

# **A Comunicação entre Cientistas e Proteção Civil nos Açores: Procedimentos Operacionais num Cenário de Crise Vulcânica no Vulcão do Fogo (São Miguel, Açores)**

Dissertação de Mestrado

David Machado Miranda

Mestrado em

**VULCANOLOGIA E RISCOS GEOLÓGICOS**



# A Comunicação entre Cientistas e Proteção Civil nos Açores: Procedimentos Operacionais num Cenário de Crise Vulcânica no Vulcão do Fogo (São Miguel, Açores)

Dissertação de Mestrado

David Machado Miranda

## Orientadores

Professor Doutor João Luís Roque Baptista Gaspar

*Professor Associado com Agregação do Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos da Universidade dos Açores.*

Doutora Rita Lúcio Carmo de Almeida

*Doutorada em Geologia (especialidade de Vulcanologia). Investigadora do Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos da Universidade dos Açores.*

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

**ÍNDICE GERAL**

ÍNDICE GERAL .....	I
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IV
ÍNDICE DE TABELAS .....	VIII
LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS .....	X
AGRADECIMENTOS.....	XIV
RESUMO .....	XV
ABSTRACT .....	XVII
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. PERTINÊNCIA E OBJETIVOS .....	5
1.3. CONCEITOS GERAIS.....	7
1.3.1. RISCO .....	7
1.3.2. CICLO DA GESTÃO DE CATÁSTROFES/CRISES.....	8
2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO .....	10
2.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA.....	10
2.2. ENQUADRAMENTO GEODINÂMICO.....	12
2.3. SISMICIDADE E VULCANISMO .....	14
3. VULCÃO DO FOGO.....	18
3.1. NOTA PRÉVIA.....	18
3.2. CARACTERIZAÇÃO .....	18
3.3. HISTÓRIA ERUPTIVA .....	20
3.4. PERIGOS VULCÂNICOS.....	24
3.4.1. Escoadas Lávicadas.....	24
3.4.2. PDC ( <i>Pyroclastic Density Currents</i> ) .....	26

---

3.4.3. Piroclastos de Queda.....	27
3.4.4. Escoadas de Lama ou Detritos ( <i>Lahars</i> ) .....	27
3.4.5. Gases Vulcânicos .....	29
3.5. CENÁRIOS ERUPTIVOS.....	30
3.5.1. Cenário Pliniano - Fogo A .....	30
3.5.2. Cenário sub-Pliniano - 1563 D.C.....	32
4. VULNERABILIDADES E ELEMENTOS EXPOSTOS.....	35
4.1. NOTA PRÉVIA.....	35
4.2. POPULAÇÃO .....	37
4.2.1. Impactos dos Piroclastos de Queda .....	37
4.2.2. Caracterização .....	38
4.3. EDIFICADO .....	43
4.3.1 Impactos dos Piroclastos de Queda .....	43
4.3.2 Caracterização .....	45
4.4. REDE VIÁRIA .....	48
4.4.1 Impactos dos Piroclastos de Queda .....	48
4.4.2 Caracterização .....	49
4.5. INFRAESTRUTURAS CRÍTICAS .....	52
4.5.1 Impactos dos Piroclastos de Queda .....	52
4.5.2 Caracterização .....	55
5. GESTÃO DE CRISES VULCÂNICAS E SISTEMA DE PROTEÇÃO CIVIL DOS AÇORES.....	62
5.1. GESTÃO DE CRISES VULCÂNICAS.....	62
5.1.1. Atores: Papéis e Responsabilidades.....	63
5.1.2. Principais Características e Desafios .....	70
5.1.3. Comunicação Cientistas-Proteção Civil.....	74
5.2. SISTEMA DE PROTEÇÃO CIVIL DOS AÇORES.....	84

5.2.1. Conceitos Gerais, Objetivos e Domínios de Atuação .....	84
5.2.2. Organização.....	85
5.2.3. Estrutura de Proteção Civil.....	88
5.2.4. Sistema Integrado de Operações de Proteção e Socorro da Região Autónoma dos Açores.....	93
5.2.5. Plano Regional de Emergência e Proteção Civil dos Açores .....	98
5.2.6. Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores .....	107
5.2.7. Serviços Municipais de Proteção Civil .....	110
6. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS NUM CENÁRIO DE CRISE VULCÂNICA NO VULCÃO DO FOGO .....	113
6.1. CENÁRIO .....	113
6.1.1. Desenvolvimento do Cenário .....	115
6.2. RESPOSTA OPERACIONAL.....	124
6.2.1. Fase Pré-Eruptiva .....	129
6.2.2. Fase Eruptiva .....	148
6.2.3. Fase Pós-Eruptiva .....	152
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	159
7.1. PROPOSTA DE AÇÕES DE PROTEÇÃO CIVIL À ESCALA CIENTÍFICA DE NÍVEIS DE ALERTA VULCÂNICO .....	159
7.1.1. Aumento da Instabilidade (Tendência Crescente) .....	159
7.1.2 Diminuição da Instabilidade (Tendência Decrescente).....	161
7.2. CONCLUSÕES GERAIS .....	163
7.2.1. Recomendações/Sugestões .....	165
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	168

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 1

<b>Figura 1.1</b> - Fases do Ciclo de Gestão de Catástrofes/Crises. ....	8
--	---

### Capítulo 2

<b>Figura 2.1</b> - Localização do arquipélago dos Açores e ilhas (adaptado de Marques et al., 2015). .....	10
--	----

<b>Figura 2.2</b> - Localização da ilha de São Miguel, com os limites administrativos dos municípios. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	11
--	----

<b>Figura 2.3</b> - Enquadramento tectónico dos Açores, com as principais estruturas morfotectónicas (modificado de Silva <i>et al.</i> , 2020). <b>Placas Litosféricas:</b> NA - Placa Norte-Americana; EU - Placa Euroasiática; NU - Placa Núbia. <b>Estruturas Tectónicas:</b> JTA – Junção Tripla dos Açores; CMA - Crista Média Atlântica; ZFCG – Zona de Fratura Charlie-Gibbs; ZFO – Zona de Fratura Oceanographer; ZFH – Zona de Fratura Hayes; ZFK – Zona de Fratura Kane; ZFFT – Zona de Fratura 15°20'; RT - Rift da Terceira ( <i>s.l.</i> ); ZFEA - Zona de Fratura Este dos Açores; FG - Falha Gloria; ZFNA – Zona de Fratura Norte dos Açores; ZFF – Zona de Fratura do Faial; ZFA – Zona de Fratura Açor; ZFPA; Zona de Fratura Princesa Alice; ZFP – Zona de Fratura do Pico; <b>Ilhas:</b> ST – Santa Maria; SM – São Miguel; T – Terceira; SJ – São Jorge; P – Pico; F – Faial; G – Graciosa; FI – Flores; C – Corvo. Batimetria do arquipélago e mundial de GEBCO_08 (2010). ....	13
---	----

<b>Figura 2.4</b> - Sismicidade registada nos Açores de 1980 a 2022 (IVAR/CIVISA). ....	14
---	----

<b>Figura 2.5</b> - Localização dos principais sismos destruidores nos Açores, desde o povoamento (Gaspar <i>et al.</i> , 2015a). ....	15
--	----

<b>Figura 2.6</b> – Localização das erupções vulcânicas históricas nos Açores (Gaspar <i>et al.</i> , 2015a). ....	16
--	----

### Capítulo 3

<b>Figura 3.1</b> - Sistemas vulcânicos da ilha de São Miguel. 1 - Vulcão das Sete Cidades; 2 - Sistema Vulcânico Fissural dos Picos; Vulcão do Fogo; 4 - Sistema Vulcânico Fissural do Congro; 5 - Vulcão das Furnas; 6 - Vulcão da Povoação; 7 - Sistema Vulcânico do Nordeste. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	18
---	----

<b>Figura 3.2</b> - Paisagem do Vulcão do Fogo (Wallenstein et al., 2015a).....	19
<b>Figura 3.3</b> - Mapa de isopacas da erupção do Fogo B (em metros) (Booth et al., 1978; in Wallenstein, 1999). .....	22
<b>Figura 3.4</b> - Mapa de isopacas das erupções do Fogo C e do Fogo D (valores em metros) (Booth et al., 1978; in Wallenstein, 1999). .....	23
<b>Figura 3.5</b> - Esquema morfoestrutural do Vulcão do Fogo (adaptado de Wallenstein <i>et al.</i> , 2007). .....	24
<b>Figura 3.6</b> - Mapa de suscetibilidade para <i>lahars</i> no flanco sul do Vulcão do Fogo (adaptado de Gaspar <i>et al.</i> , 2015b). .....	28
<b>Figura 3.7</b> - Mapa de isopacas da erupção do Fogo A (em metros), com indicação da direção das escoadas piroclásticas (Walker & Croasdale, 1971; adaptado de Wallenstein et al., 2005). .....	31
<b>Figura 3.8</b> - Mapa de isopacas da erupção de 1563 (em metros) (Booth <i>et al.</i> , 1978; adaptado de Wallenstein <i>et al.</i> , 2005). .....	33
<b>Figura 3.9</b> - Dispersão das escoadas lávicas da erupção de 1563 no Pico do Sapateiro ( <i>in</i> Wallenstein, 1999). .....	34
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Figura 4.1</b> - Localização da região do Fogo na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.....	36
<b>Figura 4.2</b> - Gráfico com o número de habitantes por concelho da ilha de São Miguel (SREA, 2021). .....	39
<b>Figura 4.3</b> - Número de habitantes por freguesia da região do Fogo (SREA, 2021). Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	39
<b>Figura 4.4</b> - Gráfico com o número de habitantes da ilha de São Miguel distribuídos por faixa etária (SREA, 2021).....	40
<b>Figura 4.5</b> - Gráfico com a percentagem de população adulta por nível de escolaridade mais elevado completo na região do Fogo (SREA, 2021). .....	41
<b>Figura 4.6</b> - Localização dos edifícios na região do Fogo. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.....	46

<b>Figura 4.7</b> - Número de edifícios por época de construção na região do Fogo segundo os Censos 2021 (SREA, 2021). .....	47
<b>Figura 4.8</b> - Estradas principais, secundárias (em cima) e vias rápidas (em baixo) da ilha de São Miguel (adaptado de Wallenstein et al., 2015b).....	52
<b>Figura 4.9</b> - Localização do aeroporto e dos heliportos na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	55
<b>Figura 4.10</b> - Localização dos portos de classe A, D e E na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	56
<b>Figura 4.11</b> - Localização dos sites da RITERAA na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.....	57
<b>Figura 4.12</b> - Localização das centrais de produção de energia na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	58
<b>Figura 4.13</b> - Localização dos quartéis e secções destacadas dos bombeiros de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.....	59
<b>Figura 4.14</b> - Localização das esquadras da PSP e postos da GNR na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.....	59
<b>Figura 4.15</b> - Localização das principais estruturas das Forças Armadas na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.....	60
<b>Figura 4.16</b> - Localização das principais unidades de saúde da ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84. ....	61

## Capítulo 5

**Figura 5.1** - Cronograma das crises vulcânicas, incluindo as evoluções (adaptado de Newhall et al., 2021). (1) Escalada muito rápida ou instantânea da instabilidade, originando uma erupção magmática/freática ou uma explosão freatomagmática/freática. (2) Aumento contínuo da instabilidade durante várias semanas ou meses, resultando numa erupção magmática. (3) Aumento contínuo da instabilidade durante semanas ou meses, seguido de uma diminuição na instabilidade sem ocorrer uma erupção. (4) Aumento da instabilidade, seguido de um período prolongado com níveis de instabilidade elevados e oscilatórios, precedendo uma diminuição na

instabilidade/nenhuma erupção magmática ou (5) um aumento tardio na instabilidade que origina uma erupção magmática. ....	63
<b>Figura 5.3</b> - Conjunto de entidades que integram a estrutura de proteção civil dos Açores. ....	88
<b>Figura 5.4</b> - Escala de Alertas Científicos para a Caracterização do Estado da Atividade Sismovulcânica da Região dos Açores (Gaspar et al., 2012). ....	93
<b>Figura 5.5</b> - Esquema das Zonas de Intervenção (adaptado do Despacho n.º 3317-A/2018, de 3 de abril). ....	97
<b>Figura 5.6</b> - Organização do PREPCA. ....	100
<b>Figura 5.7</b> - Localização da sede do SRPCBA. ....	108
<b>Figura 5.8</b> - Organograma do SRPCBA (adaptado de Fontes, 2017). ....	109

## Capítulo 6

<b>Figura 6.1</b> - Sismos registados em cada semana durante a segunda fase pré-eruptiva (valores acumulados). ....	119
<b>Figura 6.2</b> - Proposta de zonas de risco no Vulcão do Fogo para efeitos de exercício. Quadrícula UTM, Zona 26S; Datum WGS84. ....	129
<b>Figura 6.3</b> - Mapa de suscetibilidade a movimentos de vertente para a parte central da ilha de São Miguel (adaptado de Portal do Ordenamento do Território dos Açores, elaborado pelo CIVISA/IVAR). ....	133
<b>Figura 6.4</b> - Evolução esperada dos estados de alerta especial até ao início da erupção (tracejado). ....	148

## ÍNDICE DE TABELAS

### Capítulo 3

<b>Tabela 3.1</b> - Estratigrafia simplificada do Vulcão do Fogo (últimos 5.000 anos), com indicação da direção dos produtos e o estilo eruptivo (adaptado de Wallenstein et al., 2005). .....	21
--	----

### Capítulo 4

<b>Tabela 4.1</b> - Número de edifícios por concelho ou freguesia da região do Fogo (SREA, 2021).. 45	
<b>Tabela 4.2</b> - Organização das vias de comunicação terrestre nos Açores, incluindo as competências de reabilitação, manutenção e gestão das respetivas redes (adaptado do PREPCA). .....	49
<b>Tabela 4.3</b> - Principais impactos dos piroclastos de queda nas infraestruturas críticas (Blong, 1984a; Malheiro, 2002; Wallenstein <i>et al.</i> , 2015b; Wilson et al., 2017). .....	54
<b>Tabela 4.4</b> - Classificação dos portos de acordo com a sua dimensão/função e as entidades gestoras na RAA. ....	56

### Capítulo 5

<b>Tabela 5.1</b> - Organização da resposta a crises vulcânicas em vários países (adaptado de Nakada et al., 2019). .....	65
<b>Tabela 5.2</b> - Exemplo de escala de alerta vulcânico (adaptado de Papale, 2017). .....	78
<b>Tabela 5.3</b> – Exemplo de ações de resposta e potenciais impactos para cada nível de alerta (adaptado de Papale, 2017). .....	79
<b>Tabela 5.4</b> - Escala de Alertas para a Aviação Civil (adaptado da Organização Internacional de Aviação Civil, ICAO Doc 9766 (Segunda Edição), Tabela 4.4). .....	80
<b>Tabela 5.5</b> – Quadro-resumo da organização da política de proteção civil a nível Nacional, Regional e Municipal. ....	85
<b>Tabela 5.6</b> - Planos de emergência e responsabilidades de elaboração, parecer e aprovação previstas na RAA.....	98
<b>Tabela 5.7</b> - Critérios Gerais e Específicos para ativação do PREPCA. ....	101

<b>Tabela 5.8</b> - Principais responsabilidades dos serviços de proteção civil e do observatório vulcanológico dos Açores, presentes no PREPCA. ....	103
<b>Tabela 5.9</b> - Entidades Coordenadoras e Entidades Intervenientes por cada Área de Intervenção (adaptado do PREPCA). ....	105
<b>Tabela 5.10</b> - Áreas funcionais e principais competências dos SMPC. ....	110
<b>Tabela 5.11</b> - Situação atual dos Planos Municipais de Emergência de Proteção Civil da ilha de São Miguel (dados do Sistema de Informação de Planeamento de Emergência, ANEPC). ....	112

## Capítulo 6

<b>Tabela 6.1</b> - Descrição das fases que integram o cenário eruptivo considerado. ....	114
<b>Tabela 6.2</b> - Número de sismos registados, sentidos e magnitudes máximas no primeiro e segundo períodos da instabilidade, em relação ao ano anterior. ....	116
<b>Tabela 6.3</b> - Resumo da evolução da crise. Legenda: D – Deformação crustal; GQ – Alterações geoquímicas; LF – Eventos de baixa frequência; HI – Eventos Híbridos. ....	119
<b>Tabela 6.4</b> - Estados de Alerta e respetivos graus de mobilização e prontidão previstos no DIOPS (adaptado da ANEPC). ....	126

## Capítulo 7

<b>Tabela 7.1</b> - Proposta de ações de proteção civil recomendadas para cada nível de alerta científico vulcânico (instabilidade com tendência crescente). ....	160
<b>Tabela 7.2</b> - Proposta de ações de proteção civil recomendadas para cada nível de alerta científico vulcânico (instabilidade com tendência decrescente). ....	162

## LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

- AMN – Autoridade Marítima Nacional
- ANAC – Autoridade Nacional de Aviação Civil
- ANEPC – Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil
- APC – Agentes de Proteção Civil
- CAD – Centro de Aquisição de Dados
- CB – Corpo de Bombeiros
- CCRE – Centro de Coordenação de Resposta de Emergência
- CELOG – Célula de Logística
- CELOP – Célula de Operações
- CEPLAN – Célula de Planeamento
- CFPCBA- Centro de Formação de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores
- CIVISA – Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores
- CM – Câmara Municipal
- CMA – Crista Média Atlântica
- CMPC – Comissão Municipal de Proteção Civil
- CNPC – Comissão Nacional de Proteção Civil
- COA – Comando Operacional dos Açores
- COE – Centro de Operações de Emergência
- COS – Comandante das Operações de Socorro
- CRB – Conselho Regional de Bombeiros
- CRPCA – Comissão Regional de Proteção Civil dos Açores
- CVP – Cruz Vermelha Portuguesa
- CZMA – Comando de Zona Marítima dos Açores

DIOPS - Dispositivo Integrado de Operações de Proteção e Socorro

DMR – Digital Mobile Radio

DPFS - Divisão de Prevenção, Formação e Sensibilização

DPOAR - Divisão de Planeamento, Operações e Avaliação de Riscos

DRS – Direção Regional da Saúde

DSCI – Divisão de Segurança contra Incêndios

DSE – Divisão de Socorro e Equipamento

DSPO - Direção de Serviços de Planeamento e Operações

EU – Euroasiática

FFAA – Forças Armadas

FG – Falha Gloria

FS – Forças de Segurança

GNR – Guarda Nacional Republicana

GRA – Governo Regional dos Açores

HDES – Hospital do Divino Espírito Santo

IB – Inspeção de Bombeiros

ICAO - Organização Internacional de Aviação Civil

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

ISSA – Instituto de Segurança Social dos Açores

IVAR – Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos

JF – Junta de Freguesia

JTA – Junção Tripla dos Açores

LREC – Laboratório Regional de Engenharia Civil

MAI – Ministério da Administração Interna

NA – Norte Americana

NU – Núbia

OCS – Órgãos de Comunicação Social

OEA – Organismos e Entidades de Apoio

PA – Plataforma dos Açores

PCMun – Posto de Comando Municipal

PCO – Posto de Comando Operacional

PCOIlha – Posto de Comando Operacional de Ilha

PDC – *Pyroclastic Density Currents*

PEEPCRS-ISJ - Plano Especial de Emergência de Proteção Civil para o Risco Sismovulcânico da Ilha de São Jorge

PMEPC – Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil

PREPCA – Plano Regional de Emergência de Proteção Civil dos Açores

PRID – Ponto de Reunião e Irradiação de Desalojados

PSP – Polícia de Segurança Pública

RAA – Região Autónoma dos Açores

RG2 – Regimento de Guarnição N.º 2

RITERAA – Rede Integrada de Telecomunicações de Emergência da Região Autónoma dos Açores

RT – Rift da Terceira

SAF – Secção Administrativa e Financeira

SAG – Serviço de Apoio Geral

SEF – Serviço de Estrangeiros e Fronteiras

SGO – Sistema de Gestão de Operações

SIOPS – Sistema Integrado de Operações de Proteção e Socorro

SIRESP – Sistema Integrado de Redes de Emergência e Segurança de Portugal

SMPC – Serviço Municipal de Proteção Civil

SREA - Serviço Regional de Estatística dos Açores

SRPCBA – Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores

SRSD – Secretaria Regional da Saúde e Desporto

TO – Teatro de Operações

UAc – Universidade dos Açores

UCO – Unidades Científicas Operacionais

VAAC - *Volcanic Ash Advisory Centres*

VEI – *Volcanic Explosivity Index*

VONA - *Volcano Observatory Notice for Aviation*

ZA – Zona de Apoio

ZCAP – Zona de Concentração e Apoio à População

ZCR – Zona de Concentração e Reserva

ZFAG - Zona de Fratura Açores-Gibraltar

ZFEA – Zona de Fratura Este dos Açores

ZI – Zona de Intervenção

ZRR – Zona de Receção de Reforços

ZS – Zona de Sinistro

## AGRADECIMENTOS

A concretização desta dissertação apenas foi possível com a colaboração e o apoio de algumas pessoas e entidades, às quais devo manifestar o meu particular agradecimento. Assim, cumpre-me agradecer:

- Ao Professor Doutor João Luís Gaspar, orientador científico, pela disponibilidade, dedicação e pelos conhecimentos transmitidos que me auxiliaram a desenvolver a presente dissertação.
- À Doutora Rita Carmo, orientadora científica, pela dedicação, conhecimentos transmitidos e pelo acompanhamento conferido ao longo de todas as fases deste projeto e, particularmente, pelo cuidado demonstrado na revisão e análise do texto e dos conteúdos elaborados.
- Ao CIVISA/IVAR pela disponibilização da informação georreferenciada e outros dados que possibilitaram a realização de algumas ilustrações deste trabalho.
- Aos meus pais e irmã, pelo suporte, incentivo e todo o carinho demonstrado durante esta caminhada.
- À minha segunda família, pelo apoio proporcionado ao longo desta etapa.
- A ti, minha parceira e amiga, Sabrina, pela paciência, afeto e apoio muito especial presenteado ao longo deste desafio partilhado. O meu obrigado por tudo...

## RESUMO

O arquipélago dos Açores encontra-se sujeito a um enquadramento geodinâmico que origina uma região ativa no que concerne à atividade sísmica e vulcânica. Desde o seu povoamento, os Açores já foram palco de pelo menos 28 erupções vulcânicas, tendo algumas destas causado prejuízos significativos. Atualmente, existem 18 sistemas vulcânicos ativos subaéreos e alguns deles foram, inclusivamente, palco de crises sismovulcânicas recentes (*e.g.* Fogo-Congro, 2005; São Jorge, 2022; Santa Bárbara, 2022), sendo expectável que no futuro ocorram crises semelhantes que poderão ou não resultar numa erupção vulcânica.

Apesar do vulcanismo ativo ser uma realidade presente nos Açores, o planeamento específico para o risco vulcânico é escasso e, atualmente, a nível de proteção civil não existem procedimentos estabelecidos que devam ser desencadeados face aos níveis de alerta científico para a caracterização do estado de atividade sismovulcânica na região dos Açores. Assim, mostra-se essencial abordar a relação entre os níveis de alerta científico para a atividade sismovulcânica e as ações de proteção civil a desencadear.

O Vulcão do Fogo, localizado na parte central da ilha de São Miguel, é um dos três vulcões centrais com caldeira ativos na ilha e onde já se registaram pelo menos seis erupções explosivas traquíticas nos últimos cinco mil anos. Através da sua história eruptiva foi possível averiguar os impactos e a abrangência dos produtos das suas erupções, que normalmente envolvem uma diversidade de estilos e perigos vulcânicos. Para o desenvolvimento da dissertação, optou-se por utilizar um cenário eruptivo com base no cenário mais provável para uma erupção vulcânica no Vulcão do Fogo, alusivo à erupção de 1563.

A análise das vulnerabilidades e dos elementos expostos presentes na região do Fogo aos produtos do cenário eruptivo considerado, em que se destacam os piroclastos de queda, possibilitou a identificação de possíveis implicações nas ações de proteção civil a desenvolver. O resultado desta análise demonstrou que um evento desta natureza, mesmo numa fase precedente, é capaz de provocar impactos e constrangimentos significativos à população, edificado e infraestruturas críticas, especialmente, na rede viária densa existente no setor central e que liga os polos mais extremos da ilha.

Com a exposição sobre a gestão de crises vulcânicas, averiguou-se a complexidade em lidar com a gestão de fenómenos vulcânicos, seja devido às suas características intrínsecas, como aos fatores externos que podem injetar dificuldades acrescidas aos decisores. Além disso, ficou patente a importância da interação entre os vários envolvidos para a mitigação do risco

vulcânico, tal como a importância da eficácia da comunicação entre estes. Foi possível destacar ainda a relação crucial entre os cientistas, responsáveis pela monitorização e divulgação da informação sobre o estado de atividade dos sistemas vulcânicos, e as autoridades de proteção civil, incumbidos de implementar as ações de resposta e medidas de mitigação ao risco vulcânico. A referência ao sistema de proteção civil dos Açores, permitiu entender as responsabilidades e os papéis atribuídos aos principais envolvidos na resposta a uma crise vulcânica nos Açores.

Após desenvolvido o cenário, onde se incluiu a definição dos momentos expectáveis para a alteração dos níveis de alerta científico vulcânico, procedeu-se à discussão sobre a resposta operacional mais adequada para acompanhar a informação científica. O resultado deste exercício demonstrou que a resposta de proteção civil deve corresponder a um processo gradual, ponderado e indicou para a necessidade de uma interpretação ajustada da situação que resulta, conseqüentemente, da tradução da informação científica. Efetivamente, foi possível concluir que as ações de proteção civil mais eficazes na mitigação do risco vulcânico não são imediatas, pois requerem uma preparação progressiva do sistema de proteção civil que, para o efeito, deve agir sobre as alterações detetadas pelos cientistas desde um nível de alerta vulcânico mais baixo. Este trabalho permitiu ainda estabelecer uma ligação entre cada nível de alerta da escala científica e o conjunto de ações de resposta e medidas de mitigação da proteção civil a desenvolver. Contudo, foi possível reconhecer a complexidade e a incerteza inerente a estes fenómenos que, aliada à natureza essencialmente política das decisões que comportam custos socioeconómicos elevados, tornam a gestão de crises vulcânicas em qualquer sistema de proteção civil, um desafio particularmente exigente.

**Palavras-chave:** Vulcanologia; Riscos Geológicos; Proteção Civil; Planeamento de Emergência; Vulcão do Fogo.

**ABSTRACT**

The Azores archipelago is subject to a geodynamic framework that causes an active region regarding seismic and volcanic activity. Since its settlement, the Azores have been the scene of at least 28 volcanic eruptions, some of which have caused significant damage. Currently, there are 18 active subaerial volcanic systems and some of them have even been the scene of recent seismovolcanic crises (e.g. Fogo-Congro, 2005; São Jorge, 2022; Santa Bárbara, 2022), and it is expected that similar crises will occur in the future that could or not result in a volcanic eruption.

Although active volcanism is a reality in the Azores, specific planning for volcanic risk is scarce and, currently, at the level of civil protection there are no established procedures that should be triggered considering the scientific volcanic alert levels in the Azores region. Therefore, it is essential to address the relationship between scientific alert levels for volcanic activity and the civil protection actions to be taken.

The Fogo Volcano, located in the central part of São Miguel Island, is one of the three active central caldera volcanoes on the island where at least six trachytic explosive eruptions have been recorded in the last five thousand years. Through its eruptive history it was possible to learn the impacts and scope of the products of its eruptions, which normally involve a diversity of volcanic styles and hazards. For the development of this dissertation, we chose to use an eruptive scenario based on the most likely scenario for a volcanic eruption at Fogo Volcano, referring to the 1563 eruption.

The analysis of the vulnerabilities and exposed elements present in the Fogo region to the products of the eruptive scenario considered, made it possible to identify possible implications for the civil protection actions to be developed. The result of this analysis demonstrated that an event of this nature, even in a previous phase, can cause significant impacts and constraints on the population, buildings, and critical infrastructures, especially on the dense road network present in the central sector and which connects the most extreme poles of the island.

With the presentation on volcanic crises management, the complexity of dealing with the management of volcanic phenomena was revealed, whether due to their intrinsic characteristics or to external factors that can inject additional difficulties for decision-makers. Furthermore, the importance of the interaction between the various sides involved in mitigating volcanic risk was clear, as was the importance of effective communication between them. It was also possible to highlight the crucial relationship between scientists, responsible for monitoring and disseminating information about the state of activity of volcanic systems, and civil protection

authorities, responsible for implementing response actions and mitigation measures to volcanic risk. The reference to the Azorean civil protection system allowed us to understand the responsibilities and roles attributed to the main participants involved in responding to a volcanic crisis in the Azores.

After developing the scenario, which included the definition of the expected moments for changes in volcanic scientific alert levels, a discussion began on the most appropriate operational response to attend the scientific information. The result of this exercise demonstrated that the civil protection response must correspond to a gradual, careful process and indicated the need for an adjusted interpretation of the situation that results, consequently, from the translation of scientific information. In fact, it was possible to conclude that the most effective civil protection actions in mitigating volcanic risk are not immediate, as they require progressive preparation of the civil protection system which, for this purpose, must act on the changes detected by scientists from the lowest volcanic alert level. This work also made it possible to establish a link between each scientific volcanic alert level and the set of response actions and mitigation measures to be developed by the civil protection. However, it was possible to recognize the complexity and uncertainty inherent to these phenomena which, combined with the essentially political nature of decisions that entail high socioeconomic costs, make the management of volcanic crises in any civil protection system a particularly demanding challenge.

**Keywords:** Volcanology; Geological Risks; Civil Protection; Emergency Planning; Fogo Volcano.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. ENQUADRAMENTO

As erupções vulcânicas, em particular, as que demonstram um comportamento mais explosivo, constituem uma das ameaças naturais mais notáveis à humanidade, existindo vários exemplos na sua história que comprovam a capacidade destruidora destes fenómenos, através dos impactos provocados (Papale & Marzocchi, 2019; De Natale *et al*, 2020). Uma erupção vulcânica é, geralmente, precedida por sinais que refletem a reativação do sistema e, habitualmente, estão associados ao despoletar de uma situação de instabilidade que normalmente é designada por crise vulcânica ou sismovulcânica. No entanto, sendo o produto de uma análise assente, maioritariamente, em dinâmicas não observáveis diretamente, o processo de predição vulcânica representa um acentuado desafio para os cientistas incumbidos desta tarefa.

Efetivamente, as crises vulcânicas apresentam vários desafios peculiares tanto para os cientistas, como também para as autoridades responsáveis pela segurança da população. De entre estas, desde logo se destaca a incerteza ou imprevisibilidade associada ao longo da crise (Doyle *et al.*, 2014, 2015), salientando-se a própria duração da crise que pode ir de dias até anos; o pouco conhecimento e a inexperiência a lidar com vulcões que apresentam longos períodos de recorrência, superiores ao tempo da vida humana (Solana *et al.*, 2008); e o facto de as autoridades terem que tomar decisões com base em probabilidades e não certezas, que é ampliado pelo potencial de uma erupção vulcânica originar uma diversidade de perigos diretos ou indiretos (Marzocchi *et al.*, 2012).

A estas complexidades inerentes, acrescem outros fatores, como as apreciações divergentes que podem resultar das incertezas na interpretação científica dos processos vulcânicos, sendo um processo intrinsecamente multidisciplinar; a imperícia das autoridades para decidir com base em cenários probabilísticos; a necessidade acentuada dos meios de comunicação social em gerar polémicas, suportando-se em figuras que aproveitam a visibilidade dos *media* para opinar (pseudocientistas) (Blong, 1984b; Nakada *et al.*, 2019); e a perceção desapropriada do risco vulcânico por parte da maioria da população, relativamente às ameaças a que está exposta, contribuem para amplificar a dificuldade de gerir crises vulcânicas (Gaspar, 2004).

Durante uma crise vulcânica, a interação entre os vários intervenientes é essencial para a mitigação do perigo vulcânico e a eficácia da comunicação entre estes é decisiva para o sucesso

ou insucesso da gestão da própria crise (Marzocchi *et al.*, 2012; Jolly & de la Cruz, 2015; Papale, 2021). De entre as várias sinergias estabelecidas, a relação cientistas-proteção civil é uma das mais críticas para a gestão eficaz de uma crise vulcânica (Marzocchi *et al.*, 2012; Dolce & Di Bucci, 2015; Newhall *et al.*, 2021; Marzocchi *et al.*, 2021), e quanto melhor for o entendimento entre tais atores, mais eficientes e adequadas serão as ações de resposta e medidas de mitigação que permitem salvaguardar pessoas, bens e restantes elementos vulneráveis, objetivo principal dos responsáveis pela tomada de decisão. Pelo contrário, uma articulação deficiente entre estes durante uma crise pode resultar em graves problemas a nível social, económico e político (Gaspar, 2004; Graham *et al.*, 2022).

Além de uma comunicação eficaz entre cientistas e autoridades, é fundamental que se preserve uma distinção clara dos papéis atribuídos a cada um durante a completude da crise e, para tal, é determinante que as responsabilidades de cada um estejam bem definidas e descritas nos instrumentos legislativos adequados (Marzocchi *et al.*, 2012; Jolly & de la Cruz, 2015; Papale, 2021; Lowenstern *et al.*, 2022).

De facto, são vários os exemplos de sucesso e de insucesso relacionados com a gestão de crises vulcânicas e que permitem averiguar os principais fatores que contribuem para o desfecho de uma crise vulcânica, normalmente, mensurado através das vidas humanas perdidas, bens materiais destruídos e consequências socioeconómicas resultantes. De forma geral, o sucesso na gestão das crises vulcânicas está relacionado com o suporte de sistemas de monitorização adequados, formas eficazes de aviso e alerta, sistemas de proteção civil apropriados e devidamente preparados, incluindo, a existência de planos de emergência adequados e executáveis. Já o insucesso, geralmente, sucede de fenómenos geológicos pouco comuns, devido à imprevisibilidade dos processos naturais, à carência ou incapacidade de sistemas de monitorização, aviso e alerta e da falta de preparação na implementação de respostas ajustadas e/ou de deliberações negligentes por parte dos decisores políticos (Gaspar, 2004).

No último par de anos, alguns eventos relacionados com fenómenos ou prováveis processos vulcânicos contribuíram para despertar a atenção da população para o risco vulcânico nos Açores. Em primeiro lugar, pode-se referir a erupção em La Palma, no arquipélago das Canárias (setembro de 2021) que, talvez pela proximidade e similaridade dos contextos geológicos e/ou pela extensa cobertura mediática que se assistiu sobre esta situação no país vizinho, incitou uma ligeira repercussão e atenção sobre o perigo vulcânico nos Açores, pelo menos nas faixas mais interessadas e atentas da sociedade. Em segundo lugar, cerca de seis meses depois, o surgimento da crise sismovulcânica na ilha de São Jorge (março de 2022) despoletou uma nova

atenção, desta vez, quase geral na população açoriana para o risco vulcânico que, anteriormente, pouco ou nada se verificava (percepção do risco vulcânico desajustada).

Contudo, apesar destes acontecimentos terem despertado um sentido de alerta sobre a possibilidade de ocorrer uma erupção na região, este não é um perigo recente no arquipélago dos Açores, onde já ocorreram pelo menos 28 erupções desde o seu povoamento (nos últimos 500 anos). Efetivamente, neste arquipélago existem 18 sistemas vulcânicos ativos subaéreos e alguns deles foram, inclusivamente, palco de outras crises sismovulcânicas recentes, sendo expectável que no futuro ocorram crises semelhantes que poderão ou não resultar numa erupção vulcânica. Assim como evidenciam as erupções históricas nos Açores, estes fenómenos ou os eventos relacionados com processos vulcânicos apresentam o potencial para provocar elevados prejuízos humanos, materiais, ambientais (Serreta, 1998-2001) e socioeconómicos à população açoriana (Capelinhos, 1956-57) (Gaspar *et al.*, 2001, 2015b).

O Vulcão do Fogo, ou Vulcão de Água de Pau, localizado na parte central da ilha de São Miguel, é um dos três vulcões centrais com caldeira ativos na ilha e onde já se registaram pelo menos seis erupções explosivas traquíticas nos últimos cinco mil anos (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005, 2015a; Gaspar *et al.*, 2015b), nomeadamente, Fogo A (pliniana), Pisão, Fogo B, Fogo C, Fogo D e 1563 D.C. (sub-plinianas). Atualmente, a zona central da ilha de São Miguel, que compreende a região entre o Vulcão do Fogo e o Sistema Vulcânico Fissural do Congro, é considerada uma das zonas sismogénicas mais sismicamente ativas dos Açores (Silva *et al.*, 2015; D'Araújo *et al.*, 2022). Efetivamente, nesta região já se verificaram várias crises sísmicas, resultado de processos relacionados com os sistemas hidrotermais e/ou reativações dos sistemas vulcânicos (*e.g.* 2005; 2011-2012; 2018) (Trotta, 2008; Silva *et al.*, 2015). Considerando o contexto e as características do Vulcão do Fogo, espera-se que uma crise vulcânica, originando ou não numa erupção, além de impactos severamente negativos a nível social e económico (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005, 2007, 2015a; Gaspar *et al.*, 2015b; Medeiros *et al.*, 2021), represente um desafio peculiar e verdadeiramente complexo na extensão das várias fases que integram o processo de gestão das crises vulcânicas.

No caso dos Açores, de acordo com o previsto no Plano Regional de Emergência de Proteção Civil dos Açores (PREPCA) e em documentos legislativos das respetivas entidades, o Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores (SRPCBA) é a autoridade responsável por orientar e coordenar as atividades de proteção civil na Região Autónoma dos Açores. Por outro lado, o Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), constituído pelo Governo Regional dos Açores e a Universidade dos Açores, através do Instituto de Investigação

em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), tem como missão assessorar técnica e cientificamente as autoridades de proteção civil para a mitigação dos riscos que possam colocar em causa a segurança de pessoas e bens. No âmbito da sua atividade, cabe aos cientistas do CIVISA/IVAR, a definição e divulgação dos alertas científicos face ao estado de atividade dos sistemas vulcânicos dos Açores, de acordo com a escala científica definida por Gaspar *et al.* (2012), para as restantes partes interessadas, incluindo os órgãos de proteção civil da região.

Segundo a informação disponibilizada pelo CIVISA, sabe-se que, à data da elaboração da presente dissertação, verificam-se duas crises sismovulcânicas em curso nos Açores, nomeadamente: no Sistema Vulcânico Fissural de Manadas (ilha de São Jorge), que se encontra em nível de alerta científico V2 e no Vulcão de Santa Bárbara (ilha Terceira), que também se apresenta em nível de alerta científico V2.

No âmbito da presente dissertação, é importante abordar certos aspetos relacionados com a crise sismovulcânica na ilha de São Jorge que se iniciou no dia 19 de março de 2022. Esta crise, anunciada na sequência do registo de atividade sísmica claramente acima dos valores normais de referência, localizada numa ilha e num sistema vulcânico que exibiam sismicidade quase nula nos últimos anos. O incremento repentino dos valores geofísicos, principalmente, atividade sísmica anómala que incluía vários eventos sentidos pela população naquela ilha e noutras do grupo Central, e a ligeira deformação crustal identificada, posteriormente, conduziram o CIVISA/IVAR a subir o nível de alerta científico vulcânico até V4 (ameaça de erupção), o último pré-eruptivo, no intervalo de quatro dias após o despoletar da instabilidade.

Este contexto, marcado por um incremento repentino na instabilidade, aliado ao facto da escala de alertas científicos ter sido raramente utilizada anteriormente na região, resultaram em dificuldades de interpretação do significado dos níveis de alerta científicos por parte dos técnicos e decisores da proteção civil, bem como a respetiva reflexão em termos operacionais. Apesar disso, a resposta à situação não se mostrou severamente afetada, tendo a proteção civil reagido prontamente a nível de prevenção e preparação face à possibilidade de erupção vulcânica e/ou sismo de maior magnitude. Efetivamente, na sequência dos primeiros sinais e da comunicação dos cientistas, procederam prontamente à definição de formas de apoio aos serviços municipais de proteção civil e à população afetada daquela ilha, verificando-se em poucos dias o estabelecimento de dispositivos e estruturas de emergência preparadas para acolher e assistir a população afetada no seguimento de uma possível catástrofe.

Neste caso concreto e até à data da elaboração da presente dissertação, a crise despoletada há mais de ano e meio, não consumou em erupção vulcânica, contudo, esta situação permitiu

identificar uma lacuna relevante no planeamento e procedimentos estabelecidos no âmbito do risco vulcânico, sustentada pelas dificuldades emergidas e reportadas em traduzir a informação científica, pelos elementos da proteção civil. Efetivamente, sendo que os níveis de alerta científicos consistem numa forma de comunicação adotada pelos cientistas e que continua a ser empregue ultimamente, torna-se necessário e urgente refletir sobre esta ligação ao analisar possíveis formas de corresponder os diversos níveis de alerta científicos às respostas de proteção civil, com a finalidade de mitigar este vazio numa região vulcanicamente ativa.

## 1.2. PERTINÊNCIA E OBJETIVOS

Apesar de já se averiguarem progressos nos últimos anos, que comportaram o suprimento de lacunas identificadas, o planeamento de emergência e de proteção civil nos Açores, mostra ainda muito potencial para evoluir. De facto, persistem ainda quadros legislativos desatualizados, ausência de regulamentação importante para orientar e regular as diversas atividades de proteção civil. Esta problemática mostra-se, principalmente, evidente: na ausência de adaptação das políticas de proteção civil nacionais (originando vazios na legislação adaptada à região); nos documentos legislativos antiquados e desajustados à realidade atual (alguns não são alterados há mais de uma década); na carência de diretivas operacionais gerais e/ou específicas adaptadas ao sistema regional; na inexistência de regulamentação para figuras e estruturas essenciais previstas na legislação existente; e como já era de se esperar, na ausência ou escassez de planeamento de emergência específico para determinados perigos existentes.

Efetivamente, apesar do vulcanismo ativo ser uma realidade presente nos Açores, o planeamento específico para o perigo vulcânico é escasso ou inexistente e, atualmente, a nível de proteção civil não existem procedimentos estabelecidos que devam ser desencadeados face aos níveis de alerta científico para a caracterização do estado de atividade sismovulcânica na região dos Açores, conforme definidos por Gaspar *et al.* (2012), como o evidenciou a crise sismovulcânica de São Jorge, descrita anteriormente.

