

# **Contribuição para o estudo da estratigrafia dos vulcões Fogo e Furnas (S. Miguel, Açores): Implicações para a sua história eruptiva recente**

Dissertação de Mestrado

Simone Correia Aguiar

Mestrado em

**VULCANOLOGIA E RISCOS GEOLÓGICOS**



# Contribuição para o estudo da estratigrafia dos vulcões Fogo e Furnas (S. Miguel, Açores): Implicações para a sua história eruptiva recente

Dissertação de Mestrado

Simone Correia Aguiar

## Orientadores

Doutor José Manuel Rodrigues Pacheco

*Doutorado em Geologia (especialidade de Vulcanologia), Investigador auxiliar do IVAR*

Doutor Adriano Henrique Gonçalves Pimentel

*Doutorado em Geologia (especialidade de Vulcanologia), Investigador do IVAR*

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

À minha Mãe e ao Luís Jaime, dedico..

---

---

## ÍNDICE

ÍNDICE.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABELAS.....	XVI
AGRADECIMENTOS.....	XVII
RESUMO.....	XIX
ABSTRACT .....	XXI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. NOTA PRÉVIA .....	1
1.2. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES.....	2
1.3. CONTEXTO VULCANO-TECTÓNICO .....	3
1.4. SISMICIDADE E VULCANISMO .....	6
2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO DA REGIÃO FOGO-FURNAS.....	11
2.1. SISTEMAS VULCÂNICOS .....	11
2.1.1. VULCÃO DO FOGO.....	11
2.1.2. SISTEMA VULCÂNICO FISSURAL DO CONGRO .....	13
2.1.3. VULCÃO DAS FURNAS .....	14
2.2. FORMAS E ESTRUTURAS VULCANO-TECTÓNICAS .....	16
2.2.1. CALDEIRAS.....	16
2.2.2. CONES DE PEDRA-POMES .....	17
2.2.3. CONES DE ESCÓRIAS.....	18
2.2.4. FORMAS HIDROVULCÂNICAS .....	19
2.2.5. ESCOADAS LÁVICAS BASÁLTICAS .....	20
2.2.6. DOMOS.....	21

---

2.2.7. PRINCIPAIS ESTRUTURAS TECTÓNICAS .....	21
2.2.7.1. VULCÃO DO FOGO .....	21
2.2.7.2. VULCÃO DAS FURNAS.....	22
2.2.7.3. SISTEMA VULCÂNICO FISSURAL DO CONGRO.....	22
2.3. VULCANOESTRATIGRAFIA .....	23
2.3.1. VULCÃO DO FOGO.....	23
2.3.1.1. GRUPO INFERIOR.....	24
2.3.1.2. GRUPO SUPERIOR.....	25
2.3.1.2.1. FORMAÇÕES ANTE-FOGO A: SEQUÊNCIA ERUPTIVA DO FLANCO NORTE .....	26
2.3.1.2.2. FORMAÇÕES ANTE-FOGO A: SEQUÊNCIA ERUPTIVA DO FLANCO SUL	28
2.3.1.2.3. SEQUÊNCIA ERUPTIVA DA LAGOA DO FOGO .....	30
2.3.1.2.4. ERUPÇÕES HISTÓRICAS.....	32
2.3.1.2.5. SEQUÊNCIA BASÁLTICA DOS FLANCOS DO VULCÃO .....	34
2.3.1.3. HISTÓRIA ERUPTIVA .....	35
2.3.2. VULCÃO DAS FURNAS .....	38
2.3.2.1. GRUPO INFERIOR.....	39
2.3.2.2. GRUPO INTERMÉDIO .....	41
2.3.2.3. GRUPO SUPERIOR.....	43
2.3.2.4. HISTÓRIA ERUPTIVA .....	46
3. VULCANOESTRATIGRAFIA DOS DEPÓSITOS FOGO 1563 E FURNAS E .....	49
3.1. NOTA PRÉVIA .....	49
3.2. TRABALHOS ANTERIORES .....	49
3.2.1. DEPÓSITO DA ERUPÇÃO DO FOGO DE 1563 .....	49
3.2.2. DEPÓSITO FURNAS E .....	52

---

3.3. METODOLOGIA .....	54
3.3.1. LEVANTAMENTOS DE CAMPO.....	54
3.3.2. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA .....	55
3.3.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS ERUPTIVOS .....	56
3.4. CARACTERIZAÇÃO DO DEPÓSITO DA ERUPÇÃO DO FOGO DE 1563 .....	57
3.4.1. CORTES E CORRELAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS .....	57
3.4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS.....	59
3.4.2.1. MEMBRO INFERIOR .....	60
3.4.2.2. MEMBRO SUPERIOR .....	67
3.4.3. LITOFÁCIES .....	76
3.4.4. ISOPACAS E ISOPLETAS.....	79
3.4.4.1. DEPÓSITO TOTAL .....	80
3.4.4.2. MEMBRO INFERIOR .....	82
3.4.4.3. MEMBRO SUPERIOR .....	88
3.4.5. PARÂMETROS ERUPTIVOS.....	96
3.4.5.1. VOLUMES, VEI, MASSA E MAGNITUDE .....	96
3.4.5.2. ALTURA DA COLUNA, TAXA DE DESCARGA DE VOLUME, TAXA DE EXTRUSÃO E INTENSIDADE.....	97
3.4.6. HISTÓRIA ERUPTIVA .....	99
3.5. CARACTERIZAÇÃO DO DEPÓSITO FURNAS E.....	104
3.5.1. NOTA PRÉVIA.....	104
3.5.2. CORTES E CORRELAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS .....	104
3.5.3. IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS.....	107
3.5.4. ISOPACAS E ISOPLETAS.....	111
3.5.5. IDADE DO DEPÓSITO FURNAS E .....	114

---

3.5.6. HISTÓRIA ERUPTIVA .....	115
4. ANÁLISE DO PERIGO VULCÂNICO .....	117
4.1. NOTA PRÉVIA .....	117
4.2. METODOLOGIA .....	117
4.3. CENÁRIOS ERUPTIVOS .....	121
4.3.1. SIMULAÇÕES COM BASE NO DEPÓSITO TOTAL DO FOGO DE 1563 .....	121
4.3.2. SIMULAÇÕES COM BASE NO EVENTO L2 DO DEPÓSITO DO FOGO DE 1563 .....	123
4.4. IMPACTO DOS PIROCLÁSTOS DE QUEDA: PROJÉTEIS DE TRAJETÓRIA BALÍSTICA, LAPILLI E CINZAS.....	125
4.4.1. VULNERABILIDADE DE PESSOAS E ANIMAIS .....	125
4.4.2. VULNERABILIDADE DO EDIFICADO .....	126
4.4.3. VULNERABILIDADE DAS INFRAESTRUTURAS.....	127
4.4.3.1. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	127
4.4.3.2. SISTEMAS DE DRENAGEM E ESGOTOS .....	128
4.4.3.3. SISTEMAS DE ENERGIA .....	128
4.4.3.4. TELECOMUNICAÇÕES .....	128
4.4.3.5. EQUIPAMENTO MECÂNICO E ELÉCTRICO .....	129
4.4.3.6. VIAS DE COMUNICAÇÃO TERRESTRES E VEÍCULOS.....	129
4.4.3.7. AEROPORTOS E AVIÕES .....	130
4.4.3.8. NAVEGAÇÃO E TRANSPORTE MARÍTIMO .....	130
4.4.4. VULNERABILIDADE DA ECONOMIA.....	130
4.4.4.1. AGRICULTURA E PECUÁRIA .....	130
4.4.4.2. ANIMAIS MARINHOS E PESCA .....	131
4.4.4.3. TURISMO.....	131
4.4.4.4. AMBIENTE.....	132

---

4.5. ANÁLISE DOS CENÁRIOS ERUPTIVOS .....	132
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	142
ANEXOS.....	A1
ANEXO I – LOCALIZAÇÃO DOS CORTES ESTRATIGRÁFICOS .....	A2
ANEXO II – AMOSTRAGEM.....	A4
ANEXO III – DADOS GRANULOMÉTRICOS .....	A5
ANEXO IV – DATAÇÃO DO DEPÓSITO FURNAS E .....	A18

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 - Localização geográfica do Arquipélago dos Açores no Atlântico Norte (Marques *et al.*, 2015). .....3

