normal a minha preocupação porque nós estamos mais isolados do que o resto de Cabo Verde», disse o pároco, referindo-se às duas únicas ligações marítimas semanais da ilha com o resto do arquipélago.

Na Cidade da Praia, segundo a estação radiofónica, o primeiro-ministro está reunido com o Ministro-adjunto e da Defesa Nacional, tutela da protecção civil, para o estabelecimento de um plano de emergência, que incluirá a colocação de um navio no porto da Furna, para o caso de vir a ser necessário proceder a acções de evacuação.

Os sismos de ontem na Brava ocorreram uma semana depois de a rede de controlo sísmico e vulcânico do Fogo ter registado um agravamento da actividade do vulcão, com os técnicos a admitirem a hipótese de nova erupção. A mais recente erupção do vulcão do Fogo data de Abril de 1995.

Cabo Verde: Sismos abalam ilha Brava 2007-01-16

Três sismos foram hoje sentidos durante a manhã na ilha Brava, a mais pequena do arquipélago de Cabo Verde, sem causar feridos ou danos materiais significativos, noticiou a Rádio de Cabo Verde.

Em declarações à rádio, o presidente da câmara da Brava afirmou que, apesar de não terem sido registados danos significativos, a situação é suficientemente grave para que sejam accionados mecanismos de segurança; e alertadas as autoridades nacionais; devido à deterioração dos edifícios existentes.

A ilha Brava, situada a escassos quilómetros da ilha do Fogo, onde existe um vulcão que em 1995 fez centenas de desalojados, é frequentemente abalada por sismos, alguns dos quais de forte intensidade.

Brava: pequenos abalos sísmicos afectam a ilha desde ontem

A ilha da Brava está a ser abalada por pequenos tremores de terra desde ontem, e durante toda a madrugada de hoje. Apesar da preocupação da população, não se registraram quaisquer ocorrências graves.

De acordo com um dos habitantes da cidade de Nova Sintra, contactada pela Inforpress, Helga Gonçalves, "se na madrugada de segunda para terça-feira" apenas ouviu relatos do tremor de terra depois de acordar, já esta madrugada, por volta das quatro horas, sentiu a terra a tremer, "provocando mesmo pânico em casa".

Perante estas réplicas, a população da Brava volta a levantar a problemática da falta de um sismógrafo e técnicos especializados nesta ilha, assim como de um serviço de emergência para possíveis casos de evacuações.

Fonte: Inforpress/ExpressodasIlhas

<http://www.expressodasilhas.sapo.cv/pt/noticias/detail/id/23375> consultado no dia 06/03/11 às 10:09

Bravanews

Brava volta a tremer e clama-se por um aparelho de registo

01 de Março 2011

A ilha Brava volta a tremer durante o dia de hoje. Sismos de pequena intensidade, mas que normalmente preocupa, isso porque não ilha não existe nenhum sismógrafo, que possa registar o grau dos abalos.

Eram por volta da meia noite e trinta minutos, quando se sentiu o primeiro abalo, seguindo de pequenas réplicas. Esta situação continuou durante parte todo o dia, mas nada que possa preocupar, pois não foi registado qualquer dano material.

Vem à baila a necessidade de se ter na ilha um sismógrafo e técnicos abalizados para estudar a situação e esclarecer a população, mas falta ainda um serviço de emergência, para ocorrer a possíveis situações piores. Uma preocupação tem que ver com casas já velhas e a cair de velho, tendo que albergar famílias inteiras.

<http://www.bravanews.com/?c=118&a=3522> consultado no dia 06/03/11 às 10:06

JORNAL DE NOTÍCIAS

Cabo Verde: Sismos abalam ilha Brava

16.01.2007 - 00:00

Três sismos foram hoje sentidos durante a manhã na ilha Brava, a mais pequena do arquipélago de Cabo Verde, sem causar feridos ou danos materiais significativos, noticiou a Rádio de Cabo Verde.

Em declarações à rádio, o presidente da câmara da Brava afirmou que, apesar de não terem sido registados danos significativos, a situação é suficientemente graves para que sejam accionados mecanismos de segurança e alertadas as autoridades nacionais devido à deterioração dos edifícios existentes.

A ilha Brava, situada a escassos quilómetros da ilha do Fogo, onde existe um vulcão que em 1995 fez centenas de desalojados, é frequentemente abalada por sismos, alguns dos quais de forte intensidade.

http://www.jn.pt/PaginaInicial/Interior.aspx?content_id=684782 consultado no dia 06/03/11 às 11:00

PANAPRESS

Tremores de terra abalam Cabo Verde

2007 13:17:00

Praia- Cabo Verde (PANA) - A ilha da Brava, a mais pequena das nove habitadas do arquipélago de Cabo Verde, foi sacudida quarta-feira por seis abalos sísmicos sem causar vítimas, soube a PANA na capital cabo-verdiana, Praia, de fonte segura.

Devido à falta de sismógrafos nessa ilha situada a escassos quilómetros da ilha do Fogo, onde existe um vulcão activo que entrou em erupção em 1995, foi impossível determinar a intensidade dos tremores.

De acordo com fontes no local, os equipamentos colocados pelo Laboratório de Engenharia Civil nas ilhas da Brava e do Fogo teriam sido alvo de actos de vandalismo que levaram à sua desactivação temporária.

A ilha da Brava é frequentemente abalada por sismos, alguns dos quais de forte intensidade, tal como o que aconteceu a 18 de Junho de 2006, que provocou danos materiais em habitações e deixou dezenas de pessoas desalojadas.

O presidente da Câmara Municipal da Brava, Camilo Gonçalves, alertou as autoridades governamentais para a necessidade de se começar a desencadear mecanismos de segurança para fazer face a situações de maior complexidade resultantes dos abalos sísmicos que afectam a ilha periodicamente.

"A população da Brava está habituada a estes sismos, mas é preciso ter em conta que as residências são antigas", explicou Camilo Gonçalves em declarações à Rádio de Cabo Verde (RCV), apelando ao Governo central para reforçar a segurança das habitações locais, muitas das quais em risco de ruir.

Aquando dos abalos registados no ano passado, Camilo Gonçalves tinha chamado a atenção do Governo para a precariedade das habitações, muitas das quais são antigas e bastante degradadas.

Tendo em conta que a maior parte dos proprietários dessas casas carecem de recursos para a sua manutenção regular, o edil exigiu que a ilha fosse incluída nas políticas e programas nacionais de construção ou de beneficiação de habitações de pessoas vulneráveis, mas até agora nada foi feito.