Estas falhas aliadas à complexidade e aos níveis de exigência inerentes à gestão de crises vulcânicas, podem resultar em respostas inapropriadas por parte das autoridades de proteção civil. Assim, emerge a urgência e a necessidade em debater sobre este assunto, de forma a atenuar as lacunas identificadas no contexto da região, encetando pela comunicação entre cientistas e proteção civil, ao debater a interpretação ou tradução da informação científica em termos de ações operacionais. De facto, o sucesso das atividades de proteção civil,

normalmente, requer um planeamento ou, pelo menos, uma noção sobre os procedimentos apropriados a desencadear face a determinadas situações de emergência, respeitando um incremento gradual no estado de preparação operacional (Bignami *et al.*, 2013). Efetivamente, esta dinâmica, que depende de uma interpretação adequada da informação científica, é fundamental para uma gestão eficaz de crises vulcânicas por parte da proteção civil e dos decisores responsáveis pela salvaguarda das pessoas e outros elementos vulneráveis.

Assim, tendo em consideração esta importante lacuna a nível de planeamento de emergência nos Açores, pretende-se, com este trabalho, estabelecer um elo de ligação entre os níveis de alerta científico para a atividade sismovulcânica e as respetivas medidas de mitigação e ações de resposta a desencadear pela proteção civil, utilizando-se, para o efeito, o cenário mais provável para uma erupção vulcânica no Vulcão do Fogo.

De forma a concretizar o objetivo proposto anteriormente, optou-se por organizar a presente dissertação, dividindo-a em sete capítulos.

No primeiro, faz-se uma breve introdução ao tema que se pretende abordar, tal como o enquadramento, a relevância e os objetivos desta dissertação.

No segundo capítulo, pretende-se enquadrar o arquipélago dos Açores no que concerne a sua localização e o contexto geodinâmico, que justificam a sismicidade e o vulcanismo presente.

O terceiro capítulo procura enquadrar o Vulcão do Fogo na ilha de São Miguel, abordando a sua história eruptiva, os perigos vulcânicos, finalizando com a descrição de dois cenários eruptivos: o pior e o mais provável.

No quarto capítulo apresenta-se a identificação e caracterização dos elementos expostos presentes na região do Fogo e as vulnerabilidades aos principais perigos resultantes do cenário eruptivo selecionado.

Quanto ao quinto capítulo, na primeira parte, aborda-se alguns aspetos relacionados com a gestão de crises vulcânicas, com particular atenção à relação cientistas-proteção civil e na segunda parte, enquadra-se o sistema atual de proteção civil dos Açores, referindo os vários quadros legislativos que o regulam.

No sexto capítulo, após a descrição e o desenvolvimento do cenário de crise vulcânica a utilizar para o Vulcão do Fogo, discute-se sobre a resposta esperada e julgada mais adequada por parte da proteção civil face à subida e descida dos níveis de alerta científicos.

O sétimo e último capítulo, procura expor algumas considerações finais sobre a dissertação desenvolvida, apresentando para o efeito um quadro-resumo sobre a proposta de ações de

proteção civil à escala científica de níveis de alerta vulcânico e algumas recomendações ou sugestões a implementar com vista à prevenção e mitigação do perigo vulcânico nos Açores.

### 1.3. CONCEITOS GERAIS

#### 1.3.1. RISCO

O Risco pode ser definido como a possibilidade ou probabilidade de ocorrência de um fenómeno natural ou tecnológico (induzido pelo Homem) num determinado período e com determinada magnitude, incluindo a aferição dos custos económicos, ambientais ou perdas de vidas humanas resultantes. Portanto, o risco é entendido como a probabilidade de ocorrer um efeito específico gerador de danos às pessoas, bens, ambiente e restantes elementos (Fournier d'Albe, 1979; Blong, 2000; Zêzere *et al.*, 2006; Bignami *et al.*, 2013; Jolly & de la Cruz, 2015; Marzocchi *et al.*, 2021).

A avaliação quantitativa do risco pode ser obtida através do produto da perigosidade, pela vulnerabilidade e pelo valor dos elementos expostos, dividindo pela capacidade de resposta. Sendo assim, note-se que o risco pode ser mitigado através da diminuição em qualquer uma das componentes em numerador (sendo nulo, eliminando um destes), e/ou aumentando a capacidade de resposta que se encontra em denominador.

$$\text{RISCO} = \frac{\text{Perigosidade} \times \text{Vulnerabilidade} \times \text{Valor}}{\text{Capacidade de Resposta}}$$

A Perigosidade é entendida como a probabilidade de ocorrência (qualitativa ou quantitativamente) de um fenómeno com potencial de destruição, com uma determinada magnitude, num certo período de tempo e numa área definida. Consiste, assim, na existência de uma condição na qual um evento destruidor ou devastador pode ocorrer numa determinada área e intervalo de tempo (Peterson, 1996).

Os Elementos Expostos compreendem todos os bens ou ativos vulneráveis a um determinado perigo. Já a Vulnerabilidade, compreende o grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, habitualmente, manifestada numa escala de 0 (sem danos) a 1 (perda total), face à ocorrência de um fenómeno com determinada magnitude (Blong, 2000).

O Valor pode ser definido como a quantidade de vidas humanas, valor monetário (de terrenos, edifícios, etc.), ou capacidade produtiva (indústria, terrenos de cultivo, infraestruturas críticas, etc.) expostos a um determinado fenómeno perigoso (Fournier d'Albe, 1979).

Finalmente, a Capacidade de Resposta abrange o conjunto de medidas ou ações cujo propósito incide na mitigação da vulnerabilidade e/ou o aumento da resiliência das comunidades expostas na reação a um evento destruidor (Bignami *et al.*, 2013).

### 1.3.2. CICLO DA GESTÃO DE CATÁSTROFES/CRISES

No âmbito da presente dissertação, deve-se ainda referir o ciclo da gestão de catástrofes ou ciclo da gestão de crises, abordando o conceito de cada fase. Este ciclo consiste numa sequência de eventos antes, durante e depois de um desastre, onde os intervenientes, respetivamente, adotam medidas preventivas e se preparam com o intuito de mitigar o risco, reagem ao evento e recuperam das consequências do desastre.

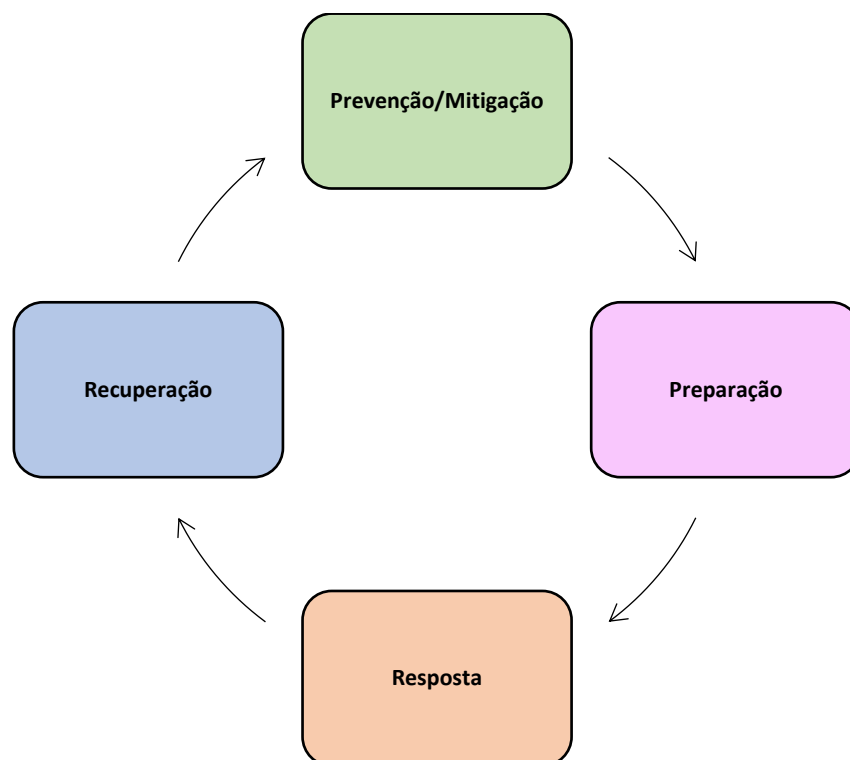


Figura 1.1 - Fases do Ciclo de Gestão de Catástrofes/Crises.

A fase de prevenção ou mitigação integra as atividades relacionadas com a redução do impacto de uma futura catástrofe, isto é, o desenvolvimento de ações e medidas que minimizem ou eliminem o risco de uma catástrofe que afete os elementos vulneráveis (análise de vulnerabilidades, definição de códigos de construção, educação da população, etc.).

Já a preparação pode ser definida como um estado de prontidão para agir ou enfrentar a ocorrência de um fenómeno com potencial destruidor, incluindo o planeamento de emergência para responder a situações futuras. Esta fase envolve ainda as atividades de ajustar a perceção do risco por parte dos intervenientes, incluindo os potenciais impactos e as ações de planeamento de emergência e de desenvolvimento de planos de resposta.

A resposta é a fase do ciclo em que são exigidas ações para mitigar o risco e que devem ser implementadas pelos envolvidos de forma a reagir à situação e minimizar os impactos da situação já despoletada. Nesta fase, as ações desenvolvidas devem visar a salvaguarda e o socorro da população, mitigando os danos e consequências de uma catástrofe.

A recuperação é o período após o desastre, quando são necessárias ações e medidas de forma a reabilitar ou restabelecer a comunidade a um estado de normalidade ou nova normalidade. Nesta fase, os esforços das autoridades apontam no sentido de restabelecer as condições normais de vida às comunidades afetadas, repondo o funcionamento de atividades, serviços e, quando aplicável, o retorno da população.

## 2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

O arquipélago dos Açores, uma das regiões autónomas de Portugal, localiza-se entre as latitudes 37° e 40° N e as longitudes 25° e 31° W (Figura 2.1). Situado no Oceano Atlântico Norte, este arquipélago é constituído por nove ilhas de origem vulcânica distribuídas ao longo de uma faixa de cerca de 600 km em longitude, com direção WNW-ESE, e de 310 km em latitude. Estas ilhas encontram-se repartidas, geograficamente, em três grupos: o Grupo Ocidental, constituído pelas ilhas do Corvo e das Flores; o Grupo Central, que inclui as ilhas Graciosa, Terceira, São Jorge, Faial e Pico; e o Grupo Oriental, formado pelas ilhas de São Miguel e Santa Maria e os ilhéus das Formigas.

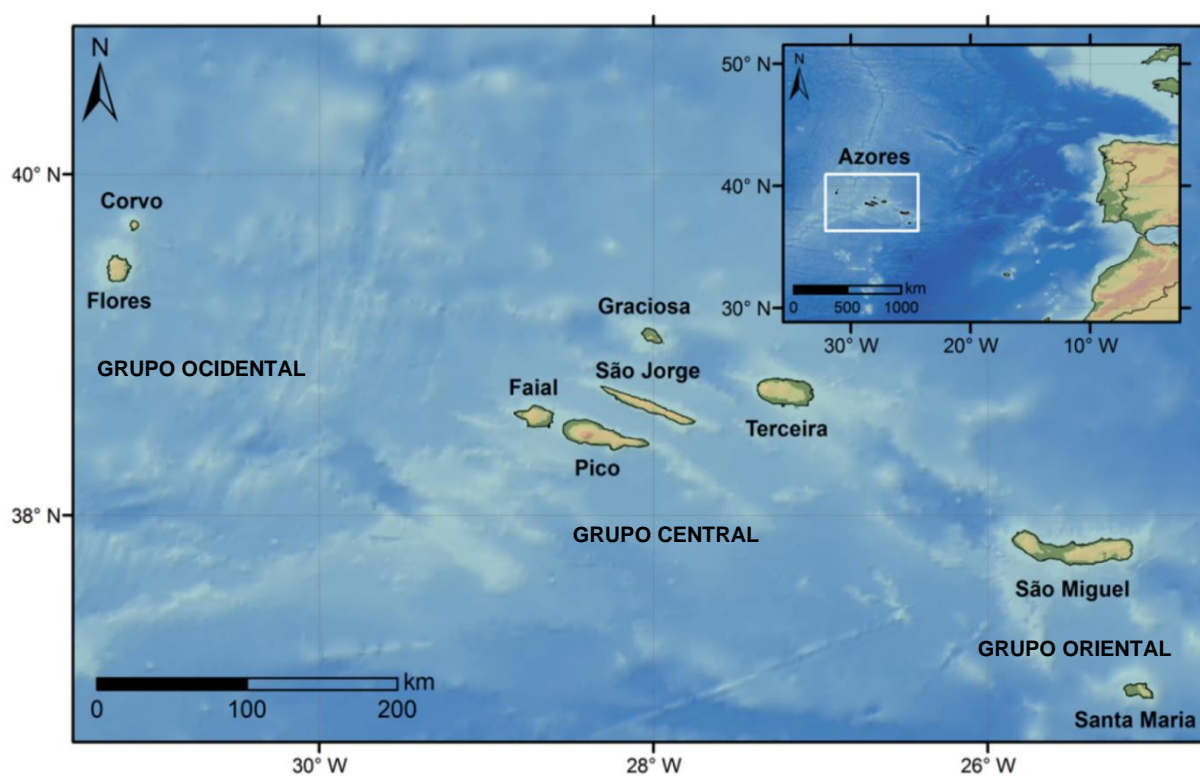
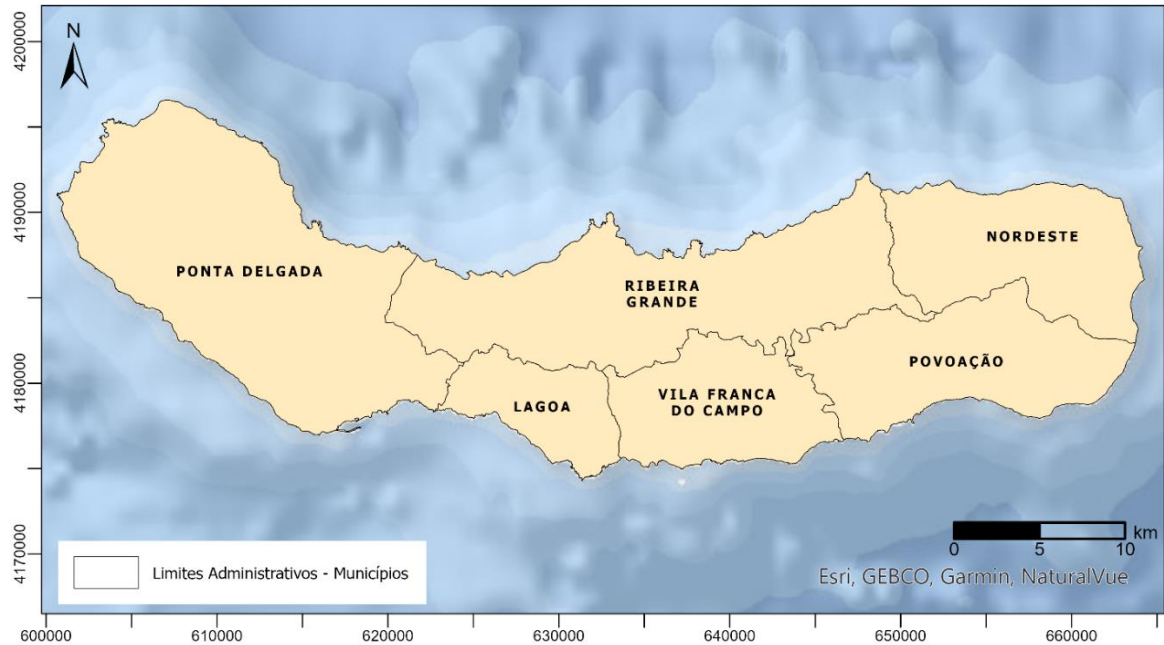


Figura 2.1 - Localização do arquipélago dos Açores e ilhas (adaptado de Marques *et al.*, 2015).

A ilha de São Miguel localiza-se entre as latitudes 37°42' e 37°54' N e as longitudes 25°51' e 25°08' W (Figura 2.1). A ilha apresenta cerca de 746 km<sup>2</sup> de área, 65 km de comprimento e 16

km de largura máximos, dispendo-se numa direção E-W. São Miguel é a maior e mais populosa ilha do arquipélago.



**Figura 2.2** - Localização da ilha de São Miguel, com os limites administrativos dos municípios. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

A presente dissertação incide sobre a parte central da ilha de São Miguel, onde se localiza o Vulcão do Fogo, que ocupa parte da área administrativa de três municípios distintos: Ribeira Grande, Vila Franca do Campo e Lagoa (Figura 2.2).

## 2.2. ENQUADRAMENTO GEODINÂMICO

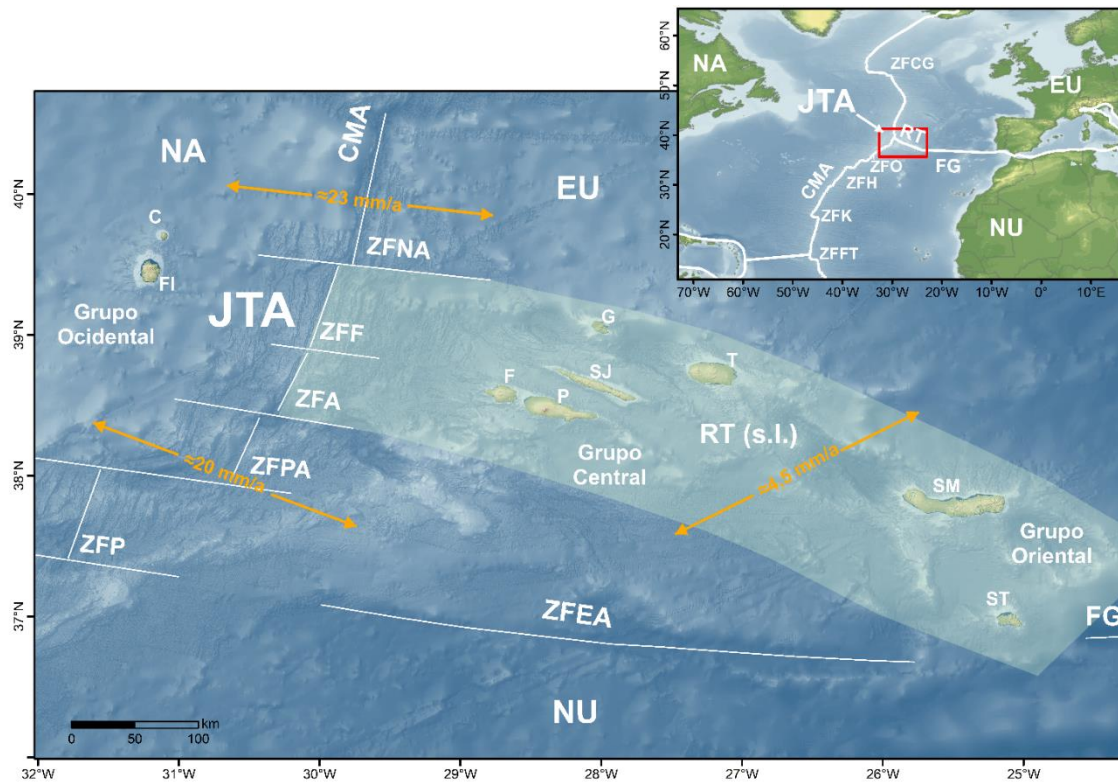
As ilhas dos Açores emergem da Plataforma dos Açores (PA), que consiste numa região de forma aproximadamente triangular, destacada dos fundos oceânicos, e que é limitada pela curva batimétrica dos 2000 metros (Needham e Francheteau, 1974). Do ponto de vista tectónico, os Açores encontram-se numa junção tripla de placas litosféricas, designada por Junção Tripla dos Açores (JTA), onde se verifica o contacto entre as Placas Norte Americana (NA), Euroasiática (EU) e Núbia (NU) (Figura 2.3).

Dado este enquadramento peculiar, a região é marcada pela presença de várias estruturas tectónicas relevantes, das quais se destacam: a Crista Média Atlântica (CMA), a Zona de Fratura Açores-Gibraltar (ZFAG), incluindo o *Rift* da Terceira (RT) (*s.l.*) e a Falha Gloria (FG), e a Zona de Fratura Este dos Açores (ZFEA) (Figura 2.3). As ilhas do Grupo Ocidental encontram-se na placa NA, já as ilhas dos Grupos Central e Oriental situam-se no setor ocidental da Zona de Fratura Açores-Gibraltar.

A Crista Média Atlântica separa a placa NA das placas EU e NU, é uma estrutura marcada por um comportamento distensivo puro, sendo muito ativa sísmica e vulcanicamente (Pacheco *et al.*, 2013).

A Zona de Fratura Açores-Gibraltar, que consiste na fronteira entre as placas EU e NU, prolonga-se desde a CMA até à região de Gibraltar e inclui três setores com direções e comportamentos distintos. O *Rift* da Terceira (*s.l.*), que corresponde ao segmento ocidental da ZFAG, é uma estrutura difusa marcada por um regime transtensivo direito (*e.g.* Miranda *et al.*, 2015; Carmo, 2013; Carmo *et al.*, 2015), resultante das diferentes taxas de expansão a N e S da JTA (*e.g.* Laughton e Whitmarsh, 1974; Fernandes *et al.*, 2003; Carmo, 2013; Carmo *et al.*, 2015). A Falha Gloria corresponde ao setor central da ZFAG e apresenta um comportamento de desligamento direito puro, sendo marcada por sismicidade com eventos de magnitude elevada (*e.g.* Laughton *et al.*, 1972).

A Zona de Fratura Este dos Açores, que limita a S a Plataforma dos Açores, é uma estrutura inativa, que terá correspondido à antiga fronteira entre as placas EU e NU (Laughton e Whitmarsh, 1974; Gaspar *et al.*, 2015a), e apresenta atividade sísmica quase nula.



**Figura 2.3** - Enquadramento tectónico dos Açores, com as principais estruturas morfotectónicas (modificado de Silva *et al.*, 2020). **Placas Litosféricas:** NA - Placa Norte-Americana; EU - Placa Euroasiática; NU - Placa Núbia. **Estruturas Tectónicas:** JTA – Junção Tripla dos Açores; CMA - Crista Média Atlântica; ZFCG – Zona de Fratura Charlie-Gibbs; ZFO – Zona de Fratura Oceanographer; ZFH – Zona de Fratura Hayes; ZFK – Zona de Fratura Kane; ZFFT – Zona de Fratura 15°20'; RT - Rift da Terceira (s.l.); ZFEA - Zona de Fratura Este dos Açores; FG - Falha Gloria; ZFNA – Zona de Fratura Norte dos Açores; ZFF – Zona de Fratura do Faial; ZFA – Zona de Fratura Açor; ZFPA; Zona de Fratura Princesa Alice; ZFP – Zona de Fratura do Pico; **Ilhas:** ST – Santa Maria; SM – São Miguel; T – Terceira; SJ – São Jorge; P – Pico; F – Faial; G – Graciosa; FI – Flores; C – Corvo. Batimetria do arquipélago e mundial de GEBCO\_08 (2010).

Localizada na região SE do *Rift* da Terceira, a ilha de São Miguel, é altamente condicionada pela tectónica regional ditada por esta estrutura. A deformação a que a ilha está sujeita revela-se através de várias falhas ativas que, por sua vez, se encontram bem representadas por importantes escarpas de falhas ou alinhamento de estruturas vulcânicas (*e.g.* cones de escórias) nas zonas de vulcanismo fissural. De facto, apesar da orientação da própria ilha não o demonstrar, as estruturas tectónicas da ilha mostram uma orientação dominante NW-SE a WNW-ESE, coincidente com a orientação de carácter regional (Carmo, 2013; Carmo *et al.*, 2015).

Por fim, importa referir que o vulcanismo na região é controlado pela tectónica, mais concretamente, ao longo de falhas e fraturas no caso do vulcanismo fissural e na intersecção dos principais sistemas de falhas no caso dos vulcões poligenéticos (Carmo, 2013; Carmo *et al.*, 2015).

### 2.3. SISMICIDADE E VULCANISMO

Como consequência do enquadramento geodinâmico, a região tem vindo a registar intensa atividade sísmica e atividade vulcânica marcante (e.g. Carmo, 2013; Pacheco *et al.*, 2013; Miranda *et al.*, 2015; Gaspar *et al.*, 2015a; Gaspar *et al.*, 2015b), que se verificam, principalmente, ao longo da Crista Média Atlântica e do *Rift* da Terceira (s.l.) (Wallenstein, 1999; Silva *et al.*, 2020). Inclusivamente, ao longo da história dos Açores, são vários os exemplos de eventos que provocaram elevados prejuízos e marcaram a população açoriana.

A sismicidade dos Açores é caracterizada por eventos de magnitude baixa a moderada, de origem tectónica ou associada a processos vulcânicos (Carmo, 2013), marcada por eventos pontuais com magnitude superior a 5 (Richter) (Pacheco *et al.*, 2013). Esta atividade localiza-se, sobretudo, ao longo das estruturas tectónicas mencionadas anteriormente e, particularmente, no limite das placas litosféricas (Pacheco *et al.*, 2013; Gaspar *et al.*, 2015a; Silva *et al.*, 2020) (Figura 2.4). De entre as várias zonas marcadas pela elevada sismicidade, destaca-se, no âmbito do presente estudo, a zona central da ilha de São Miguel, que inclui o Vulcão do Fogo e o Sistema Vulcânico Fissural do Congro (Silva *et al.*, 2015).

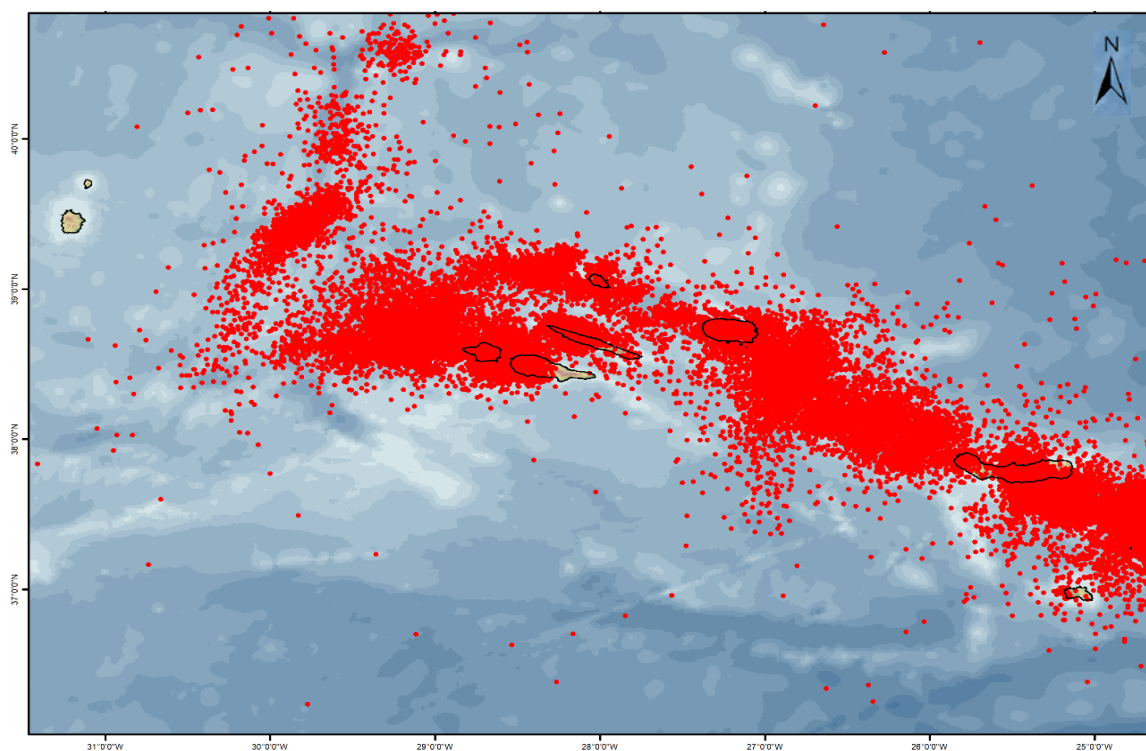


Figura 2.4 - Sismicidade registada nos Açores de 1980 a 2022 (IVAR/CIVISA).

Desde o seu povoamento, no século XV, os Açores têm sido palco de várias crises sísmicas e sismos destruidores. Mais concretamente, segundo Gaspar *et al.* (2015a), já se registaram 31 sismos destruidores, alguns destes relacionados com atividade vulcânica, responsáveis por várias mortes e conseqüências marcantes na história da região. Já Pacheco *et al.* (2013) destaca a ocorrência, desde o povoamento, de 25 sismos sentidos com intensidade superior a VII (Escala de Mercalli Modificada, MM-56) e várias crises sísmicas de natureza vulcanotectónica, sejam associadas a erupções vulcânicas ou à instalação de corpos magmáticos subsuperficiais.

Dos eventos sísmicos históricos (Figura 2.5), há que mencionar devido à sua dimensão o de 1757 perto de São Jorge, o de 1939, a ENE de Santa Maria, e o de 1980 entres as ilhas Terceira, São Jorge e Graciosa, todos com magnitude superior a 7 (Richter). Para além destes, deve-se destacar o sismo de 1522 em Vila Franca do Campo, cuja magnitude pode ter atingido 6,7 (Carmo, 2013), por ter sido o evento sísmico que despoletou o maior número fatalidades e o mais antigo sismo destruidor de que há registo na história da região. O sismo de 1998 no Faial consiste no evento destruidor mais recente da história do arquipélago (Gaspar *et al.*, 2015a).

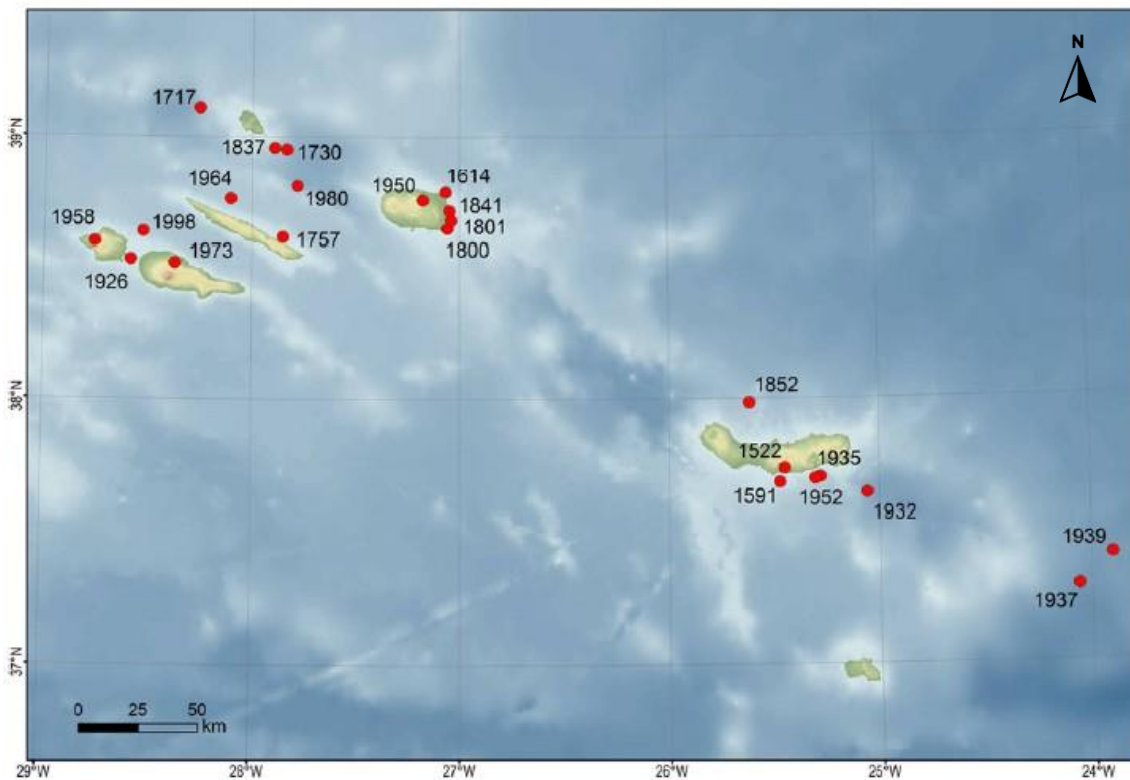


Figura 2.5 - Localização dos principais sismos destruidores nos Açores, desde o povoamento (Gaspar *et al.*, 2015a).

De acordo com Gaspar *et al.* (2015a), o número total de fatalidades resultantes de atividade sísmica nos Açores ronda os 6.300 (incluindo causas diretas e indiretas). Além disso, milhares de pessoas ficaram feridas e verificaram-se danos significativos nos edifícios e infraestruturas básicas, resultando em prejuízos económicos avultados. A título de exemplo, o autor menciona os custos estimados dos sismos de 1980 e de 1998, que foram de 125 e 300 milhões, respetivamente (utilizando os valores das respetivas épocas).

Assim como a sismicidade, a atividade vulcânica incide, principalmente, ao longo do eixo NW-SE. No arquipélago dos Açores existem 18 sistemas vulcânicos ativos subaéreos, alguns destes foram, inclusivamente, palco de crises sismovulcânicas recentes e/ou erupções desde o povoamento da região, no século XV. No que concerne às erupções históricas (Figura 2.6), os Açores contam com pelo menos 28, incluindo eventos submarinos (13) e eventos subaéreos (15), com uma variedade de estilos eruptivos e magnitudes (Pacheco *et al.*, 2013; Gaspar *et al.*, 2015a). Desde o povoamento, verificaram-se erupções nas ilhas do Pico, Faial, São Jorge, Terceira e São Miguel. A primeira erupção histórica remonta até à própria altura do povoamento e refere-se à erupção de 1439-1443 no vulcão das Furnas, já a mais recente diz respeito à erupção submarina da Serreta, entre 1998 e 2001, ao largo da ilha Terceira (Gaspar & Wallenstein, 1999; Gaspar *et al.*, 2015a).

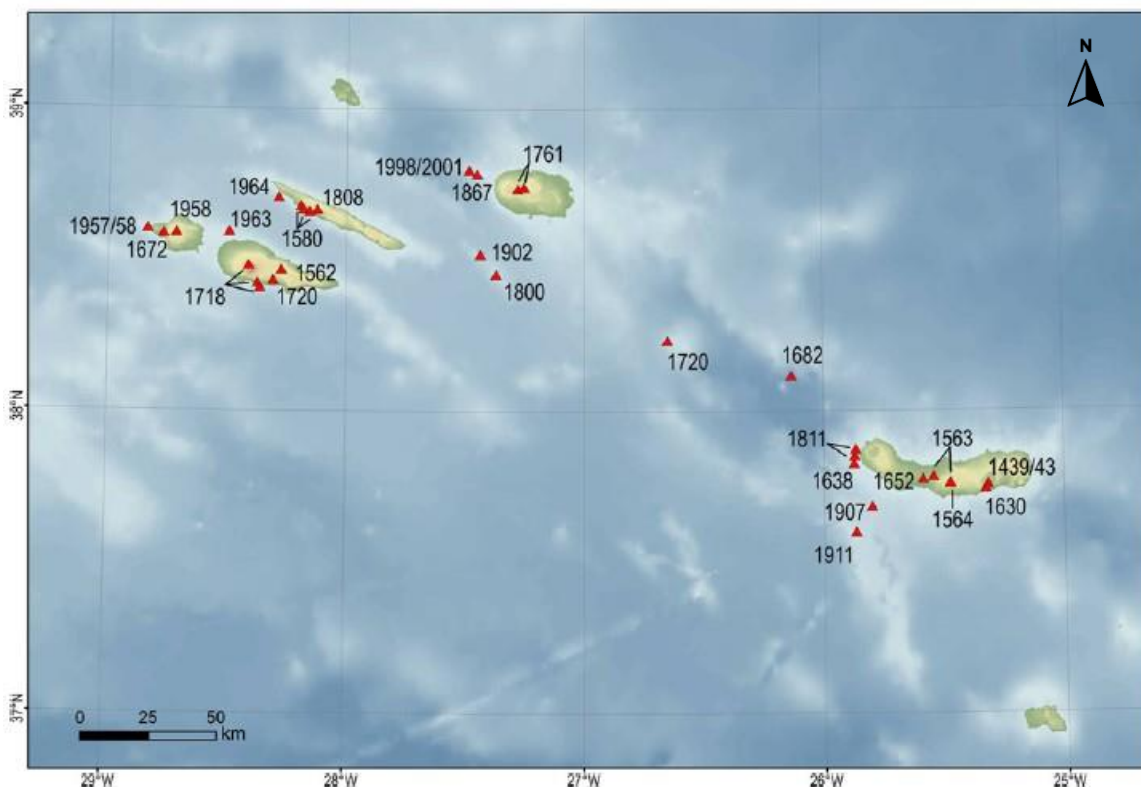


Figura 2.6 – Localização das erupções vulcânicas históricas nos Açores (Gaspar *et al.*, 2015a).

Nos sistemas vulcânicos fissurais, as erupções subaéreas demonstraram tipos eruptivos efusivos ou moderadamente explosivos, de estilos havaiano e estromboliano e de natureza basáltica (*s.l.*). Em relação aos vulcões centrais, as suas erupções caracterizam-se pelos tipos eruptivos explosivos, de estilos sub-pliniano, por vezes com carácter hidromagmático, de composição traquítica (*s.l.*) (Pacheco *et al.*, 2013; Gaspar *et al.*, 2015a).

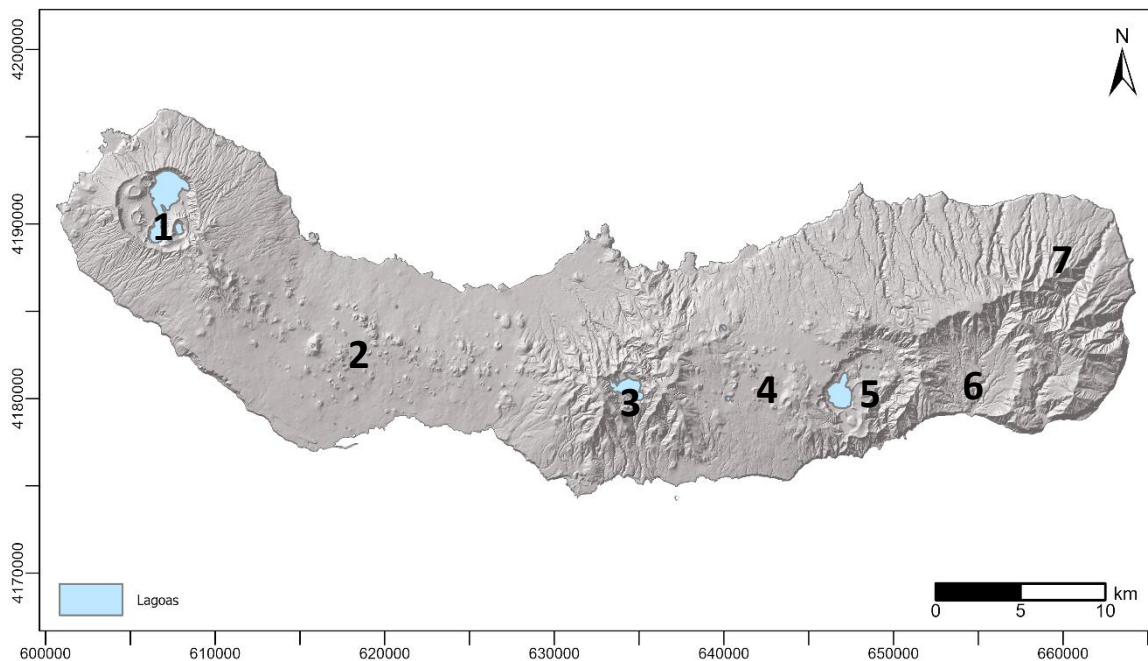
De acordo com Gaspar *et al.* (2015b), as erupções vulcânicas e respetivos fenómenos associados já provocaram cerca de 250 vítimas mortais nos Açores. Apesar de, comparado com outros perigos geológicos nos Açores, este número ser relativamente baixo, deve-se destacar o relevante impacto social e económico resultante destes eventos. Como exemplo, o referido autor destaca a erupção do vulcão dos Capelinhos em 1957-58, onde se observou uma grande onda de emigração e a destruição de vários terrenos agrícolas e edifícios.

A ilha de São Miguel foi palco de 11 das 28 erupções históricas referidas anteriormente, sendo que três delas foram no Vulcão do Fogo (duas em 1563 e uma em 1564). Já em relação aos últimos 5.000 anos, este vulcão, que domina a parte central da ilha, foi palco de pelo menos seis erupções explosivas traquíticas, cinco sub-plinianas e uma pliniana (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015a; Gaspar *et al.*, 2015b). As erupções referidas serão abordadas mais detalhadamente no capítulo referente à história eruptiva do Vulcão do Fogo.

## 3. VULCÃO DO FOGO

### 3.1. NOTA PRÉVIA

Dos sete sistemas vulcânicos que compõem a ilha de São Miguel (Figura 3.1), cinco deles encontram-se ativos, nomeadamente, três vulcões centrais: o Vulcão das Sete Cidades (1), o Vulcão do Fogo (3) e o Vulcão das Furnas (5) e duas regiões marcadas por vulcanismo fissural: o Sistema Vulcânico Fissural dos Picos (2) e Sistema Vulcânico Fissural do Congro (4). O Vulcão da Povoação (6) e o Sistema Vulcânico do Nordeste (7) encontram-se extintos.



**Figura 3.1** - Sistemas vulcânicos da ilha de São Miguel. 1 - Vulcão das Sete Cidades; 2 - Sistema Vulcânico Fissural dos Picos; Vulcão do Fogo; 4 - Sistema Vulcânico Fissural do Congro; 5 - Vulcão das Furnas; 6 - Vulcão da Povoação; 7 - Sistema Vulcânico do Nordeste. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

### 3.2. CARACTERIZAÇÃO

O Vulcão do Fogo, ou maciço de Água de Pau, situa-se na parte central da ilha de São Miguel. O Vulcão do Fogo é o maior dos três vulcões centrais ativos da ilha de São Miguel, apresentando uma área aflorada de 133 km<sup>2</sup>, um diâmetro basal médio de 13 km e uma altitude máxima de 947 m. Este edifício vulcânico é limitado a norte e sul pelo Oceano Atlântico e a oeste e este pelo Sistema Vulcânico Fissural dos Picos e o Sistema Vulcânico Fissural do Congro, respetivamente.

