

Avaliação do Impacto de Erupções Explosivas no Vulcão do Fogo na Economia do Turismo do Concelho de Vila Franca do Campo (Ilha de São Miguel, Açores)

Dissertação de Mestrado

Joana Filipa Carvalho Medeiros

Mestrado em

VULCANOLOGIA E RISCOS GEOLÓGICOS



Avaliação do Impacto de Erupções Explosivas no Vulcão do Fogo na Economia do Turismo do Concelho de Vila Franca do Campo (Ilha de São Miguel, Açores)

Dissertação de Mestrado

Joana Filipa Carvalho Medeiros

Orientadores

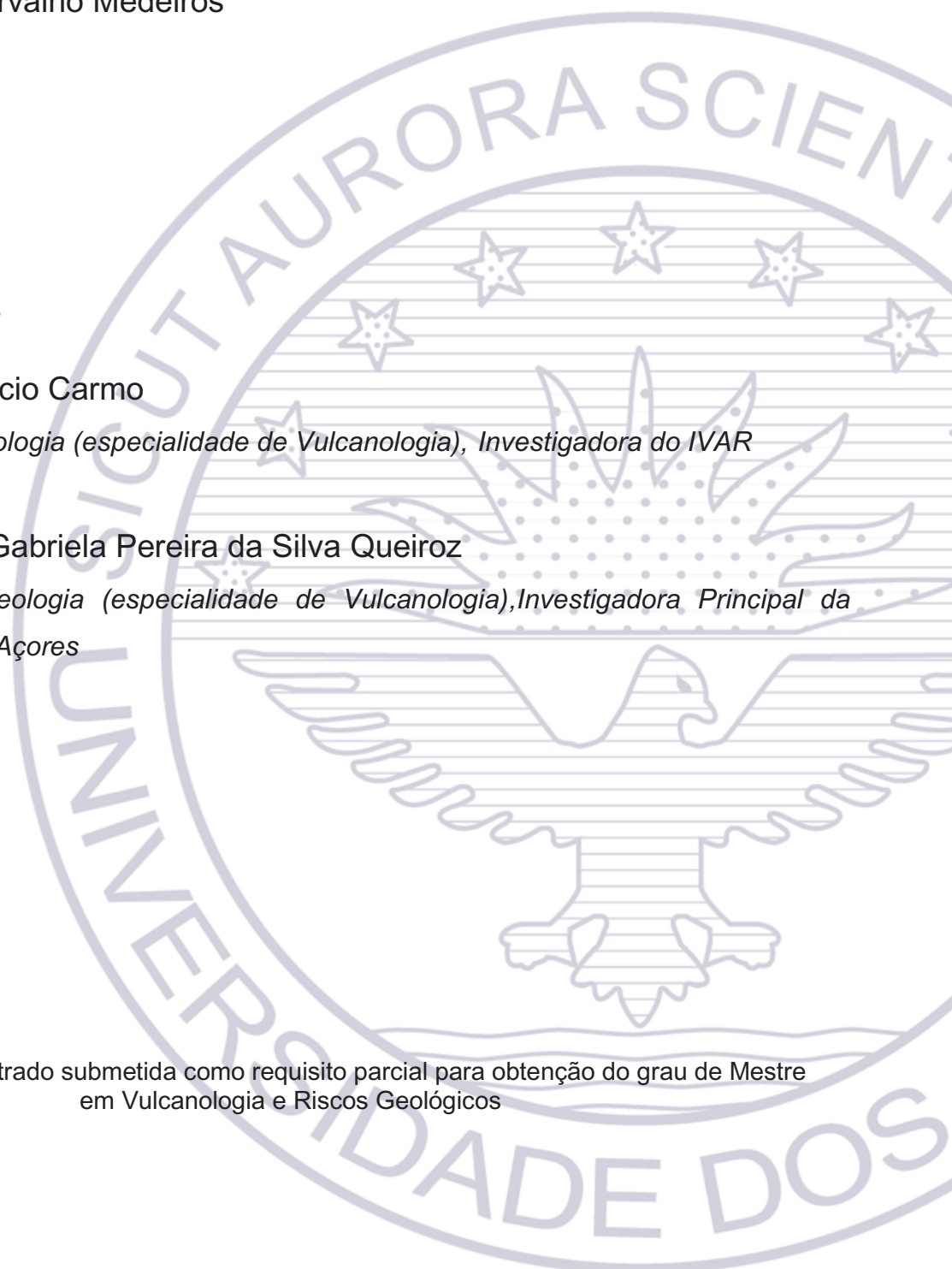
Doutora Rita Lúcio Carmo

Doutorada em Geologia (especialidade de Vulcanologia), Investigadora do IVAR

Doutora Maria Gabriela Pereira da Silva Queiroz

Doutorada em Geologia (especialidade de Vulcanologia), Investigadora Principal da Universidade dos Açores

Dissertação de Mestrado submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Vulcanologia e Riscos Geológicos



*Aos meus Pais,
à Carmen,
e ao Tiago*

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABELAS	X
AGRADECIMENTOS	XII
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XVII
CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO	1
1.1. NOTA PRÉVIA.....	1
1.2. ERUPÇÕES VULCÂNICAS COM IMPACTO NO TURISMO.....	3
1.2.1. A erupção de Soufrière Hills (Montserrat) em 1995.....	3
1.2.2. A erupção de Eyjafjallajökull (Islândia) em 2010.....	5
1.2.3. A erupção de Puyehue – Cordón Caulle (Chile) em 2011.....	7
1.2.4. Vulcões Etna e Stromboli (Itália).....	8
1.2.4. A erupção dos Capelinhos (Açores) em 1957.....	9
1.3. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO E OBJETIVOS.....	11
1.4. CONCEITOS GERAIS.....	12
CAPÍTULO II - ENQUADRAMENTO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	14
2.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA.....	14
2.2. ENQUADRAMENTO GEODINÂMICO.....	16
2.3. SISMICIDADE E VULCANISMO.....	18
2.3.1. Sismicidade.....	18
2.3.2. Vulcanismo.....	20
2.4. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DO VULCÃO DO FOGO.....	24
2.4.1. Geomorfologia.....	24
2.4.2. História Eruptiva.....	26
2.4.2.1. Grupo Inferior.....	28
2.5.2.2. Grupo Superior.....	29
CAPÍTULO III – AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A PIROCLASTOS DE QUEDA E A <i>PDCS</i>	35
3.1. NOTA PRÉVIA.....	35
3.2. VULCANISMO DOS TIPOS PLINIANO E SUBPLINIANO.....	36

3.3.	CARACTERIZAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS DE QUEDA E DE FLUXO.....	40
3.3.1.	Piroclastos de queda	40
3.3.2.	<i>PDCs (Pyroclastic Density Currents)</i>	42
3.3.2.1.	Escoadas piroclásticas	42
3.3.2.2.	<i>Surges</i>	43
3.4.	CENÁRIOS ERUPTIVOS.....	45
3.4.1.	Avaliação da suscetibilidade a piroclastos de queda no vulcão do Fogo.....	45
3.4.1.1.	Avaliação da suscetibilidade a piroclastos de queda em condições sem vento	45
3.4.1.1.1.	<i>Metodologia</i>	45
3.4.1.1.2.	<i>Resultados</i>	46
3.4.1.2.	Avaliação da suscetibilidade a piroclastos de queda com vento	48
3.4.1.2.1.	<i>Metodologia</i>	48
3.4.1.2.2.	<i>Resultados</i>	52
3.4.2.	Avaliação da suscetibilidade a <i>PDCs</i> no vulcão do Fogo	56
3.4.2.1.	Metodologia	56
3.4.2.2.	Resultados	58
CAPÍTULO IV – VULNERABILIDADES A PIROCLASTOS DE QUEDA E A <i>PDCS</i>		61
4.1.	NOTA PRÉVIA.....	61
4.2.	PIROCLASTOS DE QUEDA	62
4.3.	<i>PDCS</i>	64
4.3.1.	Escoadas piroclásticas	64
4.3.2.	<i>Surges</i>	64
4.4.	ELEMENTOS EXPOSTOS DO SETOR DO TURISMO NO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO	66
4.4.1.	Caraterização do concelho de Vila Franca do Campo	66
4.4.2.	Metodologia	68
4.4.3.	Caraterização dos elementos expostos.....	70
4.4.3.1.	Edificado	73
4.4.3.1.1.	<i>Alojamento</i>	73
4.4.3.1.2.	<i>Restauração</i>	75
4.4.3.1.3.	<i>Animação turística</i>	76
4.4.3.1.4.	<i>Cultura</i>	78
4.4.3.2.	Infraestruturas	79
4.4.3.2.1.	<i>Marina</i>	79
4.4.3.2.2.	<i>Parque Aquático</i>	79

4.5. IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS EM RISCO	80
CAPÍTULO V. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE ERUPÇÕES EXPLOSIVAS NA ECONOMIA DO TURISMO DE VILA FRANCA DO CAMPO	98
5.1. NOTA PRÉVIA.....	98
5.2. METODOLOGIA.....	100
5.3. RESULTADOS	104
5.4. CONCLUSÕES.....	111
CAPÍTULO VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
BIBLIOGRAFIA	118
WEBGRAFIA	129
ANEXOS	A1
ANEXO I. Tabela de caracterização dos edifícios	A2
ANEXO II. Ficha tipo de caracterização dos edifícios	A4
ANEXO III. Valor Atualizado da Perda dos cenários económicos em cada ano para um período de 30 anos	A5

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo II.

Figura 2.1. Localização geográfica do arquipélago dos Açores. Batimetria do arquipélago adaptada de Lourenço <i>et al.</i> (1997).....	14
Figura 2.2. Enquadramento tectónico do arquipélago dos Açores e principais estruturas morfotectónicas (<i>in Carmo, 2013</i>). Legenda: NA - placa Norte-Americana; EU - placa Euroasiática; NU - placa Núbia; CMA - Crista Médio-Atlântica; ZFEA - Zona de Fratura Este dos Açores; RT - <i>Rift</i> da Terceira; FG - Falha Gloria; FO - Ilhéus das Formigas; BPA – Banco Princesa Alice, BA – Banco Açor; BJC – Banco D. João de Castro; BM – Banco do Mónaco; BWG – Bacia Oeste da Graciosa; BEG – Bacia Este da Graciosa; FH – Fossa do Hironnelle; BSM – Bacia de São Miguel; DF – Desfiladeiro das Formigas. A área correspondente à PA está delimitada pela isóbata dos 2000 m. O RT (<i>s.l.</i>) compreende toda a faixa da região dos Açores. O RT (<i>s.s.</i>) corresponde ao alinhamento composto por BWG, Graciosa, BEG, Terceira, BJC, FH, São Miguel, BSM, FO e DF. Batimetria do arquipélago adaptada de Lourenço <i>et al.</i> (1997) e dados da topografia e batimetria mundial de GEBCO_08 (2010).....	17
Figura 2.3. Localização dos principais sismos históricos de natureza tectónica mais destrutivos na região os Açores (IVAR/CIVISA).....	18
Figura 2.4. Carta de intensidades máximas do sismo de 22 de outubro de 1522 (EMS-98) (adaptado de Silveira, 2002). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	19
Figura 2.5. Localização das erupções históricas na região dos Açores (IVAR/CIVISA).....	21
Figura 2.6. Sistemas vulcânicos da ilha de São Miguel (adaptado de Moore, 1991a). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	24
Figura 2.7. Principais estruturas tectónicas do vulcão do Fogo (adaptado de Carmo, 2013). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	26
Figura 2.8. Escala estratigráfica do vulcão do Fogo (adaptado de Wallenstein <i>et al.</i> , 2015).	27

Figura 2.9. Isopacas do depósito do Fogo A com espessuras em metros (adaptado de Walker e Croasdale, 1971). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	31
Figura 2.10. Isopacas do depósito da erupção de 1563 com espessuras em metros (adaptado de Walker e Croasdale, 1971). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	32
Figura 2.11. Escoadas lávicas produzidas no decurso da erupção de 1563 no Pico do Sapateiro (adaptado de Wallenstein <i>et al.</i> , 2015). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	33
Capítulo III.	
Figura 3.1. Esquema de classificação das erupções explosivas (adaptado de Walker, 1973; Cas e Wright, 1987).	36
Figura 3.2. Esquema do Índice de Explosividade Vulcânica (VEI), modificado de Loughlin <i>et al.</i> , 2015.	38
Figura 3.3. Área suscetível de ser afetada por 1 metro de piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção subpliniana de VEI 4, em condições sem vento. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.	47
Figura 3.4. Área suscetível de ser afetada por 1 metro de piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção pliniana de VEI 5, em condições sem vento. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.	48
Figura 3.5. Análise estatística dos dados do vento, obtidos por radiossondas, na região dos Açores para diferentes períodos do ano a diferentes altitudes (Pimentel <i>et al.</i> , 2006).	49
Figura 3.6. Área suscetível de ser afetada por piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção subpliniana de VEI 4 nos meses de verão. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.	53
Figura 3.7. Área suscetível de ser afetada por piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção subpliniana de VEI 4 nos meses de inverno. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.	54
Figura 3.8. Área suscetível de ser afetada por piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção pliniana de VEI 5 nos meses de verão. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.	55

Figura 3.9. Área suscetível de ser afetada por piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção pliniana de VEI 5 nos meses de inverno. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.	56
Figura 3.10. Esquema do cone de energia (Sheridan e Malin, 1982) (modificado de Alberico <i>et al.</i> , 2002).	57
Figura 3.11. Área de dispersão máxima de <i>PDCs</i> gerados numa erupção de VEI 4. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.	58
Figura 3.12. Área de dispersão máxima de <i>PDCs</i> gerados numa erupção de VEI 5. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.	59
 Capítulo IV.	
Figura 4.1. Localização da área de estudo na ilha de São Miguel. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	67
Figura 4.2. Divisão administrativa do concelho de Vila Franca do Campo. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	68
Figura 4.3. Percentagem de edifícios de cada tipologia localizados no concelho de Vila Franca do Campo.	70
Figura 4.4. Distribuição espacial do edificado por tipologia de utilização na freguesia de Água d’Alto. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	71
Figura 4.5. Distribuição espacial do edificado por tipologia de utilização nas freguesias de São Pedro e de São Miguel. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	71
Figura 4.6. Distribuição espacial do edificado por tipologia de utilização nas freguesias da Ribeira Seca e da Ribeira das Tainhas. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	72
Figura 4.7. Distribuição espacial do edificado por tipologia de utilização na freguesia de Ponta Garça. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	72

Figura 4.8. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda resultantes de uma erupção de VEI 4 sem vento. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	81
Figura 4.9. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos resultantes de uma erupção de VEI 4, em condições sem vento.	82
Figura 4.10. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda resultantes de uma erupção de VEI 5, sem vento. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.....	83
Figura 4.11. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos resultante de uma erupção de VEI 5, sem vento.	84
Figura 4.12. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda resultantes de uma erupção de VEI 4 no verão. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	85
Figura 4.13. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos decorrentes de uma erupção de VEI 4 no verão.	86
Figura 4.14. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda decorrentes de uma erupção de VEI 5 no verão. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	87
Figura 4.15. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos decorrentes de uma erupção de VEI 5 no verão.	88
Figura 4.16. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda resultantes de uma erupção de VEI 4 no inverno. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	89

Figura 4.17. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos resultantes de uma erupção de VEI 4 no inverno.	90
Figura 4.18. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda resultantes de uma erupção de VEI 5 no inverno. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	91
Figura 4.19. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo presentes no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos decorrentes de uma erupção de VEI 5 no inverno.	92
Figura 4.20. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por <i>PDCs</i> resultantes de uma erupção de VEI 4. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	93
Figura 4.21. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de <i>PDCs</i> decorrentes de uma erupção de VEI 4.	94
Figura 4.22. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por <i>PDCs</i> decorrentes de uma erupção de VEI 5. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.	95
Figura 4.23. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de <i>PDCs</i> formados numa erupção de VEI 5.	96

Capítulo V

Figura 5.1. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de destruição total ($r=0,02$ e $t_0=0,5$).	105
Figura 5.2. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de destruição total ($r=0,04$ e $t_0=0,5$).	106

Figura 5.3. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de destruição total ($r=0,02$ e $t_0=0,65$).....	106
Figura 5.4. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de destruição total ($r=0,04$ e $t_0=0,65$).....	106
Figura 5.5. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de PQ VEI 4 verão ($r=0,02$ e $t_0=0,5$).....	107
Figura 5.6. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de PQ VEI 4 verão ($r=0,04$ e $t_0=0,5$).....	108
Figura 5.7. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de PQ VEI 4 verão ($r=0,02$ e $t_0=0,65$).....	108
Figura 5.8. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de PQ VEI 4 verão ($r=0,04$ e $t_0=0,65$).....	108
Figura 5.9. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de <i>PDCs</i> VEI 4 ($r=0,02$ e $t_0=0,5$).....	109
Figura 5.10. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de <i>PDCs</i> VEI 4 ($r=0,04$ e $t_0=0,5$).....	109
Figura 5.11. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de <i>PDCs</i> VEI 4 ($r=0,02$ e $t_0=0,65$).....	110
Figura 5.12. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de <i>PDCs</i> VEI 4 ($r=0,04$ e $t_0=0,65$).....	110

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo II.

Tabela 1.1. Principais erupções vulcânicas ao largo ou na ilha de São Miguel.	22
---	----

Capítulo III.

Tabela 3.1. Classificação para fragmentos piroclásticos proposta pela International Union of Geological Sciences (IUGS) (Schmid, 1981).....	40
--	----

Tabela 3.2. Parâmetros utilizados nos cenários das erupções de VEI 4 e VEI 5 em condições sem vento.	46
--	----

Tabela 3.3. Parâmetros eruptivos de entrada para as simulações de erupção de VEI 4.....	51
--	----

Tabela 3.4. Parâmetros eruptivos de entrada para as simulações de erupção de VEI 5.....	51
--	----

Tabela 3.5. Parâmetros de entrada dos ventos para as simulações de erupção de VEI 4.	52
--	----

Tabela 3.6. Parâmetros de entrada dos ventos para as simulações de erupção de VEI 5.	52
--	----

Capítulo IV.

Tabela 4.1. Distribuição dos estabelecimentos de alojamento por freguesia.	75
--	----

Tabela 4.2. Distribuição dos estabelecimentos de restauração por freguesia.....	76
--	----

Tabela 4.3. Distribuição dos estabelecimentos de animação turística por freguesia.	77
--	----

Tabela 4.4. Distribuição dos estabelecimentos de cultura por freguesia.....	78
--	----

Capítulo V.

Tabela 5.1. Número e percentagem de edifícios afetados em cada cenário.101

Tabela 5.2. Valor Atualizado da Perda dos cenários económicos com as diferentes taxas de ocupação e de atualização, considerando um período de 30 anos.104

AGRADECIMENTOS

*“O homem, em geral, é surdo quando lhe pedem alguma coisa;
é eloquente, quando ele próprio a pede;
é mudo quando deve agradecer.”*

Paolo Mantegazza

A realização deste trabalho foi possível com a ajuda, colaboração e apoio de várias pessoas e entidades. De um modo muito particular deixo o meu agradecimento:

À Universidade dos Açores e ao Departamento de Geociências, em particular a todos os professores de licenciatura e mestrado que me acompanharam no percurso da minha vida académica.

Ao Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA) e ao Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), que me acolheram e proporcionaram a oportunidade de iniciar a minha vida profissional.

À Doutora Rita Carmo, Orientadora Científica, que comigo trabalhou diretamente em todas as fases deste trabalho, pelo incansável apoio, amizade, ensinamentos, conselhos e revisões, bem como por toda a dedicação e tempo dispensado.

À Doutora Gabriela Queiroz, Orientadora Científica, pela oportunidade de ingressar na equipa de trabalho do projeto ERUPÇÃO, e por todo o apoio e facilidades concedidas para a execução deste trabalho.

Ao Doutor Adriano Pimentel, colega e amigo, um agradecimento especial pela incansável ajuda, disponibilidade, conselhos, revisões e carinho demonstrado ao longo deste trabalho.

Ao Professor Doutor José Cabral Vieira, da Faculdade de Economia e Gestão da Universidade dos Açores, o indispensável auxílio no domínio da economia, disponibilidade e partilha de conhecimentos.

Ao Professor Doutor João Luís Gaspar, à Professora Doutora Teresa Ferreira e à Doutora Gabriela Queiroz, pelos ensinamentos, oportunidades e amizade.

Ao Professor Doutor Rui Marques, pela amizade, oportunidades e facilidades concedidas.

De um modo geral, a todos os proprietários ou funcionários na área do turismo do concelho de Vila Franca do Campo que contribuíram para o levantamento de dados relativamente aos elementos expostos considerados no presente trabalho.

À Câmara Municipal de Vila Franca do Campo, em particular ao Mestre João Medeiros, pela cedência de informação georreferenciada do respetivo concelho.

A todos os amigos e colegas de mestrado, Ana Oliveira, João Couto, João Ferro, Nuno Ferreira, Rafael Branco, Rodrigo Arruda, Rui Silva, Sandro Matos e Simone Aguiar, pela companhia, amizade e momentos partilhados.

A todos os investigadores do IVAR e CIVISA, que de alguma forma ajudaram-me ao longo deste percurso, pelo interesse, disponibilidade, partilha de conhecimentos, e pela amizade.

À Simone, amiga e companheira de mestrado, um agradecimento especial, pelo constante apoio e incentivo, sobretudo pela amizade.

À minha família, de modo muito especial aos meus pais e à Carmen, minha segunda mãe, pela força, apoio e carinho. Finalmente, ao Tiago, pela compreensão do mau feitio e impaciência, por todo o amor.

A execução do presente estudo foi suportada pelo projeto ERUPÇÃO – “Avaliação do impacto de erupções vulcânicas explosivas na economia do mar, no turismo e na agricultura e suas repercussões no sistema económico e no bem-estar social nos Açores”, financiado pelo Programa Operacional Açores 2020, participado pelos fundos estruturais comunitários FEDER e FSE.

RESUMO

As regiões vulcânicas ativas, como as ilhas dos Açores, oferecem condições de excelência propícias ao desenvolvimento de atividades assentes na natureza, como é o caso do turismo, um dos principais eixos de crescimento económico desta região. No entanto, e embora as erupções vulcânicas não sejam, regra geral, dos perigos geológicos que ocorrem com maior frequência, um próximo evento vulcânico nos Açores poderá ter importantes consequências ao nível do turismo. Desta forma, torna-se fundamental avaliar a sua vulnerabilidade aos perigos vulcânicos com a finalidade de se tentar mitigar o risco associado.

A história eruptiva de São Miguel, contabiliza pelo menos 33 erupções subplinianas e plinianas nos últimos 5000 anos, revelando-a como a mais ativa dos Açores, com a maior frequência eruptiva de eventos explosivos. O vulcão do Fogo, localizado na parte central de São Miguel, embora o vulcão que apresenta menor frequência eruptiva dos três vulcões centrais ativos na ilha, é o único que foi palco de uma erupção pliniana nos últimos 5000 anos.

Os piroclastos de queda e os piroclastos de fluxo (*PDCs*) são os produtos vulcânicos mais comuns em erupções explosivas. Os produtos de queda são os que atingem maior dispersão, devido à sua capacidade de afetar grandes áreas, dependendo da magnitude da erupção e de fatores externos como a direção e intensidade do vento. Os *PDCs* são o perigo vulcânico responsável pelo maior número de vítimas mortais e com maior poder destrutivo devido à temperatura, pressão e carga de partículas no fluxo.

Com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade a estes perigos vulcânicos, o presente trabalho incide na elaboração de dois cenários eruptivos para o vulcão do Fogo: o mais provável, que corresponde a uma erupção subpliniana com índice de explosividade vulcânica (VEI) 4, semelhante à erupção histórica de 1563, e o pior cenário possível, uma erupção pliniana de VEI 5 com as mesmas características da erupção que ocorreu há aproximadamente 4500 anos, Fogo A. Para avaliar as áreas suscetíveis de serem afetadas por estes perigos, bem como o potencial impacto no setor do turismo, foram realizadas simulações vulcânicas utilizando a ferramenta VORIS 2.0.1, integrada num Sistema de Informação Geográfica. Para as simulações de piroclastos de queda, utilizou-se um modelo semi-analítico de advecção-difusão, e para as simulações de *PDCs*, recorreu-se a um modelo de cone de energia.

As simulações dos cenários de piroclastos de queda foram realizadas admitindo os parâmetros eruptivos da erupção subpliniana de 1563 no Fogo (VEI 4), com um volume de 1 km^3 e uma altura da coluna eruptiva de 18 km, e da erupção pliniana do Fogo A (VEI 5), com um volume de $3,2 \text{ km}^3$ e uma altura da coluna eruptiva de 27 km. Em todas estas simulações, a dimensão das partículas inseriu-se no intervalo de -4 a 4 ϕ . Foram ainda considerados cenários com os padrões de vento dos Açores, para as condições típicas de verão e inverno, bem como cenários sem a influência do vento. Nestes últimos cenários, simulou-se a área que ficará coberta por um metro de espessura de material pomítico, tendo em conta as isopacas para um metro estabelecidas por Walker e Croasdale (1971) relativas às mesmas erupções do Fogo já referidas. Para as simulações da extensão máxima potencial dos *PDCs*, os parâmetros de entrada considerados foram as alturas de colapso de 300 e 500 metros (cenários de VEI 4 e VEI 5, respetivamente) e um ângulo de inclinação constante de 6° .

Embora numa futura erupção as condições reais dos ventos determinem para onde será depositado o material piroclástico ejetado, as simulações realizadas mostram que, durante os meses de verão, os ventos predominantes que sopram para sudeste da caldeira farão com que Vila Franca do Campo seja o município mais afetado, e que nos meses de inverno as velocidades de vento mais elevadas dispersam o material para leste, afetando principalmente a freguesia de Furnas no município da Povoação. Nos cenários em que não se considerou a influência do vento, verifica-se que o material depositar-se-á num campo aproximadamente circular em torno da área fonte, afetando os municípios localizados em torno do vulcão, nomeadamente Lagoa, Ribeira Grande e Vila Franca do Campo, com cerca de um metro de espessura. No caso dos *PDCs*, verifica-se que a área afetada será a mesma em torno do vulcão, com *PDCs* que poderão atingir distâncias máximas superiores a 9 km (VEI 4) e a 11 km (VEI 5) da fonte.

A proximidade do concelho de Vila Franca do Campo ao vulcão do Fogo determinou a sua escolha como área de estudo para a inventariação e caracterização dos elementos expostos relacionados com o setor do turismo. Foram inventariados e cartografados 140 edifícios, dos quais 46 correspondem a estabelecimentos destinados a alojamento (33%), 51 à restauração (36%), 14 à animação turística (10%) e 29 à cultura (21%). A integração destes dados com os resultados das simulações de piroclastos de queda e de *PDCs*, permite saber quantos e quais os edifícios e infraestruturas no concelho que se encontram nas áreas de dispersão dos piroclastos de queda, e nas áreas de extensão máxima dos fluxos piroclásticos.

A avaliação da perda económica gerada no setor do turismo restringiu-se às unidades de alojamento, e foi efetuada tendo em conta três cenários económicos, nomeadamente (1) o de destruição da totalidade dos edifícios, (2) de destruição do edificado afetado por espessuras de cinzas iguais ou superiores a 20 cm, resultantes da queda de material de uma erupção de VEI 4 nos meses de verão, e (3) de destruição do edificado contido na área de extensão máxima dos *PDCs* resultantes de uma erupção de VEI 4. Através da receita anual individual de cada estabelecimento, estimou-se uma receita anual total de cerca de 9,5 milhões de euros para o cenário hipotético de que a capacidade de alojamento está totalmente ocupada. Para todos estes cenários determinou-se a perda atualizada da receita desta indústria no concelho ao longo de 30 anos, tendo em conta diferentes taxas de atualização e taxas de ocupação. A análise desta avaliação permite concluir que o cenário que apresenta uma perda de maior expressão é o de destruição total, o qual engloba a totalidade dos edifícios inventariados, considerando uma taxa de ocupação de 0,65 e uma taxa de atualização de 0,02, traduzindo-se numa perda atualizada de aproximadamente 145 milhões de euros.

ABSTRACT

Active volcanic regions, such as the Azores islands, offer exceptional conditions that favor the development of nature-based activities, such as tourism, one of the main priorities of economic growth of this region. A future volcanic event in the Azores may have important consequences in the tourism. Therefore, it is fundamental to assess its vulnerability to volcanic hazards in order to try to mitigate the associated risk.

The volcanic history of São Miguel counts at least 33 subplinian and plinian eruptions in the last 5000 years, revealing it as the most active island of the Azores, with the highest eruptive frequency of explosive eruptions. Fogo volcano, located in the central part of São Miguel, although the volcano with the lowest eruptive frequency of the three active central volcanoes of the island, was the only that produced a plinian eruption in the last 5000 years.

Tephra fallout and pyroclastic density currents (PDCs), are the most common volcanic products related to explosive eruptions. Due to its dispersion, tephra fallout is one of the volcanic hazards that affect larger areas, depending on the magnitude of the eruption and on external factors such as wind direction and intensity. PDCs are the volcanic hazard responsible for the major number of fatalities and with the high destructive force due to temperature, pressure and particle content in the flow.

In order to evaluate the vulnerability to these volcanic hazards, this work focuses on two eruptive scenarios on Fogo volcano: the most probable, which corresponds to a volcanic explosivity index (VEI) 4 subplinian eruption, similar to the 1563 historical eruption, and the worst case, a VEI 5 plinian eruption, with the same characteristics of Fogo A eruption that occurred approximately 4500 years ago. To evaluate the areas susceptible to be affected by these hazards, as well the potential impact on tourism sector, volcanic simulations were performed using the GIS-based VORIS 2.0.1 tool. Tephra fallout simulations relied on a semi-analytical advection-diffusion model, while PDCs simulations were carried out with an energy cone model.

Tephra fallout simulations were performed admitting the eruptive parameters of 1563 subplinian eruption (VEI 4), with a total volume of 1 km^3 and plume height of 18 km, and the Fogo A plinian eruption (VEI 5) with a total volume of $3,2 \text{ km}^3$ and plume height of 27 km. In all simulations particle sizes were in the range from -4 to 4 phi. Scenarios were also considered with Azores wind

patterns of typical summer and winter months, as well with no wind influence. In this case, the area covered with one meter thick of pumice was simulated taking into account Walker and Croasdale (1971) one meter isopachs for 1563 and Fogo A eruptions. Input parameters for the simulation of the maximum potential extent of PDCs were collapse equivalent heights of 300 and 500 meters (VEI 4 and VEI 5 scenarios, respectively) and a constant inclination angle of 6°.

Although in a future eruption the real wind conditions will determine where the ejected tephra will be deposited, these simulations show that during summer months the prevailing winds blowing to the southeast of the caldera will make Vila Franca do Campo the most affected municipality, and that in the winter months higher wind speeds spread tephra further to the east, affecting mainly Furnas village (Povoação municipality). Scenarios with no wind influence shows that one meter thick of tephra will be deposited in an approximately circular area around the source area, affecting the municipalities located around the volcano, namely Lagoa, Ribeira Grande and Vila Franca do Campo. In the cases of PDCs, the affect area is similar, this is around the volcano, with PDCs reaching maximum run-out distances of more than 9 km (VEI 4) and more than 11 km (VEI 5) from the summit.

The proximity of Vila Franca do Campo municipality to Fogo volcano, supported its selection as the study area for inventory and characterization of all exposed elements related to tourism sector. A total of 140 buildings were inventoried and mapped, of which 46 corresponds to accommodations establishments (33%), 51 to restaurants (36%), 14 to tourist animation (10%) and 29 to culture (21%). By integrating these data with the simulation results, it is possible to know how many and which vulnerable buildings in the municipality are in the areas of tephra fallout dispersion and of maximum extension of PDCs.

The assessment of the economic loss generated in tourism sector was restricted to the accommodations units, taking into account three economic scenarios, namely (1) the total destruction of the buildings, (2) the destruction of the buildings affected by thicknesses of or greater than 20 cm of tephra resulting from the material of a VEI 4 eruption in summer months, and (3) the destruction of the buildings contained within the maximum extension of PDCs resulting from a VEI 4 eruption. Through the individual annual revenue of each establishment, total annual revenue of around 9.5 million euros was estimated, considering that the accommodation capacity is fully occupied. For all these scenarios, the current loss of revenue from this industry in the municipality over 30 years was determined, taking into account different

discount rates and occupancy rates. The analysis of this evaluation allows to conclude that the scenario that presents a bigger loss is the one that considers total destruction, which counts all the inventoried buildings, admitting an occupancy rate of 0.65 and a discount rate of 0.02, showing an updated loss of approximately 145 million euros.

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO

1.1. NOTA PRÉVIA

Os vulcões têm fascinado a humanidade ao longo da história. Mesmo antes de serem estudados por investigadores da área, as erupções eram observadas, retratadas e descritas na arte, na religião e incorporadas até mesmo em lendas, quer pelas suas manifestações surpreendentes quer pelo seu poder catastrófico, determinando uma atitude de impotência por parte da sociedade.

A atividade vulcânica é um dos perigos naturais que maior impacto socioeconómico pode causar, ao afetar grandes áreas dos domínios terrestre, marítimo e aéreo, diversos setores, atingindo simultaneamente pessoas, animais, edifícios e infraestruturas básicas, bens imóveis e terrenos. Não obstante, nas últimas décadas verificou-se um aumento significativo do desenvolvimento das áreas urbanas, rurais e infraestruturas de lazer e animação em torno de vulcões ativos, em áreas geologicamente frágeis e muito vulneráveis aos efeitos das catástrofes. Presentemente, estima-se que entre 450 e 500 milhões de pessoas vivem nas proximidades de vulcões classificados como ativos (Cooper *et al.*, 2015). As regiões vulcânicas constituindo ilhas, como é o caso dos Açores, oferecem condições propícias ao crescimento económico e a uma melhoria da qualidade de vida, devido ao estabelecimento de atividades assentes em critérios ambientais de excelência e ao facto da riqueza dos solos vulcânicos potenciar a agricultura e a sustentabilidade da região.

Uma das atividades económicas que mais pode beneficiar do vulcanismo é o turismo. As regiões vulcânicas estão a tornar-se cada vez mais populares, resultando assim numa atração turística por uma variedade de razões, como por exemplo, a exploração de áreas naturais únicas e ao mesmo tempo o estudo da herança geológica ou, apenas o fascínio pela proximidade do poder que a natureza oferece (Sigurdsson e Lopes-Gautier, 2000). Com mais de 1 500 vulcões ativos em todo o mundo, para muitas regiões o turismo vulcânico (ou geoturismo) representa uma vantagem económica. Nos séculos XVII e XVIII, a aristocracia do N da Europa visitou o Vesúvio e o Etna como parte da “*Grand Tour*”, tendo impulsionado hoje pessoas de todas as classes sociais a visitarem essas regiões, tanto pelo cenário, como pela educação, razões ecológicas e toda a aventura associada (Cooper *et al.*, 2015).

Muitas são as razões que levam à escolha de regiões vulcanicamente ativas como destino turístico. Por exemplo, a emoção de assistir a uma erupção vulcânica ao vivo, atrai, todos os anos, milhões de pessoas a vulcões como o Kilauea no Havai, ao Stromboli em Itália, e ao Arenal na Costa Rica. Por sua vez, o Vesúvio (Itália) e Santorini (Grécia) são um atrativo devido não só à sua história e arqueologia, mas também pelo facto de terem devastado cidades (Pompeia e Herculano) e civilizações (civilização minoica na ilha de Creta, Grécia). Já os parques nacionais dos vulcões Monte de Santa Helena e de Yellowstone nos Estados Unidos da América cativam turistas pelos aspetos educacionais relacionados com o papel dos vulcões na natureza e na sociedade. O interesse pela ecologia atrai milhões a conhecer os vulcões das florestas tropicais na Costa Rica, as ilhas vulcânicas das Galápagos e as Montanhas Virunga no leste da República Democrática do Congo. Muitos outros vulcões são populares apenas pela sua magnífica paisagem, como é o caso do Lago Crater (Estados Unidos da América), do lago Mývatn (Islândia) e as Ilhas Canárias e o Arquipélago dos Açores. Os vulcões Kilimanjaro (Tanzânia), Monte Rainier (Estados Unidos da América) e Cotopaxi (Equador) estão entre os preferidos em todo o mundo para escalar, e as encostas do Mauna Kea (Havai) e Etna (Itália) entre os favoritos para esquiar (Sigurdsson e Lopes-Gautier, 2000).

O impulso do turismo mundial é uma das principais características da economia da última década do século XX, sendo provável que o continue a ser no milénio seguinte. Os vulcões, quer sejam ativos, quer estejam adormecidos, fornecem, em qualquer estação do ano, um valioso recurso natural para o turismo, incluindo geoturismo, turismo de aventura e ecoturismo (Cooper *et al.*, 2015).

Durante o ano de 2012, a contribuição económica total das deslocações e do turismo foi de cerca de 6,6 triliões de dólares (USD), apoiando 260 milhões de empregos em todo o mundo (World Travel e Tourism Council, 2013).

1.2. ERUPÇÕES VULCÂNICAS COM IMPACTO NO TURISMO

Os desastres naturais que têm ocorrido nos últimos anos levaram a comunidade internacional a reconhecer que a Humanidade está perante uma ameaça global sem precedentes, tendo, neste contexto, a década de 1990 sido considerada pela Assembleia Geral das Nações Unidas como a “Década Internacional para a Redução de Desastres Naturais”. Durante os anos 90, perderam-se entre 560 e 1 300 vidas humanas e mais de 520 000 pessoas tiveram de ser deslocadas devido a erupções vulcânicas. Estima-se que a perda económica tenha ultrapassado mil milhões de dólares (USD). O aumento da consciencialização para esta temática deu-se após alguns eventos vulcânicos dramáticos da década de 80, tendo levado, na maioria dos casos, a uma gestão de crises mais estruturada (Annen e Wagner, 2003).

Os desastres naturais, incluindo as erupções vulcânicas, têm afetado de diversas formas e magnitudes os vários setores da economia a várias escalas, isto é, não só das comunidades que habitam nas proximidades do vulcão, como também, das comunidades transfronteiriças. Algumas erupções vulcânicas, particularmente aquelas que se estendem no tempo, podem paralisar setores inteiros da sociedade, com impacto económico significativo (Elisondo *et al.*, 2016). O turismo, um dos setores mais afetados por este tipo de fenómenos naturais, poderá ser responsável pela quebra ou rutura da atividade ou, por outro lado, pode apresentar uma vertente positiva, revelando-se como polo de atração, que em muito enriquece a economia local, dependendo justamente do tipo de evento em causa (Malheiro, 2002).

De seguida descrevem-se alguns casos a nível mundial em que os vulcões têm ou tiveram um impacto socioeconómico significativo ao nível do turismo, quer negativo, quer positivo.

1.2.1. A erupção de Soufrière Hills (Montserrat) em 1995

O vulcão de Soufrière Hills, com cerca de 915 metros de altura, é um estratovulcão que ocupa a metade sul da ilha de Montserrat, nas Caraíbas. Pertence a um complexo vulcânico predominantemente andesítico, sendo o seu topo constituído por uma série de domos lávicos (Smithsonian Institution – Global Volcanism Program, *online-a*).

Após um período de três anos de atividade sísmica, iniciado em 1992, o vulcão entrou em erupção a 18 de julho de 1995 com explosões freáticas e emissão de gases numa nova boca eruptiva que se abriu no flanco W do domo *Castle Peak*, na *English's Crater*, tendo depositado cinzas principalmente na zona W da ilha (Kokelaar, 2002; Pacheco e Lewis-Cameron, 2010). A explosão freática principal ocorreu no dia 21 de agosto, produzindo uma coluna eruptiva que alcançou os 3 km de altitude, e continuou durante várias semanas, alternando entre fases mais ou menos explosivas (Kokelaar, 2002). Os fluxos piroclásticos resultantes do colapso daquela estrutura, bem como os *lahars* que se formaram no decorrer da erupção afetaram a parte S da ilha, incluindo a capital Plymouth, que se localiza a cerca de 6 km de distância, fazendo com que esta ficasse completamente coberta de cinzas e detritos (lama). Daqui resultou a destruição de inúmeras habitações e edifícios, incluindo o único hospital da ilha, o aeroporto e as vias de comunicação (Smithsonian Institution – Global Volcanism Program, *online-a*; British Broadcasting Corporation, *online*).

Como consequência desta erupção, deu-se o maior surto migratório da ilha. Da pequena população insular, que na altura não ultrapassava as 12 000 pessoas, das quais 3 500 residiam na capital, aproximadamente 8 000 foram evacuadas para o N de Montserrat, para as ilhas vizinhas e para o Reino Unido (Central Intelligence Agency, *online*). Apesar das ações de evacuação, 19 pessoas perderam a vida. No ano seguinte à erupção, a capital de Montserrat ficou abandonada e desde então, a parte S da ilha foi classificada como uma zona de exclusão (British Broadcasting Corporation, *online*; Pacheco e Lewis-Cameron, 2010; Annen e Wagner, 2003). Em 1998 alguma população retornou à ilha, no entanto a falta de habitações limitou o regresso de muita gente. Atualmente, a população da ilha é de 5 267 habitantes (dados relativos ao ano de 2016) (Central Intelligence Agency, *online*).

De acordo com dados da *Munich Reinsurance Company* (Munich RE), a destruição causada pela erupção em 1995 foi avaliada em cerca de 120 milhões de dólares (USD), excedendo o PIB da ilha. Este caiu em cerca de 60 milhões de dólares (USD) em 1995 para menos de 40 milhões em 1997 (Central Intelligence Agency, *online*; Annen e Wagner, 2003).

Antes de 1995, Montserrat possuía uma indústria de turismo próspera, com uma receita associada ao turismo a representar aproximadamente 25% do PIB da ilha (Caribbean Community Secretariat, 2009 *in* Pacheco e Lewis-Cameron, 2010).

A erupção vulcânica teve um impacto significativo no setor turístico da ilha, tendo-se registado uma diminuição de cerca de 50% das chegadas entre o ano de 1995 e 1996. No ano seguinte, em 1997, as chegadas atingiram o mínimo histórico registado, com uma queda de 44% em relação a 1996, tendo nesta altura o impacto da erupção sido notório em toda a ilha. A estabilização da atividade vulcânica em 1998 mostrou um aumento de 50% nas chegadas, em comparação com 1997. Apesar da erupção ter causado a destruição de grande parte da capacidade física da ilha para acomodar turistas, este setor foi-se restabelecendo, de forma constante e lenta, como prova o aumento nos números de chegadas de turistas em 1997 e 1999, de 5 000 visitantes para aproximadamente 10 000, respetivamente. De acordo com o *Montserrat Tourist Board*, a indústria neste setor continua em fase de crescimento, com o vulcão de Soufrière Hills a representar um dos ex-libris da ilha (Pacheco e Lewis-Cameron, 2010).

1.2.2. A erupção de Eyjafjallajökull (Islândia) em 2010

Em 2010 a Islândia atraiu a atenção do mundo, quando Eyjafjallajökull entrou em erupção pela primeira vez desde 1821-23, emitindo uma enorme nuvem de cinzas e causando a maior paralisação do espaço aéreo europeu, desde a 2ª Guerra Mundial (Oxford Economics, 2010; Ellertsdottir, 2014, McNutt *et al.*, 2015). Foi também considerada a primeira erupção a ter causado a maior interrupção no tráfego aéreo no mundo (Petersen, 2010 *in* Jónsdóttir, 2011).

O vulcão Eyjafjallajökull é um estratovulcão com 1 666 metros de altura, alongado segundo a direção E-W, coberto de gelo e com uma caldeira com cerca de 2,5 km de largura (Volcano Discovery, *online*). No dia 20 de março ocorreu uma primeira erupção, localizada no flanco leste do vulcão, sob um glaciário, que se prolongou até 12 de abril. Desta erupção resultou a formação de dois cones de escórias/*spatter* e ainda uma escoada lávica. A erupção explosiva ocorreu dois dias após a primeira erupção ter cessado, a 14 de abril, e durou até 23 de maio de 2010. A elevada explosividade, que originou uma coluna eruptiva de cerca de 9 km de altura (tendo a maior parte do tempo permanecido a uma altura inferior a 6 km) (Gunnarsdóttir e Karlsdóttir, 2010 *in* Jónsdóttir, 2011), resultou do contacto direto entre magma-gelo (água), produzindo cinzas vulcânicas e aerossóis que foram emitidos para a atmosfera (Watson *et al.*, 2010 *in* Jónsdóttir, 2011). A cada segundo da erupção eram emitidas cerca de 750 toneladas de material

vulcânico para a atmosfera (Budd *et al.*, 2011) que, devido a ventos fortes do quadrante NW, obrigaram as autoridades europeias de aviação a tomar medidas.

Relativamente aos efeitos resultantes desta erupção, nota-se que estes se centraram maioritariamente em torno da aviação, fazendo com que, numa fase inicial da erupção, o espaço aéreo controlado de muitos países fosse fechado, tendo sido necessário cancelar, reprogramar e desviar milhares de voos (cerca de 100 000). Isto afetou milhões de passageiros que ficaram retidos nos aeroportos em todo o mundo, uma vez que o tráfego aéreo de e para a Europa ficou congestionado (Petersen, 2010 *in* Jónsdóttir, 2011). Daqui resultou o decaimento exponencial do número de visitantes na Islândia, afetando diretamente empresas e economia dependentes da receita gerada pelo turismo. De acordo com a informação publicada em 2010 pela Organização Europeia para a Segurança da Navegação Aérea (*European Organisation for the Safety of Air Navigation – Eurocontrol*, 2010), a suspensão do tráfego aéreo resultou em mais de 108 000 voos cancelados, dos quais 104 000 cancelamentos ocorreram no período de 8 dias de 15 de abril a 22 de abril (Ellertsdóttir, 2014). O pico destes cancelamentos ocorreu no dia 18 de abril, em que 10 milhões (80%) dos passageiros não conseguiram embarcar. Segundo os dados da Eurocontrol (2010), em abril, para além da Islândia, os países mais afetados pela crise foram a Finlândia, a Irlanda e o Reino Unido, com cerca de 90% de redução do seu tráfego aéreo durante cinco dias consecutivos. No entanto, o impacto na Islândia não foi tão acentuado como na Finlândia, principalmente devido ao facto do primeiro país ter conseguido realizar alguns voos para a América do Norte. O espaço aéreo dos Açores (Região de Informação de Voo - RIV Santa Maria) foi o menos afetado, tendo mesmo sofrido um aumento dos voos à medida que o tráfego foi redirecionado para evitar o bloqueio do espaço aéreo norte. Em maio, os espaços aéreos mais afetados foram os da Irlanda, do Reino Unido e as duas partes do espaço aéreo português (Lisboa e Santa Maria), devido ao facto da nuvem de cinzas se ter prolongado durante a maior parte do tempo fora da costa atlântica da Europa.

Dados estatísticos estimam que na Islândia, entre abril e maio daquele ano, o número de turistas diminuiu em cerca de 17,5% (Jónsdóttir, 2011). Economicamente, o setor do transporte aéreo é de extrema importância, uma vez que representa 0,7% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial e 35% do comércio mundial (Pálsson, 2010). As perdas globais do PIB, resultantes da incapacidade prolongada de mover pessoas e bens foram estimados em aproximadamente 4,7 mil milhões de dólares (USD), e englobam as perdas da indústria aérea e perdas no destino, bem como perdas gerais de produtividade (Oxford Economics, 2010; Pallister *et al.*, 2015).