<http://www.panapress.com/Tremores-de-terra-abalam-Cabo-Verde--3-417436-51-lang3-index.html> consultado no dia 06/03/11 às 10:24

ANEXO III

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
1	1815/16	?	Brava	?	Erupção de 1816 com sismos na Brava ao mesmo tempo.	Abranches (1877)	Erupção vulcânica
2	09/04/1847	?	Brava	Violentos	Erupção de 1847 precedida e acompanhada de três abalos de terra e ruídos subterrâneos. Na ilha Brava também houve violentos tremores.	Ribeiro (1960); Senna Barcelos (1899)	Erupção vulcânica
3	Início do séc. XX	?	Brava	Forte	Forte tremor de terra originou a destruição de numerosas casas e a abertura de fendas em paredes e muros de várias povoações.	Miranda (1947)	
4	03/02/1903	?	Brava	?		Jornal “Opinião”	
5	23/05/1912	06:00	Brava	?	... Tremor insignificante.	Friedlaender (1913)	
6	14/02/1938	01:30	Brava	Violentíssimos	Três abalos de terra com ruídos subterrâneos. Com maior intensidade do que nas outras ilhas. A impressão que nos ficou foi a deste arquipélago ter estado na periferia de vibrações provocadas por alguma série de violentíssimos abalos cujo centro deve ter sido em qualquer região longínqua. Não houve felizmente desastres pessoais ou materiais a lamentar.	Jornal “Notícias de Cabo Verde”	
7	14/02/1938	02:30	Brava	Violentíssimos			
8	14/02/1938	05:00	Brava	Violentíssimos			
9	(?) 1942	?	Nova Sintra (Brava)	Intensidade média	Foi sentido um sismo de intensidade média.	Miranda (1947)	
10	26/02/1944	10:47	Nova Sintra (Brava)	VI	Várias réplicas; Móveis estremeceram fortemente, relógios de pêndulo oscilaram; Queda de estuque e fendas nas paredes.	Miranda (1947)	
11	26/02/1944	12:48	Nova Sintra (Brava)	IV – V		Anuário Sismológico de Portugal, Vol. I	
12	22/07/1947	11:05	Nova Sintra (Brava)	IV		Anuário Sismológico de Portugal Vol. I; Ferreira (1956)	
13	23/07/1947	01:25	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
14	23/07/1947	01:46	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
15	23/07/1947	02:26	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
16	23/07/1947	03:37	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
17	31/01/1948	02:50	Nova Sintra (Brava)	III		Idem	
16	31/01/1948	10:43	Nova Sintra (Brava)	III		Idem	
17	16/01/1950	18:42	Nova Sintra (Brava)	III		Idem	
18	16/01/1950	18:44	Nova Sintra (Brava)	III		Idem	
19	16/01/1950	19:02	Nova Sintra (Brava)	III		Idem	
20	05/03/1950	21:09	Nova Sintra (Brava)	III		Idem	
21	12/06/1951	7:45	Fogo e Brava	V	Violentos abalos de terra precederam e acompanharam o início da erupção de 1951. Não houve danos registados na Brava.	Ribeiro (1960); Matias <i>et al.</i> (1997)	Erupção vulcânica
22	12/06/1951	10:15	Nova Sintra (Brava)	II		Idem	Erupção vulcânica
23	03/08/1951	06:45	Nova Sintra (Brava)	IV	Ruídos subterrâneos	Idem	
24	25/02/1952	18:14	Nova Sintra (Brava)	IV - V	Observado em toda a ilha. Ruídos subterrâneos. Novo abalo 3segundos depois.	Idem	
25	26/02/1952	07:04	Nova Sintra (Brava)	IV - V	Observado em toda a ilha. Ruídos subterrâneos. Novo abalo 2segundos depois.	Idem	
26	01/07/1953	05:53	Nova Sintra (Brava)	V	Ruídos subterrâneos. Mais 2 abalos de menor intensidade. Observados em toda a ilha.	Anuário Sismológico de Portugal Vol. I e Ferreira (1956)	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
27	02/07/1953	21:19	Nova Sintra (Brava)	IV - V	Ruídos subterrâneos. Mais 5 abalos de menor intensidade desde as 10:16. Observados em toda a ilha.	Anuário Sismológico de Portugal Vol. I; Ferreira (1956)	
28	04/06/1954	04:54	Nova Sintra (Brava)	IV - V		Ferreira (1956)	
29	21/06/1954	04:54	Nova Sintra (Brava)	IV - V	Observado em toda a ilha.	Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
30	15/10/1954	15:08	Nova Sintra (Brava)	III - IV		Anuário Sismológico de Portugal Vol. I; Ferreira (1956)	
31	08/11/1954	09:26	Nova Sintra (Brava)	III - IV	Ruídos subterrâneos	Anuário Sismológico de Portugal Vol. I; Ferreira (1956)	
32	19/12/1956	23:30	Nova Sintra (Brava)	III - IV	Ruídos subterrâneos	Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
33	20/12/1956	20:30	Nova Sintra (Brava)	III - IV	Ruídos subterrâneos	Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
34	21/12/1956	03:44	Nova Sintra (Brava)	III - IV	Ruídos subterrâneos	Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
35	21/12/1956	15:40	Nova Sintra (Brava)	III - IV		Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
36	01/04/1963	4:45	Nova Sintra (Brava)	?	Verificou-se um total de sete abalos até às 06 da manhã.	Jornal “O Arquipélago”	
37	01/04/1963	06:38	Nova Sintra (Brava)	III - IV	Ruídos subterrâneos	Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
38	01/04/1963	06:45	Nova Sintra (Brava)	IV	Ruídos subterrâneos	Idem	
39	05/04/1963	01:55	Nova Sintra (Brava)	IV	Ruídos subterrâneos	Idem	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
40	08/07/1963	06:42	Nova Sintra (Brava)	IV - V	Fez oscilar as paredes, portas e janelas dos prédios.	Anuário Sismológico de Portugal Vol. I e Jornal “O Arquipélago”	
41	09/07/1963	22:30	Nova Sintra (Brava)	IV		Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
42	10/07/1963	03:48	Nova Sintra (Brava)	IV - V		Idem	
43	14/07/1963	11:27	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