O maciço do Fogo é um vulcão poligenético com caldeira constituído por acumulação de depósitos vulcanoclásticos e escoadas lávicas (Wallenstein, 1999). A sua caldeira, formada e moldada por sucessivas explosões/colapsos e pela erosão, ocupa cerca de 4,8 km<sup>2</sup> de área e tem um diâmetro máximo de 3,2 km. Esta depressão encontra-se preenchida, em grande parte, pela Lagoa do Fogo, que apresenta cerca de 1,5 km<sup>2</sup> de área (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005; Wallenstein *et al.*, 2015a).

Ao longo dos seus flancos verificam-se declives que variam entre os 3° (na base) e os 13° - 24° (topo) (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015a). A paisagem do maciço do Fogo é caracterizada pela presença de linhas de água profundas, que surgem na densa cobertura de depósitos piroclásticos traquíticos (*s.l.*) (Figura 3.2). A distribuição e orientação das mesmas evidenciam um controlo estrutural predominante (NW-SE a NNW-SSE), facto que é mais evidente devido à presença de vales profundamente encaixados na parte superior. A orientação da tectónica regional está patente no flanco norte, através do alinhamento de cones de escórias, domos, linhas de água e da sismicidade. Em relação à linha de costa que limita o maciço, tanto a norte como a sul, esta encontra-se muito variada, sendo possível observar desde arribas com mais de 100 metros a arribas com poucos metros de altura (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015a).



Figura 3.2 - Paisagem do Vulcão do Fogo (Wallenstein *et al.*, 2015a).

### 3.3. HISTÓRIA ERUPTIVA

O Vulcão do Fogo conta com uma história eruptiva de mais de 200.000 anos (Muecke *et al.*, 1974) e com uma estratigrafia muito complexa, que será sempre incompleta devido à inacessibilidade de grande parte dos seus depósitos (Wallenstein, 1999). Wallenstein (1999) definiu duas unidades estratigráficas principais: o Grupo Superior e o Grupo Inferior.

O Grupo Inferior compreende os produtos emitidos antes da formação da caldeira, até há cerca de 40.000 anos. Neste grupo consta a construção da montanha submarina, a base do Vulcão do Fogo, que se terá formado por sucessivas escoadas lávicas basálticas (*s.l.*) emitidas a partir de centros monogenéticos. Após esta fase de vulcão em escudo, terão sido produzidos piroclastos submarinos como resultado de fases explosivas surtseianas. Já num domínio subaéreo, identificaram-se três sequências separadas por unidades piroclásticas (Muecke *et al.*, 1974). Embora com predominância de escoadas lávicas basálticas em cada uma delas, a presença de materiais de natureza traquítica (*s.l.*) aponta para a existência de processos de diferenciação magmática no reservatório. Quanto à base aflorante deste Grupo, destacam-se as escoadas lávicas e domos traquíticos (*s.l.*), que podem ser encontrados no sopé e nas arribas a norte e sul do vulcão. A estes sobrepõem-se sequências de depósitos vulcaniclásticos, como importantes depósitos piroclásticos de queda e de fluxo, intercalados por escoadas lávicas traquíticas (*s.l.*) (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015a).

O Grupo Superior, constituído pelos produtos emitidos nos últimos 40.000 anos, é caracterizado pela existência de episódios eruptivos explosivos, com fases marcantes dos estilos Pliniano e sub-Pliniano, que contribuiram para a modelação da morfologia atual do maciço. Wallenstein (1999) dividiu este Grupo em duas unidades: o período ante-Fogo A, que engloba as sequências eruptivas dos flancos norte e sul, formadas há mais de cinco mil anos, e o período Pós-Fogo A, mais recente, onde se insere a sequência eruptiva da Lagoa do Fogo.

No âmbito do presente trabalho, destaca-se a atividade registada no Vulcão do Fogo nos últimos cinco mil anos, uma vez que se encontra mais bem estudada e é fundamental para compreender o comportamento atual do vulcão e os respetivos perigos existentes (Wallenstein *et al.*, 2015a). Neste vulcão já se registaram pelo menos seis erupções explosivas traquíticas nos últimos cinco mil anos (Tabela 3.1) (Gaspar *et al.*, 2015b; Wallenstein *et al.*, 2015a), nomeadamente, Pisão, Fogo A, Fogo B, Fogo C, Fogo D e 1563 D.C., todas de estilo sub-Pliniano, com exceção da erupção do Fogo A que foi de estilo Pliniano. Além dessas, para o mesmo intervalo de tempo, há o registo

de três erupções efusivas basálticas nos flancos do vulcão: o Pico de Nossa Senhora das Angústias (flanco sul), o Pico Arde e a erupção histórica do Pico do Sapateiro/Queimado (flanco norte).

**Tabela 3.1** - Estratigrafia simplificada do Vulcão do Fogo (últimos 5.000 anos), com indicação da direção dos produtos e o estilo eruptivo (adaptado de Wallenstein *et al.*, 2005).

IDADE (ANOS)	FLANCO N		FLANCO S	ESTILO ERUPTIVO
460	✓	1563 D.C.	✓	sub-Pliniano
500 - 3.000	✓	Fogo C e D	✓	sub-Pliniano
3.200	✓	Fogo B	✓	sub-Pliniano
4.600	✓	Fogo A	✓	Pliniano
4.760		Pisão	✓	sub-Pliniano

#### Formação do Pisão - 4.760 anos

Consistiu num evento eruptivo do tipo sub-Pliniano localizado no interior da caldeira. Terá marcado a reativação do vulcanismo intracaldeira, após um longo período de dormência, dando início a uma nova fase de atividade eruptiva explosiva de natureza traquítica. A sua coluna eruptiva muito estável deu origem a um depósito de *lapilli* pomítico homogéneo, observado no flanco sul. Terá originado também o cone de pedra pomes que se localiza próximo à parede norte no interior da caldeira (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005; Wallenstein *et al.*, 2015a).

#### Fogo A - 4.600 anos

Evento do tipo Pliniano localizado no interior da caldeira. Os produtos gerados apresentam grande dispersão pela ilha (vento fraco na altura). A erupção iniciou-se com carácter hidromagmático com explosões freatomagmáticas, seguidas de fases magmáticas intercaladas por breves fases hidromagmáticas. Na fase claramente magmática formou-se uma coluna eruptiva de dimensões plinianas. Ao longo da erupção, ocorreram frequentes colapsos parciais da coluna eruptiva, que deram origem a vários *surges*. O colapso final da coluna eruptiva resultou na formação de imponentes escoadas piroclásticas ao longo dos seus flancos, principalmente, através de paleovales. Em suma, esta erupção gerou cinzas e *lapilli* pomítico, depósitos de fluxo do tipo *surges* e escoadas piroclásticas (Walker & Croasdale, 1971; Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015a).

### Formação das Lombadas - Últimos 3.000 anos

Esta Formação compreende a atividade do vulcão nos últimos 3.000 anos e inclui as erupções do Fogo B, C e D, de natureza traquítica. Estes eventos terão sido marcados por atividade mista hidromagmática e magmática, que originaram depósitos pomíticos de cinzas finas e pedra pomes de queda. A erupção do Fogo B (3.242 anos), ao contrário das restantes que se centraram no interior da caldeira, localizou-se no flanco norte, a 3,1 km da Lagoa do Fogo. Os piroclastos resultantes dessa erupção depositaram-se, principalmente, a norte e este (Figura 3.3) evidenciando a existência de ventos moderados a fortes de SW. Esta erupção, cuja coluna eruptiva terá sido pequena e instável, deu origem depósitos pomíticos de cinzas finas e *lapilli* pomítico de pequenas a grandes dimensões. O colapso da coluna eruptiva, na fase final, contribuiu para a formação de depósitos do tipo *surge*. A erupção do Fogo C terá tido predominantemente carácter hidromagmático, já a do Fogo D terá apresentado um comportamento, maioritariamente, magmático com algumas explosões hidromagmáticas (Booth *et al.*, 1978; Wallenstein, 1999) (Figura 3.4).

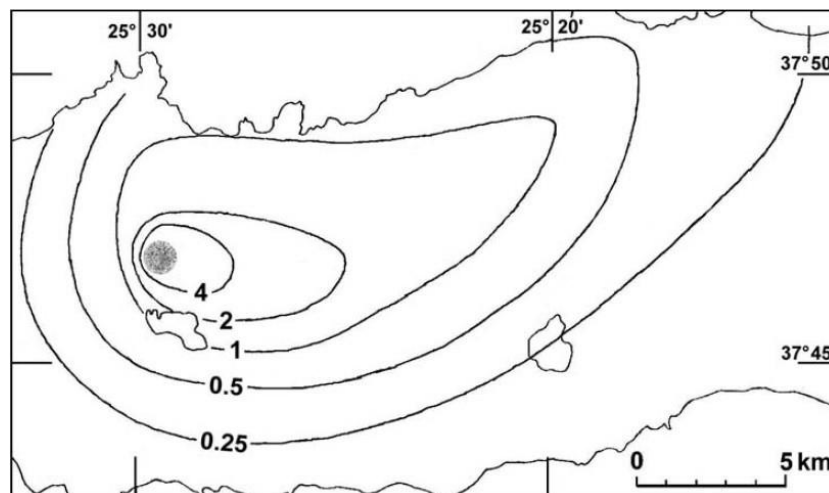


Figura 3.3 - Mapa de isopacas da erupção do Fogo B (em metros) (Booth *et al.*, 1978; in Wallenstein, 1999).

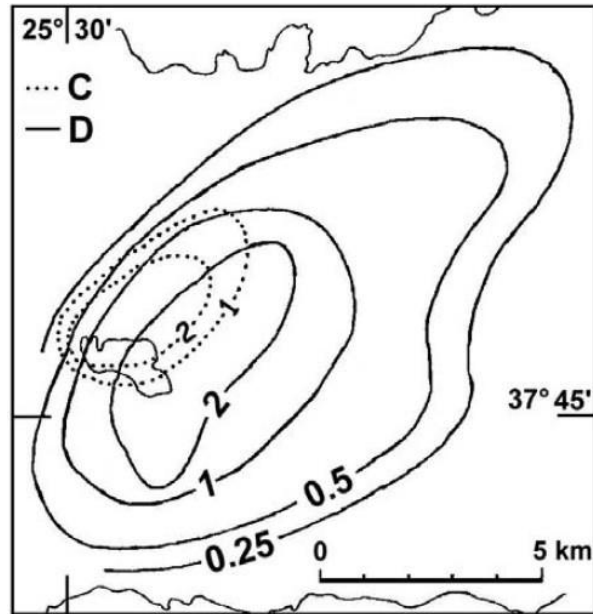


Figura 3.4 - Mapa de isopacas das erupções do Fogo C e do Fogo D (valores em metros) (Booth *et al.*, 1978; in Wallenstein, 1999).

#### Erupções Históricas - Últimos 500 anos

Esta formação engloba as erupções ocorridas após o povoamento, no século XV, nomeadamente as duas erupções de 1563 e a provável erupção freática de 1564. A primeira erupção, de estilo sub-Pliniano, teve lugar no centro da caldeira e contou com uma fase hidromagmática e uma fase magmática. Esta erupção gerou a deposição assimétrica de cinzas e *lapilli* pomítico na parte oriental da ilha, devido aos ventos de WSW. Quatro dias depois, uma erupção efusiva basáltica, de estilo havaiano, iniciou-se no flanco norte, produzindo duas escoadas lávicas, escórias, bombas e *spatter*. Em 1564, no mesmo local da erupção explosiva de 1563, terão ocorrido várias explosões freáticas (Walker & Croasdale, 1971; Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015a).

### 3.4. PERIGOS VULCÂNICOS

Como é possível observar através da sua história eruptiva, uma erupção no Vulcão do Fogo pode envolver uma variedade de estilos eruptivos e, inclusivamente, desencadear diversos fenómenos geológicos secundários (Figura 3.5). Os principais perigos vulcânicos a considerar para este vulcão são: as escoadas lávicas, as escoadas piroclásticas e *surges* (*Pyroclastic Density Currents, PDCs*), os piroclastos de queda, os piroclastos de trajetória balística, as escoadas de lama ou de detritos (*lahars*) e os gases vulcânicos.

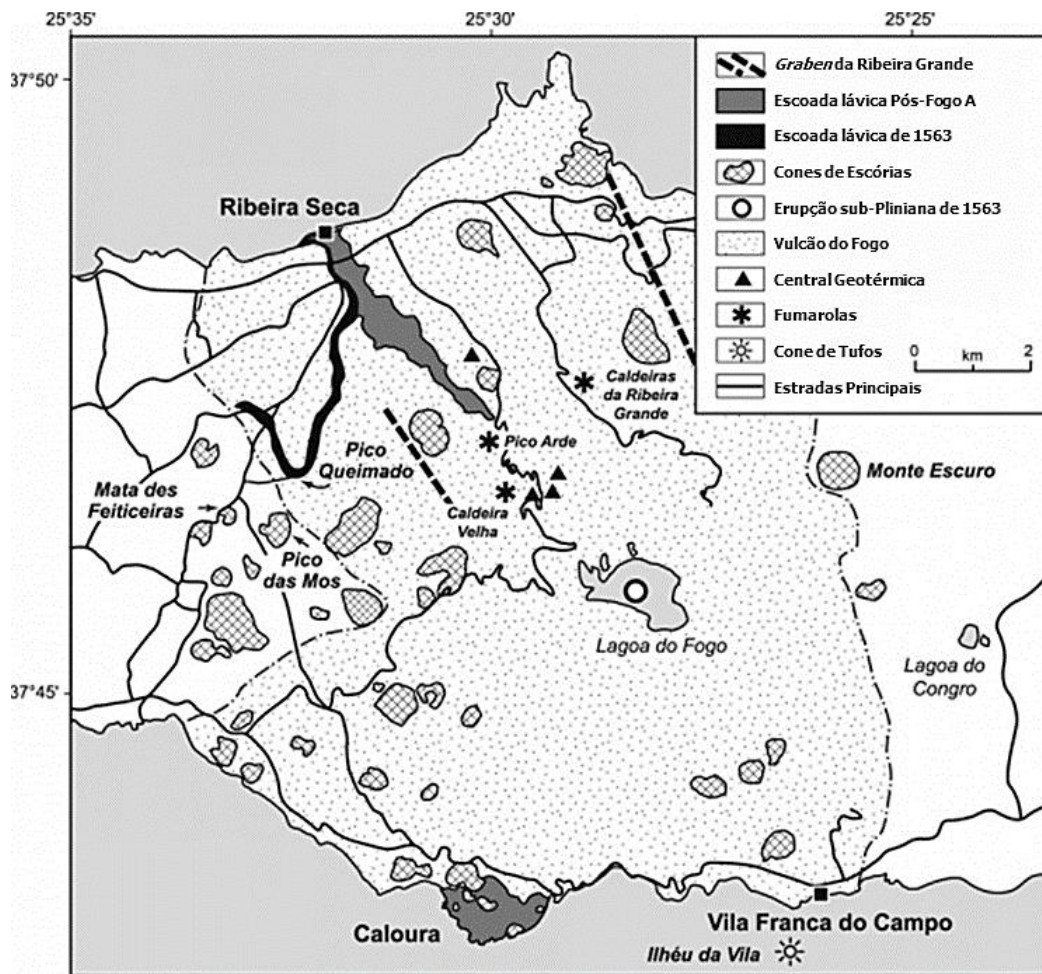


Figura 3.5 - Esquema morfoestrutural do Vulcão do Fogo (adaptado de Wallenstein *et al.*, 2007).

#### 3.4.1. Escoadas Lávicas

Uma escoada lávica é uma extrusão de rocha fundida na superfície terrestre que é alimentado continuamente por uma fonte eruptiva, formando um fluxo de material. Além de outros fatores como a viscosidade, taxa de efusão, densidade e do seu volume, a sua progressão é altamente

condicionada pela topografia do terreno e, normalmente, apresentam velocidades baixas. Pode-se distinguir dois tipos de escoadas lávicas quanto à sua composição: as escoadas lávicas de natureza basáltica (s.l.) e as escoadas lávicas de natureza traquítica (s.l.) ou domos. Devido à variedade na composição e na viscosidade dos magmas, no Vulcão do Fogo averigua-se uma diversidade de formas e estruturas vulcânicas, incluindo as decorrentes de lavas basálticas até às mais evoluídas traquíticas (Wallenstein *et al.*, 2015a) (Figura 3.5).

Geralmente, as escoadas lávicas basálticas (s.l.) são produtos de erupções efusivas ou estão relacionadas com as fases efusivas ou de baixa explosividade das erupções. É um produto vulcânico que não representa uma ameaça significativa à vida humana (Blong, 1984a), uma vez que, geralmente, possibilitam a evacuação prévia da população em risco, após a avaliação das áreas afetadas com base no foco e na topografia envolvente. As principais consequências incidem sobretudo em danos nas propriedades, infraestruturas, incluindo as vias de comunicação terrestre, e na capacidade produtiva da região afetada (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005).

No contexto do Fogo, as escoadas lávicas basálticas (s.l.) ocorreram principalmente nas áreas de menor altitude dos flancos e surgiram como produto de erupções de estilo havaiano e/ou estromboliano, associadas à formação de cones de escórias ou de *spatter*<sup>1</sup> (Wallenstein *et al.*, 2015a). Todavia, este produto pode ocorrer em qualquer localização do maciço vulcânico do Fogo, relacionado com o sistema de falhas radiais do vulcão ou ao longo das falhas de carácter regional (Figura 3.5) (Wallenstein *et al.*, 2015a; Gaspar *et al.*, 2015b).

Em termos de risco, importa considerar o comprimento e a dispersão de uma escoada lávica, que dependem dos fatores mencionados (Gaspar, 1996). No caso concreto do Vulcão do Fogo, será exetável que a topografia mais aplanada do flanco norte contribua para o desenvolvimento de escoadas com áreas de dispersão maiores, ao contrário do flanco sul, onde os vales encaixados contribuem para uma progressão mais rápida e limitada em direção ao mar (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005, 2015a).

Já as escoadas lávicas traquíticas (s.l.) ou domos, também, associados a atividade efusiva, mas com magmas mais evoluídos, formam-se através da acumulação de lava com elevada viscosidade. No Fogo, estas estruturas localizaram-se sobretudo nas zonas de maior altitude em ambos os flancos e no interior da caldeira do Fogo. O perigo mais significativo resultante deste

---

<sup>1</sup> Piroclastos que se depositam ainda com elevadas temperaturas, promovendo a sua aglutinação.

tipo de produto, consiste na possibilidade de originar escoadas de blocos e/ou de cinzas após o seu colapso.

### 3.4.2. PDC (*Pyroclastic Density Currents*)

Os produtos piroclásticos de fluxo correspondem a fluxos de gases, rochas e cinzas vulcânicas a elevadas temperaturas, que progridem ao longo do terreno com velocidades elevadas. Este termo inclui as escoadas piroclásticas e os *surges*. Devido às suas características, este é considerado um dos produtos vulcânicos mais devastadores ou destruidores. De facto, a sua passagem, normalmente, não permite qualquer hipótese de sobrevivência às pessoas, além de mostrar uma enorme capacidade de destruição de estruturas e terrenos que se encontrem no seu caminho. Posto isto, a única ação que se mostra eficaz face a este perigo consiste na evacuação prévia, que deve ser desencadeada mesmo antes da sua formação (Gaspar, 1996; Wallenstein, 1999).

As escoadas piroclásticas caracterizam-se por uma elevada concentração de partículas sólidas (cinzas, *lapilli* e blocos) numa suspensão de gases vulcânicos a alta temperatura. A maioria das escoadas piroclásticas forma-se na sequência do colapso (parcial ou total) de colunas eruptivas, escoadas lávicas ou domos. Ao contrário das escoadas lávicas, estas escoadas progridem a velocidades elevadas, podendo ser superiores a 200 km/h e desenvolvem-se, principalmente, ao longo de vales e depressões. Podem, também, atingir temperaturas muito elevadas, mais concretamente, entre os 500°C e os 900°C.

Os *surges* são fluxos turbulentos de material piroclástico, caracterizados por uma baixa concentração de partículas, que se podem formar a partir das próprias escoadas piroclásticas ou na sequência de atividade hidromagmática. Tendo em conta a menor densidade destes fluxos, a sua progressão é pouco subordinada à topografia, logo apresenta uma maior dispersão do que as anteriores.

No caso do Vulcão do Fogo, foram identificados vários depósitos de escoadas piroclásticas, que evidenciam a existência de episódios deste tipo ao longo da sua história eruptiva, inclusive, alguns com dimensões significativas. Na maior parte destes, as escoadas terão percorrido os vales encaixados do flanco sul até chegarem ao mar e/ou ao longo *graben* da Ribeira Grande, no flanco norte, até atingirem o mar. Também foram identificados vários depósitos que parecem corresponder a *surges*, sejam associados às escoadas piroclásticas ou à atividade hidromagmática (Wallenstein, 1999).

### 3.4.3. Piroclastos de Queda

Os piroclastos de queda resultam da fragmentação do magma durante erupções explosivas, e são ejetados para o ar juntamente com o gás vulcânico, podendo atingir grandes distâncias, dependendo de fatores como: a altura da coluna, a intensidade eruptiva, o ângulo de ejeção, a intensidade do vento no momento da erupção e a velocidade terminal de queda (depende do peso, densidade e forma). Destes produtos, distinguem-se duas tipologias: os que sofreram um processo de transporte/deposição com uma trajetória balística (piroclastos de trajetória balística) e as cinzas e *lapilli* de queda, em que o processo de transporte/deposição é dependente da distribuição do topo da coluna eruptiva.

Tendo em conta que apresentam uma elevada velocidade terminal de queda, os piroclastos de trajetória balística são considerados como um perigo relevante, tanto para as vidas humanas e animais, como, também, para os edifícios e outras infraestruturas. Devido às elevadas temperaturas a que se depositam, a possibilidade de originarem incêndios também deve ser considerada.

As cinzas e *lapilli* de queda apresentam uma velocidade terminal de queda menor e o processo de transporte/deposição é diretamente relacionado com o vento, ou seja, a sua distribuição vai depender da direção e intensidade do vento na altura da erupção. As suas consequências incidem, principalmente, com a acumulação de material nos telhados, contribuindo para o colapso de edifícios/infraestruturas (consequência que se se acentua na presença de chuva devido ao aumento da densidade dos materiais), e problemas a nível de saúde pública, como infeções, principalmente, a nível dos sistemas respiratório e digestivo (Wallenstein, 1999).

Considerando a história eruptiva do Vulcão do Fogo, observa-se que estes produtos são bastante frequentes, como resultado das várias erupções de carácter explosivo que já se registaram neste vulcão.

### 3.4.4. Escoadas de Lama ou Detritos (*Lahars*)

As escoadas de lama de origem vulcânica ou *lahars* resultam da mobilização de uma mistura de água com detritos vulcânicos em vertentes íngremes. Ao longo do seu percurso, estas escoadas podem transportar uma variedade de detritos, desde troncos de árvores até rochas de grandes dimensões. A sua origem, normalmente, está associada ao transbordo da água de lagos/lagoas, devido aos movimentos de vertente nas suas vertentes ou a sismos, ou podem ser formadas

como consequência de precipitação abundante. Sendo assim, a sua ocorrência pode ser singenética de uma erupção vulcânica (*lahar* primário), ou podem ocorrer durante períodos de inatividade, desencadeados por instabilização dos depósitos dessa erupção enquanto os mesmos não se encontrarem em equilíbrio com a geomorfologia da região (*lahar* secundário).

No que concerne o Vulcão do Fogo, uma vez que apresenta no interior da caldeira um lago limitado por paredes muito íngremes e setores com poucos metros de altura na vertente sul, conjugado à elevada sismicidade e à precipitação abundante que regista, a probabilidade de se desenvolverem escoadas deste tipo é bastante considerável (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2007; Gaspar *et al.*, 2015b). Não obstante o flanco sul ser mais suscetível a este perigo (Figura 3.6), a possibilidade deste fenómeno se desenvolver no flanco norte não deve ser desconsiderada, com particular atenção para a depressão correspondente ao *graben* da Ribeira Grande (Wallenstein, 1999).

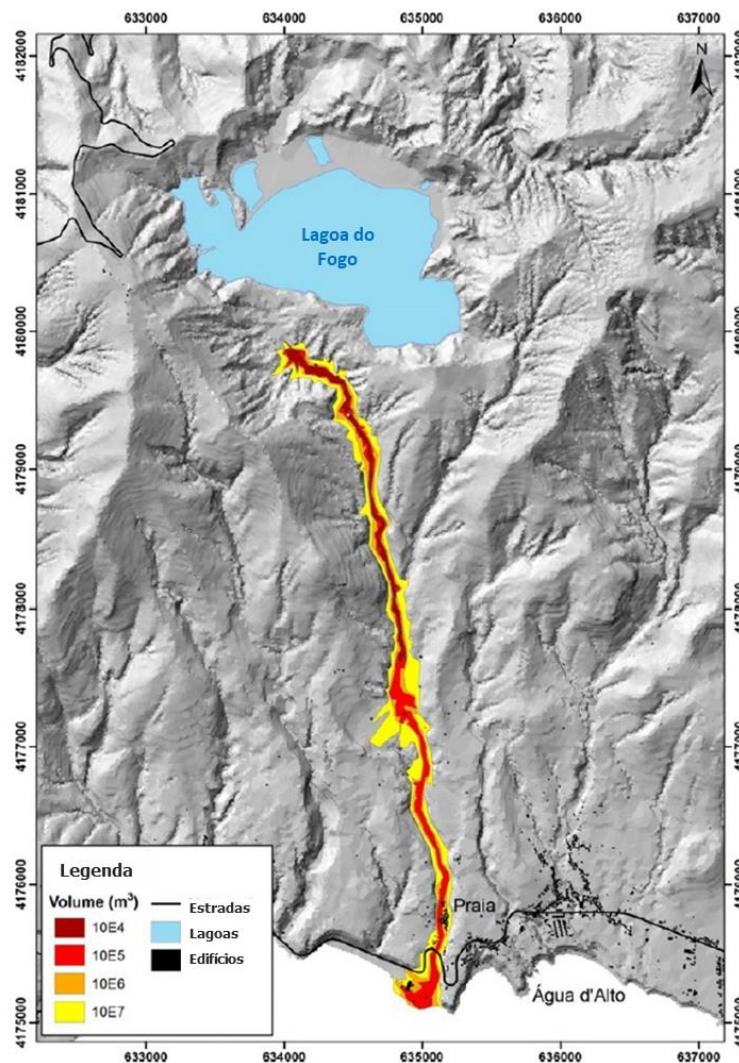


Figura 3.6 - Mapa de suscetibilidade para lahars no flanco sul do Vulcão do Fogo (adaptado de Gaspar *et al.*, 2015b).

### 3.4.5. Gases Vulcânicos

Os sistemas vulcânicos são capazes de produzir gases seja no decurso de uma erupção vulcânica, ou em períodos de inatividade através de atividade fumarólica ou da emissão difusa através dos solos. Os principais gases vulcânicos são: Água (H<sub>2</sub>O), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Sulfureto de Hidrogénio (H<sub>2</sub>S), Ácido Clorídrico (HCl), Ácido Fluorídrico (HF), Amoníaco (NH<sub>3</sub>), Hélio (He), Árgon (Ar), Hidrogénio (H<sub>2</sub>), Oxigénio (O<sub>2</sub>), Azoto (N<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>) e Monóxido de Carbono (CO), e os isótopos radioativos de Radão (<sup>222</sup>Rn).

Dependendo das concentrações e dos tempos de exposição, estes gases podem ser uma ameaça relevante para a saúde pública, mais concretamente, podem causar ferimentos graves, doenças crónicas e, até, a morte de pessoas e animais.

Durante uma erupção vulcânica, a emissão gasosa é particularmente significativa e constitui um perigo acentuado para as os elementos expostos nas imediações do vulcão. No entanto, este perigo também pode ser relevante mesmo em áreas mais distantes do foco eruptivo. A título de exemplo, na sequência de uma erupção intracaldeira, existe a possibilidade de se verificar a acumulação gases e a posterior drenagem ao longo dos vales localizados nos flancos do vulcão. Isto pode afetar, significativamente, a população que se encontrar a jusante dos mesmos, sobretudo, em locais mais aplanados ou depressões.

É importante salientar que as condições atmosféricas irão condicionar e determinar o modo de dispersão e, logicamente, as zonas mais afetadas pelos gases vulcânicos. Além disso, deve-se ter em atenção o período após cessar uma erupção, pois existe o risco de as pessoas, desinformadas sobre o mesmo, serem surpreendidas com as concentrações fatais que podem existir no local da erupção, tal como aconteceu na sequência da erupção de 1563 no Vulcão do Fogo (Wallenstein, 1999).

O Fogo tem um sistema hidrotermal ativo que é, inclusivamente, explorado para a produção de energia geotérmica. Para além disso, verifica-se a emissão de CO<sub>2</sub> no maciço, seja através de fumarolas (*e.g.* Caldeiras da Ribeira Grande, Pico Vermelho e Caldeira Velha), seja por desgaseificação difusa. Quanto à emissão difusa de gases através dos solos, mesmo em período de dormência, há o registo de concentrações elevadas de CO<sub>2</sub> e de anomalias térmicas, principalmente, no flanco norte do vulcão. Tal como as Furnas, por exemplo, a freguesia da Ribeira Seca é, particularmente, afetada pela emissão de CO<sub>2</sub> (Wallenstein *et al.*, 2005; Wallenstein *et al.*, 2007; Viveiros *et al.*, 2015).

### 3.5. CENÁRIOS ERUPTIVOS

À semelhança do que se verifica noutros trabalhos no âmbito dos riscos e proteção civil, é fundamental considerar os cenários eruptivos de acordo com as características e a história eruptiva dos respetivos sistemas vulcânicos, atentando, para os perigos vulcânicos mais suscetíveis na região. De facto, a sequência de respostas e as ações de proteção civil a desencadear devem ser efetuadas com base num cenário realista para o vulcão que se pretende analisar. Para tal, e de acordo com outros estudos (*e.g.* Wallenstein *et al.*, 2005; Gaspar *et al.*, 2015b; Medeiros *et al.*, 2021), consideraram-se dois cenários eruptivos para o Vulcão do Fogo, nomeadamente: a erupção do Fogo A que, geralmente, é utilizada para definir o cenário Pliniano e, portanto, o pior cenário possível, e a erupção de 1563 D.C. que, normalmente, é a selecionada para definir o cenário sub-Pliniano, sendo este, o cenário mais provável.

#### 3.5.1. Cenário Pliniano - Fogo A

A erupção do Fogo A consistiu num evento Pliniano com VEI 5 (*Volcanic Explosivity Index*; Newhall & Self, 1982), que sucedeu há cerca de 4,6 mil anos (Walker & Croasdale, 1971) no interior da caldeira do Fogo. O facto dos depósitos desta erupção se apresentarem bastante dispersos, faz com que seja considerada como o melhor marcador estratigráfico da ilha (Wallenstein, 1999; Pacheco *et al.*, 2013; Wallenstein *et al.*, 2015a).

Este evento iniciou-se com uma breve fase hidromagmática, com produção de cinzas pomíticas depositadas ainda húmidas ao longo das vertentes do vulcão. Seguiu-se uma fase magmática, assim que a água deixou de ter acesso à conduta. Após esta curta fase, a produção intercalada de cinza pomítica fina e *lapilli* pomítico, semelhante à fase inicial, demonstra os sucessivos acessos e recuos da água em relação à conduta. Terão ocorrido explosões freatomagmáticas ao longo desta fase inicial.

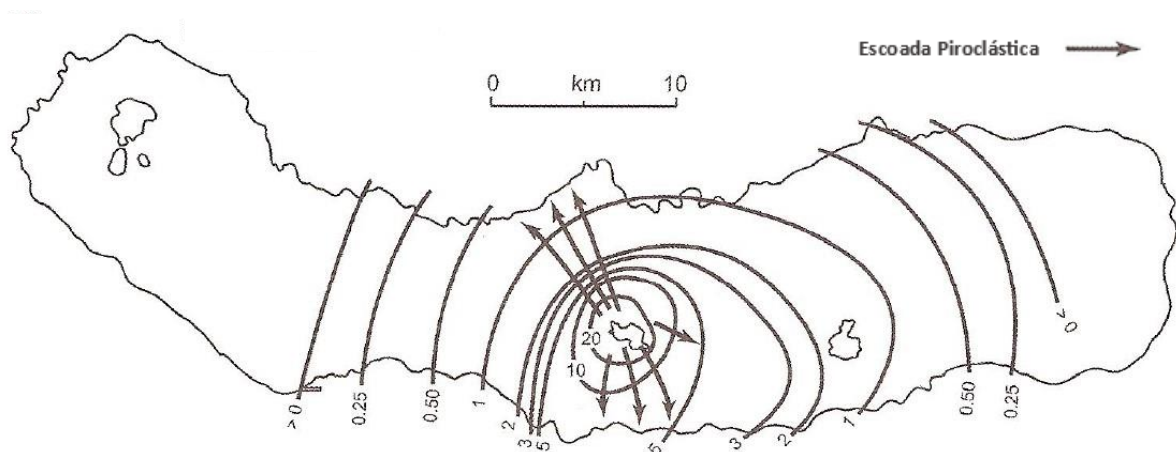
O início da fase magmática e da formação de uma coluna eruptiva pliniana é marcada pela emissão de *lapilli* pomítico. A intensidade da erupção nesta fase terá aumentado após uma curta obstrução da boca eruptiva, evidenciada pelo aumento do tamanho dos clastos emitidos.

Devido ao alargamento da boca eruptiva e à falta de sustentação da coluna, esta terá sofrido um colapso parcial contribuindo para a obstrução da fonte. No entanto, num curto espaço de tempo, a atividade reiniciou com a formação de uma nova coluna eruptiva, que foi seguida de novo colapso de maiores dimensões, originando um fluxo piroclástico do tipo *surge*.

Após esta, iniciou-se uma fase marcada pela mistura de magmas, que terá estado na origem da instabilidade da coluna eruptiva no aproximar do fim da erupção. De facto, os colapsos parciais da coluna inferem-se a partir da presença alternada de cinzas e *lapilli* pomíticos, do tipo *surge*. Os colapsos foram se tornando cada vez mais frequentes com o decorrer da erupção.

O colapso final da coluna eruptiva e a consequente formação de imponentes fluxos piroclásticos/escoadas piroclásticas ao longo dos flancos norte e sul marcaram o final da erupção.

A partir da coluna eruptiva Pliniana resultaram depósitos de queda pomíticos de dimensões significativas e com distribuição radial e quase simétrica em torno do vulcão, indicando vento fraco de oeste na altura da erupção (Walker & Croasdale., 1971; Wallenstein *et al.*, 2005) (Figura 3.7).



**Figura 3.7** - Mapa de isopacas da erupção do Fogo A (em metros), com indicação da direção das escoadas piroclásticas (Walker & Croasdale, 1971; adaptado de Wallenstein *et al.*, 2005).

Um evento semelhante a este teria consequências devastadoras para a totalidade da ilha de São Miguel e, portanto, é considerado o cenário mais extremo para o Vulcão do Fogo. A única medida eficaz de proteção civil, seria a evacuação atempada da população que habita na região do Fogo e imediações, antes do início da própria erupção. Tendo em conta o longo intervalo de recorrência deste tipo de eventos (5.000 anos) (Gaspar *et al.*, 2015b), este cenário é visto como o menos provável (Wallenstein *et al.*, 2005) e, portanto, não será considerado para o presente trabalho.

### 3.5.2. Cenário sub-Pliniano - 1563 D.C.

A erupção de 1563 D.C. consistiu na última erupção de estilo sub-Pliniano, com VEI 4, do Vulcão do Fogo, estando relativamente bem documentada e sendo utilizada em vários trabalhos para definir o cenário eruptivo mais provável (*e.g.* Wallenstein *et al.*, 2005; Gaspar *et al.*, 2015b; Medeiros *et al.*, 2021).

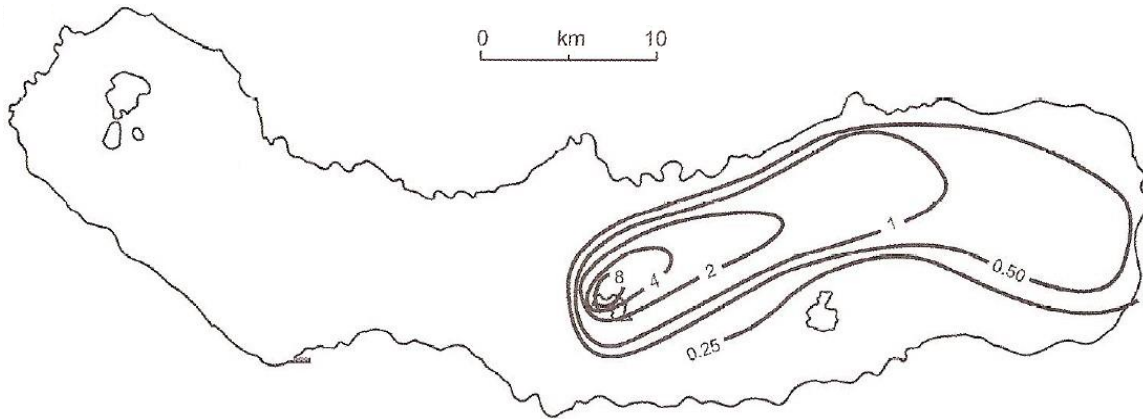
Esta erupção iniciou-se a 28 de junho de 1563 no interior da caldeira do Fogo (Walker & Croasdale, 1971). O seu início terá sido precedido por 5 dias de intensa sismicidade sentida pela população.

Tal como o Fogo A, esta erupção iniciou-se com uma fase de carácter hidromagmático, marcada pela emissão de cinzas finas, passando a uma fase magmática com o desenvolvimento de uma importante coluna eruptiva sub-pliniana pulsatória, devido à ocorrência de inúmeros episódios de interação água-magma.

Ao contrário da anterior, a dispersão dos produtos desta erupção demonstra a presença de vento forte de oeste e oeste-sudoeste na altura (Frutuoso, 1522-1591; Walker & Croasdale, 1971; Wallenstein *et al.*, 2005; Wallenstein *et al.*, 2015a), justificado, por exemplo, pela deposição de 0,5 m de piroclastos de queda a 30 km a este da fonte (Figura 3.8). Apenas no dia 29 de junho a direção do vento mudou para leste, fazendo com que chegassem cinzas a Ponta Delgada, no entanto, já no dia seguinte a direção do vento voltou a oeste (Frutuoso, 1522-1591; Wallenstein, 1999). As freguesias mais afetadas pela queda de cinzas foram: Ribeira Grande, Porto Formoso e Maia, no entanto, chegaram a atingir também as freguesias da Achada, São Pedro de Nordestinho, Furnas, Povoação e Nordeste (Wallenstein *et al.*, 2015a).

A atividade eruptiva foi, constantemente, acompanhada por forte sismicidade sentida (exceto entre os dias 1 e 4 de julho), que provocou a destruição de muitos edifícios por toda a ilha. Além disso, a própria deposição de cinzas e pedra pomes originou o colapso de vários telhados de casas, principalmente, na parte oriental da ilha (*e.g.* Vila de Nordeste). Estes produtos também contribuíram para engrossar os caudais das ribeiras principais do Fogo, causando a destruição de várias pontes. Formaram-se, também, escoadas de detritos no flanco sul do vulcão, atingindo a costa e afetando no seu percurso a população de Vila Franca do Campo. Verificou-se o êxodo da população, particularmente, das zonas mais afetadas, a morte de muitos animais e a destruição de vários terrenos de cultivo (Frutuoso, 1522-1591). Apesar da erupção ter terminado a 3 de julho, continuou-se a verificar atividade fumarólica significativa e várias explosões de vapor na caldeira. Embora não se tenham registado mortes resultantes diretamente da erupção, deve-

se salientar o perecimento de duas pessoas que visitaram a caldeira após o termo da erupção, devido à exposição a gases vulcânicos, provavelmente, CO<sub>2</sub> (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005).



**Figura 3.8** - Mapa de isopacas da erupção de 1563 (em metros) (Booth *et al.*, 1978; adaptado de Wallenstein *et al.*, 2005).

Concomitantemente à erupção na caldeira, a 2 de julho de 1563, iniciou-se uma erupção efusiva de natureza basáltica, de estilo havaiano, no cume do Pico do Sapateiro (passou a ser designado por Pico Queimado após a erupção), um antigo domo traquítico localizado a cerca de 5,5 km a NW da caldeira do Fogo (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2015a).

Na sequência das explosões que marcaram o início deste evento, surgiu a primeira boca eruptiva, que terá ejetado blocos e bombas de trajetória balística (até a uma distância superior a 150 m) e desenvolvido uma coluna eruptiva. No dia 4 de julho, verificou-se um aumento da atividade e o desenvolvimento da primeira escoada lávica em direção ao mar. Esta escoada percorreu um total de 4,5 km, passando pela freguesia da Ribeira Seca na sua trajetória até atingir a costa após 2-3 dias (Frutuoso, 1522-1591; Wallenstein *et al.*, 2005). No dia 9 de julho, surgiu a segunda boca eruptiva, que contribuiu para a formação de uma escoada lávica que progrediu para NW. As duas escoadas lávicas (Figura 3.9) geradas provocaram a destruição de parte da freguesia da Ribeira Seca e de terrenos de cultivo ao longo do seu percurso rumo ao mar (Frutuoso, 1522-1591; Wallenstein *et al.*, 2005).

Não se sabe ao certo quando terminou, mas segundo os últimos registos esta erupção terá durado pelo menos até ao dia 28 de julho de 1563. Este evento efusivo terá estado diretamente relacionado com a erupção intracaldeira da mesma altura, onde terá havido uma inter-relação entre os mecanismos eruptivos de ambos eventos, à semelhança do que poderá já ter

acontecido noutros sistemas vulcânicos dos Açores e, inclusive, no próprio Vulcão do Fogo (Wallenstein, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005).