1.2.3. A erupção de Puyehue – Cordón Caulle (Chile) em 2011

O vulcão Puyehue, com 2 236 metros de altura, situa-se no Chile, no extremo SE do complexo vulcânico Puyehue-Cordón Caulle (PCCVC), tendo o topo truncado por uma caldeira com 2,4 km de comprimento (Smithsonian Institution – Global Volcanism Program, *online-b*).

No dia 4 de junho, passado um mês do início do registo de um enxame sísmico centrado na zona fissural do Cordón-Caulle (Wilson *et al.*, 2013), deu-se a erupção no vulcão chileno Puyehue, da qual resultou uma coluna de cinzas com cerca de 12,2 km de altura e 5 km de largura, e a formação de escoadas piroclásticas (*Pyroclastic Density Currents, PDCs*). Ao final da tarde do mesmo dia, a nuvem de cinzas já havia alcançado a fronteira internacional Chile-Argentina e, no dia seguinte, a 5 de junho, alcançava já o Oceano Atlântico, a 1 800 km a ESE do vulcão (Elissondo *et al.*, 2016). A 9 e 14 do mesmo mês foram detetadas em Porto Alegre no Brasil, a mais de 2 000 km e a NE da fonte, partículas de cinzas no ar (Lima *et al.*, 2012).

Uma das principais consequências desta erupção remete para o impacto no tráfego aéreo, situação esta que se prolongou por vários meses. Assim, no dia em que se iniciou a erupção, o aeroporto de Bariloche (Argentina) foi encerrado durante os 31 dias seguintes, tendo sido removidas, neste mesmo período, da respetiva pista e espaço envolvente, mais de uma tonelada de cinzas vulcânicas (Craig *et al.*, 2016). Nos dias seguintes verificou-se o cancelamento de inúmeros voos em países como o Paraguai, Uruguai, Chile, S da Argentina e Brasil, e o encerramento de alguns aeroportos internacionais, tais como os de Buenos Aires, de Montevideo (Uruguai) e de alguns aeroportos da Patagonia (Wilson *et al.*, 2013).

Também o turismo (nacional e internacional), a mais importante fonte de rendimento em Villa La Angostura, Bariloche e San Martín de los Andes na Argentina, sofreu um grande impacto económico, especialmente, durante o inverno de 2011 e verão de 2012, em resultado não só das restrições do tráfego aéreo nos aeroportos mais próximos, da regularização dos acessos a determinadas áreas, como também de cortes na energia elétrica. Além disso, cerca de 80% das reservas em hotéis foram canceladas em Bariloche no decorrer da segunda semana de erupção. Alguns *resorts* de esqui, situados em Villa La Angostura e Bariloche, ficaram completamente cobertos por cinzas vulcânicas que afetaram, também, alguns teleféricos das zonas circundantes. Cerca de 900 pequenas empresas e 3 500 postos de trabalho foram ameaçados, tendo a Câmara de Comércio local estimado uma perda total de aproximadamente 48 milhões de dólares (USD).

Em relação ao ano anterior, o turismo diminuiu em cerca de 52% na região de Neuquén e cerca de 37% na região do Rio Negro, causando uma perda total de 187 milhões de dólares (USD), valor este que traduz, apenas, perdas resultantes do cancelamento de estadias em hotéis (Barbier, 2012 *in* Elissondo *et al.*, 2016).

Dada a localização do vulcão Puyehue e as condições meteorológicas registadas aquando da erupção, salienta-se que o maior impacto económico verificado não se registou no Chile, país que acolhe o vulcão, mas sim na Argentina, país vizinho.

1.2.4. Vulcões Etna e Stromboli (Itália)

O Monte Etna, formalmente considerado o maior vulcão continental ativo do mundo e o maior vulcão ativo da Europa (Chester *et al.*, 1985; Dragulanescu e Ivan, 2011), com aproximadamente 3 330 metros de altura (Smithsonian Institution – Global Volcanism Program, *online-c*), possui uma área a rondar os 1 200 km² (Dragulanescu e Ivan, 2011), e localiza-se na parte oriental da Sicília, a N da cidade de Catânia, Itália. As suas características e frequente atividade vulcânica, tornaram-no no mais famoso vulcão do mundo (Struck, 2010; Dragulanescu e Ivan, 2011). Densamente povoado, o vulcão oferece as condições necessárias à agricultura e à indústria, traduzindo-se assim favorável para a economia local (Chester *et al.*, 1985).

A ilha de Stromboli pertence ao município de Lipari, na província de Messina. O estratovulcão emerge a uma profundidade de cerca de 2 000 metros e o seu ponto mais alto culmina a 926 metros acima do nível do mar, no chamado “*Pizzo sopra la Fossa*” (Dragulanescu e Ivan, 2011). Possui uma área de aproximadamente 12,6 km², cerca de 400 habitantes permanentes, e pertence ao arquipélago das ilhas Eólias, composto por sete grandes ilhas no Mar Tirreno, perto da costa NE da Sicília. No início do século XX, a ilha, que é em si o vulcão, foi despovoada por uma grande onda de emigração para os Estados Unidos da América e Austrália, na sequência da devastação causada pelas grandes erupções vulcânicas de 1919 e 1930 (Struck, 2010; Dragulanescu e Ivan, 2011).

A maioria das erupções que ocorrem em Stromboli consistem em pequenas explosões de gases, cinzas e lava incandescente, cingidas ao bordo da cratera, ocorrendo em intervalos irregulares com duração de cinco minutos a mais de uma hora. Este vulcão é dos únicos no mundo que exhibe

atividade eruptiva contínua, isto é, persistente. Parte dessa atividade dita normal é, também, caracterizada pela presença de lava contínua numa ou mais aberturas. Relativamente à atividade considerada invulgar, esta é também definida por erupções do tipo estromboliano, tal como a anterior, embora mais prolongadas no tempo, com a emissão de bombas, escoadas piroclásticas (avalanches incandescentes) e escoadas lávicas (Behnke *et al.*, 2005 *in* Struck, 2010; Dragulanescu e Ivan, 2011).

Neste contexto, estes vulcões facilmente acessíveis, permanecem ao mesmo nível dos vulcões havaianos, sendo assim considerados como os destinos de natureza vulcânica mais populares do mundo. A importância do turismo para estas duas regiões é baseada na atração histórica e no respetivo cenário vulcânico, incluindo a paisagem vulcânica, tornando-se assim uma das principais fontes de rendimento para a população local. De acordo com Dragulanescu e Ivan (2011) o número total de visitantes ao Monte Etna excede um milhão por ano (Behnke *et al.*, 2005 *in* Struck, 2010). O facto mais evidente que se observa na província de Catânia e no território do Parque do Etna é a escassez de hotéis/estruturas de acomodações e iniciativas para visitantes (Struck, 2010).

O Stromboli é o único vulcão permanentemente ativo em que os turistas podem subir até ao topo da montanha e assistir a erupções a apenas 150 metros de distância. Desde o final dos anos 70 que a ilha se tornou numa das principais atrações do sul de Itália, tendo conseqüentemente o turismo se transformado na principal fonte de rendimento económico no arquipélago e única na ilha. Tal como acontece na região do Etna, aqui também a situação de acomodação é escassa (Struck, 2010).

1.2.4. A erupção dos Capelinhos (Açores) em 1957

Na madrugada do dia 27 de setembro de 1957, ao largo da ilha do Faial, teve início a erupção dos Capelinhos, tratando-se de uma erupção litoral emergente, do tipo surtseiana. A erupção extremamente explosiva, iniciou-se a cerca de 880 metros a W da ilha (Machado *et al.*, 1962) e resultou da interação entre magma basáltico ascendente e um corpo de água livre, neste caso, água do mar (Pacheco *et al.*, 2013). No final da erupção, o lado W da ilha do Faial aumentara em cerca de 2,5 km² (Machado *et al.*, 1962).

A atividade sísmica associada à erupção e a queda de cinzas causaram avultados prejuízos materiais em habitações e a inutilização de campos de cultivo e de pastagens na parte ocidental da ilha, levaram à perda de bens e sustentos de muitas famílias. Com isto, a erupção do vulcão dos Capelinhos, que durou cerca de 13 meses (Machado *et al.*, 1962), impulsionou a maior vaga de emigração registada no arquipélago, fazendo com que 50% da população abandonasse a ilha, isto é, mais de 15 mil pessoas, com destino aos Estados Unidos da América e Canadá (Rocha, 2007). A proposta de lei do então senador John F. Kennedy facilitou a imigração de todas as famílias afetadas pela catástrofe para os Estados Unidos da América. A emigração faialense daí resultante contribuiu para algumas mudanças na dinâmica demográfica e alterou a configuração da distribuição da população naquela ilha, registando-se uma migração interna das freguesias rurais, principalmente as que foram mais atingidas pela erupção, para o espaço urbano (Rocha, 2007).

Sendo a área terrestre mais jovem de Portugal, o Vulcão dos Capelinhos é um dos ex-libris dos Açores, pelo que é largamente procurado como ponto de interesse. Em agosto de 2008 foi inaugurado o Centro de Interpretação do Vulcão dos Capelinhos (CIVC), um centro com carácter informativo, didático e científico que se encontra soterrado de forma a não interferir com a paisagem vulcânica pré-existente originada pela erupção de 1957/1958, constituída então como “Reserva Natural” (CIVC, *online*; Lemos, 2009).

De acordo com os dados disponibilizados pelo CIVC, deste então o número de visitantes ao centro tem aumentado de forma exponencial, com 8 461 visitantes em 2008 e 35 114 visitantes em 2016, tendo apenas sofrido uma ligeira quebra em 2009 e 2010 com 22 023 e 20 238 visitantes, respetivamente (CIVC, *online*).

Como consequência do surto migratório que se fez sentir na época da erupção, muitas habitações daquela freguesia foram, mais tarde, dotadas de condições de segurança e salubridade, no entanto sem lhes alterar as suas características originais, rentabilizadas, e introduzidas no mercado de imóveis no Capelo como “casas de turismo rural”. Assim, em 2009 contavam-se cerca de 10 empresários com várias casas ou apartamentos classificados como “turismo rural” (Lemos, 2009).

1.3. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO E OBJETIVOS

Nos últimos anos, são muitos os exemplos de erupções vulcânicas cujo impacto socioeconómico se tem feito sentir às escalas regional, nacional e mundial. A História dos Açores desde o início do seu povoamento, ao longo dos últimos cinco séculos, é marcada pela ocorrência de pelo menos 28 erupções vulcânicas, algumas das quais com efeitos nefastos. Devido à regularidade destes eventos, um próximo terá certamente consequências que podem resultar na rotura ou mesmo no colapso do sistema económico e social da Região por um largo período de tempo.

Tendo o turismo regional sofrido um impulso a partir de 2015 com a alteração do modelo de acessibilidades e mobilidade, e sendo um importante setor no desenvolvimento regional, importa avaliar a sua vulnerabilidade aos perigos vulcânicos com o objetivo de implementar estratégias de mitigação apropriadas.

Localizado na parte central da ilha, o vulcão do Fogo, também conhecido como vulcão de Água de Pau, é o maior dos três vulcões centrais que compõem a ilha de São Miguel. Dada a sua localização e história eruptiva, marcada por episódios de carácter francamente explosivo, muitos de dimensão paroxismal com formação de caldeiras, alguns dos seus depósitos cobrem extensivamente a maior parte da ilha (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015).

Nesta perspetiva, a tese que se apresenta tem por objetivo avaliar o impacto económico no turismo, resultante de uma erupção vulcânica do tipo explosiva no vulcão central da ilha de São Miguel - o vulcão do Fogo, tendo em vista identificar e criar mecanismos para a mitigação do risco de rotura ou colapso deste setor de desenvolvimento, no caso de se registar um evento desta natureza.

No presente trabalho serão utilizados determinados conceitos, cujo significado é apresentado no ponto seguinte.

1.4. CONCEITOS GERAIS

Entende-se por Risco a probabilidade de ocorrência de um processo ou ação perigosa que afete uma determinada área, num certo período de tempo e com determinada severidade, e a respetiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou o ambiente, que por sua vez podem ser expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos.

Neste contexto, o risco vulcânico traduz a estimativa do impacte de um fenómeno vulcânico, não só em termos de saúde pública, nomeadamente morte, ferimentos ou doenças, bem como no que respeita também aos aspetos sociais, económicos e culturais (Dibben e Chester, 1999). Desta forma, este termo traduz-se pela expressão:

$$\text{Risco} = (\text{Perigosidade} \times \text{Vulnerabilidade} \times \text{Valor}) / \text{Capacidade de Resposta}$$

onde a Perigosidade representa a probabilidade de ocorrência de um evento, processo ou ação potencialmente destruidor, afetar uma determinada área num certo intervalo de tempo e com uma determinada severidade.

Neste contexto, o perigo vulcânico corresponde à probabilidade de um qualquer tipo de evento ou estilo eruptivo potencialmente destruidor afetar uma determinada área num certo período de tempo (Connor *et al.*, 2015).

O conceito de Vulnerabilidade é definido como o grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, suscetível à ocorrência de um fenómeno (ou ação) com uma determinada magnitude, a qual é expressa numa escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total/morte) (Blaikie *et al.*, 1994).

O Valor traduz a quantificação em termos de vidas humanas, valor monetário de um elemento ou conjunto de elementos expostos a um determinado perigo, e deve incluir a estimativa das perdas económicas diretas e indiretas que resultam da cessão ou interrupção da funcionalidade, atividade ou laboração (Cruz-Reyna, 1996).

A Capacidade de Resposta compreende o conjunto de medidas que podem contribuir para a minimização da vulnerabilidade, sendo que quanto maior a capacidade de resposta, menor o risco (Cruz-Reyna, 1996).

CAPÍTULO II - ENQUADRAMENTO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

O arquipélago dos Açores localiza-se no Oceano Atlântico Norte entre as latitudes 37° e 40°N e as longitudes 25° e 31°W e compreende nove ilhas de origem vulcânica distribuídas por três grupos geográficos: o grupo Ocidental, do qual fazem parte as ilhas das Flores e do Corvo; o grupo Central, formado pelas ilhas do Faial, Pico, São Jorge, Graciosa e Terceira; e o grupo Oriental que inclui as ilhas de São Miguel, Santa Maria e os ilhéus das Formigas (Fig. 2.1).

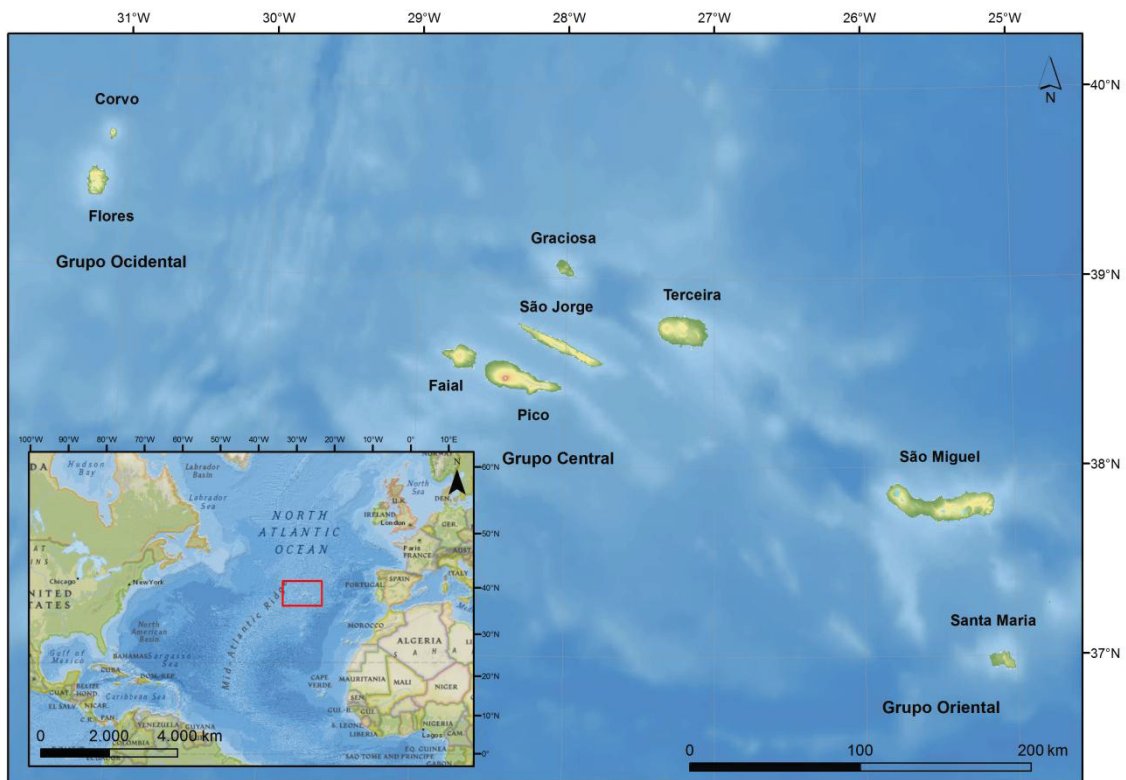


Figura 2.1. Localização geográfica do arquipélago dos Açores. Batimetria do arquipélago adaptada de Lourenço *et al.* (1997).

A ilha de São Miguel, a maior e mais populosa do arquipélago, com um comprimento máximo de 64 km, uma largura variável entre 8 e 15 km e uma área de cerca de 744,6 km², localiza-se entre as latitudes 37°42' e 37°54'N e as longitudes 25°51' e 25°08'W.

O vulcão objeto do presente estudo corresponde ao Vulcão do Fogo (ou de Água de Pau), situado na parte central da ilha de São Miguel, e ocupando uma área de cerca de 130 km² (Wallenstein, 1999).

2.2. ENQUADRAMENTO GEODINÂMICO

As ilhas do arquipélago dos Açores emergem da normalmente designada Plataforma dos Açores, área de forma aproximadamente triangular, definida pela isóbata dos 2000 metros (Needham e Francheteau, 1974), e distribuem-se, ao longo de 500 km, segundo uma direção WNW-ESE.

Do ponto de vista geodinâmico, esta área corresponde à Junção Tripla dos Açores, definida pelo contacto das placas litosféricas Euroasiática, Norte-Americana e Núbia. Em função do seu particular enquadramento geodinâmico, o arquipélago é fortemente condicionado pela presença de importantes estruturas tectónicas, como a Crista Média Atlântica, a Zona de Fratura Açores-Gibraltar, que inclui o *Rift* da Terceira (segmento ocidental) e a Falha Gloria (segmento central), e a Zona de Fratura Este dos Açores (Fig. 2.2).

As ilhas dispõem-se segundo um alinhamento WNW-ESE, cruzando obliquamente a Crista Média Atlântica. Esta estrutura corresponde à fronteira entre as placas Norte-Americana, a W, e Euroasiática/Núbia, a E, estando a sua localização e natureza bem definidas. Trata-se de uma estrutura distensiva pura e sismicamente ativa, segmentada por várias falhas transformantes (Searle, 1980), e cuja taxa de expansão é mais elevada a norte dos Açores do que relativamente a S (*e.g.* Laughton e Whitmarsh 1974; De Mets *et al.* 1994; Fernandes *et al.* 2003). Enquanto que o grupo Ocidental se encontra edificado sobre a placa Norte-Americana, as ilhas dos grupos Central e Oriental localizam-se no setor ocidental da Zona de Fratura Açores-Gibraltar, o *Rift* da Terceira (*s.l.*), que corresponde à fronteira entre as placas Euroasiática e Núbia. Esta é uma estrutura difusa em regime transtensivo direito (*e.g.* Madeira, 1998; Madeira e Brum da Silveira, 2003; Madeira *et al.*, 2015) em resultado das diferentes taxas de expansão da Crista Média Atlântica a N e a S dos Açores. Todo este contexto se traduz em importante atividade sísmica e vulcânica na região dos Açores. A S do arquipélago reconhece-se, ainda, outra estrutura com uma morfologia menos nítida, que corresponde à Zona de Fratura Este dos Açores.

Fruto do seu enquadramento geoestrutural, no extremo SE do *Rift* da Terceira (*s.l.*), a deformação a que a ilha de São Miguel está imposta encontra-se bem representada por numerosas falhas ativas representadas por imponentes escarpas de falha que constituem importantes estruturas distensivas, tais como o *Graben* dos Mosteiros e o *Graben* da Ribeira Grande, de direção aproximada NW-SE, situados na vertente NW do Vulcão das Sete Cidades e no flanco N do Vulcão do Fogo, respetivamente (Queiroz, 1997; Wallenstein, 1999). Importa também salientar a

presença de falhas e alinhamentos vulcânicos de direção geral WNW-ESE a E-W nas zonas de vulcanismo fissural (Ferreira, 2000; Carmo, 2013).

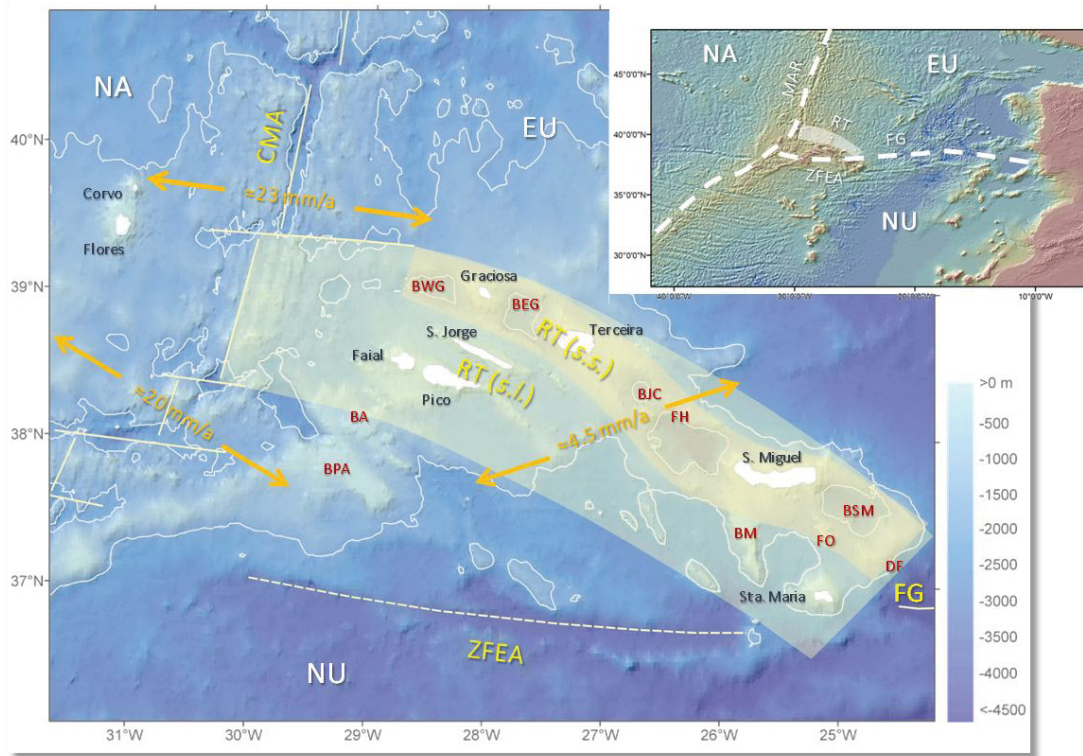


Figura 2.2. Enquadramento tectónico do arquipélago dos Açores e principais estruturas morfotectónicas (in Carmo, 2013). Legenda: NA - placa Norte-Americana; EU - placa Euroasiática; NU - placa Núbia; CMA - Crista Médio-Atlântica; ZFEA - Zona de Fratura Este dos Açores; RT - Rift da Terceira; FG - Falha Gloria; FO - Ilhéus das Formigas; BPA – Banco Princesa Alice, BA – Banco Açor; BJC – Banco D. João de Castro; BM – Banco do Mónaco; BWG – Bacia Oeste da Graciosa; BEG – Bacia Este da Graciosa; FH – Fossa do Hironnelle; BSM – Bacia de São Miguel; DF – Desfiladeiro das Formigas. A área correspondente à PA está delimitada pela isóbata dos 2000 m. O RT (s.l.) compreende toda a faixa da região dos Açores. O RT (s.s.) corresponde ao alinhamento composto por BWG, Graciosa, BEG, Terceira, BJC, FH, São Miguel, BSM, FO e DF. Batimetria do arquipélago adaptada de Lourenço *et al.* (1997) e dados da topografia e batimetria mundial de GEBCO_08 (2010).

2.3. SISMICIDADE E VULCANISMO

2.3.1. Sismicidade

Em resultado do seu peculiar enquadramento geodinâmico, o arquipélago dos Açores tem sido palco, ao longo dos tempos, de uma relevante atividade sísmica que ocorre principalmente ao nível do *Rift* da Terceira (*s.l.*), da Crista Médio-Atlântica, do alinhamento Faial-Pico e da Falha Gloria. Desde o início do povoamento dos Açores em meados do século XV, a região foi afetada não só por importantes crises sísmicas de origem tectónica ou associada a atividade vulcânica, geralmente com magnitude intermédia a fraca, mas também por sismos de magnitude elevada, que provocaram a morte a milhares de pessoas e destruição generalizada em algumas ilhas do arquipélago (Fig. 2.3).

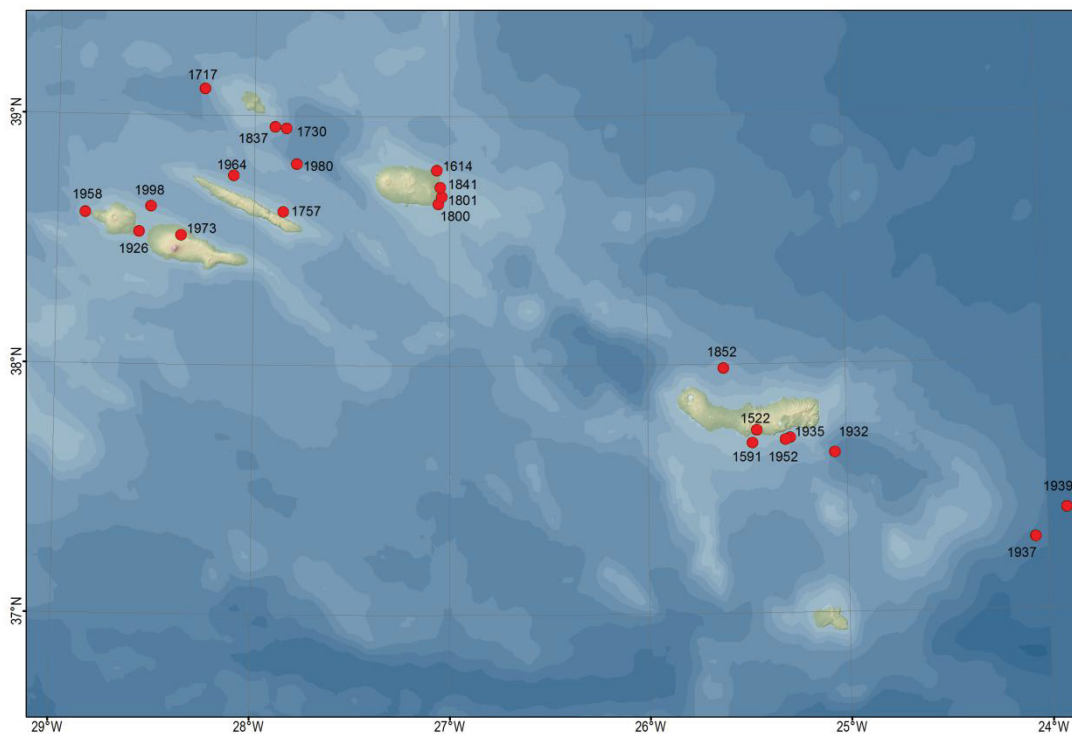


Figura 2.3. Localização dos principais sismos históricos de natureza tectónica mais destrutivos na região os Açores (IVAR/CIVISA).

A ilha de São Miguel não é exceção, tendo sido já palco de vários sismos violentos e crises sísmicas com impacto significativo a nível de vítimas, estragos materiais e prejuízos socioeconómicos (Silveira, 2002; Silveira *et al.*, 2003). Neste contexto, destacam-se os sismos de

1522, 1591, 1852, 1932, 1935 e o de 1952, localizados em terra ou nas áreas submarinas envolventes, como sendo os mais destruidores (Tabela 2.1).

O primeiro grande sismo de que há registo nos Açores ocorreu na ilha de São Miguel, na madrugada do dia 22 de outubro de 1522. O sismo teve epicentro no flanco S do vulcão do Fogo, a N da cidade de Vila Franca do Campo, então capital da ilha de São Miguel (Silveira, 2002) (Fig. 2.4). Para além da vasta destruição verificada em toda a ilha de São Miguel, o sismo gerou vários movimentos de vertente na parte centro-oriental da ilha (Frutuoso, 1522-1591). Vila Franca do Campo foi o local mais afetado, pois poucos minutos após o sismo geraram-se dois movimentos de vertente que soterraram a cidade quase totalmente (Frutuoso, 1522-1591; Marques, 2013). Estimaram-se cerca de 5000 mortos (Frutuoso, 1522-1591).

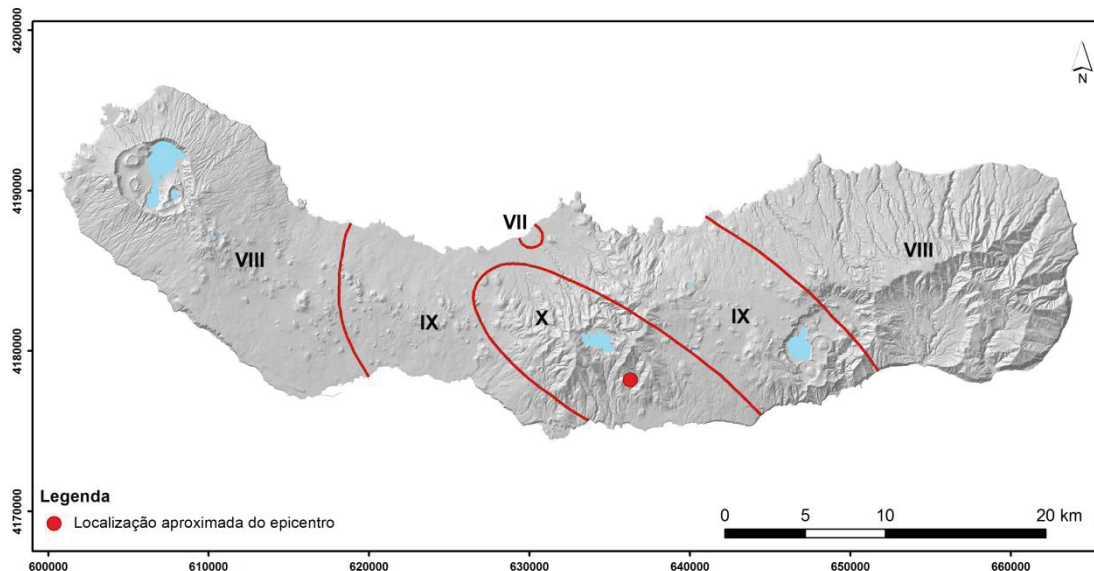


Figura 2.4. Carta de intensidades máximas do sismo de 22 de outubro de 1522 (EMS-98) (adaptado de Silveira, 2002). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

A parte central da ilha de São Miguel, em particular o setor compreendido pelo Vulcão do Fogo e pelo Sistema Vulcânico Fissural do Congro, é ainda palco de frequentes crises sísmicas, influenciadas pelos sistemas vulcânicos/hidrotermais existentes na área (Silva, 2011; Silva *et al.*, 2012, 2015). Alguns destes episódios podem ter sido acompanhados de deformação crustal e terem estados relacionados com reativações dos sistemas vulcânicos, como é o caso da crise sísmica de 2005. De acordo com Trota (2008), aquele incremento de atividade sísmica resultou de

uma intrusão magmática a cerca de 2,1 km de profundidade. No que respeita às restantes áreas da ilha de São Miguel, o índice de sismicidade é substancialmente menor.

Na área envolvente à ilha, a sismicidade distribui-se ao longo de uma faixa com orientação NW-SE, estendendo-se desde a Fossa do Hironnelle até ao Banco Grande Norte e Fossa da Povoação, sugerindo um forte controlo estrutural pelo *Rift* da Terceira (s.l.) (Silva *et al.*, 2015).

2.3.2. Vulcanismo

O arquipélago dos Açores foi também palco de diversos episódios vulcânicos ao longo dos últimos cinco séculos e meio, contabilizando-se pelo menos 28 erupções vulcânicas, 15 das quais subaéreas e 13 submarinas, centradas ao longo do *Rift* da Terceira (s.l.) (Fig. 2.5) (e.g. Pacheco *et al.*, 2013; Gaspar *et al.*, 2015). A atividade vulcânica subaérea ocorreu nas ilhas do Pico, Faial, São Jorge, Terceira e São Miguel, caracterizando-se por estilos eruptivos efusivos e/ou moderadamente explosivos, do tipo havaiano e estromboliano e de natureza basáltica (s.l.), normalmente associados a sistemas vulcânicos fissurais, e erupções explosivas subplinianas e hidromagmáticas associados a magmas mais evoluídos, de composição traquítica (s.l.) associados aos vulcões centrais (Pacheco *et al.*, 2013; Gaspar *et al.*, 2015a).

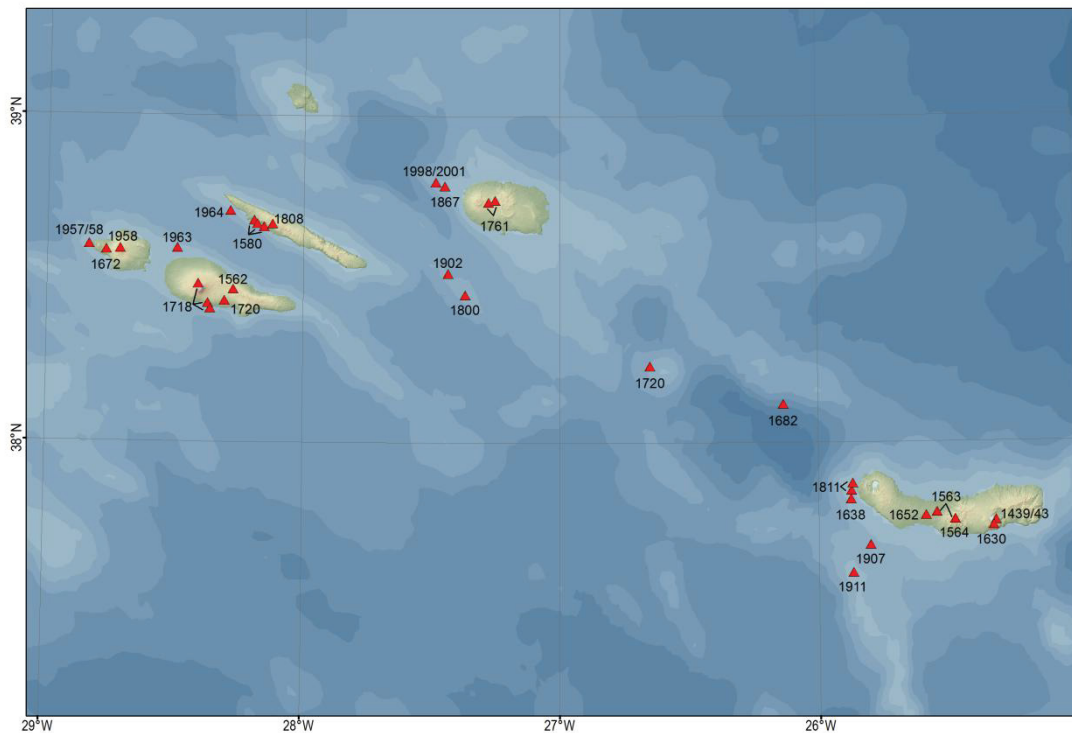


Figura 2.5. Localização das erupções históricas na região dos Açores (IVAR/CIVISA).

O vulcanismo histórico da ilha de São Miguel está marcado por cerca de 11 erupções, localizadas em terra e nas regiões submarinas envolventes. Os últimos fenómenos ocorridos em terra registaram-se no Vulcão das Furnas em 1439/43 e em 1630, no Vulcão do Fogo em 1563 e em 1564, e no Sistema Vulcânico Fissural dos Picos em 1652.

Das erupções mencionadas, merecem especial destaque para o presente trabalho, as erupções de 1563 e de 1564 no vulcão do Fogo, que serão descritas no ponto referente à história eruptiva do vulcão.

Tabela 1.1. Principais erupções vulcânicas ao largo ou na ilha de São Miguel.

Data	Duração	Localização	Sistema vulcânico	Tipo de erupção	Produtos	Efeitos	Observações	Referências
1439/ 1443	?	Pico do Gaspar	Vulcão das Fumas	Subpliniano, freatomagmática, formação de domo	Pedra pomes, cinzas e <i>lapilli</i> , domo lávico	-	A chegada dos primeiros colonizadores à ilha coincidiu com a fase final da formação do domo	Queiroz <i>et al.</i> , 1995; Guest <i>et al.</i> , 1999
28 de junho de 1563	6 dias	Lagoa do Fogo	Vulcão do Fogo	Subpliniano, freatomagmática	Pedra pomes, cinzas e <i>lapilli</i> , <i>surges</i>	As zonas centrais e orientais de São Miguel ficaram cobertas por depósitos de pedra pomes e <i>lapilli</i> ; Muitos telhados colapsaram devido à acumulação de cinzas; casas destruídas devido à atividade sísmica associada	Este evento foi desencadeado pela injeção do magma basáltico que originou a erupção ocorrida quatro dias depois; queda de cinzas na ilha Terceira; causou ainda dois mortos devido à inalação de gases	Walker & Croasdale, 1971; Wallenstein, 1999
2 de julho de 1563	≈ 1 mês	Pico do Sapateiro	Sistema Vulcânico Fissural dos Picos	Havaiano	Fluxos de lava basáltica, <i>spatter</i> e piroclastos	Destruição de uma parte da freguesia da Ribeira Seca e de alguns campos de cultivo	Abertura de fissuras eruptivas com direção NW-SE sobre o domo traquítico pré-existente	Booth <i>et al.</i> , 1978; Wallenstein, 1999; Ferreira, 2000
10 de fevereiro de 1564	Algumas horas	Lagoa do Fogo	Vulcão do Fogo	Fréática	-	-	Ocorrência de uma série de explosões fréáticas para as quais não foram encontrados depósitos. desenvolvimento de alguns <i>lahars</i> no flanco S do vulcão como consequência do transbordamento da lagoa do Fogo	Booth <i>et al.</i> , 1978; Wallenstein, 1999
3 de setembro de 1630	Pelo menos até novembro	Lagoa Seca	Vulcão das Fumas	Subpliniano, freatomagmática, formação de domo	Pedra pomes, cinzas e <i>lapilli</i> , <i>PD</i> Cs, domo lávico	Destruição de cerca de 350 casas devido à atividade sísmica e/ou à acumulação de cinzas nos telhados; Queda de cinzas em toda a ilha	A fase explosiva durou 3 dias e o crescimento do domo durou até novembro. as escoadas piroclásticas seguiram canalizadas por vales íngremes até à costa S; as cinzas alcançaram todas as restantes ilhas do arquipélago; esta erupção desencadeou um movimento de vertente na parte ocidental da freguesia da Ribeira Quente; pelo menos 195 mortos devido aos <i>surges</i> e ao colapso de edifícios.	Cole <i>et al.</i> , 1995; 1999; Guest <i>et al.</i> , 1999

3 de julho de 1638	Submarina, costa W de S. Miguel	Vulcão submarino de Candelária	Surtseiana	Piroclastos submarinos (?) e subaéreos	Destruição significativa nas habitações do flanco W do vulcão das Sete Cidades devido à atividade sísmica	Início da sísmicidade 1 semana antes da erupção; formação rápida de um cone a cerca de 120 m acima do nível do mar, a 3 km a W da Ponta da Candelária	Agostinho, 1960;
19 de setembro de 1652	Pico do Fogo	Sistema Vulcânico Fissural dos Picos	Vulcaniana, formação de domo	Cinzas e blocos traquíticos, domos lávicos e escoadas lávicas	Muitas habitações destruídas devido à atividade sísmica e à acumulação de cinzas nos telhados; Várias vinhas localizadas na S do centro emissor ficaram cobertas de cinzas	Fortes explosões com emissão de nuvens escuras de cinzas e projeção de blocos. Formação de três domos traquíticos e fluxos lávicos associados com dispersão reduzida, formados ao longo de uma fissura NW-SE.	Booth <i>et al.</i> , 1978; Ferreira, 2000; Ferreira <i>et al.</i> , 2015
13 de dezembro de 1682	Submarina, costa W de São Miguel	Sistema Vulcânico Submarino da Crista João Valadão	?	?	Sismos sentidos em São Miguel. Grande quantidade de peixes mortos deram à costa em São Miguel	Registro de pedra pomes a flutuar na proximidade da área da erupção, a cerca de 25 km a NW da Ponta da Ferraria.	Monte Alverne, [1695] 1994; Weston 1964
dezembro de 1720	Banco D. João de Castro	Vulcão submarino Banco D. João de Castro	Surtseiana	Piroclastos basálticos submarinos e subaéreos (?)	-	Formação de uma pequena ilha com cerca de 1500 m de diâmetro com 180 m de altura, tendo permanecido acima do nível do mar cerca de 2 anos. Atualmente é um vulcão submarino, a cerca de 14 m abaixo do nível do mar, com intensa atividade fumarólica.	Agostinho, 1936; Weston, 1964
1 de fevereiro e 14 de junho de 1811	Submarinas, costa W de São Miguel	Sistema Vulcânico Submarino da Sabrina	Surtseiana	Piroclastos basálticos submarinos, blocos e cinzas	Muitas habitações destruídas nas freguesias dos Ginetes, Várzea, Candelária, Mosteiros e Sete Cidades devido à atividade sísmica	O primeiro evento localizou-se a cerca de 1,7 km a SW da Ponta da Ferraria e produziu um banco submarino; o segundo evento localizou-se a 1,7 km a NW da Ponta da Ferraria e criou uma pequena ilha, Sabrina, que foi erodida pelo mar pouco tempo depois.	Agostinho 1960, Queiroz, 1997
1 de abril de 1907	Submarina, SW de São Miguel	Sistema Vulcânico Submarino Esporão do Mónaco	?	?	Rutura do cabo submarino que conectava São Miguel e Faial	O evento foi deduzido da rutura do cabo submarino a uma profundidade aproximada de 400 m, bem como dados obtidos de temperatura anómala da água em profundidade; amostras colhidas de material que cobria um cabo submarino, identificadas como pedra pomes de poeira fina.	Chaves, 1960; Weston, 1964
7 de março de 1911	Submarina, SW de São Miguel	Sistema Vulcânico Submarino Esporão do Mónaco	?	?	-	O evento foi relatado por pescadores que observaram vários jatos de água à superfície do mar.	Chaves, 1960; Weston, 1964

2.4. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DO VULCÃO DO FOGO

2.4.1. Geomorfologia

De um modo geral, a ilha de São Miguel é formada por cinco edifícios vulcânicos e duas zonas de vulcanismo fissural. Os vulcões das Sete Cidades, do Fogo (Água de Pau) e das Furnas são vulcões poligenéticos ativos quaternários (Storey, 1981), interligados pelos sistemas vulcânicos fissurais dos Picos e do Congro. Cada um destes vulcões centrais possui o topo truncado por caldeiras, testemunho de erupções vulcânicas explosivas; no setor oriental encontram-se os sistemas vulcânicos mais antigos e considerados extintos, o Vulcão da Povoação e o Sistema Vulcânico do Nordeste (Fig. 2.6).

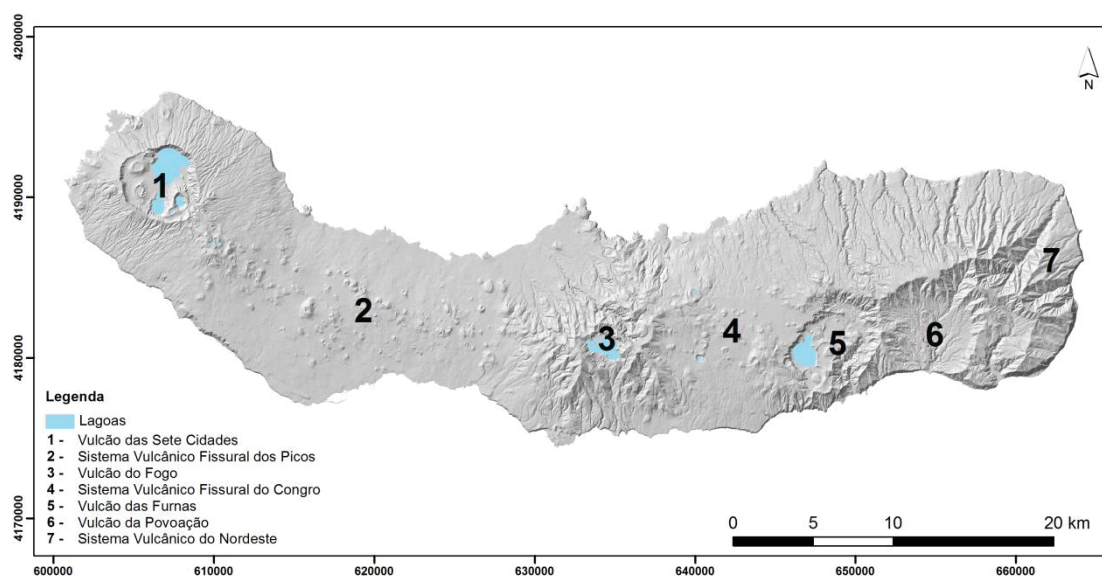


Figura 2.6. Sistemas vulcânicos da ilha de São Miguel (adaptado de Moore, 1991a). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

Localizado na parte central da ilha de São Miguel, o vulcão do Fogo, também conhecido na literatura como Maciço de Água do Pau, é o maior dos três vulcões centrais ativos na ilha de São Miguel. É limitado a N e a S pelo Oceano Atlântico, e a W e a E pelos sistemas vulcânicos fissurais dos Picos e do Congro, respetivamente, apresentando-se naqueles limites coberto pelos produtos mais recentes destes sistemas vulcânicos (Pacheco *et al.*, 2013). A parte emersa do vulcão apresenta um diâmetro basal médio da ordem dos 13 km e atinge uma altitude máxima de 947

metros no vértice geodésico da Barrosa, correspondendo a uma área de cerca de 132 km² e a um volume de 43,5 km³ (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015).

O topo do vulcão está truncado por uma caldeira, ocupada em grande parte pela Lagoa do Fogo. Esta depressão, com cerca de 3,2 km de diâmetro máximo e uma área aproximada de 4,8 km², encontra-se definida por bordos de crateras já muito erodidas. A lagoa propriamente dita, assinala a zona mais profunda da caldeira. Por sua vez, as paredes exibem uma linha de cumeeira muito irregular com desníveis que podem variar entre os 370 metros, próximo do Pico da Barrosa, e os 10 metros, no setor S, em relação à base da caldeira. No interior da caldeira, para além da lagoa, identificam-se diversos aparelhos vulcânicos como um cone de pedra pomes na zona N, e vários domos lávicos instalados nas suas paredes (Wallenstein, 1999; Wallenstein, *et al.*, 2005).

As suas vertentes apresentam declives que variam entre os 3° na base e entre 13° a 24° na parte superior, onde se destacam algumas escoadas lávicas traquíticas (*s.l.*). Os declives apresentados são ainda suavizados pela grande cobertura de depósitos piroclásticos, também de natureza traquítica. A linha de costa que limita o vulcão, varia relativamente aos perfis, com arribas vivas e arribas fósseis com mais de 100 metros de altura, como também apresenta zonas dominadas por escoadas lávicas com poucos metros de altura (Wallenstein, 1999).