44	14/07/1963	16:14	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
45	14/07/1963	18:18	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
46	14/07/1963	22:30	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
47	14/07/1963	22:33	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
48	14/07/1963	22:40	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
49	16/07/1963	05:24	Nova Sintra (Brava)	III - IV		Idem	
51	04/08/1963	21:36	Nova Sintra (Brava)	?		Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
53	04/08/1963	21:40	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
54	04/08/1963	21:57	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
55	05/08/1963	00:00	Nova Sintra (Brava)	?		Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
56	05/08/1963	19:50	Nova Sintra (Brava)	Violento	Desabaram duas pequenas casas, uma no sítio de Pé de Rocha e outra no Lém. Durante a noite registou-se outro abalo, mas de menor intensidade.	Jornal “O Arquipélago”	
57	05/08/1963	21:55	Nova Sintra (Brava)	IV - V		Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
58	05/08/1963	22:57	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
59	06/08/1963	23:07	Nova Sintra (Brava)	III - IV		Idem	
60	06/08/1963	23:10	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
61	06/08/1963	23:19	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
62	12/08/1963	10:50	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
63	14/08/1963	09:22	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
64	14/08/1963	09:25	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
65	14/08/1963	12:21	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
66	14/08/1963	12:23	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
67	14/08/1963	13:38	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
68	14/08/1963	13:59	Nova Sintra (Brava)	?		Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
69	14/08/1963	14:08	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
70	15/08/1963	01:53	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
71	15/08/1963	06:53	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
72	15/08/1963	07:02	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
73	15/08/1963	12:25	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
74	15/08/1963	19:10	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
75	15/08/1963	19:33	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
76	16/08/1963	08:30	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
77	16/08/1963	20:53	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
78	16/08/1963	21:12	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
79	18/08/1963	10:09	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
80	18/08/1963	10:29	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
81	22/08/1963	08:50	Nova Sintra (Brava)	?		Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	
82	24/08/1963	07:04	Nova Sintra (Brava)	?	Apesar da violência dos abalos apenas algumas casas apresentavam pequenas fendas. O edifício dos CTT (Correios e Telecomunicações) ficou muito danificado.	Anuário Sismológico de Portugal Vol. I; Jornal “O Arquipélago”	
83	24/08/1963	07:55	Nova Sintra (Brava)	?			
84	24/08/1963	07:58	Nova Sintra (Brava)	?			
85	24/08/1963	08:40	Nova Sintra (Brava)	?			
86	24/08/1963	10:35	Nova Sintra (Brava)	?			
87	24/08/1963	14:05	Nova Sintra (Brava)	?			
88	24/08/1963	20:25	Nova Sintra (Brava)	?			
89	24/08/1963	21:08	Nova Sintra (Brava)	?			
90	02/09/1963	18:15	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
91	03/09/1963	21:20	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
92	05/09/1963	09:30	Nova Sintra (Brava)	III - IV	Observado em toda a ilha.	Anuário Sismológico de Portugal Vol. I; Jornal “O Arquipélago”	
93	13/09/1963	00:10	Nova Sintra (Brava)	IV		Anuário Sismológico de Portugal Vol. I	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
94	17/09/1963	19:15	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
95	28/09/1963	21:05	Nova Sintra (Brava)	II - III		Idem	
96	28/09/1963	22:00	Nova Sintra (Brava)	?		Idem	
97	29/12/1963	05:42	Nova Sintra (Brava)	IV		Idem	
98	27/02/1964	-	Nova Sintra (Brava)	Pouca intensidade	Voltaram a sentir-se nesta ilha diversos abalos sísmicos, de pouca intensidade e sem qualquer prejuízo.	Jornal “O Arquipélago”	
99	16/11/1980	-	Nova Sintra (Brava)	Fraca		Jornal “Voz di Povo”	
100	17/11/1980	-	Nova Sintra (Brava)	Fraca		Idem	
101	25/10/1980	12:00	Brava	Fraca	6 Sismos, do 1º para o 2º dois minutos e os restantes com intervalo de mais ou menos duas horas.	Monteiro (1981)	
102	29/10/1980	13:00	Brava	Fraca	4 Sismos, do 1º para o 2º um minuto e os restantes com intervalo de mais ou menos 1 hora.	Monteiro (1981)	
103	01/01/1981	01:00	Brava	Fraca		Idem	
104	16/03/1981	12:00	Brava	Fraca	17 Sismos, alguns com intervalos de 20 minutos, outros com intervalo de 2 horas.	Idem	
105	19/03/1981	04:00	Brava	?	Alguns edifícios sofreram alguns danos como fendas, desmoronamento de rochas.	Idem	
106	19/03/1981	06:30	Brava	Forte			
107	20/03/1981	06:30	Brava	Forte			
108	20/03/1981	09:30	Brava				
109	20/03/1981	11:00	Brava				
110	20/03/1981	14:30	Brava				