Figura 1. 2 - Enquadramento tectónico do arquipélago dos Açores (adaptado de Carmo *et al.*, 2015); batimetria regional de Lourenço *et al.* (1998); topografia e batimetria mundial de GEBCO\_08, 2010). Legenda: NA – Placa Norte-Americana; EU – Placa Eurasiática; NU – Placa Núbia; CMA – Crista Média Atlântica; ZFEA– Zona de Fratura Este dos Açores; RT – Rifte da Terceira; FG – Falha GLORIA; FO – Ilhéus das Formigas; DF – Desfiladeiro das Formigas; BSM – Bacia de S. Miguel; BM – Banco do Mónaco; FH - Fossa Hironnelle; BJC - Banco D. João de Castro; BEG - Bacia Este da Graciosa; BWG - Bacia Oeste da Graciosa; BA – Banco Açor; BPA - Banco Princesa Alice.....4

Figura 1. 3- Unidades vulcanológicas da ilha de São Miguel. Legenda: 1 – Vulcão das Sete Cidades; 2 – Sistema Vulcânico Fissural dos Picos; 3 – Vulcão do Fogo ou de Água de Pau; 4 – Sistema Vulcânico Fissural do Congro; 5 – Vulcão das Furnas; 6 – Vulcão da Povoação; 7 – Sistema Vulcânico do Nordeste. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84 (Gaspar *et al.*, 2015a).....5

Figura 1. 4 - Mapa vulcano-tectónico da ilha de São Miguel. Legenda: GM – Graben dos Mosteiros; FLV – Falha da Lomba do Vasco; FL – Falha da Lombinha; FLH – Falha da Lomba dos Homens; FFT – Falha das Feteiras; AVS – Alinhamento Vulcânico Sul; AVN – Alinhamento Vulcânico Norte; FWRG – Falha Oeste da Ribeira Grande; GRG – Graben da Ribeira Grande; FF - Falha da Falca; FA1 – Falha Altiprado 1; FA2 – Falha Altiprado 2; GAR – Graben de Água Retorta; FAR – Falha de Água Retorta; FVG – Falha do Vale Grande; FCJ – Falha do Cú de Judas; FT – Falha da Tronqueira; VSC – Vulcão das Sete Cidades; SVFP – Sistema Vulcânico Fissural dos Picos; VFG – Vulcão do Fogo; SVFC – Sistema Vulcânico Fissural do Congro; VFR – Vulcão das Furnas; VP – Vulcão da Povoação; SVN – Sistema Vulcânico do Nordeste (Carmo *et al.*, 2016). Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....6

Figura 1. 5 - Carta epicentral dos Açores no período compreendido entre 1980 e 2013. (IVAR/CIVISA, 2013). .....	7
Figura 1. 6 - Localização epicentral dos sismos de natureza tectónica mais destrutivos registados nos Açores desde o seu povoamento no século XV (Gaspar <i>et al.</i> , 2015b). .....	8
Figura 1. 7. - Localização das erupções vulcânicas históricas conhecidas na região dos Açores (Gaspar <i>et al.</i> , 2015b). .....	9
Figura 2. 1- Carta hipsométrica da região do maciço vulcânico do Fogo. Base: Carta Militar de Portugal, Açores, folhas 28, 29, 32 e 33; Instituto Geográfico do Exército (2002). Coordenadas UTM; Zona 26S; Datum WGS84. ....	11
Figura 2. 2 - Vista para o Vulcão do Fogo onde se destaca a caldeira parcialmente preenchida pela Lagoa do Fogo (Wallenstein <i>et al.</i> , 2015). .....	12
Figura 2. 3 - Carta hipsométrica da região do Sistema Vulcânico Fissural do Congro. Base: Carta Militar de Portugal, Açores; folhas 29, 30, 33 e 34; Instituto Geográfico do Exército (2002). Coordenadas UTM; Zona 26S; Datum WGS84. ....	13
Figura 2. 4 - Carta hipsométrica da região do maciço vulcânico das Furnas. Base: Carta Militar de Portugal, Açores, folhas 29, 30, 33 e 34; Instituto Geográfico do Exército (2002 e 2003). Coordenadas UTM; Zona 26S; Datum WGS84. ....	14
Figura 2. 5 - Vista da caldeira do Vulcão das Furnas onde se destaca a Lagoa das Furnas (Fotografia de José Pacheco). .....	15
Figura 2. 6 - Principais formas vulcânicas e estruturas tectónicas presentes no Vulcão do Fogo. Base: Carta Militar de Portugal, Açores, folhas 28, 29, 32 e 34; Instituto Geográfico do Exército (2002). Coordenadas UTM; Zona 26S; Datum WGS84 (adaptado de Carmo, 2013). .....	16

Figura 2. 7 - Principais formas vulcânicas e estruturas tectónicas presentes no Vulcão das Furnas e regiões circundantes. Base: Carta Militar de Portugal, Açores, folhas 29, 30, 33 e 34; Instituto Geográfico do Exército (2002 e 2003). Coordenadas UTM; Zona 26S; Datum WGS84 (adaptado de Carmo, 2013). .....	17
Figura 2. 8 - Principais formas vulcânicas e estruturas tectónicas presentes na região do Sistema Vulcânico Fissural do Congro. Base: Carta Militar de Portugal, Açores, folhas 29, 30, 33 e 34; Instituto Geográfico do Exército (2002). Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84 (adaptado de Carmo, 2013). .....	19
Figura 2. 9 - Escala vulcanoestratigráfica do Vulcão do Fogo proposta por Wallenstein (1999) (adaptado de Wallenstein <i>et al.</i> 2015 <i>in</i> Medeiros, 2018). .....	24
Figura 2. 10 - Escala vulcanoestratigráfica do Grupo Superior do Vulcão do Fogo proposta por Pimentel (2004). .....	26
Figura 2. 11 – Escoadas lávicas produzidas no decorrer da erupção de 1563 do Pico do Sapateiro (adaptado de Wallenstein, 1999 <i>in</i> Medeiros, 2018). .....	34
Figura 2. 12 - Escala vulcanoestratigráfica do Vulcão das Furnas de acordo com Guest <i>et al.</i> (1999). .....	39
Figura 3. 1 – Mapa de isopacas da totalidade do depósito da erupção do Fogo de 1563 (adaptado de Walker e Croasdale, 1971 <i>in</i> Medeiros, 2018).....	50
Figura 3. 2 - Mapa de isopacas do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas (adaptado de Booth <i>et al.</i> , 1978). Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	53
Figura 3. 3 – Distribuição dos cortes estratigráficos (referência FFCnº) realizados ao longo da área de dispersão do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26 S, Datum WGS84.....	58

Figura 3. 4- Sequência eruptiva do depósito da erupção do Fogo de 1563. Legenda: CB- Cinza de base; L1- nível de <i>lapilli</i> pomíticos 1; C2 - nível de cinza 2; L2 - nível de <i>lapilli</i> pomíticos 2; C3- nível de cinza 3; L3- nível de <i>lapilli</i> pomíticos 3; C4- nível de cinza 4; L4- nível de <i>lapilli</i> pomíticos 4. Corte FFC59. ....	59
Figura 3. 5 - Representação das correlações estratigráficas do Membro Inferior no sector a Norte do eixo de dispersão do depósito da erupção do Fogo de 1563. ....	61
Figura 3. 6 - Representação das correlações estratigráficas do Membro Inferior no sector a Sul do eixo de dispersão do depósito da erupção do Fogo de 1563. ....	62
Figura 3. 7 – Análise granulométrica de uma amostra de canal ao longo do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Legenda: PP- pedra-pomes, Lit- Líticos, Crist- Cristais, N.Sep- Não Separado. Corte FFC80. ....	63
Figura 3. 8 - Nível de cinzas finas (CB) que constitui a base do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Corte FFC27. ....	64
Figura 3. 9 - Unidade L1 do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563, composta por <i>lapilli</i> pomíticos, líticos basálticos e leitos de cinza fina. Corte FFC21. ....	65
Figura 3. 10 – Análises granulométricas das unidades L1 e C2 do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Legenda: PP- pedra-pomes, Lit- Líticos, Crist- Cristais, N.Sep- Não Separado. Corte FFC80. ....	66
Figura 3. 11 - Unidade C2 do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563, composta por alternâncias entre leitos finos de cinza fina e <i>lapilli</i> pomíticos finos. Corte FFC25. ....	67
Figura 3. 12 - Representação das correlações estratigráficas do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. ....	68