Os principais sistemas de fraturas que afetam o vulcão do Fogo refletem o enquadramento geoestrutural do arquipélago. Com direção dominante NW-SE a NNW-SSE, o sistema tectónico regional está bem marcado no flanco N pelas falhas que limitam o designado *Graben* da Ribeira Grande (Pacheco *et al.*, 2013). Esta estrutura distensiva corresponde a um sistema de falhas que transpõe a caldeira, sendo os seus limites definidos pelos alinhamentos de formas vulcânicas, como diversos cones de escórias, cones de pedra pomes, domos e formas hidrovulcânicas (Wallenstein, 1999; Carmo, 2013). No flanco S, a sua expressão não é tão clara, no entanto, consegue-se observar também esta direção, a par com um importante conjunto de estruturas de direção N-S (Wallenstein, 1999).

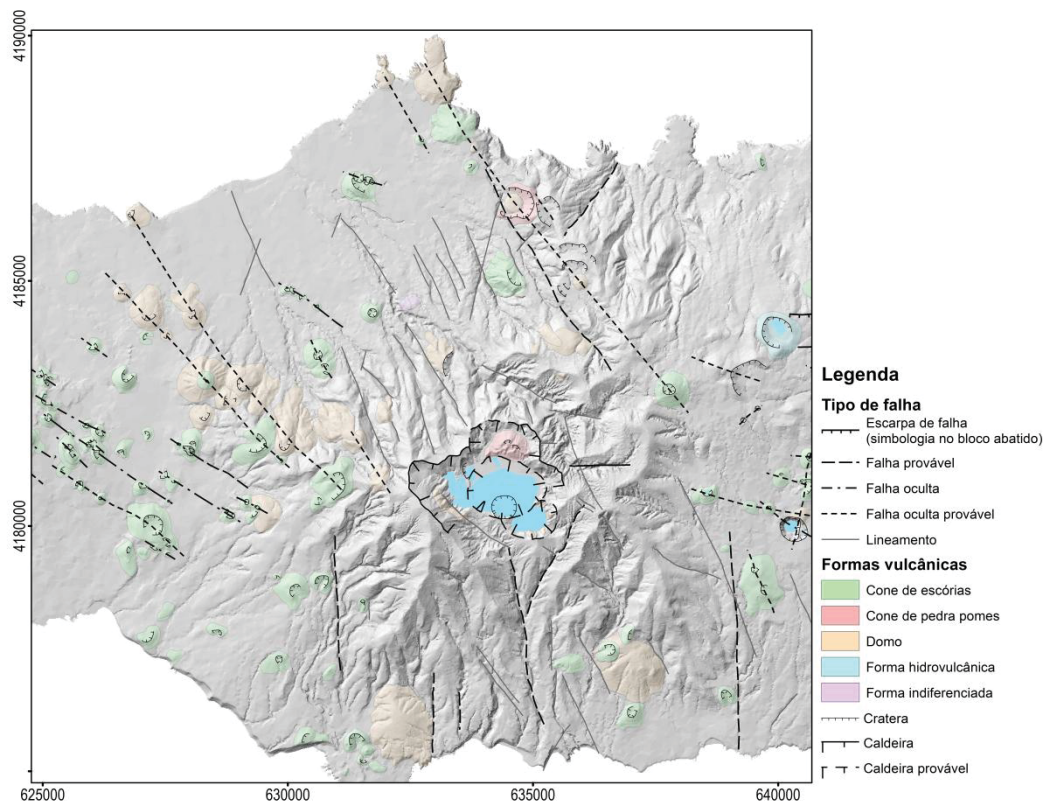


Figura 2.7. Principais estruturas tectônicas do vulcão do Fogo (adaptado de Carmo, 2013). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

2.4.2. História Eruptiva

Os elementos no domínio da vulcanoestratigrafia constituem uma base para a avaliação da história eruptiva do vulcão do Fogo, trabalho esse desenvolvido por Wallenstein (1999). O autor identificou duas unidades estratigráficas principais: o Grupo Inferior, que engloba todos os produtos vulcânicos com idades superiores a 40000 anos B.P., e o Grupo Superior, que compreende todos os produtos emitidos nos últimos 40000 anos, incluindo as erupções históricas (Fig. 2.8).

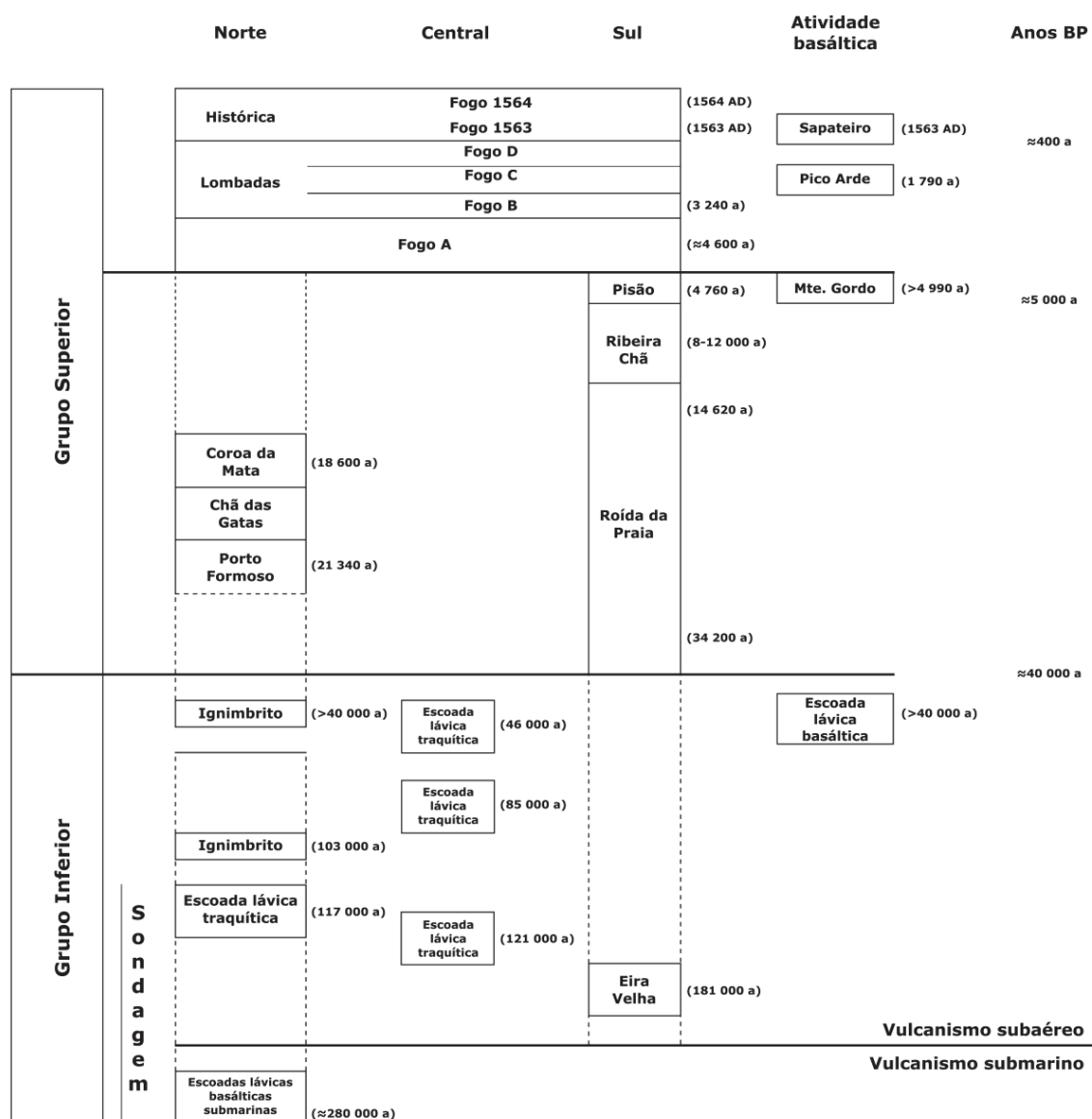


Figura 2.8. Escala estratigráfica do vulcão do Fogo (adaptado de Wallenstein *et al.*, 2015).

Embora a história eruptiva do Fogo seja bastante complexa, a sua perceção será sempre incompleta, uma vez que existem alguns fatores que impossibilitam a sua total compreensão, como por exemplo, a inacessibilidade a uma grande parte dos produtos da sua atividade eruptiva (Wallenstein, 1999).

2.4.2.1. Grupo Inferior

A edificação do vulcão do Fogo ter-se-á iniciado há mais de 200000 anos, como atesta a datação de 280000 ± 140000 anos B.P. obtida numa lava submarina recolhida a uma profundidade de 878 metros, no decurso de uma sondagem realizada no flanco N do Fogo (Mueke *et al.*, 1974; McGraw, 1976). Esta sondagem permitiu ainda identificar a transição do vulcanismo submarino para o subaéreo a uma profundidade de cerca de 786 metros, relativamente ao nível do mar, e concluir que, ignorando a erosão, o maciço do Fogo já acumulou mais de 3500 metros de produtos vulcânicos até ao presente, e sofreu uma subsidência de cerca de 656 metros no segmento do *graben* da Ribeira Grande (Wallenstein, 1999; Pacheco *et al.*, 2013). A rocha aflorante mais antiga corresponde a um domo lávico de natureza traquítica, o domo da Eira Velha, com uma idade de 181000 ± 15000 anos B.P. (Gandino *et al.*, 1985; Moore e Rubin, 1991).

A edificação da montanha submarina resultou da acumulação de escoadas lávicas de natureza basáltica (*s.l.*) emitidas a partir de centros eruptivos monogenéticos, construindo um vulcão em escudo. Com a diminuição destes focos eruptivos, deu-se a ocorrência de fases explosivas, do tipo surtseiano, que levaram à acumulação piroclastos submarinos.

A atividade subaérea mais antiga no vulcão do Fogo foi descrita por Muecke *et al.* (1974) como sendo representada por três grandes sequências compostas, predominantemente, por escoadas lávicas de natureza basáltica (*s.l.*), intercaladas com unidades piroclásticas espessas. A presença de materiais de natureza traquítica (*s.l.*), como é o caso do domo traquítico da Eira Velha, localizado na costa S, evidencia a existência de processos de diferenciação magmática no interior de reservatórios em profundidade, (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015; Pacheco *et al.*, 2013). Mais tarde este reservatório centralizou-se levando ao desenvolvimento do vulcão central (Wallenstein *et al.*, 2015).

A base aflorante do Grupo Inferior é constituída por escoadas lávicas e domos de natureza traquítica (*s.l.*) localizados nas arribas das costas N e S do maciço. Das sequências de depósitos vulcanoclásticos que se seguem, destacam-se alguns depósitos piroclásticos significativos, tanto de queda como de fluxo, intercalados com outras escoadas lávicas, também de natureza traquítica (*s.l.*).

Após este período da história do vulcão marcado pelo predomínio de eventos efusivos e explosivos de natureza traquítica (*s.l.*), e aparente ausência de rochas basálticas (*s.l.*), que se

manteve até há cerca de 40000 anos, seguiu-se uma fase em que ocorreu novamente vulcanismo de natureza basáltica (*s.l.*), e que corresponde à transição do Grupo Inferior para o Grupo Superior. As escoadas lávicas que afloram na costa S, entre as freguesias de Santa Cruz da Lagoa e Água de Pau (Moore, 1991b), constituem exemplos dos produtos emitidos pelos vários cones de escórias localizados nos flancos do vulcão do Fogo (Wallenstein, 1999).

2.5.2.2. Grupo Superior

O Grupo Superior compreende os produtos vulcânicos emitidos no decurso dos últimos 40000 anos. Ao longo deste período ocorreram não só erupções de natureza basáltica (*s.l.*) nas vertentes, como também, erupções explosivas de natureza traquítica (*s.l.*), de estilos pliniano e subpliniano, localizadas maioritariamente no interior da caldeira do vulcão do Fogo, contribuindo para a sua atual forma, e também nos flancos (Wallenstein, 1999; Pacheco *et al.*, 2013).

Devido a vários fatores, como a erosão, a tectónica e o denso coberto vegetal, nem sempre foi possível estabelecer correlações estratigráficas entre os flancos N e S do edifício vulcânico, pelo que Wallenstein (1999) dividiu o Grupo Superior em duas sequências distintas para os produtos anteriores à Formação do Fogo A: a Sequência Eruptiva do Flanco Norte e a Sequência Eruptiva do Flanco Sul, esta última melhor documentada e compreendida. Por este motivo, optou-se por dar maior destaque aos depósitos que integram esta última.

A formação da Roída da Praia representa a atividade que ocorreu entre mais de 34000 anos e os 12000-8000 anos, com carácter essencialmente explosivo, que precedeu a formação da caldeira na sua forma atual. Engloba importantes unidades de depósitos piroclásticos de queda e ignimbritos, intercalados com alguns depósitos de escórias e *lahars* (Wallenstein, 1999; Pacheco *et al.*, 2013). Segundo Wallenstein *et al.* (1998), alguns dos depósitos apontam para eventos explosivos do tipo pliniano.

A formação da Ribeira Chã foi gerada no decurso de uma erupção paroxismal, de estilo pliniano, ocorrida há cerca de 12000-8000 anos B.P. e responsável pela forma atual da caldeira do vulcão do Fogo. É composta por ignimbritos resultantes do colapso brusco da coluna eruptiva, que se depositaram em paleovales da vertente sul e que foram, mais tarde, cobertos, em alguns locais, por *lahars* (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015). No decorrer dos trabalhos de Pimentel

(2004), o autor consegue observar esta formação no flanco N do maciço, possibilitando o estabelecimento de correlações estratigráficas entre os dois flancos do vulcão.

Após um período de dormência, a atividade eruptiva intracaldeira recomeça há cerca de 4760 ± 60 anos B.P., com uma erupção moderadamente explosiva, de natureza traquítica (*s.l.*), responsável pela deposição da formação do Pisão. A erupção, do tipo subpliniano (Wallenstein *et al.*, 2005), emitiu, certamente, uma coluna eruptiva responsável por um depósito de pedra pomes muito homogêneo, frequentemente observado na vertente S do maciço (Wallenstein, 1999).

Cerca de 200 anos depois, deu-se uma das maiores erupções registadas na ilha de São Miguel, a erupção do Fogo A que também teve um papel determinante na forma da atual caldeira. Estudada por muitos autores (*e.g.* Walker e Croasdale, 1971; Booth *et al.*, 1978, 1983; Bursik *et al.*, 1992; Wallenstein, 1999), a formação do Fogo A engloba todo o material resultante de uma erupção do tipo pliniano que ocorreu há cerca de 5000 anos (4520 ± 90 anos B.P.; Wallenstein, 1999) no interior da caldeira. Dada a elevada dispersão que apresenta, cobrindo grande parte da ilha de São Miguel, e o seu estado de preservação, o depósito Fogo A é considerado como um bom marcador estratigráfico (Wallenstein, 1999).

A erupção apresentou inicialmente um carácter hidromagmático de curta duração, produzindo cinzas pomíticas, seguindo-se uma alternância de fases de carácter magmático, materializadas pela existência de depósitos de pedra pomes de queda, e de atividade hidromagmática e, numa fase mais avançada, de colapsos parciais da coluna eruptiva, verificados pela presença de *surges*. A erupção terminou com o colapso da coluna eruptiva e consequente formação de um depósito ignimbrítico com grande expressão nos flancos do vulcão, cuja espessura pode atingir os 20 metros nos vales principais e depressões, com especial evidência no interior do *graben* da Ribeira Grande (Wallenstein, 1999; Pacheco *et al.*, 2013; Wallenstein *et al.*, 2015; Pensa *et al.*, 2015a,b).

As isopacas da espessura total do depósito e as isopletas do tamanho médio dos três maiores clastos de pedra pomes e de líticos, traçadas por Walker e Croasdale (1971) com base em cerca de 360 locais, levam a concluir que, durante a erupção, apenas soprava um vento fraco do quadrante W (Fig. 2.9).

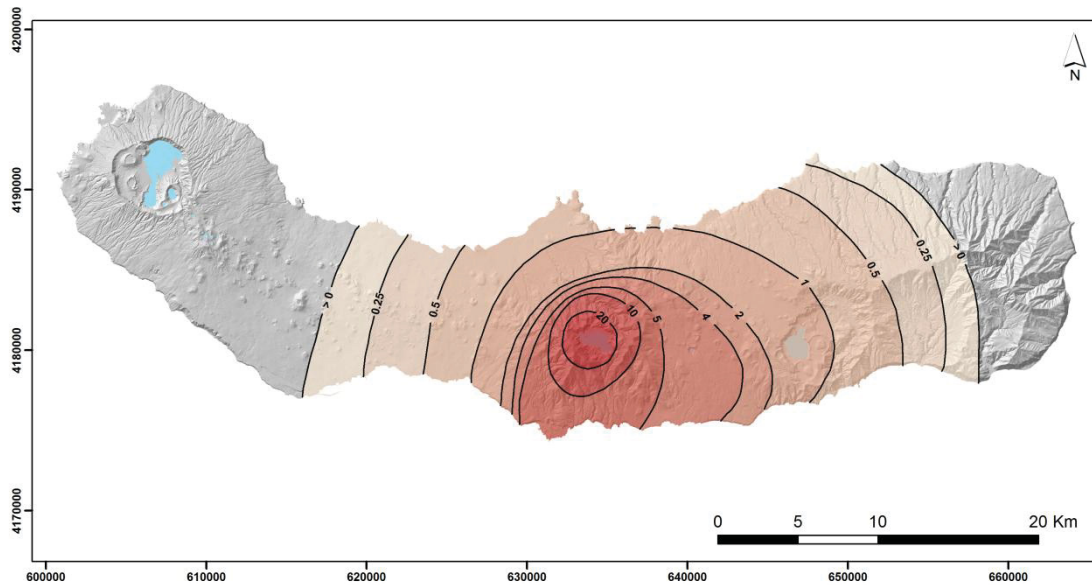


Figura 2.9. Isopacas do depósito do Fogo A com espessuras em metros (adaptado de Walker e Croasdale, 1971). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

Após a erupção do Fogo A, seguiram-se as erupções explosivas de natureza traquítica, do tipo subpliniano, correspondentes às unidades Fogo B (3240 ± 90 anos B.P.; Shotton *et al.*, 1970), Fogo C e Fogo D, que constituem a formação das Lombadas (Booth *et al.*, 1978; Wallenstein, 1999). Estes eventos eruptivos menos energéticos, marcados por atividade mista hidromagmática e magmática, deram origem a depósitos pomíticos de cinzas finas e pedra pomes de queda, que afloram no flanco N do vulcão, com maior incidência na zona das Lombadas (Wallenstein, 1999). De acordo com estudos de dispersão realizados por Booth *et al.* (1978), os centros eruptivos das erupções C e D, localizaram-se no interior da caldeira, enquanto que a erupção do Fogo B ocorreu no flanco N (Wallenstein, 1999; Pacheco *et al.*, 2013; Wallenstein *et al.*, 2015).

As manifestações de atividade vulcânica mais recentes do vulcão do Fogo ocorreram em período histórico, e integram-se na formação das erupções históricas, que inclui todos os produtos das erupções que ocorreram no vulcão desde o povoamento da ilha, por volta de 1439/43. Nesta formação incluem-se então as erupções de 1563 no Vulcão do Fogo e no Pico do Sapateiro, e a explosão freática de 1564.

A primeira ocorreu no dia 28 de junho de 1563 e teve lugar Pico da Lagoinha ou das Berlengas, no centro da caldeira do Fogo (Walker e Croasdale, 1971; Wallenstein, 1999). Esta erupção começou

com uma importante fase hidromagmática, marcada pela presença de níveis de cinzas finas na base do depósito, passando a uma fase magmática do tipo subpliniano, com o desenvolvimento de uma importante coluna eruptiva que, devido ao vento do quadrante WSW, dispersou a maior parte do seu material pomítico de natureza traquítica para a zona oriental da ilha, tendo feito ruir muitos telhados de casas, como por exemplo na vila do Nordeste (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005, 2015; Pacheco *et al.*, 2013), como ilustram as isopacas traçadas por Walker e Croasdale (1971) (Fig. 2.10). No dia 29 de junho o vento terá mudado de direção para o quadrante NE, provocando a queda de 10 cm de cinzas em Ponta Delgada (Wallenstein *et al.*, 2015). A atividade eruptiva durou 5 dias e cessou no dia 3 de julho, um dia após o início da erupção no Pico do Sapateiro (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015). Manteve-se, no entanto, uma importante atividade fumarólica no interior da caldeira, com frequentes explosões de vapor (Wallenstein, 1999).

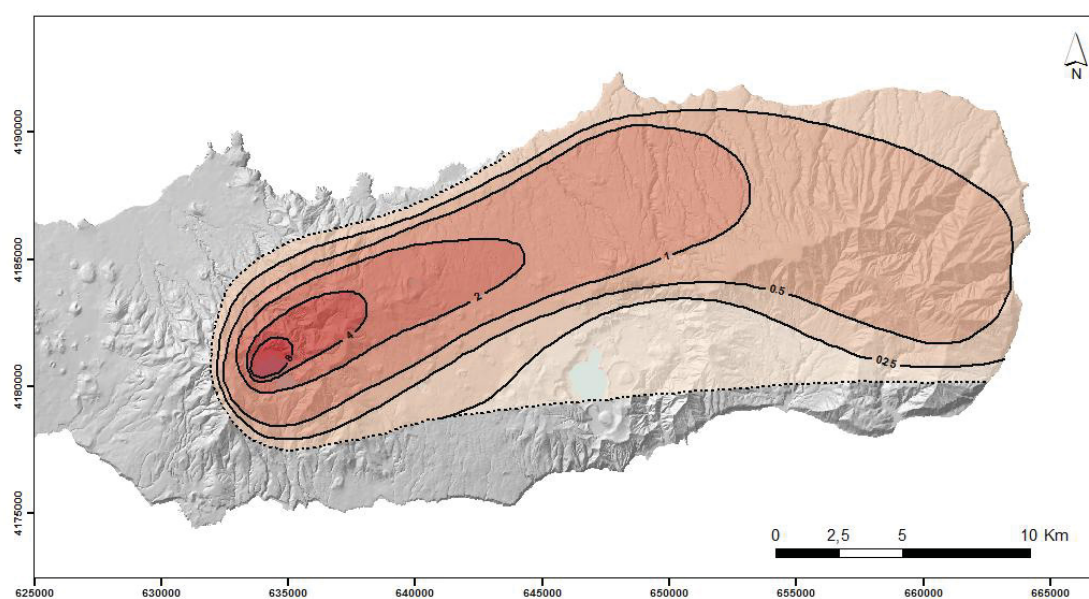


Figura 2.10. Isopacas do depósito da erupção de 1563 com espessuras em metros (adaptado de Walker e Croasdale, 1971). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

Apenas quatro dias depois do início da erupção pliniana, a 2 de julho de 1563 ocorreu uma erupção efusiva de natureza basáltica (*s.l.*), do tipo havaiano, no então designado Pico do Sapateiro e conhecido agora por Pico Queimado, um domo traquítico localizado na vertente NW do maciço do Fogo, a cerca de 3 km a SSW da freguesia da Ribeira Seca. As bocas eruptivas formadas no decurso da erupção abriam-se ao longo de uma fratura de direção NW-SE

(Frutuoso, 1522-1591; Wallenstein *et al.*, 1998, Wallenstein, 1999). As explosões iniciais deram origem à formação de uma coluna eruptiva de cor escura, e à ejeção de blocos e bombas que terão atingido distâncias da ordem das centenas de metros (Wallenstein *et al.*, 1998). No dia 4 (Ferreira, 2000) ou 6 (Wallenstein, 1999) daquele mês deu-se a emissão de uma escoada lávica que fluiu para N, canalizada pelos vales das ribeiras do Vilão e Seca, e que terá atingido a freguesia da Ribeira Seca no final do mesmo dia e alcançado o mar, na praia de Santa Bárbara no dia seguinte. Naquela freguesia, a escoada terá atingido uma largura com cerca de 60 a 80 metros (Wallenstein, 1999). A 9 de julho deu-se a formação da segunda boca eruptiva, que alimentou outro rio de lava que progrediu para NW, através de fendas que se iam desenvolvendo (Frutuoso, 1522-1591; Wallenstein *et al.*, 1998; Wallenstein, 1999), e que atingiu diversos campos de cultivo, entre eles campos de trigo (Wallenstein *et al.*, 1998) (Fig. 2.11). Não se conhece até quando durou esta erupção, no entanto, e de acordo com os registos históricos, sabe-se que se prolongou até ao dia 28 daquele mês (Wallenstein *et al.*, 1998).

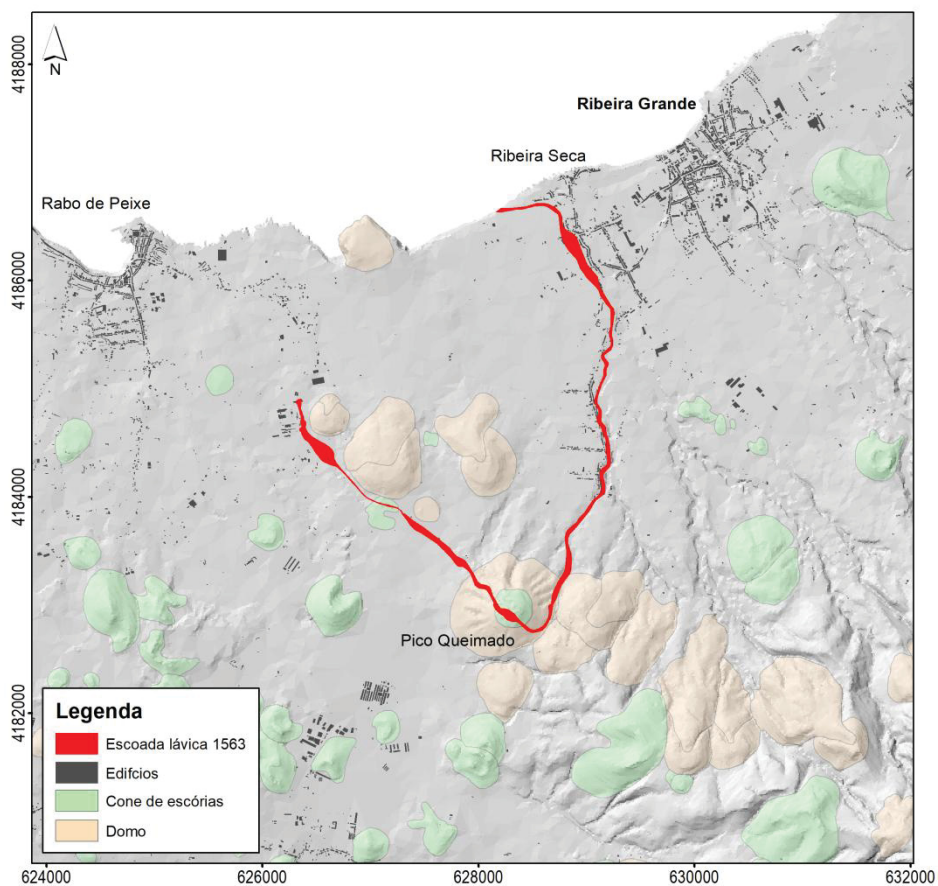


Figura 2.11. Escoadas lávicas produzidas no decurso da erupção de 1563 no Pico do Sapateiro (adaptado de Wallenstein *et al.*, 2015). Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

De acordo com Storey *et al.* (1989) e Wallenstein (1999), as duas erupções que ocorreram em 1563 podem estar associadas à ascensão contemporânea de intrusões magmáticas. Uma teria intersectado a câmara magmática do vulcão do Fogo e desencadeado o mecanismo eruptivo intracaldeira, enquanto que a segunda teria ascendido até à superfície, dando origem diretamente à erupção efusiva do Pico do Sapateiro (Pacheco *et al.*, 2013).

A 10 de fevereiro de 1564 terão ocorrido uma série de explosões freáticas no mesmo local da primeira erupção de 1563, que contribuiram para um maior afundimento e alargamento da cratera daquela erupção (Wallenstein, 1999). Como resultado desenvolveram-se pequenos *lahars*, devido ao transbordo da lagoa para alguns cursos de água existentes no flanco S (Wallenstein, 1999).

CAPÍTULO III – AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A PIROCLASTOS DE QUEDA E A PDCS

3.1. NOTA PRÉVIA

De todos os fenómenos naturais que ocorrem no planeta, as erupções vulcânicas explosivas estão entre as que têm maior capacidade de provocar um elevado impacto socioeconómico, uma vez que poderão atingir diretamente e/ou indiretamente grandes áreas dos domínios terrestre, marítimo e aéreo, onde pessoas, animais, edifícios e infraestruturas básicas, terrenos e bens móveis poderão ser simultaneamente afetados. Para além disso, e em casos mais extremos, as erupções vulcânicas são também capazes de provocar alterações climáticas globais.

A atividade vulcânica explosiva é caracterizada pela formação de colunas eruptivas verticais, em que a dispersão do material, por vezes ao longo de centenas de quilómetros, é condicionada pela ação do vento, dando origem a produtos piroclásticos de queda. No entanto, em alguns casos, as colunas eruptivas podem tornar-se instáveis, verificando-se o seu colapso total ou parcial que resulta na formação de produtos piroclásticos de fluxo (*pyroclastic density currents, PDCs*), capazes de percorrer várias dezenas de quilómetros ao longo da topografia até se depositarem.

O vulcão do Fogo apresenta uma história eruptiva complexa, com a ocorrência de erupções vulcânicas explosivas (subplinianas e plinianas), responsáveis pela formação quer de produtos piroclásticos de queda, quer de produtos piroclásticos de fluxo (ver capítulo II, ponto 2.4.2 – História Eruptiva). Assim, e atendendo à sua história eruptiva, o objetivo principal deste capítulo prende-se com a simulação de cenários eruptivos de natureza explosiva no vulcão do Fogo, nomeadamente o cenário mais provável e pior cenário.

3.2. VULCANISMO DOS TIPOS PLINIANO E SUBPLINIANO

As erupções vulcânicas explosivas podem ser classificadas segundo diferentes critérios. Atualmente, nos vulcões onde estão implementados sistemas de vigilância sismovulcânica, as erupções são observadas e acompanhadas com várias técnicas de monitorização, tais como geofísica, geodésica e geoquímica, que são complementadas com a amostragem dos produtos emitidos, o que permite obter diretamente diferentes parâmetros eruptivos necessários à sua classificação. No entanto, no caso de erupções passadas, ou em vulcões que não são monitorizados, essa sua classificação é feita tendo em conta apenas as características dos depósitos. Estas duas abordagens têm sido analisadas e discutidas por diversos autores, com o objetivo de estabelecer um critério único de classificação. Contudo, nenhuma das duas abordagens de classificação estão totalmente testadas para as erupções de maior intensidade, isto é, com colunas eruptivas superiores a 30 km, principalmente devido à escassez de erupções deste tipo. Por esta razão, a abordagem mais utilizada é ainda baseada nas características dos depósitos formados pelas erupções de maior intensidade (Cioni *et al.*, 2015). Regra geral, a classificação das erupções explosivas é feita de acordo com as características dos depósitos, tendo por base o diagrama da figura 3.1 (Walker, 1973; Cas e Wright, 1987). Neste diagrama as erupções são classificadas tendo em conta a dispersão dos depósitos (que também se pode traduzir pela altura da coluna eruptiva) e a sua fragmentação (que representa a explosividade).

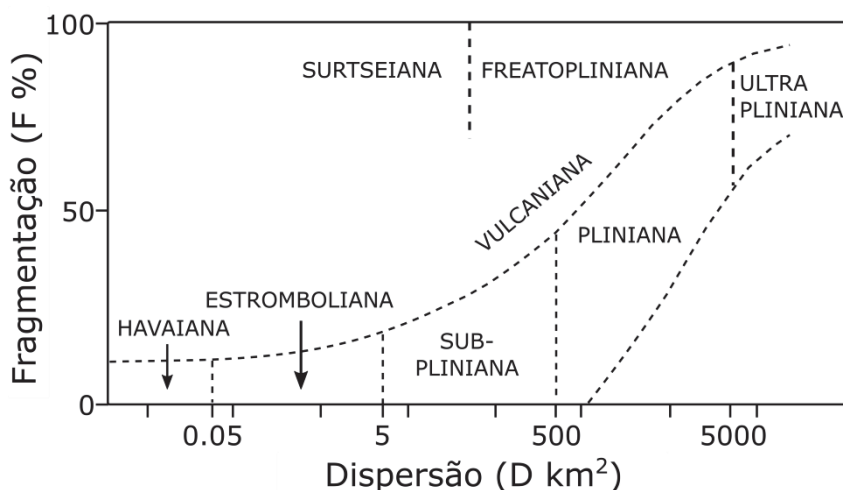


Figura 3.1. Esquema de classificação das erupções explosivas (adaptado de Walker, 1973; Cas e Wright, 1987).

A quantificação da dimensão das erupções vulcânicas pode ser dada por vários parâmetros, tais como a magnitude, o índice de explosividade vulcânica e a intensidade.

A magnitude é uma escala logarítmica que expressa a massa (em kg) de material ejetado durante uma erupção explosiva (tefra), ou material extruído durante uma erupção efusiva (lava), e é diretamente relacionada com o volume emitido (Pyle, 2015).

A intensidade é uma escala logarítmica que quantifica a taxa de extrusão (em kg/s) de uma erupção explosiva e é relacionável com a altura da coluna eruptiva (Pyle, 2015).

O Índice de Explosividade Vulcânica ou VEI (*Volcanic Explosivity Index*) (Fig. 3.2) é uma escala universalmente utilizada para categorizar a dimensão das erupções vulcânicas explosivas (Newhall e Self, 1982). A escala correlaciona o volume (em km³) de material ejetado durante uma erupção com vários outros critérios, como a altura da coluna eruptiva e a duração da erupção (Lockwood e Hazlett, 2010). Esta escala logarítmica baseia-se na suposição de proporcionalidade direta entre a magnitude e a intensidade de uma erupção. Os valores variam entre 0 e 8, sendo que o aumento de uma unidade corresponde a um aumento de 10 vezes do volume do material ejetado à superfície. Deste modo, quanto maior o VEI, maior e mais violenta é a erupção (Cioni *et al.*, 2015).

Assim, ao longo do presente trabalho e de modo a simplificar a análise, consideram-se erupções subplinianas e plinianas equivalentes a VEI 4 e VEI 5, respetivamente.

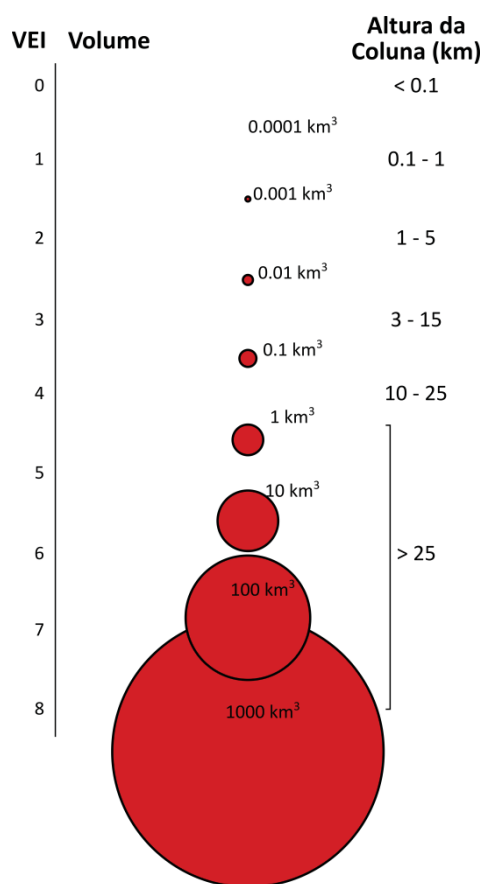


Figura 3.2. Esquema do Índice de Explosividade Vulcânica (VEI) (modificado de Loughlin *et al.*, 2015).

As erupções plinianas são caracterizadas por uma elevada taxa de extrusão de material, formando uma coluna eruptiva vertical cuja altura ultrapassa frequentemente os 20 km, podendo atingir 35 km de altura ou mais (Cioni *et al.*, 2000; Cioni *et al.*, 2015). O volume de material ejetado durante estas erupções varia entre 1 e 10 km³, com taxas de extrusão máximas que variam entre 10⁶ e 10⁸ kg/s. A duração dos pulsos neste tipo de erupções pode variar entre algumas horas a vários dias. Este estilo eruptivo dá origem a extensos e espessos depósitos de pedra-pomes e cinzas de queda e, por vezes, depósitos de produtos piroclásticos de fluxo (PDCs), tais como extensos ignimbritos. As erupções plinianas encontram-se também frequentemente associadas à gênese de caldeiras de subsidência (Cioni *et al.*, 2015).

As erupções subplinianas consistem, geralmente, em eventos instáveis, caracterizados por fases de oscilação da coluna eruptiva de curto período, normalmente na ordem dos minutos, com intervalos de tempo que se podem repetir por períodos mais longos, com duração de horas a

vários dias (Cioni *et al.*, 2015). Esta dinâmica eruptiva resulta na formação de uma coluna eruptiva geralmente pulsátil que, em regra, não ultrapassa os 20 km de altura (Cioni *et al.*, 2000). Para além dos depósitos de pedra-pomes e cinzas de queda, este tipo de colunas eruptivas encontram-se, frequentemente, associadas à formação de produtos piroclásticos de fluxo (PDCs) de pequeno volume, resultantes do colapso total ou parcial da coluna. Os depósitos formados têm, normalmente, volumes inferiores a 1 km³ e uma dispersão menor comparativamente às erupções plinianas. O mesmo se verifica para as taxas de extrusão que apresentam valores mais baixos entre 10⁶ e 10⁷ kg/s (Scandone e Malone, 1985 *in* Cioni *et al.*, 2015).

O vulcão do Fogo, embora seja o que apresenta uma menor frequência eruptiva de entre os três vulcões centrais ativos de São Miguel, é o único que foi palco de uma erupção pliniana nos últimos 5000 anos, tendo sido ainda palco de cinco eventos eruptivos subplinianos neste mesmo período.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS PERIGOS VULCÂNICOS DE QUEDA E DE FLUXO

Os piroclastos resultam da fragmentação do magma e das rochas durante erupções explosivas, e a sua acumulação dá origem aos designados depósitos piroclásticos (Cas e Wright, 1987; Ferreira, 2000). Estes fragmentos projetados no decorrer de uma explosão podem variar em dimensão (Tabela 3.1) e, de acordo com o seu diâmetro e o tipo de material constituinte, descrever diferentes trajetórias. Em termos genéricos, podem ser agrupados em duas grandes classes de acordo com o seu modo de transporte e deposição, nomeadamente, piroclastos de queda e piroclastos de fluxo.

Tabela 3.1. Classificação para fragmentos piroclásticos proposta pela International Union of Geological Sciences (IUGS) (Schmid, 1981).

Diâmetro (mm)	Piroclastos
> 64	Bombas, blocos
2 - 64	<i>Lapilli</i>
1/16 - 2	Cinzas grosseiras
< 1/16	Cinzas finas

3.3.1. Piroclastos de queda

Os piroclastos de queda são ejetados para o ar durante erupções explosivas, juntamente com gases vulcânicos, sendo geralmente, transportados na coluna eruptiva ou adquirindo trajetórias balísticas (Cas e Wright, 1987; Malheiro, 2002).

O desenvolvimento vertical das colunas eruptivas resulta, numa primeira fase, do impulso dos gases vulcânicos e posteriormente, da diferença de densidade entre a coluna eruptiva e o ar atmosférico, da descompressão e expansão dos gases quentes por convecção. A altura da coluna é um dos principais fatores que controla a dispersão dos piroclastos. Quanto maior a sua altura, maior a dispersão do material que transporta (Malheiro, 2002). Uma coluna eruptiva ascende até que a sua densidade seja igual à da atmosfera envolvente, podendo, em função de vários outros fatores como a taxa de extrusão, teor de gases, velocidade de ejeção do gás e da eficiência com que se processa a introdução do ar atmosférico, atingir alturas variáveis. A direção e velocidade

do vento desempenham um papel fundamental na dispersão dos piroclastos em suspensão. A chuva pode condicionar a deposição de cinzas, na medida em que, ao atravessar a coluna eruptiva, as gotas da chuva arrastam as cinzas finas, precipitando-as precocemente (Cas e Wright, 1987; Bonadonna *et al.*, 2015).

Quando a coluna eruptiva perde a capacidade de sustentação dos piroclastos, estes caem por ação da gravidade, observando-se uma diminuição da sua dimensão com o aumento da distância ao centro emissor. Geralmente, os piroclastos com dimensões superiores a 1 mm depositam-se até 30 minutos após serem ejetados, enquanto que as cinzas de dimensão inferior a 0,1 mm, podem permanecer suspensas na atmosfera até mais de 2 anos (Cas e Wright, 1987).

Os depósitos de piroclastos de queda resultam da deposição gravítica do material transportado pela coluna eruptiva e a sua distribuição pode apresentar dois padrões, embora existam variações intermédias: um padrão circular, que resulta de colunas eruptivas relativamente baixas e/ou com condições de vento calmo; ou um padrão elíptico, que advém de colunas eruptivas com maior altura e/ou que tenham sido afetadas por ventos fortes unidirecionais (Malheiro, 2002; Houghton e Carey, 2015). Os depósitos de piroclastos de queda são caracterizados por cobrir uniformemente a topografia, exibindo localmente a mesma espessura, no entanto, a espessura do depósito e a dimensão dos fragmentos diminuem com a distância ao centro emissor (Cas e Wright, 1987).

Estes depósitos podem ser divididos de acordo com o tipo de material que os compõem, sendo os mais comuns os depósitos de escórias, os depósitos de pedra pomes e os depósitos de cinzas. Os depósitos de escórias estão associados a erupções de natureza basáltica (*s.l.*). Nestes casos a dispersão dos piroclastos é relativamente reduzida, pois são gerados por atividade de baixa a moderada explosividade, geralmente ao nível de centros eruptivos pontuais (cones) ou fissurais. Os depósitos de pedra pomes resultam de erupções de grande explosividade, geralmente, de natureza traquítica (*s.l.*), que originam colunas eruptivas que atingem maiores alturas, estando frequentemente associados a vulcões centrais. Nestes casos, a dispersão dos piroclastos é também maior, quando comparado com o caso anterior. Relativamente aos depósitos de cinzas (geralmente pomíticas), resultam de erupções de elevada explosividade ou hidromagmáticas e são os que apresentam, normalmente, maior dispersão (Cas e Wright, 1987; Houghton e Carey, 2015).

3.3.2. PDCs (*Pyroclastic Density Currents*)

Os produtos piroclásticos de fluxo incluem uma diversidade de tipos de fluxos de natureza vulcânica, constituídos por gases, rochas e cinzas vulcânicas, que se deslocam a elevada velocidade ao longo da topografia. Estes fluxos podem ser caracterizados em dois grandes grupos de acordo com a sua concentração de partículas. Fluxos piroclásticos com uma elevada concentração de partículas (também conhecidos por escoadas piroclásticas) ou fluxos piroclásticos com baixas concentrações de partículas (isto é *surges*) (Cas e Wright, 1987). A designação *PDCs* (*Pyroclastic Density Currents*) é atualmente utilizada para abranger num mesmo grupo as escoadas piroclásticas e os *surges* enquanto produtos piroclásticos de fluxo (Dufek *et al.*, 2015; Pimentel, 2015).

3.3.2.1. Escoadas piroclásticas

As escoadas piroclásticas correspondem a fluxos de gases, rochas e cinzas vulcânicas, que progridem a grande velocidade ao longo do terreno, com temperaturas que podem ser superiores a 500°C, podendo mesmo atingir 800-900°C em alguns casos. O seu trajeto é fortemente controlado pela densidade da mistura eruptiva, pelo efeito da gravidade e pelas características da topografia. A sua propagação segue o percurso de maior declive, sendo canalizadas por vales e pela rede de drenagem em torno do vulcão. Contudo, caso a volume e a velocidade sejam suficientemente elevados, podem ultrapassar obstáculos topográficos. As escoadas piroclásticas podem formar-se por diversos processos vulcânicos, quer pelo colapso total ou parcial de colunas eruptivas, quer por explosões laterais do edifício vulcânico ou pelo colapso gravitacional (ou explosivo) de escoadas lávicas ou domos (Cas e Wright, 1987; Dufek *et al.*, 2015; Pimentel, 2015).

Estes fluxos piroclásticos são caracterizados por uma elevada concentração de partículas sólidas, isto é, cinzas, *lapilli* e blocos, que se encontram em suspensão numa mistura de gases vulcânicos a elevada temperatura. Consequentemente, as escoadas piroclásticas são muito mais densas do que o ar envolvente, levando a que se precipitem pelos flancos do vulcão como avalanches. Ao progredirem, os gases vulcânicos escapam dos piroclastos a alta temperatura, formando-se uma nuvem em constante expansão que arrasta os fragmentos sólidos ou semi-sólidos. A elevada

densidade destes fluxos permite o transporte de materiais sólidos de grandes dimensões, fazendo assim com que possuam um grande poder erosivo (Cas e Wright, 1987; Dufek *et al.*, 2015; Pimentel, 2015).

A velocidade de propagação das escoadas piroclásticas pode exceder os 100 m/s, podendo atingir várias dezenas de quilômetros de distância à fonte em apenas alguns minutos. Estas podem durar desde poucos minutos a várias horas, ou, em casos mais extremos, continuar de forma descontinuada por vários anos (Freundt e Bursik, 1998 *in* Lockwood e Hazlett, 2010)

Os depósitos destes produtos piroclásticos de fluxo podem apresentar espessuras de várias dezenas de metros e, dependendo da temperatura de instalação, podem ser soldados. Em função de diferentes mecanismos de transporte e deposição, os depósitos podem ser maciços ou estratificados (Brown e Andrews, 2015).

3.3.2.2. Surges

Os *surges* correspondem a fluxos turbulentos de gases, rochas e cinzas vulcânicas, com uma baixa concentração de partículas (Carey, 1991 *in* Malheiro, 2002). Devido à sua baixa densidade, estes fluxos piroclásticos não tem capacidade de transportar fragmentos de grandes dimensões. Consequentemente, e comparado às escoadas piroclásticas, têm menor capacidade erosiva. O transporte dos materiais sólidos é feito, predominantemente, por suspensão turbulenta e arraste, no entanto, como são menos densos que as escoadas piroclásticas, são menos condicionados pela topografia, tendo a capacidade de ultrapassar pequenos relevos (Cas e Wright, 1987; Pimentel, 2015).

Os produtos piroclásticos de fluxo do tipo *surge* podem formar-se, de entre outras formas, devido (i) ao colapso total ou parcial de colunas eruptivas, dando origem a nuvens anelares (*base surges*) no decorrer de erupções hidromagmáticas; (ii) à rápida descompressão de explosões laterais de edifícios vulcânicos, quando associados a erupções magmáticas; (iii) ao colapso de parte de um domo ou de uma frente de escoada lávica (Cas e Wright, 1987; Dufek *et al.*, 2015).

Com base na sua origem e características, os *surges* podem distinguir-se entre secos e húmidos. Os *surges* secos apresentam temperaturas superiores a 100°C, podendo mesmo ultrapassar os

400°C, e a água presente encontra-se sob a forma de vapor. Estes são gerados no decurso de erupções hidromagmáticas com razões água/magma muito baixas. Relativamente aos *surges* húmidos, estes apresentam temperaturas inferiores a 100°C, possibilitando assim a presença de água no estado líquido. São gerados no decorrer de erupções hidromagmáticas ou da interação de uma escoada piroclástica com um corpo de água (Cas e Wright, 1987).