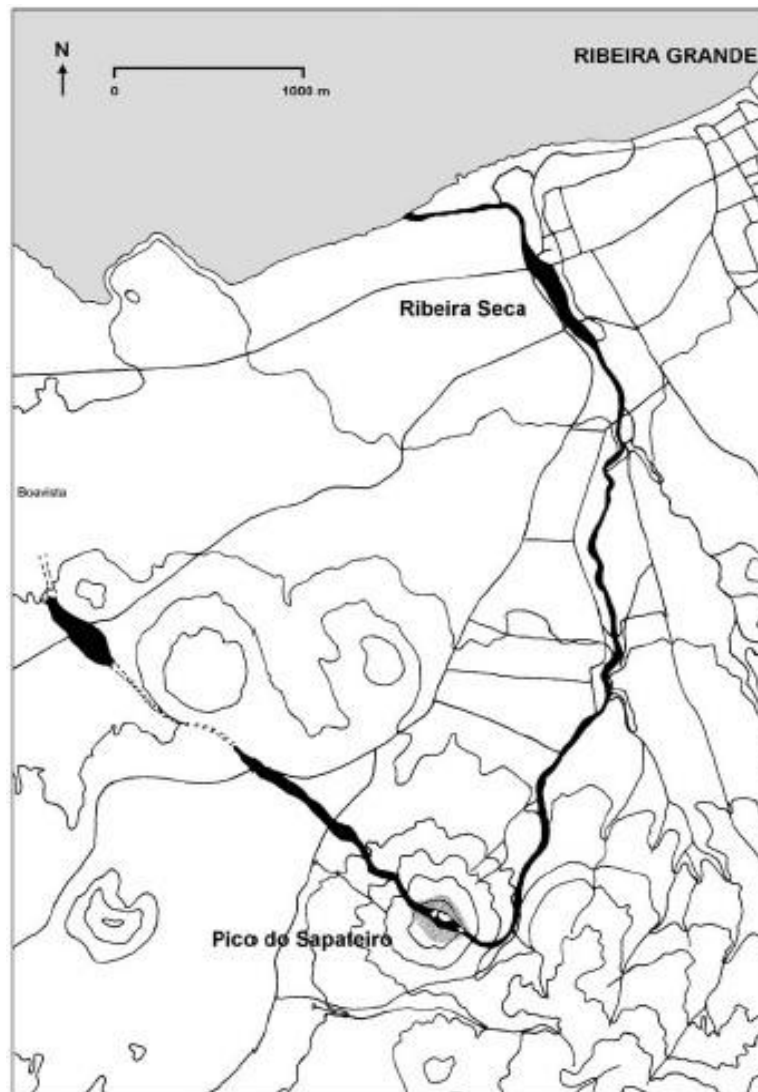


Figura 3.9 - Dispersão das escoadas lávicas da erupção de 1563 no Pico do Sapateiro (*in* Wallenstein, 1999).

## 4. VULNERABILIDADES E ELEMENTOS EXPOSTOS

### 4.1. NOTA PRÉVIA

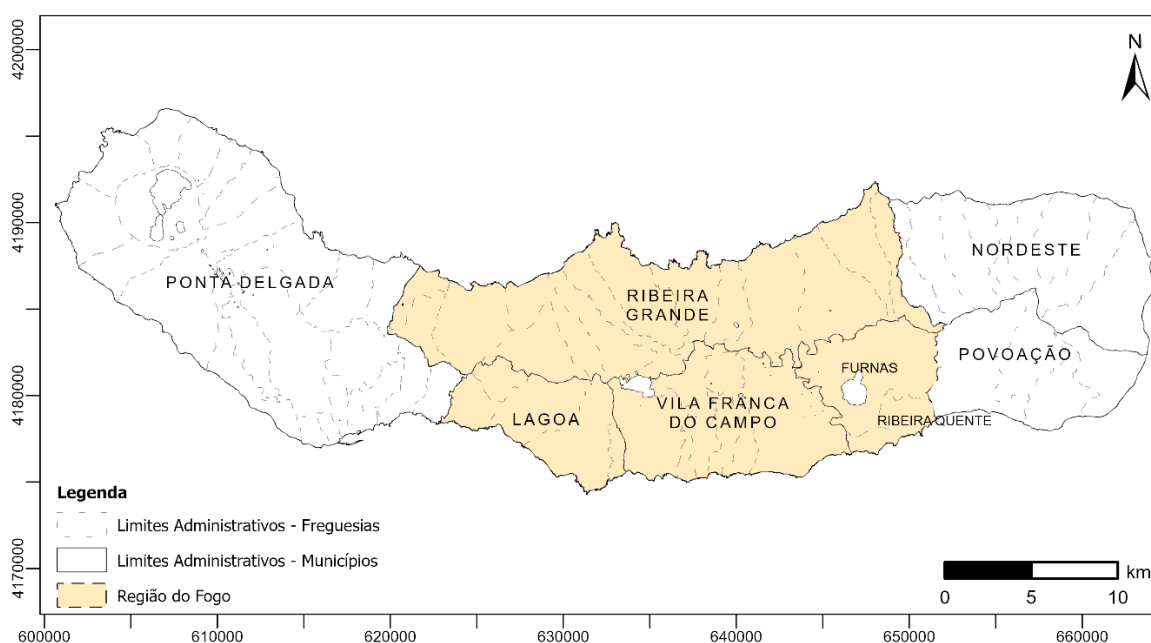
Quando se analisa um determinado risco, geralmente ponderam-se três fatores principais: o perigo/perigosidade, a exposição ou elementos em risco e a vulnerabilidade. De facto, o risco resulta da interação de um perigo natural com a sociedade (ou atividades humanas) que, por sua vez, é mais ou menos capaz de lidar com esse perigo (Blaikie *et al.*, 1994; Dibben & Chester, 1999; Jóhannesdóttir & Gísladóttir, 2010; Wilson *et al.*, 2017; Marzocchi *et al.*, 2021). A vulnerabilidade é o termo utilizado para descrever esta situação, sendo definida como “as condições intrínsecas de um sistema que, analisadas em conjunto com a magnitude do evento catastrófico, são responsáveis pelos efeitos adversos ou danos gerados em consequência da catástrofe” (Zêzere *et al.*, 2006). Este termo corresponde ao grau de perda (resultante de fatores físicos, sociais, ambientais e económicos) de um elemento ou conjunto de elementos expostos (pessoas, edificado, património, serviços essenciais, infraestruturas, áreas, terrenos, etc.) como resultado da ocorrência de um fenómeno de uma determinada magnitude (Zêzere *et al.*, 2006; Tavares, 2020).

Sendo assim, a vulnerabilidade a um perigo natural refere-se às características do elemento exposto que contribuem para a sua capacidade de resistir, lidar ou recuperar do impacto de um determinado perigo natural (Jóhannesdóttir & Gísladóttir, 2010; Wallenstein *et al.*, 2015b). Uma vez que estas condições podem variar com o tempo, a vulnerabilidade de um determinado elemento é um parâmetro dinâmico e não estático (Dibben & Chester, 1999).

Tal como já foi referido, são vários os perigos vulcânicos, diretos ou indiretos, que podem estar associados a uma erupção vulcânica, sendo cada um destes capaz de afetar de um modo distinto os diferentes elementos expostos. Efetivamente, dependendo de vários fatores, estes perigos podem causar diferentes níveis de impacto nos elementos expostos, como a destruição parcial ou total, danos negligenciáveis, menores ou severos, feridos ligeiros, graves ou até morte. Portanto, com o objetivo geral de minimizar os efeitos de uma erupção, deve ser efetuada uma avaliação do risco, que inclui a análise das vulnerabilidades e uma caracterização dos elementos expostos na área que se pretende estudar (Jolly & Cruz, 2015).

Deste modo, para o caso concreto de uma erupção vulcânica explosiva no Vulcão do Fogo, e tendo em conta o cenário eruptivo considerado no presente trabalho, uma erupção sub-Pliniana

de VEI 4, com produção de piroclastos de queda, neste capítulo serão abordados alguns fatores que podem influenciar a vulnerabilidade, incidindo na caracterização dos elementos expostos mais suscetíveis de serem afetados pelos produtos predominantes do cenário referido. Para tal, apesar dos piroclastos de queda serem capazes de atingir localidades mais distantes da fonte eruptiva, considerou-se uma área limitada próxima ao vulcão, definida em Wallenstein *et al.* (2005), adiante designada por região do Fogo, que inclui os concelhos de Ribeira Grande, Vila Franca do Campo, Lagoa e as freguesias das Furnas e Ribeira Quente (concelho da Povoação) (Figura 4.1).



**Figura 4.1** - Localização da região do Fogo na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

## 4.2. POPULAÇÃO

### 4.2.1. Impactos dos Piroclastos de Queda

Tendo em conta que as comunidades são distintas umas das outras, a avaliação do risco que envolve a análise da vulnerabilidade humana para uma determinada região, deve incluir vários fatores específicos a cada comunidade, como o enquadramento social e demográfico ou a cultura da população presente na área que se pretende estudar (Wallenstein *et al.*, 2005). De facto, quando se refere a vulnerabilidade da população deve-se considerar não só os possíveis impactos diretos na saúde, mas também a forma como a mesma é capaz de lidar ou reagir a uma crise vulcânica (Wallenstein *et al.*, 2015b).

Embora estes produtos tenham a capacidade de abranger enormes áreas, o número de mortes resultantes diretamente da deposição de piroclastos de queda, como as cinzas vulcânicas e os *lapilli*, não é tão relevante quando comparado com o decorrente de outros produtos vulcânicos. Particularmente, na ausência de gases vulcânicos tóxicos que acompanham estes materiais e/ou quando os telhados dos edifícios se mostram suficientes para suportar o peso do material depositado, inclusive em casos mais extremos, as taxas de sobrevivência a este perigo vulcânico revelam-se muito positivas (Blong, 1984a; Gaspar, 1996). Efetivamente, os piroclastos de queda não são dos produtos vulcânicos que provocam mais vítimas, verificando-se que apenas 4,6% das mortes provocadas por perigos vulcânicos entre 1600 e 1982 decorreram de piroclastos de queda (Blong, 1984a; Malheiro, 2002). Não obstante, os principais danos na saúde das pessoas expostas diretamente a estes produtos consistem, sobretudo, em irritações/infeções nos olhos e/ou no sistema respiratório, escoriações, fraturas e até a morte (Gaspar, 1996; Malheiro, 2002).

Além disso, as cinzas também podem ser prejudiciais quando se acumulam nos alimentos que tanto as pessoas como os animais ingerem, posteriormente. O gado é particularmente vulnerável a este perigo, seja indiretamente através da fome, devido à destruição de reservas alimentares, ou diretamente através da respiração e/ou da ingestão de grandes quantidades de cinzas que acabam por ser transportadas nos seus alimentos. A título de exemplo, na erupção de 1563 as cinzas soterraram vários campos de cultivo e causaram a morte de muitos animais. Portanto, até em cenários aparentemente menos catastróficos poderão depositar-se por toda a ilha de São Miguel quantidades suficientes de cinzas para afetar consideravelmente os diversos campos de cultivo e criação de gado, influenciando significativamente a atividade socioeconómica da região.

Algumas medidas de mitigação para estes produtos passam pela redução da exposição das pessoas a este perigo, nomeadamente, através da utilização de máscaras e outras proteções e a permanência em locais fechados, entre outras.

Quanto aos piroclastos de trajetória balística, os danos nas pessoas incidem, sobretudo, no impacto físico e nas temperaturas elevadas a que os mesmos se podem depositar. De facto, estes produtos podem apresentar dimensões significativas capazes de provocar vários tipos de ferimentos nas pessoas como escoriações, fraturas, queimaduras e a morte direta. Tendo em conta que os impactos destes piroclastos tendem a ser mais significativos nas áreas mais próximas à fonte eruptiva, as medidas de mitigação para este perigo, incidem, principalmente, em manter distâncias seguras ao vulcão e utilizar proteções na cabeça (Malheiro, 2002).

#### **4.2.2. Caracterização**

São Miguel, a ilha mais habitada dos Açores, conta com 133.288 residentes (SREA, 2021), distribuídos pelos seis municípios. Ponta Delgada é o concelho onde reside o maior número de habitantes, seguido do município da Ribeira Grande, que, juntos, representam cerca de 74% da população de São Miguel (Figura 4.2). Os aglomerados populacionais localizam-se, sobretudo, ao longo de toda a costa da ilha, em Ponta Delgada e nas suas imediações. Na região do Fogo, que possui 357 km<sup>2</sup> de área, residem um total de 57.981 habitantes, apresentando, assim, uma densidade populacional de 163 hab./km<sup>2</sup>.

No planeamento de uma eventual evacuação, é fundamental conhecer as zonas onde se observa uma maior concentração da população, tal como a existência de propriedades mais afastadas das áreas com maior densidade populacional (Dibben & Chester, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005). Apesar de se verificarem algumas moradias isoladas, maioritariamente, nas zonas rurais do interior da ilha, a maioria destes habitantes ocupam as principais localidades (Figura 4.3).

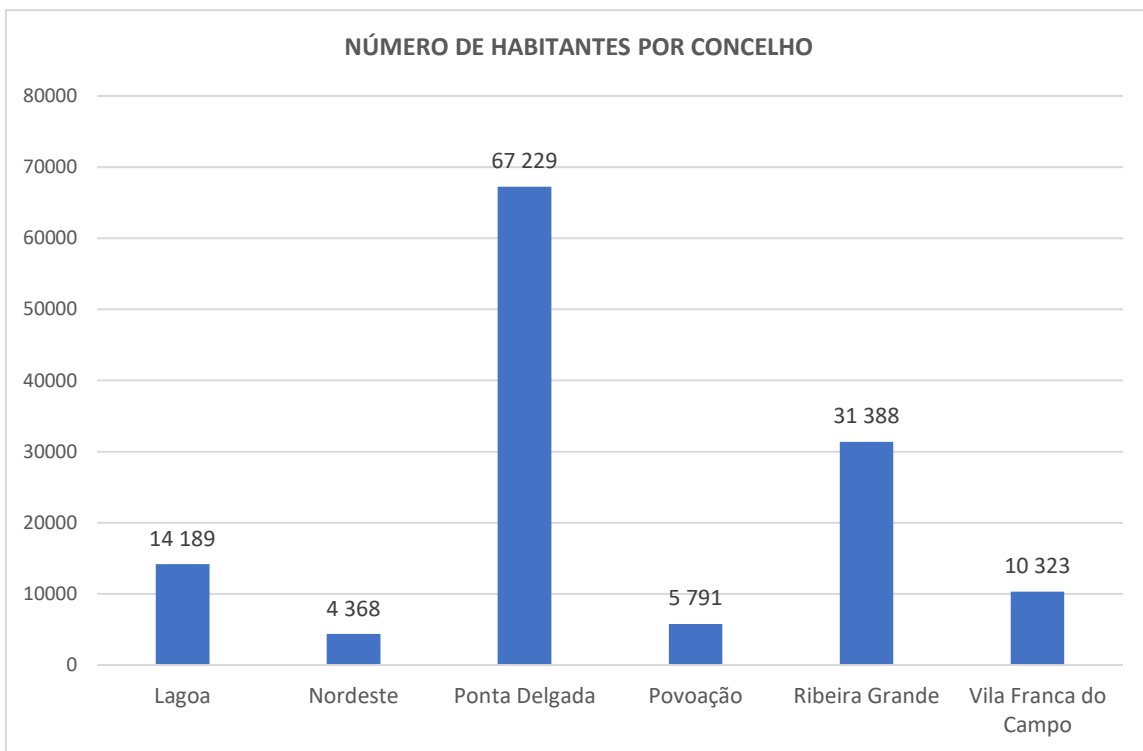


Figura 4.2 - Gráfico com o número de habitantes por concelho da ilha de São Miguel (SREA, 2021).

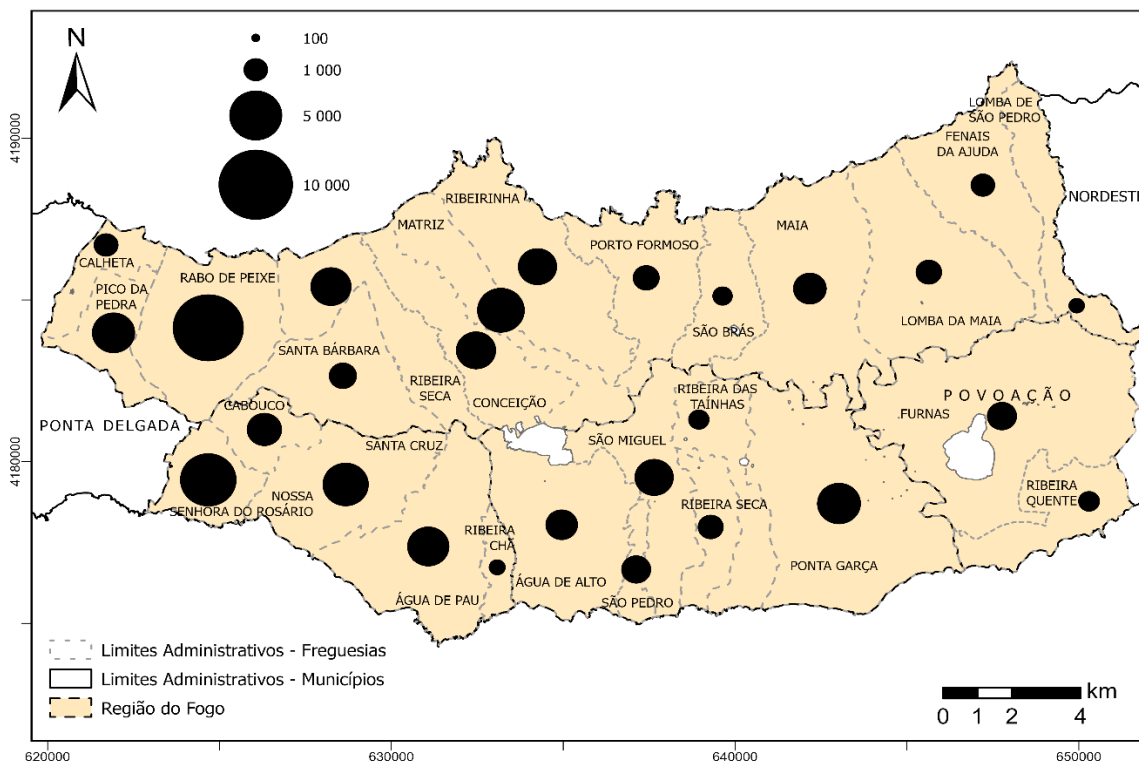


Figura 4.3 - Número de habitantes por freguesia da região do Fogo (SREA, 2021). Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

Quanto à distribuição da população por grupo etário (Figura 4.4), observa-se que mais de metade dos residentes encontram-se na faixa etária correspondente ao intervalo entre os 25-65 anos e que 29% dos residentes são considerados dependentes, ou seja, são pessoas com idade inferior a 15 e superior a 65 anos. Este grupo de indivíduos deve ser visto com particular atenção numa eventual evacuação, visto que podem necessitar de uma assistência diferenciada (Wallenstein *et al.*, 2005, 2015b).

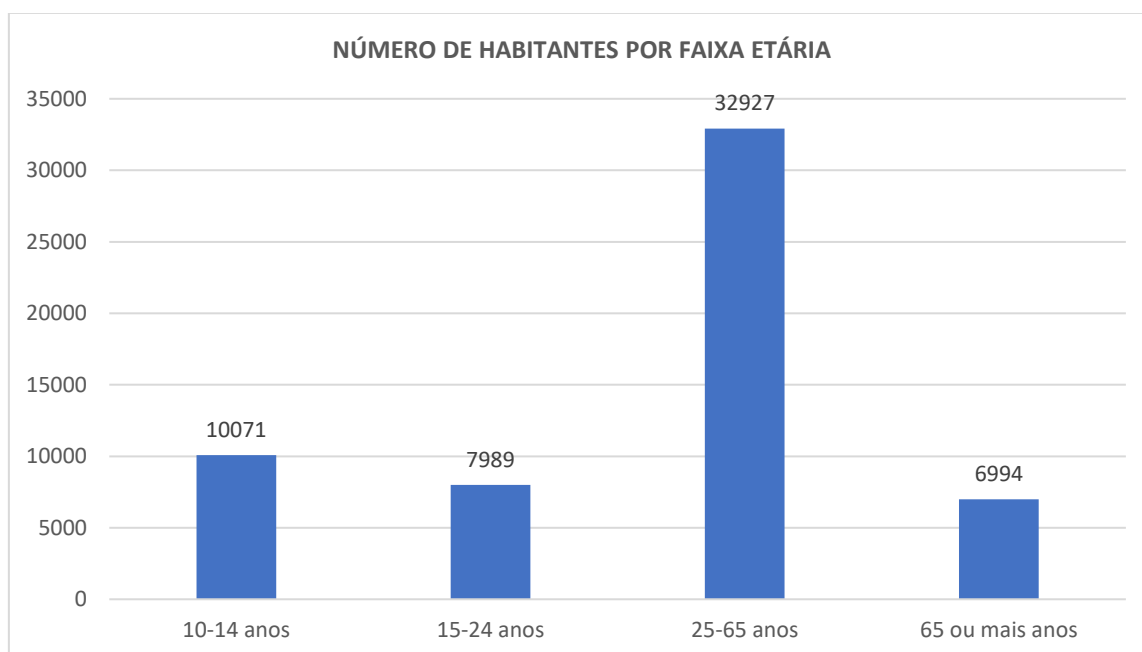
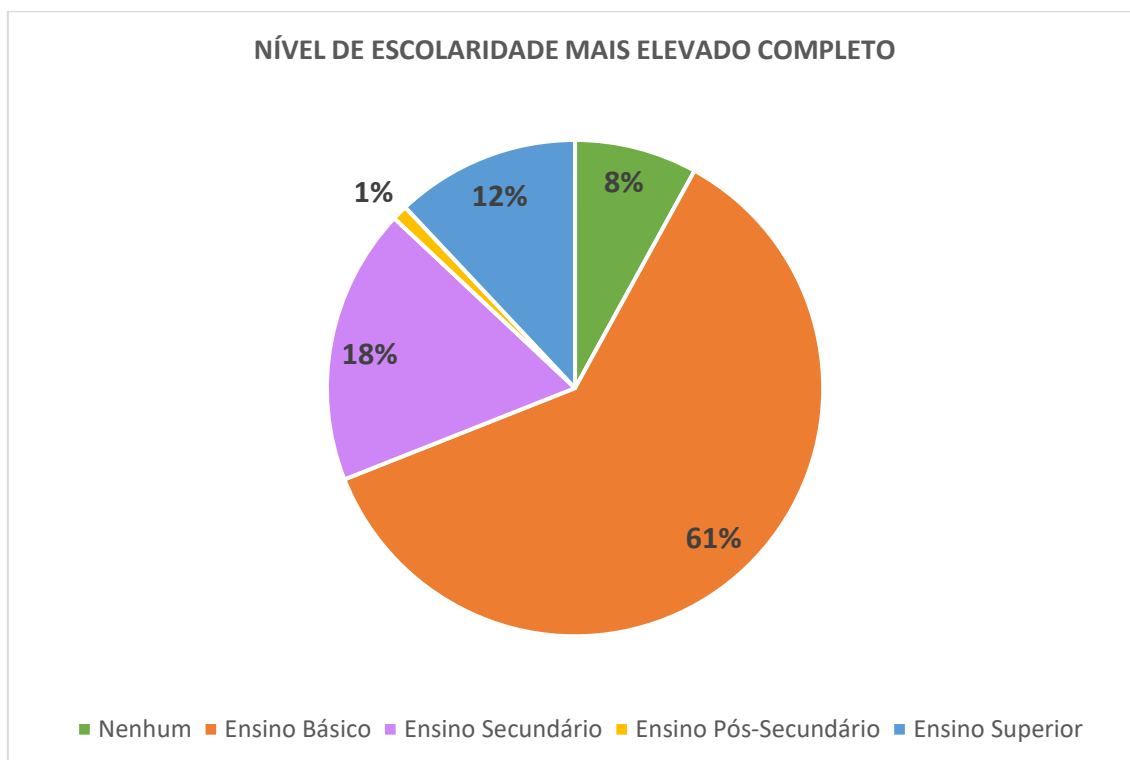


Figura 4.4 - Gráfico com o número de habitantes da ilha de São Miguel distribuídos por faixa etária (SREA, 2021).

A nível social, existem alguns fatores que podem influenciar o sucesso da gestão de uma crise vulcânica, como a existência de líderes nas comunidades e o nível de ligação ou afeição à terra onde vivem ou à comunidade a que pertencem. Inclusivamente, esta última problemática pode contribuir para que as pessoas recusem uma ordem de evacuação e tende a verificar-se nos idosos, pessoas com baixo nível de escolaridade, analfabetos, proprietários (pessoas que possuem negócios ou terrenos no local) e, principalmente, naqueles que não contam com familiares noutras partes da ilha (Dibben & Chester, 1999; Wallenstein *et al.*, 2005, 2015b).

Na região do Fogo residem quase 7 mil idosos (12% da população). Esta região apresenta um índice de envelhecimento de 87, parâmetro que reflete a relação entre a população idosa e a população jovem, ou seja, por cada 100 jovens existem 87 idosos. Este valor encontra-se muito abaixo do índice de envelhecimento verificado no país (182) e nos Açores em geral (113).

Em relação ao nível de escolaridade mais elevado completo entre a população adulta (com mais de 20 anos) (Figura 4.5), verifica-se que 61% dos residentes tem apenas o Ensino Básico completo, ou seja, o 1º, 2º ou 3º ciclos completos, 18% concluiu o Ensino Secundário, 12% dos residentes completaram o Ensino Superior e 8% não tem qualquer nível de escolaridade completo.



**Figura 4.5** - Gráfico com a percentagem de população adulta por nível de escolaridade mais elevado completo na região do Fogo (SREA, 2021).

Quanto à taxa de analfabetismo, que reflete a percentagem da população com 10 ou mais anos que não sabe ler nem escrever, a região do Fogo apresenta os seguintes valores: Lagoa 3,41%; Ribeira Grande 4,19%; Vila Franca do Campo 5,25%; Furnas 3,04% e Ribeira Quente 2,88%.

Existem ainda outras condicionantes que devem ser consideradas no planeamento de uma evacuação, como a existência de alojamentos sazonalmente ocupados, secundários ou segundas casas e os vagos (Wallenstein *et al.*, 2005, 2015b). De acordo com os dados dos Censos 2021 (SREA, 2021), na região do Fogo, enquadram-se nestes casos: 16% dos alojamentos na Lagoa, 18% na Ribeira Grande, 22% em Vila Franca do Campo, 46% nas Furnas e 44% na Ribeira Quente. Devido aos valores relativamente elevados nas duas freguesias do concelho da Povoação, este é

um aspeto que se deve ter em particular atenção, pois o número de pessoas expostas pode variar significativamente, consoante a altura do ano.

Outro fator que se deve ter em consideração sobre a população consiste na variabilidade do número de pessoas expostas, ou seja, nos visitantes que se encontram temporariamente na ilha, principalmente nos períodos de férias, uma vez que nesta altura do ano tanto as pessoas naturais da ilha retornam em férias, como se observa uma elevada afluência de turistas para visitar a ilha. De facto, nos últimos anos tem-se verificado um aumento nos números relacionados com o turismo nos Açores e a ilha de São Miguel não é exceção. Por exemplo, de acordo com os dados do Serviço Regional de Estatística dos Açores (SREA), no ano de 2022 desembarcaram na ilha de São Miguel 134.173 passageiros e até à data da elaboração do presente trabalho (julho de 2023) já desembarcaram 239.553 passageiros. No ano de 2022 registaram-se 639.300 hóspedes nos vários tipos de alojamento disponíveis e um total de 2,1 milhões de dormidas. Uma vez que os dados estatísticos apenas se referem a uma altura específica do ano, a nível de proteção civil é fundamental saber onde a população excedente se encontra acomodada (residências familiares, habitações secundárias, estabelecimentos hoteleiros, etc.) e, além disso, saber quantos visitantes são efetivamente turistas e quantos são emigrantes que retornaram temporariamente à região (Wallenstein *et al.*, 2015b).

Portanto, pode-se concluir que o número de pessoas expostas irá variar de acordo com a altura do ano em que ocorre a crise vulcânica. A título de exemplo, justificado pelas dinâmicas referidas, espera-se que o número de pessoas a evacuar durante os meses de verão seja superior ao número de pessoas a evacuar durante os meses de inverno (Wallenstein *et al.*, 2005). Com vista a um planeamento de emergência eficaz, é essencial que se ponderem estudos aprofundados sobre a população temporária na região (Wallenstein *et al.*, 2005; Wallenstein *et al.*, 2015b).

Convém, também salientar que, a nível económico, se destaca a existência de criação de gado predominantemente nas regiões vulcânicas, principalmente, acima dos 300 m de altitude no verão e a baixas altitudes no inverno. Efetivamente, a quantidade de animais em certas localidades, por vezes, é superior ao número de residentes. A nível de proteção civil e planeamento de emergência é importante ter isso em consideração, pois este gado seja vivo ou morto na sequência de uma erupção é capaz de bloquear estradas afetando, por exemplo, a mobilidade e a utilização de determinadas rotas de evacuação durante uma crise vulcânica (Wallenstein *et al.*, 2015b).

Quanto à percepção do risco por parte da população, alguns estudos elaborados na ilha de São Miguel mostram que o nível de percepção do risco vulcânico se encontra desajustado. Nomeadamente, averigua-se pouco conhecimento sobre os perigos vulcânicos e as medidas de autoproteção (o que fazer em caso de erupção vulcânica), além do facto de alguns residentes desconhecerem de todo a possibilidade de ocorrer uma erupção ou sequer que habitam numa região vulcanicamente ativa (Dibben & Chester, 1999; Rego & Arroz, 2012; Wallenstein *et al.*, 2015b; Rego *et al.*, 2018a, 2018b). Não obstante, nos últimos anos têm-se direcionado esforços para contrariar esta situação, através de ações de sensibilização, educação e informação da população tanto por parte dos cientistas como pela proteção civil açoriana. Para além disso, os próprios cientistas têm vindo a trabalhar no sentido de incrementar a sua capacidade para fornecer informação científica à proteção civil (Wallenstein *et al.*, 2015b).

Em suma, tendo em conta este enquadramento populacional na região do Fogo, na eventualidade de uma crise vulcânica, é de se esperar que uma fração significativa da população requeira assistência, principalmente, para entender a situação e seguir as instruções difundidas pelas autoridades. Efetivamente, os estudos e os dados disponíveis atualmente revelam a existência de um contexto marcado, principalmente, pelas elevadas taxas de dependência, os fracos níveis de atividade económica e os níveis de escolaridade baixos que se continuam a verificar nesta região.

### 4.3. EDIFICADO

#### 4.3.1 Impactos dos Piroclastos de Queda

No estudo da vulnerabilidade é fundamental incluir a análise do edificado presente na área de estudo, porque além de influenciar diretamente a segurança das pessoas, também, serve de abrigo para a população exposta e/ou afetada (Pomonis *et al.*, 1999; Spence *et al.*, 2005; Wallenstein *et al.*, 2005; Wallenstein *et al.*, 2015b; Wilson *et al.*, 2017). A vulnerabilidade do edificado aos vários perigos vulcânicos depende de diversos fatores inerentes ao próprio edifício, como o tipo de construção, a idade, a qualidade dos materiais utilizados, o nível de manutenção, a necessidade de reparação, a configuração do edifício e a sua orientação (Pomonis *et al.*, 1999; Spence *et al.*, 2005). Além das características do edificado, outro fator determinante para inferir o potencial de destruição é a sua localização, incluindo a topografia, a altitude e a distância à fonte eruptiva (Malheiro, 2002). Ao passo que os edifícios situados mais próximos da fonte

eruptiva são mais suscetíveis aos perigos vulcânicos como os piroclastos de trajetória balística, para os mais afastados, o principal perigo consiste na deposição de cinzas e *lapilli*, que se podem acumular nos telhados e, inclusivamente, provocar o colapso parcial ou total dos edifícios (Pomonis *et al.*, 1999).

De facto, o principal impacto dos piroclastos de queda nos edifícios e, consequentemente, na população, consiste no colapso dos edifícios resultante do peso do material acumulado no decorrer da erupção. Alguns fatores como a espessura e a densidade dos depósitos, o ângulo de atrito interno, as características dos edifícios, como o tipo e a inclinação do telhado e a qualidade de construção podem influenciar os impactos verificados devido à deposição de piroclastos de queda. A espessura dos depósitos é um parâmetro que depende essencialmente das características da coluna eruptiva, da morfologia do centro eruptivo e de outros fatores como o vento e a precipitação. Contudo, tendo em conta a variedade de fatores que podem influenciar, não é fácil determinar exatamente as espessuras necessárias para originar o colapso dos telhados e/ou dos edifícios (espessuras críticas) (Gaspar, 1996; Spence *et al.*, 1996; Malheiro, 2002). Por exemplo, em alguns casos, níveis de cinzas com cerca de 10 cm já se mostram suficientes para provocar colapso dos telhados dos edifícios, principalmente, se forem húmidas (Blong, 1984a; Gaspar, 1996; Malheiro, 2002). No entanto, alguns estudos para o edificado da ilha de São Miguel (*e.g.* Booth *et al.*, 1983; Pomonis *et al.*, 1999) determinaram a espessura de 25 centímetros como a necessária para que ocorra o colapso de alguns telhados, sobretudo, se estes não forem limpos regularmente durante a erupção (Wallenstein, 1999; Malheiro, 2002). De acordo com esta análise, a acumulação de camadas de cinzas ou *lapilli* secos com cerca de 25 centímetros representa, aproximadamente, 200 kg/m<sup>2</sup> de carga adicional, portanto, multiplicando pelas áreas habituais dos telhados, isto pode significar um peso extra de várias dezenas de toneladas. Adicionalmente, se as cinzas estiverem húmidas, por exemplo se verificar precipitação durante ou após a mesma, uma conjuntura deveras realista considerando o clima da região, aquele valor pode ainda duplicar (Gaspar, 1996; Spence *et al.*, 1996; Malheiro, 2002). Os valores de 1 e de 4 metros foram ainda definidos como os limites das espessuras dos depósitos de piroclastos em que a maioria ou mesmo a totalidade dos edifícios não resistiria ao colapso, ou seja, os depósitos com espessuras de cerca de 1 m podem originar o colapso parcial das estruturas, enquanto, os depósitos com espessuras superiores a 4 m provocam a destruição total dos edifícios (Booth *et al.*, 1983).

O material que compõe e suporta, a inclinação e o estado de conservação dos telhados/coberturas são vistos como os principais fatores para determinar a resistência dos

edifícios ao peso dos piroclastos de queda (Pomonis *et al.*, 1999; Malheiro, 2002). O suporte do telhado em madeira revela-se como o mais vulnerável e as inclinações da cobertura inferiores a 20° evidenciam-se como as mais propensas à acumulação do material vulcânico. Sendo assim, algumas medidas de mitigação incluem a limpeza/remoção periódica do material vulcânico dos telhados, em condições de segurança, a utilização de suportes de telhado mais resistentes na construção dos edifícios (betão armado) e a adição de estruturas que permitem suportar mais cargas, como as vigas ou as colunas (Malheiro, 2002).

Quanto ao impacto dos piroclastos de trajetória balística, destacam-se a possibilidade provocarem diretamente danos nas coberturas e nas paredes dos edifícios, o soterramento, corrosão dos materiais e até incêndios, principalmente, no edificado localizado mais próximo da fonte (Pomonis *et al.*, 1999; Malheiro, 2002, 2006).

### 4.3.2 Caracterização

Na região do Fogo existem cerca de 20.922 edifícios (SREA, 2021) (Tabela 4.1). Os edifícios localizam-se, sobretudo, próximos às zonas costeiras, apesar de se verificarem alguns mais isolados no interior da ilha, nas zonas rurais, à exceção da freguesia das Furnas, que se situa no interior da caldeira do Vulcão das Furnas (Figura 4.6).

**Tabela 4.1** - Número de edifícios por concelho ou freguesia da região do Fogo (SREA, 2021).

CONCELHO/FREGUESIA	Nº DE EDIFÍCIOS
Lagoa	4890
Ribeira Grande	10704
Vila Franca do Campo	4019
Furnas	889
Ribeira Quente	420
<b>TOTAL</b>	<b>20922</b>

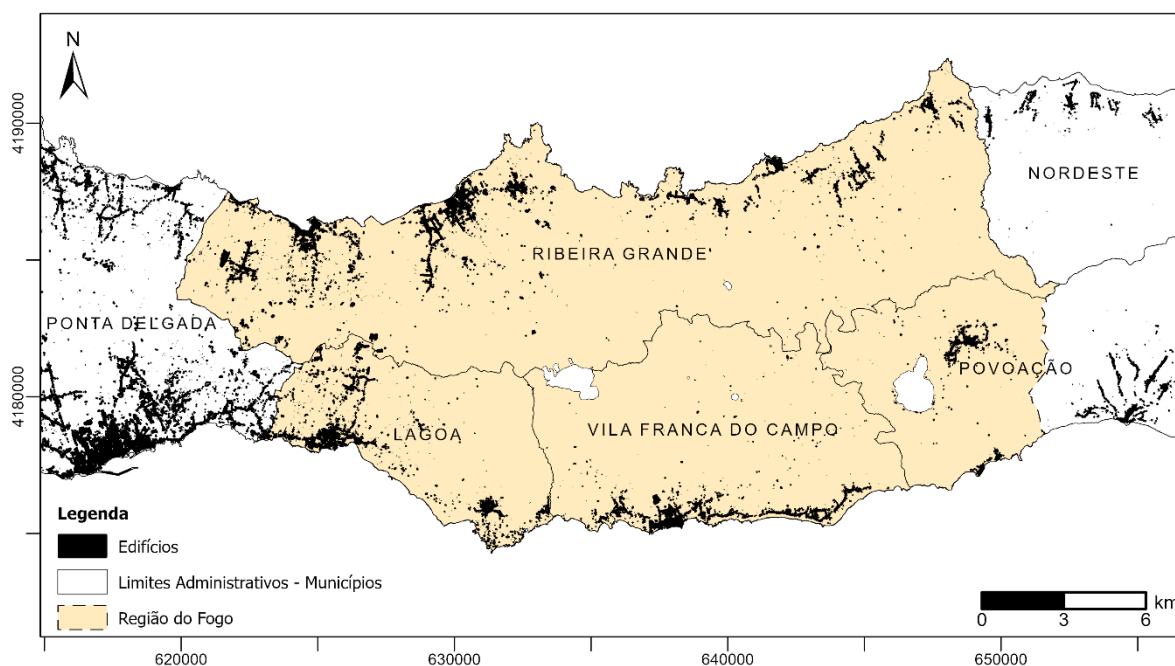
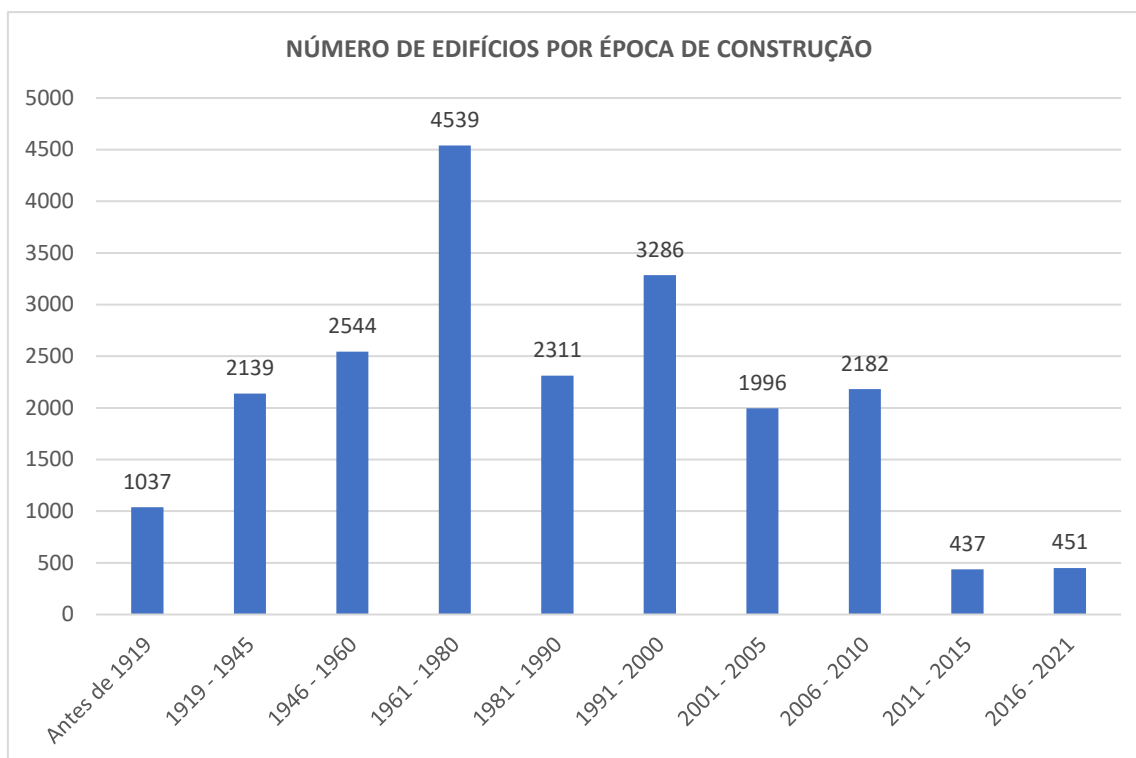


Figura 4.6 - Localização dos edifícios na região do Fogo. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

Em relação à tipologia dos edifícios de São Miguel, destacam-se dois grandes tipos de edificado que estão, essencialmente, relacionados com a época de construção. Antes da década de 70, a maioria dos edifícios era construído com pedra irregular não reforçada, tinham um ou dois andares, um telhado com cerca de 30° de inclinação em telha regional e o suporte do telhado em madeira. Alguns destes edifícios foram, posteriormente, reforçados com estruturas como lajes ou colunas de betão armado, no entanto, uma característica muito comum neste tipo de construção é o mau estado em que se encontram os telhados (Wallenstein *et al.*, 2005). Após a década de 70, a maioria dos edifícios já são construídos em blocos de cimento ou betão armado e têm até três andares. Os tipos de telhados que se encontram nestes edifícios são mistos: alguns são planos ou em placa (0° de inclinação) e outros são em telha continental com cerca 30° de inclinação (Spence *et al.*, 2005).

A região do Fogo não é exceção quanto ao tipo de construção utilizado. Por exemplo, destaca-se que cerca de 50% dos edifícios foram construídos antes da década de 80 e, aproximadamente, 76% foram construídos antes de 2000 (SREA, 2021) (Figura 4.7). No que concerne às condições dos mesmos, deve-se ressaltar que cerca de 22% dos alojamentos desta região apresentam necessidades de reparação, ou seja, nestes edifícios verifica-se a carência de intervenção nas seguintes componentes: estrutura, cobertura, paredes e caixilharia exteriores (SREA, 2021). Para este parâmetro, destacam-se, negativamente, a freguesia das Furnas e o concelho da Ribeira Grande, com 35% e 27%, respetivamente, das edificações a necessitar de reparações.