Figura 3. 13 – Análise granulométrica de uma amostra de canal ao longo do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Legenda: PP- pedra-pomes, Lit- Líticos, Crist- Cristais, N.Sep- Não Separado. Corte FFC30. ....	69
Figura 3. 14 – Unidade L2 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563, composta por <i>lapilli</i> pomíticos, líticos basálticos, alguns sienitos, líticos com alteração hidrotermal e leitos de cinza fina. Corte FFC59. ....	71
Figura 3. 15 – Análises granulométricas das unidades do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Legenda: PP- pedra-pomes, Lit- Líticos, Crist- Cristais, N.Sep- Não Separado. Corte FFC30. ....	71
Figura 3. 16 – Unidade C3 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563, composta por cinza fina bege com um ou dois leitos de <i>lapilli</i> pomíticos finos. Corte FFC40. ....	72
Figura 3. 17 - Unidade L3 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563, composta por <i>lapilli</i> pomíticos, líticos basálticos, sienitos e leitos de cinza fina. Corte FFC70. ....	73
Figura 3. 18 - Unidade C4 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563, composta por cinza fina e por um leito de <i>lapilli</i> pomíticos próximo do seu topo. Corte FFC28. ....	74
Figura 3. 19 - Última unidade do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563 (L4), composta por <i>lapilli</i> pomíticos, líticos basálticos, alguns sienitos e leitos de cinza fina. Corte FFC59. ....	75
Figura 3. 20 - Mapa de isopacas da totalidade do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	80
Figura 3. 21 - Mapa de isopletras da pedra-pomes da totalidade do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	81

Figura 3. 22 - Mapa de isopletas dos líticos da totalidade do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	82
Figura 3. 23 - Mapa de isopacas do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	83
Figura 3. 24 – Mapa de isopletas da pedra-pomes do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	83
Figura 3. 25 - Mapa de isopletas dos líticos do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	84
Figura 3. 26 - Mapa de isopacas da unidade CB do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	85
Figura 3. 27 - Mapa de isopacas da unidade L1 do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	86
Figura 3. 28 – Mapa de isopletas da pedra-pomes da unidade L1 do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ...	86
Figura 3. 29 - Mapa de isopletas dos líticos da unidade L1 do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ...	87
Figura 3. 30 – Mapa de isopacas da unidade C2 do Membro Inferior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	88
Figura 3. 31 – Mapa de isopacas do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	89
Figura 3. 32 - Mapa de isopletas da pedra-pomes do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	89
Figura 3. 33 - Mapa de isopletas dos líticos do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	90

Figura 3. 34 – Mapa de isopacas da unidade L2 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	91
Figura 3. 35 – Mapa de isopletas da pedra-pomes da unidade L2 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ...	91
Figura 3. 36 – Mapa de isopletas dos líticos da unidade L2 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ...	92
Figura 3. 37 - Mapa de isopacas da unidade C3 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	93
Figura 3. 38 - Mapa de isopacas da unidade L3 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	94
Figura 3. 39 - Mapa de isopletas da pedra-pomes da unidade L3 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ...	94
Figura 3. 40 - Mapa de isopletas dos líticos da unidade L3 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ...	95
Figura 3. 41 - Mapa de isopacas da unidade C4 do Membro Superior do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	96
Figura 3. 42 – Distribuição dos cortes estratigráficos (referência FFC nº) realizados ao longo da área de dispersão do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	105
Figura 3. 43- Representação das correlações estratigráficas do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas. ....	106
Figura 3. 44 – Sequência eruptiva do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas. Legenda: CB- Cinza de base; L1- nível de <i>lapilli</i> pomíticos 1; CT- Cinza do topo. Corte FFC11. ....	107

Figura 3. 45 – Nível de cinzas finas (CB) com estratificação interna de cinza grosseira e/ou <i>lapilli</i> finos que constitui a base do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas. Corte FFC11. ....	108
Figura 3. 46 – Análises granulométricas das subunidades CBb, CBc e da unidade L1 do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas. Legenda: PP- pedra-pomes, Lit- Líticos, Crist- Cristais, N.Sep- Não Separado. Corte FFC14. ....	109
Figura 3. 47 – Nível de <i>lapilli</i> pomíticos (L1) do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas. Corte FFC19. ....	110
Figura 3. 48 – Nível de cinza fina (CT) que constitui o topo do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas. Corte FFC33. ....	111
Figura 3. 49 - Mapa de isopacas do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas elaborado por Booth <i>et al.</i> (1978) onde se projetaram as espessuras (em metros) documentadas no presente trabalho. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	112
Figura 3. 50 – Mapa de isopletas da pedra-pomes do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas (adaptado de Booth <i>et al.</i> , 1978). Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	113
Figura 3. 51 - Mapa de isopletas dos líticos do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas (adaptado de Booth <i>et al.</i> , 1978). Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	113
Figura 3. 52 – Localização da amostra de paleossolo recolhida para datação do depósito Furnas E do Vulcão das Furnas. Corte FFC14. ....	114
Figura 3. 53 - Sequência estratigráfica do Grupo Superior do Vulcão das Furnas dos últimos 5000 anos (adaptado de Guest <i>et al.</i> , 1999 <i>in</i> Guest <i>et al.</i> , 2015). ....	115
Figura 4. 1 - Mapa de suscetibilidade a piroclastos de queda resultantes de uma erupção durante os meses de verão, com parâmetros eruptivos semelhantes aos determinados	

para o depósito total da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	122
Figura 4. 2 - Mapa de suscetibilidade a piroclastos de queda resultantes de uma erupção durante os meses de inverno, com parâmetros eruptivos semelhantes aos determinados para o depósito total da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	123
Figura 4. 3 - Mapa de suscetibilidade a piroclastos de queda resultantes de uma erupção durante os meses de verão, com parâmetros eruptivos semelhantes aos determinados para a unidade L2 do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	124
Figura 4. 4 - Mapa de suscetibilidade a piroclastos de queda resultantes de uma erupção durante os meses de inverno, com parâmetros eruptivos semelhantes aos determinados para a unidade L2 do depósito da erupção do Fogo de 1563. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	125
Figura 4. 5 – Espessura máxima esperada para um depósito produzido por uma erupção com características semelhantes à erupção do Fogo de 1563, durante os meses de verão. Legenda: a – afetada apenas a área agrícola da freguesia. ....	134
Figura 4. 6 - Espessura máxima esperada para um depósito produzido por uma erupção com características semelhantes à erupção do Fogo de 1563, durante os meses de inverno. Legenda: a – afetada apenas a área agrícola da freguesia; b – freguesia não afetada. ....	135
Figura 4. 7 - Espessura máxima esperada para um depósito produzido por uma erupção com características semelhantes ao evento que originou a unidade L2 do depósito da erupção do Fogo de 1563, durante os meses de verão. Legenda: a – afetada apenas a área agrícola da freguesia; b – freguesia não afetada. ....	135
Figura 4. 8 - Espessura máxima esperada para um depósito produzido por uma erupção com características semelhantes ao evento que originou a unidade L2 do depósito da	

erupção do Fogo de 1563, durante os meses de inverno. Legenda: a – afetada apenas a área agrícola da freguesia; b – freguesia não afetada. ....136

---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. 1 - Principais sismos históricos que afetaram a ilha de São Miguel (Silveira, 2002; Medeiros, 2009; Carmo, 2013; Gaspar <i>et al.</i> , 2015b). .....	8
Tabela 1. 2- Erupções vulcânicas históricas ocorridas na ilha de S. Miguel e região circundante (Gaspar <i>et al.</i> , 2015b). .....	10
Tabela 3. 1– Sumário dos parâmetros eruptivos calculados para os membros Inferior e Superior, para as unidades L1 e L2 e para o depósito total da erupção do Fogo de 1563. ... ..	98
Tabela 4. 1 – Parâmetros eruptivos utilizados nas simulações com base no depósito total da erupção do Fogo de 1563. ....	119
Tabela 4. 2 – Parâmetros eruptivos utilizados nas simulações com base na unidade L2 do depósito da erupção do Fogo de 1563. ....	120
Tabela 4. 3 – Parâmetros de vento utilizados nas simulações (de acordo com dados de Pimentel <i>et al.</i> 2006). ....	120

## AGRADECIMENTOS

Durante a elaboração do presente trabalho foi fundamental o apoio recebido por parte de algumas pessoas e entidades que contribuíram para a sua conclusão. Assim, deixo um agradecimento especial:

- à Universidade dos Açores pelas facilidades concedidas;
- ao Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), pelas oportunidades profissionais concedidas e disponibilização de equipamentos;
- ao Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), pelos equipamentos disponibilizados e pela oportunidade profissional concedida;
- ao Doutor José Pacheco, Orientador Científico, pelos conhecimentos transmitidos ao longo dos últimos anos e apoio durante a elaboração deste trabalho, pela paciência e incentivo constante, pela boa disposição e amizade;
- ao Doutor Adriano Pimentel, Co-orientador Científico, pelos conhecimentos transmitidos, pela ajuda prestada durante este trabalho, pela paciência e revisão de textos científicos;
- ao Projeto MARES – “Reservatórios magmáticos nas ilhas oceânicas”, por ter assegurado o financiamento para a realização da datação de uma amostra;
- à Fundação Doutor Manuel Sousa d’Oliveira pela atribuição de uma bolsa de mérito que contribuiu para a realização do mestrado;
- aos professores que lecionaram no Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, pelos conhecimentos transmitidos e pela simpatia;
- a todos os colegas do Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, pelo apoio, troca de ideias e conhecimentos;
- a todos os colegas e amigos do IVAR e CIVISA, pela solidariedade e apoio demonstrados durante este percurso;

- ao Tiago Menezes, amigo de longa data, por todo o apoio prestado ao longo da vida e pelo carinho demonstrado;
- à Joana Medeiros, um agradecimento especial pela grande amizade desenvolvida, por todo o apoio prestado e carinho;
- ao Francisco Ferreira, pela amizade, pela paciência e por toda a ajuda prestada durante a realização deste trabalho;
- à Mercês Mota pela amizade, carinho e incentivo demonstrados durante este processo;
- à minha família, pelo incentivo que sempre demonstraram, pela paciência, e pelo carinho transmitido;
- à minha Mãe, pelo amor, carinho e amizade que sempre demonstrou, pela força e incentivo que transmitiu, por todo o esforço que fez para que tudo isto se tornasse possível;
- ao meu Pai, pela amizade demonstrada, pelo incentivo e por toda a ajuda prestada no decorrer deste trabalho;
- ao meu companheiro Luís Jaime, pelo amor e carinho, pela amizade, pela paciência, pela força e incentivo demonstrados, por fazer parte da minha vida.

## RESUMO

Os vulcões Fogo e Furnas correspondem a dois dos três vulcões centrais ativos de São Miguel e ocupam a parte central e Este da ilha, respetivamente. Ao longo das suas histórias eruptivas produziram um vasto leque de produtos vulcânicos.

A história eruptiva recente (<5.000 anos) do Vulcão do Fogo foi marcada por erupções explosivas de estilo Subpliniano, frequentemente com carácter hidromagmático. No entanto, foi o único vulcão que produziu uma erupção Pliniana neste período de tempo, que originou o depósito Fogo A.

No Vulcão das Furnas ocorreram 10 erupções explosivas nos últimos 5.000 anos associadas a magmas traquíticos, por vezes com extrusão de domos.

Durante este trabalho foi possível caracterizar o depósito da erupção explosiva de 1563 do Vulcão do Fogo e o depósito Furnas E, produzido pelo Vulcão das Furnas.

A erupção de 1563 foi a última erupção de estilo Subpliniano que ocorreu no interior da caldeira do Vulcão do Fogo e foi seguida (4 dias depois) por uma erupção Havaiana no topo de um domo traquítico. A erupção de estilo Subpliniano teve um volume de 0,421 Km<sup>3</sup> e a coluna eruptiva atingiu cerca de 19 km de altura.

O depósito da erupção do Fogo de 1563 foi dividido em dois membros principais, o Membro Inferior e o Membro Superior. O Membro Inferior é, maioritariamente, composto por níveis de cinza fina e apresenta um único nível de *lapilli* pomíticos. O Membro Superior é, predominantemente, composto por níveis de *lapilli* pomíticos, intercalados por leitos de cinza fina, e por níveis de cinza fina onde ocorrem estratificações de *lapilli* finos.

Estas frequentes alternâncias sugerem importantes mudanças no tipo de atividade e fragmentação durante a erupção, o que conferiu instabilidade à coluna eruptiva.

O depósito Furnas E resultou de uma erupção de estilo Subpliniano que ocorreu no interior do complexo de caldeiras do Vulcão das Furnas.

Durante o presente trabalho foi possível datar, pela primeira vez, o depósito Furnas E e atribuir-lhe uma idade de 1520±30 anos B.P. A erupção teve um volume total

de 0,24 Km<sup>3</sup> (Booth *et al.*, 1978) e coluna eruptiva estimada de 19-20 km, através dos dados de Booth *et al.* (1978). O depósito é, maioritariamente, constituído por níveis de cinza fina e apresenta um único nível de *lapilli* pomíticos bem calibrados.

As características destes dois depósitos permitem evidenciar importantes alternâncias no estilo de atividade durante as erupções, à semelhança do que acontece com as restantes erupções dos vulcões centrais da ilha, o que sugere que os processos eruptivos são recorrentes nestes vulcões, associados a importantes sistemas hidrológicos.

O trabalho realizado permitiu a determinação dos parâmetros eruptivos da erupção do Fogo de 1563. Com base nos dados obtidos efetuaram-se simulações da dispersão e deposição de tefra para o depósito total e para um leito individual (L2), que representa o maior pulso da erupção. Apesar das simulações efetuadas com base nos parâmetros da unidade L2 serem mais realistas, dado que se trata de um leito bem caracterizado, é através das simulações realizadas para a totalidade do depósito que se consegue obter a área máxima suscetível de ser afetada por uma erupção semelhante à de 1563 do Vulcão do Fogo. Os dois casos são semelhantes, evidenciando a dispersão tendencial dos depósitos para a parte Este da ilha.

Os mapas obtidos no decurso deste trabalho constituem uma abordagem à avaliação dos perigos vulcânicos, contribuindo para uma melhor preparação de respostas a catástrofes.

## ABSTRACT

Fogo and Furnas are two of the three active central volcanoes of São Miguel that occupy the central and the eastern part of the island, respectively. Throughout their eruptive histories they produced a wide range of volcanic products.

The recent eruptive history (last 5 ka) of Fogo volcano was dominated by explosive eruptions of Subplinian style, frequently with hidromagmatic character. However, it was the only volcano that produced a Plinian eruption in this period of time, which originated the Fogo A deposit.

In Furnas Volcano occurred 10 explosive eruptions during the last 5.000 years associated to trachytic magmas, sometimes with the extrusion of domes.

During this work it was possible to physically characterize the deposit produced during Fogo 1563 eruption and also the deposit Furnas E, produced by Furnas volcano.

The eruption of 1563 was the last of Subplinian style that occurred inside of Fogo volcano caldera and was followed (4 days later) by a Hawaiian eruption at the top of a trachytic dome. The Subplinian eruption had a volume of 0.421 Km<sup>3</sup> and the eruptive column reached 19 km in height.

Fogo 1563 deposit was divided into two main members, the Lower and Upper members. The Lower Member is mostly composed of ash layers and includes only one pumice lapilli bed. The Upper Member is mostly comprised of pumice layers with fine ash beds and by ash levels with fine-grained pumice lapilli stratifications.

The frequent alternations between ash and pumice levels suggest important changes of the type of activity and fragmentation during the eruption, which gave some instability to the eruptive column.

Furnas E deposit resulted from an eruption of Subplinian style that occurred inside of Furnas volcano calderas complex. During this work it was possible to estimate the age of 1520±30 years B.P for Furnas E deposit. The eruption had a total volume of 0.24 km<sup>3</sup> (Booth *et al.*, 1978) and an estimated eruptive column of 19-20 km, using data from Booth *et al.* (1978).

The deposit is mostly composed of fine-grained ash levels and has only one well sorted fine-grained pumice layer.

The characteristics of the Fogo 1563 and Furnas E deposits show important alternations in the style of activity during the eruptions, similar to what happens with the other eruptions from the three active central volcanoes of the island, suggesting that the eruptive processes are recurrent in these volcanoes, associated with important hydrological systems.