Os *surges* propagam-se, tipicamente, a velocidades iguais ou superiores a 100 km/h, alcançando no máximo distâncias da ordem dos 10 km (Crandell *et al.*, 1984; Tilling, 1989; Carey, 1991 *in* Malheiro, 2002). Os depósitos resultantes variam conforme a distância à fonte, tendo em conta que perdem rapidamente velocidade e energia com a distância percorrida. Assim, em zonas próximas os depósitos são constituídos por numerosos leitos de cinzas grosseiras e blocos, enquanto que nas zonas distais são menos espessos, sendo compostos por finos níveis paralelos de cinzas (Pimentel, 2015).

3.4. CENÁRIOS ERUPTIVOS

Uma das medidas fundamentais para avaliar o perigo vulcânico e preparar planos de emergência é a elaboração de mapas de suscetibilidade, que indicam quais as zonas passíveis de serem afetadas por diferentes perigos no decorrer de um evento eruptivo. É assim necessários definir cenários eruptivos, tendo em conta o conhecimento dos produtos que serão emitidos no decorrer de uma erupção, e os efeitos que estes terão nos elementos expostos que se localizam na área possivelmente afetada (Chester, 1993; Gaspar, 1996).

3.4.1. Avaliação da suscetibilidade a piroclastos de queda no vulcão do Fogo

Para a avaliação da suscetibilidade relativa aos piroclastos de queda, foram considerados diferentes cenários possíveis para dois tipos de erupções, nomeadamente, uma erupção subpliniana (VEI 4) e uma erupção pliniana (VEI 5). O primeiro conjunto de cenários assume que as erupções ocorrem em condições sem vento, embora, sendo este, naturalmente, um caso pouco provável. O segundo conjunto de cenários tem em consideração os ventos dominantes nos Açores durante os períodos de verão e inverno.

3.4.1.1. Avaliação da suscetibilidade a piroclastos de queda em condições sem vento

3.4.1.1.1. Metodologia

Com o objetivo de se proceder à avaliação da suscetibilidade a piroclastos de queda em condições sem vento, numa primeira fase considerou-se a área das isopacas de 1 metro, estabelecidas por Walker e Croasdale (1971), dos depósitos das erupções do Fogo de 1563 (caso de uma erupção subpliniana de VEI 4) e do Fogo A (erupção pliniana tipo de VEI 5) e converteu-se para um círculo com a mesma área (Tabela 3.2). O raio do círculo representa, assim, a distância que pode ser coberta por 100 centímetros de tefra resultante dos tipos de erupções considerados. Uma vez que é impossível saber exatamente o local onde poderá ocorrer uma futura erupção, assumiu-se como área fonte toda a base da caldeira do vulcão do Fogo, a partir

da qual se executou um *buffer* com a distância calculada (isto é, o raio do círculo com a mesma área da isopaca de 1 metro).

Tendo em conta que o vulcão das Sete Cidades também foi palco de inúmeras erupções explosivas e que o depósito P11 resultou daquela que é considerada a maior erupção do tipo subpliniano deste vulcão, optou-se por comparar com o depósito da erupção do Fogo de 1563, tendo-se calculado a área da isopaca de 1 metro deste mesmo depósito, tal como definida por Gonçalves (2006). Os resultados obtidos são quase idênticos aos do depósito do Fogo de 1563 (Tabela 3.2) e, embora se tratem de vulcões distintos, leva-nos a concluir que a metodologia utilizada para elaborar cenários desta natureza é válida. As figuras 3.3 e 3.4 representam o resultado destes cenários.

Tabela 3.2. Parâmetros utilizados nos cenários das erupções de VEI 4 e VEI 5 em condições sem vento.

Depósito	Isopaca (m)	Área (km ²)	Raio (km)
Fogo A (Walker e Croasdale, 1971)	1	289,822361	9,6049
Fogo 1563 (Walker e Croasdale, 1971)	1	104,96165	5,7802
P11 (Sete Cidades) (Gonçalves, 2006)	1	100,399522	5,6532

3.4.1.1.2. Resultados

Os cenários obtidos para erupções de VEI 4 e VEI 5, figuras 3.3 e 3.4, respetivamente, traduzem a área de dispersão máxima de 1 metro de espessura de piroclastos de queda, nomeadamente pedra-pomes e cinzas pomíticas, gerados na caldeira do vulcão do Fogo, em condições atmosféricas sem vento.

No cenário de erupção subpliniana de VEI 4, os flancos do vulcão ficam totalmente cobertos, afetando uma grande parte dos concelhos da Ribeira Grande, Lagoa e Vila Franca do Campo, correspondendo assim a toda a parte central da ilha de São Miguel.

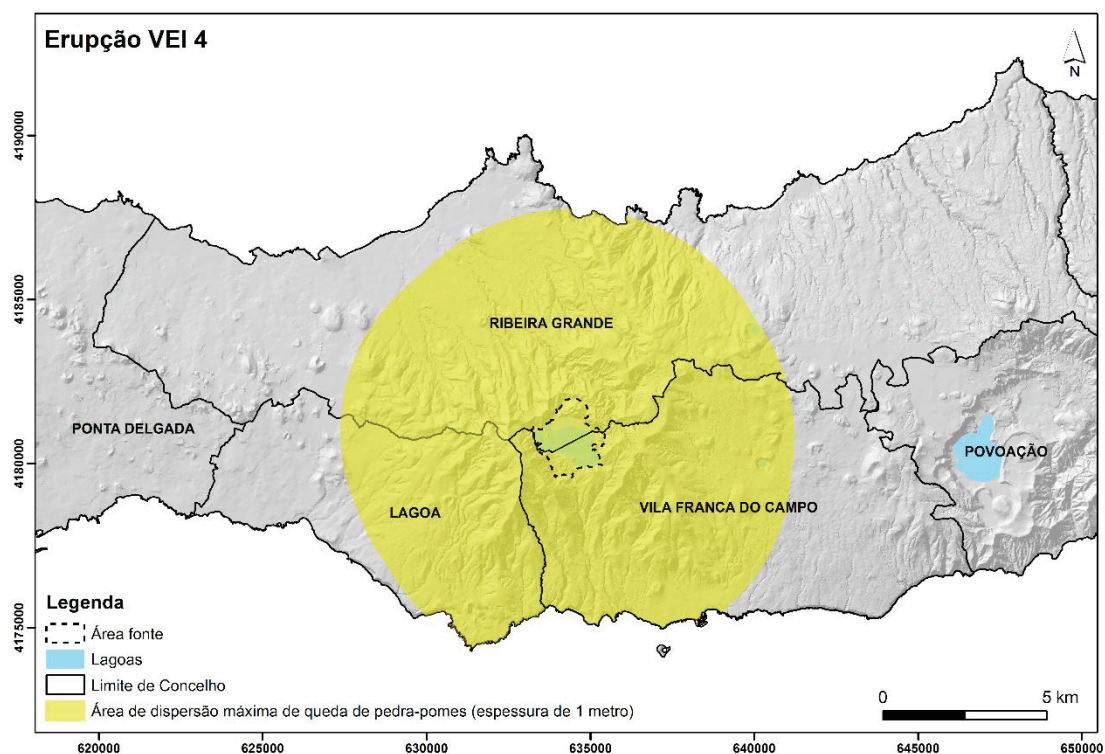


Figura 3.3. Área suscetível de ser afetada por 1 metro de piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção subpliniana de VEI 4, em condições sem vento. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.

Considerando o cenário de erupção pliniana de VEI 5, e como seria de esperar, os produtos emitidos (isopaca de 1 metro) apresentam uma maior dispersão relativamente à dos gerados numa erupção de VEI 4, sendo que neste cenário de maior índice de explosividade, praticamente toda a área dos concelhos da Lagoa e de Vila Franca do Campo ficará coberta, assim como grande parte do concelho da Ribeira Grande. Ainda neste cenário, é possível verificar que uma pequena parte da zona NW do concelho da Povoação e do extremo NE do concelho de Ponta Delgada são também afetados.

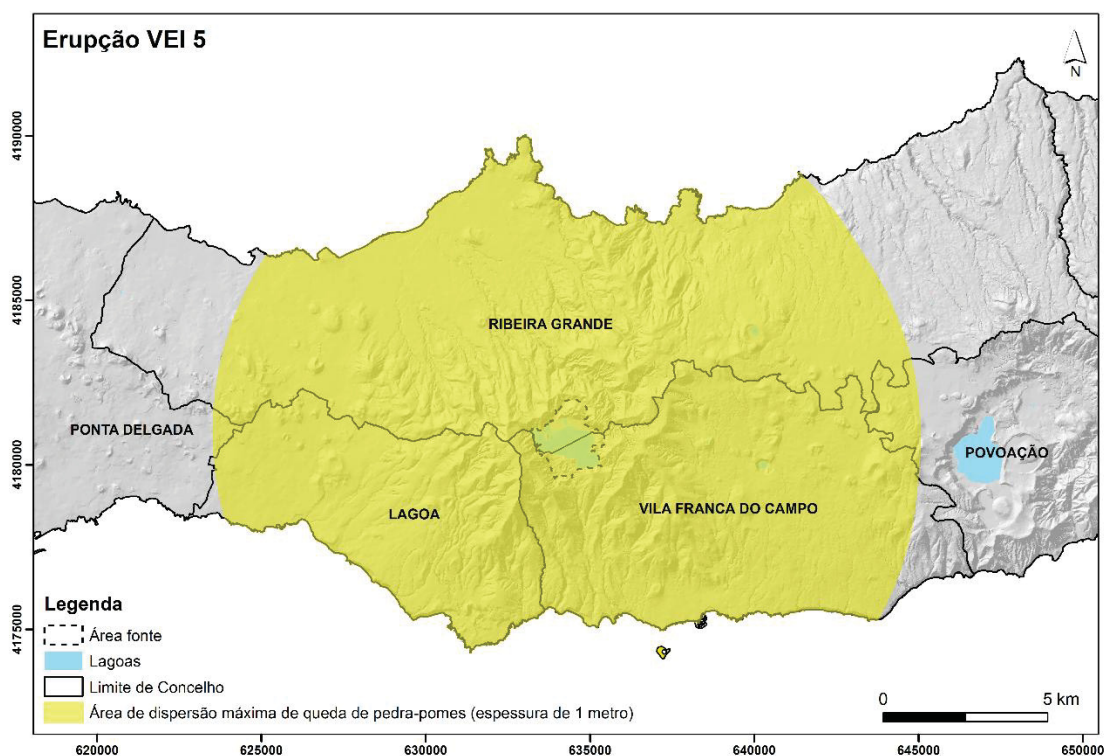


Figura 3.4. Área suscetível de ser afetada por 1 metro de piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção pliniana de VEI 5, em condições sem vento. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.

A análise destes mapas revela que uma grande parte da ilha poderá ser afetada por este tipo de produto vulcânico, uma vez que em ambas as erupções, os produtos emitidos alcançam o litoral ao longo dos flancos N e S do vulcão.

3.4.1.2. Avaliação da suscetibilidade a piroclastos de queda com vento

3.4.1.2.1. Metodologia

Considerando que as condições sem vento nos Açores são um cenário de probabilidade reduzida, e que a análise estatística dos padrões de vento nos Açores, registados a partir de radiossondas ao longo de 56 anos, revelou diferenças significativas entre os meses de verão (maio a setembro) e de inverno (outubro a abril) (Pimentel *et al.*, 2006), optou-se por realizar simulações para avaliar a suscetibilidade a piroclastos de queda tendo em consideração este fator meteorológico. Para além das diferenças entre os meses de verão e inverno, a análise estatística indica também

diferenças na direção e velocidade do vento a diferentes altitudes (Fig. 3.5). Na troposfera (até aos 12 km de altitude), as direções mais frequentes são de W a NW e de N a NW durante os meses de verão, apresentando uma tendência dominante diferente nos meses de inverno, isto é, de W a SW. A altitudes mais elevadas, acima dos 17 km (estratosfera), prevalece uma direção forte e considerável de leste nos meses de verão, e uma direção de W durante o inverno. Estes perfis verticais de vento revelam uma atmosfera estratificada com direções geralmente similares e velocidades crescentes até à tropopausa, mas direções significativamente diferentes e velocidades mais baixas na estratosfera.

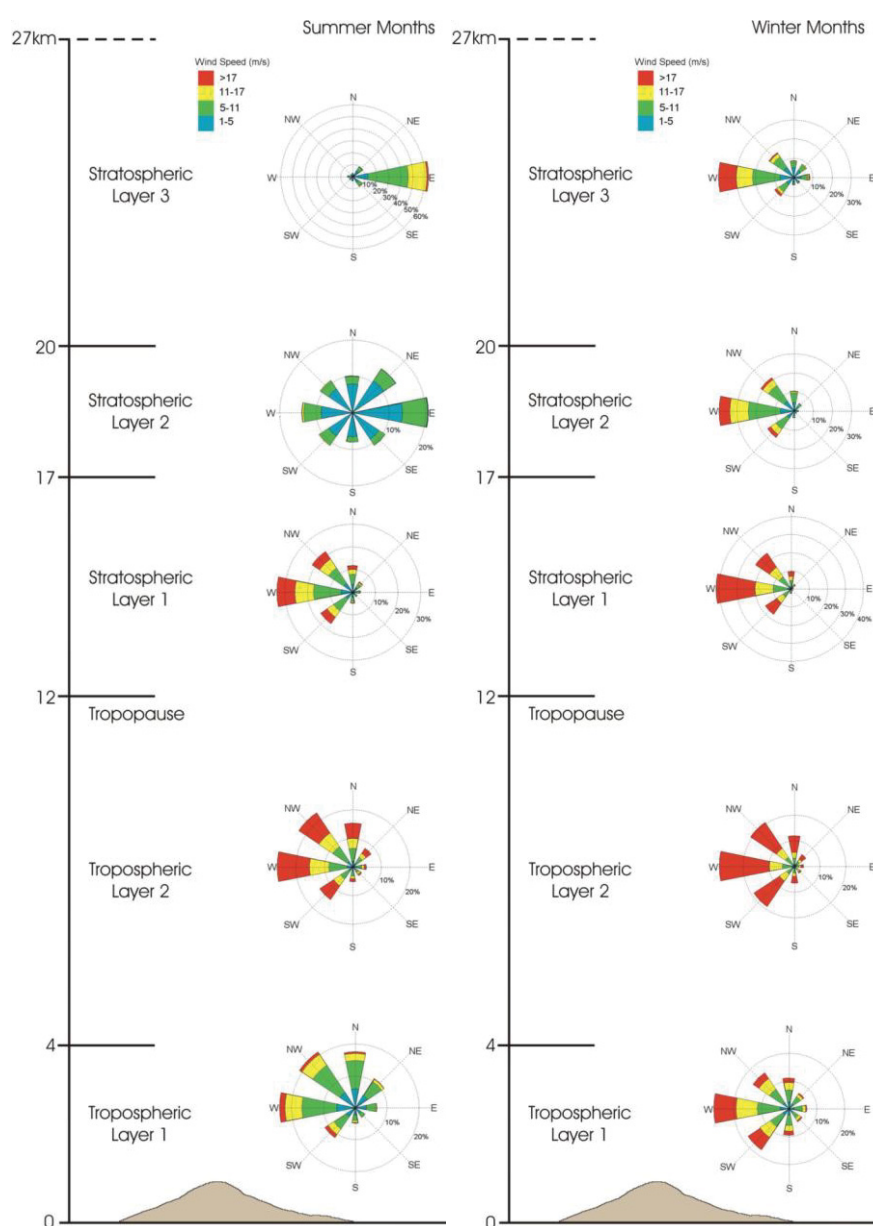


Figura 3.5. Análise estatística dos dados do vento, obtidos por radiosondas, na região dos Açores para diferentes períodos do ano a diferentes altitudes (Pimentel *et al.*, 2006).

Tendo como o objetivo simular a dispersão dos produtos emitidos durante erupções explosivas, optou-se por utilizar a ferramenta VORIS 2.0.1, inserida num Sistema de Informação Geográfica (SIG), nomeadamente o ArcGIS 9 (ESRI), para a realização deste estudo. O VORIS (*VOlcanic Risk Information System*), desenvolvido por Felpeto *et al.* (2007), é uma ferramenta usada na avaliação de perigos vulcânicos, cujo principal objetivo é fornecer ao utilizador os instrumentos necessários para a produção de mapas de suscetibilidade e cenários vulcânicos.

As simulações de piroclastos de queda foram realizadas com um modelo semi-analítico de difusão-advecção (Folch e Felpeto, 2005 *in* Felpeto, 2007), que assume que a partir de uma determinada distância da fonte, o transporte das partículas numa coluna eruptiva é controlado pelo efeito de advecção do vento, pela difusão devido à turbulência atmosférica e pela velocidade de sedimentação das partículas (Felpeto *et al.*, 2007). Este modelo permite simular diferentes cenários eruptivos, utilizando como parâmetros de entrada, a altura da coluna eruptiva, o volume de material ejetado, a dimensão e a densidade das partículas, dados atmosféricos e dados relativos à direção e velocidade do vento a diferentes altitudes. O resultado é um mapa que contém informação relativa à deposição do material ejetado, isto é, à espessura acumulada, e não a sua dispersão.

Os parâmetros de entrada relativos à altura da coluna eruptiva e à dimensão das partículas foram escolhidos tendo por base dados disponíveis na bibliografia referente a erupções explosivas do vulcão do Fogo, como também de outros vulcões com características semelhantes. Assim, para o cenário mais provável (erupção subpliniana de VEI 4) utilizou-se uma altura da coluna de 18 km (Cole *et al.*, 2008) e um volume total emitido de 1 km³ (Booth *et al.*, 1978) (Tabela 3.3). Para o pior cenário (erupção pliniana de VEI 5) considerou-se uma altura da coluna eruptiva de 27 km (Bursik *et al.*, 1992; Gaspar *et al.*, 2015b) e um volume total de 3,2 km³ (Booth *et al.*, 1978) (Tabela 3.4). Ao contrário do que se considerou para a elaboração dos cenários referentes aos piroclastos de queda em condições sem vento, nestas simulações considerou-se o centro emissor no centro da caldeira.

Tabela 3.3. Parâmetros eruptivos de entrada para as simulações de erupção de VEI 4.

Volume		1 km ³	Booth <i>et al.</i> , 1978
Altura da coluna		18 500 m	Carey e Sparks, 1986
Partículas	Diâmetro Mediano	0 Φ	Cole <i>et al.</i> , 1995 in Pimentel <i>et al.</i> , 2006
	Desvio padrão	2 Φ	
	Máximo	-4 Φ	Walker e Croasdale, 1971
	Mínimo	4 Φ	
Densidade	$\Phi < 1$	800 kg/m ³	Felpeto, 2009
	$1 \leq \Phi \leq 3$	1200 kg/m ³	
	$\Phi > 3$	2300 kg/m ³	

Tabela 3.4. Parâmetros eruptivos de entrada para as simulações de erupção de VEI 5.

Volume		3,2 km ³	Booth <i>et al.</i> , 1978
Altura da coluna		27 000 m	Bursik <i>et al.</i> , 1992 Gaspar <i>et al.</i> , 2015b
Partículas	Diâmetro Mediano	0 Φ	Cole <i>et al.</i> , 1995 in Pimentel <i>et al.</i> , 2006
	Desvio padrão	2 Φ	
	Máximo	-4 Φ	Walker e Croasdale, 1971
	Mínimo	4 Φ	
Densidade	$\Phi < 1$	800 kg/m ³	Felpeto, 2009
	$1 \leq \Phi \leq 3$	1200 kg/m ³	
	$\Phi > 3$	2300 kg/m ³	

Relativamente aos parâmetros de vento, consideraram-se as combinações (direção, velocidade) mais prováveis para cada nível de acordo com os dados compilados por Pimentel *et al.* (2006), tendo-se optado por utilizar cinco níveis de entrada, tal como identificado nas tabelas 3.5 e 3.6.

Tabela 3.5. Parâmetros de entrada dos ventos para as simulações de erupção de VEI 4.

Verão			Inverno		
Altitude (m)	Direção (graus)	Velocidade (m/s)	Altitude (m)	Direção (graus)	Velocidade (m/s)
1500	270	8	1500	270	17
6125	315	17	6125	270	20
10750	315	20	10750	270	20
15375	270	8	15375	270	17
20000	90	6	20000	270	11

Tabela 3.6. Parâmetros de entrada dos ventos para as simulações de erupção de VEI 5.

Verão			Inverno		
Altitude (m)	Direção (graus)	Velocidade (m/s)	Altitude (m)	Direção (graus)	Velocidade (m/s)
1500	270	8	1500	270	17
8125	315	17	8125	270	20
14750	270	18	14750	270	20
21375	90	8	21375	270	10
28000	90	11	28000	270	17

3.4.1.2.2. Resultados

Os resultados obtidos para as diferentes simulações – erupção subpliniana de VEI 4 no verão e inverno, e erupção pliniana de VEI 5 no verão e inverno, encontram-se representados nas figuras 3.6 a 3.9.

De uma forma generalizada, a análise dos resultados das simulações permite constatar que, independentemente do índice de explosividade considerado, nos meses de verão a região SSE da ilha é a mais provável de ser afetada pela queda de piroclastos, enquanto que nos meses de inverno é a metade oriental da ilha.

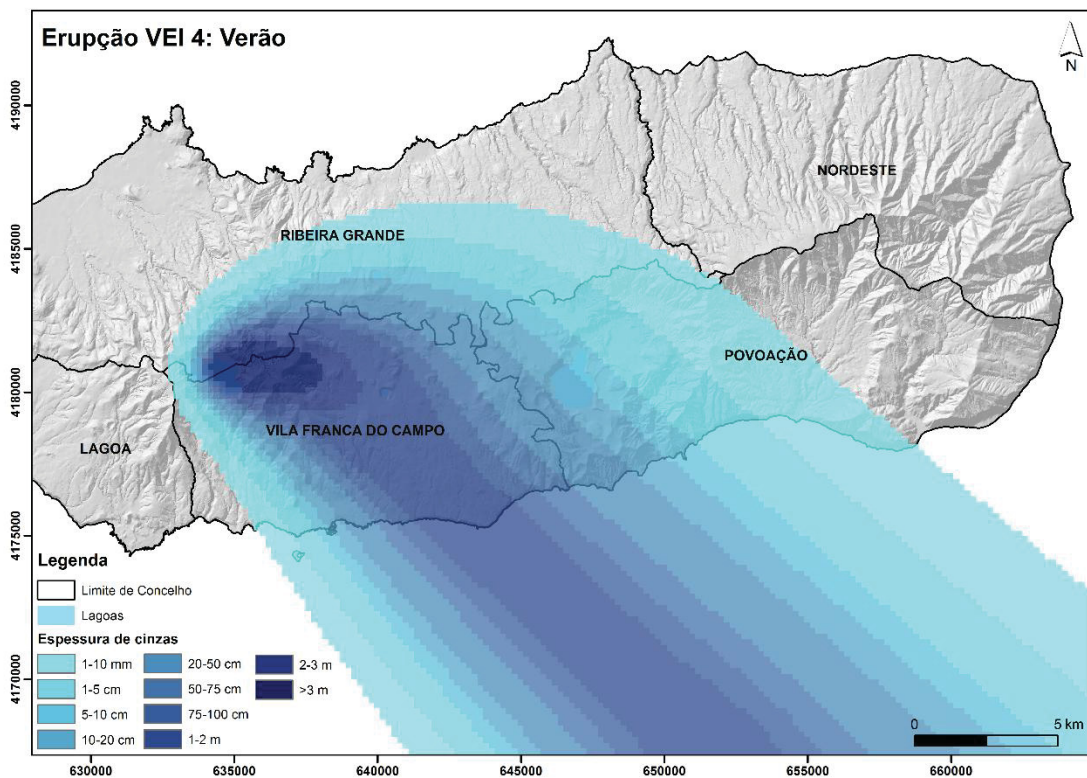


Figura 3.6. Área suscetível de ser afetada por piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção subpliniana de VEI 4 nos meses de verão. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.

Relativamente ao cenário de erupção subpliniana de VEI 4, durante os meses de verão (Fig. 3.6), as velocidades mais reduzidas do vento (6-20 m/s) e as direções predominantes proporcionam uma espessura máxima de tefra superior a 3 metros dentro da caldeira do vulcão e imediatamente a ESE do centro emissor. Durante os meses de inverno (Fig. 3.7), as velocidades do vento mais elevadas (11-20 m/s) e as direções ligeiramente diferentes das do cenário de verão fazem com que a espessura máxima de tefra, também superior 3 metros, seja obtida a E do centro emissor.

Relativamente às restantes espessuras do depósito, considerando o cenário de verão, o concelho de Vila Franca do Campo será o mais afetado, ficando coberto com uma espessura de tefra de 1 a 3 metros. Os ventos provenientes de WNW fazem com que metade do concelho da Povoação e parte do concelho da Ribeira Grande fiquem sujeitos a espessuras menores, variando entre 1 milímetro e 1 metro.

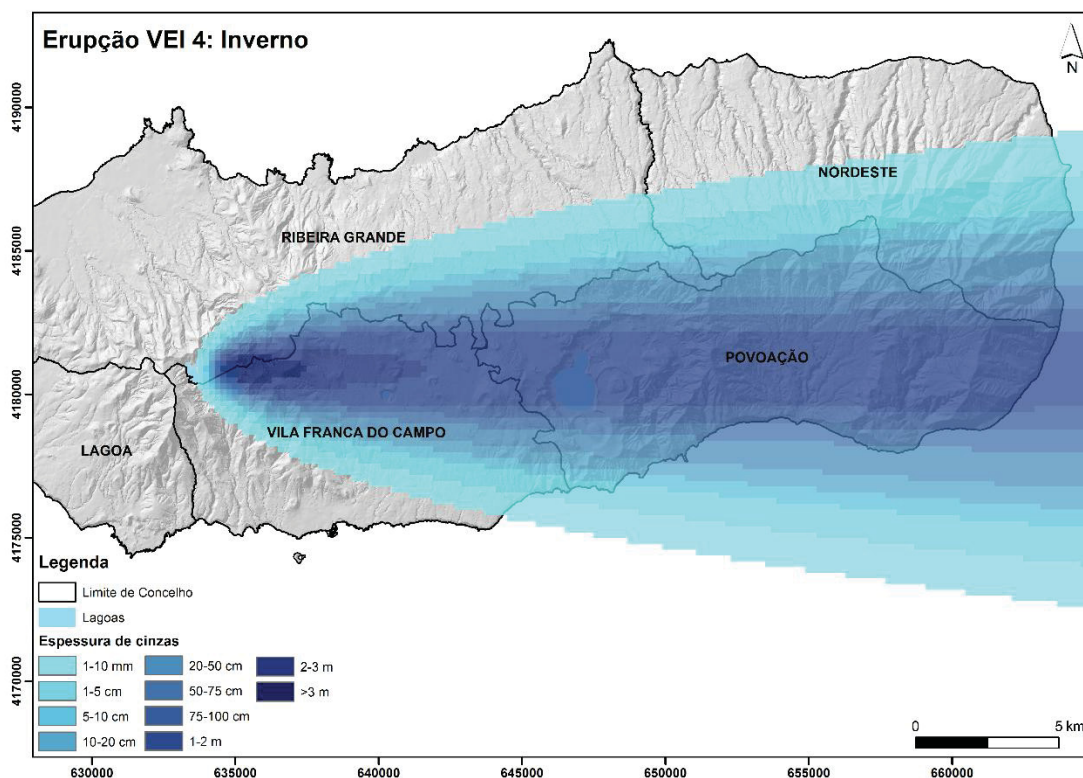


Figura 3.7. Área suscetível de ser afetada por piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção subpliniana de VEI 4 nos meses de inverno. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.

Os ventos dominantes dos meses de inverno levam a uma dispersão dos materiais emitidos para leste. Embora o concelho de Vila Franca do Campo esteja localizado mais perto da fonte, os ventos de W apenas promovem a queda de tefra na parte N do concelho, podendo atingir espessuras máximas superiores a 2 metros. Neste cenário, é o concelho da Povoação o mais afetado pela deposição de tefra. Com efeito, são obtidas espessuras máximas de 2 metros em grande parte da sua área. Já os concelhos da Ribeira Grande e do Nordeste serão também afetados, embora com espessuras menores. Tanto quanto se observa no mapa, os piroclastos de queda não alcançarão os parques habitacionais do concelho da Ribeira Grande enquanto que as freguesias que se localizam na zona leste no concelho do Nordeste serão cobertas com espessuras entre 1 milímetro e 1 metro.

Relativamente à erupção pliniana de VEI 5, os cenários considerados seguem o mesmo padrão da erupção de VEI 4 descritas anteriormente, no entanto com maior dispersão. No caso dos meses de verão (Fig. 3.8), as velocidades mais baixas do vento (8-18 m/s) e as direções consideradas dão

origem a uma espessura máxima superior a 3 metros dentro da caldeira do vulcão e a ESE da mesma, no concelho de Vila Franca do Campo. Em contrapartida, as velocidades mais elevadas do vento (10-20 m/s) e as direções predominantes nos meses de inverno (Fig. 3.9) fazem com que a espessura máxima de tefra, superior a 3 metros, tenha uma mais dispersão, alcançando o concelho da Povoação.

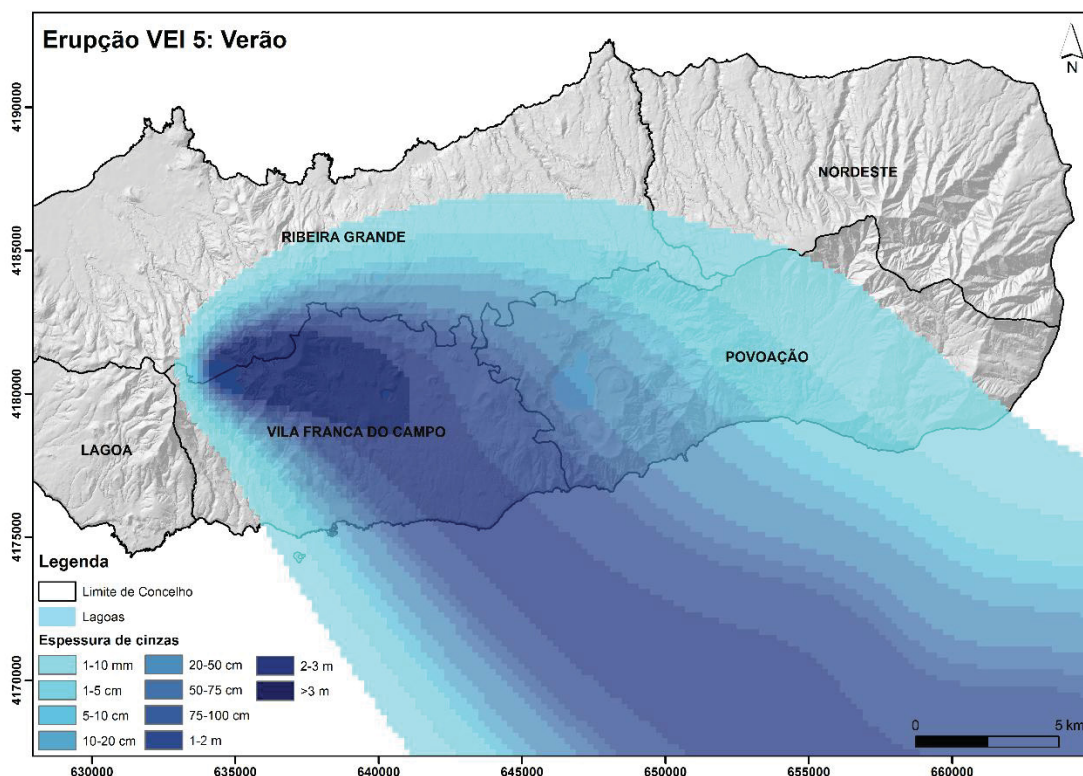


Figura 3.8. Área suscetível de ser afetada por piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção pliniana de VEI 5 nos meses de verão. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.

Tal como se verificou nos cenários de VEI 4, para os meses de verão, também no caso de erupção pliniana de VEI 5, a coluna eruptiva dispersar-se-á para ESE e os depósitos poderão alcançar espessuras da ordem dos 3 metros no concelho de Vila Franca do Campo. No concelho vizinho, Povoação, a espessura não deverá ultrapassar 1 metro nas freguesias localizadas a ocidente.

Nos meses de inverno, a coluna eruptiva resultante de uma erupção de VEI 5, condicionada pelos ventos dominantes, depositará o material piroclástico para leste, afetando toda a parte oriental da ilha. Tal como aconteceria numa erupção de VEI 4, no mesmo período do ano, o concelho da

Povoação seria provavelmente o mais afetado, onde as espessuras de tefra poderiam alcançar espessuras de 2 a 3 metros.

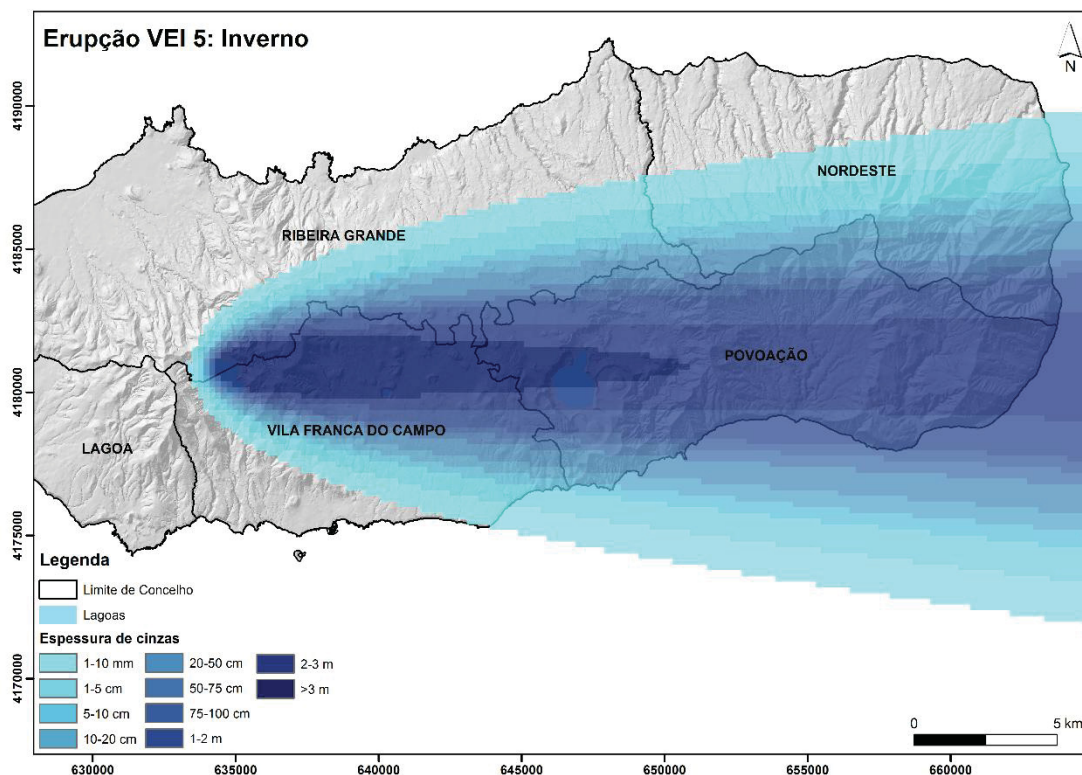


Figura 3.9. Área suscetível de ser afetada por piroclastos de queda pomíticos emitidos numa erupção pliniana de VEI 5 nos meses de inverno. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.

3.4.2. Avaliação da suscetibilidade a PDCs no vulcão do Fogo

3.4.2.1. Metodologia

O modelo utilizado para a simulação do alcance máximo dos produtos piroclásticos de fluxo (PDCs) foi desenvolvido por Malin e Sheridan (1982) e também está inserido no VORIS 2.0.1, fornecendo uma abordagem rápida e conservadora para avaliar a suscetibilidade a este perigo vulcânico (Alberico *et al.*, 2008). O modelo do cone de energia relaciona a altura do ponto de colapso da coluna eruptiva (H) com o comprimento máximo que o fluxo pode atingir (L), através do coeficiente de Heim, que traduz as propriedades reológicas do fluxo piroclástico. A inclinação do cone de energia é dada pelo ângulo (α) definido por $\arctan(H/L)$ (Fig. 3.10). Assim, a

interseção deste cone de energia com a superfície do terreno, define os limites distais do fluxo piroclástico (Felpeto, 2009).

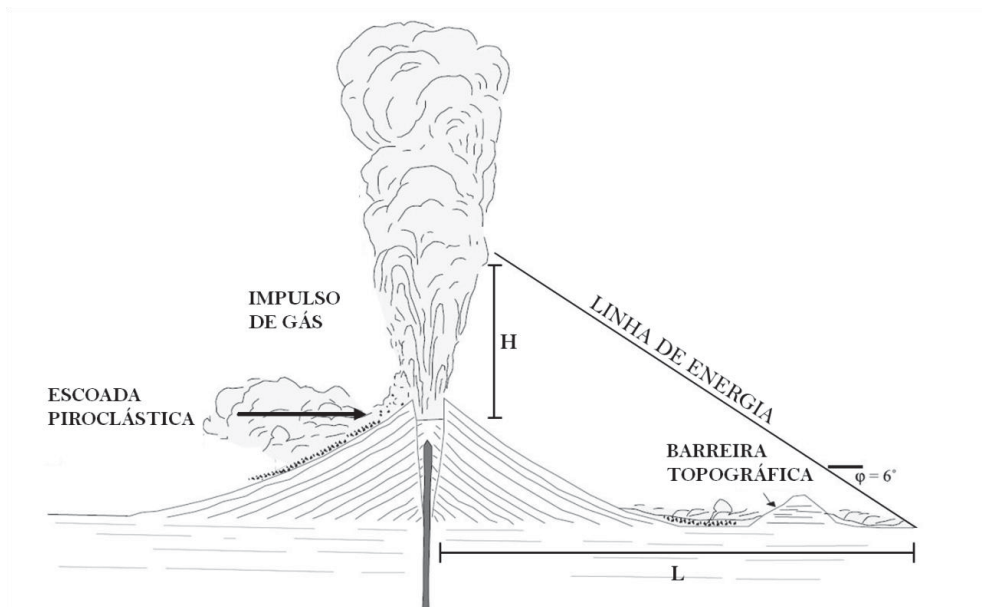


Figura 3.10. Esquema do cone de energia (Sheridan e Malin, 1982) (modificado de Alberico *et al.*, 2002).

Este método compara a elevação do cone de energia, isto é, a energia potencial de um determinado fluxo piroclástico com a elevação topográfica. Se o cone de energia for superior em relação ao relevo, a área pode ser invadida pelo fluxo piroclástico. No caso contrário, o fluxo poderá encontrar um obstáculo topográfico, impedindo, assim, a sua propagação (Alberico *et al.*, 2008).

A probabilidade de uma determinada área ser invadida por um fluxo piroclástico está estritamente relacionada com o VEI da erupção, a distância à fonte e a topografia da área em redor da fonte. Relativamente ao efeito do VEI comprimento máximo que o fluxo pode atingir, um VEI mais alto implica que os fluxos piroclásticos atinjam distâncias maiores (Alberico *et al.*, 2008).

Para avaliar a suscetibilidade a PDCs no vulcão do Fogo foram considerados dois cenários, à semelhança da suscetibilidade a piroclastos de queda, o cenário mais provável e o pior cenário, que correspondem a erupções de VEI 4 e VEI 5, respetivamente.

Na realização das simulações utilizou-se um Modelo Digital de Terreno (DEM) com células de 50×50 metros, e como parâmetros de entrada a altura equivalente ao colapso da coluna eruptiva e o ângulo, que para ambos os cenários foi de 6° (Alberico *et al.*, 2002, 2008, 2011). No caso de uma erupção de VEI 4, considerou-se uma altura de colapso da coluna de 300 metros e para uma erupção de VEI 5 uma altura de colapso de 500 metros (Alberico *et al.*, 2002, 2008, 2011). A área fonte considerada corresponde a toda a base da caldeira do vulcão do Fogo, tendo em conta que erupção poderá ter origem em qualquer ponto no interior da caldeira.

3.4.2.2. Resultados

Os resultados das simulações apresentados nas figuras 3.11 e 3.12 mostram a potencial dispersão máxima de PDCs gerados na caldeira do vulcão do Fogo para os dois VEI estipulados, considerando que estes podem propagar-se para qualquer direção a partir da área fonte, de acordo com a topografia. Tal como acontece com os piroclastos de queda em condições sem vento, toda a parte central da ilha de São Miguel poderá ser afetada por fluxos piroclásticos, podendo este produto alcançar o litoral, tanto na costa N como na costa S.

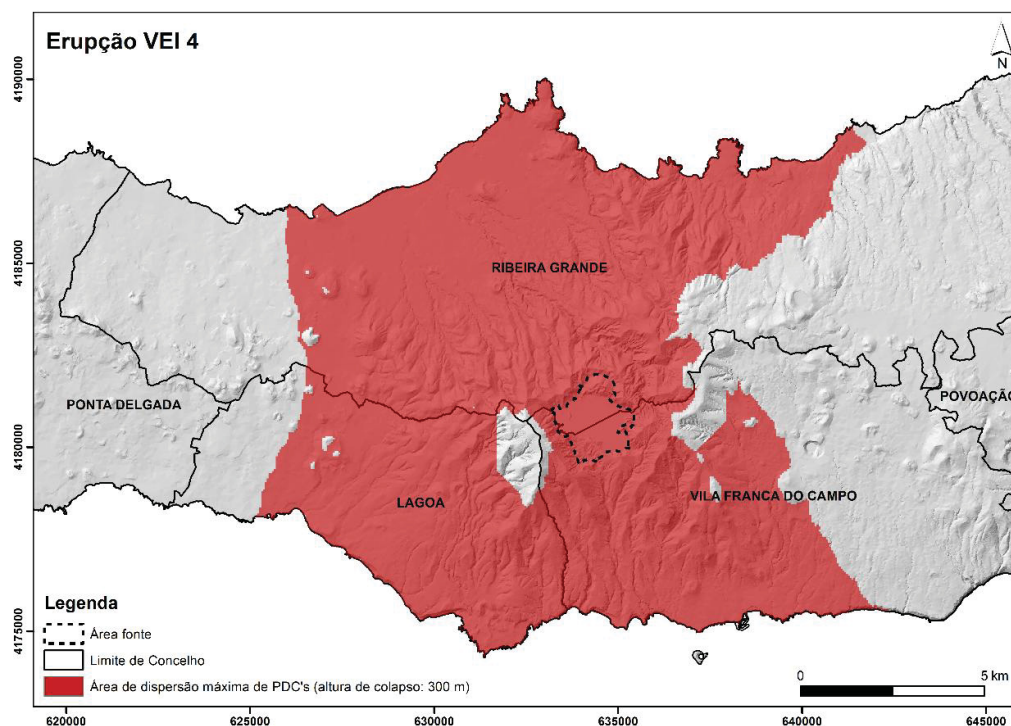


Figura 3.11. Área de dispersão máxima de PDCs gerados numa erupção de VEI 4. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.

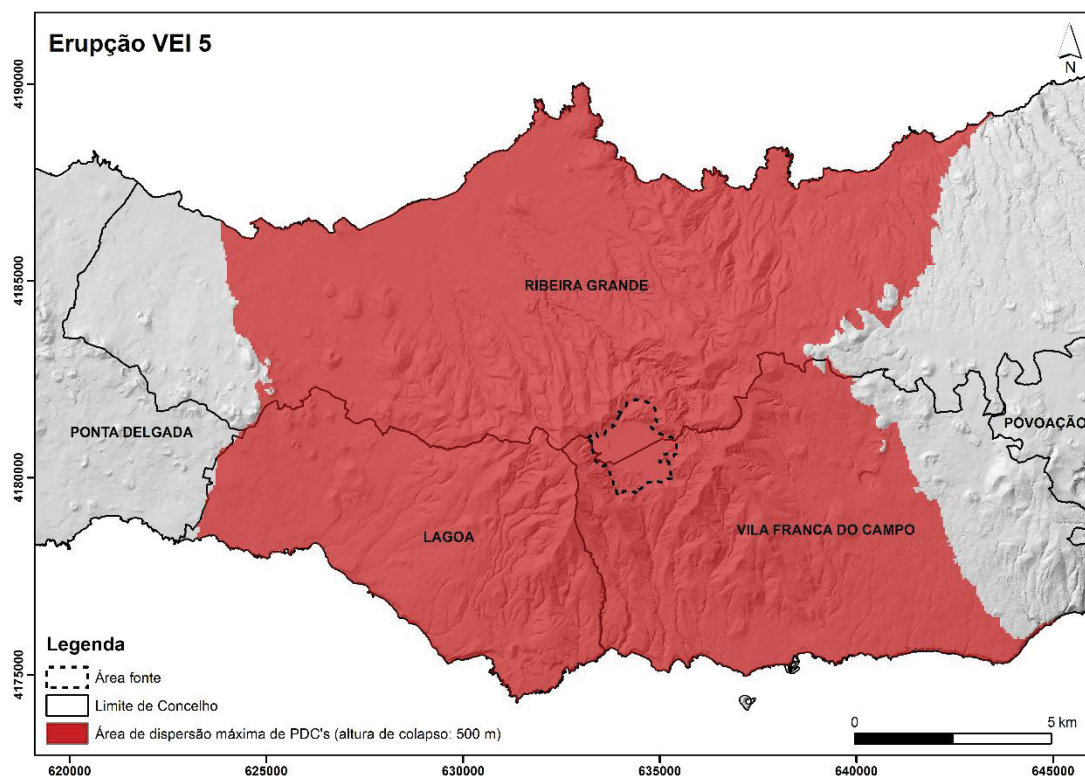


Figura 3.12. Área de dispersão máxima de *PDCs* gerados numa erupção de VEI 5. Projeção UTM, Zona 26S; Datum WGS84.

Grosso modo, os dois cenários considerados nestas simulações gerados no decurso de erupções de VEI 4 e VEI 5 diferem na dispersão máxima que os fluxos piroclásticos podem alcançar. Como seria de esperar, a dispersão máxima dos *PDCs* gerados no vulcão do Fogo é maior para uma erupção de VEI 5, onde pode afetar os concelhos da Lagoa, da Ribeira Grande e de Vila Franca do Campo, com *PDCs* que poderão atingir distâncias máximas superiores a 11 km da fonte (Fig. 3.12).

Relativamente a uma erupção de VEI 4, verifica-se que os concelhos potencialmente afetados por *PDCs* seriam, também, os da Ribeira Grande, da Lagoa e de Vila Franca do Campo, embora com uma menor extensão, de aproximadamente 9 km, quando comparada com a prevista para uma erupção de VEI 5 (Fig. 3.11).

Numa situação real, a progressão dos *PDCs* gerados neste vulcão irá ser fortemente controlada pela topografia e canalizada pelos cursos de água e/ou vales encaixados existentes nos flancos do vulcão. Por este mesmo motivo, e em situações distintas, os fluxos poderão atingir maiores distâncias em algumas zonas morfologicamente menos acidentadas.

Para os dois cenários considerados, importa mencionar a influência da topografia na progressão deste tipo de produtos vulcânico. No cenário que diz respeito a uma erupção de VEI 4, nota-se a presença de duas barreiras topográficas, uma localizada no flanco WSW do vulcão, e outra no lado oposto, isto é, a leste do vulcão, nitidamente influenciando a progressão do fluxo piroclástico naquela direção e fazendo com que contorne o obstáculo. O mesmo acontece, no entanto com menor evidência, em alguns cones que se localizam a W do vulcão, como no Pico da Madeira, Pico da Varanda, entre outros. O mesmo não se verifica no cenário que diz respeito à erupção de VEI 5, uma vez que a altura do colapso da coluna eruptiva é superior e os PDCs gerados ultrapassam facilmente os obstáculos topográficos.