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
111	20/03/1981	21:00	Brava		Alguns edifícios sofreram alguns danos como fendas; desmoronamento de rochas,	Monteiro (1981)	
112	23/03/1981	10:00	Brava				
113	26/03/1981	08:32	Brava	Forte			
114	26/03/1981	08:35	Brava	Menos violento			
115	26/03/1981	10:30	Brava	Menos Violento		Idem	
116	19/03/1981	Entre as 4 e 6h da madrugada	Nova Sintra (Brava)	Violentos		Jornal “Voz di Povo”	
117	12/1980 e 05/1981	?	Brava	IV - VI		Matias <i>et al.</i> (1997)	
118	16/04/1981	13:57	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
119	16/04/1981	22:38	Brava	?		Idem	
120	17/04/1981	01:05	Brava	?		Idem	
121	17/04/1981	01:25	Brava	?		Idem	
122	17/04/1981	01:47	Brava	?		Idem	
123	17/04/1981	01:53	Brava	?		Idem	
124	17/04/1981	02:02	Brava	?		Idem	
125	17/04/1981	03:38	Brava	?		Idem	
126	17/04/1981	03:53	Brava	?		Idem	
127	17/04/1981	04:35	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
128	17/04/1981	06:05	Brava	?		Idem	
129	17/04/1981	12:29	Brava	?		Idem	
130	17/04/1981	23:24	Brava	?		Idem	
131	18/04/1981	02:01	Brava	?		Idem	
132	18/04/1981	02:44	Brava	?		Idem	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
133	18/04/1981	02:45	Brava	?		Pires & Neves (1981)	
134	18/04/1981	02:46	Brava	Magn.- 2,6	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
135	18/04/1981	02:52	Brava	?		Idem	
136	18/04/1981	02:55	Brava	?		Idem	
137	18/04/1981	04:36	Brava	?		Idem	
138	18/04/1981	04:38	Brava	?		Idem	
139	19/04/1981	21:38	Brava	Magn. - 2,7	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
140	19/04/1981	21:40	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
141	19/04/1981	21:50	Brava	?		Idem	
142	20/04/1981	00:05	Brava	?		Idem	
143	20/04/1981	02:41	Brava	?		Idem	
144	20/04/1981	02:48	Brava	?		Idem	
145	20/04/1981	04:37	Brava	?		Idem	
146	20/04/1981	05:54	Brava	?		Idem	
147	20/04/1981	06:00	Brava	?		Idem	
148	20/04/1981	23:26	Brava	?		Idem	
149	21/04/1981	00:44	Brava	?		Idem	
150	21/04/1981	01:25	Brava	?		Idem	
151	21/04/1981	00:44	Brava	?		Idem	
152	21/04/1981	06:40	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
153	24/04/1981	05:18	Brava	?		Idem	
154	24/04/1981	22:20	Brava	?		Idem	
155	24/04/1981	22:58	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
156	25/04/1981	00:41	Brava	2,7	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
157	25/04/1981	00:56	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
158	25/04/1981	01:38	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
159	25/04/1981	01:47	Brava	2,7-2,8	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
150	25/04/1981	02:35	Brava	?		Idem	
161	25/04/1981	02:55	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
162	25/04/1981	04:58	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Pires & Neves (1981)	
163	25/04/1981	05:00	Brava	2,8	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
164	25/04/1981	05:31	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
165	26/04/1981	04:20	Brava	?		Idem	
166	26/04/1981	21:26	Brava	?		Idem	
167	26/04/1981	23:46	Brava	?		Idem	
168	27/04/1981	03:31	Brava	2,9	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
169	27/04/1981	04:03	Brava	?		Idem	
170	27/04/1981	04:07	Brava	?		Idem	
171	27/04/1981	04:19	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
172	27/04/1981	04:26	Brava	?		Idem	
173	27/04/1981	05:02	Brava	?		Idem	
174	27/04/1981	05:09	Brava	?		Idem	
175	27/04/1981	05:30	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
176	27/04/1981	06:24	Brava	?		Idem	
177	27/04/1981	06:45	Brava	?		Idem	
178	27/04/1981	07:05:31	Brava	?		Idem	
179	27/04/1981	07:05:48	Brava	?		Idem	
180	28/04/1981	01:22	Brava	?		Idem	
181	28/04/1981	01:48	Brava	?		Idem	
182	29/04/1981	04:50	Brava	?		Idem	
183	29/04/1981	21:11	Brava	?	Ocorreu um sismo à mesma hora na ilha do Fogo	Idem	
184	29/04/1981	04:50	Brava	?		Idem	
185	29/04/1981	21:54	Brava	?		Idem	
186	30/04/1981	01:34	Brava	?		Idem	
187	30/04/1981	05:03	Brava	?		Idem	
188	01/05/1981	21:00	Brava	?		Idem	
189	02/05/1981	04:36	Brava	?		Idem	
190	04/05/1981	03:26	Brava	?		Idem	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
191	04/05/1981	21:18	Brava	?		Pires & Neves (1981)	
192	04/05/1981	21:43	Brava	?		Idem	
193	04/05/1981	22:39	Brava	?		Idem	
194	04/05/1981	23:37	Brava	?		Idem	
195	05/05/1981	02:00:20	Brava	?		Idem	
196	05/05/1981	02:00:54	Brava	?		Idem	
197	05/05/1981	02:11	Brava	?		Idem	
198	05/05/1981	02:59	Brava	?		Idem	
199	05/05/1981	04:10	Brava	?		Idem	
200	8-9/07/1985	?	Brava	Fraca		Jornal “Voz di Povo”	
201	11/07/1985	?	Brava	Violento	Provocou fendas nas paredes e desabamentos das rochas. Houve uma vítima mortal: uma criança de 4 anos.	Idem	
202	25- 26/10/1988	-	Brava	Proporções consideráveis	Houve alguns estragos materiais, nomeadamente a destruição da estação de bombagem de água à vila de Nova Sintra e a obstrução parcial do troço de estrada que dá acesso à povoação de Fajã d’Água/Esparadinha.	Jornal “Voz di Povo”	
203	02/04/1995	22:30	Fogo e Brava	V	Erupção de 1995 precedida e acompanhada de abalos de terra.	Matias <i>et al.</i> (1997)	Erupção vulcânica
204	18/09/1998	?	Brava	Magnitude - 4,9	Registado pelo navio Meteor M62/3	Grevemeyer et al. (2009); Faria (2010)	Erupção vulcânica submarina
205	06/10/2000	18:30	Brava	Muito forte	Vários tremores de terra, o primeiro dos quais “muito forte”, tendo repetido com intervalos de aproximadamente meia hora. Os abalos não causaram danos, mas que a “população se alarmou”.	Jornal “Horizonte”	
206	06- 13/10/2000	?	Brava	3 (escala de Richter)	Constantes tremores de terra, com muitas réplicas.	Jornal “A Semana”	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
207	17/08/2004	?	Brava	Magnitude - 4,3	Registado pelo navio Meteor M62/3 e sentido pela população.	Grevenmeyer et al. (2009); Faria (2010)	Erupção vulcânica submarina
208	17-18/06/2006	?	Brava	Pequena	Duas casas velhas parcialmente ruínas e algumas fissuras numa das instalações da Câmara Municipal, segundo a Protecção Civil.	Jornal “A Semana”	
209	18/06/2006	Madrugada	Brava		Fissuras nas paredes de algumas casas e uma parte do tecto do edifício da Câmara Municipal que ruuiu.	Jornal “Expresso das Ilhas”	
210	16/01/2007	?	Brava	Fortes	Seis abalos sísmicos	Jornal “Horizonte”	
211	16/01/2007	Manhã	Brava	?	Três sismos foram hoje sentidos durante a manhã na ilha Brava, a mais pequena do arquipélago de Cabo Verde, sem causar feridos ou danos materiais significativos	Jornal “Horizonte”	
212	(?) Março 2010	01:45	Brava – Vila Nova Sintra	Fraca	Sentido por algumas pessoas que acordaram. Alguns testemunhos indicam que portas e janelas tremeram. Duração de poucos segundos.	Comunicação oral de várias pessoas na ilha Brava (21 e 22 de Abril 2010).	
213	02/07/2010	06:15	Nova Sintra (Brava)	Fortes	Sentido por todas as pessoas. Barulho nos telhados e objectos a mexer.	Anselmo de Pina – natural da ilha (comunicação oral)	
214	01/03/2011	00:30	Nova Sintra (Brava)	Pequena intensidade	Sentido por algumas pessoas.	http://noticias.sapo.cv/inforpress/artigo/25574.html	
215	02/03/2011	04:00	Nova Sintra (Brava)	Mais intensa do que a do dia 01 de Março	Várias pessoas acordaram, algumas entraram em pânico e saíram à rua.	http://noticias.sapo.cv/inforpress/artigo/25574.html	