It was possible to determinate the eruptive parameters for the 1563 eruption from Fogo volcano. Based on the results some simulations were performed for the total deposit and for L2 layer, which corresponds to the largest pulse of the entire eruption. Although the simulations made with eruptive parameters calculated for unit L2 are more realistic, once it is a well characterized bed, it is through the simulations for the total deposit that we can have the maximum area susceptible of being affected, during an event similar to the 1563 eruption from Fogo volcano. Both cases are similar, showing a trend dispersion of the deposits to the eastern part of the island.

The resulting maps constitute an approach to the evaluation of volcanic hazards, contributing for a better preparation of responses to catastrophes.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. NOTA PRÉVIA

As erupções vulcânicas são entendidas como fenómenos naturais complexos, capazes de causar um grande impacto socioeconómico e até climático. A natureza vulcânica das ilhas dos Açores e a proximidade das populações aos vulcões ativos evidenciam a importância e necessidade de desenvolver estudos que possam melhorar a nossa compreensão sobre a atividade eruptiva desses aparelhos vulcânicos, que tanto moldam a paisagem açoriana como ameaçam as populações mais expostas.

O presente trabalho incide sobre os vulcões do Fogo e das Furnas, na ilha de São Miguel, onde se pretende contribuir para uma melhoria do conhecimento das suas sequências eruptivas. É através da caracterização dos diferentes estilos eruptivos e da sua frequência e magnitude que se torna possível definir cenários eruptivos, necessários para a avaliação dos perigos vulcânicos e para melhorar o ordenamento do território e gestão de futuras crises.

Optou-se por selecionar para estudo mais detalhado os depósitos Fogo 1563 e Furnas E, dado que correspondem à última erupção explosiva do Vulcão do Fogo e a uma das erupções recentes do Vulcão das Furnas ainda menos estudadas, respetivamente. Deste modo, definiram-se como principais objetivos deste trabalho: (1) cartografar a dispersão dos depósitos Fogo de 1563 e Furnas E, (2) estabelecer a estratigrafia fina desses depósitos, (3) caracterizar os seus mecanismos de génese, transporte e deposição, (4) determinar os parâmetros eruptivos e (5) elaborar cenários eruptivos, com base em simulações, para a análise de suscetibilidade dos respetivos produtos.

Este trabalho está dividido em 5 capítulos. No primeiro, faz-se uma breve introdução ao tema que se pretende abordar e enquadra-se a ilha de São Miguel no contexto do arquipélago dos Açores.

O segundo capítulo diz respeito ao enquadramento geológico da região Fogo-Furnas, que se inicia com uma curta descrição dos diferentes sistemas vulcânicos onde incide a maioria do trabalho de campo, nomeadamente, o Vulcão do Fogo, a região do

Sistema Vulcânico Fissural do Congro e o Vulcão das Furnas, fazendo referência à sua geomorfologia e tectónica. Ainda neste capítulo, descreve-se a estratigrafia de cada unidade vulcanológica abordada, cuja interpretação se traduz na respetiva história eruptiva.

No terceiro capítulo estão incluídos todos os levantamentos de campo realizados, a descrição e identificação das unidades estratigráficas observadas, bem como, o estabelecimento de correlações estratigráficas. Inclui, também, todos os trabalhos efetuados para a caracterização física do depósito resultante da erupção explosiva do Fogo de 1563 e do depósito Furnas E, bem como, a reconstrução das suas histórias eruptivas.

O quarto capítulo remete para a elaboração de cenários eruptivos, cujo objetivo é analisar a exposição e vulnerabilidade de pessoas, animais, do edificado, de infraestruturas e da economia, face ao perigo associado à queda de piroclastos. Para tal, utilizou-se, apenas, o exemplo da erupção histórica de 1563 do Vulcão do Fogo, uma vez que esta erupção permitiu a extração de parâmetros eruptivos úteis para modelação e estudos de *hazard*.

No quinto capítulo são tecidas algumas considerações finais relativamente à erupção histórica de 1563 do Vulcão do Fogo e sobre a erupção que deu origem ao depósito Furnas E.

### **1.2. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES**

Situado no Atlântico Norte, entre as latitudes 37° e 40° N e as longitudes 25° e 31° W, o arquipélago dos Açores é constituído por 9 ilhas de natureza vulcânica, as quais se distribuem diagonalmente ao longo de uma faixa de cerca 600 km de comprimento, segundo a direção geral WNW-ESE. Geograficamente, as ilhas formam três grupos, nomeadamente, o Grupo Oriental, que compreende as ilhas São Miguel, Santa Maria e Ilhéus das Formigas, o Grupo Central, onde se incluem as ilhas Terceira, Pico, São Jorge,

Faial e Graciosa, e o Grupo Ocidental, onde se inserem as ilhas das Flores e Corvo (Figura 1.1).

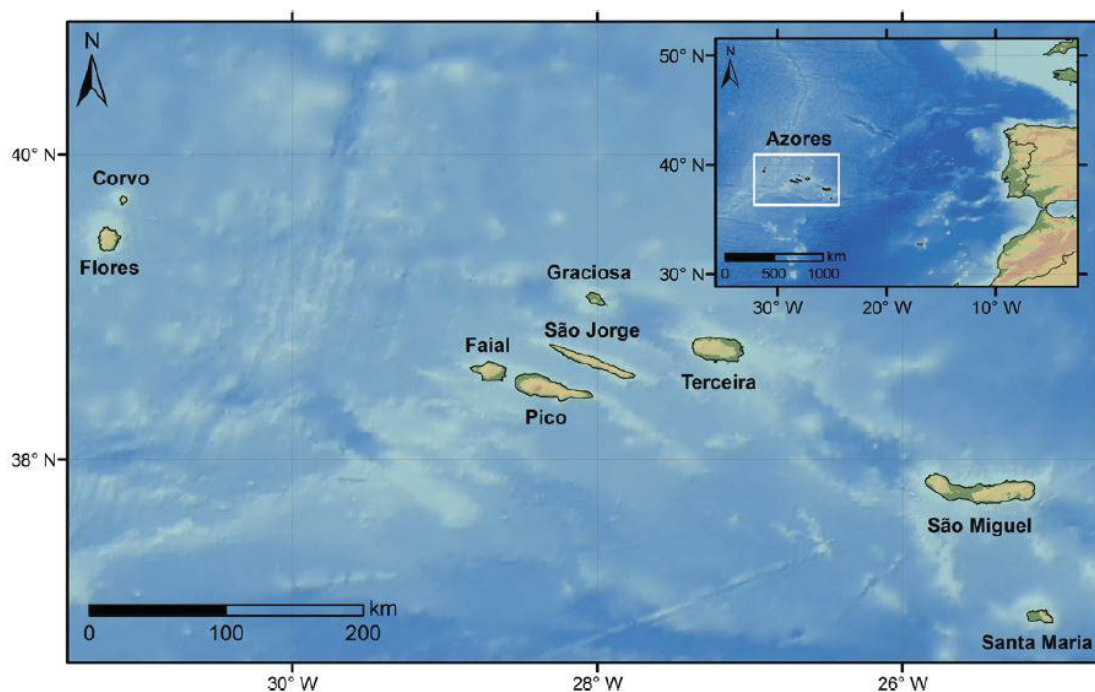
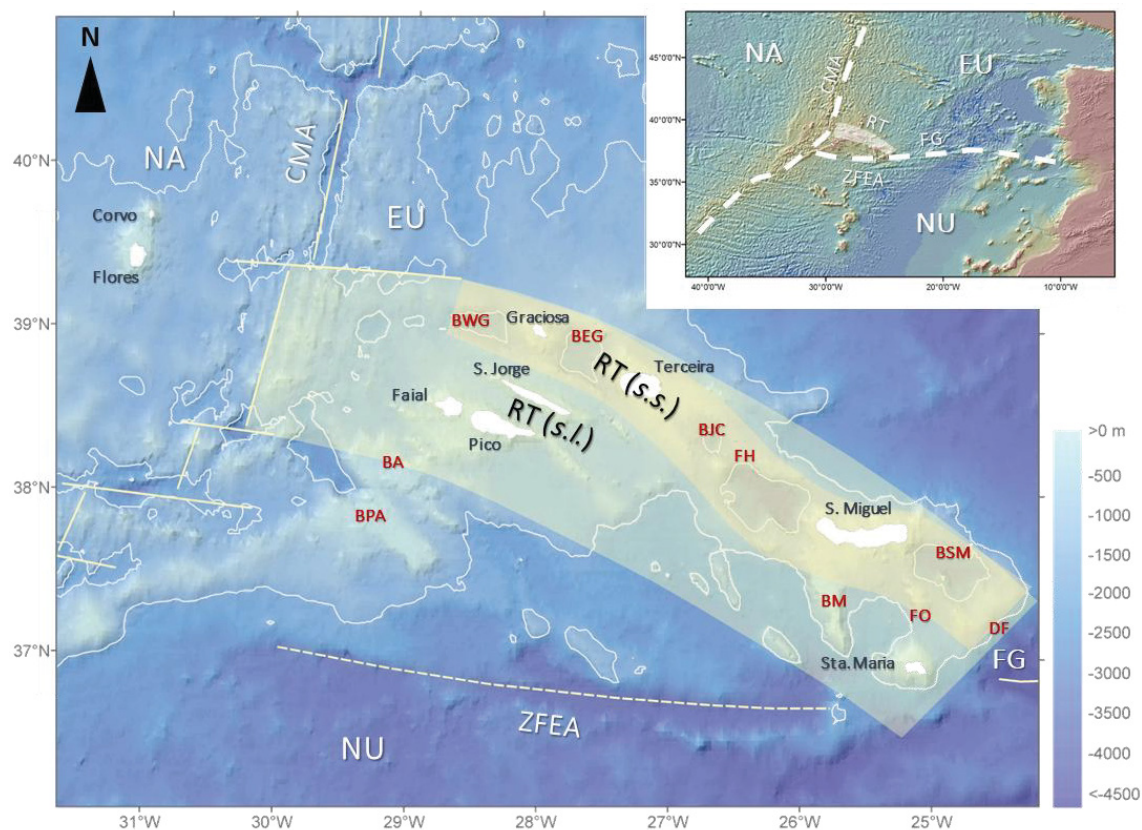