CAPÍTULO IV – VULNERABILIDADES A PIROCLASTOS DE QUEDA E A PDCS

4.1. NOTA PRÉVIA

A avaliação da vulnerabilidade deve ter em conta não só o enquadramento físico da ocorrência geológica impulsionadora de destruição, mas também a densidade populacional, o contexto socioeconómico, as infraestruturas básicas, bem como os recursos naturais da comunidade que é afetada. Uma análise da dependência de bens e serviços essenciais por parte das comunidades afetadas irá permitir avaliar os efeitos sentidos pelas comunidades, de modo a que se realize uma avaliação mais efetiva dos danos causados pelo evento (Dibben e Chester, 1999).

Uma erupção vulcânica pode originar perigos vulcânicos diretos, isto é, correspondentes aos produtos da erupção, e perigos vulcânicos indiretos, que correspondem a fenómenos que podem ser desencadeados pela mesma, como por exemplo, atividade sísmica, *tsunamis*, entre outros.

Os diversos perigos resultantes deste tipo de fenómeno podem causar destruição total, destruição parcial, danos severos, danos menores ou danos negligenciáveis, dependendo de vários fatores como a distância à fonte, a topografia, a altitude, as condições meteorológicas, entre outros (Malheiro, 2002).

No que concerne aos diversos perigos vulcânicos, deve-se atender ao facto de que cada um pode afetar de modo distinto os diferentes elementos de vulnerabilidade. A vulnerabilidade individual das várias estruturas aos diferentes perigos vulcânicos depende não só do tipo e do material de construção, da idade e qualidade dos acabamentos, o nível de manutenção, mas também da forma do edifício e da sua orientação (Pomonis *et al.*, 1999). Deste modo, para o caso concreto de uma erupção vulcânica explosiva, e tendo em conta os cenários apresentados no capítulo anterior, ter-se-ão em conta neste capítulo as vulnerabilidades a piroclastos de queda traquíticos e a piroclastos de fluxo, referentes ao património edificado relacionado com o setor do turismo.

4.2. PIROCLASTOS DE QUEDA

O maior perigo para os edifícios resultante da queda de cinzas e *lapilli* traduz-se no colapso de telhados devido ao aumento da carga estática, em resultado da acumulação deste material. Espessuras de cinzas e *lapilli* superiores a 100 mm podem aumentar a carga estática dos telhados e, se exceder a capacidade de carga, podem causar danos ou mesmo o colapso (Spence *et al.*, 1996 in Wilson *et al.*, 2014).

Para além disso, elementos não estruturais, como calhas e saliências, são particularmente vulneráveis ao colapso, dependendo este de vários fatores como a área do telhado, o tipo de drenagem, o tipo do material (mais ou menos rugoso) e o tipo de suporte (Jenkins *et al.*, 2014), que poderá ser de madeira e em laje de betão, sendo o último mais resistente.

A inclinação do telhado é, também, um fator importante a considerar no que diz respeito à sua resistência a cargas excessivas de piroclastos de queda (Pomonis *et al.*, 1999). Dependendo do tipo de cobertura, telhados mais íngremes podem permitir que o material deslize mais facilmente (Jenkins *et al.*, 2014).

No decurso da erupção de 1991 do vulcão Pinatubo nas Filipinas, verificou-se que uma espessura de 20 cm de cinzas secas foi suficiente para levar ao colapso de um terço dos telhados. Por outro lado, a acumulação de 10 cm de cinzas molhadas fez com que muitos edifícios ficassem destruídos. De acordo com Blong (1984), na erupção de 1906 no Vesúvio, foi necessária apenas uma espessura de 10 cm para levar ao colapso de telhados planos.

Neste contexto, as ações de limpeza dos telhados durante o período eruptivo podem deter duas funções opostas. Primeiro ajuda a não acumulação deste material, de modo a que não se exceda a capacidade de carga do telhado. Por outro lado, poderá também agravar os danos devido ao aumento da carga exercido por pessoas no telhado (Jenkins *et al.*, 2014).

A carga exercida pelo material de queda depende não só da espessura como também da densidade do material (Jenkins *et al.*, 2014). Assim, enquanto que a densidade dos piroclastos de queda secos varia entre 600 e 1600 kg/m³ (Pomonis *et al.*, 1999; Hampton *et al.*, 2015), verifica-se que a densidade das cinzas húmidas varia entre 1200 a 2000 kg/m³ (Pomonis *et al.*, 1999, Spence *et al.*, 2005; Hampton *et al.*, 2015). Funções teóricas desenvolvidas para as classes de

telhados europeus sugerem que são necessários 1 a 8 kPa de cinzas acumuladas antes que se dê o seu colapso, dependendo, claro, da resistência do telhado (Spence *et al.*, 2005).

Neste contexto, uma acumulação de 25 cm de cinzas ou *lapilli* secos sobre os telhados representa uma carga adicional que pode variar entre aproximadamente 1,5 e 4 kPa, ou seja, cerca de 150 e 400 kg/m², que quando multiplicada pela área total do telhado pode alcançar um peso de várias dezenas de toneladas. Este valor pode ainda duplicar caso as cinzas estejam molhadas.

Para além disso, a queda de cinzas pode ainda causar outro tipo de danos nos telhados devido ao efeito corrosivo para alguns materiais, particularmente telhados de metal, calhas e acessórios. Se as cinzas apresentarem temperaturas elevadas, podem levar ao enfraquecimento de algumas componentes da construção do edifício, como vigas entre outros. Relativamente às calhas, Hampton *et al.* (2015) apresentam uma experiência realizada em laboratório, na qual testam a carga de cinzas suportada pelas calhas, não só daquelas que se acumulam diretamente como também daquelas que deslizam pelo telhado, com diferentes valores de inclinação. Os resultados indicam que as calhas quando estão totalmente carregadas de cinzas secas não colapsam, mas sofrem deformação quando sujeitas a cinzas húmidas (<1 kPa).

Há ainda que ter em conta que uma determinada carga de cinzas pode não provocar o colapso do telhado, mas pode afetar o modo como o edifício responderá aos perigos vulcânicos subsequentes, como por exemplo os piroclastos de fluxo, devido ao aumento da resistência lateral exercida nos elementos verticais (Jenkins *et al.*, 2014).

4.3. PDCs

Devido às elevadas temperaturas e às velocidades de progressão, os PDCs são considerados o fenómeno vulcânico menos previsível e o mais destrutivo, no que diz respeito não só a vidas humanas como a danos materiais, dependendo da velocidade e da densidade. Considerados como os produtos vulcânicos mais devastadores, verifica-se que a única medida preventiva capaz de minimizar o risco consiste na evacuação atempada de pessoas, animais e bens móveis (Walker, 1982; Blong, 1984; Crandell *et al.*, 1984; Fisher, 1995 *in* Queiroz, 1997).

4.3.1. Escoadas piroclásticas

A este tipo de perigo estão associados vários níveis de destruição causada aos edifícios devido à elevada energia de impacto, nomeadamente soterramento, colapso, incêndios e/ou pressões laterais (Jenkins *et al.*, 2014). Na ausência de incêndios, o principal mecanismo de danos aos edifícios serão as pressões laterais. Adicionalmente, e de acordo com Crandell *et al.*, 1984, as escoadas piroclásticas apresentam, de um modo geral, capacidade para ultrapassar obstáculos até 100 metros, podendo ainda em casos extremos e menos frequentes, ir além dos 1000 metros. Segundo os mesmos autores, verifica-se que a maioria das escoadas piroclásticas alcançam distâncias inferiores a 50 km, embora em alguns casos possam atingir 200 km. De um modo geral, o impacto de uma escoada piroclástica densa provocaria destruição total de um edifício, isto é, arrasá-lo-ia por completo.

4.3.2. Surges

Relativamente aos *surges*, por serem um fluxo piroclástico com menor concentração de partículas e mais turbulento, a sua progressão poderá não ser condicionada pela topografia. Neste caso, a maior influência será de pressões dinâmicas laterais, embora estas ignorem as pressões de maior impacto localizadas, produzidas por objetos de grande porte que constituem o fluxo, como por exemplo rochas, árvores, entre outros. Ao avaliar a vulnerabilidade dos edifícios às pressões dinâmicas laterais, é de particular importância atender a determinadas características da construção, nomeadamente (a) o tipo de aberturas (predominantemente portas e janelas), (b) a disposição de tais aberturas no edifício e a sua exposição, (c) o tipo de proteção das janelas e

portas (persianas de metal ou de madeira, ou estores) e (d) o tipo de paredes. Para além disso, é extremamente importante a localização do edifício, devido à capacidade deste se proteger do fluxo atrás de outras estruturas ou através da topografia, bem como as suas dimensões, forma, altura e a sua orientação em relação ao fluxo, especialmente das portas e janelas (Jenkins *et al.*, 2014). Relativamente às distâncias passíveis de serem alcançadas, verifica-se que, de um modo geral, são inferiores a 10 km (Crandell *et al.*, 1984; Carey, 1991), podendo, em alguns casos menos frequentes, atingir os 40 km. Os sistemas de ar condicionado e ventilação merecem também destaque, uma vez que permitem a entrada de gases e cinzas finas no interior dos edifícios.

4.4. ELEMENTOS EXPOSTOS DO SETOR DO TURISMO NO CONCELHO DE VILA FRANCA DO CAMPO

Tal como observado nos cenários apresentados no capítulo anterior, uma erupção vulcânica no vulcão do Fogo terá consequências em vários concelhos da ilha que poderão ser afetados por piroclastos de queda e de fluxo. Devido à sua localização, os concelhos situados no centro da ilha estão mais expostos a este tipo de produtos vulcânicos. No entanto, os cenários obtidos para os produtos de queda em condições de vento mostram-nos que este parâmetro atmosférico pode fazer com que locais mais distantes possam ficar igualmente expostos. Nos cenários considerados, a dispersão do material é feita para leste e SE, afetando assim os concelhos de Vila Franca do Campo e da Povoação.

Não obstante, pela sua proximidade ao vulcão do Fogo, optou-se por estudar o impacto que um fenómeno destes teria no concelho de Vila Franca do Campo.

4.4.1. Caracterização do concelho de Vila Franca do Campo

O concelho de Vila Franca do Campo desenvolve-se na costa S da ilha e confina com os concelhos de Lagoa a W, da Ribeira Grande a N e da Povoação a E. É banhado a S pelo Oceano Atlântico, numa extensão litoral de aproximadamente 15,5 km (Fig. 4.1).

Apresenta uma área total de 77,9 km², distribuída pelas seis freguesias que o compõem: Água d'Alto - 19,2 km², São Pedro - 2,4 km², São Miguel - 12,1 km², Ribeira Seca - 5,7 km², Ribeira das Tainhas - 9,1 km² e Ponta Garça - 29,4 km² (Fig. 4.2).

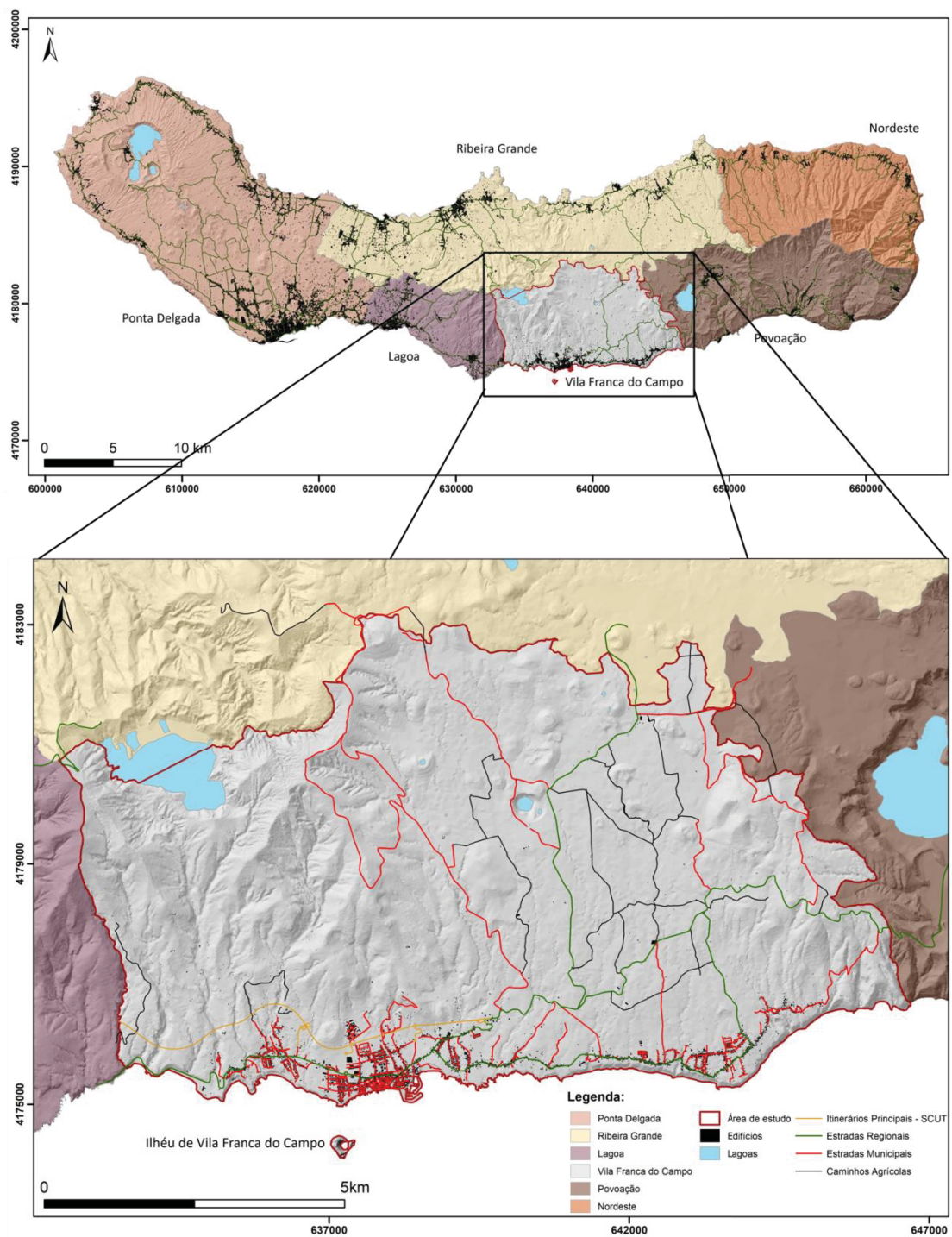


Figura 4.1. Localização da área de estudo na ilha de São Miguel. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

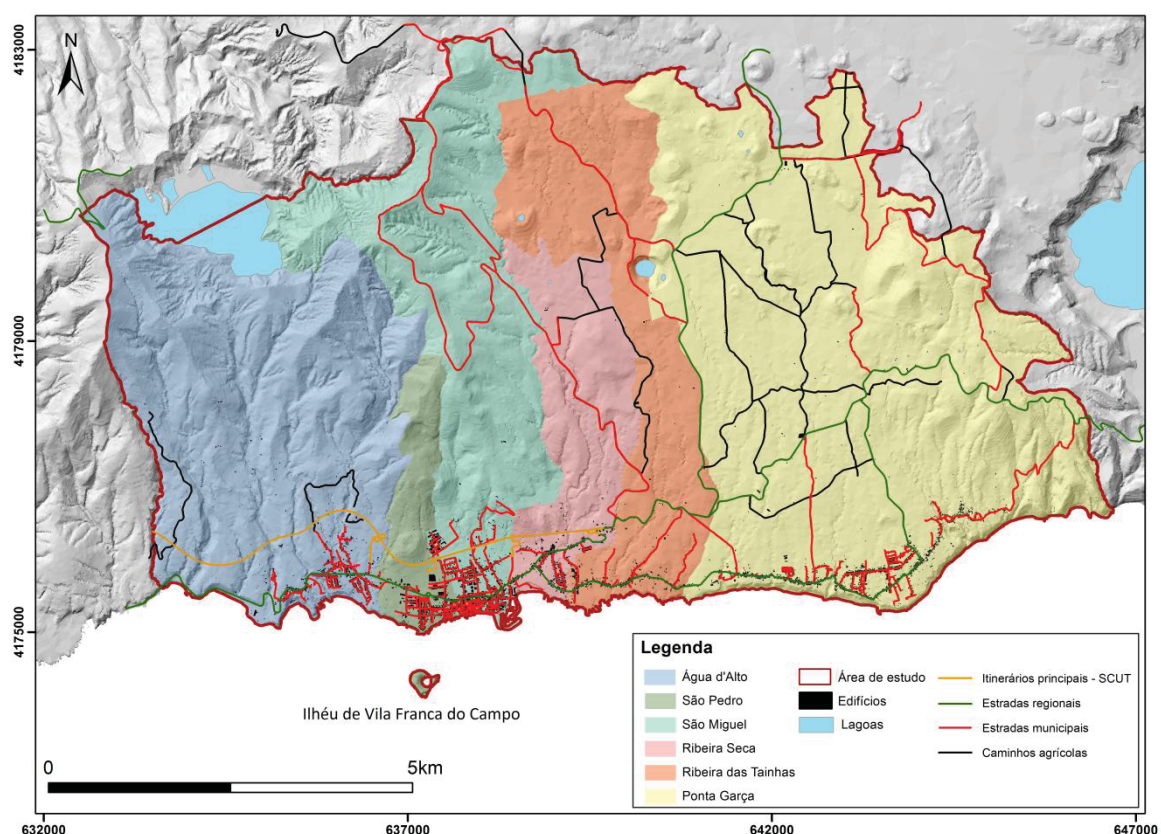


Figura 4.2. Divisão administrativa do concelho de Vila Franca do Campo. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

O crescente interesse pelas várias atividades relacionadas com turismo em Vila Franca do Campo, que por sua vez tem vindo a acompanhar o crescimento deste setor na Região, tem proporcionado um acréscimo positivo de empregabilidade devido à aposta do concelho em áreas como a hotelaria, restauração e infraestruturas de apoio e lazer. Em crescimento constante, este setor traduz-se numa fonte de rendimento e um motor de desenvolvimento para a economia local, contribuindo para esse aumento não só a paisagem singular existente, associada ao turismo de natureza, mas também o património histórico e cultural (Silva, 2016).

4.4.2. Metodologia

O levantamento e a cartografia dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo tiveram por base o trabalho desenvolvido por Silva (2016), dados públicos da Direção Regional do Turismo (de 15-09-2017), bem como a pesquisa em plataformas *online* de

reservas e compras, *sites* oficiais dos estabelecimentos em questão, e a cartografia disponibilizada pela Câmara Municipal de Vila Franca do Campo.

Para a análise da vulnerabilidade aos perigos vulcânicos abordados, adaptou-se a metodologia aplicada ao perigo sísmico por Gomes (2003), que consiste no estudo da tipologia do edificado, tendo por base as classes de vulnerabilidade da Escala Macrossísmica Europeia de 1998 (EMS-98) definida por Grünthal (1998), adaptadas à região por Gomes (2003). Optou-se por este método de trabalho, pois na análise da vulnerabilidade dos edifícios aos perigos acima descritos, é fundamental ter conhecimento do tipo de construção do edificado, devido à resistência dos materiais empregues na construção relativamente aos produtos vulcânicos.

Assim, e à semelhança do realizado por Pomonis *et al.*, (1999) na freguesia das Furnas e por Gomes (2003) nas freguesias localizadas nos flancos do vulcão das Sete Cidades (ilha de São Miguel), e por Cabral (2015) no concelho de Santa Catarina (ilha do Fogo), em Cabo Verde, efetuou-se um inventário de todo o edificado e infraestruturas relacionadas com o setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo, nomeadamente edifícios destinados à hotelaria, restauração, animação turística e cultura.

Esse inventário teve por base o preenchimento de uma ficha tipo (ANEXO I e II) desenvolvida, no ano 2000, pelo então Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos (atual Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, IVAR) no âmbito do estudo de vulnerabilidades do edificado aos diferentes perigos geológicos existentes nos Açores, tendo já sido alvo de sucessivas atualizações de modo a adaptar-se a novas condições que surgem no decorrer desses trabalhos. Essa ficha tipo tem informações alusivas à tipologia do edifício, ao número de andares, ao tipo de material constituinte das paredes exteriores e interiores, ao material do pavimento de cada andar, ao tipo de material das portas, janelas e respetivas proteções, ao tipo de suporte do telhado bem como à sua inclinação e telha existente, e ao tipo de escoamento de água. Estes elementos expostos foram cartografados pormenorizadamente sob a forma de polígonos num Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Posteriormente realizou-se o cruzamento dos elementos de vulnerabilidade inventariados com as cartas de suscetibilidade elaboradas no capítulo III, permitindo ter uma perceção de quantos e quais os elementos que, de acordo com aqueles cenários, ficarão sujeitos a determinadas

espessuras de piroclastos de queda, bem como aqueles que se localizam na zona de extensão dos fluxos piroclásticos.

4.4.3. Caracterização dos elementos expostos

Do total de edifícios inventariados e caracterizados no concelho de Vila Franca do Campo (140), 46 correspondem a edifícios destinados ao alojamento (33% do total de edifícios caracterizados), 51 a edifícios destinados a restauração (36%), 14 edifícios dedicados à animação turística (10%) e 29 são destinados à cultura ou atividades culturais (21%) (Fig. 4.3). O presente ponto pretende discriminar cada uma destas tipologias e mostrar a sua distribuição em cada uma das freguesias da área de estudo. No levantamento dos elementos expostos, foram também consideradas algumas infraestruturas de apoio ao turismo, nomeadamente a marina e o parque aquático. A sua distribuição ao nível do concelho encontra-se representada por freguesias nas figuras 4.4 a 4.7.

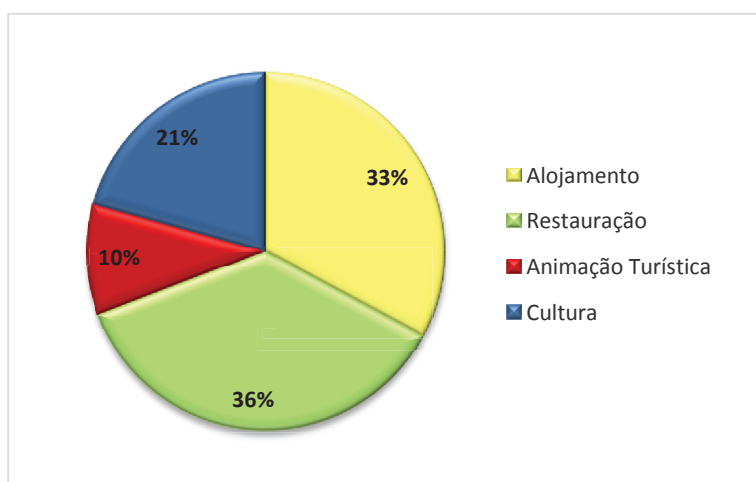


Figura 4.3. Percentagem de edifícios de cada tipologia localizados no concelho de Vila Franca do Campo.

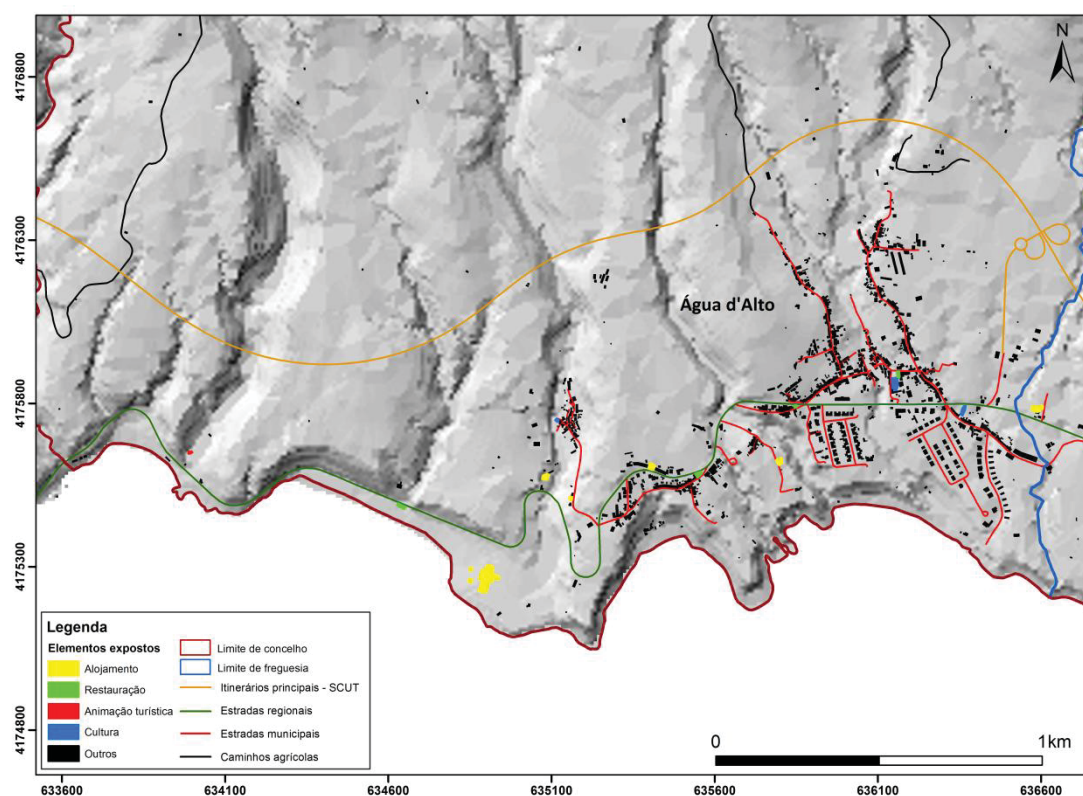


Figura 4.4. Distribuição espacial do edificado por tipologia de utilização na freguesia de Água d'Alto. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

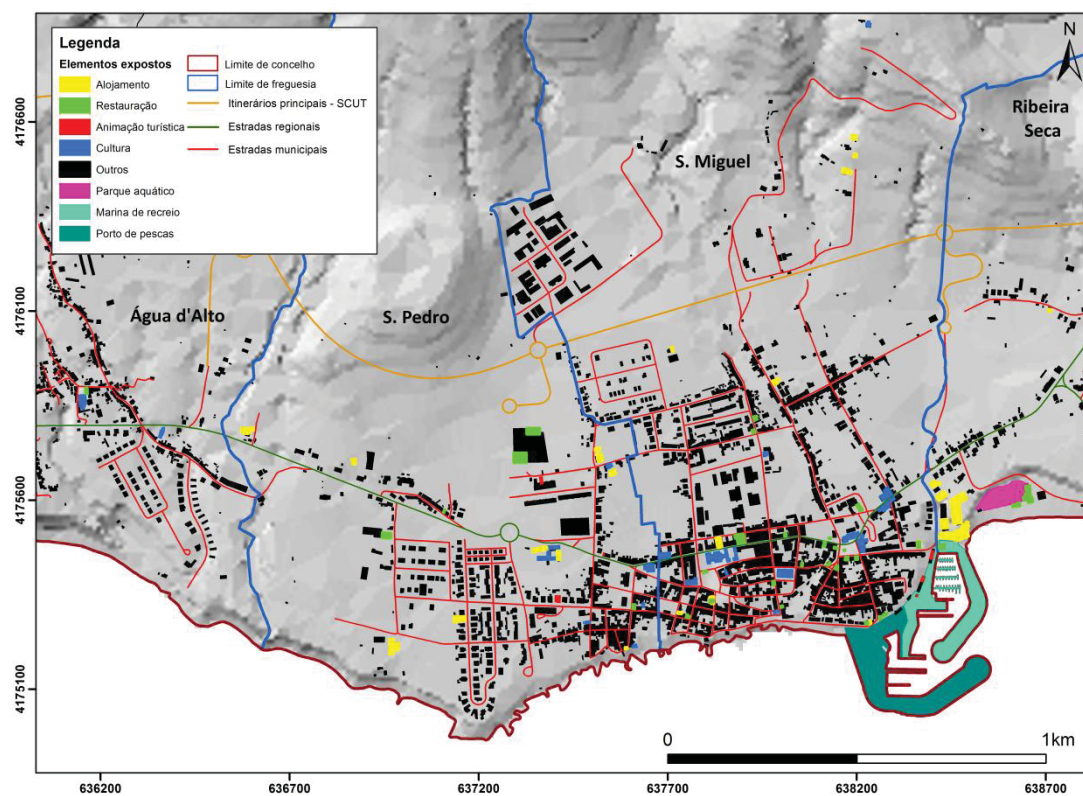


Figura 4.5. Distribuição espacial do edificado por tipologia de utilização nas freguesias de São Pedro e de São Miguel. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

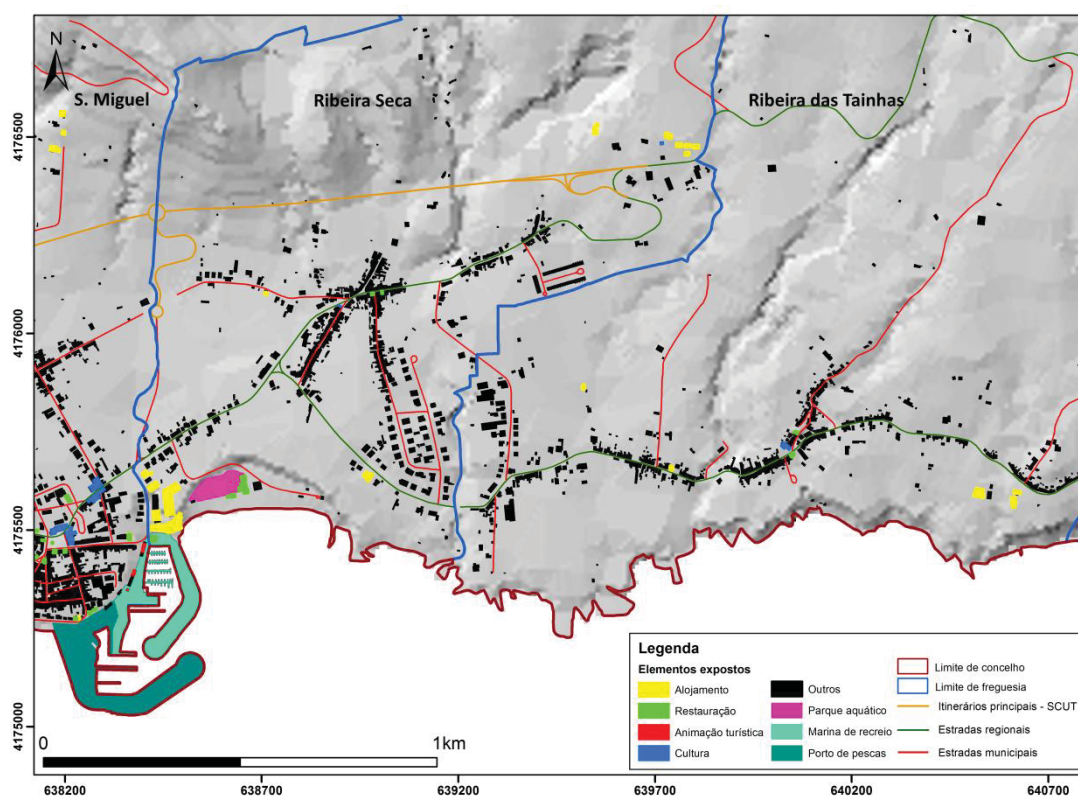


Figura 4.6. Distribuição espacial do edificado por tipologia de utilização nas freguesias da Ribeira Seca e da Ribeira das Tainhas. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

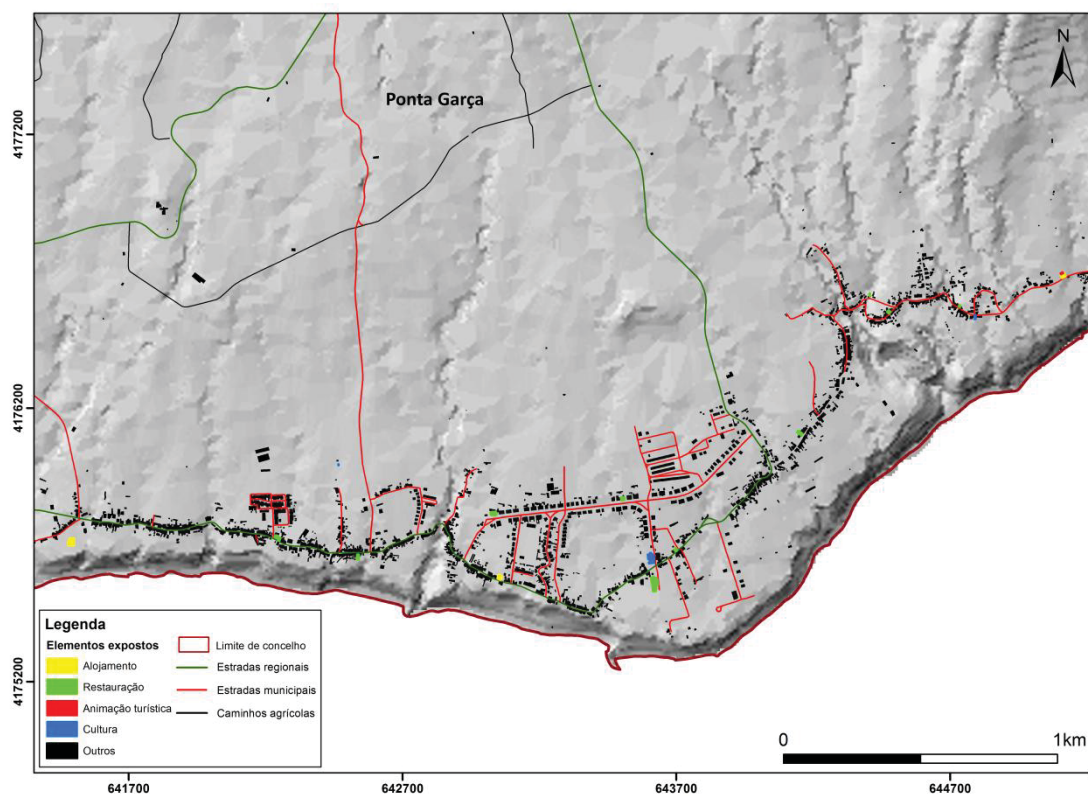


Figura 4.7. Distribuição espacial do edificado por tipologia de utilização na freguesia de Ponta Garça. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

4.4.3.1. Edificado

4.4.3.1.1. Alojamento

Segundo o Decreto-Lei n.º 39/2008, de 7 de março, consideram-se empreendimentos turísticos os estabelecimentos que se destinam a prestar serviços de alojamento, mediante remuneração, dispondo, para o seu funcionamento, de um adequado conjunto de estruturas, equipamentos e serviços complementares, excluindo-se as instalações ou os estabelecimentos que, embora destinados a proporcionar alojamento temporário com fins lucrativos, revistam natureza de alojamento local. Os empreendimentos turísticos podem ser integrados em estabelecimentos hoteleiros, aldeamento turísticos, apartamentos turísticos, conjuntos turísticos (*resorts*), empreendimentos de turismo de habitação ou no espaço rural, parques de campismo e de caravanismo e empreendimentos de turismo da natureza.

No concelho de Vila Franca do Campo, os estabelecimentos destinados à hotelaria (Tabela 4.1) compreendem alguns tipos de empreendimentos turísticos, nomeadamente, estabelecimentos hoteleiros e estabelecimentos destinados a turismo de habitação e a turismo de espaço rural, existindo também estabelecimentos de alojamento local. Assim sendo, passa-se de seguida a uma síntese sobre cada uma das tipologias de alojamento turístico existentes no concelho.

O Decreto-Lei n.º 39/2008, de 7 de março, determina que os estabelecimentos hoteleiros são *“empreendimentos turísticos destinados a proporcionar serviços de alojamento temporário e outros serviços acessórios ou de apoio, com ou sem fornecimento de refeições, e vocacionados a uma locação diária”*, podendo ser classificados como hotéis, hotéis-apartamentos (aparthotéis) e pousadas.

No que diz respeito aos empreendimentos de turismo de habitação, o mesmo diploma esclarece que se tratam de *“estabelecimentos de natureza familiar instalados em imóveis antigos particulares que, pelo seu valor arquitetónico, histórico ou artístico, sejam representativos de uma determinada época, nomeadamente palácios e solares, podendo localizar-se em espaços rurais ou urbanos”*. Neste caso, o número máximo de unidades de alojamento destinadas a hóspedes é de 15.

Por seu lado, os estabelecimentos de turismo de espaço rural, são *“estabelecimentos que se destinam a prestar, em espaços rurais, serviços de alojamento a turistas, dispondo para o seu*

funcionamento de um adequado conjunto de instalações, estruturas, equipamentos e serviços complementares, tendo em vista a oferta de um produto turístico completo e diversificado no espaço rural". Estes podem ser classificados ainda como casas de campo, agro-turismo e hotéis rurais.

O Decreto-Lei n.º 128/2014, de 29 de agosto, aprova o regime jurídico da exploração dos estabelecimentos de alojamento local, definindo-os como aqueles que prestem serviços de alojamento temporário a turistas, mediante remuneração, devendo integrar-se nas modalidades de moradia, apartamento ou estabelecimentos de hospedagem.

A análise realizada à estrutura dos edifícios desta tipologia no concelho, permite-nos concluir que o material constituinte das paredes exteriores é, em mais de 50% dos edifícios, blocos de cimento, correspondendo a edifícios antigos reconstruídos e/ou a edifícios de construção recente. Relativamente à estrutura do telhado, nomeadamente o suporte e o tipo de telha existente, são na sua maioria, de madeira e do tipo regional. Aproximadamente 55% destes edifícios possuem a inclinação do telhado considerada normal, ou seja, entre 20° a 45°.

Tabela 4.1. Distribuição dos estabelecimentos de alojamento por freguesia.

Freguesia	Tipologia	Número de edifícios
Água d'Alto	Hotel	1
	Turismo de habitação	-
	Turismo de espaço rural	-
	Alojamento local	6
São Pedro	Hotel	-
	Turismo de habitação	1
	Turismo de espaço rural	-
	Alojamento local	8
São Miguel	Hotel	-
	Turismo de habitação	-
	Turismo de espaço rural	1
	Alojamento local	9
Ribeira Seca	Hotel	1
	Turismo de habitação	-
	Turismo de espaço rural	1
	Alojamento local	9
Ribeira das Tainhas	Hotel	-
	Turismo de habitação	-
	Turismo de espaço rural	3
	Alojamento local	3
Ponta Garça	Hotel	-
	Turismo de habitação	-
	Turismo de espaço rural	-
	Alojamento local	3
Total no concelho		46

4.4.3.1.2. Restauração

Consideram-se estabelecimentos de restauração, os destinados a prestar, mediante remuneração, serviços de alimentação e de bebidas no próprio estabelecimento ou fora dele, podendo estes incluir a denominação de restaurante, *snack-bar*, pizzeria, *take-away*, entre outros. Por outro lado, são estabelecimentos de bebidas, os estabelecimentos destinados a prestar, mediante remuneração, serviços de bebidas e cafetaria no próprio estabelecimento ou fora dele, englobando cafés, bares, pastelarias, gelatarias, casas de chá, cervejarias, tabernas,

entre outros. Os estabelecimentos que tenham as duas valências são normalmente designados por estabelecimentos mistos de restauração e bebidas (Portal do Licenciamento, *online*).

Assim, no presente trabalho, para além dos estabelecimentos destinados a restauração, foram ainda abrangidos nesta categoria alguns estabelecimentos de bebidas, nomeadamente, gelatarias, pastelarias, cafés, cervejarias, tabernas, entre outros. Estes encontram-se distribuídos por freguesias conforme a Tabela 4.2.

A estrutura da maioria dos edifícios de restauração segue a mesma tendência dos edifícios destinados a alojamento, relativamente ao material que constitui as paredes exteriores (de blocos de cimento), ao tipo de suporte do telhado (de madeira) e à telha existente (tipo regional). O mesmo não sucede com a inclinação do telhado, que na maioria dos edifícios desta tipologia, é inferior a 20°, ou seja com inclinação suave.

Tabela 4.2. Distribuição dos estabelecimentos de restauração por freguesia.

Freguesia	Número de edifícios
Água d'Alto	4
São Pedro	4
São Miguel	23
Ribeira Seca	6
Ribeira das Tainhas	2
Ponta Garça	12
Total no concelho	51

4.4.3.1.3. Animação turística

As empresas de animação turística exercem atividades recreativas, desportivas ou culturais, com fins lucrativos, em meio natural ou em instalações fixas destinadas ao efeito, de carácter lúdico e que tenham interesse turístico para a região em que se desenvolvem (Decreto-Lei n.º 108/2009, de 15 de maio). Segundo este diploma, as atividades de animação turística podem desenvolver-se em áreas classificadas ou com valores naturais, designando-se neste caso por atividades de turismo de natureza, ou mediante a utilização de embarcações com fins lucrativos, designando-se por atividades marítimo-turísticas. Neste caso concreto, integram-se as modalidades de passeios marítimo-turísticos, aluguer de embarcações, serviços efetuados por táxi fluvial ou marítimo,

pesca turística, aluguer ou utilização de motas de água e de pequenas embarcações dispensadas de registo.

A paisagem e elementos geológicos singulares existentes no concelho de Vila Franca do Campo, bem como o facto de confinar a S com o mar, promovem a existência de empresas de animação turística terrestre, de atividades náuticas, ou ambas, bem como a existência de uma marina como infraestrutura de apoio. Para além destes tipos de serviços, são considerados, no presente trabalho, como serviços de animação turística as agências de viagens e as empresas de *rent-a-car* (Tabela 4.3).

Devido a uma maior concentração destes estabelecimentos na marina de Vila Franca do Campo, estes possuem as mesmas características daquela infraestrutura, sendo a maioria construída em betão armado. Neste caso, a inexistência de telhas justifica a inclinação inferior a 20°, ou seja suave.

Tabela 4.3. Distribuição dos estabelecimentos de animação turística por freguesia.

Freguesia	Tipologia	Número de edifícios
Água d'Alto	Agência de viagens	1
Sao Pedro	<i>Rent-a-Car</i>	1
	Atividades náuticas	2
São Miguel	<i>Rent-a-Car</i> e Agência de viagens	1*
	Animação turística terrestre	1
	Atividades náuticas	1
Ribeira Seca	Animação turística terrestre e atividades náuticas	1
	Atividades náuticas	4
	Loja de <i>Souvenirs</i>	1
Ponta Garça	Atividades náuticas	1
Total no concelho		14

*Trata-se de dois tipos de atividade em um edifício

4.4.3.1.4. Cultura

O turismo cultural prende-se com a movimentação de turistas até atrações especificamente culturais, tais como locais de património cultural, manifestações artísticas e culturais, espetáculos de arte e drama (Richards, 1997 *in* Julião, 2013).

Neste caso prático, consideraram-se como edifícios destinados à cultura as igrejas e locais de culto (ermidas e conventos), os museus, o centro cultural, o mercado municipal, os teatros, a biblioteca e arquivo municipal, e o pavilhão multiusos (Tabela 4.4).

As igrejas e locais de culto correspondem à maior parte do edificado destinado a esta tipologia, sendo, por este motivo, o material constituinte das paredes exteriores em aproximadamente 80% dos edifícios, de pedra. Tal como os estabelecimentos de alojamento e restauração acima mencionados, o tipo de material utilizado no suporte do telhado nos edifícios desta tipologia é em madeira e o tipo de telhas é regional. A inclinação do telhado é normal, podendo variar entre 20° e 45°.

Tabela 4.4. Distribuição dos estabelecimentos de cultura por freguesia.

Freguesia	Tipologia	Número de edifícios
Água d'Alto	Igrejas e locais de culto	1
	Museu	1
	Biblioteca	1
São Pedro	Igrejas e locais de culto	4
	Museu	2
	Pavilhão multiusos	1
São Miguel	Igrejas e locais de culto	6
	Museu	3
	Centro cultural	1
	Biblioteca	1
	Teatro	2
	Mercado	1
Ribeira Seca	Igrejas e locais de culto	1
	Museu	1
Ribeira das Tainhas	Igrejas e locais de culto	1
Ponta Garça	Igrejas e locais de culto	2
Total no concelho		29

4.4.3.2. Infraestruturas

4.4.3.2.1. Marina

As marinas são infraestruturas e equipamentos náuticos dedicados exclusivamente à náutica de recreio e desporto, que dispõem de serviços de apoio às embarcações e tripulações. Contemplam frequentemente uma vertente hoteleira e/ou residencial, podendo estar inseridas em portos (Esaguy, 2001 *in* Neves, 2016).

A Marina de Vila Franca do Campo, operada pelo Clube Naval de Vila Franca do Campo, é também apoiada pelo Hotel Marina, encontrando-se localizada nas proximidades da praia da Vinha d'Areia. Abriga também 50% das empresas destinadas a atividades náuticas presentes no concelho. Para além disso, o Clube Naval é a entidade que opera as ligações marítimas para o ilhéu de Vila Franca do Campo entre junho e outubro.

4.4.3.2.2. Parque Aquático

O parque aquático de Vila Franca do Campo, atualmente desativado, está inserido no Complexo Turístico da Vinha d'Areia, composto por diversas piscinas, escorregas, bar e um parque de estacionamento coberto. Atualmente o espaço deste parque aquático destina-se à realização de eventos.

4.5. IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS EM RISCO

A identificação dos elementos em risco resulta da sobreposição dos elementos expostos descritos e ilustrados no ponto 4.2.3. com as simulações realizadas no capítulo III. Apesar da simplicidade da análise, trata-se de um importante elemento para avaliação do impacto económico no setor do turismo, abordada no próximo capítulo.

As figuras 4.8, 4.10, 4.12, 4.14, 4.16, 4.18, 4.20 e 4.22 representam esta integração dos dados com os vários cenários considerados. Nos casos em que um edifício, representado por um polígono, se sobrepõe a mais do que uma classe de espessura de tefra, considerou-se a opção mais conservadora, isto é, a classe correspondente à maior espessura para o classificar.

Assim, considerando a sobreposição do edificado com o cenário de piroclastos de queda resultantes de uma erupção do tipo VEI 4 em condições sem vento, verifica-se que 80% dos edifícios estão localizados na área que ficará afetada por 1 metro de material pomítico (Figs. 4.8 e 4.9), resultando, desta forma, na destruição total dos edifícios abrangidos.