EVENTOS SÍSMICOS OCORRIDOS NA ILHA BRAVA

Nº	Data	Hora	Local	Intensidade/ Magnitude	Observações	Fonte	Mecanismo desencadeador
216	11/08/2011	02:00	Nova Sintra (Brava); a NE da ilha a 2720Km da Forna (possível epicentro)	Magnitude 4,2	Duração: Cerca de 1 minuto. Sentido pela população. Sismo intenso.	http://noticias.sapo.cv/inforpress/ artigo/34901.html http://www.visaonews.com/inde x.php?option=com_content&vie w=article&id=9072:brava- voltou-a-tremer-esta- madrugada&catid=71:cabo- verde&Itemid=124 www.snpc.cv	
217	13/08/2011	?	SW da Brava - Cadamoto	?		www.snpc.cv	
218	26/04/2012	16:00	Nova Sintra	Fraca intensidade	O sismo foi sentido por várias pessoas.	Comunicação oral Sandra Andrade, moradora na ilha Brava.	
219	18/09/2013	8:30	Nova Sintra	Fraca intensidade	Foi muito rápido, não houve pânico. Não há registo de quaisquer danos materiais. O sismo foi sentido por várias pessoas principalmente as que se encontravam em casa.	asemanaonline	
220	23/11/2014	Por volta das 03:00	Nova Sintra	Fraca intensidade	Foi sentido pela população.	http://www.bravanews.com/en/articl es/2014/11/23/brava-treme-por- causa-da-erup%C3%A7%C3%A3o- no-fogo#sthash.iOQ683tL.dpuf	Erupção vulcânica na ilha do Fogo

ANEXO IV

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

Amostra		BRS-8		Parâmetros de Inman (1952)		
Corte		BR013		Diâmetro mediano (Mdφ)		-1,41
Peso total		1291,60 gr		Desvio padrão gráfico (Sorting)		1,58
Diâmetro		Total	Componentes (wt)			
mm	phi	wt	PP wt	Lit wt	Crist wt	N.Sep. wt
≥ 5.6	-2,5	9,20	4,40	4,80	0,00	
≥ 4	-2	11,90	5,90	6,00	0,00	
≥ 2.8	-1,5	15,80	5,20	10,60	0,00	
≥ 2	-1	15,70	6,00	9,70	0,00	
≥ 1.4	-0,5	14,80	6,00	8,80	0,00	
≥ 1	0	2,61	0,72	1,30	0,60	
≥ 0.71	0,5	1,16	0,32	0,53	0,31	
≥ 0.5	1	0,67	0,43	0,11	0,13	
≥ 0.355	1,5	2,60	0,00			
≥ 0.25	2	1,90	0,00			
≥ 0.18	2,5	1,30	0,00			
≥ 0.125	3	1,30	0,00			
≥ 0.09	3,5	1,00	0,00			
≥ 0.063	4	1,20	0,00			
≥ 0.038	4,5	1,10	0,00			
≥ 0.032	5	0,60	0,00			
< 0.032	>5	0,60	0,00			
Soma controle		83,44 gr	28,97 gr	41,83 gr	1,04 gr	0,00 gr

Amostra		BRS-9	Parâmetros de Inman (1952)			
Corte		BR013	Diâmetro mediano (Mdφ)			-2,94
Peso total		1472,20 gr	Desvio padrão gráfico (Sorting)			1,76
Diâmetro		Total	Componentes (wt)			
mm	phi	wt	PP wt	Lit wt	Crist wt	N.Sep. wt
≥ 5.6	-2,5	21,80	10,80	11,00	0,00	
≥ 4	-2	14,70	5,30	9,40	0,00	
≥ 2.8	-1,5	13,10	4,70	8,40	0,00	
≥ 2	-1	10,70	3,60	7,10	0,00	
≥ 1.4	-0,5	7,10	2,40	4,70	0,00	
≥ 1	0	2,50	0,60	1,90	0,00	
≥ 0.71	0,5	0,70	0,20	0,50	0,00	
≥ 0.5	1	0,20	0,10	0,10	0,00	
≥ 0.355	1,5	2,20	0,00			
≥ 0.25	2	1,60	0,00			
≥ 0.18	2,5	1,10	0,00			
≥ 0.125	3	1,20	0,00			
≥ 0.09	3,5	0,90	0,00			
≥ 0.063	4	1,10	0,00			
≥ 0.038	4,5	1,40	0,00			
≥ 0.032	5	0,40	0,00			
< 0.032	>5	1,10	0,00			
Soma controle		81,80 gr	27,70 gr	43,10 gr	0,00 gr	0.00 gr

ANEXO IV

Amostra		BRS-10		Parâmetros de Inman (1952)		
Corte		BR013		Diâmetro mediano (Mdφ)		-0,54
Peso total		706,60 gr		Desvio padrão gráfico (Sorting)		1,7
Diâmetro		Total	Componentes (wt)			
mm	phi	wt	PP wt	Lit wt	Crist wt	N.Sep. wt
≥ 5.6	-2,5	6,50	3,40	3,10	0,00	
≥ 4	-2	7,00	4,00	3,00	0,00	
≥ 2.8	-1,5	11,60	6,20	5,40	0,00	
≥ 2	-1	14,80	7,30	7,50	0,00	
≥ 1.4	-0,5	10,90	3,50	6,20	1,20	
≥ 1	0	2,56	1,02	1,13	0,41	
≥ 0.71	0,5	0,97	0,30	0,43	0,24	
≥ 0.5	1	0,68	0,45	0,23	0.08	
≥ 0.355	1,5	7,10	0,00			
≥ 0.25	2	4,70	0,00			
≥ 0.18	2,5	2,90	0,00			
≥ 0.125	3	2,60	0,00			
≥ 0.09	3,5	1,70	0,00			
≥ 0.063	4	2,90	0,00			
≥ 0.038	4,5	1,10	0,00			
≥ 0.032	5	0,80	0,00			
< 0.032	>5	0,90	0,00			
Soma controle		79,71 gr	26,17 gr	26,99 gr	1,85 gr	0.00 gr

Amostra		BRS-14		Parâmetros de Inman (1952)		
Corte		BR015		Diâmetro mediano (Mdφ)		-2,84
Peso total		1045,30 gr		Desvio padrão gráfico (Sorting)		1,37
Diâmetro		Total	Componentes (wt)			
mm	phi	wt	PP wt	Lit wt	Crist wt	N.Sep. wt
≥ 5.6	-2,5	28,40	21,80	6,60	0,00	
≥ 4	-2	30,40	23,00	7,40	0,00	
≥ 2.8	-1,5	23,60	14,10	9,50	0,00	
≥ 2	-1	15,50	11,00	4,50	0,00	
≥ 1.4	-0,5	8,54	4,87	3,67	0,00	
≥ 1	0	4,29	2,83	1,47	0,00	
≥ 0.71	0,5	0,91	0,55	0,36	0,00	
≥ 0.5	1	0,30	0,20	0,11	0,00	
≥ 0.355	1,5	1,30	0,00			
≥ 0.25	2	1,00	0,00			
≥ 0.18	2,5	0,70	0,00			
≥ 0.125	3	0,70	0,00			
≥ 0.09	3,5	0,50	0,00			
≥ 0.063	4	0,80	0,00			
≥ 0.038	4,5	0,30	0,00			
≥ 0.032	5	0,20	0,00			
< 0.032	>5	0,00	0,00			
Soma controle		117,45 gr	78,35 gr	33,60 gr	0,00 gr	0,00 gr