Figura 1. 1 - Localização geográfica do Arquipélago dos Açores no Atlântico Norte (Marques *et al.*, 2015).

### 1.3. CONTEXTO VULCANO-TECTÓNICO

O arquipélago dos Açores encontra-se numa zona de junção tripla entre as placas litosféricas Eurasiática (EU), Núbia (NU ou Africana) e Norte-Americana (NA) (Laughton e Whitmarsh, 1974) (Figura 1.2), onde as ilhas se dispõem segundo um alinhamento geral WNW-ESE.

Definida pela curva batimétrica dos 2000 m (Needham e Francheteau, 1974), a Plataforma dos Açores corresponde a uma área sobrelevada do fundo oceânico, de forma aproximadamente triangular. Este relevo apresenta uma morfologia complexa, onde se verifica a alternância de fossas, isto é, depressões tectónicas, e elevações formadas por ilhas e montes submarinos, definindo assim, vários alinhamentos vulcano-tectónicos (e.g. Searle, 1980; Lourenço *et al.*, 1998; Madeira *et al.*, 2015).



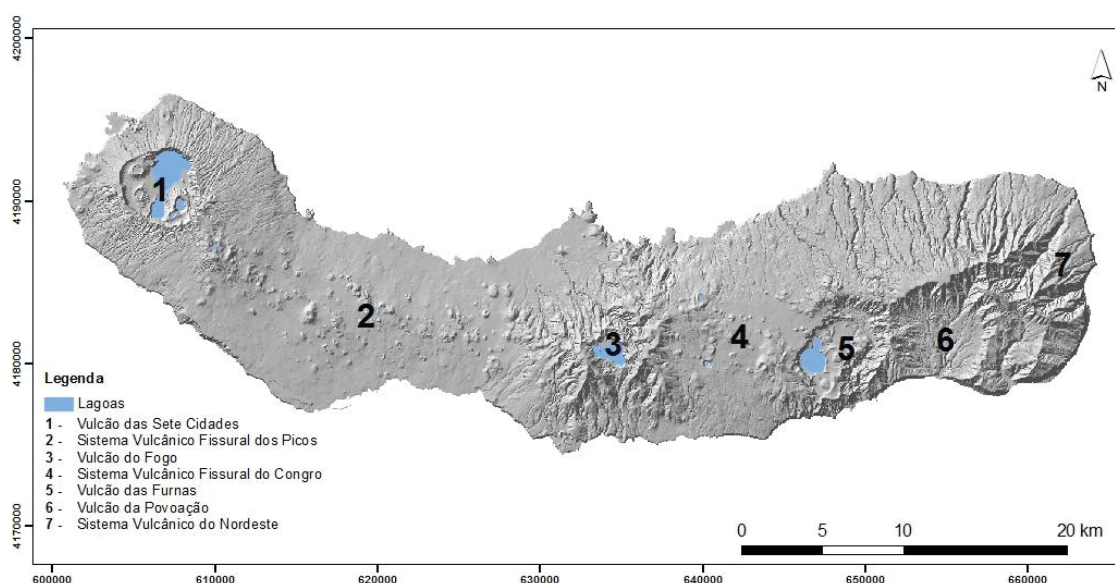
**Figura 1. 2** - Enquadramento tectónico do arquipélago dos Açores (adaptado de Carmo *et al.*, 2015); batimetria regional de Lourenço *et al.* (1998); topografia e batimetria mundial de GEBCO\_08, 2010). Legenda: NA – Placa Norte-Americana; EU – Placa Eurasiática; NU – Placa Núbica; CMA – Crista Média Atlântica; ZFEA – Zona de Fratura Este dos Açores; RT – Rifte da Terceira; FG – Falha GLORIA; FO – Ilhéus das Formigas; DF – Desfiladeiro das Formigas; BSM – Bacia de S. Miguel; BM – Banco do Mónaco; FH - Fossa Hirondelle; BJC - Banco D. João de Castro; BEG - Bacia Este da Graciosa; BWG - Bacia Oeste da Graciosa; BA – Banco Açor; BPA - Banco Princesa Alice.

Neste contexto geodinâmico destacam-se como principais sistemas de fraturas a Crista Média Atlântica (CMA), a Zona de Fratura Açores-Gibraltar, onde se inserem o Rifte da Terceira (RT) e a Falha GLORIA (FG) e, por fim, a Zona de Fratura Este dos Açores (ZFEA) (Figura 1.2).

O magmatismo da região dos Açores é, frequentemente, justificado pela presença de uma pluma mantélica (Almeida, 2001; Gente *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2006; Beier *et al.*, 2010) ou pela ocorrência de uma anomalia térmica/composicional do manto (Schilling *et al.*, 1980; Bonatti, 1990; Metrich *et al.*, 2014). Contudo, esta é ainda uma matéria de intenso debate.

São Miguel é a maior ilha do arquipélago com, aproximadamente, 745 km<sup>2</sup> e um alongamento geral E-W. Dado o enquadramento geodinâmico inerente às ilhas dos Açores, verifica-se que a ilha de São Miguel é condicionada pelo Rifte da Terceira, que se estende, grosso modo, segundo a direção NW-SE, desde a Bacia Oeste da Graciosa até à Fossa das Formigas. Esta direção regional é, fortemente, marcada na ilha de São Miguel através de diferentes estruturas vulcano-tectónicas, como por exemplo, alinhamentos de cones de escórias e escarpas de falha.

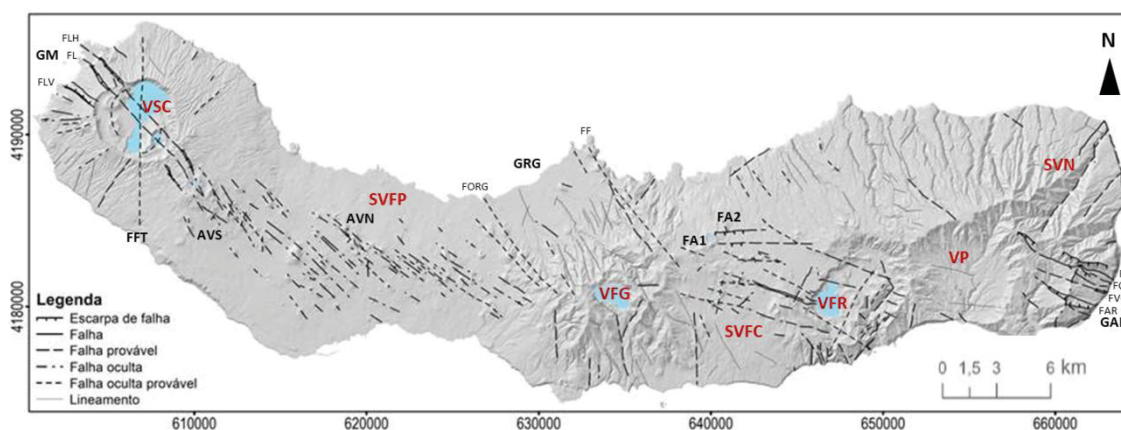
Do ponto de vista vulcanológico, em São Miguel identificam-se 7 unidades (Figura 1.3), nomeadamente, o Vulcão das Sete Cidades, o Sistema Vulcânico Fissural dos Picos, o Vulcão do Fogo, o Sistema Vulcânico Fissural do Congro, o Vulcão das Furnas, o Vulcão da Povoação e o Sistema Vulcânico do Nordeste (Gaspar *et al.*, 2015a).