**Figura 4.7** - Número de edifícios por época de construção na região do Fogo segundo os Censos 2021 (SREA, 2021).

Quanto aos efeitos da atividade vulcânica no edificado da área de estudo, devido a este enquadramento, destacam-se os possíveis impactos resultantes da deposição de piroclastos de queda e da sismicidade. Como se pode depreender, o edificado de São Miguel é muito vulnerável à destruição na sequência de sismos e/ou da deposição de piroclastos de queda, tal como mostram os eventos históricos de sismos destruidores e de atividade sismovulcânica nos Açores e, inclusive, no Vulcão do Fogo (Coutinho *et al.*, 2008; 2010; Wallenstein *et al.*, 2015b).

Mesmo as erupções de menor proporção ou explosividade, habitualmente, emitem grandes quantidades de piroclastos. A consequente deposição destes materiais afeta, sobretudo, as localidades mais próximas à fonte eruptiva e as que se encontram na direção do vento predominante na altura da erupção. Todavia, estes produtos apresentam a capacidade de atingir grandes distâncias. De facto, dependendo da direção e intensidade do vento no momento da erupção, as localidades mais distantes da fonte também podem ser afetadas vigorosamente pelos piroclastos de queda, assim como aconteceu na erupção de 1563. Isto, torna-se ainda mais provável quando ocorre uma fase freatomagmática associada (Wallenstein *et al.*, 2005), tal como sucedeu também naquele evento. Dependendo de vários fatores como as características dos telhados e as condições em que se encontram, estes podem não suportar o peso resultante da deposição dos piroclastos, conduzindo ao seu colapso parcial ou total. Esta situação é agravada,

se incluirmos as condições meteorológicas nesta equação (Spence *et al.*, 2005), pois é necessária uma menor quantidade de cinzas húmidas do que cinzas secas para provocar o colapso dos telhados, devido às diferenças de densidade.

Para além disso, uma erupção vulcânica é normalmente precedida e/ou acompanhada por sismicidade que, dependendo da magnitude ou da recorrência, pode ser suficiente para originar a destruição de edifícios. De facto, apesar destes sismos não apresentarem, geralmente, magnitudes relativamente elevadas, podem danificar ou mesmo destruir parcial ou totalmente os edifícios de construção tradicional dos Açores (Gomes *et al.*, 2006), ou os danos decorrerem da ação cumulativa de vários eventos de magnitude menor que causam a saturação do edificado. A título de exemplo, segundo Pomonis *et al.* (1999), um sismo moderado, com magnitude 5,5, e localizado a menos de 10 km de profundidade seria suficiente para provocar a destruição ou danificar significativamente até 800 edifícios de construção tradicional e apenas 20 edifícios de construção em betão armado (Wallenstein *et al.*, 2005).

#### **4.4. REDE VIÁRIA**

##### **4.4.1 Impactos dos Piroclastos de Queda**

As vias de comunicação terrestre são essenciais na movimentação e transporte de pessoas, tanto numa fase de evacuação prévia da população, tanto na fase de resposta a uma emergência, por exemplo, como forma de acesso aos operacionais envolvidos nas zonas afetadas e/ou ameaçadas. No caso das erupções vulcânicas, as redes de transporte podem ser afetadas pelos vários perigos vulcânicos, como as escoadas piroclásticas e os *lahars*, especialmente, as vias que se encontrem próximas a cursos de água ou vales encaixados. No entanto, a própria sismicidade e, principalmente, os piroclastos de queda podem provocar restrições consideráveis nas várias vias de comunicação terrestres. O impacto causado pelos piroclastos de queda incide, sobretudo, na sua acumulação e consequente cobertura das estradas, causando limitações a nível de transportes como a redução da visibilidade na estrada, a perda de tração e a danificação dos veículos a vários níveis (Pomonis *et al.*, 1999; Wilson *et al.*, 2017). Além dos perigos vulcânicos diretos, o colapso dos edifícios ou a ocorrência de movimentos de vertente nas bermas das estradas resultantes, por exemplo, da sismicidade podem, inclusive, provocar o corte de estradas ou outras vias de comunicação terrestres, mesmo antes do início de uma erupção vulcânica (Wallenstein *et al.*, 2005; Wilson *et al.*, 2017). As vias de comunicação terrestre são

consideradas infraestruturas críticas (ponto 4.4.), no entanto, estas serão abordadas, seguidamente, segundo o ponto de vista operacional, como possíveis rotas de evacuação e os constrangimentos que podem surgir na região do Fogo.

#### 4.4.2 Caracterização

Nos Açores, a rede viária está organizada em vários níveis, dependendo da finalidade das vias. As redes estão agrupadas em: Regional, Municipal, Agrícola e Rural e/ou Florestal (Tabela 4.2).

Numa fase de normalidade, as respetivas entidades são responsáveis pela manutenção e gestão da rede, sendo encarregues de garantir a operacionalidade das vias. Quando há a disrupção de uma via, é importante que, garantidas as condições de segurança, as entidades responsáveis procedam à sua reabilitação célere, de forma a repor a operacionalidade das mesmas.

**Tabela 4.2** - Organização das vias de comunicação terrestre nos Açores, incluindo as competências de reabilitação, manutenção e gestão das respetivas redes (adaptado do PREPCA).

VIAS DE COMUNICAÇÃO TERRESTRE		REABILITAÇÃO	MANUTENÇÃO E GESTÃO
Rede Regional	Permite a ligação entre os polos urbanos e económicos de maior expressão em cada ilha.	Governo Regional	Governo Regional
Rede Municipal	Permite a circulação de pessoas e veículos dentro dos povoados e dos limites dos respetivos municípios	Municípios	Municípios
Rede Agrícola	Permite as ligações dentro dos perímetros de ordenamento agrário.	Governo Regional	Municípios
Rede Rural e/ou Florestal	Estabelece o acesso a explorações agrícolas, pecuárias e florestais acima da cota dos 250 m e a circulação dentro dos perímetros florestais.	Governo Regional	Governo Regional

A região do Fogo, uma vez que corresponde à zona central da ilha de São Miguel, abrange um conjunto denso de redes de transporte. De facto, esta área engloba as principais vias que permitem a ligação tanto das zonas norte e sul, como das zonas ocidental e oriental da ilha, além dos diversos caminhos secundários que permitem o acesso às zonas rurais (Figura 4.8). Devido a este enquadramento, é expectável que surjam alguns constrangimentos na circulação, que

devem ser contemplados no planeamento de emergência e/ou na seleção das rotas de evacuação.

Efetivamente, destacam-se algumas condicionantes que podem potenciar o corte das vias e que foram já identificadas noutros trabalhos (Wallenstein *et al.*, 2005, 2015b), nomeadamente: a presença de edifícios em construção tradicional de pedra, o tipo de construção mais vulnerável à sismicidade, em quase todas as localidades e, inclusive, junto às vias; a possibilidade de ocorrência de movimentos de vertentes nas vertentes de diversas estradas e a própria localização do Vulcão do Fogo na zona central da ilha. Neste último caso, é expectável que mesmo uma erupção de pequenas proporções com emissão de piroclastos de queda e/ou a atividade sísmica seriam suficientes para afetar as principais ligações desta área, isolando a população da região do Fogo e os habitantes da parte este da ilha. Mais detalhadamente, podem surgir as contrariedades descritas seguidamente.

Devido à sua proximidade à caldeira (o segmento mais próximo dista apenas 3,5 km) e à topografia do terreno no flanco sul, é provável que a EN1-1A (costa sul) seja bloqueada pela deposição de piroclastos de queda provenientes de uma erupção sub-pliniana ou na sequência da formação de escoadas de lama ou detritos (*lahars*), pois vários cursos de água interseam esta estrada em diversas secções. Este segmento da estrada principal da ilha permite a ligação das várias localidades situadas a este e sul de São Miguel à cidade de Ponta Delgada, pela costa sul. O corte desta via iria originar problemas significativos na circulação, pois a deslocação das pessoas seria restringida à via norte que, porventura, pode ser igualmente afetada.

De facto, quanto à parte norte, uma vez que não se localiza tão próximo da caldeira como o troço sul e tem melhores ligações a Ponta Delgada, os principais problemas que podem surgir incidem, sobretudo, na deposição de piroclastos de queda e na interrupção das vias devido ao transbordo da ribeira da Ribeira Grande, como resultado da sua proximidade às duas estradas principais (EN1-1A norte e EN3-1A). Efetivamente, como consequência de uma erupção no Fogo, mesmo de menores dimensões, será de esperar que esta ribeira transporte elevadas quantidades de produtos vulcânicos.

A via rápida que permite a ligação entre a Lagoa e a Ribeira Grande (Eixo Norte-Sul), apesar de se encontrar mais afastada à caldeira do que as anteriores, também pode ser afetada pela deposição de material vulcânico, tornando a sua utilização limitada. Com uma circulação mais rápida e com melhores condições do que as outras estradas (ex. EN3-1A), atualmente, esta é uma das principais vias que permite a ligação entre o norte e o sul, pela zona central da ilha.

Quanto às freguesias do centro e da costa norte localizadas a oeste do vulcão, é provável que apenas sejam afetadas pelos produtos de uma erupção sub-Pliniana, caso a direção do vento proporcione a queda de piroclastos nesta direção. No entanto, devido à sua proximidade com a cidade de Ponta Delgada, não é de esperar que surjam problemas relevantes na evacuação da população destas localidades. Já as freguesias da costa norte localizadas a leste do vulcão, também, só seriam diretamente afetadas caso a direção do vento assim o determinasse, contudo, espera-se que a evacuação desta população seja mais complexa devido à possibilidade de corte das ligações principais com Ponta Delgada, referidas anteriormente.

Outros aspetos relevantes na circulação, consistem, principalmente, nas freguesias de acesso limitado ou que se encontram mais isoladas e distantes das estradas principais (ex. Ribeira Quente e Ponta Garça), situação que se torna ainda mais complexa quando as mesmas se localizam em zonas de suscetibilidade elevada aos perigos vulcânicos (ex. lugar da Praia). Efetivamente, algumas localidades da região têm apenas uma ou duas vias de acesso, portanto, caso estas fiquem bloqueadas como consequência dos diversos fatores já mencionados, a respetiva população ficará isolada do resto da ilha por via terrestre. Por conseguinte, as freguesias mais afastadas das estradas principais e as que se encontram isoladas e/ou em áreas de elevada suscetibilidade requerem uma evacuação prévia.

Um dos casos mais preocupantes é a freguesia da Ribeira Quente que, além de se encontrar isolada, dispõe apenas de uma via de acesso, sendo que uma extensa parte desta estrada apresenta alguns fatores propensos a condicionar ou impossibilitar a sua utilização, como a elevada suscetibilidade a movimentos de vertente nas encostas adjacentes e a possibilidade de queda de árvores e de cheias. Realmente, são vários os exemplos de eventos que resultaram no corte desta estrada, isolando a população da freguesia durante várias horas, como os movimentos de vertente resultantes de precipitação intensa em 1997, em 2010 e, mais recentemente, em maio de 2023.

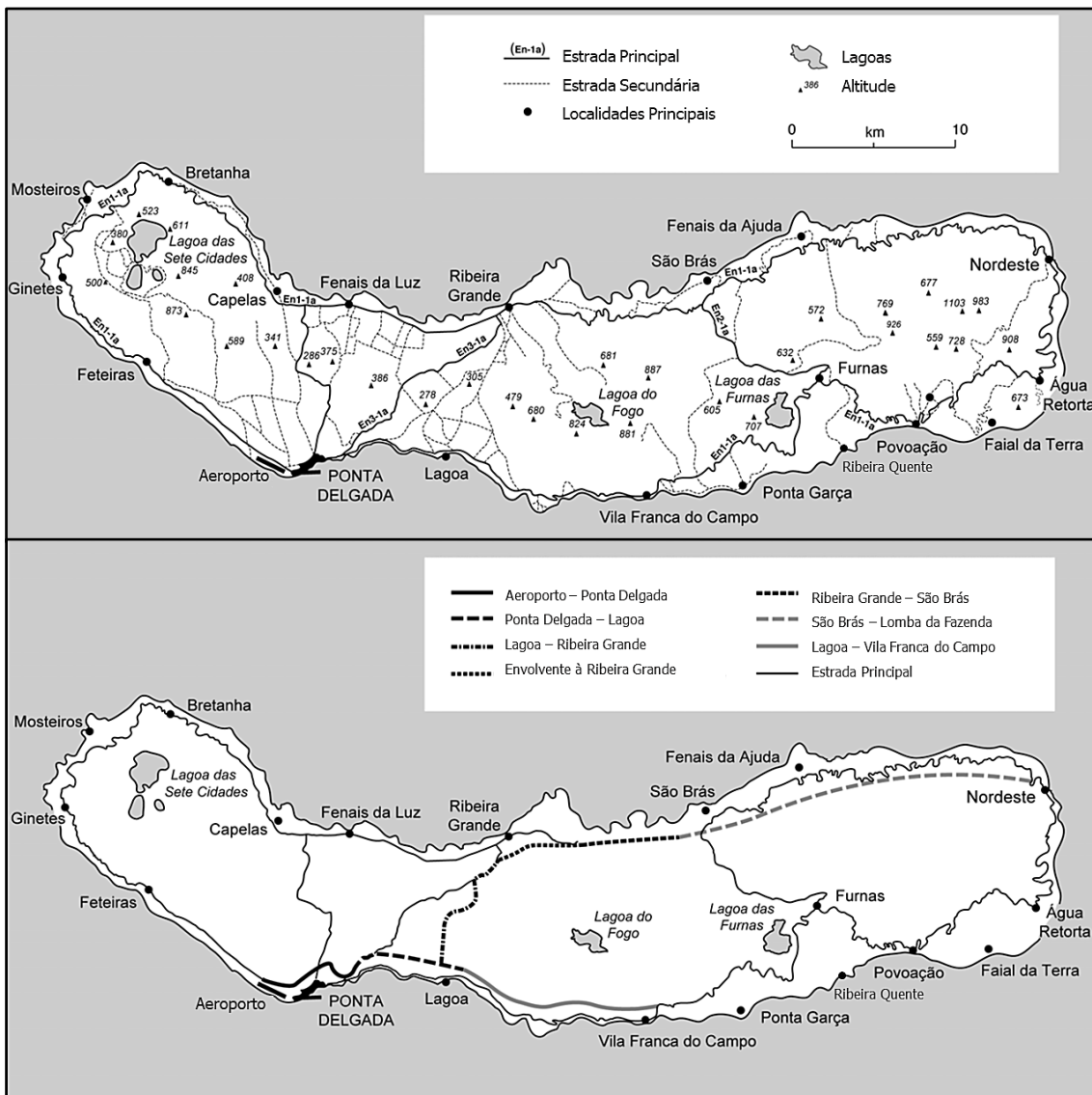


Figura 4.8 - Estradas principais, secundárias (em cima) e vias rápidas (em baixo) da ilha de São Miguel (adaptado de Wallenstein *et al.*, 2015b).

## 4.5. INFRAESTRUTURAS CRÍTICAS

### 4.5.1 Impactos dos Piroclastos de Queda

Uma infraestrutura crítica consiste na componente, sistema ou parte deste que é essencial para a manutenção de funções vitais para a sociedade, a saúde, a segurança e o bem-estar económico ou social, e cuja perturbação do funcionamento ou destruição teria um impacto significativo, dada a impossibilidade de continuar a assegurar essas funções (Decreto-Lei n.º 20/2022, 28 de

janeiro, publicado em Diário da República, I Série, N.º 20, que aprova os procedimentos para identificação, designação, proteção e aumento da resiliência das infraestruturas críticas nacionais e europeias). São exemplos de infraestruturas críticas: os sistemas de produção, armazenamento e distribuição de energia e combustíveis, as estruturas de fornecimento e reservatórios de água, as estações de tratamento de águas, os sistemas de esgotos, as vias de transporte (terrestres, aéreas e marítimas), os sistemas de comunicações e as estruturas associadas. Portanto, são sistemas/processos desenvolvidos pelo Homem que contribuem para disponibilizar serviços essenciais à sociedade. Portanto, a disrupção destas infraestruturas pode originar impactos socioeconómicos significativos (Wilson *et al.*, 2017).

Algumas destas são consideradas infraestruturas de relevância operacional, ou seja, são infraestruturas fundamentais ou indispensáveis para colocar em prática as ações que se pretende desenvolver na resposta a uma emergência. Assim, é importante que a localização e as vulnerabilidades das mesmas se encontrem previamente identificadas, tal como o equipamento e a mão-de-obra necessária para mantê-las e restaurá-las durante ou após a erupção (Bignami *et al.*, 2013). Além das já mencionadas, fazem parte, os elementos estratégicos, vitais ou sensíveis para as operações de proteção civil e socorro, como os quartéis de bombeiros, as instalações de agentes de proteção civil (forças de seguranças, forças armadas e corpos de bombeiros), as instalações desportivas e as unidades de saúde. Estes elementos estão devidamente identificados e referenciados a nível regional no Plano Regional de Emergência de Proteção Civil dos Açores (PREPCA) e a nível municipal nos respetivos Planos Municipais de Emergência de Proteção Civil. Sendo assim, de seguida, serão apenas abordadas algumas das infraestruturas críticas presentes na área de estudo ou na ilha de São Miguel, de acordo com a respetiva finalidade.

De forma geral, as espessuras dos depósitos de cinzas inferiores a 20 cm, habitualmente, não provocam danos consideráveis nas infraestruturas; no entanto, se estas cinzas estiverem húmidas podem originar perturbações graves, por exemplo, nos sistemas elétricos e/ou nos sistemas de comunicações (Tabela 4.3). Embora com base em informação pouco robusta, há quem considere que os *lahars* constituem a maior ameaça para as infraestruturas críticas (Blong, 1984a; Malheiro, 2002, 2006), devido à capacidade de soterramento das estruturas e/ou da destruição total ou parcial das componentes dos vários sistemas. Neste sentido, importa ressaltar que a ocorrência de escoadas de lama ou *lahars* é uma forte possibilidade nos flancos do Vulcão do Fogo, como, inclusivamente, sucedeu na erupção de 1563 (Wallenstein *et al.*,

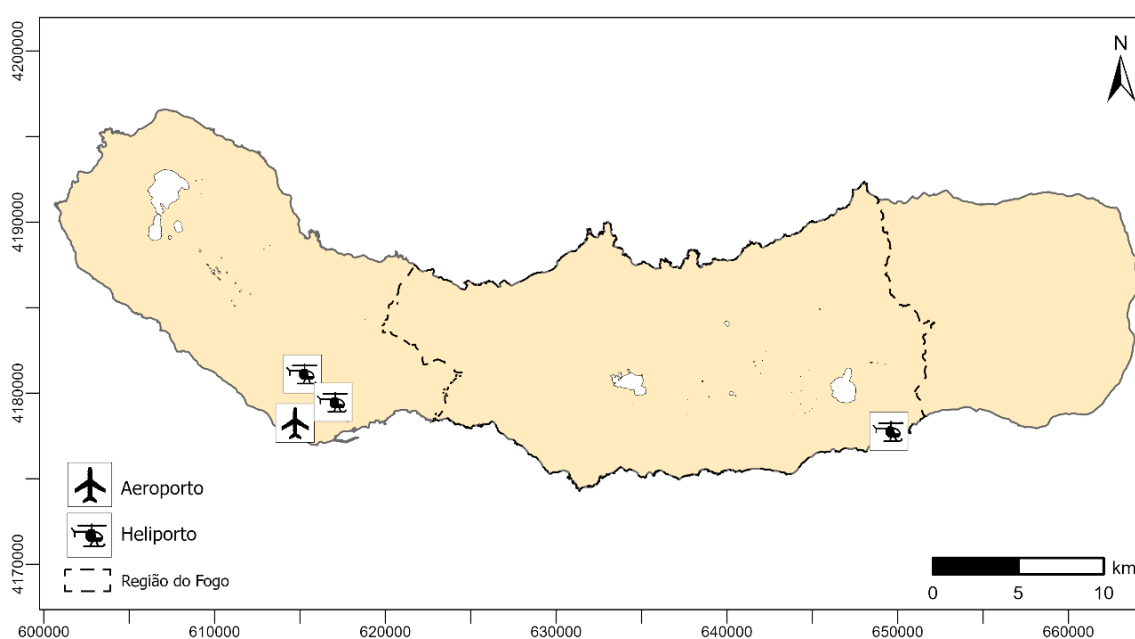
2015b). Em relação às estruturas dos agentes de proteção civil, aplicam-se os potenciais impactos dos piroclastos de queda no edificado, já abordados previamente.

**Tabela 4.3** - Principais impactos dos piroclastos de queda nas infraestruturas críticas (Blong, 1984a; Malheiro, 2002; Wallenstein *et al.*, 2015b; Wilson *et al.*, 2017).

INFRAESTRUTURAS	PRINCIPAIS IMPACTOS
<b>Sistemas de Abastecimento de Águas e/ou Estações de Tratamento de Águas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Contaminação da água com elementos nocivos (arsénio e/ou flúor);</li> <li>– Turvação e acidificação dos reservatórios;</li> <li>– Abrasão dos componentes;</li> <li>– Colapso de reservatórios;</li> <li>– Entupimento dos filtros e/ou canalizações.</li> </ul>
<b>Sistemas de Esgotos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entupimento das canalizações;</li> <li>– Abrasão das componentes;</li> <li>– Danificação dos equipamentos.</li> </ul>
<b>Sistemas de Distribuição de Energia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abrasão das componentes;</li> <li>– Incêndios;</li> <li>– Infiltração nos equipamentos;</li> <li>– Quebra e/ou queda de linhas elétricas;</li> <li>– Curto-circuitos nos equipamentos.</li> </ul>
<b>Sistemas de Comunicações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abrasão e desgaste dos materiais;</li> <li>– Danificação das componentes;</li> <li>– Influencia a comunicação rádio.</li> </ul>
<b>Vias de Comunicação Terrestre e/ou Veículos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bloqueio completo ou parcial de estradas;</li> <li>– Redução da tração e visibilidade;</li> <li>– Abrasão ou destruição da sinalização das vias;</li> <li>– Fragilização ou destruição de pontes;</li> <li>– Estragos no exterior e nos motores;</li> <li>– Entupimento dos filtros de ar;</li> <li>– Corrosão das componentes metálicas.</li> </ul>
<b>Aeroportos e/ou Aviões</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Inoperacionalidade parcial ou total dos aeroportos;</li> <li>– Abrasão da pista, marcas, luzes e outras componentes;</li> <li>– Redução da tração e da visibilidade;</li> <li>– Bloqueio dos motores;</li> <li>– Danificação da fuselagem e outras partes;</li> <li>– Entupimento dos sistemas de filtragem;</li> <li>– Avarias no sistema eletrónico.</li> </ul>
<b>Portos e/ou Embarcações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Inoperacionalidade parcial ou total dos portos;</li> <li>– Flutuação de material vulcânico no mar;</li> <li>– Limita ou impossibilita a navegação;</li> <li>– Danos diretos nas embarcações e nas estruturas portuárias.</li> </ul>

### 4.5.2 Caracterização

Em relação às vias de transporte aéreo, nomeadamente, aeroportos e heliportos, a ilha de São Miguel dispõe de um aeroporto (Aeroporto João Paulo II) e um heliporto certificado pela Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC), localizado no Hospital do Divino Espírito Santo em Ponta Delgada. No entanto, possui ainda outros dois heliportos não certificados pela ANAC, designadamente, um no Comando Operacional dos Açores e outro na freguesia da Ribeira Quente, que integra a região do Fogo (Figura 4.9).



**Figura 4.9** - Localização do aeroporto e dos heliportos na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

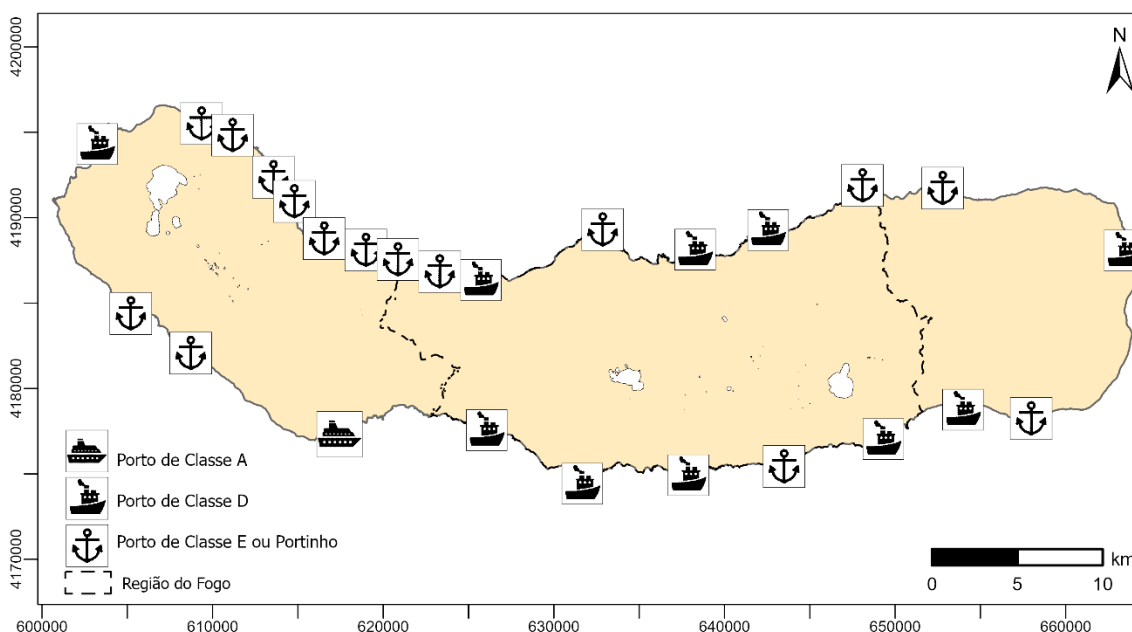
A inoperacionalidade destas infraestruturas pode ser um constrangimento particularmente relevante quando se trata de uma ilha, pois pode condicionar seriamente as ações de evacuação, de salvamento e, inclusive, de logística através da limitação do transporte de meios de socorro, pessoal e ajuda externa para as áreas afetadas. A impossibilidade de movimentação por via aérea é uma situação bastante plausível como consequência de uma erupção sub-Pliniana no Vulcão do Fogo, devido à proximidade ao aeroporto de Ponta Delgada e à inexistência de alternativas.

Já em relação às vias de transporte marítimo, o arquipélago dos Açores dispõe de uma rede portuária que abrange todas as ilhas, incluindo portos, terminais marítimos e portos de pesca (Decreto Legislativo Regional n.º 24/2011/A, de 22 de agosto, publicado em Diário da República,

I Série, N.º 160, que aprova o sistema portuário dos Açores) (Tabela 4.4). No caso da ilha de São Miguel, estes encontram-se por toda a ilha, inclusive na região do Fogo, sendo a maioria portinhos e portos de pesca (Classe D), principalmente, na costa norte da ilha (Resolução n.º 161/2016, de 23 de dezembro, publicada no Jornal Oficial do Governo Regional dos Açores, I Série, N.º. 149, que aprova a distribuição dos portos dos Açores pela classe D). O concelho de Ponta Delgada conta ainda com um porto de maiores dimensões (Porto Comercial) com capacidade de receber navios de todas as dimensões, além de um terminal de passageiros (Figura 4.10).

**Tabela 4.4** - Classificação dos portos de acordo com a sua dimensão/função e as entidades gestoras na RAA.

DESIGNAÇÃO	CLASSE(S)	GESTÃO
Portos Comerciais	A, B, C	Portos dos Açores
Portos de Pesca	D	Departamento do GRA com competência em matéria de pescas.
Portinhos	E	Departamento do GRA com competência em matéria de mar.



**Figura 4.10** - Localização dos portos de classe A, D e E na ilha de São Miguel. Quadricula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

No que concerne aos sistemas de comunicações, a Região Autónoma dos Açores (RAA) conta com a cobertura de várias redes de comunicações privadas, entre as quais, se destacam as principais operadoras como a MEO, NOS e Vodafone.

Quanto às telecomunicações de emergência, com a finalidade de servir os vários agentes de proteção civil e as entidades com dever de colaboração que integram o Sistema Regional de Proteção Civil, o arquipélago dos Açores dispõe da Rede Integrada de Telecomunicações de Emergência da Região Autónoma dos Açores (RITERAA). A RITERAA é uma solução tecnológica assente no *standard* DMR (*Digital Mobile Radio*) em que a sua infraestrutura base é composta por uma Rede de Acesso (*sites*) (Figura 4.11), designada por estações base ou repetidores, onde todos os terminais acedem para processar a sua comunicação e uma Rede de Transmissão (*links*) que interliga as diferentes estações base com o objetivo de projetar as comunicações entre elas, tanto a nível mais local, como a nível regional. A RITERAA está dividida em três redes independentes (uma rede para servir cada grupo de ilhas dos Açores), interligadas através de uma infraestrutura redundante.

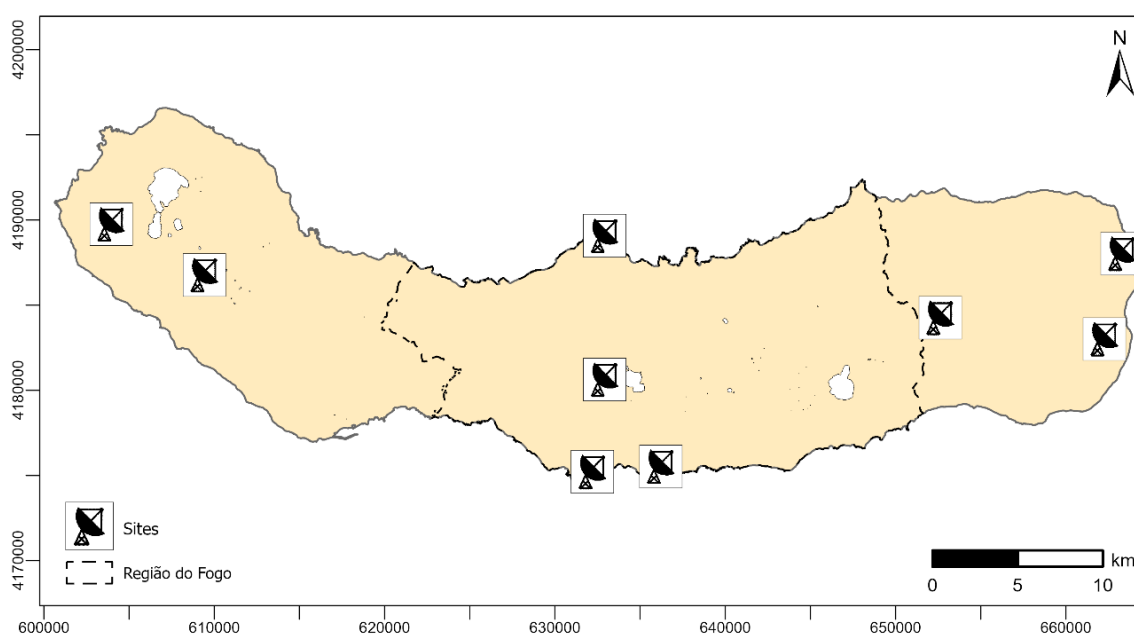
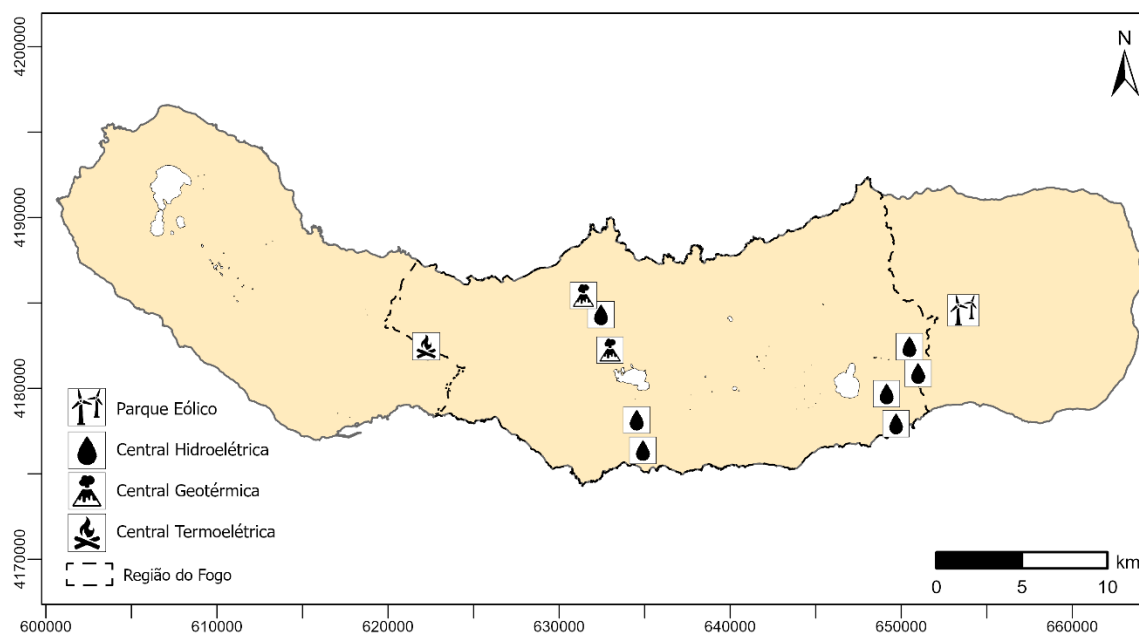


Figura 4.11 - Localização dos sites da RITERAA na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

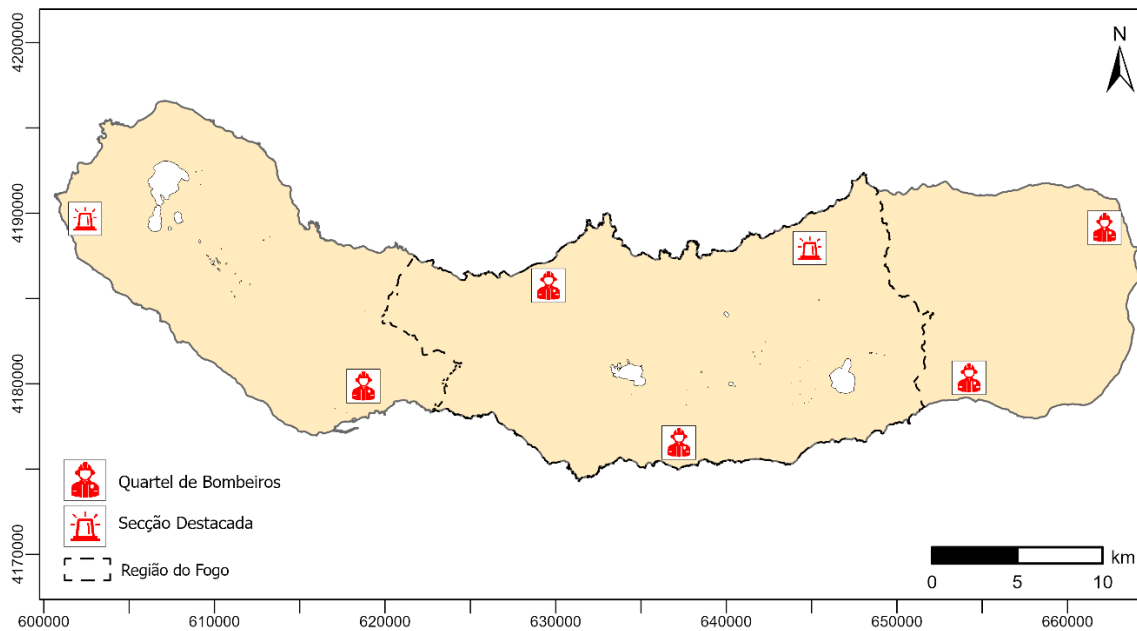
O arquipélago dos Açores usufrui ainda de cobertura da rede do Sistema Integrado de Redes de Emergência e Segurança de Portugal (SIRESP) que permite um serviço móvel satélite, terrestre e fixo. No contexto regional, esta rede é assegurada por um múltiplo operador de sistema localizado em Ponta Delgada e 30 estações base, 3 centros de comando e 5 consolas de despacho.

A nível de produção de energia elétrica, a ilha de São Miguel conta com uma central térmica, um parque eólico, sete centrais hidroelétricas, duas centrais geotérmicas e duas centrais biogás. Além disso, importa referir que todas as centrais hidroelétricas se situam na região do Fogo (duas na freguesia de Água d'Alto, no flanco sul, uma no Salto do Cabrito, no flanco norte, três na freguesia de Furnas e uma na freguesia de Ribeira Quente), e as duas centrais geotérmicas da ilha estão localizadas no concelho da Ribeira Grande, nomeadamente, a Central Geotérmica do Pico Vermelho e a Central Geotérmica da Ribeira Grande que, segundo a Direção Regional da Energia, são responsáveis por 38% da energia produzida na ilha de São Miguel (dados de 2019, *online*) (Figura 4.12).



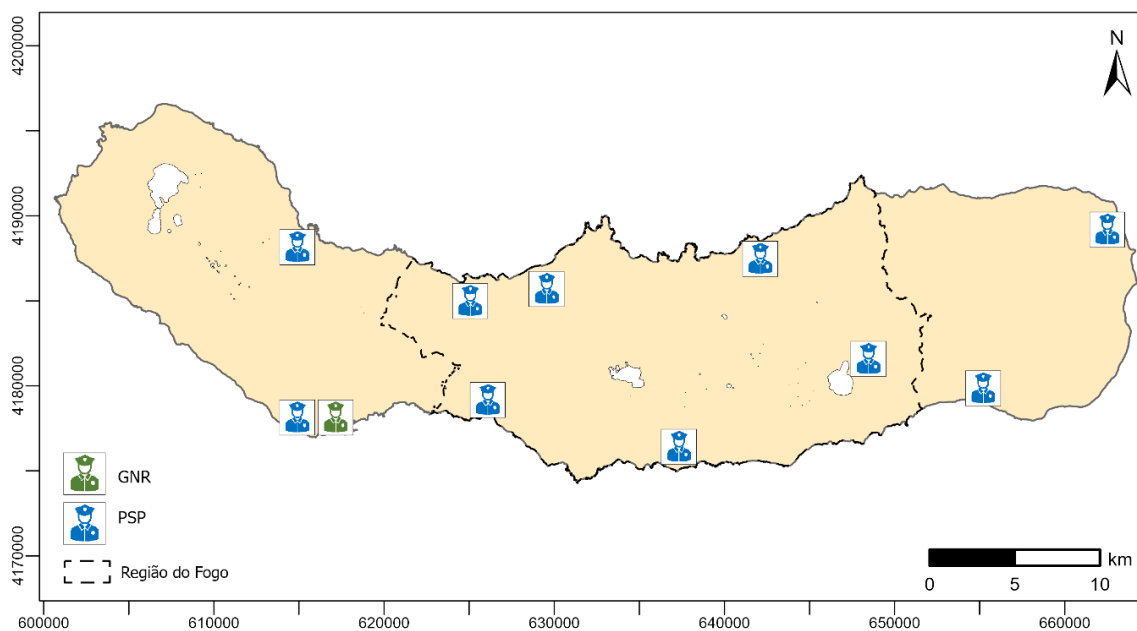
**Figura 4.12** - Localização das centrais de produção de energia na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

Quanto aos agentes de proteção civil, a ilha de São Miguel conta com um total de cinco corpos de bombeiros, distribuídos por cinco quartéis e duas secções destacadas. Os concelhos de Ponta Delgada, Ribeira Grande, Vila Franca do Campo, Povoação e Nordeste, contam cada um com um quartel de bombeiros no seu município. Além destes, existem ainda duas secções destacadas, nos Ginetes (Ponta Delgada) e na Maia (Ribeira Grande) (Figura 4.13). Até à data da elaboração da presente dissertação, dos seis municípios da ilha de São Miguel, apenas o município de Lagoa não dispõe de um quartel de bombeiros.



**Figura 4.13** - Localização dos quartéis e secções destacadas dos bombeiros de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

As Forças de Segurança, nomeadamente, a Polícia de Segurança Pública (PSP) e a Guarda Nacional Republicana (GNR) estão presentes em São Miguel, através das suas respetivas esquadras que, no caso da PSP, estão distribuídas por toda a ilha (Figura 4.14).



**Figura 4.14** - Localização das esquadras da PSP e postos da GNR na ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.



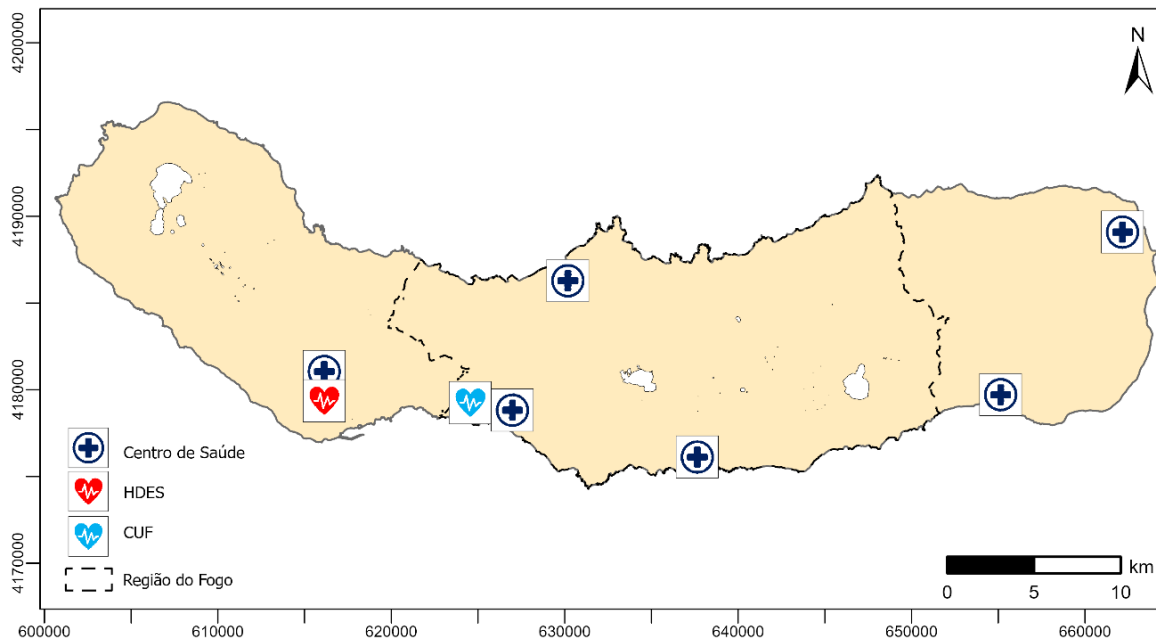


Figura 4.16 - Localização das principais unidades de saúde da ilha de São Miguel. Quadrícula UTM, Zona 26S, Datum WGS84.