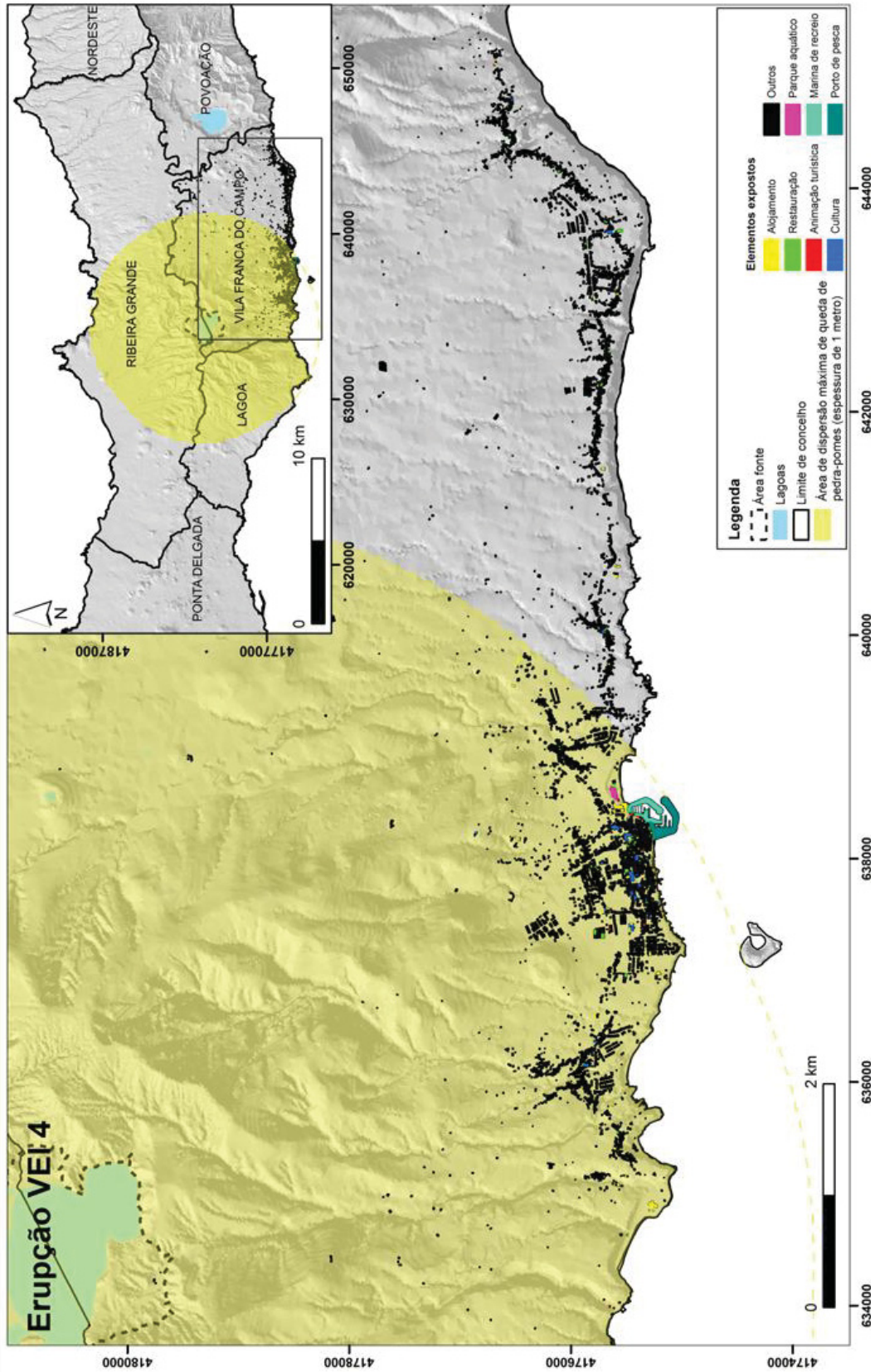


Figura 4.8. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda resultantes de uma erupção de VEI 4 sem vento. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

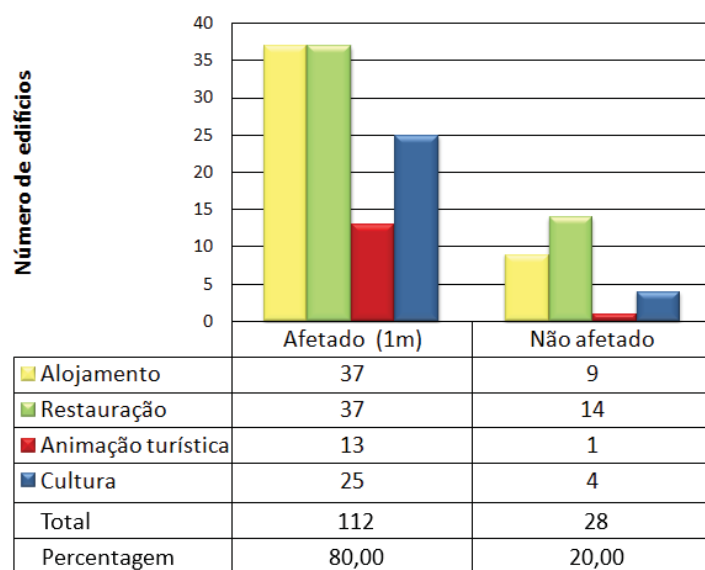


Figura 4.9. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos resultantes de uma erupção de VEI 4, em condições sem vento.

Considerando um cenário idêntico, no entanto com um VEI superior (VEI 5), verifica-se, tal como seria de esperar, que a percentagem de edifícios localizados na área de dispersão de queda do material pomítico aumenta para 95,7% (Figs. 4.10 e 4.11).

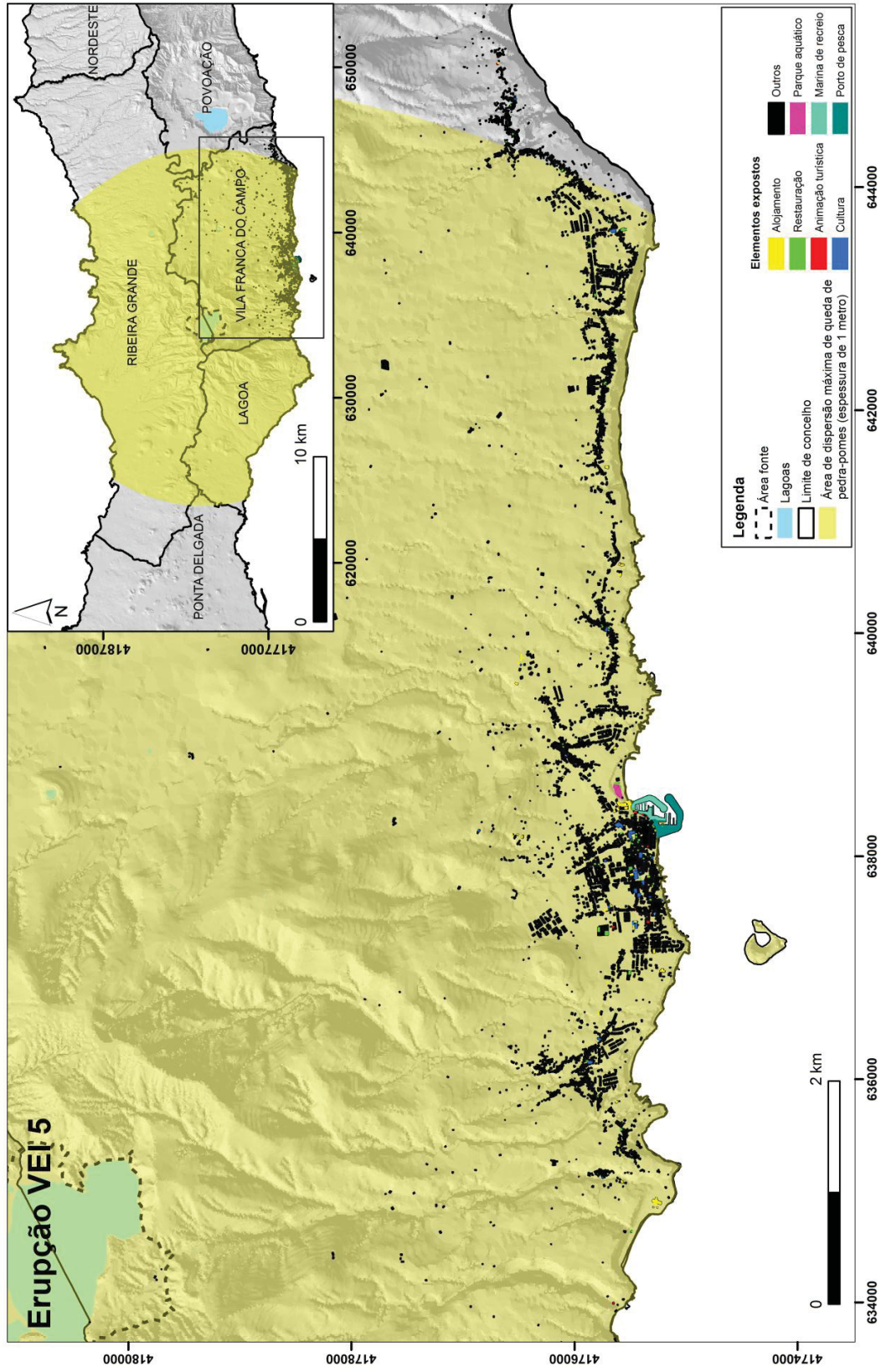


Figura 4.10. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda resultantes de uma erupção de VEI 5, sem vento. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

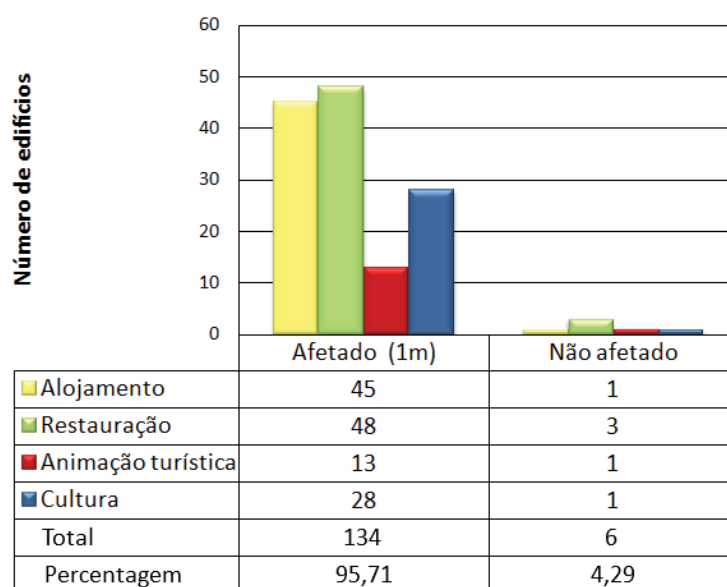


Figura 4.11. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos resultante de uma erupção de VEI 5, sem vento.

Relativamente aos cenários de queda de piroclastos com vento, apresentados nas figuras 4.12, 4.14, 4.16 e 4.18, observa-se a mesma tendência quanto à área que ficará coberta por aquele material. Cenários de VEI menor apresentam percentagens inferiores de edifícios afetados. Nestes cenários importa distinguir o tipo de destruição associada aos edifícios consoante as várias classes de espessura de tefra.

Todos os edifícios que sejam afetados por espessuras de tefra inferiores a 20 cm, que sejam alvo de constantes ações de limpeza dos telhados, não sofrerão danos ou poderão eventualmente sofrer danos menores. Neste caso, e para ambos os cenários de verão VEI 4 (Figs. 4.12 e 4.13) e VEI 5 (Figs. 4.14 e 4.15) encontram-se aproximadamente 62,1 e 61,4% dos edifícios.

Todos aqueles edifícios que se encontram cobertos por uma camada de piroclastos superior a 20 cm, poderão sofrer danos significativos, nomeadamente o colapso de telhados. Aqui, e também para ambos os cenários de queda de piroclastos (VEI 4 e VEI 5) contabilizam-se cerca de 31% dos edifícios afetados.

Em casos mais extremos, isto é, aqueles que sejam afetados por uma espessura de tefra superior a 1 metro, sofrerão colapso total. Nestes casos, a percentagem de edifícios é maior no cenário de verão de VEI 5, com 19%, enquanto que no cenário de VEI 4 contabilizam-se apenas 9,3%.

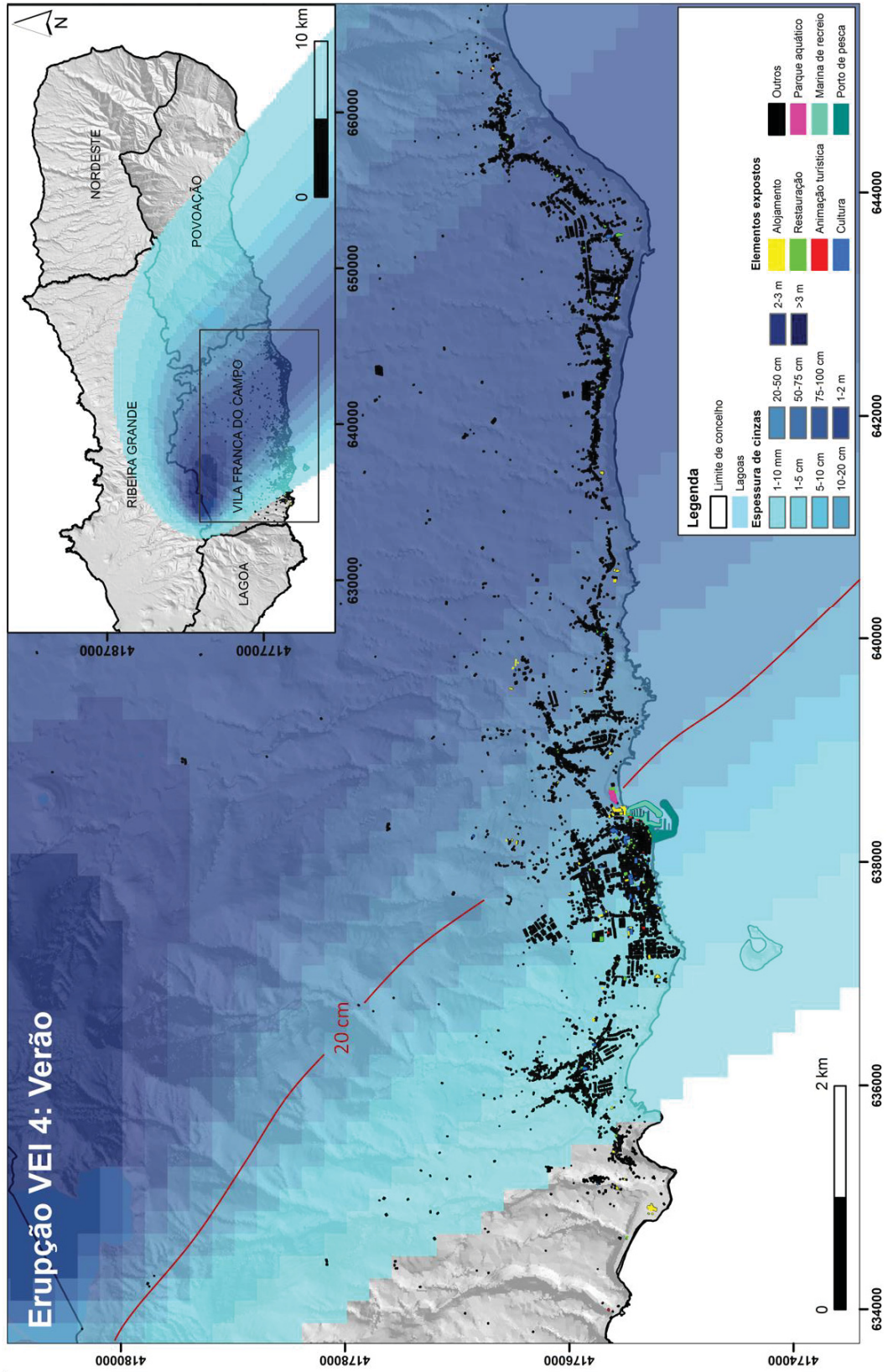


Figura 4.12. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda resultantes de uma erupção de VEI 4 no verão. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

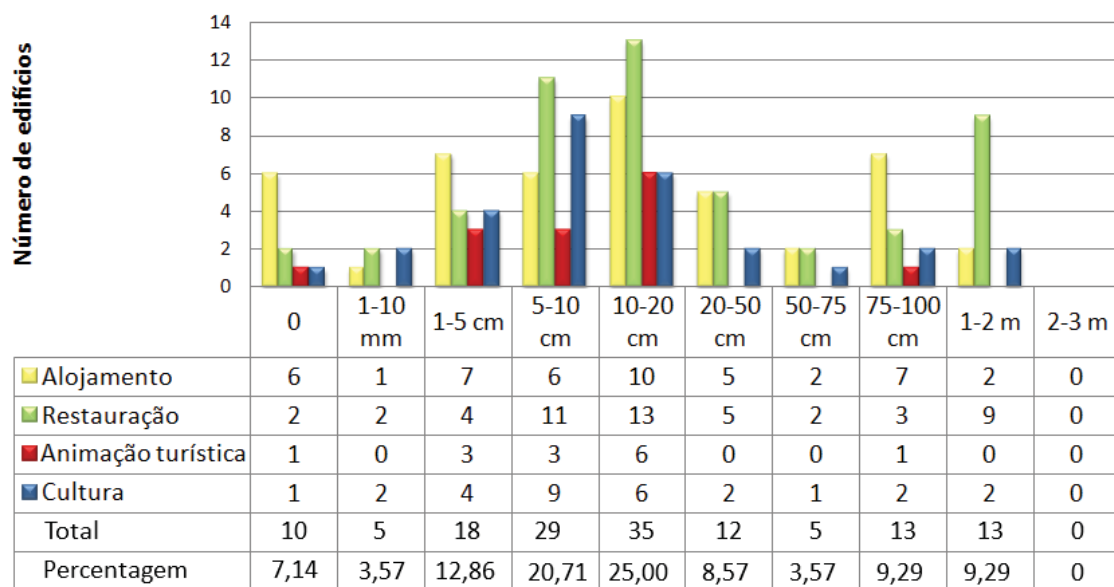


Figura 4.13. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos decorrentes de uma erupção de VEI 4 no verão.

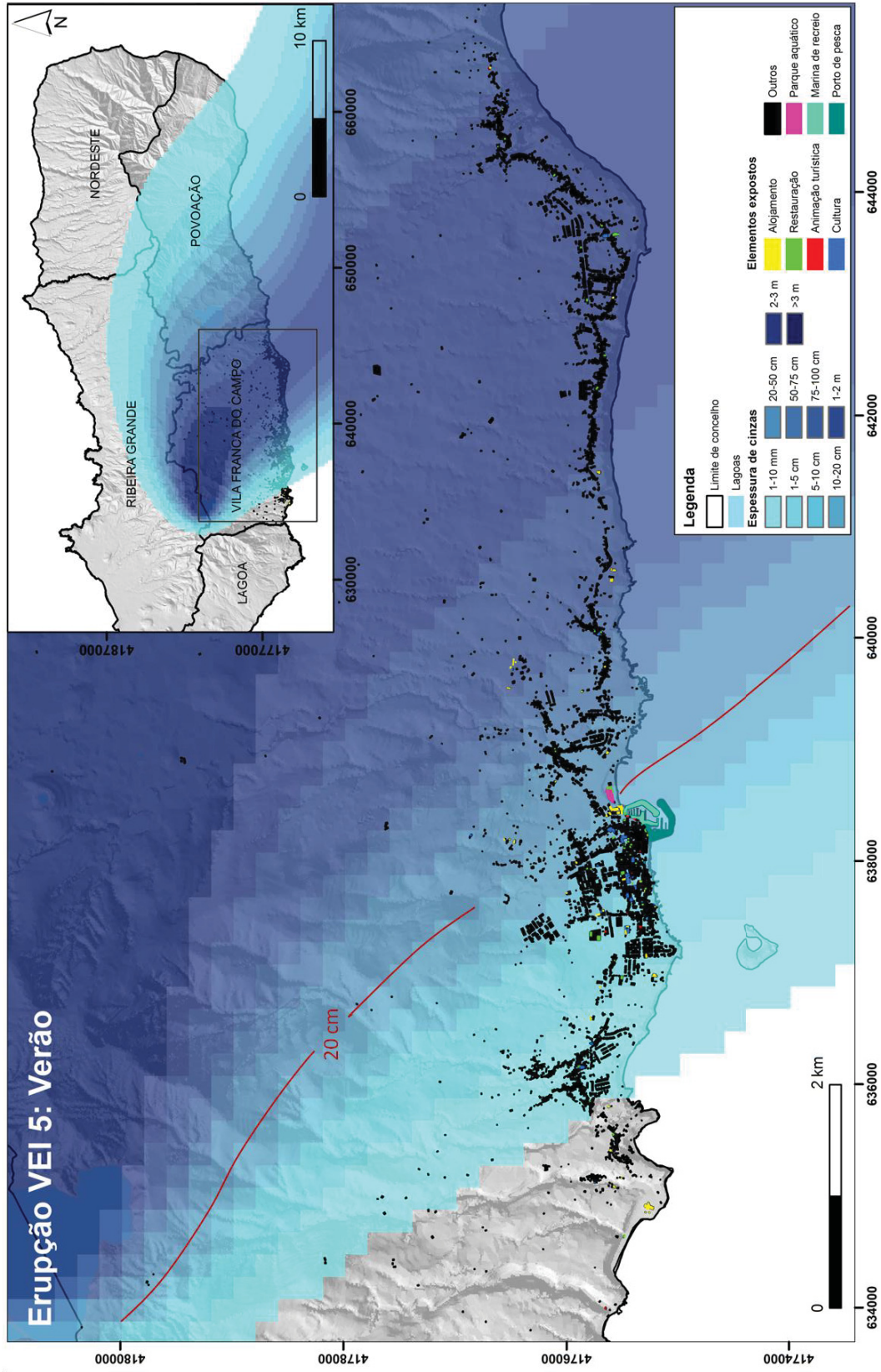


Figura 4.14. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda decorrentes de uma erupção de VEI 5 no verão. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

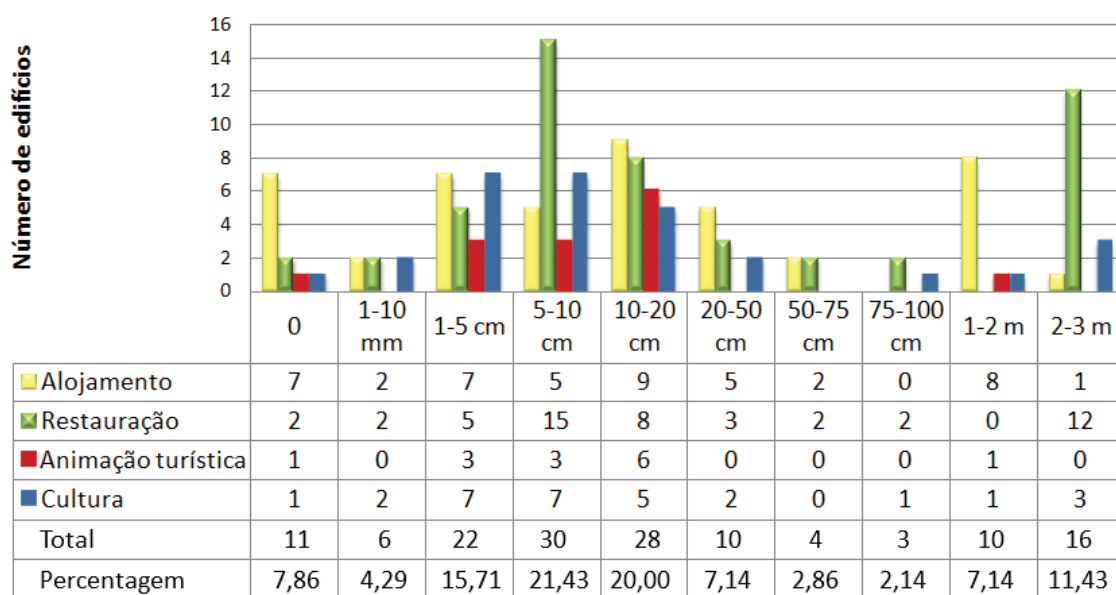


Figura 4.15. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos decorrentes de uma erupção de VEI 5 no verão.

As desigualdades verificadas entre os resultados obtidos para os cenários de verão e de inverno, devem-se ao facto de neste último caso, os ventos predominantes promoverem a dispersão do material ejetado maioritariamente para o concelho a leste, Povoação, sendo assim o concelho de Vila Franca do Campo pouco afetado.

Assim, e conforme as figuras 4.16 e 4.18, os edifícios em questão serão afetados no máximo com 5 cm de tefra, o que não deverá traduzir estragos considerados ou destruição, caso, como já foi referido anteriormente para as mesmas espessuras, se mantenham ações de limpeza dos telhados. Os edifícios afetados localizam-se na freguesia mais oriental do concelho, Ponta Garça, representando cerca de 5 e 15% da totalidade dos edifícios para os cenários de VEI 4 e VEI 5, respetivamente.

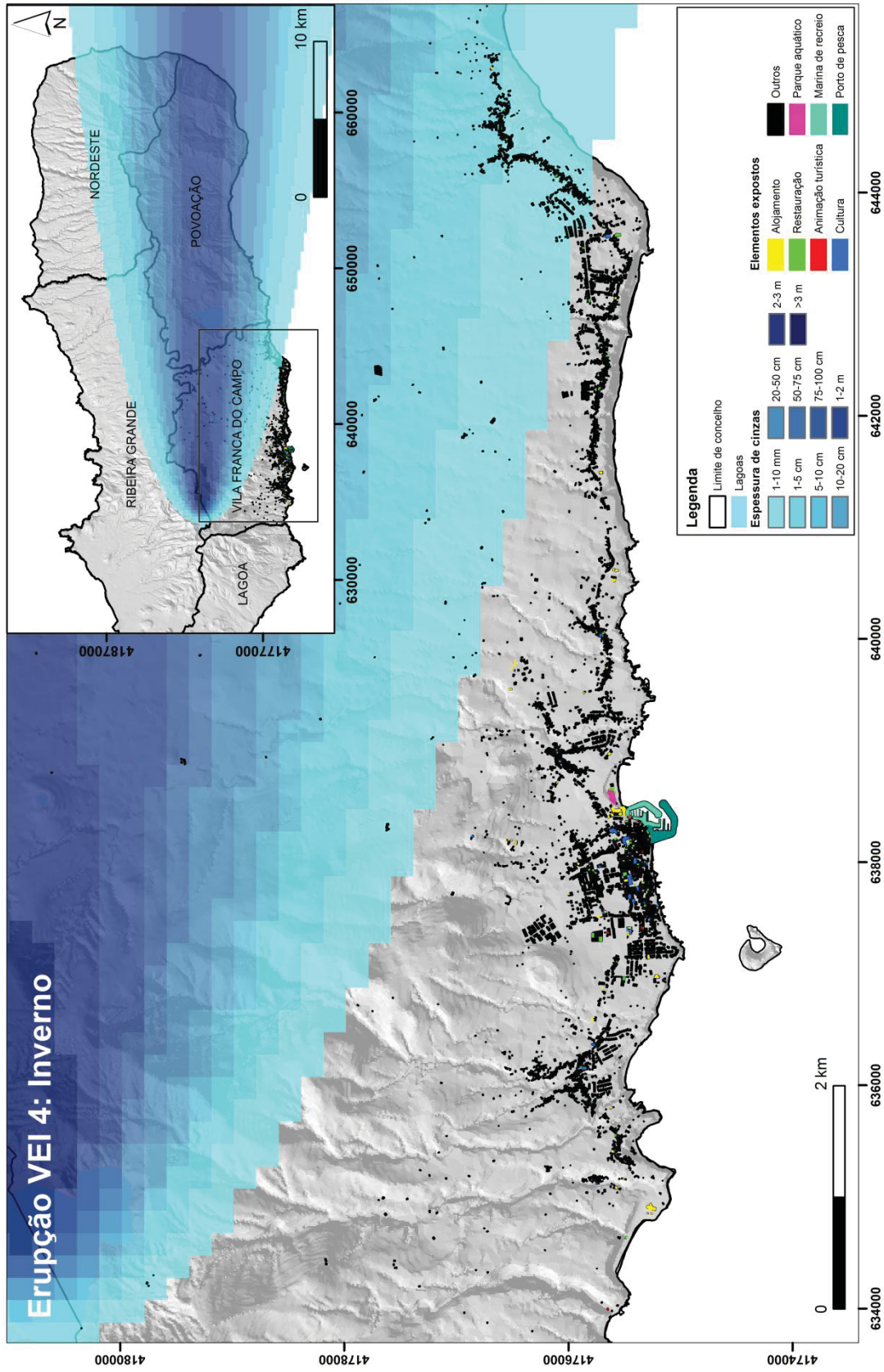


Figura 4.16. Distribuicão espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda resultantes de uma erupção de VEI 4 no inverno. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

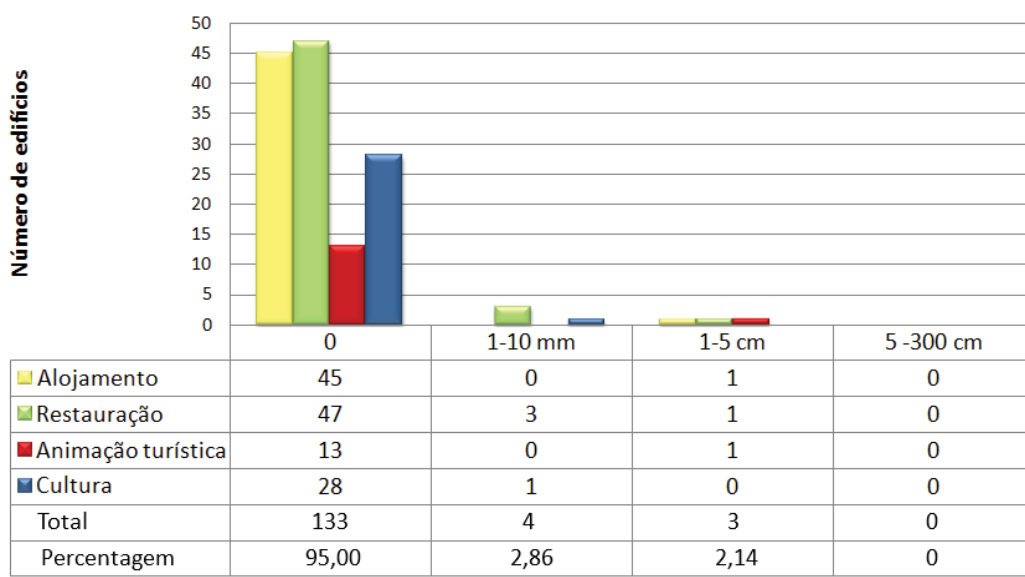


Figura 4.17. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos resultantes de uma erupção de VEI 4 no inverno.

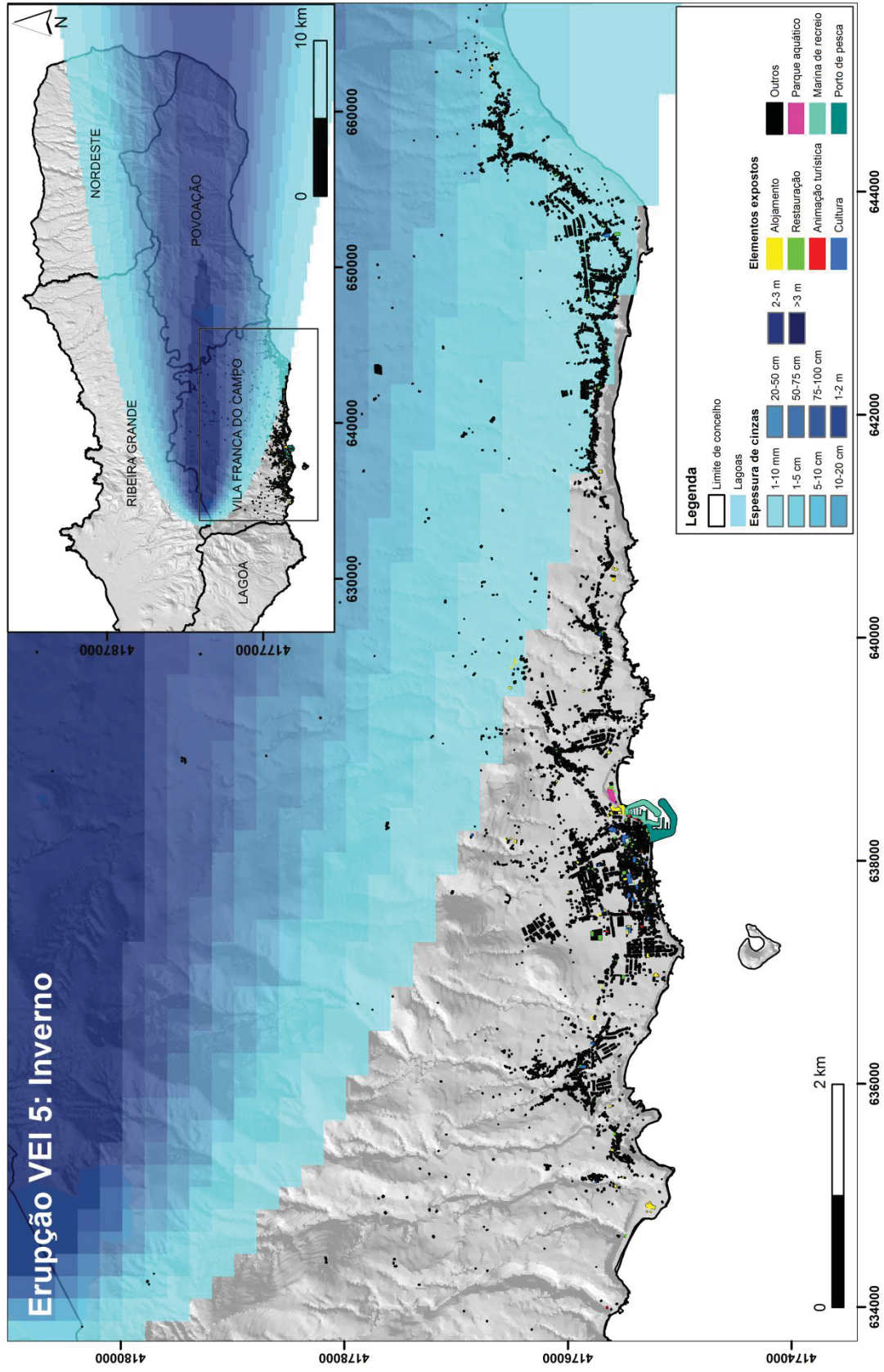


Figura 4.18. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por piroclastos de queda resultantes de uma erupção de VEI 5 no inverno. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

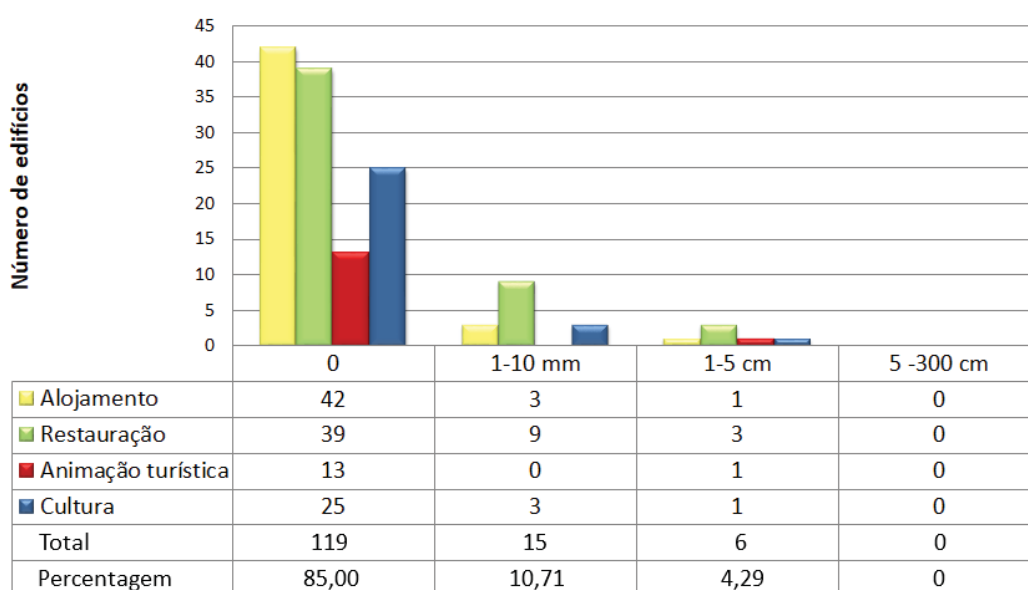


Figura 4.19. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo presentes no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de queda de piroclastos decorrentes de uma erupção de VEI 5 no inverno.

No que concerne à análise dos piroclastos de fluxo, não se teve em consideração as diferenças entre os *PDCs* densos e os menos densos, sendo, por isso, associada a este perigo destruição total. É de salientar que os piroclastos de fluxo, devido às elevadas temperaturas e às velocidades de progressão, são o fenómeno vulcânico com maior poder destrutivo, ficando por isto, todos os elementos identificados nestes cenários, completamente destruídos.

De forma semelhante ao observado nos cenários de queda de piroclastos em condições sem vento (Figs. 4.8 e 4.10), verifica-se pela análise das figuras 4.20 e 4.22 que a percentagem de edifícios relacionados com o turismo localizados na área de dispersão máxima do fluxo piroclástico resultante de uma erupção de VEI 4 (87,1%) é menor do que numa erupção de VEI 5 (95%).

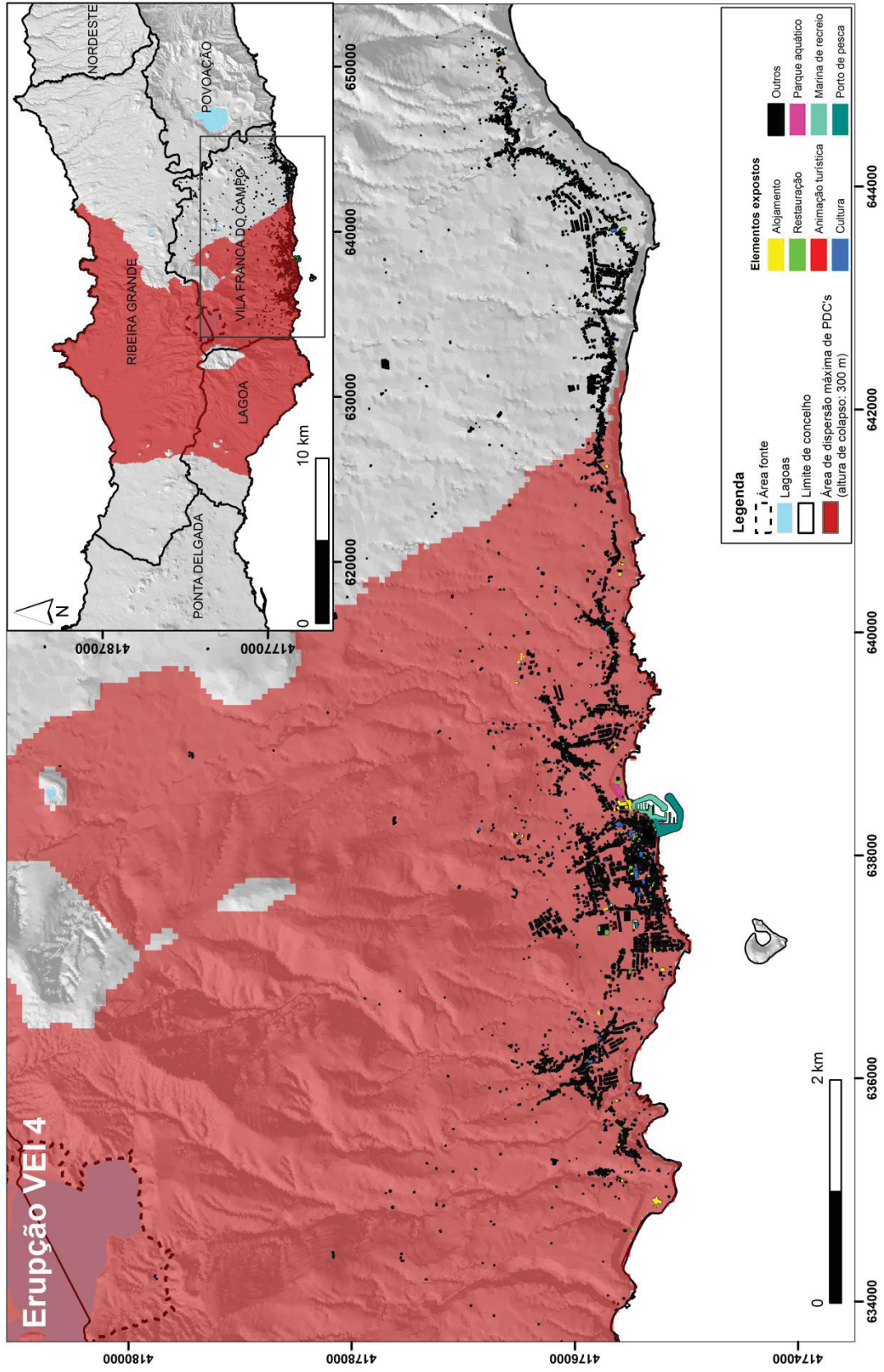


Figura 4.20. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por PDCs resultantes de uma erupção de VEI 4. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

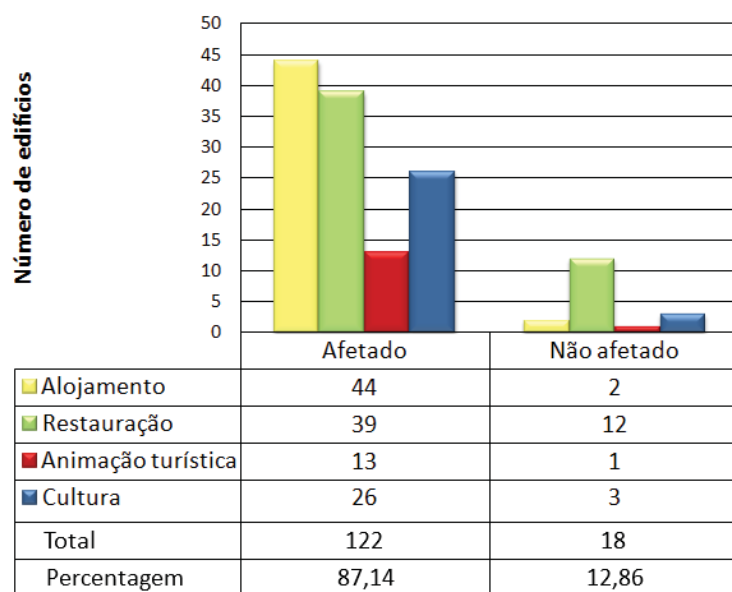


Figura 4.21. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de PDCs decorrentes de uma erupção de VEI 4.

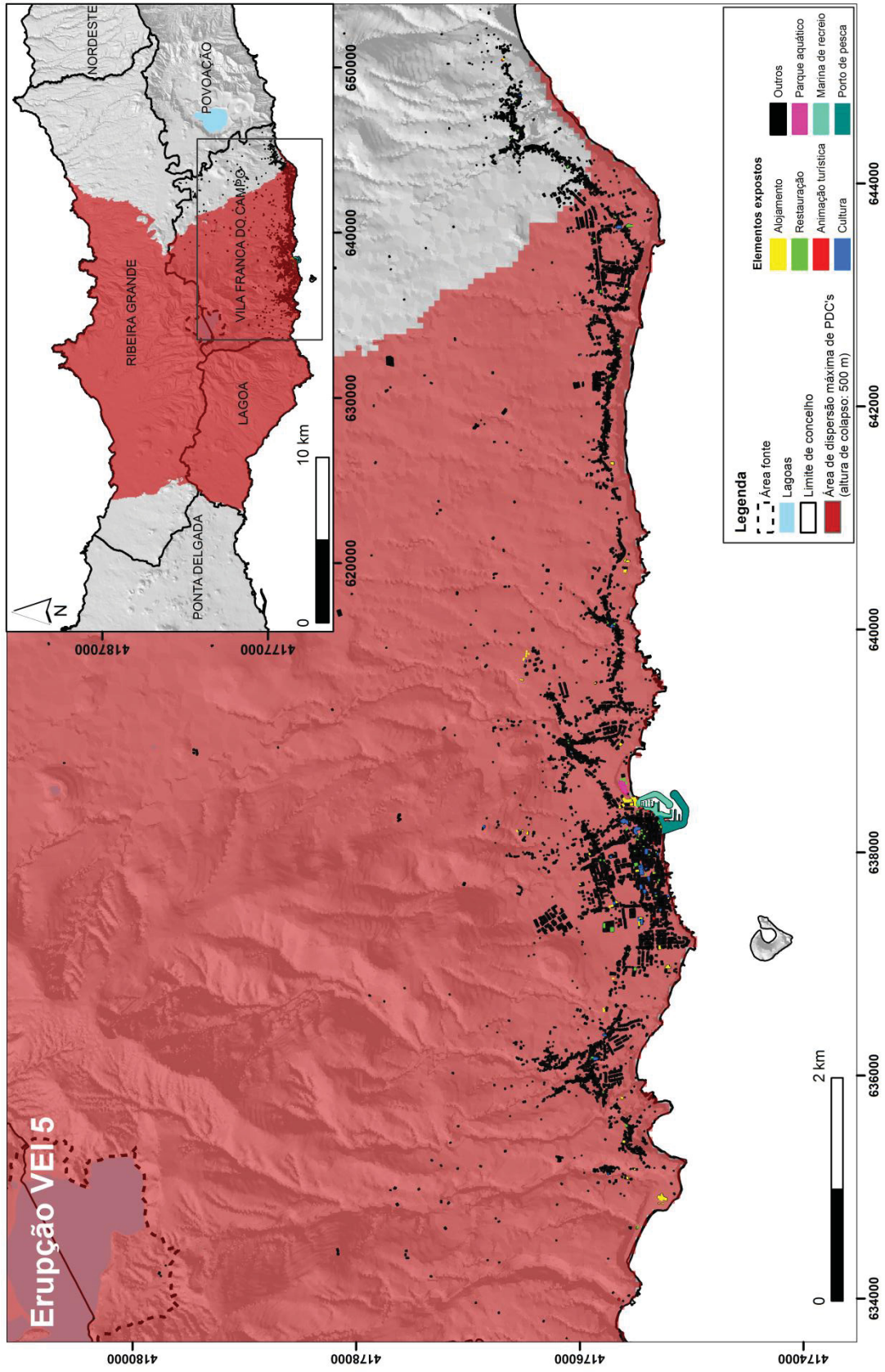


Figura 4.22. Distribuição espacial dos elementos expostos do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados por PDCs decorrentes de uma erupção de VEI 5. Projeção UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

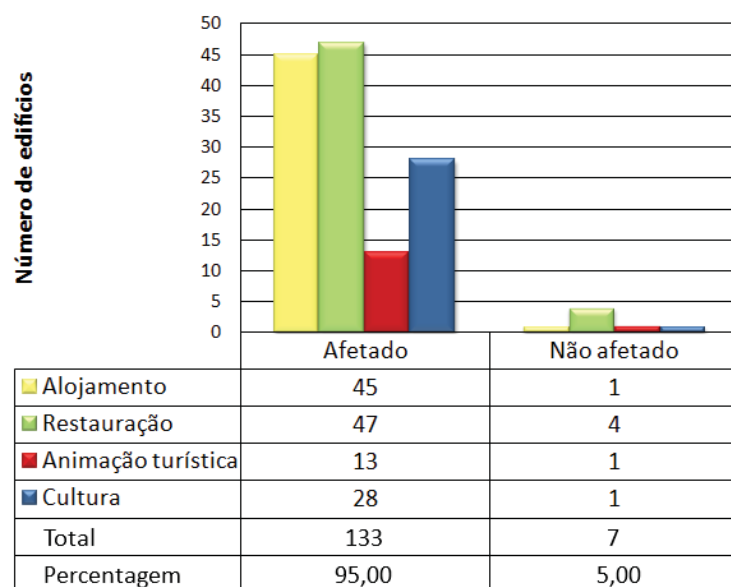


Figura 4.23. Número e percentagem de edifícios em cada tipologia do setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo afetados no cenário de PDCs formados numa erupção de VEI 5.