**Figura 1. 3-** Unidades vulcanológicas da ilha de São Miguel. Legenda: 1 – Vulcão das Sete Cidades; 2 – Sistema Vulcânico Fissural dos Picos; 3 – Vulcão do Fogo ou de Água de Pau; 4 – Sistema Vulcânico Fissural do Congro; 5 – Vulcão das Furnas; 6 – Vulcão da Povoação; 7 – Sistema Vulcânico do Nordeste. Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84 (Gaspar *et al.*, 2015a).

A tectónica da ilha de São Miguel (Figura 1.4) é caracterizada por estruturas com direções de índole regional, como NW-SE e WNW-ESE, que se podem identificar no *Graben* dos Mosteiros e no Sistema Vulcânico Fissural dos Picos, e por estruturas

tectónicas de índole local, cujas direções são NNW-SSE, N-S, NE-SW e E-W (Ferreira, 2000; Carmo, 2013; Carmo *et al.*, 2015).



**Figura 1. 4** - Mapa vulcano-tectónico da ilha de São Miguel. Legenda: GM – Graben dos Mosteiros; FLV – Falha da Lomba do Vasco; FL – Falha da Lombinha; FLH – Falha da Lomba dos Homens; FFT – Falha das Feteiras; AVS – Alinhamento Vulcânico Sul; AVN – Alinhamento Vulcânico Norte; FWRG – Falha Oeste da Ribeira Grande; GRG – Graben da Ribeira Grande; FF- Falha da Falca; FA1 – Falha Altiprado 1; FA2 – Falha Altiprado 2; GAR – Graben de Água Retorta; FAR – Falha de Água Retorta; VFG – Falha do Vale Grande; FCJ – Falha do Cú de Judas; FT – Falha da Tronqueira; VSC – Vulcão das Sete Cidades; SVFP – Sistema Vulcânico Fissural dos Picos; VFG – Vulcão do Fogo; SVFC – Sistema Vulcânico Fissural do Congro; VFR – Vulcão das Furnas; VP – Vulcão da Povoação; SVN – Sistema Vulcânico do Nordeste (Carmo *et al.*, 2016). Coordenadas UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

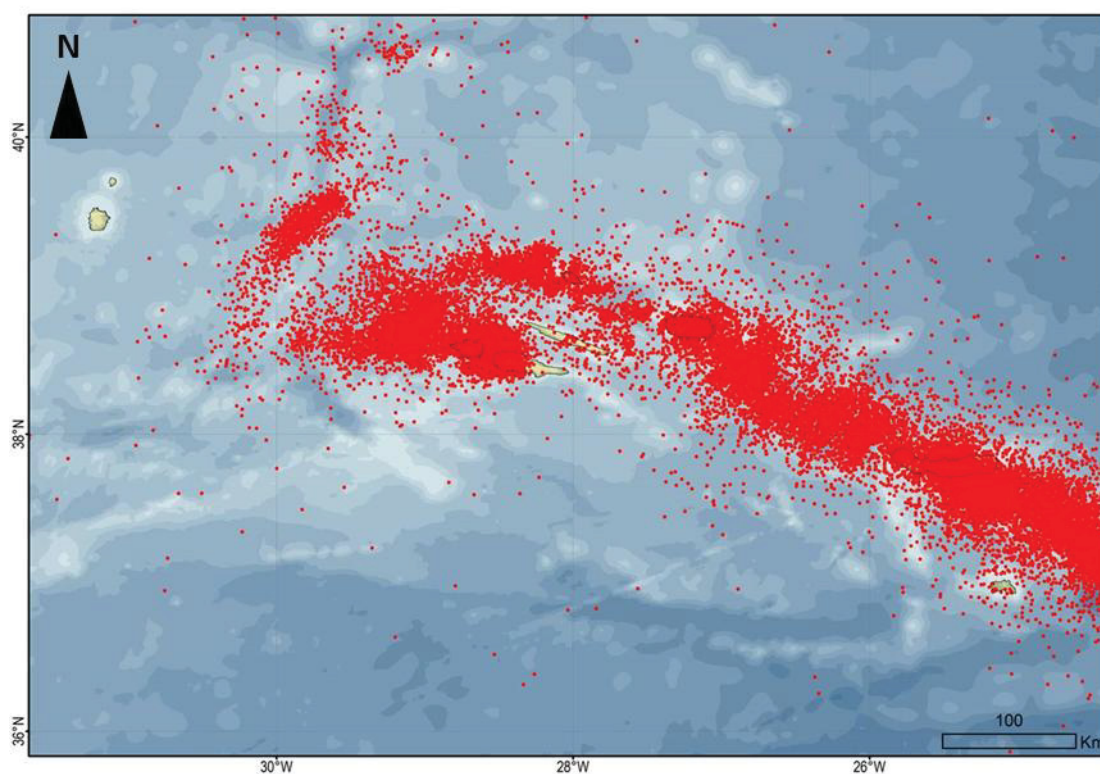
## 1.4. SISMICIDADE E VULCANISMO

Desde o início do povoamento, a população açoriana tem sido profundamente afetada pela ocorrência de fenómenos naturais, entre outros, dos quais fazem parte as erupções vulcânicas e os terremotos de origem tectónica ou crises sismovulcânicas, como consequência do contexto vulcano-tectónico desta região (Madeira 1998; Coutinho, 2000; Silveira, 2002; Silveira, 2007). Durante os últimos cinco séculos e meio estes fenómenos abalaram as ilhas dos Açores tendo provocado, muitas vezes, vítimas, danos materiais e prejuízos socioeconómicos.

O registo da sismicidade instrumental nos Açores iniciou-se no século XX, com a instalação da primeira estação sísmica em 1902, em Ponta Delgada, no Observatório Afonso Chaves (Costa Nunes *et al.*, 1999; Silveira, 2002). Contudo, foi a partir de 1980, na

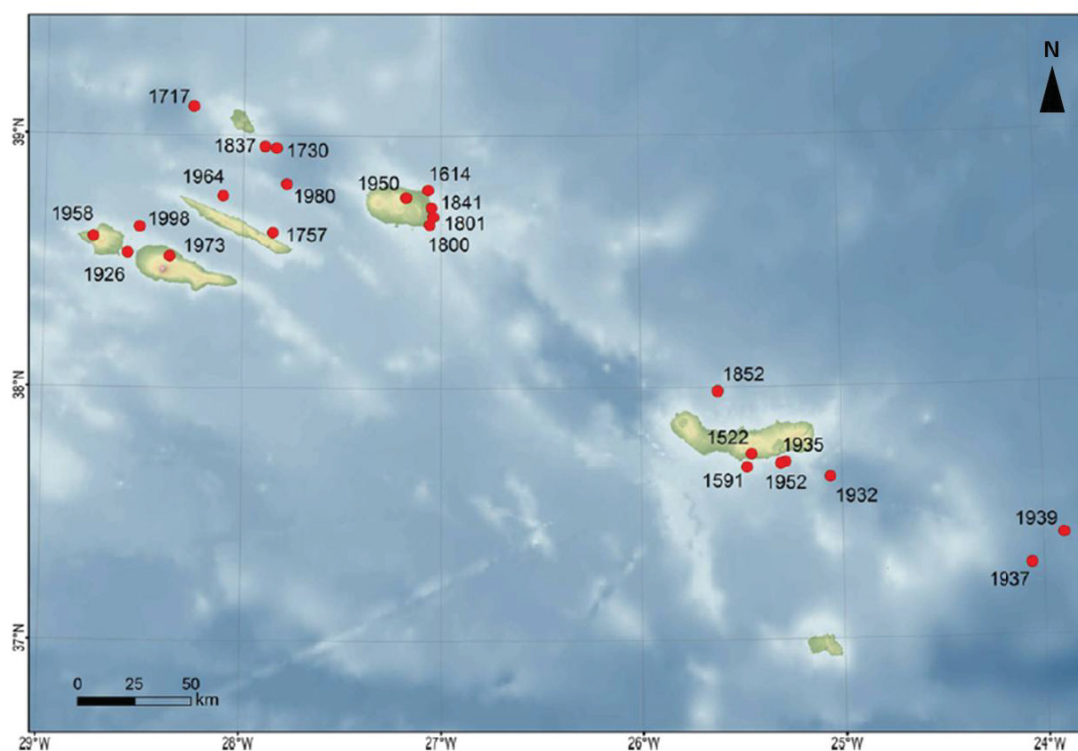
sequência do sismo de 1 de Janeiro, que se verificou um melhoramento da rede sísmica instrumental da região (Silveira, 2002). A carta epicentral dos Açores (Figura 1.5) mostra que a distribuição dos sismos na região não é aleatória e que a atividade sísmica ocorre, principalmente, ao longo do Rifte da Terceira, da Crista Média Atlântica, do alinhamento Faial-Pico e da Falha GLORIA.