Amostra		BRS-18		Parâmetros de Inman (1952)		
Corte		BR028		Diâmetro mediano (Mdφ)		-2,84
Peso total		133,50 gr		Desvio padrão gráfico (Sorting)		1,37
Diâmetro		Total	Componentes (wt)			
mm	phi	wt	PP wt	Lit wt	Crist wt	N.Sep. wt
≥ 5.6	-2,5	1,50	0,40	1,10	0,00	
≥ 4	-2	0,70	0,40	0,30	0,00	
≥ 2.8	-1,5	2,80	1,80	1,00	0,00	
≥ 2	-1	5,70	3,70	2,00	0,00	
≥ 1.4	-0,5	10,10	7,10	3,00	0,00	
≥ 1	0	2,32	1,65	0,67	0,00	
≥ 0.71	0,5	0,62	0,39	0,23	0,00	
≥ 0.5	1	0,31	0,19	0,12	0,00	
≥ 0.355	1,5	1,30	0,00			
≥ 0.25	2	1,00	0,00			
≥ 0.18	2,5	0,70	0,00			
≥ 0.125	3	0,70	0,00			
≥ 0.09	3,5	0,50	0,00			
≥ 0.063	4	0,80	0,00			
≥ 0.038	4,5	0,30	0,00			
≥ 0.032	5	0,20	0,00			
< 0.032	>5	0,00	0,00			
Soma controle		29,55 gr	15,63 gr	8,42 gr	0,00 gr	0,00 gr

ANEXO V

ESCALA MACROSSÍSMICA EUROPEIA 1998 (EMS98)

TIPO DE ESTRUTURA		CLASSES DE VULNERABILIDADE					
		A	B	C	D	E	F
Alvenaria	Casas tradicionais de pedra irregular, sem revestimento, com cimento de má qualidade. Pouco resistentes a cargas laterais. O chão é tipicamente de madeira.	●					
	Casas de barro ou de tijolos de barro, com cimento de qualidade variável. Podem apresentar uma estrutura de madeira.	●	→				
	Casas de pedra simples, geralmente reforçadas nos cunhais por blocos talhados de maior dimensão.	←	●				
	Casas de pedra maciça, constituídas por grandes lajes de pedra. Geralmente são monumentais, edifícios públicos, etc.		←	●	→		
	Casas não reforçadas, de tijolos ou blocos de cimento. Geralmente não há reforço dos elementos horizontais da estrutura e o chão é de madeira.	←	●	→			
	Casas não reforçadas, de tijolos ou blocos, com chão de betão armado.		←	●	→		
	Casas de tijolos ou blocos reforçadas horizontal e verticalmente com malha ou cintas de aço incorporadas no revestimento de cimento, com colunas e vigas.			←	●	→	
Betão Armado	Estruturas apoiadas - estruturas em betão armado, com colunas e vigas ligadas entre si formando uma estrutura única, resistentes a cargas verticais e laterais - <u>sem estrutura anti-sísmica</u> .	←	●	→			
	Estruturas apoiadas <u>com estrutura anti-sísmica de nível intermédio</u> .	←	●	→	→		
	Estruturas apoiadas <u>com estrutura anti-sísmica de elevada qualidade</u> .			←	●	→	
	Parades <u>sem estrutura anti-sísmica</u> .	←	●	→			
	Parades <u>com estrutura anti-sísmica de nível intermédio</u> .			←	●	→	
	Parades <u>com estrutura anti-sísmica de elevada qualidade</u> .				←	●	→
Aço	Edifícios com estrutura em aço.			←	●	→	
Madeira	Casas com estrutura em madeira.		←	●	→		

Tabela II.1 Classes de Vulnerabilidade - diferenciação dos tipos de estruturas em classes de vulnerabilidades (adaptado de Grünthal, 1998).

- Classe de vulnerabilidade mais provável
 — Intervalo provável
 — Intervalo de menor probabilidade, em casos excepcionais

CLASSIFICAÇÃO DE DANOS			
Edifícios de alvenaria		Edifícios de betão armado	
Nível 1 – Danos negligenciáveis a ligeiros (sem danos estruturais; danos não-estruturais ligeiros)			
	- Muito poucas paredes com fissuras - Queda de pequenas porções de estuque/colagem - Ocasionalmente, queda de pedras soltas das partes altas dos edifícios	- Pequenas fendas nos estuques sobre elementos de pórtico ou na base das paredes - Pequenas fendas nas divisórias e enchimentos	
Nível 2 – Danos moderados (danos estruturais ligeiros; danos não-estruturais moderados)			
	- Fendas em muitas paredes - Queda de grandes porções de estuque/boco - Colapso parcial de chaminés	- Fendas em colunas e vigas de pórticos e em paredes estruturais - Fendas em divisórias e paredes de enchimento; queda de revestimentos finais e estuques - Queda de argamassa das juntas entre paredes	
Nível 3 – Danos substanciais a severos (danos estruturais moderados; danos não-estruturais severos)			
	- Fendas grandes e extensas na maioria das paredes - Deslocação de telhas - Fracturação de chaminés ao nível do telhado - Fracturação de elementos não estruturais individuais (divisórias, empenas)	- Fendas em colunas e nas juntas das colunas e vigas de pórticos, na base e nas juntas de paredes acopladas - Fracturação do revestimento de cimento, instabilidade por encurvatura de tirantes armados - Grandes fendas em divisórias e paredes de enchimento, colapso de paredes de enchimento individuais	
Nível 4 – Danos muito severos (danos estruturais severos; danos não-estruturais muito severos)			
	- Colapso total ou parcial de paredes - Colapso estrutural parcial de telhados e pisos	- Grandes fendas em elementos estruturais com rotura de compressão do betão e fracturação de tirantes - Falha na ligação das armaduras de viga; arqueamento de colunas - Colapso de algumas colunas ou colapso de um único piso superior	
Nível 5 – Destruição (danos estruturais muito severos)			
	Colapso total ou quase total	Colapso do pórtico ou de partes do edifício (90% áreas)	

Tabela II.2 - Classificação de danos em edifícios de alvenaria e de betão armado (adaptado de Grünthal, 1998).