## 5. GESTÃO DE CRISES VULCÂNICAS E SISTEMA DE PROTEÇÃO CIVIL DOS AÇORES

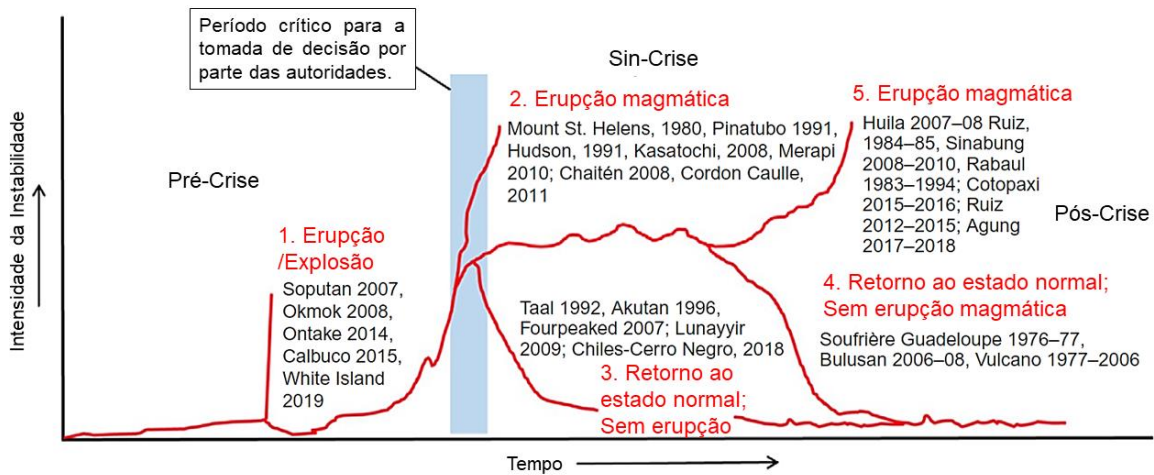
### 5.1. GESTÃO DE CRISES VULCÂNICAS

As crises vulcânicas correspondem ao despoletar de uma situação instável num determinado sistema vulcânico, contribuindo para o aumento do risco e do nível de preocupação entre a comunidade em risco e os responsáveis pela salvaguarda da mesma. O seu início pode ser determinado pela alteração do estado normal de atividade, ou seja, quando os valores registados ultrapassam, significativamente, os níveis normais de referência para um determinado vulcão. Geralmente, as erupções são precedidas e acompanhadas por um período de instabilidade, que se pode manifestar através de sinais precursoros ou de um aumento repentino na atividade eruptiva. No entanto, nem todas as erupções são precedidas por sinais e nem todas as crises vulcânicas resultam em erupções (Gotssmann *et al.*, 2018). Além disso, nem sempre é fácil reconhecer o início e, principalmente, o fim de uma crise vulcânica, contudo, importa referir que a gestão de crises vulcânicas consiste num processo gradual, compreendendo as principais fases do ciclo da gestão do risco: a fase de preparação (pré-evento/crise), a fase de resposta à crise (sin-evento/crise) e a fase de recuperação (pós-evento/crise) (Jolly & Cruz, 2015) (Figura 5.1).

A fase de preparação corresponde ao período que antecede uma crise e que irá determinar o estado de prontidão dos envolvidos na resposta. Portanto, inclui ações de carácter, essencialmente, preventivo como a sensibilização e informação da população ou planeamento de emergência e realização de exercícios de proteção civil (Bignami *et al.*, 2013). Nesta fase, é fundamental que tanto a população como as autoridades adquiram uma perceção adequada dos perigos vulcânicos e dos respetivos impactos. A fase de resposta é o período em que os intervenientes do sistema de proteção civil reagem à crise vulcânica, executando ações com a finalidade de mitigar os perigos vulcânicos. Por último, a fase de recuperação consiste no período após o fim da crise, onde são implementadas medidas visando o retorno à normalidade ou a uma nova normalidade, como o regresso da população afetada e a retoma das atividades económicas (Jolly & Cruz, 2015).

O resultado da gestão de uma crise vulcânica irá depender, significativamente, das ações desenvolvidas pelos vários intervenientes e dos respetivos *timings* ao longo destas fases. De

salientar, assim, a importância de, numa etapa pós-crise, promover discussões e análises sobre a atuação dos vários atores na resposta à crise que terminou, porque esta revisão combinada com a realização de exercícios de proteção civil, permitem identificar os aspetos a melhorar e corrigir os pontos menos positivos, introduzindo as devidas correções nos planos de emergência.



**Figura 5.1** - Cronograma das crises vulcânicas, incluindo as evoluções (adaptado de Newhall *et al.*, 2021). (1) Escalada muito rápida ou instantânea da instabilidade, originando uma erupção magmática/freática ou uma explosão freatomagmática/freática. (2) Aumento contínuo da instabilidade durante várias semanas ou meses, resultando numa erupção magmática. (3) Aumento contínuo da instabilidade durante semanas ou meses, seguido de uma diminuição na instabilidade sem ocorrer uma erupção. (4) Aumento da instabilidade, seguido de um período prolongado com níveis de instabilidade elevados e oscilatórios, precedendo uma diminuição na instabilidade/nenhuma erupção magmática ou (5) um aumento tardio na instabilidade que origina uma erupção magmática.

### 5.1.1. Atores: Papéis e Responsabilidades

Durante uma crise vulcânica, a interação entre os vários atores, nomeadamente, cientistas, autoridades/proteção civil, comunicação social e público, é essencial para a mitigação do risco vulcânico e a eficácia da comunicação entre estes é determinante para o sucesso ou insucesso da gestão da própria crise (Solana *et al.*, 2008; Marzocchi *et al.*, 2012; Jolly & Cruz, 2015; Dolce & Di Bucci, 2015; Marzocchi *et al.*, 2021; Newhall *et al.*, 2021; Lowenstern *et al.*, 2022). Efetivamente, a gestão de crises vulcânicas consiste numa parceria entre os setores vulneráveis da sociedade, os cientistas responsáveis pela monitorização do sistema vulcânico e o governo/autoridades, através das entidades que integram o sistema de proteção civil (Bignami *et al.*, 2013; Jolly & Cruz, 2015; Dolce & Di Bucci, 2015; Giordano *et al.*, 2016). Para o seu sucesso, é fundamental que cada interveniente entenda o seu papel na gestão da crise, como os seus

limites de atuação e responsabilidades, que devem estar descritos nos planos de emergência e quadros legislativos adequados.

Antes, importa referir que não existe uma organização ideal na resposta a crises vulcânicas. De facto, cada país apresenta uma estrutura e quadros legislativos distintos (Tabela 5.1), que se mostram ainda mais únicos se analisarmos os contextos regionais e locais (Papale, 2017; Lowenstern *et al.*, 2022). Com efeito, as responsabilidades atribuídas variam de acordo com cada realidade, uma vez que dependem dos respetivos contextos culturais, sociais, económicos e políticos (Dohaney *et al.*, 2015; Papale, 2017, 2021).

Normalmente, verifica-se uma divisão clara de papéis entre os cientistas e as autoridades, no entanto, esta divisão pode não ser tão evidente quando as responsabilidades de ambos acabam por se sobrepor. Em alguns casos, por exemplo, os cientistas adquirem um papel mais ativo na resposta e são encarregues de recomendar ou mesmo decidir as medidas de mitigação a implementar, como a evacuação da população (*e.g.* Filipinas e Chile). Noutros, os cientistas são incluídos em comissões multidisciplinares, com o objetivo de receber a informação dos observatórios vulcanológicos e aconselhar ou apenas simplificar a informação sobre o estado do vulcão, permitindo uma melhor compreensão por parte das autoridades (Marzocchi *et al.*, 2012; Jolly & Cruz, 2015; Papale, 2017). Já em certos quadros, os cientistas limitam-se a desenvolver as atividades de investigação académica, monitorização e reportar o estado de atividade do vulcão às autoridades, que são os únicos responsáveis por decidir as medidas de mitigação e pela comunicação à população (Newhall *et al.*, 2021).

## 5. GESTÃO DE CRISES VULCÂNICAS E SISTEMA DE PROTEÇÃO CIVIL DOS AÇORES

**Tabela 5.1** - Organização da resposta a crises vulcânicas em vários países (adaptado de Nakada *et al.*, 2019).

	JAPÃO	EUA	ITÁLIA	INDONÉSIA	FILIPINAS	NOVA ZELÂNDIA	CHILE	EQUADOR
<b>MEDIDAS GERAIS</b>	Gabinete do Primeiro-Ministro	FEMA	DPC	BNPB	NDRRMC OCD LDRRMC	NEMA	ONEMI	SNGRE
<b>MEDIDAS REATIVAS/ RESPOSTA</b>	Governos Locais	Estados ou Municípios Locais	Estados ou Municípios Locais	Estados ou Municípios Locais	PHIVOLCS	CDEM (Local e Regional)	SERGEOMIN	Governos Locais
								SNGRE
								INAMHI
<b>MONITORIZAÇÃO ALERTAS</b>	JMA Sabó, MLIT Guarda Costeira	NOAA	DPC ENAC	CVGHM	PHIVOLCS	GNS	SERGEOMIN	INAMHI
<b>PROJETO NACIONAL</b>	GSI NIED AIST NICT	USGS	INGV					IG-EPN
<b>INVESTIGAÇÃO ACADÉMICA</b>	Universidades	Universidades	Universidades					Universidades

**LEGENDA:**

Entidade Pública	Instituto de Investigação Nacional	Universidade	Entidade Privada
------------------	------------------------------------	--------------	------------------

Siglas: **JMA**: Agência Meteorológica do Japão; **MLIT**: Ministério do Território, Infraestruturas, Transportes e Turismo; **GSI**: Autoridade de Informação Geoespacial do Japão; **NIED**: Instituto Nacional de Investigação em Ciências da Terra e Resiliência a Desastres; **AIST**: Serviços Geológicos do Japão (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Industrial Avançada); **NICT**: Instituto Nacional de Informação e Comunicações Tecnológicas. **FEMA**: Agência Federal de Gestão de Emergências; **NOAA**: Administração Nacional Oceânica e Atmosférica; **USGS**: Serviços Geológicos dos Estados Unidos. **DPC**: Departamento de Proteção Civil; **ENAC**: Autoridade de Aviação Civil Italiana; **INGV**: Instituto Nacional de Geofísica e Vulcanologia. **BNPB**: Agência Nacional de Resposta a Desastres; **CVGHM**: Centro de Vulcanologia e Mitigação de Riscos Geológicos. **NDRRMC**: Comissão Nacional para a Redução e Gestão do Risco de Desastres; **OCD**: Gabinete de Proteção Civil; **LDRRMC**: Comissão Local para a Redução e Gestão do Risco de Desastres; **PHIVOLCS**: Instituto de Vulcanologia e Sismologia das Filipinas. **NEMA**: Agência Nacional de Gestão de Emergências; **CDEM**: Ministério de Proteção Civil e Gestão de Emergências. **ONEMI**: Gabinete Nacional de Emergências do Ministério do Interior e Segurança Pública; **SERGEOMIN**: Serviço Nacional de Geologia e Mineiro. **SNGRE**: Serviço Nacional de Gestão de Riscos e Emergências; **INAMHI**: Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia; **IG-EPN**: Instituto Geofísico-Escola Politécnica Nacional.

Apesar disso, parece haver consenso entre a comunidade científica em relação à extensão do papel dos cientistas numa crise vulcânica. De acordo com vários autores (*e.g.* Marzocchi *et al.*, 2012; Dolce & Di Bucci, 2015; Donovan & Oppenheimer, 2014, 2015; Winson *et al.*, 2014; Jolly & Cruz, 2015; Papale, 2017, 2021; Marzocchi *et al.*, 2021; Newhall *et al.*, 2021), a responsabilidade de decidir as ações de mitigação que irão influenciar uma determinada comunidade, não deve recair sobre os cientistas, uma vez que estas escolhas requerem perspectivas políticas, sociais e económicas que os mesmos não têm a capacidade de incluir no seu processo de decisão. Portanto, os observatórios vulcanológicos devem direcionar os seus esforços e recursos na monitorização, na avaliação do perigo e na comunicação da informação científica que servirá de base para as autoridades decidirem, mas incluindo os fatores políticos e socioeconómicos indispensáveis na gestão do risco (Marzocchi *et al.*, 2012; Papale, 2017).

Os cientistas e/ou observatórios vulcanológicos trabalham para descrever os diversos mecanismos relacionados com a dinâmica dos sistemas vulcânicos, com o objetivo principal de antecipar erupções vulcânicas e a evolução espaciotemporal dos fenómenos vulcânicos (Marzocchi *et al.*, 2012; Bignami *et al.*, 2013; Winson *et al.*, 2014; Giordano *et al.*, 2016; Papale, 2021). Através da monitorização e investigação do sistema vulcânico, os cientistas recolhem a informação necessária para avaliar e definir o estado de atividade de um vulcão, comunicando-o às autoridades de proteção civil, responsáveis pela tomada de decisão (Lowenstern *et al.*, 2022), à população e a outras partes interessadas. Assim, a mitigação do risco vulcânico depende, inicialmente, da eficácia na identificação dos sinais precursores e de uma adequada comunicação do perigo por parte da fonte oficial da informação científica. A capacidade dos observatórios a nível de instrumentação e de pessoal e a extensão das responsabilidades irão determinar a intensidade e a qualidade das operações durante as crises (Newhall *et al.*, 2021).

Na gestão científica de crises vulcânicas, as principais responsabilidades dos observatórios vulcanológicos incidem na assessoria à proteção civil, nomeadamente, assegurar que a informação sobre o estado, a evolução e possíveis cenários da atividade vulcânica seja transmitida de forma regular e eficiente às autoridades e ao público, através da emissão de alertas, avisos e/ou comunicados, para que sejam deliberadas e executadas as medidas de mitigação do perigo. Para isso, desenvolvem outras atividades como: instalar, operar e manter as redes de monitorização vulcânica; efetuar trabalhos de campo para complementar os dados monitorizados; elaborar produtos utilizados na comunicação do risco como a definição do nível de alerta vulcânico e/ou elaborar mapas e árvores de eventos (*Event Tree Analysis*) e, em conjunto com as autoridades, avaliar as zonas suscetíveis aos perigos vulcânicos. Além destas,

podem desenvolver medidas de resposta adicionais, como o reforço da rede de monitorização, reuniões frequentes com a proteção civil e outras partes interessadas, contacto com instituições parceiras, elaboração ou ativação dos planos de comunicação, entre outras (Papale, 2021).

O papel dos cientistas pode ser repartido por várias instituições ou atribuído, exclusivamente, a uma instituição pública que pode ser responsável pela monitorização de um ou vários sistemas vulcânicos. De facto, a maioria dos observatórios vulcanológicos pertencem a órgãos governamentais, apesar de alguns serem operados por instituições académicas, como as universidades (Newhall *et al.*, 2021), que, entre outras capacidades, possibilitam uma análise multidisciplinar na avaliação do perigo. Outras instituições científicas locais ou estrangeiras também podem estabelecer parcerias e colaborar durante uma crise vulcânica, por exemplo, através da disponibilização de recursos materiais, pessoal técnico qualificado e/ou através de experiência em situações reais. Esta colaboração pode ser benéfica para os observatórios locais, no entanto, é importante que os cientistas externos se mantenham num plano de fundo, nunca se sobrepondo aos cientistas locais durante a crise (Jolly & Cruz, 2015; Giordano *et al.*, 2016; Lowenstern *et al.*, 2022).

As autoridades de proteção civil e outras entidades envolvidas na resposta são os responsáveis por tomar decisões que afetam as comunidades. De facto, com base na assessoria científica e no conhecimento das vulnerabilidades, as autoridades são encarregues de determinar e executar, a nível político e técnico-operacional, as ações de mitigação com o intuito de salvar a população em risco (Jolly & Cruz, 2015; Jumadi *et al.*, 2016). Os critérios utilizados no processo da tomada de decisão dependem, essencialmente, de fatores políticos, de condições sociais e económicas e das características geográficas e demográficas que, analisados em conjunto, permitem determinar o nível de risco aceitável. O processo de decisão inclui a definição das ações operacionais, que deve ser suportada e desenvolvida com base nos planos de emergência existentes, considerando os recursos disponíveis e as áreas de atuação de cada interveniente na resposta (Komendantova *et al.*, 2014).

Após o alerta dos cientistas, a implementação dos procedimentos de resposta é da responsabilidade das autoridades de proteção civil, como a ativação dos respetivos planos de emergência e dos dispositivos de resposta ou o aviso à população. Nesta fase, é fundamental que as responsabilidades das tarefas a nível operacional, como a mobilização de equipas, a coordenação de recursos, transportes e abrigos, a operacionalização dos serviços de saúde e outras questões logísticas, já se encontrem devidamente atribuídas (ao nível dos planos de emergência). Após o fim da crise, cabe às autoridades determinar a retoma das atividades e, se

for o caso, promover as ações de reabilitação e recuperação das zonas afetadas pelos produtos vulcânicos, como a limpeza de depósitos, reconstrução de edifícios, permitindo o regresso da população em condições seguras (Dolce & Di Bucci, 2015).

Quanto ao papel das autoridades, importa distinguir dois grupos com diferentes níveis de atuação na gestão de crises: os decisores políticos e os decisores técnicos (Bignami *et al.*, 2013; Dolce & Di Bucci, 2015). Por um lado, os decisores políticos são responsáveis por definir o nível de risco aceitável (avaliação com base em probabilidades de ocorrência e nos impactos dos perigos) e a abordagem estratégica do ponto de vista político (Dolce & Di Bucci, 2015; Papale, 2021). Por outro lado, os decisores técnicos têm a responsabilidade de identificar as ações específicas que permitem reduzir o risco para o nível aceitável estabelecido, desenvolver e executar as melhores soluções técnicas com base na informação científica e na estratégia política definida. Os técnicos de proteção civil são, também, responsáveis por analisar o custo/benefício das medidas de mitigação, em colaboração com os cientistas, e por implementar os procedimentos de resposta necessários (Dolce & Di Bucci, 2015).

A comunicação social apresenta um papel cada vez mais relevante na comunicação do risco (Blong, 1984b; Dolce & Di Bucci, 2015), tanto num período de normalidade, como no decorrer de uma crise vulcânica. Devido à possibilidade de disseminar informação de forma ampla, os meios de comunicação social (*e.g.* televisão, rádio, imprensa, redes sociais, etc.) constituem um recurso importante na comunicação do risco, permitindo às autoridades ou aos cientistas alcançarem, facilmente, o público-alvo. De facto, através da divulgação de informação sobre o perigo, recorrendo a alertas, avisos e comunicados ou à realização de conferências de imprensa e entrevistas, estes atores têm a capacidade de atingir um maior número de pessoas utilizando os diversos meios de comunicação que existem atualmente.

Contudo, tendo em conta os interesses dos *media*, podem surgir algumas problemáticas que devem ser consideradas na comunicação do perigo. O propósito destes atores é informar, apresentando os factos verdadeiros, relevantes e atuais que sejam do interesse do público. No entanto, seja devido à ausência de informação oficial, na tentativa de captar a atenção do público para efeitos comerciais ou por motivos políticos, por vezes registam-se tentativas de distorcer a realidade ao exagerar ou inventar factos, apresentando notícias com uma conotação, tendencialmente, negativa ou que não correspondem efetivamente à verdade (Dolce & Di Bucci, 2015; Nakada *et al.*, 2019). Com o objetivo de evitar essas situações, identifica-se, assim, a necessidade de se construir uma relação positiva e de confiança entre as autoridades/cientistas e os órgãos de comunicação social locais, pois o sucesso da comunicação do risco depende,

significativamente, do envolvimento adequado destes atores (Paton *et al.*, 1998; Gaspar, 2004; Dolce & Di Bucci, 2015). Além disso, é fundamental que os cientistas e as autoridades saibam comunicar assertivamente com a comunicação social. Optar por um porta-voz, informar os factos relevantes, transmitir as incertezas e as possibilidades, utilizar um vocabulário adequado, convocar conferências de imprensa regulares e emitir comunicados sempre que a situação o justifique, são algumas das boas práticas que devem ser consideradas na comunicação.

Portanto, é fundamental considerar a relevância da comunicação social na gestão de crises, como uma ferramenta de informação e divulgação, permitindo o esclarecimento da população e, possivelmente, evitando alarmismos e conflitos entre os atores, que podem ser prejudiciais. De facto, quando geridos de forma adequada, os meios de comunicação social são recursos essenciais na comunicação de vários aspetos relacionados com a crise para a comunidade em risco. Por exemplo, através destes meios, é possível incentivar o público-alvo na implementação das medidas de autoproteção recomendadas e na colaboração com as autoridades nas ações de mitigação (Jolly & Cruz, 2015; Nakada *et al.*, 2019).

Efetivamente, a população desempenha um papel relevante na gestão de crises e, seja de forma individual ou em grupos, constituem a base de qualquer sistema de proteção civil. De facto, os cidadãos são os primeiros responsáveis pelo desenvolvimento de uma cultura de segurança e de proteção civil nas suas comunidades, quando adotam um comportamento ativo e responsável na promoção da sua proteção, tanto numa fase de normalidade como numa fase de instabilidade vulcânica (Haynes *et al.*, 2008; Bignami *et al.*, 2013).

O sucesso da resposta a uma crise vulcânica não depende apenas dos meios e dos modos utilizados na comunicação com a população, uma vez que o efeito da mesma depende, significativamente, do recetor, ou seja, da forma como a mensagem é compreendida pelo público-alvo. Assim, a perceção do risco por parte da população é um dos fatores importantes na gestão de crises e que pode influenciar a resposta da comunidade. Por exemplo, o nível de colaboração com as autoridades e a iniciativa para aplicar as medidas de autoproteção, resulta do nível de pré-conhecimento do perigo vulcânico (Haynes *et al.*, 2008). Portanto, na fase de preparação, é fundamental investir na sensibilização, informação e formação sobre os perigos vulcânicos e medidas de autoproteção, principalmente, nas regiões vulcanicamente ativas. Além disso, numa fase de resposta é importante que as informações divulgadas sejam adaptadas às características da população, tendo em conta o nível de conhecimento e a escolaridade, utilizando, por exemplo, uma linguagem adequada, através dos meios mais utilizados pela

comunidade. Nesta comunicação é importante incluir as possíveis consequências e não apenas os dados científicos e mapas de risco, que podem ser difíceis de interpretar pelo cidadão comum.

Assim, importa salientar que, mesmo com um elevado nível de conhecimento do sistema vulcânico e os melhores protocolos de resposta ou sistemas de apoio à decisão, o sucesso da gestão de crises vulcânicas e das medidas de mitigação, depende, consideravelmente, de uma comunicação profícua com uma população devidamente educada, informada e sensibilizada para o perigo vulcânico (Paton *et al.*, 1998; Haynes *et al.*, 2008; Marzocchi *et al.*, 2012; Dolce & Di Bucci, 2015; Jumadi *et al.*, 2016). Por fim, importa mencionar que, apesar de já se observar algum progresso na educação dos perigos naturais e no desenvolvimento de uma cultura de proteção civil em várias áreas, a sensibilização sobre o perigo vulcânico carece de melhoria, mesmo em regiões vulcanicamente ativas, tal como mostram os estudos acerca da perceção do risco vulcânico na população dos Açores (*e.g.* Dibben & Chester, 1999; Rego & Arroz, 2012; Wallenstein *et al.*, 2015b; Rego *et al.*, 2018a, 2018b).

Em suma, a gestão de uma crise vulcânica requer a implementação de um conjunto organizado de ações a vários níveis à medida que a mesma evolui, por parte de todos os intervenientes, que devem entender os seus papéis e as respetivas responsabilidades. O seu sucesso exige, assim, uma avaliação científica precisa do perigo vulcânico, um processo ponderado e transparente na tomada de decisão das medidas mitigadoras, que transmita a incerteza da informação científica disponível e uma articulação eficaz entre todos os intervenientes, incluindo com a população exposta, previamente instruída e sensibilizada para o risco (Gaspar, 2004; Marzocchi *et al.*, 2021).

### **5.1.2. Principais Características e Desafios**

A existência de vulcões ativos constitui uma fonte de preocupação para os cientistas e para as autoridades de proteção civil, tanto a um nível local como nacional, e uma ameaça potencial para a população exposta. Como intervenientes, o êxito da atuação de cada ator é determinante para a mitigação dos perigos vulcânicos associados. Contudo, lidar com sistemas vulcânicos não é uma tarefa simples, já que estes apresentam algumas particularidades que podem influenciar ou, inclusive, dificultar a gestão de uma crise (Gaspar, 2004; Bignami *et al.*, 2013).

A título de exemplo, destaca-se o enquadramento geográfico e demográfico próximo de vulcões ativos: devido às características dos terrenos, como a fertilidade dos solos e a abundância de recursos naturais, as pessoas tendem a concentrar-se nos flancos dos vulcões ativos. De facto, estima-se que, atualmente, residam cerca 600 milhões de pessoas a 100 km ou menos de vulcões

com pelo menos uma erupção significativa<sup>2</sup> e, aproximadamente, mil milhões de pessoas a 100 km ou menos de vulcões ativos (com pelo menos uma erupção nos últimos 10.000 anos) (Freire *et al.*, 2019). Isto, resulta numa situação complexa, com a presença de áreas urbanas e altamente industrializadas perto dos vulcões ativos. Como efeito de uma convivência prolongada com o perigo ou da ausência de episódios eruptivos destrutivos durante o tempo de vida, estas pessoas tendem a desvalorizar o perigo vulcânico e a priorizar a sua sustentabilidade diária, ignorando os avisos das autoridades e/ou as informações da comunidade científica quando estes necessitam de colaboração. A conjugação dos perigos vulcânicos existentes com a localização dos elementos expostos faz com que estas áreas apresentem um risco elevado e, numa resposta a uma emergência, terão prioridade numa eventual evacuação (Bignami *et al.*, 2013; Jolly & Cruz, 2015). Este enquadramento demonstra um desafio peculiar para gestão de crises vulcânicas, na medida em que pode influenciar a celeridade e a eficiência necessárias na fase de resposta (Papale, 2021).

Destaca-se, também, a complexidade dos vulcões e dos processos vulcânicos, como os pré-eruptivos ou a incerteza associada ao longo do decorrer da crise (Solana *et al.*, 2008; Doyle *et al.*, 2014, 2015; Jolly & Cruz, 2015; Dolce & Di Bucci, 2015; Papale, 2021), salientando-se a própria duração da crise que pode ir de dias até anos, a extensão das áreas afetadas que pode variar desde metros a quilómetros da fonte, a possibilidade de envolver uma diversidade de perigos, diretos ou indiretos, cada um com as suas especificidades e com impactos diferentes nos elementos expostos (Gaspar, 2004; Papale, 2021). De facto, os sistemas vulcânicos, tal como todos os sistemas naturais, são caracterizados pela presença de incertezas ou imprevisibilidades (Marzocchi *et al.*, 2012; Doyle *et al.*, 2014, 2015; Dolce & Di Bucci, 2015). Estas podem ser divididas em dois tipos: epistémicas (devido ao conhecimento limitado do sistema físico que origina a erupção) e aleatórias (devido à imprevisibilidade intrínseca dos processos naturais) (Marzocchi *et al.*, 2012; Papale, 2017). O primeiro tipo pode ser reduzido através do aumento do conhecimento do sistema vulcânico, já o segundo não é possível, sendo uma característica própria de todos os sistemas naturais. Assim, um dos objetivos da mitigação do perigo consiste, precisamente, em diminuir as incertezas epistémicas, por exemplo, através do estudo dos sistemas vulcânicos e/ou do incremento na capacidade de monitorização vulcânica. No entanto, é essencial destacar as imprevisibilidades não podem ser excluídas e, como consequência,

---

<sup>2</sup> Erupção que tenha satisfeito pelo menos um destes critérios: causou fatalidades; provocou prejuízos de pelo menos 1 milhão de dólares; VEI igual ou superior a 6; originou um tsunami; associada a um sismo destruidor (Freire *et al.*, 2019).

devem ser vistas e aceites como uma realidade inerente ao sistema vulcânico, constituindo uma limitação à predição vulcânica (Marzocchi *et al.*, 2012; Papale, 2017).

Normalmente, as erupções vulcânicas são precedidas por sinais causados pela propagação ou presença de magma em níveis mais superficiais que, geralmente, se refletem em alterações nos parâmetros físicos e químicos monitorizados. Efetivamente, os cientistas não observam diretamente grande parte do sistema vulcânico, apenas conseguem inferir as características, propriedades ou processos que precedem as erupções através dos dados recolhidos à superfície (Marzocchi *et al.*, 2012; Papale, 2021), através das redes de monitorização permanentes e/ou de medições episódicas no terreno. Posteriormente, os dados adquiridos são comparados com os valores normais de referência para o sistema vulcânico e analisados com objetivo de descrever o estado de atividade atual e formular previsões.

Em grande parte dos casos, principalmente nos vulcões com caldeira, os sinais percussores detetados nem sempre resultam em erupções, pois o magma pode não atingir a superfície (Papale, 2021) (*e.g.* crise sismovulcânica do Fogo-Congro, 2005; Trota, 2008). Tendo em conta que a medida mais eficaz para mitigar o perigo vulcânico consiste na evacuação antecipada da população das zonas de risco, quando ocorre um falso alarme, a população afetada tende a sentir-se frustrada com as autoridades e com os cientistas responsáveis. Como consequência, a comunidade pode desenvolver uma relação de desconfiança e descredibilidade para com os oficiais, rejeitando futuras ordens. De facto, quando as zonas de suscetibilidade elevada ao perigo vulcânico são densamente habitadas, o custo de aplicar medidas de mitigação, como a evacuação e a respetiva cessação das atividades, é também elevado e, portanto, exige uma decisão ponderada e racional por parte das autoridades. Já nas zonas de suscetibilidade elevada ao perigo vulcânico, mas pouco habitadas, estas decisões, normalmente, comportam custos baixos relativamente aos benefícios.

Além da dificuldade em reconhecer o seu início, é tão ou mais complexo declarar o fim de uma crise vulcânica, constituindo um particular desafio para os cientistas e as autoridades responsáveis. Por um lado, a ausência de alterações nos indicadores pode não indicar o final do episódio de instabilidade, ou o cessar da atividade eruptiva pode não significar, efetivamente, o fim da erupção em curso, uma vez que as hipóteses de surgirem novas oscilações ou novos eventos eruptivos, mantêm-se, mesmo após um período de acalmia. Por outro lado, é complicado gerir uma crise vulcânica quando os indicadores se encontram acima dos valores de referência, durante meses ou até anos, sem se verificar uma erupção. Nestes casos, apesar de os parâmetros serem considerados anómalos em relação aos registos anteriores, existe a

possibilidade de constituir um novo nível normal de referência para o sistema vulcânico. Para além disso, em qualquer um destes casos outro problema prende-se com a pressão exercida pela população e outras partes interessadas para regressar a um estado normal. De facto, apenas a referência a uma ameaça de erupção e eventual evacuação é suficiente para afetar direta ou indiretamente vários setores económicos da sociedade. Seja por estes motivos ou outros, este comportamento pode precipitar a tomada de decisão, coagindo as autoridades e os cientistas. Um retorno demasiado precoce à normalidade pode resultar em consequências devastadoras, devido à efetivação da erupção ou à ocorrência de outros perigos indiretos. Portanto, essa é uma decisão que deve ser ponderada, onde o objetivo principal deverá incidir, acima de tudo, na salvaguarda da vida humana.

O conhecimento insuficiente e a inexperiência em lidar com vulcões que apresentam longos períodos de recorrência entre erupções, que podem ser inclusive superiores aos tempos da vida humana, podem originar uma perceção de perigo desajustada (no sentido de desvalorizar) por parte das autoridades, da população em risco e dos cientistas (Solana *et al.*, 2008; Bignami *et al.*, 2013; Winson *et al.*, 2014; Newhall *et al.*, 2021). Além disso, em algumas realidades, os recursos disponíveis (materiais, humanos e monetários) são limitados e mostram-se insuficientes para efetuar a monitorização vulcânica apropriada ou para promover uma adequada gestão do risco (Bignami *et al.*, 2013). A título de exemplo, estas adversidades forçam os observatórios a utilizar o mínimo de equipamentos na monitorização de cada vulcão ou a definir prioridades, optando por supervisionar uns em detrimento de outros, com base nos respetivos níveis de risco (Marzocchi *et al.*, 2012). Também, as autoridades de proteção civil optam por destinar os seus recursos para a mitigação de outros perigos mais recorrentes na sua área de atuação, desconsiderando e, por vezes, subestimando o risco vulcânico, principalmente nos sistemas vulcânicos que apresentam longos períodos de recorrência entre erupções. Embora muitas vezes sejam as estratégias possíveis tendo em conta a escassez de recursos, uma erupção num vulcão que apresenta baixo risco e/ou baixa probabilidade de erupção, não pode ser completamente desvalorizada, tendo em conta a imprevisibilidade dos processos naturais.

As incertezas inerentes e a complexidade em minimizá-las num intervalo de tempo razoável, exige que as autoridades tomem decisões com base em probabilidades/possibilidades e não certezas (Marzocchi *et al.*, 2012; Dolce & Di Bucci, 2015). Tal como já foi referido, devido às características dos fenómenos naturais, a imprevisibilidade é um fator que acompanha todo o processo de gestão de crises vulcânicas. Assim, é essencial que os intervenientes deste processo

tenham a noção da complexidade da investigação científica dos sistemas vulcânicos e das dificuldades em decidir com base em probabilidades.

Todavia, a apreciação *a posteriori* das decisões tomadas pelos oficiais será inevitável por parte da população diretamente afetada (Marzocchi *et al.*, 2021), principalmente quando uma situação provoca impactos significativos. Além disso, tanto os técnicos de proteção civil como os cientistas responsáveis estão sujeitos ao julgamento das suas atuações e podem enfrentar problemas com a justiça, devido à inevitável necessidade de encontrar o(s) culpado(s) (*e.g.* sismo de L'Aquila, 2009) (Scolobig *et al.*, 2014; Dolce & Di Bucci, 2015; Benessia & De Marchi, 2017), mesmo quando se trata de riscos naturais. Uma possível solução para minimizar o julgamento *a posteriori*, pode consistir na criação de protocolos para a tomada de decisão entre cientistas e proteção civil (*e.g.* Jolly & Cruz, 2015; Marzocchi *et al.*, 2021). Tanto os cientistas, por exemplo, através de *checklists* operacionais (Newhall *et al.*, 2021), como a proteção civil, através de procedimentos de resposta pré-estabelecidos, podem contribuir para um processo simplificado e transparente na gestão de crises. Isto permite que as partes interessadas entendam as suas decisões e, se necessário, podem servir como uma via para justificar as ações implementadas na resposta.

Com o intuito de se adaptarem às dificuldades que surgem no processo de gestão de crises vulcânicas, os cientistas e as autoridades beneficiam com a realização de exercícios de proteção civil baseados num cenário vulcânico, com e sem erupção. A prática regular destes cenários, de entre várias vantagens, permite um entendimento ajustado dos fenómenos vulcânicos e o desenvolvimento de uma articulação proficiente entre aqueles dois protagonistas na gestão de crises vulcânicas.

### **5.1.3. Comunicação Cientistas-Proteção Civil**

Apesar da comunicação entre todos os intervenientes ser essencial, a relação cientistas-proteção civil é uma das mais críticas para a gestão eficaz de uma crise vulcânica (Gaspar, 2004; Barberi *et al.*, 2008, 2009; Marzocchi *et al.*, 2012; Potter *et al.*, 2014; Winson *et al.*, 2014; Dolce & Di Bucci, 2015; Dohaney *et al.*, 2015; Fearnley *et al.*, 2018; Nakada *et al.*, 2019; Lowenstern *et al.*, 2022), e quanto melhor for o entendimento entre tais atores, mais competentes e adequadas serão as ações de mitigação que permitem salvaguardar pessoas, bens e restantes elementos vulneráveis, objetivo principal dos responsáveis pela tomada de decisão (*e.g.* crises vulcânicas: Tacaná, 1986; Pinatubo, 1991; Rabaul, 1994; Stromboli, 2007; Merapi, 2010; Islândia, 2014). Pelo contrário,

uma articulação deficiente entre estes durante uma crise pode resultar em graves problemas a nível social, económico e político (Gaspar, 2004; Benessia & De Marchi, 2017; Scolobig *et al.*, 2014; Graham *et al.*, 2022) (e.g. Sismo de L'Aquila, 2009; La Soufrière, 1976; Nevado del Ruiz, 1985; Stromboli, 2002).

Quando o nível de atividade altera, a prioridade dos cientistas incide na comunicação do estado do sistema vulcânico para as autoridades de proteção civil que, conseqüentemente, são encarregues de avaliar e decidir a necessidade de desenvolver ações de resposta (Jolly & Cruz, 2015; Lowenstern *et al.*, 2022). Sendo assim, das autoridades espera-se um nível de conhecimento e capacidade que, com base na informação científica, possibilite uma rápida interpretação e tradução em ações operacionais e medidas de mitigação (Dolce & Di Bucci, 2015). Além disso, uma vez que as incertezas são inerentes a estes fenômenos, os decisores necessitam de dialogar frequentemente com os cientistas, para compreenderem a evolução do estado de atividade, o impacto dos perigos e os possíveis cenários.

De facto, o consenso e o nível de confiança entre cientistas e proteção civil são determinantes para o sucesso na gestão de qualquer crise. Para isso, é importante que se estabeleça um entendimento mútuo e uma relação de confiança durante uma fase de normalidade e não apenas após o escalar de uma situação instável. Manter um diálogo e um fluxo de informação e de conhecimento constantes é fundamental para a eficácia da comunicação durante as crises, onde os níveis de pressão e de tensão já se encontram mais elevados. Quando a relação entre estes atores não é positiva, por vezes, surgem alguns problemas que podem influenciar a gestão de uma crise. A título de exemplo, quando os sinais percussores são evidentes, normalmente, torna-se mais fácil comunicar e alcançar a atenção necessária da proteção civil para desencadear as ações de mitigação. No entanto, quando os sinais não são tão claros, oscilam ou atenuam ao longo de meses ou anos, torna-se difícil manter o foco desejado por parte da proteção civil, que opta por desconsiderar ou subestimar a possibilidade de erupção. Além disso, também se podem gerar problemas relacionados com a usurpação de papéis, por exemplo, quando os cientistas se envolvem excessivamente no processo de tomada de decisão, algo que, normalmente, não lhes compete, ou quando os decisores se apoderam do papel dos cientistas, ao valorizar as suas crenças ou conhecimento científico em detrimento da informação dos cientistas oficiais.

Para minimizar estes enviesamentos, devem ser promovidas ações de colaboração entre os cientistas e proteção civil, como: instruir/educar os técnicos de proteção civil e os decisores para o perigo vulcânico, através de ações de formação e da elaboração de documentos técnico-

científicos; promover mais exercícios de proteção civil com cenários vulcânicos realistas e conceber protocolos para a comunicação do perigo vulcânico (Bignami *et al.*, 2013).

Os observatórios vulcanológicos devem estabelecer planos de comunicação, com intuito de definir o fluxo de informação, interna e externamente, para as autoridades, *media* e o público (Lowenstern *et al.*, 2022). Durante uma crise, os cientistas devem comunicar de forma frequente e sistemática com as autoridades e a informação científica deve conter as interpretações do estado de atividade, possíveis cenários e as incertezas associadas (Bignami *et al.*, 2013; Lowenstern *et al.*, 2022). Atividades como a formulação de recomendações para as autoridades e a tomada de decisões importantes por parte do observatório, devem ser suportadas pela discussão entre um grupo científico multidisciplinar e não uma deliberação individual (Marzocchi *et al.*, 2012). Através desta análise, entre um grupo heterogéneo, é expectável que surjam opiniões distintas e, quando não é possível alcançar um consenso, o conjunto de opiniões suscitadas deve ser considerado e comunicado às autoridades, de forma a compreenderem as incertezas associadas.

No entanto, é importante que os cientistas e a proteção civil comuniquem entre si e com o público-alvo através de uma única voz, ou seja, a par de uma equipa responsável pela área de comunicações, a definição de um porta-voz deve ser um dos pontos presentes nos respetivos planos de comunicação (Doyle *et al.*, 2014, 2015). De facto, com o intuito de manter a coerência e o estilo do discurso, devem ser nomeados responsáveis por comunicar a informação nas respetivas entidades. Com o propósito de competir pela atenção da imprensa, protagonismo ou autopromoção, numa situação de crise podem surgir indivíduos (pseudocientistas), grupos científicos ou outros automeados especialistas (Nakada *et al.*, 2019). Estes atores não oficiais, ao difundirem informações científicas ou, mesmo, instruções/recomendações à população podem confundir tanto as autoridades e o público, contribuindo para a desconfiança, descredibilidade e o alarmismo entre a população exposta (Marzocchi *et al.*, 2012). Para mitigar este problema, é fundamental que os outros atores confiem apenas na informação proveniente dos cientistas oficiais e sigam as instruções difundidas exclusivamente pelas autoridades de proteção civil, de acordo com o estipulado nos respetivos quadros legislativos. Além disso, é igualmente importante que a comunicação social evite disponibilizar tempo de antena a estes indivíduos/entidades.

Na fase de preparação, devem ser criados protocolos entre os cientistas e a proteção civil (Marzocchi *et al.*, 2012; Bignami *et al.*, 2013; Jolly & Cruz, 2015; Dolce & Di Bucci, 2015; Marzocchi *et al.*, 2021; Lowenstern *et al.*, 2022). Estes instrumentos, além de contribuírem para

aperfeiçoar a ligação entres estes atores, apresentam vantagens como: possibilitam justificar as ações implementadas a qualquer momento; apresentam um valor informativo e educativo para as outras partes interessadas; facilitam a gestão e a integração de pessoal novo envolvido na gestão de crises (nas entidades públicas verificam-se alterações frequentes no pessoal, principalmente, nos cargos de chefia) e permitem clarificar os papéis e as responsabilidades dos envolvidos na resposta.

Estes protocolos, normalmente, combinam a informação científica sobre o estado de atividade do sistema vulcânico com as ações de resposta mais adequadas a desenvolver pela proteção civil (Lowenstern *et al.*, 2022). Por exemplo, para cada nível de atividade ou probabilidade de erupção estabelece-se uma correspondência com os respetivos procedimentos de resposta a implementar pelas autoridades. Estes protocolos devem ser flexíveis, de forma a permitirem a adaptação aos cenários e às circunstâncias específicas, e a sua atualização, com a inserção de correções e melhorias ao longo do tempo. A sua elaboração requer, também, um trabalho conjunto e multidisciplinar entre cientistas e proteção civil, uma vez que deve considerar as necessidades, as possibilidades/recursos e as dificuldades de cada um.