No caso da ilha de São Miguel, esta é afetada por eventos gerados em zonas sismogénicas quer em terra, nomeadamente nos vulcões das Sete Cidades, Furnas e na região Fogo-Congro, quer no mar, especialmente na área das Formigas, Fossa da Povoação, Fossa Hirondele e no Banco D. João de Castro (Carmo, 2013).



**Figura 1. 5** - Carta epicentral dos Açores no período compreendido entre 1980 e 2013. (IVAR/CIVISA, 2013).

Ao longo da sua história, registaram-se cerca de 20 eventos sísmicos destruidores nos Açores (Figura 1.6).



**Figura 1. 6** - Localização epicentral dos sismos mais destrutivos registados nos Açores desde o seu povoamento no século XV (Gaspar *et al.*, 2015b).

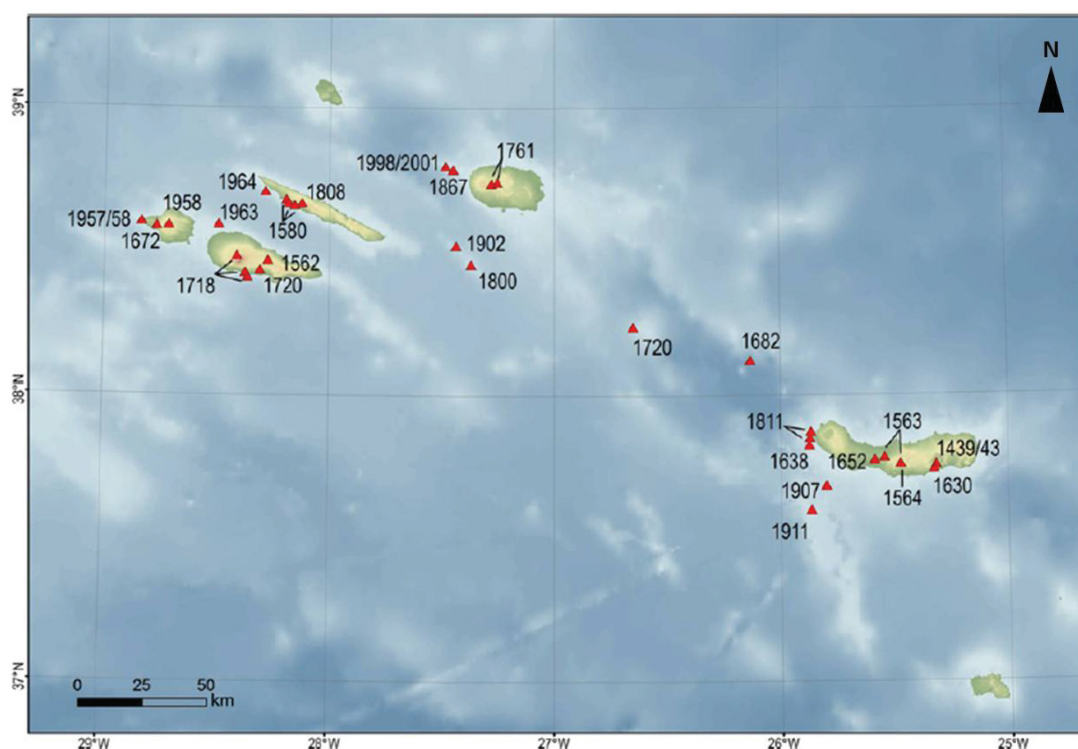
Em São Miguel também ocorreram sismos históricos de natureza tectónica que afetaram, de algum modo, esta ilha. Na tabela 1.1 estão listados os principais sismos históricos que afetaram São Miguel.

**Tabela 1. 1** - Principais sismos históricos que afetaram a ilha de São Miguel (Silveira, 2002; Medeiros, 2009; Carmo, 2013; Gaspar *et al.*, 2015b).

Data	MM-56	EMS-98	Magnitude	Zona mais afetada
1522-10-22	X	X	-	V.F.Campo
1591-07-26	-	VIII	-	V.F. Campo
1852-04-16	VII	VIII	-	S.Miguel
1932-08-05	VIII	VIII	-	Povoação
1935-04-27	VIII	IX	-	Povoação
1952-06-26	VIII	VIII	5.6	R. Quente

**MM-56** - Escala de Mercalli Modificada (1956) (online); **EMS-98** – Escala Macrossísmica Europeia (1998) de Grünthal (1998).

Também a atividade vulcânica tem sido frequente nos últimos cinco séculos e meio desde o povoamento. Ao longo da história ocorreram, pelo menos, 28 erupções vulcânicas na região, 15 das quais em terra, como nas ilhas de São Miguel, Terceira, São Jorge, Faial e Pico, e 13 no mar, essencialmente ao longo do Rifte da Terceira. É provável que o número de erupções submarinas seja maior, pois nem sempre estas erupções se manifestam à superfície (Figura 1.7) (Weston, 1964; Queiroz, 1997; Silveira, 2002).



**Figura 1. 7.** - Localização das erupções vulcânicas históricas conhecidas na região dos Açores (Gaspar *et al.*, 2015b).

Na ilha de São Miguel e região submarina circundante, verifica-se que ocorreram 11 erupções vulcânicas históricas (Tabela 1.2). De entre as erupções subaéreas, o estilo eruptivo predominante foi o Subpliniano, como no caso das erupções do Vulcão das Furnas em 1439-43 e 1630, e do Vulcão do Fogo em 1563 no interior da caldeira (Lagoa do Fogo), que será estudada em detalhe neste trabalho.

**Tabela 1. 2-** Erupções vulcânicas históricas ocorridas na ilha de S. Miguel e região circundante (Gaspar *et al.*, 2015b).

Ano	Local	Centro Eruptivo	Estilo Eruptivo	Referência
1439-43	S.Miguel	Pico do Gaspar	Subpliniano	<i>Queiroz et al., 1995; Madeira, 1998.; Guest et al., 1999.</i>
1563	S.Miguel	Lagoa do Fogo	Subpliniano	<i>Walker e Croasdale, 1971; Wallenstein, 1999</i>
1563	S.Miguel	Pico do Sapateiro (Queimado)	Havaiano	<i>Booth et al., 1978; Wallenstein, 1999; Ferreira, 2000</i>
1564	S.Miguel	Lagoa do Fogo	Freático	<i>Booth et al., 1978; Wallenstein, 1999</i>
1630	S.Miguel	Lagoa Seca	Subpliniano	<i>Cole et al., 1995; 1999; Guest et al., 1999</i>
1638	No mar	Ao largo da ponta da Candelária (SM)	Surtseiano	<i>Agostinho 1960; Queiroz, 1997</i>
1652	S.Miguel	Pico do Fogo	Vulcaniano, formação de domos	<i>Booth et al., 1978; Ferreira, 2000; Ferreira et al., 2015</i>
1811	No mar	Ao largo da ponta da Ferraria (ilha sabrina)	Surtseiano	<i>Agostinho, 1960; Queiroz, 1997</i>
1907	No mar	A SW de S. Miguel		<i>Chaves, 1960; Weston, 1964</i>
1911	No mar	A SW de S.Miguel (Mar da Prata)		<i>Chaves, 1960; Weston, 1964</i>
1981	No mar	Banco do Mónaco		