INTENSIDADE		EFEITOS OBSERVADOS				
Grau	Designação	Efeitos nos seres humanos	Efeitos sobre os objectos e a natureza	Efeitos nas construções		Grau
				Classe de vulnerabilidade	Quantificação dos danos	
I	Não sentido	Não sentido, mesmo nas circunstâncias mais favoráveis.	Nenhum efeito.	Sem danos.		I
II	Bastante pouco sentido	O tremor apenas é sentido em locais isolados (<1%) de indivíduos em repouso no interior de edifícios e em lugares onde é muito incompleto.	Nenhum efeito.	Sem danos.		II
III	Fraco	O tremor é sentido dentro de casa por poucas pessoas. Pessoas em repouso sentem um balançamento ou um ligeiro estremecimento.	Objectos suspensos caem lentamente.	Sem danos.		III
IV	Amplamente observado	O tremor é sentido por muitas pessoas dentro de casa e por poucos no exterior. Poucas pessoas são afetadas. A vibração é moderada e não é assustadora. As pessoas sentem um ligeiro estremecimento ou balançamento do edifício, quanto ao mobiliário.	Louças, vidros, janelas e portas chocam. Objectos suspensos caem lentamente. Alguns copos (poucos), o mobiliário leve trem e visivelmente as estruturas de madeira rangem.	Sem danos.		IV
V	Forte	O tremor de terra é sentido pela maioria das pessoas dentro de casa e por poucos no exterior. Poucas pessoas sentem um ligeiro balançamento ou balançamento forte ou um abalo do edifício, quanto ao mobiliário.	Objectos suspensos caem consideravelmente. Louças, vidros e móveis caem. Objectos pequenos, de topografia muito precariamente apoiada, podem ser deslocados ou cair. Portas e janelas balançam abríndo ou fechando. Em poucos casos as vidras das janelas partem-se. Líquidos caem e podem danificar de recipientes bem cheios. Dentro de casa os animais podem ficar inquietos.	A 1 B 1	1	V
VI	Ligeiramente danificante	Sentido pela maioria das pessoas dentro de casa e por muitos no exterior. Algumas pessoas perdem o equilíbrio, muitas assustam-se e fogem para o exterior.	Pequenos objectos normalmente estáveis podem cair e o mobiliário pode ser deslocado. Em poucos casos portas e objectos de vidro podem partir-se. Animais domésticos, mesmo no exterior, podem assustar-se.	A 2 B 2 C 1	1 1	VI
VII	Danificante	A maioria das pessoas assustam-se e tenta fugir para o exterior. Muitas têm dificuldade em manter-se de pé, especialmente nos andares superiores.	O mobiliário é deslocado e os móveis que têm topo pesado podem tombor. Grande quantidade de objectos cai das prateleiras. Alguns extrusos de recipientes, tanques e placas.	A 3 B 3 C 2 D 1	3 2	VII
VIII	Fortemente danificante	Muitas pessoas têm dificuldade em manter-se de pé, mesmo no exterior.	O mobiliário pode tombor. Objectos como aparelhos de televisão, máquinas de escrever, etc. caem ao chão. Lâmpadas (pedras luminárias) podem ser deslocadas, rotadas ou viradas. Podem observar-se ondulações em azulejos brancos.	A 4 B 4 C 3 D 2	4 3 2	VIII
IX	Destroivo	Pânico generalizado. As pessoas podem ser empurradas lançadas ao chão.	Muitos monumentos e colunas caem ou são danificados. Observam-se ondulações em azulejos brancos.	A 5 B 5 C 4 D 3 E 2	5 4 3 2	IX
X	Muito destrutivo			A 6 B 6 C 5 D 4 E 3 F 2	6 5 4 3 2	X
XI	Devastador			A 7 B 7 C 6 D 5 E 4 F 3	7 6 5 4 3	XI
XII	Completamente devastador			A 8 B 8 C 7 D 6 E 5 F 4	8 7 6 5 4	XII

Tabela 8.3 - Escala Macrossísmica Europeia - 1998 (EMS-98) - versão integral (adaptado de Grünthal, 1998). A utilização desta escala pressupõe o conhecimento e a interpretação das análises inseridas à elaboração da EMS-98, recomendando-se a consulta do respectivo manual.

EFEITOS SISMO-GEOLÓGICOS											
Tipo de efeitos	Intensidade										
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Efeitos hidroclógicos											
Pequenas variações no nível da água em furos e poços, apenas detectadas por instrumentos automáticos											
Variações significativas no nível da água em furos e poços, facilmente observáveis (a ondulação pode induzir turbidez)											
Ondas de longo período em águas em repouso resultantes de sismos distantes											
Ondas em águas em repouso resultantes de sismos locais											
Turvação da água de lagos devido à perturbação dos sedimentos do fundo											
Alteração do fluxo das nascentes (obstrução do canal ou turvação da água)											
Formação de nascentes ou cessação do fluxo de nascentes											
Arrebanço da água de lagos											
Movimentos de vertente											
Flutuação de partículas											
Pequenos escorregamentos em material desagregado em taludes naturais ou feitos pelo homem											
Pequenos quedas de blocos em taludes naturais ou feitos pelo homem											
Landslides e queda de blocos de grande magnitude											
Processos em terrenos planos*											
Pequenas fendas no solo											
Grandes fendas no solo											
Processos em zonas complexas											
Landslides											
Liqueflicão (e.g. vulcões de areia, etc.)											

Tabela 8.4 - Efeitos sísmo-geológicos (adaptado de Grünthal, 1998).

- ○ Intensidades típicas para ocorrência de determinado efeito. Chave a chave - intervalo III para o diagnóstico
- Intervalo possível de ocorrência
- Possível ocorrência em casos extremos
- * Devem ser consideradas apenas as roturas neotectónicas e os efeitos resultantes do comportamento geotécnico do solo sujeitos às vibrações sísmicas.

Nota: Os efeitos sísmo-geológicos não devem, por si só, ser utilizados para avaliação de intensidades, mas tão somente para confirmar as intensidades atribuídas com base em outro tipo de informação.