Efetivamente, a forma de comunicar o estado de atividade dos sistemas vulcânicos é um dos vários fatores a considerar na elaboração destes protocolos. Por exemplo, alguns observatórios vulcanológicos optam por comunicar apenas através de árvores de eventos (*Event Tree Analysis*), método que combina os cenários com as respetivas probabilidades, facilitando a interpretação por parte da proteção civil (Newhall *et al.*, 2021; Lowenstern *et al.*, 2022). No entanto, a maioria dos observatórios vulcanológicos recorre à utilização de escalas de alerta vulcânico, como a forma principal de comunicar o nível de atividade do sistema vulcânico (Jolly & Cruz, 2015). De facto, atualmente, as escalas de alerta vulcânico correspondem à principal ferramenta de comunicação do estado de atividade dos sistemas vulcânicos, incluindo uma descrição da atividade, os possíveis perigos e as eventuais evoluções (Papale, 2021). Inclusivamente, estas escalas servem de base para a definição de protocolos de atuação em várias regiões vulcânicas.

#### **5.1.3.1. Escalas de Alerta Vulcânico**

As escalas ou níveis de alerta vulcânico são uma forma de comunicar, através de um sistema de cores, letras ou números, o estado de atividade de um determinado sistema vulcânico (Winson *et al.*, 2014; Newhall *et al.*, 2021; Papale, 2021). Normalmente, os níveis de alerta são definidos e alterados pelos observatórios vulcanológicos com o propósito de comunicar, de forma simples

e de rápida interpretação, o estado da atividade vulcânica para os decisores, autoridades de proteção civil, políticos, *media*, população entre outros (Bignami *et al.*, 2013). Ou seja, a alteração do nível de alerta implica, geralmente, uma decisão a nível científico, concretizada por um indivíduo ou por um grupo multidisciplinar (Winson *et al.*, 2014). Efetivamente, é uma das ferramentas mais utilizadas pelos observatórios vulcanológicos na divulgação de informação e de alertas sobre os sistemas vulcânicos monitorizados (Potter *et al.*, 2014; Papale, 2017) às partes interessadas.

A configuração das escalas de alerta vulcânico utilizadas difere de acordo com o país, observatório vulcanológico ou com o sistema vulcânico considerado (*e.g.* PHIVOLCS, Filipinas) (Winson *et al.*, 2014; Papale, 2017). Contudo, os tipos de escalas mais comuns (Tabela 5.2). compreendem, normalmente, entre 3 e 6 níveis associados a um determinado estado de atividade e podem incluir uma descrição, os indicadores ou elementos de diagnóstico, os potenciais perigos associados, a possibilidade/iminência da erupção e algumas recomendações. Os tipos de escalas utilizados e a informação contida dependem de fatores como a entidade responsável pela emissão, as características dos sistemas vulcânicos e os níveis de risco, o sistema de monitorização e os recursos disponíveis, entre outros (Potter *et al.*, 2014). É importante referir que as escalas de alerta utilizadas para comunicar com a proteção civil podem ser distintas das usadas para alertar o público. Por exemplo, no México utilizam uma escala de 6 e de 3 níveis, entre cientistas-proteção civil e proteção civil-público, respetivamente (De la Cruz-Reyna, 1995, De la Cruz-Reyna & Tilling, 2008). Esta opção, pode ser justificada pelo facto de uma escala com poucos níveis ser mais bem compreendida pela população, no entanto, dificulta a definição de um nível de risco preciso (Marzocchi *et al.*, 2021).

**Tabela 5.2** - Exemplo de escala de alerta vulcânico (adaptado de Papale, 2017).

NÍVEL	SIGNIFICADO	DESCRIÇÃO / INDICADORES
0 / Verde / Normal	Nível normal de referência	"Atividade a um nível típico/normal de referência"
1 / Amarelo / Atenção	Acima do nível normal de referência	"Sinais de elevada instabilidade"; "aumento da atividade de..."; "processo instável"; "ligeiro (baixo ou moderado) aumento de..."
2 / Laranja / Vigilância	Escalada de sinais	"Intensificar ou escalar da instabilidade"; "incremento significativo de..."; "alterações óbvias de..."; "maior frequência de..."; "aumento da probabilidade de erupção"; "sinais evidentes e/ou observáveis"
3 / Vermelho / Alerta	Erupção iminente ou em progresso	"Incremento sustentado de..."; "diminuição repentina de..."; "erupção perigosa iminente"

Independentemente do tipo de escala ou do método utilizado na decisão científica, é fundamental que a alteração dos níveis de alerta seja uma deliberação gradual e planeada durante a crise vulcânica (Papale, 2017), porque as alterações dos níveis de alerta normalmente significam a implementação de medidas de mitigação e ações de resposta importantes, como a definição de zonas de exclusão, a evacuação ou retorno da população (Winson *et al.*, 2014) (Tabela 5.3). Sendo assim, os níveis de alerta devem subir progressivamente antes de uma erupção para que a população tenha tempo de assimilar, reagir e, se necessário, se preparar para a eventualidade de evacuação. Também é essencial que, além de considerarem o incremento da atividade vulcânica, as escalas permitam a descida dos níveis de alerta e, com isto, auxiliem na decisão das medidas de retorno à normalidade.

**Tabela 5.3** – Exemplo de ações de resposta e potenciais impactos para cada nível de alerta (adaptado de Papale, 2017).

NÍVEL	AÇÕES	POTENCIAIS IMPACTOS
Verde	Gestão normal.	Nenhum ou mínimo.
Amarelo	Limitar acessos. Aumentar a atenção social e política.	Setor do turismo afetado. Decréscimo do valor das propriedades.
Laranja	Fechar acessos. Minimizar/Encerrar as atividades sociais e económicas mais vulneráveis.	Consequências sociais relevantes. Impactos económicos significativos, possíveis efeitos negativos nas empresas. Riscos políticos.
Vermelho	Encerrar todas as atividades. Evacuação parcial ou total.	Impactos sociais e económicos exorbitantes. Perda de empregos e propriedades, deslocação de pessoas. Consequências sociais resultantes da evacuação/realojamento, etc. Encerramento das atividades produtivas, efeitos negativos importantes nos empreendedores/proprietários. Elevados riscos políticos.

Segundo Winson *et al.* (2014), a fiabilidade da utilização de escalas de alerta vulcânico depende principalmente do tipo de vulcão, da magnitude da erupção e da rede de monitorização disponível. Erupções mais explosivas (superior a VEI 3) em vulcões centrais com uma rede de monitorização satisfatória e com um elevado número de pessoas nos flancos foram os casos em que as alterações dos níveis de alerta se mostraram mais apropriadas. No entanto, o estudo mostra que apenas 19% das erupções consideradas foram antecipadas pela emissão de alertas

adequados. Esta percentagem reflete tanto a imprevisibilidade dos sistemas vulcânicos, como a complexidade do processo de decidir sobre a mudança do nível de alerta (Marzocchi *et al.*, 2012; Winson *et al.*, 2014). Outros fatores que também parecem influenciar a eficácia da utilização destas escalas são a preocupação em despertar o alarmismo na população e a pressão exercida pelas outras partes interessadas ou setores económicos afetados.

Destaca-se, assim, a importância de uma decisão menos conservadora, sem pesar as pressões externas ou políticas, mas racional na alteração dos níveis de alerta, ou seja, nem esperar por um sinal claro de iminência de erupção (para evitar emitir tardiamente ou, inclusive, com a erupção em curso), nem alertar demasiado cedo (para evitar falsos alarmes e a descredibilidade dos cientistas) (Potter *et al.*, 2014; Winson *et al.*, 2014; Papale, 2021). Todavia, esta abordagem mostra-se mais intuitiva nas situações em que os custos das medidas de mitigação são reduzidos e/ou os benefícios de uma resposta rápida são superiores. Isto, é evidente no setor da aviação onde um aviso emitido implica quase certamente um desvio na rota dos aviões, pois o benefício de desencadear esta ação é muito superior aos custos envolvidos (Marzocchi *et al.*, 2012; Papale, 2021).

Neste contexto, os produtos utilizados na comunicação do perigo vulcânico compreendem os *Volcano Observatory Notice for Aviation* (VONA) emitidos pelos observatórios vulcanológicos para os *Volcanic Ash Advisory Centres* (VAAC) da sua jurisdição. Estes comunicados incluem a definição de níveis de alerta com base na escala de alertas da Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO) (Tabela 5.4), essencialmente, utilizada para informar o setor da aviação sobre o estado de atividade de um determinado sistema vulcânico, com destaque à possibilidade de serem emitidas cinzas suscetíveis de afetar as rotas dos aviões no mundo inteiro (Papale, 2017).

**Tabela 5.4** - Escala de Alertas para a Aviação Civil (adaptado da Organização Internacional de Aviação Civil, ICAO Doc 9766 (Segunda Edição), Tabela 4.4).

ESCALA DE ALERTAS ICAO	
<b>VERDE</b>	O vulcão encontra-se num estado normal, não eruptivo. <i>ou, após alteração de um nível superior:</i> A atividade vulcânica foi declarada como terminada e o vulcão retornou ao seu estado normal, não eruptivo.
<b>AMARELO</b>	O vulcão exhibe sinais de elevada instabilidade, acima dos valores normais de referência.

<p><i>ou, após alteração de um nível superior:</i></p> <p>A atividade vulcânica diminui significativamente, mas continua a ser monitorizada para um possível novo incremento.</p>	
<b>LARANJA</b>	<p>O vulcão mostra o intensificar dos sinais de instabilidade, com o aumento da probabilidade de erupção.</p> <p>ou,</p> <p>Erupção em curso sem ou com pouca emissão de cinzas (se possível, especificar a altura da pluma de cinzas).</p>
<b>VERMELHO</b>	<p>Erupção iminente, com provável emissão significativa de cinzas para a atmosfera.</p> <p>ou,</p> <p>Erupção em curso com emissão significativa de cinzas para a atmosfera (se possível, especificar a altura da pluma de cinzas).</p>

Apesar de se verificar uma tendência, alguns observatórios vulcanológicos preferem optar por outras formas de comunicar o estado de atividade dos sistemas vulcânicos em detrimento das escalas de alerta vulcânico. Os principais motivos apontam para o discordar da discretização dos fenómenos vulcânicos e para a subjetividade presente nos critérios da alteração de nível. Mais concretamente, por um lado, referem o facto das escalas tornarem discretos ou descontínuos os processos que originam uma erupção vulcânica, algo, naturalmente, impossível. Por outro lado, o facto dos critérios usados para subir ou descer o nível de alerta, habitualmente, serem vagos e ambíguos (Tabela 5.2), ao invés de objetivos, implicando que os cientistas suportem sozinhos as consequências destas decisões. Portanto, estes observatórios vulcanológicos servem-se de métodos mais concretos, normalmente, com base em probabilidades (*e.g.* árvores de eventos), como principal forma de comunicar a informação científica e apresentar as possíveis evoluções de uma crise (Haynes *et al.*, 2007; Papale, 2017; Newhall *et al.*, 2021; Lowenstern *et al.*, 2022).

Em alguns quadros de resposta, a responsabilidade de emitir os níveis de alerta vulcânico recai sobre a proteção civil e não nos cientistas. Esta opção considera que a finalidade destes alertas é constituir um meio para implementar as medidas de mitigação, ou seja, ao alterar um nível de alerta, o que os cientistas estão, efetivamente, a promover é o desencadear das ações de resposta, adquirindo um papel relevante na tomada de decisão. Apesar de não decidirem diretamente as ações de resposta, é inconcebível que a proteção civil ignore este alerta ou opte por medidas que não equivalem ao nível de alerta definido. Sendo assim, segundo esta perspetiva, esta função transcende a competência dos cientistas, uma vez que incita,

inevitavelmente, a execução das ações de mitigação com impactos sobre a comunidade exposta (Tabela 5.3). Em Itália, por exemplo, quem decide a alteração dos níveis de alerta vulcânico é o Departamento de Proteção Civil (DPC). Os observatórios vulcanológicos contribuem informando o DPC sobre as suas observações, parâmetros monitorizados e avaliações dos especialistas, mas não integram a decisão de alterar os níveis de alerta vulcânico (Papale, 2017, 2021; Lowenstern *et al.*, 2022).

Em suma, as escalas de alerta científico compreendem uma das principais formas de informar o estado de atividade dos sistemas vulcânicos na maioria das regiões vulcânicas do mundo. Efetivamente, apesar das suas limitações, estas escalas constituem um dos principais produtos para comunicar, de forma simples e eficiente, o estado de atividade dos sistemas vulcânicos, normalmente, entre os cientistas e a proteção civil (Papale, 2017; Marzocchi *et al.* 2021). Estas escalas possuem, inclusivamente, o potencial para auxiliar ou guiar as decisões das autoridades e constituir uma fonte de informação acessível para os outros atores envolvidos (Papale, 2017; Lowenstern *et al.*, 2022).

De facto, uma vez que os níveis de alerta científico vulcânico categorizam o estado de atividade de um vulcão com potencial para causar estragos, pretende-se que os alertas sejam acompanhados pelas medidas adequadas para aumentar a segurança da população e mitigar o risco vulcânico (Papale, 2021). Contudo, é evidente que a emissão de um alerta científico vulcânico não pode resultar, obrigatoriamente, no desencadear das ações de resposta correspondentes, pois os cientistas estariam a tomar decisões e a assumir responsabilidades que não lhes competem (Marzocchi *et al.*, 2021). Portanto, o estabelecimento de uma ligação entre os níveis de alerta científico vulcânico e as ações de mitigação teria de resultar de um trabalho conjunto entre cientistas e proteção civil, uma vez que, enquanto os observatórios vulcanológicos dispõem do conhecimento científico do perigo vulcânico e da capacidade para caracterizar o estado de atividade, a competência para tomar decisões que afetam a sociedade terá que recair sempre sobre as autoridades de proteção civil e/ou sobre os políticos.

Sendo assim, e uma vez que estas decisões consideram inevitavelmente o nível de alerta vulcânico definido, torna-se importante que, na fase de preparação, os cientistas e os decisores técnicos estudem possíveis correspondências entre os níveis de alerta vulcânico científico e as medidas de mitigação e ações de resposta mais adequadas, de acordo com o sistema vulcânico. Efetivamente, este planeamento prévio pode ser vantajoso, particularmente, como um suporte para estabelecer procedimentos operacionais tanto do lado da proteção civil como dos cientistas, servindo como uma base para a decisão durante as crises vulcânicas e na

implementação de planos de emergência que envolvam ações progressivas (*e.g.* quando o nível é X, a ação Y deve ser implementada, acompanhando a subida e a descida dos níveis) (Marzocchi *et al.*, 2021). Assim, com vista a estabelecer esta ligação de forma própria/adaptada, é importante que, além de se conhecer bem o sistema vulcânico em causa, se entenda o modo de funcionamento do sistema de proteção civil da respetiva região.

## 5.2. SISTEMA DE PROTEÇÃO CIVIL DOS AÇORES

Antes de se expor o Sistema de Proteção Civil dos Açores (nível regional), é necessário, ter em consideração as definições de alguns conceitos gerais e enquadrar alguns aspetos relacionados com o Sistema Nacional de Proteção Civil.

### 5.2.1. Conceitos Gerais, Objetivos e Domínios de Atuação

A Lei nº 27/2006, de 3 de julho, alterada e republicada pela Lei nº 80/2015, de 3 de agosto, aprova a Lei de Bases de Proteção Civil. De acordo com o artigo 1.º deste diploma, a proteção civil consiste na “atividade desenvolvida pelo Estado, regiões autónomas e autarquias locais, pelos cidadãos e por todas as entidades públicas e privadas com a finalidade de prevenir riscos coletivos inerentes a situações de acidente grave ou catástrofe, de atenuar os seus efeitos e proteger e socorrer as pessoas e bens em perigo quando aquelas situações ocorram.”

Segundo o artigo 3.º do referido diploma, um acidente grave é definido como “um acontecimento inusitado com efeitos relativamente limitados no tempo e no espaço, suscetível de atingir as pessoas e outros seres vivos, os bens ou o ambiente”. Já ao termo catástrofe é definido como “o acidente grave ou a série de acidentes graves suscetíveis de provocarem elevados prejuízos materiais e, eventualmente, vítimas, afetando intensamente as condições de vida e o tecido socioeconómico em áreas ou na totalidade do território nacional.” Uma erupção vulcânica e/ou os perigos associados incluem exemplos de possíveis catástrofes, devido à sua potencial abrangência e eventuais impactos.

Nos termos do artigo 4.º do diploma supracitado, os objetivos principais da proteção civil incidem na prevenção de riscos – “prevenir os riscos coletivos e a ocorrência de acidente grave ou de catástrofe deles resultante”; na mitigação dos riscos – “atenuar os riscos coletivos e limitar os seus efeitos no caso das ocorrências descritas na alínea anterior”; na salvaguarda dos elementos expostos – “socorrer e assistir as pessoas e outros seres vivos em perigo, proteger bens e valores culturais, ambientais e de elevado interesse público” e na recuperação – “apoiar a reposição da normalidade da vida das pessoas em áreas afetadas por acidente grave ou catástrofe.”

Ainda de acordo com o mesmo artigo, para concretizar estes objetivos, as atividades de proteção civil a todos os níveis, desenvolvem-se nos seguintes domínios de atuação:

- Levantamento, previsão, avaliação e prevenção de riscos;

- Análise de vulnerabilidades perante situações de risco;
- Informação, formação e sensibilização das populações, no que concerne a autoproteção e a colaboração com as autoridades;
- Planeamento de emergência, visando a busca, o salvamento, a prestação de socorro e de assistência, bem como a evacuação, alojamento e abastecimento das populações;
- Inventariação dos meios e recursos disponíveis;
- Estudo e divulgação de procedimentos.

### 5.2.2. Organização

Segundo o artigo 2.º do diploma que aprova a Lei de Bases de Proteção Civil, a atividade de proteção civil é desenvolvida em todo o território nacional, sendo que, nas Regiões Autónomas dos Açores e Madeira, as políticas e as ações de proteção civil são da responsabilidade dos respetivos Governos Regionais (Tabela 5.5).

**Tabela 5.5** – Quadro-resumo da organização da política de proteção civil a nível Nacional, Regional e Municipal.

NÍVEL	DIREÇÃO	COORDENAÇÃO	EXECUÇÃO
Nacional	Assembleia da República	CNPC	ANEPC
	Governo		
	Primeiro-Ministro		
	Ministério da Administração Interna		
Regional (Açores)	Assembleia Legislativa Regional	CRPCA	SRPCBA
	Governo Regional		
	Presidente do Governo Regional		
	Secretaria Regional da Saúde e Desporto		
Municipal	Presidente da Câmara Municipal	CMPC	SMPC

Nos termos do artigo 31.º do supracitado diploma, a nível Nacional, a Assembleia da República, no âmbito das suas competências, contribui para enquadrar a política de proteção civil e para fiscalizar a sua execução. Segundo o disposto no artigo 32.º do diploma referido, o Governo

Central é responsável pela condução da política de proteção civil, decidindo sobre as principais orientações a adaptar ou a propor neste domínio. Já o artigo 33.º refere que ao Primeiro-Ministro, como responsável pela direção da política de proteção civil, compete-lhe a coordenação e a orientação das ações dos membros do Governo nos assuntos relacionados com esta matéria. O Primeiro-Ministro pode delegar as suas competências no Ministro da Administração Interna. De acordo com o artigo 36.º, a Comissão Nacional de Proteção Civil (CNPC) é o órgão de coordenação nacional da política de proteção civil. Segundo o artigo 3º do Decreto-Lei n.º 45/2019, de 1 de abril, que aprova a orgânica da Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC), a ANEPC é responsável por coordenar e executar as políticas de emergência e de proteção civil.

O Decreto Legislativo Regional n.º 26/2019/A, de 22 de novembro, alterado e republicado pelo Decreto Legislativo Regional n.º 12/2021/A, de 22 de abril, estabelece o Regime Jurídico do Sistema de Proteção Civil da Região Autónoma dos Açores. De acordo com o artigo 20.º deste diploma, na Região Autónoma dos Açores (RAA), a condução da política de proteção civil é competência do Governo Regional dos Açores (GRA). Segundo o artigo 21.º daquele diploma, o Presidente do GRA é a autoridade política de proteção civil a nível regional, sendo o responsável por desencadear as ações de proteção civil na iminência ou na ocorrência de catástrofe, devendo, também, coordenar e orientar a ação dos membros do GRA nos assuntos relacionados com proteção civil. De acordo com o artigo 22.º do referido decreto, a secretaria regional que possui a pasta de proteção civil, é encarregue da coordenação da política de proteção civil. Ainda segundo o mesmo artigo, o membro do GRA responsável por esta secretaria possui a responsabilidade de liderar a Comissão Regional de Proteção Civil dos Açores (CRPCA), o órgão de coordenação regional da política de proteção civil, e tem a tutela do Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores (SRPCBA). Nos termos do artigo 25.º do diploma supramencionado, integram a CRPCA:

- Os membros do Governo Regional com competência em matéria de economia, obras públicas, transportes, comunicações, solidariedade social, habitação, saúde, ambiente, recursos hídricos e mar;
- O Presidente do Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores;
- O Comandante Operacional dos Açores - Forças Armadas;
- O Comandante Regional da Polícia de Segurança Pública;
- O Comandante territorial dos Açores da Guarda Nacional Republicana;
- O Comandante Regional da Polícia Marítima dos Açores;

- O Presidente da Federação dos Bombeiros da Região Autónoma dos Açores;
- Um representante do Gabinete Coordenador de Segurança;
- Um representante da Associação de Municípios da Região Autónoma dos Açores;
- Um representante do Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I. P.;
- Um representante do Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores.

O Decreto Regulamentar Regional n.º 6/2022/A, de 29 de abril, estabelece a nova orgânica do XIII Governo Regional dos Açores. Segundo o artigo 11.º deste diploma, a Secretaria da Saúde e Desporto (SRSD) detém a pasta da proteção civil.

Nos termos do artigo 23.º do diploma que estabelece o Regime Jurídico do Sistema de Proteção Civil na RAA, no âmbito municipal, compete ao presidente da câmara municipal, como responsável máximo pela política de proteção civil no seu município, “desencadear, na iminência ou ocorrência de acidente grave ou catástrofe, as ações de proteção civil de prevenção, socorro, assistência e recuperação adequadas em cada caso”, sendo este “apoiado pelo serviço municipal de proteção civil e pelos restantes agentes de proteção civil de âmbito municipal”.

A Lei n.º 65/2007, de 12 de novembro, alterada pelo Decreto-Lei n.º 44/2019, de 1 de abril, define o enquadramento institucional e operacional da proteção civil no âmbito municipal. De acordo com o artigo 3.º do referido diploma, em cada município existe ainda uma Comissão Municipal de Proteção Civil (CMPC), “organismo que assegura que todas as entidades e instituições de âmbito municipal imprescindíveis às operações de proteção e socorro, emergência e assistência previsíveis ou decorrentes de acidente grave ou catástrofe se articulam entre si, garantindo os meios considerados adequados à gestão da ocorrência em cada caso concreto”. Nos termos do disposto no artigo 28.º do diploma que estabelece o Regime Jurídico do Sistema de Proteção Civil na RAA (Decreto Legislativo Regional n.º 26/2019/A, de 22 de novembro), integram a CMPC:

- O Presidente da Câmara Municipal, que preside;
- O Coordenador Municipal de Proteção Civil;
- Um elemento do comando de cada corpo de bombeiros existente no município;
- Um elemento de cada uma das forças de segurança presentes no município;
- O capitão dos portos que dirige a capitania existente no município;
- A Autoridade de Saúde do município;

- Os dirigentes máximos da Unidade de Saúde de ilha e do hospital da área de influência do município;
- Um representante dos serviços de segurança social;
- Um representante das juntas de freguesia a designar pela Assembleia Municipal;
- Representantes de outras entidades e serviços, implantados no município, cujas atividades e áreas funcionais possam, de acordo com os riscos existentes e as características do município, contribuir para as ações de proteção civil.

### 5.2.3. Estrutura de Proteção Civil

De acordo com o artigo 31.º do diploma que estabelece o Regime Jurídico do Sistema de Proteção Civil na RAA, a estrutura de proteção civil na região organiza-se ao nível regional, ilha e municipal.

Além das autoridades de proteção civil, a estrutura de proteção civil é constituída pelos agentes de proteção civil, entidades com dever de cooperação e instituições de investigação técnico-científicas. Incluído neste último grupo, no âmbito da presente dissertação deve-se salientar o Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA) (Figura 5.3).

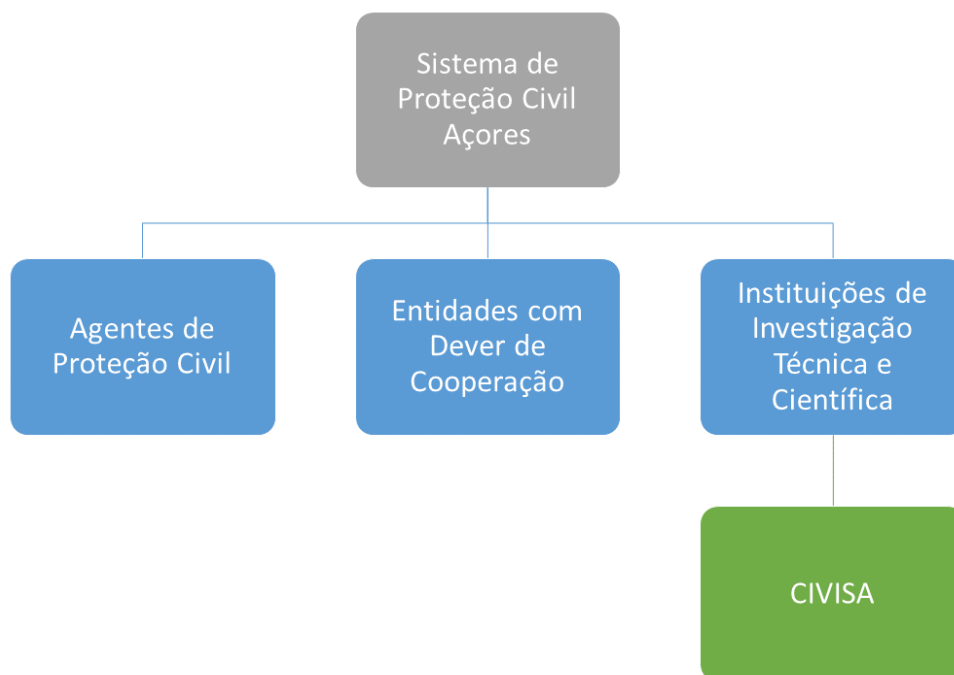


Figura 5.2 - Conjunto de entidades que integram a estrutura de proteção civil dos Açores.

### **5.2.3.1. Agentes de Proteção Civil**

Nos termos do artigo 32.º do referido diploma, na RAA são considerados agentes de proteção civil, de acordo com as respetivas atribuições: os Corpos de Bombeiros (CB), as Forças de Segurança (FS), as Forças Armadas (FFAA), os órgãos da Autoridade Marítima Nacional e da Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC) e entidades públicas prestadoras de cuidados de saúde. A Cruz Vermelha Portuguesa (CVP) “exerce, em cooperação com os demais agentes e em harmonia com o seu estatuto próprio, funções de proteção civil nos domínios da intervenção, apoio, socorro e assistência sanitária e social”.

### **5.2.3.2. Entidades com Dever de Colaboração**

Segundo o artigo 33.º alusivo ao diploma mencionado, as entidades que apresentam um especial dever de cooperação são:

- Entidades de direito privado detentoras de corpos de bombeiros;
- Forças e serviços de segurança;
- Serviço responsável pela prestação de perícias médico-legais e forenses;
- Serviços de segurança social;
- Instituições particulares de solidariedade social e outras com fins de socorro e de solidariedade;
- Serviços de segurança e socorro privativos das empresas públicas e privadas, dos portos e aeroportos;
- Instituições imprescindíveis às operações de proteção e socorro, emergência e assistência, designadamente dos setores das florestas, conservação da natureza, indústria e energia, transportes, obras públicas, solidariedade social, comunicações, recursos hídricos e ambiente, mar e atmosfera;
- Organizações de voluntariado de proteção civil.

### **5.2.3.3. Instituições de Investigação Técnica e Científica**

De acordo com o artigo 34.º do mesmo decreto, os serviços e instituições de investigação técnica e científica, públicos ou privados, com competências específicas em domínios de interesse para a prossecução dos objetivos fundamentais da proteção civil devem cooperar com os órgãos de direção e coordenação previstos. Esta cooperação assenta nos seguintes domínios:

- Levantamento, previsão, avaliação e prevenção de riscos coletivos de origem natural, humana ou tecnológica e análises das vulnerabilidades das populações e dos sistemas ambientais a eles expostos;
- Estudo de formas adequadas de proteção dos edifícios em geral, dos monumentos e de outros bens culturais, de instalações e infraestruturas de serviços e bens essenciais;
- Investigação no domínio de novos equipamentos e tecnologias adequados à busca, salvamento e prestação de socorro e assistência;
- Estudo de formas adequadas de proteção dos recursos naturais.

Estas entidades, com competências no âmbito da monitorização de riscos, têm o dever de comunicar ao Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores a informação proveniente dos sistemas de vigilância e deteção de riscos de que dispõem. Mais concretamente, algumas destas instituições são: o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), o Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC) e o Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA).

#### **5.2.3.3.1. Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores**

O Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), constituído pelo Governo Regional dos Açores e a Universidade dos Açores (UAc), através do Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), tem como missão assessorar técnica e cientificamente as autoridades de proteção civil para a mitigação dos riscos que possam colocar em causa a segurança de pessoas e bens (Constituição de Associação n.º 18/2008, de 27 de agosto, publicado no Jornal Oficial II série - n.º 162).

O CIVISA tem sede em Ponta Delgada na ilha de São Miguel e, de acordo com o artigo 3.º dos seus Estatutos, a sua área de intervenção compreende a totalidade do território da RAA. Segundo o mesmo artigo, no âmbito da sua missão desenvolve atividades como:

- A vigilância dos perigos geológicos, incluindo erupções vulcânicas, sismos, explosões de vapor, libertação de gases tóxicos, movimentos de massa e tsunamis, entre outros, através da aplicação integrada de técnicas de monitorização geofísica, geodésica, geoquímica e meteorológica;
- A elaboração de relatórios, pareceres e comunicados para a difusão de informação, destinados a apoiar ações de proteção civil na Região;

- A coordenação, promoção e participação em estudos, projetos e programas científicos;
- A coordenação, promoção e participação em cursos e ações de formação, contribuindo para o aperfeiçoamento e especialização de quadros científicos e técnicos, nacionais e estrangeiros;
- A prestação de serviços a entidades, públicas ou privadas, assim como a particulares, nas matérias da sua especialidade.

Para tal, de acordo com o artigo 12.º do referido diploma, o CIVISA organiza-se em várias unidades científicas operacionais (UCO), “estruturas coerentes sob o ponto de vista científico e tecnológico, dotadas de recursos humanos e técnicos destinados a cumprir objetivos específicos da política definida para o CIVISA”.

O CIVISA, em colaboração com o IVAR, gere um sistema de monitorização multiparamétrico, constituído por uma rede sísmica, uma rede de geoquímica de gases e uma rede geodésica (GNSS) (Silva, 2023). Os dados provenientes deste sistema de monitorização sismovulcânica são transmitidos em tempo real ou quase real para o Centro de Aquisição de Dados (CAD), cujo pessoal garante a vigilância 24/7. Os dados são, ainda, complementados por campanhas de observação regular (*e.g.* amostragem de gases e de águas, observações de GNSS) e, se necessário, são instaladas estações portáteis em situações de incremento de atividade em algum sistema vulcânico, como estações sísmicas de banda larga e de curto período, equipamento multigás, marcas geodésicas para campanhas, entre outros (Silva, 2023).

Toda a informação é integrada pelo Centro de Operações de Emergência (COE), permitindo uma análise conjunta sob o ponto de vista das várias vertentes (geofísica, geoquímica e geodésica) e uma interpretação abrangente e completa do estado de atividade dos sistemas vulcânicos ativos dos Açores. Esta análise e respetivas avaliações científicas são essenciais para apoio às decisões das autoridades de proteção civil. Além disso, com base na análise integrada dos vários parâmetros registados, é definido o nível de alerta científico para cada sistema vulcânico ativo (Carmo *et al.*, 2023).

Para tal, o CIVISA dispõe de um Gabinete de Crise que, segundo o artigo 13.º dos seus Estatutos, consiste numa “estrutura de resposta a situações de emergência relacionadas com perigos geológicos, diretos ou indiretos, suscetíveis de colocar em risco pessoas ou bens”. Conforme disposto no artigo 32.º do diploma supracitado, o Gabinete de Crise é composto pelo presidente da direção do CIVISA (ou alguém delegado por este), que preside e é responsável pela ativação e desativação do mesmo, e pelos coordenadores (ou representantes) das várias UCO. De acordo

com a situação de crise, podem ainda integrar outros especialistas ou agentes de proteção civil, convidados pelo presidente da direção. De acordo com o artigo 33.º, compete a este Gabinete:

- Avaliar e caracterizar cada situação de perigo geológico, com base na integração de todos os dados disponíveis;
- Determinar quais os recursos humanos, técnicos e financeiros necessários para o acompanhamento da situação;
- Requerer à direção todos os recursos complementares necessários para o acompanhamento da situação;
- Definir e coordenar todas as atividades técnicas e científicas para o acompanhamento da situação;
- Estabelecer, em cada momento, o nível de alerta científico mais adequado;
- Divulgar toda a informação de interesse para apoiar as ações de proteção civil, utilizando os canais de difusão pré-estabelecidos e recorrendo às tecnologias de informação e comunicação disponíveis;
- Representar o CIVISA em todas as reuniões de proteção civil para as quais este seja convidado.

Em relação à gestão científica de crises sismovulcânicas, o CIVISA dispõe de uma escala de alerta científico que permite a este Gabinete de Crise, de acordo com o estado de atividade verificado no(s) sistema(s) vulcânico(s), definir os níveis de alerta científico correspondentes. Designada por “Escala de Alertas Científicos para a Caracterização do Estado da Atividade Sismovulcânica da Região dos Açores” (Gaspar *et al.*, 2012) (Figura 5.4), consiste numa escala de sete níveis, desde o V0 (estado de repouso) ao V6 (erupção com VEI superior a 4 em curso). Mais concretamente, o nível V0 corresponde a atividade normal, os níveis V1 a V4 já traduzem instabilidade, reativação e/ou ameaça de erupção no sistema, e os níveis V5 e V6 significam erupção em curso com determinado índice de explosividade. A alteração do nível de alerta e o respetivo estado da atividade é comunicado para as autoridades de proteção civil e divulgado para a população, através dos meios de comunicação disponíveis.

ALERTA	INDICADORES	ACTIVIDADE	ESTADO DO SISTEMA	PERIGOS GEOLÓGICOS
V0	Indicadores geofísicos, geodésicos e geoquímicos com valores normais	Actividade normal	Estado de repouso	Gases Vulcânicos
V1	Indicadores geofísicos e/ou geodésicos e/ou geoquímicos com valores ligeiramente acima do normal e Inexistência de variações correlacionáveis entre indicadores obtidos por uma ou mais técnicas de monitorização	Sinais de fraca actividade	Estado de instabilidade	Sismos
V2	Indicadores geofísicos e/ou geodésicos e/ou geoquímicos com valores claramente acima do normal e/ou Possível existência de variações correlacionáveis entre indicadores obtidos por uma ou mais técnicas de monitorização	Sinais de actividade moderada	Possível reactivação do sistema	Movimentos de massa
V3	Indicadores geofísicos e/ou geodésicos e/ou geoquímicos com valores muito acima do normal e/ou Existência de variações correlacionáveis entre indicadores obtidos por uma ou mais técnicas de monitorização	Sinais de actividade elevada	Confirmação da reactivação do sistema	Explosões de vapor
V4	Acentuado incremento dos indicadores geofísicos e/ou geodésicos e/ou geoquímicos e/ou Observação de efeitos superficiais no vulcão e/ou zonas adjacentes, incluindo explosões de vapor e erupções freáticas	Sinais de actividade pré-eruptiva	Ameaça de erupção magmática ou hidromagmática	Tsunamis
V5	Manutenção de indicadores geofísicos, geodésicos e/ou geoquímicos continuamente elevados Impactes directos na área do vulcão e zonas adjacentes	Actividade vulcânica efusiva; moderadamente explosiva; severa;	Erupção de VEI 0 a VEI 3 em curso	Escoadas lávicas Projecteis de trajectória balística Cinzas vulcânicas e lapilli de queda
V6	Manutenção de indicadores geofísicos, geodésicos e/ou geoquímicos continuamente elevados Impactes directos para além das zonas adjacentes ao vulcão	Actividade vulcânica catastrófica; paroxismal; colossal;	Erupção de VEI 4 ou superior em curso	Fluxos piroclásticos Escoadas de lama

Figura 5.3 - Escala de Alertas Científicos para a Caracterização do Estado da Atividade Sismovulcânica da Região dos Açores (Gaspar *et al.*, 2012).

#### 5.2.4. Sistema Integrado de Operações de Protecção e Socorro da Região Autónoma dos Açores

A Resolução do Conselho do Governo n.º 56/2019, de 16 de abril, aprova o regulamento do Sistema Integrado de Operações de Protecção e Socorro da Região Autónoma dos Açores (SIOPS-RAA). Nos termos do artigo 2.º do referido diploma, o SIOPS-RAA compreende “o conjunto de estruturas, normas e procedimentos que asseguram que todos os agentes de socorro e protecção

civil na Região Autónoma dos Açores atuam, a nível operacional, de forma articulada, sob um comando único, sem prejuízo da respetiva dependência hierárquica e funcional”.

Ainda de acordo com o mesmo artigo, o comando único deste sistema assenta em duas dimensões: na coordenação institucional e no comando operacional.

#### **5.2.4.1. Coordenação Institucional**

Segundo o artigo 3.º do diploma supramencionado, a coordenação institucional é concretizada pelo Centro de Operações de Emergência (COE) do Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores (SRPCBA). Sendo assim, é da responsabilidade do COE “assegurar a articulação entre todas as entidades e instituições de âmbito regional necessárias às operações de proteção e socorro, emergências e assistências previsíveis ou decorrentes de acidente grave ou catástrofe, garantindo os meios considerados adequados à gestão da ocorrência em cada situação”. Situado na sede do SRPCBA, nos termos do artigo 4.º do mesmo regulamento, compete ao COE, designadamente:

- Integrar, monitorizar e avaliar toda a atividade operacional quando em situação de acidente grave ou catástrofe;
- Proceder à recolha de informação, relevante para as missões de proteção e socorro, detida pelas organizações integrantes do COE, bem como promover a sua gestão;
- Desencadear as ações previstas nos planos de emergência de proteção civil e assegurar a conduta das operações de proteção civil deles decorrentes;
- Possibilitar a mobilização rápida e eficiente das organizações, bem como dos recursos humanos e materiais indispensáveis, que permitam a conduta coordenada das ações a executar;
- Recolher e divulgar por todos os agentes, em função da ocorrência e dos estados de prontidão, informações essenciais à componente de comando operacional;
- Difundir comunicados oficiais e avisos às populações, às entidades e às instituições, incluindo aos órgãos de comunicação social;
- Assegurar o desencadeamento das ações consequentes às declarações das situações de alerta, de contingência e de calamidade.

De acordo com o disposto no artigo 5.º do diploma referido, o COE inclui a Sala de Atendimento e Gestão de Emergências (SAGE), a Sala de Situação (SSit), a Sala de Decisão Política (SDPo) e a Sala de Atendimento Telefónico (SAT). Apesar de não se encontrarem durante o funcionamento

normal do COE, podem estar presentes: o membro do governo regional com competência em matéria de proteção civil, o presidente do SRPCBA (ou um representante), que assegura a coordenação, e outros representantes de agentes de proteção civil e/ou entidades que sejam necessárias às operações em causa.

#### **5.2.4.2. Comando Operacional**

Quanto à gestão das operações, conforme disposto no artigo 6.º do regulamento do SIOPS-RAA, está previsto a constituição de um Comando Regional de Operações e Socorro (CROS), que tem como função apoiar o responsável das operações na tomada de decisão e articulação dos meios no teatro das operações. Segundo os artigos 7.º e 8.º do diploma mencionado, o CROS é dirigido pelo presidente do SRPCBA e compreende a célula de planeamento e operações e a célula de logística e comunicações. A regulação deste CROS é definida por despacho do presidente do SRPCBA, no entanto, até à data da elaboração da presente dissertação, este regulamento ainda não foi elaborado.

De acordo com o artigo 11.º do diploma que aprova o regulamento do SIOPS-RAA, o Sistema de Gestão de Operações (SGO) consiste numa organização operacional que se desenvolve no teatro de operações (TO), de acordo com a importância e o tipo de ocorrência. O SGO aplica-se em qualquer ocorrência seja de grandes proporções ou de menores dimensões.

Está definido no mesmo artigo que “assim que uma força de socorro, das organizações que integram o SIOPS-RAA, é acionada para uma ocorrência, quem assume o comando da operação é o chefe da primeira força a chegar ao local, que deve garantir a construção de um sistema evolutivo de comando e controlo da operação”. Além disso, o Comandante das Operações de Socorro (COS) é o responsável pelo “desenvolvimento da organização, que deve surgir quando os meios disponíveis na intervenção inicial e os reforços se mostram insuficientes ou quando seja previsto com base nos potenciais danos”.

Conforme disposto no artigo 12.º do referido diploma, o Posto de Comando Operacional (PCO) é o órgão diretor das operações no local da ocorrência e tem como finalidade apoiar o COS na preparação e tomada de decisões e na articulação dos meios no TO. Dependendo da dimensão e da tipologia da ocorrência, está previsto a constituição de um Posto de Comando Operacional de Ilha (PCOIlha) e/ou um Posto de Comando Operacional de Município (PCOMun), por cada ilha e/ou município afetado. Segundo o artigo 14.º, o PCO é constituído pelas células de Planeamento, Operações e Logística e respetivos responsáveis. Além disso, de acordo com cada

ocorrência, o COS pode ainda ser assessorado por um adjunto para a segurança, um adjunto para as relações-públicas e um adjunto para a ligação com outras entidades.