Relativamente às infraestruturas de apoio identificadas e apresentadas nas figuras anteriores, isto é, a marina e o porto de pescas, que de um certo modo complementam-se, e também o parque aquático, importa salientar que terão, à semelhança do edificado, alguns danos provocados por estes produtos vulcânicos. Em relação aos produtos de queda, os estragos prendem-se com a acumulação daquele material, provocando em alguns casos, quando a espessura for considerável, a sua inacessibilidade. As redes de transportes marítimos são também particularmente vulneráveis, devido à espessura dos depósitos dos piroclastos de queda que podem ser suficientes para tornar os portos e marina inoperacionais e até mesmo afundar embarcações. A presença destes produtos no mar pode vir a dificultar a navegação.

Tal como os restantes elementos expostos, verifica-se que nos cenários de inverno considerados não serão afetados pela queda de piroclastos. De um modo geral, considera-se que uma espessura de tefra inferior a 20 cm não irá causar danos significativos às várias infraestruturas. No entanto, se estiverem molhadas podem causar problemas graves ao nível dos sistemas eletrónicos e de comunicações (Malheiro, 2002). Quanto aos produtos de fluxo, estas infraestruturas são altamente vulneráveis. Todas as estruturas de apoio e controlo (como por exemplo terminais de passageiros, armazéns, torres de controlo, etc.), irão ficar obstruídos devido à deposição do material.

Apesar de não ter sido efetuada uma análise com maior enfoque, importa também referir, embora com menos detalhe, outros elementos que estão expostos e que, de certo modo, apoiam o setor do turismo, as redes de transportes. Relativamente às redes rodoviárias, a acumulação dos produtos de queda, tornam-nas inoperacionais até que os mesmos sejam removidos. Paralelamente, quando em grande quantidade, a queda de tefra limita a visibilidade, provocando assim a paralisação dos meios de transporte, particularmente os terrestres e os aéreos. A vulnerabilidade dos veículos a estes produtos prende-se com as partículas finas que se introduzem nos motores, levando à obstrução dos filtros, abrasão nas estruturas, desgaste e corrosão de turbinas. A sua vulnerabilidade no que concerne aos produtos de fluxo é reduzida e limitada à obstrução resultante do material depositado, bem como aos possíveis estragos dos sistemas de sinalização e de iluminação pública.

CAPÍTULO V. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE ERUPÇÕES EXPLOSIVAS NA ECONOMIA DO TURISMO DE VILA FRANCA DO CAMPO

5.1. NOTA PRÉVIA

Estando o turismo associado ao ato de viajar e pernoitar, o termo turista, relativamente recente, tem sido alvo de alguma evolução, culminando na definição da ONU (Roma, 1963 *in* Matias (2007)). Esta definição distingue-se entre visitante, turista e excursionista, sendo o primeiro termo referente àqueles “que se deslocam temporariamente para fora da sua residência habitual, quer seja no seu próprio país ou no estrangeiro, sem que aí exerçam uma profissão remunerada”. Aqui nesta categoria englobam-se as duas seguintes, as quais se distinguem quer se trate de um viajante que permanece no local visitado por mais de 24 horas (turista) ou, contrariamente, caso não permaneça no local visitado por mais de 24 horas (excursionista). Uma vez explicado o conceito de turista, importa agora esclarecer o conceito de turismo, tendo em conta a análise económica. Nesta perspetiva, segundo Cunha (1997) *in* Matias (2007), e de uma forma generalista, pode-se entender o turismo como a atividade económica decorrente dos movimentos turísticos.

O turismo é assim, uma atividade produtiva com uma importância económica que se tem vindo a registar crescente no mundo contemporâneo. Contudo, só muito recentemente é que as ciências económicas iniciaram a análise deste fenómeno, tendo em conta a sua importância crescente na economia mundial (Matias, 2007). De acordo com dados da Organização Mundial de Turismo (OMT), o turismo assume-se como o terceiro setor exportador à escala mundial, logo a seguir às indústrias petrolífera e automóvel, posicionando-se assim a par das mais importantes atividades económicas (Matias, 2007). A nível nacional, e segundo Costa e Matias (2004) *in* Matias (2007), o setor tem vindo a ganhar crescente importância enquanto atividade económica de referência no contexto do padrão de especialização produtiva.

No presente capítulo deste trabalho, foi feita uma avaliação dos benefícios gerados pelo setor do turismo no concelho de Vila Franca do Campo. Neste quadro, e devido ao tempo disponível, a análise restringiu-se, contudo, à quantificação das receitas geradas unicamente pelas unidades de

alojamento. Para tal, utilizou-se o levantamento deste tipo de estabelecimento abordado no capítulo anterior, que compreende 46 estabelecimentos, incluindo hotéis, estabelecimentos destinados a turismo de habitação e a turismo de espaço rural, e de alojamento local. A análise a efetuar refere-se então à determinação da perda atualizada da receita desta indústria no concelho ao longo de 30 anos, para diferentes cenários de atividade vulcânica e taxas de atualização, bem como considerando a evolução da taxa de ocupação da capacidade de alojamento.

5.2. METODOLOGIA

A avaliação do impacto económico provocado por uma erupção vulcânica teve por base a estimativa da receita gerada pela indústria da hotelaria e similares no concelho de Vila Franca do Campo. Esta análise foi realizada à semelhança do estudo efetuado por Viana *et al.* (2012), que quantifica o valor da indústria do turismo na República de Palau (Pacífico), com base numa das principais atividades que contribuem para a economia do país, que é o mergulho com tubarões. No entanto, é importante reconhecer que, sendo uma estimativa, não equivale aos benefícios efetivos da indústria.

Neste caso, o cálculo da receita anual de cada estabelecimento de alojamento foi calculado através de uma estimativa do valor médio por noite naquele estabelecimento. Para calcular este valor, considerou-se o preço correspondente à estadia de uma noite no mês de março, que corresponde à época baixa, bem como o preço de uma noite no mês de agosto, correspondendo este à época alta. Alguns destes valores foram obtidos de forma direta, tendo sido fornecidos por um representante do alojamento, enquanto que outros foram conseguidos através de pesquisa em plataformas *online* de reservas e compras para este tipo de serviços, nomeadamente, *airbnb*, *azoren-online*, *booking*, *homeaway*, *lifecooler*, *smoothhoun*, e através dos *sites* oficiais dos estabelecimentos, quando existentes (valores do início do ano de 2018). Em casos pontuais em que não foi possível recolher estes dados, utilizou-se o valor médio calculado para aquele tipo de alojamento.

A receita anual dos alojamentos obteve-se então através do produto do valor médio com 365 dias, isto para o caso dos alojamentos em que o aluguer é referente à totalidade do edifício. Para as situações em que o aluguer é referente apenas a um quarto, obteve-se o produto do valor médio com 365 dias e com o número de unidades disponíveis naquele alojamento, que podem ser quartos, apartamentos ou chalés.

Posto isto, através do somatório da receita anual de cada alojamento, obteve-se a receita anual total, a preços de 2018. Esta receita total pressupõe, no entanto, uma taxa de ocupação de 100% da capacidade existente. Este valor será, por isso, multiplicado por um fator igual a 0,5 ou igual a 0,65, dando origem a dois cenários alternativos de utilização da capacidade de alojamento existente, conforme se explica mais adiante.

Para calcular a perda económica do turismo relativamente ao setor do alojamento, e tendo em conta os cenários produzidos e apresentados no capítulo III, optou-se por considerar neste ponto apenas três cenários, os quais irão ser tratados como cenários económicos:

- 1) Cenário que representa a destruição da totalidade dos edifícios associada quer aos produtos de fluxo quer aos produtos de queda (Destruição total);
- 2) Cenário que considera a destruição do edificado que poderá ser afetado por espessuras de cinzas iguais ou superiores a 20 cm, resultantes da queda de material de uma erupção de VEI 4 nos meses de verão (PQ VEI 4 verão) (Fig. 4.12);
- 3) Cenário que considera a destruição do edificado que está contido na área de extensão máxima do fluxo resultante de uma erupção de VEI 4 (*PDCs* VEI 4) (Fig. 4.20).

O cenário de destruição total, sendo um cenário não muito provável, representa de certa forma o pior caso possível. Os cenários de PQ VEI 4 verão e *PDCs* VEI 4 representam cenários mais conservadores e mais próximos da realidade. Entre os cenários de verão e inverno, optou-se por escolher o PQ 4 verão, por ser, de entre os mais prováveis, o que apresenta uma maior área de zona afetada no concelho em estudo. O número de edifícios que serão afetados em cada cenário estão apresentados na tabela 5.1. Para estes três cenários foi calculado de igual modo a receita anual dos estabelecimentos.

Tabela 5.1. Número e percentagem de edifícios afetados em cada cenário.

Cenário	Número de edifícios	Percentagem de edifícios
Destruição Total	46	100%
PQ VEI 4 verão	17	36%
<i>PDCs</i> VEI 4	44	96%

O passo seguinte consistiu em calcular, para cada um dos cenários apresentados acima, o Valor Atualizado da Perda (VAP), que consiste no cálculo do valor em euros perdido ao fim de um

determinado período de tempo, atualizado para o valor de hoje (2017/2018), que equivale ao ano zero. Para isso utilizou-se a seguinte expressão:

$$VAP = \sum_{t_0}^{t_i} \frac{R_t}{(1+r)^t}$$

Onde, t corresponde ao ano (0 a i), R_t corresponde à receita no ano t tendo em conta a taxa de ocupação, e r corresponde à taxa de atualização.

Para o presente estudo, considerou-se um período de 30 anos, tendo como exemplo a erupção do vulcão de Soufrière Hills, (ilha britânica de Montserrat, Caraíbas) iniciada em 1995. Esta erupção, em ambiente insular tal como os Açores, produziu escoadas piroclásticas e escoadas de detritos (*lahars*), com proporções devastadoras que ainda hoje, passadas mais de duas décadas, perduram. Atualmente, a atividade turística da ilha ainda se encontra em fase de recuperação.

Este cálculo foi efetuado para cada cenário económico, considerando duas taxas de ocupação da capacidade de alojamento existente, uma mais conservadora, na qual utilizou-se uma Taxa de Ocupação (to) igual a 50% com uma taxa de atualização (r) igual a 2% e 4%, e outra menos conservadora, considerando que o setor do turismo apresenta uma tendência crescente nos Açores, com uma taxa de ocupação (to) igual a 65% com as mesmas taxas de atualização (r).

A taxa de ocupação (to) é a percentagem de unidades ou quartos disponíveis numa determinada área, ocupados num período específico. A taxa de 50% escolhida está em concordância com as taxas médias de ocupação na ilha de São Miguel nos últimos 5 anos (aproximadamente 53%), de acordo com as séries longas do Turismo do Serviço Regional de Estatística dos Açores (SREA).

A taxa de atualização ou taxa de desconto (r), é uma taxa de preferência intertemporal que permite converter valores futuros em valores presentes (atuais). Isto porque uma unidade monetária no momento presente não tem o mesmo valor que a mesma unidade monetária no futuro, estando em causa bens economicamente diferentes, não se podem comparar ou adicionar diretamente (Infopédia, *online*). É considerada como um elemento crítico na análise do custo benefício, quando os custos e os benefícios diferem a sua distribuição ao longo do período de tempo. Existe uma grande discrepância nas taxas de atualização aplicadas, com as nações desenvolvidas a aplicar tipicamente uma taxa mais baixa (3-7%) comparativamente às usadas pelas nações em desenvolvimento (8-15%) (Wikipédia, *online*). Por outro lado, existem autores

que defendem que a utilização de uma taxa de desconto igual a zero é uma possibilidade quando se pretende atribuir o mesmo peso ao futuro e ao presente em análises a longo prazo. Em Portugal, esta taxa varia entre 0 e 5% (Avaliar património, *online*).

Neste estudo optou-se por usar taxas de atualização de 2 e 4%. No entanto, podem ser aplicadas outras taxas. Ressalva-se, uma vez mais, que tratando-se de cenários, os resultados correspondem apenas a estimativas.

5.3. RESULTADOS

Através da soma da receita anual individual de cada estabelecimento, obteve-se uma estimativa da receita anual total de aproximadamente 9,5 milhões de euros, no cenário hipotético de que a capacidade de alojamento estaria totalmente ocupada.

A síntese dos dados recolhidos e conjugados com as diferentes taxas de ocupação e de atualização, permitiu construir um conjunto de gráficos, que seguem em baixo (Figs. 5.1 a 5.12), e que servem para compreender melhor as diferenças que surgem nos valores atualizados da perda para os diferentes cenários considerados. Igualmente foi construída uma tabela resumo (Tabela 5.2) com as várias taxas de atualização (r) utilizadas para cada taxa de ocupação (to) tendo em conta os vários cenários económicos considerados.

Tabela 5.2. Valor Atualizado da Perda dos cenários económicos com as diferentes taxas de ocupação e de atualização, considerando um período de 30 anos.

Cenário	Taxa de Ocupação (to)	Taxa de atualização (r)	VAP (milhares de euros)
Destruição Total	0,50	0,02	112 021, 214
		0,04	87 581, 462
	0,65	0,02	145 627, 578
		0,04	113 855, 900
PQ VEI 4 verão	0,50	0,02	13 765, 834
		0,04	10 762, 532
	0,65	0,02	17 895, 584
		0,04	13 991, 291
PDCs VEI 4	0,50	0,02	109 100, 634
		0,04	85 298, 067
	0,65	0,02	141 830, 825
		0,04	110 887, 487

Assim, a análise dos gráficos apresentados nas figuras 5.1 a 5.12 permite concluir que para todos os cenários, o valor atualizado da perda, apresentado em milhões de euros, é tanto maior quanto maior for a taxa de ocupação e menor a taxa de atualização.

Tome-se como exemplo o cenário da destruição total, em que o valor atualizado da perda ao fim de 30 anos, $145\,627 \times 10^3$ euros, é maior quando a taxa de ocupação é de 65% e quando a taxa de

atualização aplicada é de 2% (Fig. 5.3). Por outro lado, se considerarmos uma taxa de ocupação de 65% e uma taxa de atualização de 4%, traduz-se numa perda da ordem dos $113\,855 \times 10^3$ euros (Fig. 5.4). Os valores mais baixos da perda atualizada são de $112\,021 \times 10^3$ euros para uma taxa de ocupação de 50% e uma taxa de atualização de 2% (Fig. 5.1), e de $87\,581 \times 10^3$ euros para uma taxa de ocupação de 50% e uma taxa de atualização de 4% (Fig. 5.2).

Em termos do valor atualizado da perda em cada ano, verifica-se que apresentam uma tendência decrescente ao longo do tempo em todos os cenários, o que decorre da metodologia utilizada. No caso do cenário de destruição total, considerando ambas as taxas de atualização, verifica-se que para uma taxa de ocupação de 50% o valor da perda no ano zero não atinge os 5 milhões de euros (Figs. 5.1 e 5.2), enquanto que para uma taxa de ocupação superior, 65%, este valor excede os 6 milhões de euros (Figs. 5.3 e 5.4), não se traduzindo, no entanto, numa diferença muito acentuada. Não obstante, verifica-se que, ao longo dos anos, a tendência decrescente do valor da perda é mais acentuada quando é aplicada uma taxa de atualização de 4%. Para uma taxa de ocupação de 65%, o valor da perda no ano 30 é de 1,9 e 3,4 milhões de euros para taxas de atualização de 4 e 2%, respetivamente), e para uma taxa de ocupação de 50%, o valor é de cerca 1,4 e 2,6 milhões de euros, considerando taxas de atualização de 4 e 2%, respetivamente.



Figura 5.1. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de destruição total ($r=0,02$ e $t_0=0,5$).

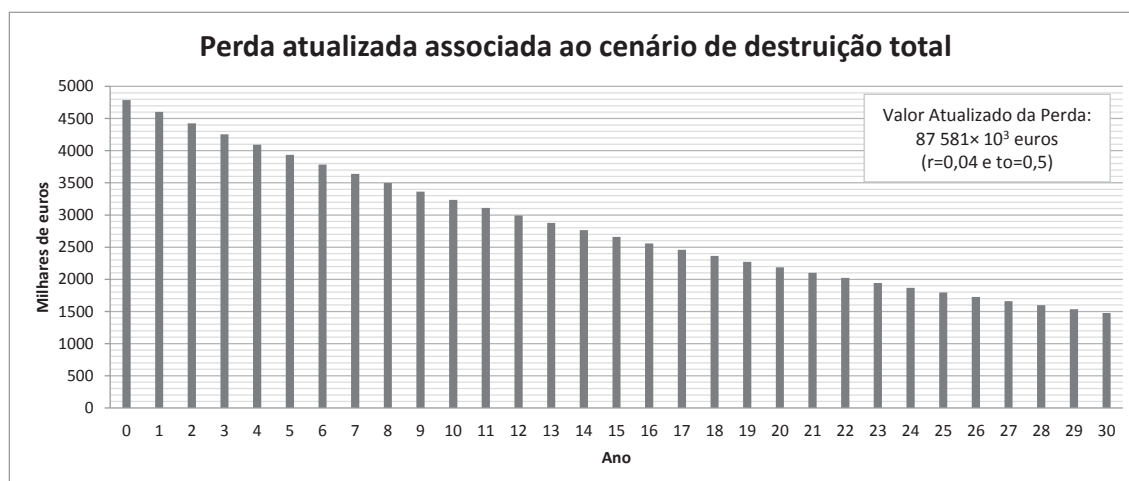


Figura 5.2. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de destruição total ($r=0,04$ e $to=0,5$).

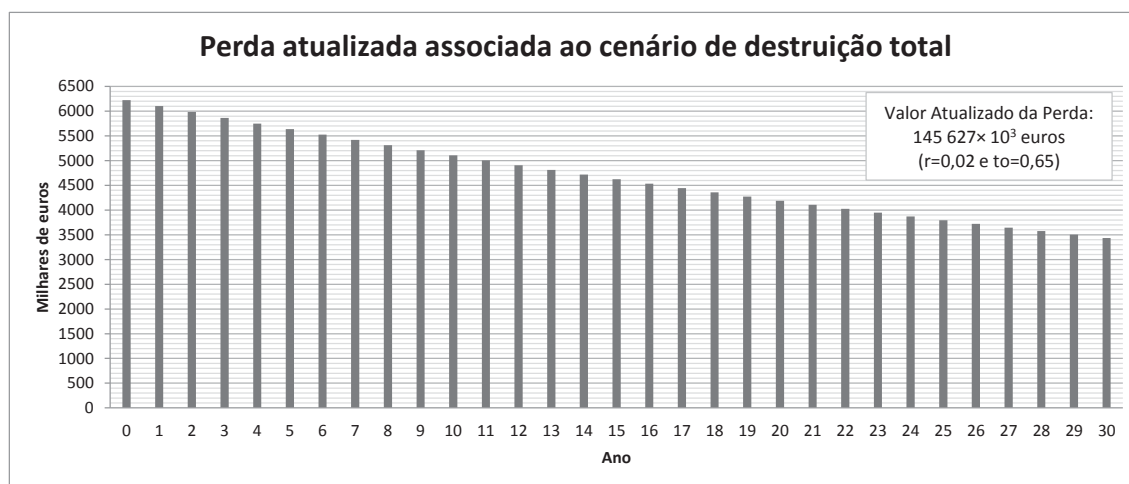


Figura 5.3. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de destruição total ($r=0,02$ e $to=0,65$).

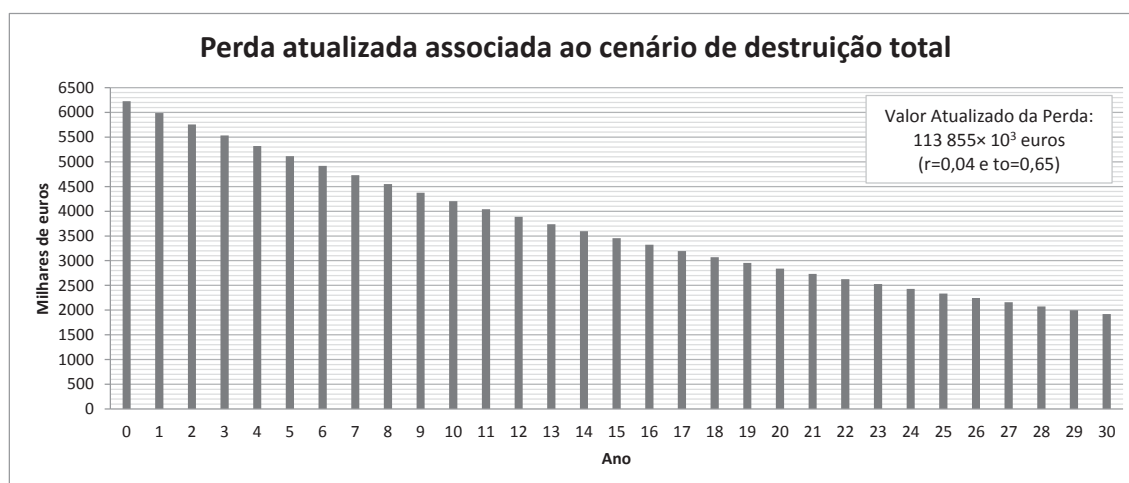


Figura 5.4. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de destruição total ($r=0,04$ e $to=0,65$).

Relativamente ao cenário de PQ VEI 4 verão, os valores totais da perda atualizada (tabela 5.2) são consideravelmente menores quando comparados com os do cenário de destruição total, tal como se verifica nos gráficos apresentados nas figuras 5.5 a 5.8. Isto decorre do número de estabelecimentos que poderão vir a ser afetados. A análise efetuada para o cenário de destruição total aplica-se igualmente a este cenário, confirmando-se as mesmas tendências, no entanto, com valores inferiores. Neste caso, o valor da perda no ano zero (considerando qualquer uma das taxas de atualização) para uma taxa de ocupação de 50% não excede os 600 mil euros (Figs. 5.5 e 5.6), enquanto que para uma taxa de ocupação de 65% este valor é ligeiramente superior, ultrapassando os 700 mil euros (Figs. 5.7 e 5.8). Para uma taxa de ocupação de 65%, o valor da perda no ano 30 é de 240 e 420 mil euros (taxas de atualização de 4 e 2%, respetivamente), e para uma taxa de ocupação de 50%, o valor é de cerca de 180 e 320 mil euros (taxas de atualização de 4 e 2%, respetivamente).

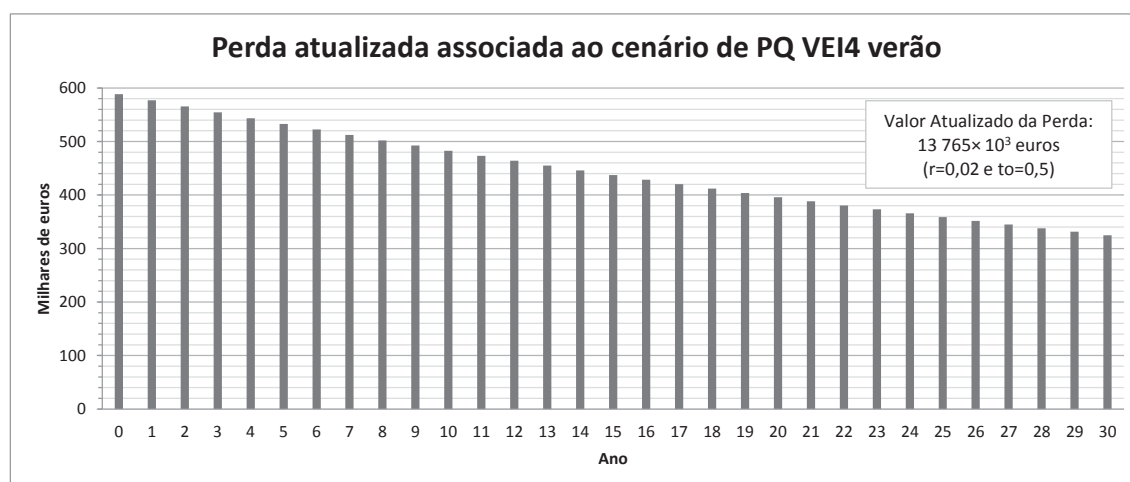


Figura 5.5. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de PQ VEI 4 verão ($r=0,02$ e $t_0=0,5$).

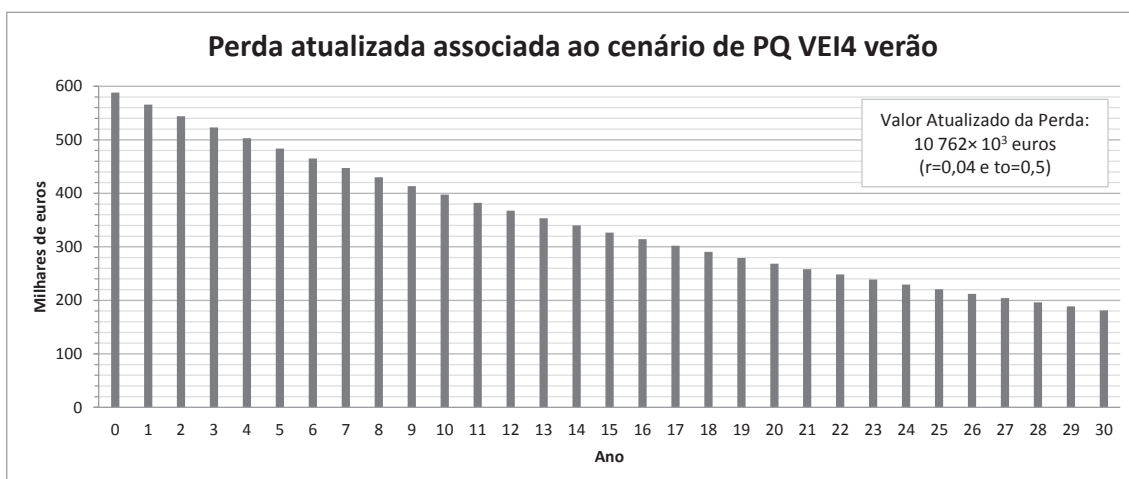


Figura 5.6. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de PQ VEI 4 verão ($r=0,04$ e $to=0,5$).

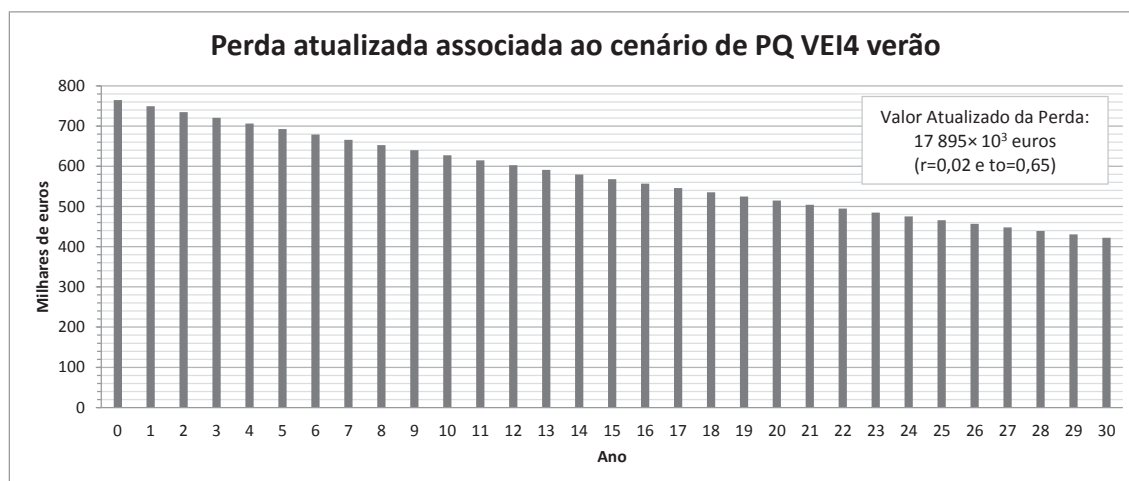


Figura 5.7. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de PQ VEI 4 verão ($r=0,02$ e $to=0,65$).

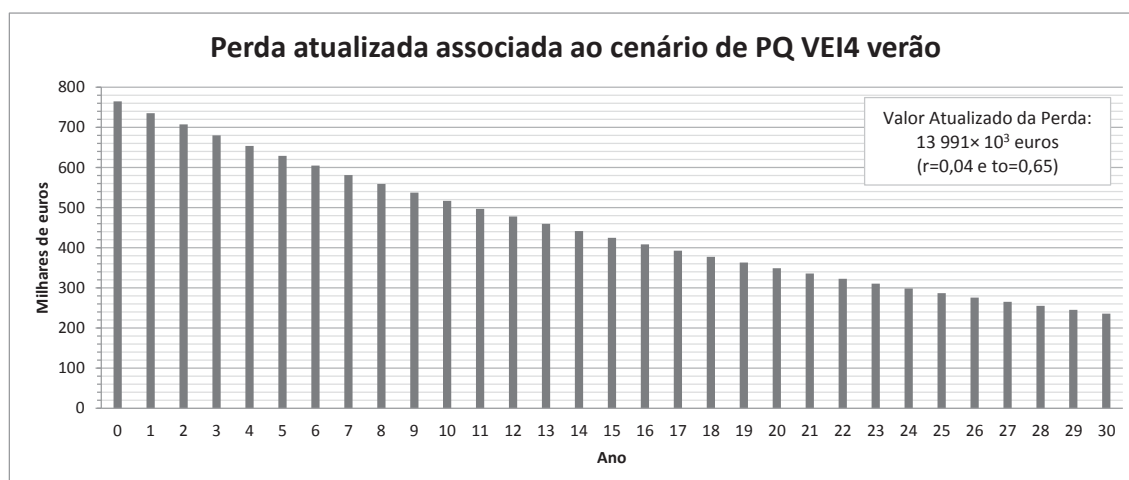


Figura 5.8. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de PQ VEI 4 verão ($r=0,04$ e $to=0,65$).

No caso do cenário de *PDCs* VEI 4 (Figs. 5.9 a 5.12), por afetar 96% dos edifícios de alojamento, os valores atualizados da perda são muito semelhantes ao cenário de destruição total, o qual considera destruição da totalidade dos edifícios. Comparando com o cenário de PQ VEI 4 verão, os valores atualizados da perda são superiores. Para uma taxa de ocupação de 65%, o valor da perda no ano zero é aproximadamente de 6 milhões de euros e no ano 30 é de 1,8 (Fig. 5.12) e 3,4 milhões de euros (Fig. 5.11) (taxas de atualização de 4 e 2%, respetivamente). Para uma taxa de ocupação de 50%, o valor da perda no ano 30 é de cerca 1,4 (Fig. 5.10) e 2,6 mil euros (Fig. 5.9) (taxas de atualização de 4 e 2% respetivamente).

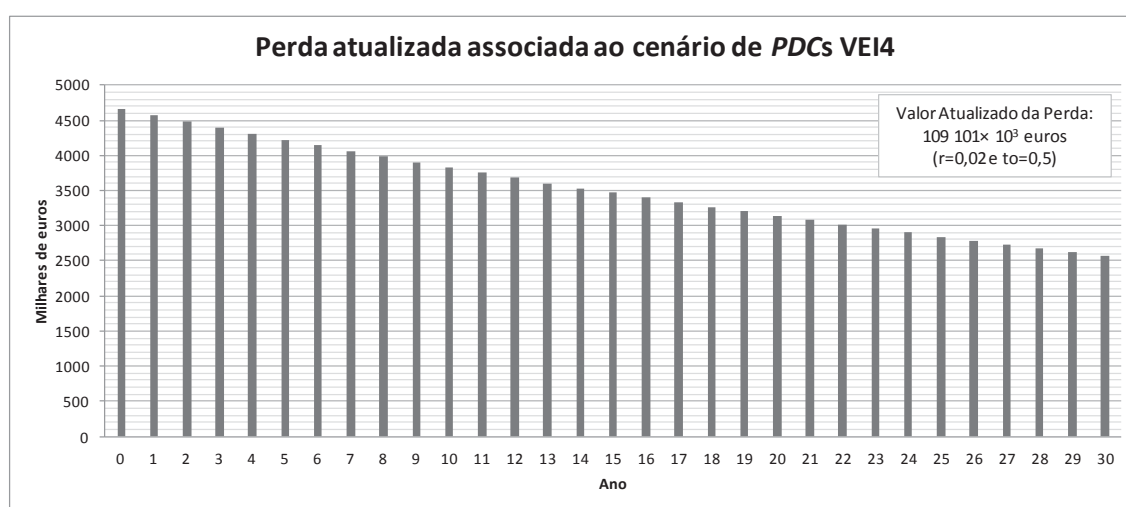


Figura 5.9. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de *PDCs* VEI 4 ($r=0,02$ e $t_o=0,5$).

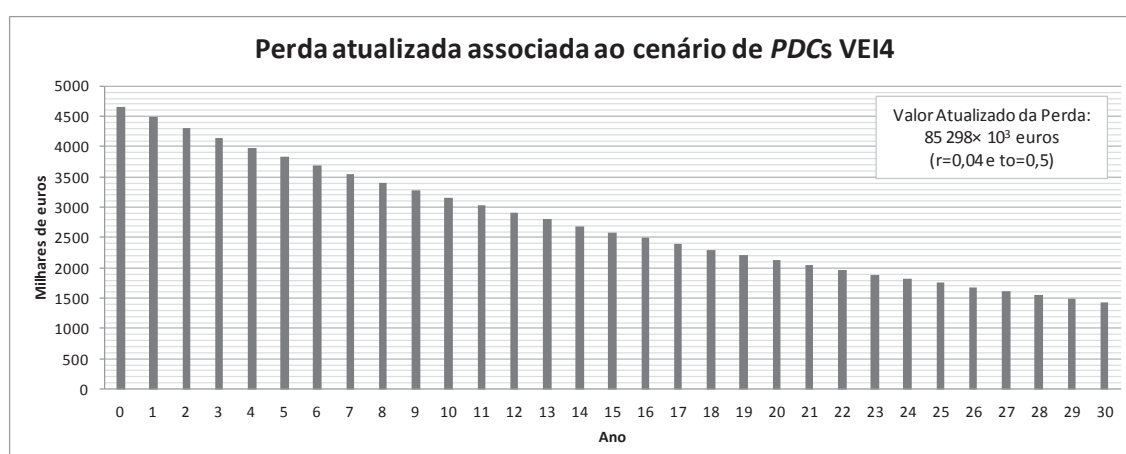


Figura 5.10. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de *PDCs* VEI 4 ($r=0,04$ e $t_o=0,5$).

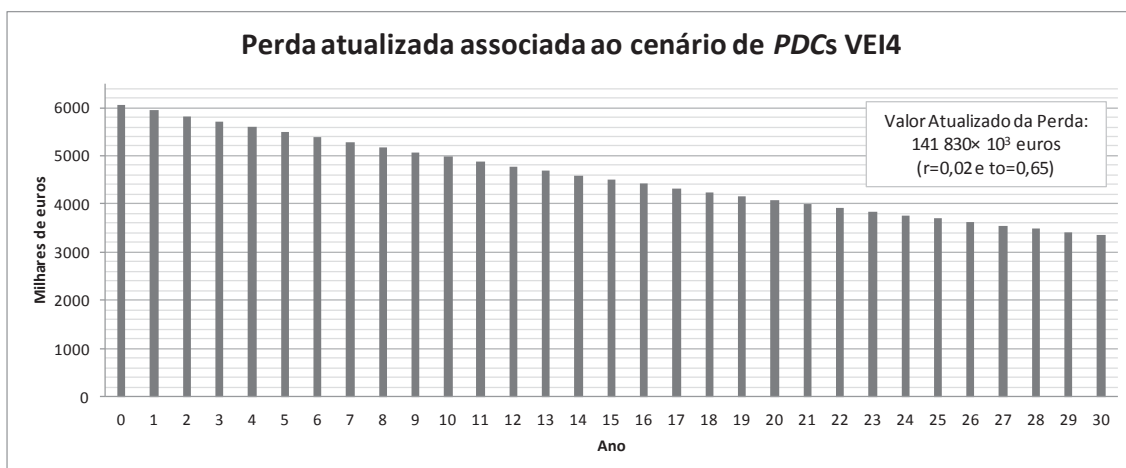


Figura 5.11. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de PDCs VEI 4 ($r=0,02$ e $t_0=0,65$).

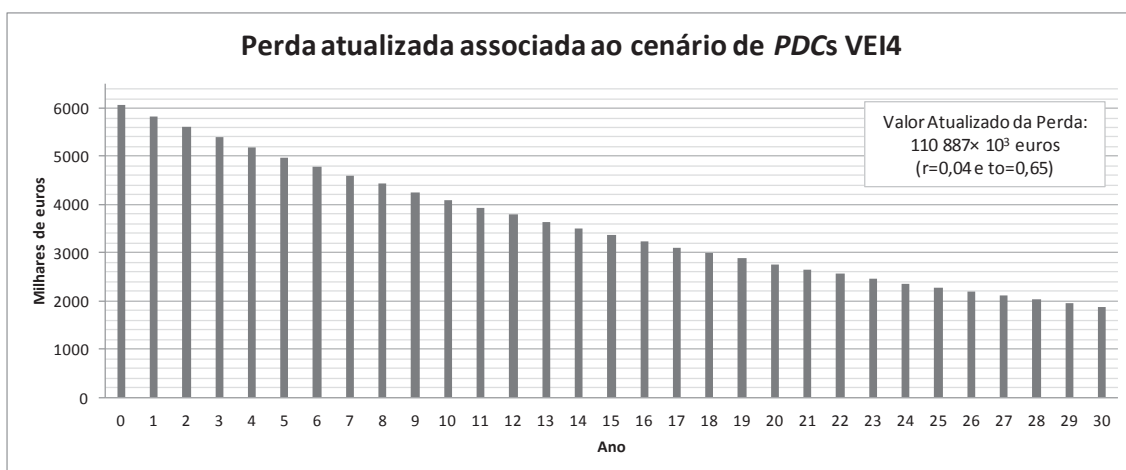


Figura 5.12. Valor Atualizado da Perda ao fim de 30 anos, considerando o cenário de PDCs VEI 4 ($r=0,04$ e $t_0=0,65$).

5.4. CONCLUSÕES

Os resultados mostram claramente a importância do setor do turismo na economia do concelho de Vila Franca do Campo. Embora correspondendo a estimativas, os valores permitem visualizar a expressão que a atividade tem no concelho. É de ressaltar que os resultados obtidos traduzem apenas a receita da indústria da hotelaria, carecendo ainda da análise das atividades ligadas com a restauração, a animação turística e o turismo cultural que, evidentemente, aumentará a receita no setor do turismo, e tornará ainda mais completo o estudo em causa.

Tendo em conta a receita gerada calculada, em qualquer um dos cenários haverá uma perda associada considerável, colocando assim em causa a continuação das atividades turísticas por um longo período de tempo, neste caso, durante 30 anos. Como se tratam de cenários e estimativas, os valores apresentados serão certamente distintos daqueles que se observarão num caso real. No entanto, não deverão estar muito longe da realidade caso o vulcão do Fogo seja palco de uma erupção vulcânica que se assemelhe aos cenários considerados.

Embora o estudo corresponda à perda atualizada ao fim de 30 anos, num caso real o intervalo de tempo da perda da receita neste setor irá variar, podendo demorar mais ou menos tempo, consoante os diferentes cenários eruptivos.

Tal como seria de esperar, nos três cenários económicos escolhidos, o valor da perda atualizada é maior no cenário de destruição total, sendo logo seguido pelo do cenário de *PDCs* VEI 4, que também pressupõe destruição da maior parte dos estabelecimentos de alojamento, e é menor no cenário de *PQ* VEI 4 verão.

CAPÍTULO VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A história eruptiva da ilha de São Miguel revela-a como sendo a mais ativa dos Açores, com a maior frequência eruptiva de eventos explosivos, contabilizando pelo menos 33 erupções subplinianas e plinianas nos últimos 5000 anos.

O vulcão do Fogo, localizado na parte central de São Miguel, mostra uma morfologia complexa e exibe uma caldeira formada no decorrer de numerosos eventos explosivos plinianos e subplinianos. Embora seja o que apresenta a menor frequência eruptiva dos três vulcões centrais ativos na ilha (seis erupções explosivas), é o único que foi palco de um evento de dimensão paroxismal nos últimos 5000 anos. Esta erupção pliniana (VEI 5) ocorreu há cerca de 4500 anos, sendo conhecida como Fogo A, e formou uma coluna eruptiva com cerca de 27 km (Bursik *et al.*, 1992; Gaspar *et al.*, 2015b; Pensa *et al.*, 2015a,b), levando à deposição de espessuras significativas de piroclastos pomíticos de queda em grande parte da ilha. No decorrer desta fase ocorreram alguns colapsos parciais da coluna eruptiva com formação de produtos piroclásticos de fluxo de menores dimensões. A mesma terminou com o colapso da coluna eruptiva e com o consequente desenvolvimento de volumosos produtos piroclásticos de fluxo que progrediram pelos flancos do vulcão, atingindo as costas N e S (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005, 2015). Assim, os perigos vulcânicos mais frequentes associados a este vulcão são os piroclastos pomíticos de queda e os produtos piroclásticos de fluxo.

Um próximo evento vulcânico desta natureza nos Açores poderá vir a afetar os vários setores de desenvolvimento económico da região. Desta forma, e sabendo que as regiões vulcânicas ativas, tal como os Açores, oferecem condições de excelência propícias ao desenvolvimento de atividades assentes na natureza, como é o caso do turismo, torna-se fundamental avaliar a vulnerabilidade aos perigos vulcânicos com o intuito de tentar mitigar o risco associado neste setor.

Tendo em conta que o princípio do uniformitarismo assume que o presente é a chave para a interpretação de fenómenos que ocorreram no passado, ao elaborar cenários e simulações assume-se que nos vulcões ativos, a atividade passada determina em grande parte o que acontecerá no futuro (Chester, 1993).

Assim, considerando a história eruptiva do vulcão do Fogo, um dos objetivos deste trabalho prendeu-se com o desenvolvimento de simulações de cenários eruptivos explosivos neste vulcão, mais especificamente um evento subpliniano e outro pliniano, que envolvessem a emissão de produtos piroclásticos de queda e de fluxo.

O primeiro, que caracteriza o cenário mais provável, correspondeu a uma erupção subpliniana (VEI 4) com as mesmas características da erupção mais recente, ocorrida em período histórico no ano de 1563. O segundo, o pior cenário possível, consistiu numa erupção mais energética, pliniana (VEI 5), semelhante à erupção que ocorreu há aproximadamente 4500 anos, a erupção do Fogo A.

Embora numa futura erupção, as condições reais dos ventos é que irão determinar a direção para onde será depositado o material piroclástico, as simulações realizadas para a análise dos perigos de piroclastos de queda, utilizando parâmetros das referenciadas erupções ou de similares com as mesmas características, mostram que durante os meses de verão, os ventos predominantes que sopram para SE da caldeira, farão com que Vila Franca do Campo seja o município mais afetado, enquanto que nos meses de inverno será o município da Povoação. Tendo em conta os dois cenários abordados, nota-se que as áreas de dispersão do material, quer nos meses de verão quer nos meses de inverno, é maior, tal como seria de esperar, no caso do pior cenário (VEI 5), devido ao volume de material ejetado.

Assim, no caso do cenário de piroclastos de queda mais provável, VEI 4 nos meses de verão, e de acordo com os resultados obtidos, as freguesias da Ribeira das Tainhas e de Ponta Garça serão as mais afetadas, podendo o material atingir espessuras de 1 a 2 metros. Considerando o pior cenário, VEI 5, os valores da espessura aumentam para 2 a 3 metros.

Relativamente aos meses de inverno, ambos os cenários de VEI 4 e de VEI 5 mostram que a freguesia mais suscetível de ser afetada será a das Furnas, no município da Povoação, com espessuras de aproximadamente 1 a 2 metros no cenário mais provável, aumentando para 3 metros no pior cenário.

Todos os parâmetros utilizados na realização destas simulações foram obtidos em trabalhos publicados anteriormente, uns referentes ao vulcão do Fogo e outros referentes a outros vulcões com características, erupções e depósitos semelhantes a este vulcão. No entanto, trabalhos mais recentes e em desenvolvimento por Aguiar (em prep.) na área da vulcanoestratigrafia, revelam

dados diferentes e um pouco discrepantes relativamente ao volume do depósito da erupção histórica de 1563, já calculado por Booth *et al.* (1978). O valor mais recente deste parâmetro, significativamente menor do que o utilizado neste trabalho, poderá fazer com que novos mapas de suscetibilidade para os produtos de queda sejam ligeiramente diferentes no que respeita à área de dispersão do material.

Na ausência de ventos no decorrer da erupção, e de acordo com as simulações obtidas, verificou-se que todo o material ejetado irá depositar-se, eventualmente, numa área confinada em torno do vulcão. A realização destes cenários permitiu compará-los com os propostos por Gaspar *et al.*, (2015b) para o mesmo vulcão, e verificar que ocorrem algumas desconformidades no que respeita à área de dispersão máxima deste produto, provavelmente devido a um erro de cálculo da área da isopaca estabelecida naquele trabalho.

Quanto às simulações realizadas para a análise dos *PDCs*, nota-se que todos os municípios localizados em torno do vulcão do Fogo, nomeadamente Lagoa, Vila Franca do Campo e Ribeira Grande, são os mais suscetíveis de virem a ser afetados por este produto. É importante compreender que estas simulações apresentam a área de extensão máxima que os *PDCs* podem vir a atingir, não correspondendo à área total que ficará coberta por estes fluxos. Nota-se claramente a importância do efeito da topografia na extensão deste tipo de produto vulcânico, sendo também fortemente controlado pela altura de colapso da coluna eruptiva.

Relativamente ao cenário mais provável (VEI 4), observa-se a presença de duas barreiras topográficas, uma localizada no flanco WSW do vulcão, e outra no lado oposto, a E do vulcão. Estas barreiras influenciam a dinâmica do fluxo piroclástico, orientando-o para uma trajetória de menor resistência. O mesmo acontece em alguns cones de escórias localizados a W do vulcão, embora com menor influência. O mesmo não se observa no cenário VEI 5, devido à maior altura de colapso da coluna eruptiva, que faz com que os *PDCs* transponham os obstáculos. Nestes casos, os *PDCs* poderão atingir distâncias máximas, a partir da área fonte, de mais de 9 km no caso do cenário mais provável, e de mais de 11 km no pior cenário.

Face aos resultados obtidos, optou-se por escolher o concelho de Vila Franca do Campo como área de estudo para análise das vulnerabilidades relacionadas com o setor do turismo e posterior estudo do impacto económico causado por um evento explosivo no vulcão. Embora vários concelhos da ilha possam vir a ser afetados por estes produtos vulcânicos, principalmente

aqueles que se localizam no centro da ilha, esta escolha evidenciou-se pela proximidade do concelho de Vila Franca do Campo ao vulcão do Fogo.

Os elementos expostos relacionados com o setor do turismo considerados no presente trabalho consistiram nos estabelecimentos existentes destinados a alojamento, restauração, animação turística e cultura, tendo-se contabilizado um total de 140 edifícios distribuídos pelas seis freguesias que constituem o concelho em estudo. Destes, 36% correspondem a estabelecimentos de restauração, 33% a edifícios destinados a alojamento, 21% são destinados à cultura ou a atividades culturais e 10% estão dedicados à animação turística.

A integração dos elementos expostos inventariados e cartografados com as simulações de piroclastos de queda e de *PDCs* permitiram ter uma perceção da percentagem de edifícios de cada uma destas categorias que se encontram nas áreas de dispersão dos piroclastos de queda, bem como nas áreas de extensão máxima dos fluxos piroclásticos, tendo em conta os cenários considerados.

Contudo, é importante realçar que uns cenários são mais prováveis e realistas do que outros. Posto isto, para avaliar a perda económica gerada no setor do turismo, procedeu-se à quantificação das receitas geradas pelas unidades de alojamento no concelho de Vila Franca do Campo.