ANEXO VI

**PARÂMETROS CRÍTICOS A CONSIDERAR PARA CADA FENÓMENO
VULCÂNICO PARA A ANÁLISE DE VULNERABILIDADE, DE
CARÁCTER GERAL (MALHEIRO, 2002)**

FENÓMENO VULCÂNICO	PARÂMETROS		VALORES CRÍTICOS	FREQUÊNCIA	PERIGO	IMPACTE	BIBLIOGRAFIA					
Escoadas lávicas	Viscosidades baixas	Espessuras	< 20 m	Muito Frequente	Muito Elevado	As escoadas lávicas podem provocar o colapso ou o soterramento de todos os elementos de vulnerabilidade que estejam na sua passagem, assim como causar incêndios. Quanto às pessoas, assim como animais e quaisquer bens móveis, a vulnerabilidade é normalmente baixa na medida em que, dadas as velocidades geralmente baixas das escoadas, podem ser atempadamente evacuados.	Walker, 1973 Crandell <i>et al.</i> , 1984 Fisher <i>et al.</i> , 1997 Blong, 1984					
			20-25 m		Elevado							
			25-35 m	Pouco frequente	Moderado							
			35-50 m		Baixo							
			> 50 m		Muito baixo							
		Comprimentos	< 10 km	Muito Frequente	Muito Elevado							
			10-15 km		Elevado							
			15-20 km	Pouco frequente	Moderado							
	20-45 km		Baixo									
	> 45 km	Muito baixo										
	Viscosidades altas	Espessuras	< 200 m	Muito Frequente	Muito Elevado							
			200-300 m		Elevado							
			300-500 m	Pouco frequente	Moderado							
			500-800 m		Baixo							
		> 800 m	Muito baixo									
		Comprimentos	< 3 km	Muito Frequente	Muito Elevado							
3-5 km			Elevado									
5-8 km			Pouco frequente	Moderado								
8-11 km	Baixo											
> 11 km	Muito baixo											
Lahars	Espessuras	< 10 m	Muito Frequente	Muito Elevado	Podem causar graves lesões e a morte por soterramento ou por asfixia às pessoas e aos animais. Aos restantes elementos de vulnerabilidade podem provocar a destruição por colapso, soterramento, deslocação ou inundaçã	MacDonald, 1972 Francis, 1976, <i>in</i> : Blong, 1984 Baxter, 2000						
		10-20 m		Elevado								
		20-30 m	Pouco frequente	Moderado								
		30-40 m		Baixo								
		> 40 m		Muito baixo								
	Comprimentos	< 20 km	Muito Frequente	Muito Elevado								
		20-50 km		Elevado								
		50-100 km	Pouco frequente	Moderado								
100-300 km		Baixo										
> 300 km	Muito baixo											
Surges	Comprimentos	< 10 m	Muito Frequente	Muito Elevado	Provocam a morte por asfixia e calor, e ainda queimaduras graves, irritações na garganta e narinas, nas pessoas e animais. Nos restantes elementos de vulnerabilidade, causam a destruição por impacto, colapso, soterramento, deslocação ou incêndios.	Crandell, 1989 Tilling, 1989 Carey, 1991						
		10-20 m		Elevado								
		20-30 m	Pouco frequente	Moderado								
		30-40 m		Baixo								
		> 40 m		Muito baixo								
Escoadas piroclásticas	Obstáculos	< 100 m	Muito Frequente	Muito Elevado	Provocam a morte por asfixia e calor, e ainda queimaduras graves, irritações na garganta e narinas, nas pessoas e animais. Nos restantes elementos de vulnerabilidade, causam a destruição por impacto, colapso, soterramento, deslocação ou incêndios.	Crandell <i>et al.</i> , 1984						
		100-500 m		Elevado								
		500-750 m	Pouco frequente	Moderado								
		750-1000 m		Baixo								
		> 1000 m		Muito baixo								
	Comprimentos	< 50 km	Muito Frequente	Muito Elevado								
		50-75 km		Elevado								
		75-100 km	Pouco frequente	Moderado								
		100-200 km		Baixo								
		>200 km	Muito baixo									
Gases	Solo	CO ₂	> 50 %		Risco elevado de asfixia Risco moderado de asfixia Baixo risco de asfixia Nenhum risco de asfixia Concentrações de CO2 iguais às de áreas não vulcânicas	Baubron <i>et al.</i> , 1994						
			50-25 %									
			5-25 %									
			1,5-5 %									
			< 1,5 %									
	Ar	CO ₂	5000 ppm (para um período máx. de 8 horas)		Limites de exposição permissível para os seres vivos. Ultrapassado qualquer dos limites, os seres vivos são afectados de acordo com a toxicidade dos gases.	Williams-Jones e Rymer, 2000						
			SO ₂				5 ppm					
			Rn				200 Bq/m ³					
			H ₂ S				20 ppm (para uma média de 10 minutos)					
			HCl				5 ppm					
	HF	3 ppm										
	H ₂ SO ₄	20 ppm										
	Chuvas ácidas		2000 Km		Neste raio de acção, as chuvas ácidas podem provocar nas pessoas irritações e queimaduras na pele, feridas nos lábios, irritações nos olhos e queda. Causam danos na vegetação e podem provocar a corrosão das componentes metálicos dos edifícios, das infraestruturas e dos equipamentos.	Erskine, 1962, <i>in</i> : Blong, 1984 MacDonald, 1975, <i>in</i> : Crandell <i>et al.</i> , 1984						
Gases/Cinzas		Rico em SO2 Pobre em SO2	> 10 Km		Eventos ricos em SO2 e/ou com colunas eruptivas que penetrem na estratosfera, são passíveis de causar alterações climáticas a nível global	Stothers e Rampino, 1983, <i>in</i> : Chester, 1993						
Piroclastos de queda	Cinzas e poeiras	Espessuras	< 1 mm		Podem causar problemas respiratórios e irritação nos olhos nas pessoas e animais.							
		Espessuras	> 200 cm				Morte de toda a vegetação Morte de vegetação de médio porte e grande porte pouco resistente Morte de vegetação de médio porte pouco resistente Morte da vegetação de pequeno porte Morte da vegetação de pequeno porte pouco resistente					
			200-50 cm									
			50-15 cm									
			15-10 cm									
			< 10 cm									
		Espessuras	> 400 cm				Colapso total de todos os tipos de estruturas Colapso total das estruturas do tipo 1 e colapso parcial das estruturas 2 e 3 Colapso de telhados com capacidade de carga inferior a 100 kg/m ² Colapso parcial das estruturas do tipo 1					
			400-100 cm									
			100-20 cm									
			> 20 cm									
	Cinzas e lapilli	Espessuras	> 50 cm		Colapso total de todos os tipos de estruturas Colapso total das estruturas do tipo 1 e colapso parcial das estruturas 2 e 3 Colapso parcial das estruturas do tipo 1							
			50-15 cm									
			15-10 cm									
			> 10 cm									
	Cinzas e lapilli secos											
						Cinzas e lapilli húmidos						
										Cinzas	Espessuras	> 1 mm
											Líticos	Dimensões
	Pedra pomes	Dimensões	> 10 cm									