A determinação da perda atualizada da receita desta indústria no concelho, ao longo de 30 anos, foi realizada para diferentes cenários vulcânicos, taxas de atualização e evolução da taxa de ocupação da capacidade de alojamento. Os cenários selecionados consistiram num cenário mais extremista e em dois cenários mais conservadores, nomeadamente de destruição da totalidade dos edifícios (quer associada aos produtos de queda, quer aos de fluxo), destruição do edificado afetado por espessuras de cinzas iguais ou superiores a 20 cm (resultantes da queda de material de uma erupção VEI 4 nos meses de verão – PQ VEI 4 verão) e destruição do edificado contido na área de extensão máxima dos *PDCs* resultantes de uma erupção VEI 4.

Através da receita anual individual de cada estabelecimento, estimou-se uma receita anual total de cerca de 9,5 milhões de euros para o cenário hipotético de que a capacidade de alojamento está totalmente completa. Para todos os cenários económicos, o valor atualizado da perda, em milhões de euros, é tanto maior quanto maior a taxa de ocupação e menor a taxa de atualização. Estes valores, tal como seriam de esperar, são mais elevados no caso de destruição total, e mais

reduzidos no cenário de PQ VEI 4 verão. No primeiro caso, o valor atualizado da perda para uma taxa de ocupação de 0,65 e uma taxa de atualização de 0,02, é de aproximadamente 145 milhões de euros.

No que respeita à análise da suscetibilidade, os resultados obtidos constituem uma abordagem à avaliação dos perigos vulcânicos, podendo estes ser utilizados como base de trabalho para fins de ordenamento do território e planeamento de emergência. Os cenários eruptivos produzidos são também passíveis de serem utilizados no âmbito de exercícios de proteção civil.

Um evento explosivo desta natureza irá certamente afetar, não só os concelhos mais próximos do vulcão, como também se poderá estender a outras ilhas, ao afetar grandes áreas dos domínios terrestre, marítimo e aéreo. Este impacto irá estender-se ainda a outros setores económicos, atingindo, em simultâneo, pessoas, animais, edifícios e infraestruturas básicas, bens imóveis e terrenos.

A erupção de Eyjafjallajökull (Islândia) em 2010 é um ótimo exemplo do impacto que uma nuvem de cinzas vulcânicas poderá ter no turismo mundial, especialmente na mobilidade turística, por ter causado a maior paralisação do espaço aéreo mundial e europeu desde a 2ª Guerra Mundial. A localização geográfica dos Açores no meio do Oceano Atlântico fará com que uma erupção no vulcão do Fogo, como as mencionadas neste estudo, produza efeitos semelhantes em torno da aviação europeia e mundial, levando ao cancelamento de milhares de voos, o qual resultará em perdas da indústria aérea, perdas no destino e perdas gerais de produtividade.

Apesar das evidências, os resultados dos trabalhos científicos continuam a não ser considerados como instrumentos de planeamento de emergência capazes de mitigar o risco vulcânico. Em regiões insulares, como é o caso dos Açores, as medidas de mitigação do impacto económico e social de erupções vulcânicas têm de se basear em recursos locais, devido à provável inoperacionalidade de aeroportos e portos. Dependendo da magnitude do evento e do seu impacto, poderá levar a situações de rotura ou mesmo de colapso, podendo as suas repercussões estender-se a todo o arquipélago. A tal situação acresce o facto de nos Açores se verificar uma inexistência de planos especiais de emergência de proteção civil para o risco vulcânico.

Em trabalhos futuros pretende-se aprofundar a avaliação da vulnerabilidade do edificado ao perigo vulcânico, considerando, para além da localização dos edifícios nas áreas passíveis de serem afetadas, determinados parâmetros que condicionam o comportamento do edificado face

à exposição a produtos piroclásticos de queda e de fluxo (e.g. tipo de telhados e respetiva inclinação, o material constituinte das paredes exteriores do edificado, o tipo de aberturas e a sua localização, bem como a sua proteção).

Para além do já exposto, no decorrer dos trabalhos em desenvolvimento no âmbito do projeto ERUPÇÃO, pretende-se dar continuidade ao estudo que se iniciou com este trabalho, mas estendê-lo a outros setores de desenvolvimento económico da região, nomeadamente Agricultura e Economia do Mar.

BIBLIOGRAFIA

Agostinho, J. (1936). Tectónica, sismicidade e vulcanismo das ilhas dos Açores. *Açoreana*, 1: 87-98.

Agostinho, J. (1960). Actividade vulcânica nos Açores. *Açoreana*, 5: 362-478.

Aguiar, S. (em prep.). *Contribuição para a estratigrafia dos vulcões Fogo e Furnas: implicações para a sua história eruptiva recente*. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Alberico, I., Lirer, L., Petrosino, P. e Scandone, R. (2002). A methodology for the evaluation of long-term volcanic risk from pyroclastic flows in Campi Flegrei. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 116: 63-78.

Alberico, I., Lirer, L., Petrosino, P. e Scandone, R. (2008). Volcanic hazard and risk assessment from pyroclastic flows at Ischia Island (Southern Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 171: 118-136.

Alberico, I., Petrosino, P. e Lirer, L. (2011). Volcanic hazard and risk assessment in a multi-source volcanic area: the example of Napoli city (Southern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 1057-1070.

Annen, C. e Wagner, J. (2003). The impact of volcanic eruptions during the 1990s. *Natural Hazards Review*, 4: 169-175, doi: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:4(169).

Banadonna, C., Costa, A., Folch, A. e Koyaguchi, T. (2015). Tephra dispersal and sedimentation. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition, Academic Press: 587-598.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. e Wisner, B. (1994). *At risk: natural hazards, peoples's vulnerability, and disasters*. London, Routledge: 284p.

Blong, R.J (1984). *Volcanic hazards. A sourcebook on the effects of eruptions*. Academic Press: 424p.

Booth, B., Croasdale, R. e Walker, G.P.L. (1978). A quantitative study of five thousand years of volcanism on S. Miguel, Azores. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 228: 271-319.

Booth, B., Croasdale, R. e Walker, G.P.L. (1983). Volcanic hazard on São Miguel, Azores. In: Tazieff, H. e Sabroux, J.C. (Eds.), *Forecasting volcanic events. Developments in Volcanology*, 1, Elsevier: 99-108.

Brown, R.J. e Andrews, G.D.M. (2015). Deposits of pyroclastic density currents. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition, Academic Press: 631-648.

- Budd, L., Griggs, S., Howarth, D. e Ison, S. (2011). A Fiasco of Volcanic Proportions? Eyjafjallakökull and the Closure of European Airspace. *Mobilities*, 6(1): 31-40.
- Bursik, M.I., Sparks, R.S.J, Gilbert, G.S. e Carey, S.N. (1992). Sedimentation of tephra by volcanic plumes: I. Theory and its comparison with a study of the Fogo A plinian deposit, Sao Miguel (Azores). *Bulletin of Volcanology*, 54: 329-344.
- Cabral, J. (2015). *Avaliação dos perigos vulcânicos e fenómenos associados na Ilha do Fogo (Cabo Verde): implicações para o planeamento de emergência e ordenamento do território*. Tese de Doutoramento no Ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 281p.
- Carey, S.N. (1991). Transport and deposition of tephra by pyroclastic flows and surges. In: Fisher, R.V., Smith, G.A. (Eds.), *Sedimentation in volcanic settings*. SEPM Special Publications, 45: 39-57.
- Carey, S.N. e Sparks, R.S.J. (1986). Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruption columns. *Bulletin of Volcanology*, 48: 109-125.
- Carmo, R. (2013). *Estudos de neotectónica na ilha de S. Miguel, uma contribuição para o estudo do risco sísmico no arquipélago dos Açores*. Tese de Doutoramento no Ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 307p.
- Cas, R.A.F. e Wright, J.V. (1987). *Volcanic Successions: Modern and Ancient*. Allen & Unwin, London, Boston, Sydney, Wellington: 528p.
- Chaves, F.A. (1960). Erupções submarinas nos Açores. Informações que os navegantes podem prestar sobre tal assunto. *Açoreana*, 5(4): 50p.
- Chester, D.K. (1993). *Volcanoes and Society*. Edward Arnold, London: 351p.
- Chester, D.K., Duncan, A.M., Guest, J.E. e Kilburn, C.R.J. (1985). *Mount Etna: The anatomy of a volcano*. Chapman and Hall, London: 404p.
- Cioni, R., Marianelli, P., Santacroce, R. e Sbrana, A. (2000). Plinian and subplinian eruptions. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S. R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press: 477-494.
- Cioni, R., Pistolesi, M. e Rosi, M. (2015). Plinian and subplinian eruptions. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition, Academic Press: 519-535.
- Cole, P.D., Guest, J.E., Queiroz, G., Wallenstein, N., Pacheco, J.M., Gaspar, J.L., Ferreira, T. e Duncan, A.M. (1999). Styles of volcanism and volcanic hazards on Furnas volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92: 39-53.
- Cole, P.D., Pacheco, J.M., Gunasekera, R., Queiroz, G., Gonçalves, P. e Gaspar, J.L. (2008). Contrasting styles of explosive eruption at Sete Cidades, São Miguel, Azores, in the last 5000

years: hazard implications from modelling. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 178: 574-591.

Cole, P.D., Queiroz, G., Wallenstein, N., Gaspar, J.L., Duncan, A.M. e Guest, J.E. (1995). An historic subplinian/phreatomagmatic eruption: the 1630 AD eruption of Furnas volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 69: 117-135.

Connor, C., Bebbington, M. e Maezocchi, W. (2015). Probabilistic volcanic hazard assessment. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition, Academic Press: 897-910.

Cooper, P.E., Sigurdsson, H. e Lopes, R.M.C. (2015). Volcanoes and Tourism. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition, Academic Press: 1295-1311.

Craig, H., Wilson, T., Stewart, C., Outes, V., Villarosa, G. e Baxter, P. (2016). Impacts to agriculture and critical infrastructure in Argentina after ashfall from the 2011 eruption of the Cordón Caulle volcanic complex: an assessment of published damage and function thresholds. *Journal of Applied Volcanology*, 5: 7, doi: 10.1186/s13617-016-0046-1.

Crandell, D., Booth, B., Kusumadinata, K., Shimosuru, D., Walker, G. e Westercamp, D. (1984). *Source book for volcanic-hazards zonation*. UNESCO, Paris: 97 p.

Cruz-Reyna, S. (1996). Long-term probabilistic analysis of future explosive eruptions. In: Scarpa. e Tilling (Eds.), *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*, Springer-Verlag: 599-630.

Decreto-Lei n.º 39/2008, de 7 de março – estabelece o regime jurídico da instalação, exploração e funcionamento dos empreendimentos turísticos.

Decreto-Lei n.º 128/2014, de 29 de agosto - estabelece o regime jurídico da exploração dos estabelecimentos de alojamento local.

Decreto-Lei n.º 108/2009, de 15 de maio – estabelece o enquadramento legal das atividades de animação turística.

De Mets, C., Gordon, R., Argus, D.F. e Stein, S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophysical Research Letters*, 21(20): 2191-2194.

Dibben, C. e Chester, D.K. (1999). Human vulnerability in volcanic environments: the case of Furnas, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92: 133-150.

Dragulanescu, I.V. e Ivan, M.D. (2011). Volcano-tourism and its influence on the territory of Mount Etna (Italy) – Explored to Stromboli (Italy). In: Calabrò, G., D'Amico, A., Lanfranchi, M., Moschella, G., Pulejo, L., e Salomone, R. (Eds.), *Moving from the crisis to sustainability - Emerging issues in the international context*: 335-346.

- Dufek, J., Ongaro, T.E. e Roche, O. (2015). Pyroclastic density currents: processes and models. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition, Academic Press: 617-630.
- Ellertsdottir, E. (2014). Eyjafjallakökull and the 2010 closure of European Airspace: crisis management, economic impact, and tackling future risks. *The Student Economic Review*, Vol. XXVIII: 139-137.
- Elissondo, M., Baumann, V., Bonadonna, C., Pistolesi, M., Cioni, R., Bertagnini, A., Biass, S., Herrero, J.C. e Gonzalez, R. (2016). Chronology and impact of the 2011 Cordón Caulle eruption, Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16: 675-704, doi:10.5194/nhess-16-675-2016.
- Eurocontrol (2010). Ash-cloud of April and May 2010: Impact on Air Traffic. STATFOR/Doc394: 45p.
- Felpeto, A. (2009). VORIS, a GIS-based tool for volcanic hazard assessment, user's guide. Observatorio Geofísico Central, IGN: 38p.
- Felpeto, A., Marti, J. e Ortiz, R. (2007). Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 166: 106-116.
- Fernandes, R., Ambrosius, B., Noomen, R., Bastos, L., Wortel, M., Spakman, W. e Govers, R. (2003). The relative motion between Africa and Eurasia as derived from ITRF2000 and GPS data. *Geophysical Research Letters*, 30(16): 1828.
- 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, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 248 p.
- Ferreira, T., Gomes, A., Gaspar, J.L. e Guest, J.E. (2015). Distribution and significance of basaltic eruptive centres: São Miguel, Azores. In: Gaspar, J.L., Guest, J.E., Duncan, A.M., Barriga, F.J.A.S. e Chester, D.K. (Eds.), *Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*, Geological Society of London Memoir, 44: 135-146, doi: 10.1144/M44.10.
- Frutuoso, G. (1522-1591). Livro Quarto das Saudades da Terra. In: G. Frutuoso, *Saudades da Terra*, 2ª ed. Ponta Delgada. Instituto Cultural de Ponta Delgada, 1981.
- Gandino, A., Guidi, M., Merlo, C., Mete, L., Rossi, R. e Zan, L. (1985). Preliminary model of the Ribeira Grande geothermal field (Azores Islands). *Geothermics*, 14(1): 91-105.
- 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: 361p.
- Gaspar, J.L., Guest, J.E., Queiroz, G., Pacheco, J., Pimentel, A., Gomes, A., Marques, R., Felpeto, A., Ferreira, T. e Wallenstein, N. (2015b). Eruptive frequency and volcanic hazards zonation in São

Miguel Island, Azores. In: Gaspar J.L., Guest, J.E., Duncan, A.M., Barriga, F.J.A.S. e Chester, D.K. (Eds.), *Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*, Geological Society of London Memoir, 44: 155-166, doi: 10.1144/M44.12.

Gaspar, J.L., Queiroz, G., Ferreira, T., Medeiros, A.R., Goulart, C. e Medeiros, J. (2015a). Earthquakes and volcanic eruptions in the Azores region: geodynamic implications from major historical events and instrumental seismicity. In: Gaspar J.L., Guest, J.E., Duncan, A.M., Barriga, F.J.A.S. e Chester, D.K. (Eds.), *Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*, Geological Society of London Memoir, 44: 33-49, doi: 10.1144/M44.4.

Guest, J., Gaspar, J.L., Cole, P.D., Queiroz, G., Duncan, A., Wallenstein, N., Ferreira, T. e Pacheco, J. (1999). Volcanic geology of Furnas Volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92: 1-29.

Gomes, A. (2003). *Contribuição para o estudo dos riscos geológicos associados ao Vulcão das Sete Cidades (Ilha de S. Miguel, Açores)*. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 129p.

Gonçalves, P. (2006). *Caracterização do depósito Sete-P11 (Sete Cidades, São Miguel, Açores): implicações para a história eruptiva*. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 114p.

Grünthal, G. (1998). European Macroseismic Scale 1998. *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg: 99p.

Hampton, S.J., Cole, J.W., Wilson, G., Wilson, T.M. e Broom, S. (2015). Volcanic ashfall accumulation and loading on gutters and pitched roofs from laboratory empirical experiments: Implications for risk assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 304: 237-252.

Houghton, B. e Carey, R.J. (2015). Pyroclastic fall deposits. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition, Academic Press: 599-616.

Jenkins, S.F., Spence, R.J.S., Fonseca, J.F.B.D., Solidum, R.U. e Wilson, T.M. (2014). Volcanic risk assessment: quantifying physical vulnerability in the built environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 276: 105-120.

Jónsdóttir, A. (2011). *Impact of Eyjafjallajökull on tourism and international flights*. B.S. thesis, Líf-ogumhverfisvísindadeild, Verkfræði-ognáttúruvísindasvið, Háskóli Íslands, Reykjavík: 57p.

Julião, L. (2013). *Cidade, Cultura e Turismo, O impacto turístico em Guimarães, capital europeia da cultura 2012*. Dissertação de Mestrado em Turismo, Especialização em Gestão estratégica de eventos, Escola Superior de Hotelaria e Turismo do Estoril: 100p.

Kokelaar, B.P. (2002). Setting, chronology and consequences of the eruption of Soufrière Hills Volcano, Montserrat (1995-1999). In: Druitt, T.H., Kokelaar, B.P. (Eds.), *The Eruption of Soufrière Hills Volcano, Montserrat, from 1995 to 1999*, Geological Society of London Memoir, 21: 1-43.

Laughton, A.S. e Whitmarsh, R.B. (1974). The Azores-Gibraltar plate boundary. In: Kristjansson, L. (Eds.), *Geodynamics of Iceland and the North Atlantic Area*, NATO Advanced Study Institutes Series (Series C – Mathematical and Physical Sciences), vol 11, Springer, Dordrecht: 63-81.

Lemos, M. (2009). *Capelinhos: uma erupção de ontem (1957) que mudou o Faial de hoje. Uma perspectiva sócio-económica*. Ferreira & Soares, Lda.: 312p.

Lima, E.F., Sommer, C.A., Silva, I., Netto, A.P., Lindenberg, M. e Alves, R. (2012). Morfologia e química de cinzas do vulcão Puyehue depositadas na região metropolitana de Porto Alegre em junho de 2011. *Sociedade Brasileira de Geologia*, 42(2): 265-280.

Lockwood, J.P. e Hazlett, W. (2010). *Volcanoes global perspectives*. Wiley-Blackwell: 551p.

Loughlin, S.C., Vye-Brown, Sparks, R.S.J., Brown, S.K., Barclay, J., Calder, E., Jolly, G., Komorowski, J.-C., Mandeville, C., Newhall, C., Palma, J., Potter, S. e Valentine, G. (2015). An introduction to global volcanic hazard and risk. In: Loughlin, S.C., Sparks, S., Brown, S.K., Jenkins, S.F., Vye-Brown, C. (Eds.), *Global volcanic hazards and risk*: 410p.

Lourenço, N., Luis, J. e Miranda, M. (1997). Azores triple junction bathymetry. Carta editada pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e Universidade do Algarve, 1 Folha.

Lourenço, N., Miranda, J.M., Luis, J., Ribeiro, A., Mendes Victor, L.A., Madeira, J. e Needham, H.D. (1998). Morpho-tectonic analysis of the Azores Volcanic Plateau from a new bathymetric compilation of the area. *Marine Geophysical Researches*, 20: 141-156.

Machado, F., Parsons, W.H., Richards, A.F. e Mulford, J.W. (1962). Capelinhos eruption of Fayal volcano, Azores, 1957-1958. *Journal of Geophysical Research*, 67(9): 3519-3529.

Madeira, J. (1998). *Estudos de neotectónica nas ilhas do Faial, Pico e S. Jorge: uma contribuição para o conhecimento geodinâmico da junção tripla dos Açores*. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Geodinâmica Interna. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa: 428p.

Madeira, J. e Brum da Silveira, A. (2003). Active tectonics and first paleoseismological results in Faial, Pico and S. Jorge islands (Azores, Portugal). *Annals of Geophysics*, vol. 46(5): 733-761.

Madeira, J., Brum da Silveira, A., Hipólito, A. e Carmo, R. (2015). Active tectonics in the Central and Eastern Azores islands along the Eurasia-Nubia boundary: a review. In: Gaspar, J.L., Guest, J.E., Duncan, A.M., Barriga, F.J.A.S. e Chester, D.K. (Eds.), *Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*, Geological Society of London Memoir, 44: 15-32, doi: 10.1144/M44.3.

Malheiro, A. (2002). *Identificação, caracterização e proposta de sistematização dos parâmetros de vulnerabilidade a considerar no âmbito da avaliação do risco vulcânico*. Dissertação de

Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 136p.

Malin, M.C. e Sheridan, M.F. (1982). Computer-assisted mapping of pyroclastic surges. *Science*, 217: 637-640.

Marques, R. (2013). *Estudo de movimentos de vertente no concelho da Povoação (ilha de São Miguel, Açores): inventariação, caracterização e análise da susceptibilidade*. Tese de Doutoramento no Ramo de Geologia, especialidade de Riscos Geológicos. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 456p.

Matias, A. (2007). *Economia do turismo – teoria e prática*. Instituto Piaget, Lisboa: 379p.

McGraw, P. (1976). *A petrological/geochemical study of rocks from São Miguel Drillhole, Azores, Portugal*. M.Sc. Thesis, Dalhousie University, Halifax: 85p.

McNutt, S.R., Thompson, G., Johnson, J., De Angelis, S. e Fee, D. (2015). Seismic and Infrasonic Monitoring. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition, Academic Press: 1071-1099.

Monte Alverne, Fr. Agostinho (1629-1726). *Crónicas da Província de S. João Evangelista das ilhas dos Açores*. 1ª ed. Ponta Delgada: Instituto Cultural de Ponta Delgada, V II: 520p.

Moore, R.B. (1991a). Geologic map of São Miguel, Azores. U.S.G.S. Miscellaneous investigations series, Map I-2007, scale 1:50000.

Moore, R.B. (1991b). Geology of three late quaternary stratovolcanoes on São Miguel, Azores. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 1900: 46p.

Moore, R.B. e Rubin, M. (1991). Radiocarbon dates for lava flows and pyroclastic deposits on São Miguel, Azores. *Radiocarbon*, 33(1): 151-164.

Muecke, G.K., Ade-Hall, J.M., Aumento, F., Macdonald, A., Reynolds, P.H., Hyndman, R.D., Quintino, J., Opdyke, N. e Lowrie, W. (1974). Deep drilling in an active geothermal area in the Azores. *Nature*, 252, 5481: 281-285.

Needham, H. e Francheteau, J. (1974). Some characteristics of the rift valley in the Atlantic Ocean near 36° 48' north. *Earth and Planetary Science Letters*, 22: 29-43.

Neves, L. (2016). *A importância da náutica para a afirmação do destino Cascais: o caso de estudo da vela*. Dissertação de Mestrado em Turismo, Ramo de Gestão Estratégica de Destinos, Escola Superior de Hotelaria e Turismo do Estoril: 111p.

Newhall, C.G. e Self, S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research*, 87: 1231-1231.

Oxford Economics (2010) – The economic impacts of air travel restrictions due to volcanic ash. A report prepared for Airbus: 12p.

- Pacheco, G.B. e Lewis-Cameron, A. (2010). Weathering the storm – crisis marketing for small island tourist destinations, *In: Lewis-Cameron, A. e Roberts, S. (Eds.), Marketing island destinations*, Elsevier, London: 149-164.
- Pacheco, J.M., Ferreira, T., Queiroz, G., Wallenstein, N., Coutinho, R., Cruz, J.V., Pimentel, A., Silva, R., Gaspar, J.L. e Goulart, C. (2013). Notas sobre a Geologia do Arquipélago dos Açores, *In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Eds.), Geologia de Portugal*, Vol. 2, Escolar Editora: 595-690.
- Pallister, J. e McNutt, S.R. (2015). Synthesis of Volcano Monitoring. *In: Sigurdsson, H., Houghton, B.F., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition, Academic Press: 1150-1171.
- Pálsson, T. (2010). Atlantic Conference on Eyjafjallajökull and Aviation – Conference Summary and Conclusions. Keilir Aviation Academy, Keflavik Airport, Iceland, 15-16 September 2010.
- Pensa, A., Cas, R., Giordano, G., Porreca, M. e Wallenstein, N. (2015a). Transition from steady to unsteady Plinian eruption column: the VEI 5, 4.6 ka Fogo A Plinian eruption, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 305: 1-18.
- Pensa, A., Giordano, G., Cas, R. e Porreca, M. (2015b). Thermal state and implications for eruptive styles of the intra-Plinian and climactic ignimbrites of the 4.6 ka Fogo A eruption sequence, São Miguel, Azores. *Bulletin of Volcanology*, 77:99, doi: 10.1007/s00445-015-0983-2.
- Pimentel, A. (2015). *Pyroclastic density current-forming eruptions on Faial and Terceira islands, Azores*. Tese de Doutoramento no Ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 232p.
- Pimentel, A., Pacheco, J.M. e Felpeto, A. (2006). Influence of wind patterns on the dispersal of volcanic plumes in the Azores region: test study of the 1630 eruption of Furnas Volcano (S. Miguel, Azores). *European Geosciences Union 3rd General Assembly*, Vienna, Austria, 2-7 de Abril (Poster).
- Pimentel, D. (2004). *Contribuição para a vulcanoestratigrafia da sequência eruptiva recente do flanco norte do Vulcão do Fogo, S. Miguel (Açores)*. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 126p.
- Pomonis, A., Spence, R. e Baxter, P. (1999). Risk assessment of residential buildings for an eruption of Furnas volcano, São Miguel, the Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92: 107-131.
- Pyle, D. (2015). Sizes of volcanic eruptions. *In: Sigurdsson, H., Houghton, B.F., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), The Encyclopedia of Volcanoes*, Second Edition, Academic Press: 257-264.
- Queiroz, G., Gaspar, J.L., Cole, P.D., Guest, J., Wallenstein, N., Duncan, A. e Pacheco, J. (1995). Erupções vulcânicas no vale das Furnas (ilha de S. Miguel, Açores) na primeira metade do século XV. *Açoreana*, 8(1): 159-165.

Queiroz, G. (1997). *Vulcão das Sete Cidades (S. Miguel, Açores). História eruptiva e avaliação do hazard*. Tese de Doutoramento no ramo Geologia, especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 226p.

Rocha, G.P.N. (2007). A população da ilha do Faial no contexto açoriano 1950-1970. *Boletim do Núcleo Cultural da Horta*, 16: 117-136.

Schmid, R. (1981). Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geology*, 9: 41-43.

Searle, R. (1980). Tectonic pattern of the Azores spreading centre and triple junction. *Earth and Planetary Science Letters*, 51: 415-434.

Shotton, F., Blundell, D. e Williams, R. (1970). Birmingham University Radiocarbon dates IV. *Radiocarbon*, 12(2): 385-399.

Sigurdsson, H. e Lopes-Gauter, R. (2000). Volcanoes and Tourism. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S. R., Rymer, H., Stix, J. (Eds.), *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press: 1283-1300.

Silva, E. (2016). *Planeamento estratégico para o desenvolvimento do turismo: o caso de Vila Franca do Campo*. Dissertação de Mestrado em Gestão Internacional do Turismo, Departamento de Economia e Gestão, Universidade dos Açores: 90p.

Silva, R. (2011). *Evaluation of spatial and temporal seismicity patterns in the central region of São Miguel (Azores): implications for whole-island seismic hazard assessment*. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 236p.

Silva, R., Ferreira, T., Medeiros, A., Carmo, R., Luís, R., Wallenstein, N. e Sousa, R. (2015). Seismic activity on S. Miguel Island volcano-tectonic structures (Azores archipelago). In: Gaspar, J.L., Guest, J.E., Duncan, A.M., Barriga, F.J.A.S. e Chester, D.K. (Eds.), *Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*, Geological Society of London Memoir, 44: 227-238, doi: 10.1144/M44.17.

Silva, R., Havskov, J., Bean, C. e Wallenstein, N. (2012). Seismic swarms, fault plane solutions and stress tensors for São Miguel Island central region (Azores). *Journal of Seismology*, 16(3): 389-407.

Silveira, D. (2002). *Caracterização da sismicidade histórica da ilha de S. Miguel com base na reinterpretação de dados de macrossísmica: contribuição para a avaliação do risco sísmico*. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 149p.

Silveira, D., Gaspar, J.L., Ferreira, T. e Queiroz, G. (2003). Reassessment of the historical seismic activity with major impact on S. Miguel Island (Azores). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3: 1-8.

- Spence, R.J.S., Kelman, I., Baxter, P.J., Zuccaro, G. e Petrazzuoli, S. (2005). Residential building and occupant vulnerability to tephra fall. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5: 477-494.
- Storey, M. (1981). Trachytic pyroclastics from Agua de Pau Volcano, São Miguel, Azores: Evolution of Magma Body over 4,000 Years. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 78(4): 423-432.
- Storey, M., Wolff, J.A., Norry, M.J. e Marriner, G.F. (1989). Origin of hybrid lavas from Água de Pau volcano, São Miguel, Azores. In: Saunders, A.D. e Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*, Geological Society Special Publication, 42: 161-180.
- Struck, A. (2010). Volcano-tourism and its influence on the territory of *Mount Etna* (Italy) - explored with digressions to *Stromboli* (Italy). In: Erfurt-Coper, P. e Cooper, M. (Eds.), *Volcano and Geothermal Tourism, Sustainable Geo-Resources for leisure and recreation*, Earthscan, UK: 12p.
- Viana, G.M.S., Meekan, M.G., Pannell, D.J., Marsh, S.P. e Meeuwig, J.J. (2012). Socio-economic value and community benefits from shark-diving tourism in Palau: a sustainable use of reef shark populations. *Biological Conservation*, 145: 267-277, doi: 10.1016/j.biocon.2011.11.022.
- Walker, G.P.L. (1973). Explosive volcanic eruptions – a new classification scheme. *Geologische Rundschau*, 62(2): 431-446.
- Walker, G.P.L. e Croasdale, R. (1971). Two plinian-type eruptions in the Azores. *Journal of Geological Society of London*, 127: 17-55.
- Wallenstein, N. (1999). *Estudo da história recente e do comportamento eruptivo do vulcão do Fogo (S. Miguel, Açores). Avaliação preliminar do "hazard"*. Tese de Doutoramento no ramo Geologia, especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 266p.
- Wallenstein, N., Chester, D. e Duncan, A. (2005). Methodological implications of volcanic hazard evaluation and risk assessment: Fogo Volcano, São Miguel, Azores. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 140: 129-149.
- Wallenstein, N., Duncan, A., Almeida, H, Pacheco, J. (1998). A erupção de 1563 do Pico do Sapateiro, S. Miguel (Açores). *Proceedings da 1ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica*, Almeria, Espanha: 5p.
- Wallenstein, N., Duncan, A., Guest, J.E. e Almeida, M.H. (2015). Eruptive history of Fogo Volcano, São Miguel, Azores. In: Gaspar, J.L., Guest, J.E., Duncan, A.M., Barriga, F.J.A.S. e Chester, D.K. (Eds.), *Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*. Geological Society of London Memoir, 44: 105-123, doi: 10.1144/M44.8.
- Weston, F.S. (1964). List of recorded volcanic eruptions in the Azores with brief reports. *Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências de Lisboa*, 10(1): 3-18.
- Wilson, G., Wilson, T.M., Deligne, N.I. e Cole, J.W. (2014). Volcanic hazard impacts to critical infrastructure: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 286: 148-182.

Wilson, T., Stewart, C., Bickerton, H., Baxter, P., Outes, V., Villarosa, G. e Rovere, E. (2013). Impacts of the June 2011 Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex eruption on urban infrastructure, agriculture and public health. GNS Science Report 2012/20: 88p.

World Travel & Tourism Council (2013). Travel & tourism – economic impact 2013 – world. WTTC: 19p.

WEBGRAFIA

Avaliar património (online). Disponível no endereço <<https://avaliarpatrimonio.blogspot.pt/2018/01/taxa-de-desconto.html>>. Acedido em abril de 2018.

British Broadcasting Corporation (online). Disponível no endereço <http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebiteize/geography/natural_hazards/volcanoes_rev6.shtml>. Acedido em maio de 2017.

Central Intelligence Agency (online). Disponível no endereço <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/mh.html>>. Acedido em maio de 2017.

Centro de Interpretação do Vulcão dos Capelinhos (CIVC) (online). Disponível no endereço <<http://siaram.azores.gov.pt/centros-interpretacao/ci-capelinhos/texto.html>>. Acedido em dezembro de 2016.

Infopédia (online). Disponível no endereço < [https://www.infopedia.pt/\\$atualizacao-economia](https://www.infopedia.pt/$atualizacao-economia)>. Acedido em março de 2018.

Portal do Licenciamento (online). Disponível no endereço <<http://www.portaldolicenciamento.com/enquadramento-legislativo/tipos-de-estabelecimentos.html>>. Acedido em julho de 2017.

Serviço Regional de Estatística dos Açores (SREA) (online) - Séries Longas. Disponível no endereço <https://srea.azores.gov.pt/Conteudos/Relatorios/lista_relatorios.aspx?idc=6194&idsc=6712&lang_id=1>. Acedido em março de 2018.

Smithsonian Institution – Global Volcanism Program (online-a). Disponível no endereço <http://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=360050#bgvn_199506>. Acedido em maio de 2017.

Smithsonian Institution – Global Volcanism Program (online-b). Disponível no endereço <<http://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=357150>>. Acedido em dezembro de 2016.

Smithsonian Institution – Global Volcanism Program (online-c). Disponível no endereço <<http://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=211060>>. Acedido em dezembro de 2016.

Volcano Discovery (online). Disponível no endereço <<https://www.volcanodiscovery.com/iceland/eyjafjallajoeokull.html>>. Acedido em dezembro de 2016.

Wikipédia (online). Disponível no endereço <https://en.wikipedia.org/wiki/Social_discount_rate>. Acedido em março de 2018.

ANEXOS

ANEXO I. Tabela de caracterização dos edifícios

Campo		Descrição	Opções
ID_BLD		Número de identificação de cada edifício	Numeração sequencial e única (1 a "n")
ID_GEOG_P		Número de identificação de cada freguesia	Campo numérico
STREET		Nome da Rua onde o edifício está localizado	Campo alfanumérico
AD_NUMBER		Número da Porta	Campo alfanumérico
TYPE_BLD		Tipo de uso do edifício	A - residencial B - publico C - comercial D - monumento E - outros F - industria
FLOORs	FLOOR	Número de andares	Campo numérico
	BASEMENT	Presença ou ausência de Cave	Sim (1) ou Não (0)
	ATTIC	Presença ou ausência de Sótão	Sim (1) ou Não (0)
WALL_MAT	EXTERNAL	Tipo de material usado na construção das paredes exteriores .	A - pedra irregular solta B - pedra solta mais ligante C - pedra solta + ligante + reboco D - pedra solta + ligante + rede + reboco E - blocos de cimento F - madeira G - metal H - betão armado I - blocos de cimento + rede J - blocos de pedra K - estuque
	INTERNAL	Tipo de material usado na construção das paredes interiores .	A - pedra irregular solta B - pedra solta mais ligante C - pedra solta + ligante + reboco D - pedra solta + ligante + rede + reboco E - blocos de cimento F - madeira G - metal H - betão armado I - blocos de cimento + rede J - blocos de pedra K - estuque
STOREY (GROUND)	BASEMENT	Tipo de material presente no chão da cave .	A - solo B - pedra C - madeira D - cimento E - metal
	GR_FLOOR	Tipo de material presente no chão do Rés-do-Chão .	A - solo B - pedra C - madeira D - cimento E - metal
	FLOOR	Tipo de material presente no chão dos restantes pisos .	A - solo B - pedra C - madeira D - cimento E - metal
	ATTIC	Tipo de material presente no chão do sótão .	A - solo B - pedra C - madeira D - cimento E - metal
ROOF	SUPP_MAT	Tipo de material usado no suporte do telhado	A - madeira B - cimento C - metal
	TILES_MAT	Tipo de telhas usadas.	A1 - telha regional A2 - telha continental B - plástico C - metal D - fibrocimento E - isotérmica F - vidro G - sem telhas

			H - madeira
	INCLINATION	Inclinação do telhado.	0 - sem informação 1 - suave (< 20°) 2 - normal (20° to 45°) 3 - acentuado (> 45°)
	WATER_DS	Tipo de escoamento de água.	A - normal A1 - normal + caleira B1 - platibanda com canalização interna B2 - platibanda com canalização externo B3 - platibanda com gárgula C - outro
WINDOW	WIN_MAT	Tipo de material das janelas	A - madeira B - metal C - plástico D - sem janela, fechada com madeira
	WIN_PROT	Tipo de material usado na proteção das janelas.	A - sem proteção B - estore C1 - persiana interior de madeira C2 - persiana exterior de madeira D1 - persiana interior de metal D2 - persiana exterior de metal
DOOR	DOOR_MAT	Tipo de material da porta.	A1 - madeira maciça A2 - madeira com vidro B1 - metal maciço B2 - metal com vidro
	DOOR_PROT	Tipo de material da proteção da porta.	A - madeira B - metal C - sem proteção
OBS		Informação adicional e relevante sobre o edifício	Campo alfanumérico
ID_PHOTO		Número de identificação da fotografia do edifício	Campo alfanumérico

ANEXO II. Ficha tipo de caracterização dos edifícios

	ID							
	Freguesia							
	Street							
	N							
	Build							
	% Build							
Number of floor	floor							
	basement							
	attic							
Walls	exterior							
	%exterior							
	interior							
	%interior							
Storey (ground)	basement							
	% basement							
	R/C							
	% R/C							
	floor							
	% floor							
	attic							
	% attic							
Roof	material							
	% material							
	tiles							
	% tiles							
	inclination							
	Type of water							
	% Type of water							
Window	material							
	% material							
	protection							
	% protection							
Door	material							
	% material							
	protection							
	% protection							
	Observations							
	Fotos							

ANEXO III. Valor Atualizado da Perda dos cenários económicos em cada ano para um período de 30 anos

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE DESTRUIÇÃO TOTAL (r=0,02 e to=0,5)

Receta anual =	9.575.913,22 €															
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receta anual x taxa de ocupação (0,5)	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608
VAP no ano t (milhares de euros)	4787,956608	4694,075106	4602,034418	4511,798449	4423,331813	4336,599816	4251,568447	4168,20436	4086,474863	4006,347905	3927,792064	3850,776533	3775,271111	3701,246187	3628,672732	3557,522287

Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Receta anual x taxa de ocupação (0,5)	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608
VAP no ano t (milhares de euros)	3487,766948	3419,37936	3352,332706	3286,600692	3222,157542	3158,977982	3097,037237	3036,311017	2976,775507	2918,40736	2861,183686	2805,082045	2750,080436	2696,15729	2643,291461
VAP (milhares de euros) =	112.021,21 €														

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE DESTRUIÇÃO TOTAL (r=0,04 e to=0,5)

Receta anual =	9.575.913,22 €															
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receta anual x taxa de ocupação (0,5)	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608
VAP no ano t (milhares de euros)	4787,956608	4603,804431	4426,73503	4256,47599	4092,765375	3935,351322	3783,991636	3638,453516	3498,5123996	3363,9548004	3234,571927	3110,165314	2990,543571	2875,522665	2764,925639	2658,582345

Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Receta anual x taxa de ocupação (0,5)	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608	4787956,608
VAP no ano t (milhares de euros)	2556,329178	2459,008825	2363,470024	2275,567331	2185,160895	2101,116245	2020,304082	1942,600079	1867,884691	1796,042972	1726,964996	1660,542689	1596,675662	1535,26506	1476,216404
VAP (milhares de euros) =	87.581,46 €														

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE DESTRUIÇÃO TOTAL (r=0,02 e to=0,65)

Receita anual =	9.575.913,222 €															
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receita anual x taxa de ocupação (0,65)	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591
VAP no ano t (milhares de euros)	6224,343591	6102,297638	5982,644743	5865,337984	5750,331357	5637,579761	5527,038882	5418,665668	5312,417322	5208,252276	5106,129683	5006,009493	4907,852444	4811,620043	4717,274552	4624,778973

Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Receita anual x taxa de ocupação (0,65)	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591
VAP no ano t (milhares de euros)	4534,097032	4445,193169	4358,032518	4272,5809	4188,804804	4106,671377	4026,148408	3947,204322	3869,808159	3793,529567	3719,538792	3646,606658	3575,104567	3505,004478	3436,27789
VAP (milhares de euros) =	145.627,38 €														

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE DESTRUIÇÃO TOTAL (r=0,04 e to=0,65)

Receita anual =	9.575.913,22 €															
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receita anual x taxa de ocupação (0,65)	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591
VAP no ano t (milhares de euros)	6224,343591	5984,945761	5754,755539	5533,438788	5320,594988	5115,956719	4919,189153	4729,98957	4548,066895	4373,141245	4204,943505	4043,214908	3887,706643	3738,179464	3594,403331	3456,157049

Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Receita anual x taxa de ocupação (0,65)	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591	6224343,591
VAP no ano t (milhares de euros)	3323,227932	3195,411473	3072,511031	2954,33753	2840,709164	2731,451119	2626,395307	2525,380102	2428,250099	2334,855864	2245,053715	2158,705496	2075,678361	1995,844578	1919,081325
VAP (milhares de euros) =	11.3855,90 €														

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE PQ VER VERÃO (r=0,02 e to=0,5)

1.1.76.745.24 €																
Receita anual =																
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receita anual x taxa de ocupação (0,5)	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195
VAP no ano t (milhares de euros)	588,3726195	576,8359015	565,5259936	554,4366604	543,5653533	532,9072091	522,4590482	512,2137727	502,1700664	492,3238876	482,6704781	473,2063511	463,9277952	454,8311717	445,9120135	437,169523

Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Receita anual x taxa de ocupação (0,5)	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	
VAP no ano t (milhares de e uros)	428,5975716	420,1936976	411,9546055	403,8770642	395,9579061	388,1940256	380,582378	373,1199785	365,8039004	358,6312749	351,5992892	344,7051855	337,9462603	331,319863	324,8239951	
VAP (milhares de e uros) =	13.765,83 €															

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE PQ VER VERÃO (r=0,04 e to=0,5)

1.1.76.745.24 €																
Receita anual =																
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receita anual x taxa de ocupação (0,5)	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195
VAP no ano t (milhares de e uros)	588372,6195	565742,9034	543983,5609	523061,1163	502943,381	483599,4048	464999,4277	447114,8343	429918,1099	413382,798	397483,4596	382195,6943	367495,8022	353561,3483	339770,5272	326702,43

Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Receita anual x taxa de ocupação (0,5)	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	588372,6195	
VAP no ano t (milhares de e uros)	314136,9519	302054,7614	290437,2706	279366,6064	268925,583	258497,676	248266,9961	238718,2655	229536,7938	220708,4556	212219,6888	204057,3738	196209,0133	188662,5128	181406,2623	
VAP (milhares de e uros) =	10.762,53 €															

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE PQ VEI4 VERÃO (r=0,02 e to=0,65)

Receita anual =	1.176.745,24 €															
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receita anual x taxa de ocupação (0,65)	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053
VAP no ano t (milhares de euros)	764.884,4053	749,8866719	735,1830117	720,7676585	706,6349593	692,7793719	679,1954626	665,8779045	652,821475	640,02410539	627,4716215	615,1682564	603,1061337	591,2805232	579,6867875	568,3203799

Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Receita anual x taxa de ocupação (0,65)	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053
VAP no ano t (milhares de euros)	557,176843	546,2518069	535,5409872	525,0401835	514,7452779	504,6522333	494,7570914	485,055972	475,5450706	466,2206574	457,0790759	448,1167411	439,3301383	430,7158219	422,2704136
VAP (milhares de euros) =	17.895,58 €														

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE PQ VEI4 VERÃO (r=0,04 e to=0,65)

Receita anual =	1.176.745,24 €															
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receita anual x taxa de ocupação (0,65)	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053
VAP no ano t (milhares de euros)	764.884,4053	735,4657744	707,1786292	679,9794511	653,8263953	628,6792263	604,49256	581,2492847	559,8935429	537,3976374	516,7280975	496,8543246	477,7445428	459,3697527	441,7016853	424,7131159

Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Receita anual x taxa de ocupação (0,65)	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053	764.884,4053
VAP no ano t (milhares de euros)	408,3780375	392,6711899	377,5684518	363,0465883	349,0832579	335,6569788	322,747095	310,3337452	298,3978319	286,920922	275,8855694	265,274586	255,0717173	245,2612666	235,828141
VAP (milhares de euros) =	13.991,29 €														

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE PDCS VEI4 (r=0,02 e to=0,5)

Receita anual =	9.326.253,22 €															
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receita anual x taxa de ocupação (0,5)	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608
VAP no ano t (milhares de euros)	4663,126608	4571,692753	4482,051719	4394,168352	4308,008188	4223,537439	4140,72298	4059,532333	3979,93366	3901,895745	3825,387985	3750,380378	3676,843508	3604,748537	3534,067193	3464,771758
Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Receita anual x taxa de ocupação (0,5)	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608
VAP no ano t (milhares de euros)	3996,895087	3930,290448	3864,931812	3800,919541	3738,19053	3676,618167	3616,29232	3557,149334	3499,166013	3442,319821	3386,587864	3331,948886	3278,381261	3225,869391	3174,376452	
VAP (milhares de euros) =	109.100,63 €															

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE PDCS VEI4 (r=0,04 e to=0,5)

Receita anual =	9.326.253,22 €															
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receita anual x taxa de ocupação (0,5)	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608
VAP no ano t (milhares de euros)	4663,126608	4483,775585	4311,322678	4145,502575	3986,060168	3832,750162	3685,356694	3543,592975	3407,300937	3276,250901	3150,241251	3029,078126	2912,575121	2800,559001	2692,839424	2589,268677
Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Receita anual x taxa de ocupação (0,5)	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608	4663126,608
VAP no ano t (milhares de euros)	2489,681421	2393,924443	2301,850426	2213,317717	2128,190113	2046,386447	1967,631391	1891,953261	1819,185828	1749,317142	1681,939559	1617,249576	1555,04767	1495,238144	1437,728985	
VAP (milhares de euros) =	85.298,07 €															

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE PDCS VEII (t=0,02 e to=0,65)

Receita anual =	9.326.253,22 €															
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receita anual * taxa de ocupação (0,65)	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591
VAP no ano t (milhares de euros)	5943,200579	5826,667235	5712,418858	5600,410645	5490,598671	5382,939874	5277,392033	5173,913758	4875,494491	4973,004381	4973,004381	4875,494491	4779,89656	4686,173098	4594,287351	4504,203285
Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Receita anual * taxa de ocupação (0,65)	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591
VAP no ano t (milhares de euros)	4415,885574	4329,299582	4244,411355	4161,187603	4079,595689	3999,608617	3921,180017	3844,294134	3768,915817	3695,015507	3622,564223	3551,533552	3481,895639	3413,623176	3346,689388	
VAP (milhares de euros) =	141.830,82 €															

VALOR ATUALIZADO DA PERDA - CENÁRIO DE PDCS VEII (t=0,04 e to=0,65)

Receita anual =	9.326.253,22 €															
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Receita anual * taxa de ocupação (0,65)	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591
VAP no ano t (milhares de euros)	5828,906261	5604,719481	5389,153947	5181,878219	4982,57521	4790,937702	4606,678867	4429,491219	4259,126572	4095,313627	4095,313627	3937,801564	3786,347658	3640,718902	3500,691252	3366,049281
Ano	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Receita anual * taxa de ocupação (0,65)	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591	6062064,591
VAP no ano t (milhares de euros)	3236,585847	3112,101776	2992,405554	2877,313032	2766,647146	2660,237641	2557,920808	2459,539239	2364,941576	2275,982284	2186,521427	2102,424449	2021,361971	1943,809587	1869,04768	
VAP (milhares de euros) =	110.887,49 €															

UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Faculdade de Ciências e Tecnologia

Rua da Mãe de Deus
9500-321 Ponta Delgada
Açores, Portugal

Impacto de erupções no vulcão do Fogo no Turismo de Vila Franca do Campo

Joana Filipa Carvalho Medeiros