Ainda conforme o mesmo artigo, podem estar presentes no posto de comando “os representantes dos agentes de proteção civil com meios empenhados na operação ou que se considerem pertinentes para o desenrolar da operação”, como por exemplo, os Técnicos ou Oficiais de Ligação das Forças de Segurança e das Forças Armadas, o representante da Autarquia local e o Coordenador Municipal de Proteção Civil. Tal como disposto no artigo 13.º daquele diploma, o PCO desenvolve atividades como: “a recolha e o tratamento operacional das informações, a preparação das ações a desenvolver, a formulação e a transmissão de ordens; o controlo da execução de ordens, a manutenção das capacidades operacionais dos meios empregues e a gestão dos meios de reserva”.

Segundo o artigo 15.º do diploma que aprova o regulamento do SIOPS-RAA, um TO está organizado por setores, que correspondem a zonas geográficas ou funcionais, de acordo com o tipo de ocorrência e a estratégia adotada. A setORIZAÇÃO do TO é da responsabilidade do COS e cada setor é dirigido por um responsável (Comandante de Setor).

O artigo 16.º do regulamento supracitado define que as Zonas de Intervenção (ZI) “caracterizam-se como áreas de configuração e amplitude variáveis que dependem das circunstâncias e condições do tipo de ocorrência”. A resposta operacional desenvolve-se na área da RAA, que neste caso é a ZI. Conforme o disposto nos artigos 17.º, 18.º, 19.º e 20.º do diploma referido, esta divide-se em:

- Zona de Sinistro (ZS) – “superfície na qual se desenvolve a ocorrência, de acesso restrito, e onde se encontram exclusivamente os meios necessários à intervenção direta e com missão atribuída, sob a responsabilidade do COS”;
- Zona de Apoio (ZA) – “zona adjacente à ZS, de acesso condicionado, onde se concentram os meios de apoio e logísticos estritamente necessários ao suporte dos meios em operação e onde se encontram os meios de intervenção para resposta imediata”;
- Zona de Concentração e Reserva (ZCR) – “zona do TO onde se localizam temporariamente os meios e os recursos disponíveis sem missão imediata e onde se mantém o sistema de apoio logístico às forças”;
- Zona de Receção de Reforços (ZRR) – “zona de controlo e apoio logístico, sob a responsabilidade do COE, para onde se dirigem os meios de reforço atribuídos antes de atingirem a ZCR no TO”;

O TO engloba as Zonas de Sinistro, as Zonas de Apoio e as Zonas de Concentração e Reserva (Figura 5.5).

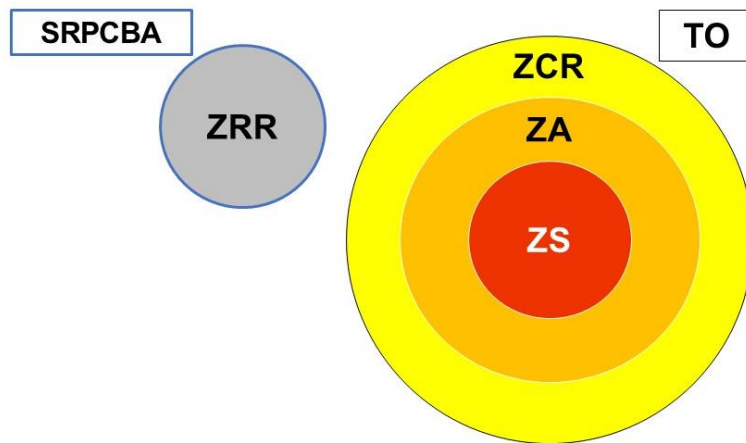


Figura 5.4 - Esquema das Zonas de Intervenção (adaptado do Despacho n.º 3317-A/2018, de 3 de abril).

O diploma referido anteriormente prevê ainda a ativação do estado de alerta especial para as organizações que integram o SIOPS-RAA. Efetivamente, de acordo com o artigo 22.º, o estado de alerta especial visa intensificar as ações preparatórias para as tarefas de supressão ou minoração das ocorrências, colocando meios humanos e materiais de prevenção em relação ao período de tempo e à área geográfica em que se preveja especial incidência de condições de risco ou emergência. Mais concretamente, conforme o artigo 23.º, o estado de alerta especial para as organizações integrantes do SIOPS-RAA compreende os níveis azul, amarelo, laranja e vermelho, progressivos conforme a gravidade da situação e o grau de prontidão que esta exige.

Segundo o disposto no artigo 24.º, na RAA e nas situações que não motivarem a declaração do estado de alerta, o COE do SRPCBA detém a competência exclusiva para determinar o nível de alerta especial. Quanto às regras de ativação do estado de alerta especial para as organizações integrantes do SIOPS-RAA, de acordo com o referido artigo, está previsto que sejam aprovadas por diretiva operacional do SRPCBA. Neste âmbito, deve-se referir que, no momento da elaboração da presente dissertação, já foi anunciada a proposta do diploma que aprova a adaptação do Sistema Nacional de Monitorização e Comunicação de Risco, de Alerta Especial e de Aviso à População em todo o arquipélago dos Açores, todavia, ainda não existe.

Finalmente, um dispositivo de resposta operacional é constituído por equipas de intervenção permanente destinadas à intervenção prioritária em missões de socorro. Conforme o artigo 25.º

do referido diploma, na RAA este dispositivo é assegurado pelos corpos de bombeiros e pelos agentes de proteção civil que possam ser ativados.

## 5.2.5. Plano Regional de Emergência e Proteção Civil dos Açores

### 5.2.5.1. Nota Prévia

Os planos de emergência de proteção civil são documentos formais nos quais as autoridades de proteção civil, nos seus diferentes níveis, estabelecem as orientações relativamente ao modo de atuação dos vários organismos, serviços e estruturas a empenhar em operações de proteção civil. Na RAA, conforme o artigo 36.º do diploma que aprova o Regime Jurídico do Sistema de Proteção Civil na RAA, os planos de emergência classificam-se quanto à sua finalidade, em gerais ou especiais, e quanto à sua extensão territorial, em regionais, supramunicipais ou municipais (Tabela 5.6). Ainda segundo o mesmo artigo, os planos supramunicipais são planos especiais de emergência de proteção civil que se aplicam numa determinada área homogênea de risco, comum a vários municípios de uma ilha.

Tabela 5.6 - Planos de emergência e responsabilidades de elaboração, parecer e aprovação previstas na RAA.

EXTENSÃO TERRITORIAL	ELABORAÇÃO	PARECER PRÉVIO	APROVAÇÃO
Regional	SRPCBA	CRPCA e CNPC	Conselho do Governo Regional
Supramunicipal	SRPCBA	CRPC e CNPC	Conselho do Governo Regional
Municipal	Câmara Municipal	CMPC e SRPCBA	Membro do Governo Regional

Assim, no âmbito da presente dissertação, destaca-se a importância da elaboração de planos supramunicipais no planeamento de emergência específico para o perigo vulcânico. Mais concretamente, note-se que, normalmente, os perigos vulcânicos, diretos e indiretos, tendem a abranger áreas extensas, não respeitando os limites administrativos dos municípios mais próximos. A título de exemplo, e para o caso concreto do cenário eruptivo considerado, é

possível averiguar que os produtos vulcânicos resultantes de uma erupção no Vulcão do Fogo são capazes de abranger mais do que um município. Ora, este contexto origina dificuldades acrescidas na gestão de crises vulcânicas, que se prendem principalmente com a coordenação e cooperação entre diversas entidades na resposta a uma crise vulcânica, na consequente dificuldade em interagir entre si e compreender as suas responsabilidades (Paton *et al.*, 1998; Gaspar, 2004). Além destas, deve-se salientar a heterogeneidade inerente aos territórios afetados ou possivelmente afetados, uma vez que cada um possui a sua estratégia, economia, meios, recursos materiais e humanos e, resumidamente, modos de atuação distintos que dificultam uma abordagem comum à crise, de forma equilibrada e coerente, de acordo com o nível de atenção que a situação exige.

Todavia, atualmente, na RAA verifica-se a escassez de instrumentos que se enquadram nesta tipologia. Efetivamente, à data da elaboração da presente dissertação, apenas enquadra-se nesta tipologia o Plano Especial de Emergência de Proteção Civil para o Risco Sismovulcânico da Ilha de São Jorge (PEEPCRS-ISJ) – publicado no primeiro semestre de 2023 na sequência da crise sismovulcânica que se iniciou em março de 2022 na mesma ilha – compreendendo o primeiro plano supramunicipal ou de ilha nos Açores. Antes deste, os únicos planos especiais da RAA, eram de âmbito municipal e destinavam-se a parques de combustíveis (Planos Especiais de Emergência Externos).

Não obstante, e tendo em conta as condições geológicas e geográficas, assim como os riscos resultantes deste enquadramento, a RAA suporta-se de um plano de emergência de proteção civil, do tipo geral e de âmbito regional, incluindo as nove ilhas do arquipélago, com a finalidade de permitir “uma resposta efetiva às situações de risco que se preveem para a RAA, designadamente, o Plano Regional de Emergência de Proteção Civil dos Açores (PREPCA). Optou-se por analisar apenas o PREPCA em virtude da sua importância e uma vez que se averigua uma lacuna nos planos específicos para o risco vulcânico ou sismovulcânico, de âmbito ilha, supramunicipal, ou municipal. Alguns conteúdos presentes no PREPCA já foram alvo de análise ou respeitam a legislação referida anteriormente e, portanto, não serão abordados no presente capítulo.

O PREPCA aprovado pela Resolução do Conselho do Governo n.º 55/2019, de 16 de abril, é um instrumento de âmbito regional que visa “permitir o desenvolvimento de uma resposta efetiva às situações de risco previstas para a RAA”. O SRPCBA é responsável pela elaboração e revisão deste plano, em colaboração com os demais agentes de proteção civil e entidades e de acordo com a Resolução da Comissão Nacional de Proteção Civil n.º 30/2015, de 7 de maio, que aprova

a Diretiva que fixa os Critérios e Normas Técnicas para a Elaboração e Operacionalização de Planos de Emergência de Proteção Civil. A aprovação do plano é da responsabilidade do membro do GRA encarregue pela matéria de proteção civil (atualmente, a SRSD), após emissão de parecer prévio da CRPC e da CNPC (Tabela 5.6). O PREPCA, tal como a maioria dos planos de proteção civil em Portugal, deve ser revisto num prazo máximo de cinco anos, à exceção dos registos de meios e recursos e a lista de contactos (prazo máximo de um ano). O Plano está estruturado da seguinte forma (Figura 5.6):

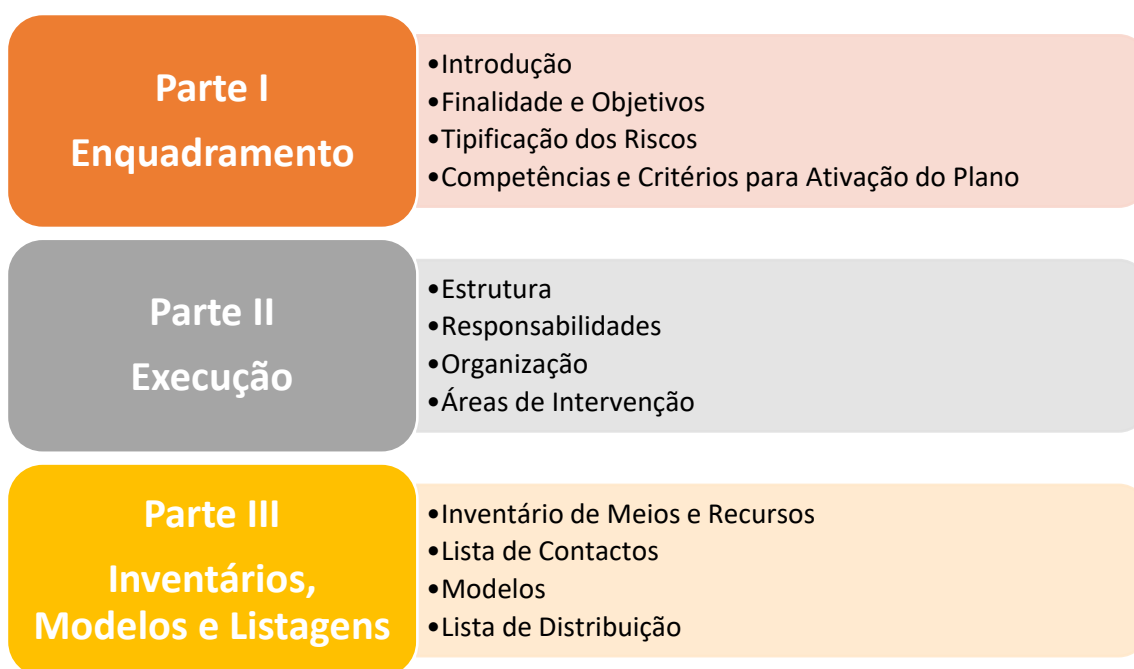


Figura 5.5 - Organização do PREPCA.

#### 5.2.5.2. Parte I - Enquadramento

A Parte I visa realizar uma apresentação geral do documento, incluindo, a designação do diretor do plano, a finalidade e objetivos do documento, a tipificação dos riscos e os critérios para ativar e desativar o plano.

A finalidade do PREPCA consiste em regular “a forma como é assegurada a coordenação institucional e a articulação e intervenção das organizações integrantes do SIOPS-RAA e de outras entidades públicas ou privadas que participam nas operações de proteção e socorro”. Assim, constitui um elemento preparado para responder de forma organizada às situações de acidente grave ou catástrofe, “definindo as estruturas de direção, coordenação, comando e controlo”. O

objetivo do PREPCA é “estabelecer as diretrizes para, em caso de iminência ou ocorrência de acidente grave ou catástrofe, poder prevenir, mitigar os efeitos dos riscos, socorrer e assistir as pessoas em perigo, bem como proteger bens e valores culturais, ambientais e de elevado interesse público, procurando restabelecer as condições normais de vida o mais rapidamente possível”.

No PREPCA, devido aos “diferentes contextos geológicos, geodinâmicos e geomorfológicos”, a tipificação dos riscos naturais presentes na RAA, à exceção dos meteorológicos (Ciclones, Tempestades e Furacões), encontra-se organizada por ilha. Através de uma matriz de risco que combina o grau de gravidade com o grau de probabilidade, esta análise permitiu categorizar os vários perigos naturais em quatro níveis de risco: baixo, moderado, elevado e extremo. De acordo com os resultados apresentados, especialmente sobre os perigos relacionados com a atividade vulcânica na ilha de São Miguel, observa-se que as emanações gasosas permanentes, as escoadas lávicas e os piroclastos de queda são considerados um risco extremo, enquanto, os fluxos piroclásticos um risco elevado.

O SRPCBA é a entidade com competência para ativar e desativar o PREPCA. No entanto, o Plano é ativado automaticamente com a emissão de declaração de situação de calamidade pública regional, pelo Governo Regional, ou quando satisfeitos um dos critérios gerais ou específicos definidos neste Plano (Tabela 5.7).

**Tabela 5.7** - Critérios Gerais e Específicos para ativação do PREPCA.

<b>CRITÉRIOS GERAIS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A iminência de ocorrência de uma situação potencialmente grave ou catástrofe;</li> <li>• Ativação simultânea de dois ou mais Planos Municipais de Emergência de Proteção Civil;</li> <li>• A ocorrência de um acidente grave ou catástrofe que afete apenas um concelho, mas que seja ultrapassada a capacidade de resposta dos meios desse concelho.</li> </ul>
<b>CRITÉRIOS ESPECÍFICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Um sismo registado de intensidade igual ou superior a grau VII, na Escala de Mercalli;</li> <li>• Uma emergência que obrigue à evacuação de população e provoque a interrupção da normalidade das condições de vida por mais de três dias consecutivos;</li> <li>• Efeitos significativos e diretos na população provocando mais de 50 desalojados, 50 feridos ou 10 mortos;</li> <li>• Danos significativos nos bens e património ou nos edifícios indispensáveis às operações de proteção civil em 2, ou mais, municípios;</li> <li>• Danos significativos nos serviços de infraestruturas (implicando suspensão do fornecimento de água, energia, comunicações ou transportes durante mais de 24 horas) em 2, ou mais, municípios.</li> </ul>

Tendo em conta estes critérios, o desencadear de uma crise vulcânica e/ou uma erupção no Vulcão do Fogo, tendo em conta a sua história eruptiva, as características e todo enquadramento do sistema vulcânico já referido, constituem motivos suficientes para ativar o PREPCA. Importa referir ainda que a desativação do Plano é da responsabilidade do SRPCBA, quando considerar que estão ultrapassadas estas situações e se verificar a reposição da normalidade das condições de vida.

### **5.2.5.3. Parte II - Execução**

A Parte II do Plano visa definir o modelo de resposta operacional a acidentes graves ou catástrofes. Nesta parte, refere-se que as estruturas previstas no Plano, seguem as estruturas de direção, coordenação e execução política já mencionadas (Tabela 5.5), tanto a nível Regional como a nível Municipal. Também, as estruturas de coordenação institucional e de comando operacional respeitam a organização do SIOPS-RAA, já abordadas no ponto 5.4.1. Além disso, tanto as principais infraestruturas de relevância operacional, como as zonas de intervenção já foram discutidas em outros capítulos e não serão abordadas novamente.

No PREPCA estão listadas, para cada entidade, as responsabilidades que “visam criar as condições favoráveis ao rápido, eficiente e coordenado reforço no apoio e assistência, tanto na resposta imediata a um acidente grave ou catástrofe e recuperação a curto prazo, como na implementação de medidas que visam minimizar os efeitos de catástrofes iminentes”. No âmbito da presente dissertação, optou-se por abordar apenas as principais responsabilidades atribuídas aos serviços de proteção civil, desde o nível regional ao local, e ao observatório vulcanológico responsável pela monitorização vulcânica nos Açores (Tabela 5.8).

## 5. GESTÃO DE CRISES VULCÂNICAS E SISTEMA DE PROTEÇÃO CIVIL DOS AÇORES

**Tabela 5.8** - Principais responsabilidades dos serviços de proteção civil e do observatório vulcanológico dos Açores, presentes no PREPCA.

ENTIDADES		RESPONSABILIDADES
<b>NÍVEL</b>	<b>SERVIÇOS DE PROTEÇÃO CIVIL</b>	
<b>Regional</b>	Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores (SRPCBA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assegurar a unidade de comando, controlo, comunicações e informações das situações que, pela sua natureza, gravidade, extensão e meios envolvidos ou a envolver, requeiram a sua intervenção;</li> <li>– Acionar meios de resposta e mobilizar meios e recursos de reforço e de apoio;</li> <li>– Garantir o funcionamento, a operacionalidade e a articulação com todos os agentes de proteção civil;</li> <li>– Assegurar o socorro e assistência a pessoas em perigo, proteger bens e valores culturais, ambientais e de elevado interesse público;</li> <li>– Assegurar a articulação dos serviços públicos ou privados de modo a garantir a proteção das populações e a salvaguarda do património e do ambiente;</li> <li>– Assegurar a mobilização e disponibilização de capacidades especializadas no âmbito do planeamento civil de emergência;</li> <li>– Difundir comunicados e avisos às populações e às entidades e instituições, incluindo aos órgãos de comunicação social.</li> </ul>
<b>Municipal</b>	Câmaras Municipais / Serviços Municipais de Proteção Civil	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Disponibilizar meios, recursos e pessoal para a resposta de proteção civil e socorro, de acordo com as missões operacionais legalmente definidas;</li> <li>– Evacuar e transportar pessoas, bens e animais;</li> <li>– Assegurar a divulgação de avisos às populações;</li> <li>– Instalar e gerir centros de acolhimento temporários;</li> <li>– Realojamento de pessoas, dentro das capacidades municipais;</li> <li>– Assegurar a sinalização relativa a cortes de estradas, bem como as vias alternativas;</li> <li>– Desobstruir as vias, remover os destroços e linhas de água ao longo das estradas e caminhos municipais;</li> <li>– Manutenção e gestão dos caminhos agrícolas existentes no concelho;</li> <li>– Promover ações de avaliação de danos e de necessidades da população afetada.</li> </ul>
<b>Local</b>	Juntas de Freguesia	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Efetivar o seu apoio às ocorrências através do envolvimento de elementos para reconhecimento e orientação, no terreno, de forças em reforço do seu município;</li> <li>– Recensear e registar a população afetada;</li> <li>– Criar pontos de concentração de feridos e de população ilesa;</li> <li>– Colaborar nas atividades das Câmaras Municipais.</li> </ul>
<b>OBSERVATÓRIO VULCANOLÓGICO</b>		
	Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assegurar a monitorização e a vigilância dos perigos naturais nos Açores, designadamente, sismos, erupções vulcânicas, emanações gasosas, poluição atmosférica e contaminação de aquíferos, movimentos de vertente, inundações, cheias e tsunamis;</li> <li>– Prestar apoio técnico e científico nas áreas da vulcanologia, da sismologia, da geotermia, da geotecnia, da hidrogeologia e do ambiente;</li> <li>– Elaborar relatórios, pareceres e comunicados para a difusão de informação, destinados a apoiar ações de Proteção Civil na Região;</li> <li>– Disponibilizar informação sobre eventos sísmicos e vulcânicos;</li> <li>– Apoiar o SRPCBA, na implementação das estratégias regionais para a mitigação dos riscos identificados no PREPCA através da: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Difusão de conhecimentos e resultados das atividades de investigação e de desenvolvimento tecnológico;</li> <li>○ Realização, de forma integrada e concertada com o SRPCBA, de ações de sensibilização e formação para a área dos riscos naturais e antrópicos, destinadas à população e/ou às entidades intervenientes no PREPCA.</li> </ul> </li> <li>– Integrar os exercícios de teste ao PREPCA.</li> </ul>

Quanto à mobilização de meios e recursos, importa referir que, na sequência da ativação do Plano, é fundamental a disponibilização rápida, eficiente e ponderada dos meios e recursos solicitados, considerando os critérios estabelecidos. A título de exemplo, utilizar, preferencialmente, os recursos públicos e/ou privados dos municípios menos afetados pela situação, não exceder os meios e recursos estritamente necessários ou recorrer aos meios e recursos públicos, são alguns destes.

Os meios e recursos relativos aos agentes de proteção civil e aos organismos e entidades de apoio são colocados à disposição dos Postos de Comando, que os afetam de acordo com as necessidades. Além disso, os Postos de Comando são autónomos na gestão dos meios existentes a nível municipal e dos meios de reforço que forem concedidos pelo nível regional. Para tal, importa salientar que os pedidos de reforço de meios são válidos apenas quando requeridos através da cadeia de comando e que a atribuição dos meios de reforço regionais é uma função do SRPCBA, que a concretiza de acordo com critérios como a proximidade, a prontidão e a disponibilidade para enfrentar as necessidades operacionais decorrentes do evento.

Em relação à notificação operacional, com vista a intensificar as ações de preparação ou mitigação face às ocorrências, o SRPCBA desencadeia um conjunto de notificações operacionais assim que recebe informação que aponte para a iminência ou ocorrência de um acidente grave ou catástrofe. Estas notificações seguem os processos estabelecidos nos Procedimentos Operacionais em vigor no SRPCBA.

O SRPCBA tem a responsabilidade de difundir a informação às autoridades políticas de proteção civil, designadamente, aos presidentes das câmaras municipais, aos serviços e agentes de proteção civil e a certos organismos e entidades de apoio de acordo com a tipologia da ocorrência que desencadeou a situação. Após a ativação do PREPCA e tendo em conta o tipo de ocorrência, a informação relevante será disseminada a todas as entidades intervenientes, de forma regular, através dos seguintes meios de comunicação: rede telefónica, correio eletrónico, mensagem escrita, página oficial do SRPCBA, órgãos de comunicação social, redes sociais e RITERAA.

No PREPCA estão definidas as respetivas entidades coordenadoras e as entidades intervenientes por cada área de intervenção considerada (Tabela 5.8), face a um acidente grave ou catástrofe. Para além disso, estabelece ainda as prioridades de ação e as instruções específicas por cada uma dessas áreas funcionais.

5. GESTÃO DE CRISES VULCÂNICAS E SISTEMA DE PROTEÇÃO CIVIL DOS AÇORES

Tabela 5.9 - Entidades Coordenadoras e Entidades Intervenientes por cada Área de Intervenção (adaptado do PREPCA).

ÁREA DE INTERVENÇÃO		ENTIDADE COORDENADORA	ENTIDADES INTERVENIENTES
Gestão Administrativa e Financeira		SRPCBA	SRPCBA Agentes de Proteção Civil Câmaras Municipais OEA
Reconhecimento e Avaliação	Equipas de Reconhecimento e Avaliação da Situação	SRPCBA	SRPCBA Agentes de Proteção Civil OEA
	Equipas de Avaliação Técnica	SRPCBA	SRPCBA Agentes de Proteção Civil OEA
Logística	Apoio Logístico às Forças de Intervenção	SRPCBA	SRPCBA Agentes de Proteção Civil CVP Câmaras Municipais Associações Humanitárias de Bombeiros Voluntários
	Apoio Logístico às Populações	SRPCBA	Câmaras Municipais SRPCBA ISSA DRS CB Organizações de Escuteiros CVP Forças de Segurança Entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água e de distribuição de eletricidade e gás
Comunicações		SRPCBA	SRPCBA Agentes de Proteção Civil Câmaras Municipais Radioamadores
Informação Pública		SRPCBA	SRPCBA Forças de Segurança AM Serviços e autoridades de saúde Câmaras Municipais Órgãos de Comunicação Social

5. GESTÃO DE CRISES VULCÂNICAS E SISTEMA DE PROTEÇÃO CIVIL DOS AÇORES

Confinamento e/ou evacuação	GNR/PSP*	GNR PSP FFAA CVP Corpo Nacional de Escutas Serviços e autoridades de saúde Câmaras Municipais Juntas de Freguesia
Manutenção da Ordem Pública	PSP/Polícia Marítima*	PSP Polícia Marítima Polícia Municipal Empresas de segurança privadas
Serviços Médicos e Transporte de Vítimas	SRPCBA/DRS	SRPCBA DRS CB CVP FFAA Serviços e autoridades de saúde
Socorro e Salvamento	SRPCBA	CB GNR PSP AM CVP FFAA SRPCBA
Serviços Mortuários	Unidades de Saúde e Autoridades de Saúde Concelhias	CB PSP AM CVP SEF Ministério Público

\* de acordo com a área de incidência territorial da emergência.

**Siglas:** **SRPCBA** – Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores; **OEA** – Organismos e Entidades de Apoio; **CVP** – Cruz Vermelha Portuguesa; **ISSA** – Instituto de Segurança Social dos Açores; **DRS** – Direção Regional da Saúde; **CB** – Corpos de Bombeiros; **AM** – Autoridade Marítima; **GNR** – Guarda Nacional Republicana; **PSP** – Polícia de Segurança Pública; **FFAA** – Forças Armadas; **SEF** – Serviço de Estrangeiros e Fronteiras.

#### **5.2.5.4. Parte III – Inventários, Modelos e Listagens**

A Parte III apresenta um conjunto de documentação de apoio à resposta operacional, como o inventário dos principais recursos (públicos e privados) existentes e mobilizáveis na região, incluindo listas de equipamento especial e a localização de estabelecimentos diversos que possam dar apoio às operações durante a emergência, a lista de contactos das entidades intervenientes no plano ou que possam apoiar as operações de proteção civil e os modelos de relatórios de situação, requisições e comunicados a utilizar nas operações de proteção civil. O inventário dos meios e recursos disponíveis e lista de contactos integram uma parte do Plano restrita ao público e, portanto, não é de acesso livre. Sendo assim, os meios e recursos a utilizar em caso de emergência na RAA não serão abordados nesta dissertação.

#### **5.2.6. Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores**

O Decreto Legislativo Regional n.º 7/99/A, de 19 de março, alterado e republicado pelo Decreto Legislativo Regional n.º 39/2006/A, de 31 de outubro, estabelece a orgânica do Serviço Regional de Proteção Civil e de Bombeiros dos Açores.

O SRPCBA, sediado em Angra do Heroísmo na ilha Terceira (Figura 5.7), é o departamento que depende da Secretaria Regional da Saúde e Desporto (SRSD) que, conforme o 2.º artigo do diploma supracitado, tem como atribuições: “orientar, coordenar e fiscalizar, a nível da Região Autónoma dos Açores, as atividades de Proteção Civil e dos Corpos de Bombeiros, bem como assegurar o funcionamento de um sistema de transporte terrestre de emergência médica, de forma a garantir, aos sinistrados ou vítimas de doença súbita, a pronta e correta prestação de cuidados de saúde”.

O Serviço Regional de Proteção Civil dos Açores (SRPCA) foi estabelecido em 1984 na sequência do sismo destruidor de 1 de janeiro de 1980 no grupo Central, e a sua orgânica foi aprovada em 1987. Nesta altura, havia o SRPCA e a Inspeção Regional de Bombeiros dos Açores, no entanto, a publicação de um novo decreto (Decreto Legislativo Regional n.º 7/99/A, de 19 de março), com o objetivo de reformular as respetivas orgânicas, instituiu o Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores assumindo as atribuições das áreas de proteção civil, superintendência e apoio aos Corpos de Bombeiros Voluntários e integrando o transporte terrestre de emergência médica.

A orgânica deste serviço foi aprovada pelo Decreto Regulamentar Regional n.º 24/2003/A, de 7 de agosto, e alterada pelo Decreto Legislativo Regional n.º 39/2006/A, de 31 de outubro, visando atualizar e aperfeiçoar o quadro normativo anterior, com especial atenção para a clarificação e redefinição das atribuições do SRPCBA e algumas competências dos seus órgãos. Posteriormente, o Decreto Regulamentar Regional n.º 11/2007/A, de 23 de abril, altera a orgânica visando aperfeiçoar o anterior quadro normativo. Até à data da elaboração da presente dissertação, não se procederam mais alterações à orgânica nem ao quadro pessoal do SRPCBA.

De acordo com a orgânica atual e segundo o artigo 7.º do referido diploma são órgãos do SRPCBA: o Presidente, o Conselho Administrativo, a Comissão de Fiscalização e o Conselho Regional de Bombeiros (CRB). Conforme o disposto no artigo 16.º, o SRPCBA possui os seguintes serviços centrais: Serviço de Apoio Geral (SAG), que inclui a Secção Administrativa e Financeira (SAF), a Direção de Serviços de Planeamento e Operações (DSPO) e a Inspeção de Bombeiros (IB).

Por sua vez, a DSPO coordena a Divisão de Planeamento, Operações e Avaliação de Riscos (DPOAR) e a Divisão de Prevenção, Formação e Sensibilização (DPFS). Já a IB inclui a Divisão de Socorro e Equipamento (DSE) e a Divisão de Segurança contra Incêndios (DSCI). O SRPCBA conta ainda com o Serviço de Informática, o Gabinete de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o Centro de Formação de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores (CFPCBA) (Figura 5.8).

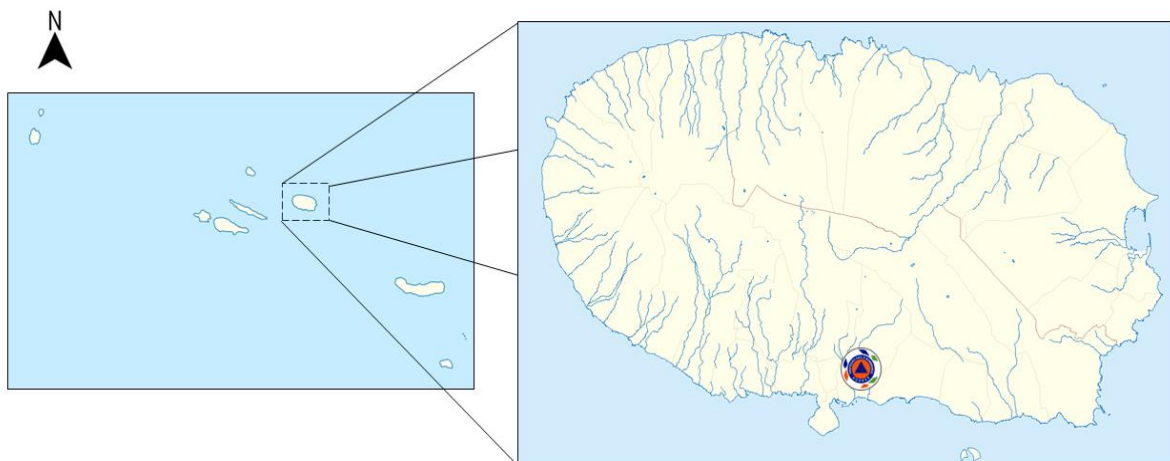


Figura 5.6 - Localização da sede do SRPCBA.

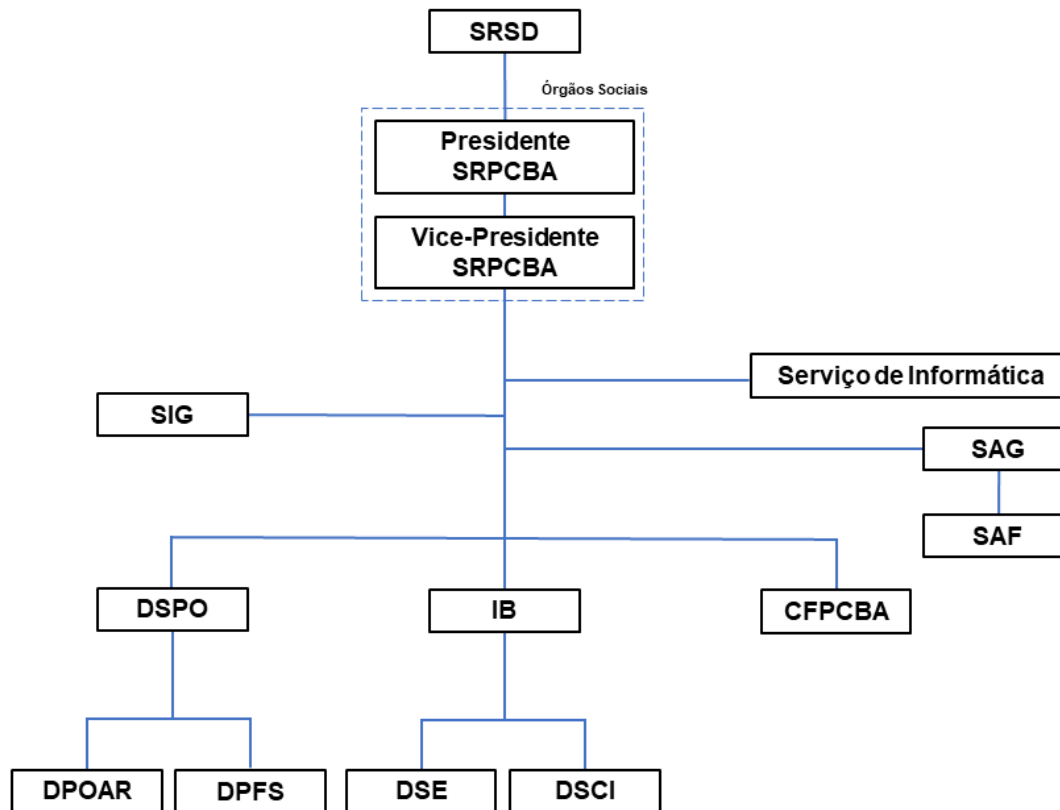


Figura 5.7 - Organograma do SRPCBA (adaptado de Fontes, 2017).

No âmbito do presente trabalho, destaca-se a DPOAR que, conforme disposto no artigo 20.º do diploma consignado, tem como missão “assegurar o planeamento e a direcção das operações do SRPCBA, a coordenação dos meios a empenhar e a adequação das medidas de carácter excepcional a adotar na iminência ou na ocorrência de acidente grave, catástrofe ou calamidade”, referindo-se o seguinte:

- 1) A DPOAR garante e apoia o funcionamento da Estação Açor e do Centro de Operações de Emergência (COE), que integra na sua estrutura. De acordo com o artigo 21.º, a Estação Açor, que funciona de forma permanente no âmbito das suas funções, “assegura a manutenção primária dos equipamentos de comunicações, o funcionamento da rede de telecomunicações e o funcionamento do Sistema de Coordenação Operacional dos Bombeiros da Região”.
- 2) Compete, também, à DPOAR “organizar um sistema regional que possibilite o oportuno alerta e aviso das populações, estabelecendo, nomeadamente, as formas de ligação com o Instituto de Meteorologia e o então Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos

da Universidade dos Açores, atual IVAR e “assegurar o desencadeamento das ações consequentes a cada tipo de alerta”.

- 3) Além disso, esta divisão é fundamental na ligação com os restantes níveis do Sistema de Proteção Civil, incluindo o municipal, competindo, por exemplo: “apoiar os serviços municipais na elaboração de planos de emergência e no desenvolvimento dos programas deles decorrentes, bem como na inventariação de meios e recursos” ou “colaborar nas ações de avaliação dos serviços municipais de proteção civil e das estruturas operacionais de proteção civil, de modo a avaliar as deficiências dos planos e programas de proteção civil”.

### 5.2.7. Serviços Municipais de Proteção Civil

De acordo com o artigo 9.º do quadro legislativo que define o enquadramento institucional e operacional da proteção civil no âmbito municipal e estabelece a organização dos serviços municipais de proteção civil (Lei n.º 65/2007, de 12 de novembro, alterada pelo Decreto-Lei n.º 44/2019, de 1 de abril) os municípios são dotados de um Serviço Municipal de Proteção Civil (SMPC), responsável pela prossecução das atividades de proteção civil de âmbito municipal, que depende, hierarquicamente, do Presidente da Câmara Municipal, da autoridade municipal de proteção civil, ou do vereador delegado por si.

De forma geral, conforme disposto no artigo 10.º do referido diploma, compete ao SMPC: executar as atividades de proteção civil de âmbito municipal, assim como centralizar, tratar e divulgar toda a informação recebida nesta matéria. Os SMPC possuem estruturas variáveis, de acordo com as características da população e os perigos existentes nos respetivos municípios, devendo pelo menos, abranger certas áreas funcionais e competências (Tabela 5.10).

Tabela 5.10 - Áreas funcionais e principais competências dos SMPC.

ÁREA FUNCIONAL	PRINCIPAIS COMPETÊNCIAS
Prevenção e Avaliação de Riscos e Vulnerabilidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar estudos técnicos para identificar e avaliar os riscos presentes no município, promovendo a sua cartografia e propor medidas de segurança face a estes;</li> <li>Operacionalizar e acionar sistemas de alerta e aviso de âmbito municipal.</li> </ul>
Planeamento e Apoio às Operações	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborar planos prévios de intervenção de âmbito municipal e preparar/executar exercícios de proteção civil;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manter informação atualizada sobre acidentes graves e catástrofes ocorridas no município.</li> </ul>
<b>Logística e Comunicações</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inventariar e atualizar os registos dos meios e dos recursos existentes no concelho;</li> <li>• Planear e gerir os equipamentos de telecomunicações e outros recursos tecnológicos do SMPC;</li> <li>• Levantar, organizar e gerir os centros de alojamento a utilizar em caso de acidente grave ou catástrofe;</li> <li>• Planear o apoio logístico às vítimas, às forças de socorro e à sustentação das operações de proteção e socorro;</li> <li>• Assegurar o funcionamento da sala municipal de operações e gestão de emergências.</li> </ul>
<b>Sensibilização e Informação Pública</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar ações de sensibilização e divulgação sobre a proteção civil, medidas preventivas e de autoproteção face aos riscos presentes;</li> <li>• Difundir, na iminência ou ocorrência de acidentes graves ou catástrofes, as orientações e procedimentos a desenvolver pela população para enfrentar a situação.</li> </ul>

Segundo o artigo 14.º-A do diploma mencionado, o SMPC é dirigido pelo Coordenador Municipal de Proteção Civil. Este Coordenador é designado pelo Presidente da Câmara Municipal e depende hierárquica e funcionalmente do mesmo. O artigo 15.º-A do mesmo diploma, refere que ao Coordenador compete, por exemplo, acompanhar permanentemente e apoiar as operações de proteção e socorro, promover a elaboração dos planos prévios de intervenção com vista à articulação de meios face a cenários previsíveis, promover reuniões regulares sobre as matérias de proteção e socorro, dar parecer sobre os materiais e equipamentos adequados à intervenção operacional e comparecer no local das ocorrências sempre que as circunstâncias o aconselhem, etc.. Além disso, o Coordenador deve funcionar como agente facilitador entre as entidades envolvidas nas operações de socorro de âmbito municipal nas situações previstas no Plano Municipal de Emergência e de Proteção Civil e, permanentemente, com o SRPCBA.

Os Planos Municipais de Emergência de Proteção Civil (PMEPC) são instrumentos que os SMPC dispõem para desencadear as operações de proteção civil, com vista a possibilitar uma unidade de prevenção, direção e controlo. Pretende-se agilizar a coordenação das ações a desenvolver e a gestão dos meios e recursos mobilizáveis, face a um acidente grave ou catástrofe, no sentido de minimizar os prejuízos e as perdas de vidas e de assegurar o rápido restabelecimento da normalidade das condições de vida.

A elaboração dos PMEPC compete às Câmaras Municipais, através dos SMPC e de acordo com as diretivas emanadas pela CNPC e/ou com o apoio do Caderno Técnico SRPCBA 01#2023 -

“Manual de Apoio à Elaboração e Operacionalização de Planos de Emergência de Proteção Civil” (SRPCBA, 2023). Após o parecer prévio da CMPC e do SRPCBA, o plano segue para aprovação do membro do Governo Regional responsável pela matéria de proteção civil.

Quanto à situação atual dos PMEPC da ilha de São Miguel, à data da elaboração desta dissertação, apenas os planos dos concelhos de Ponta Delgada e Ribeira Grande se encontram desatualizados (Tabela 5.11).

**Tabela 5.11** - Situação atual dos Planos Municipais de Emergência de Proteção Civil da ilha de São Miguel (dados do Sistema de Informação de Planeamento de Emergência, ANEPC).

MUNICÍPIO	DATA DE APROVAÇÃO	DATA DE REVISÃO
Ponta Delgada	setembro 2014	setembro 2019
Ribeira Grande	outubro 2016	outubro 2021
Lagoa	setembro 2019	setembro 2024
Vila Franca do Campo	julho 2019	julho 2024
Povoação	novembro 2019	novembro 2024
Nordeste	dezembro 2019	dezembro 2024

Em suma, as atividades de proteção civil de âmbito municipal e local são essenciais na resposta às emergências, pois são os primeiros a agir e a desenvolver as ações de mitigação dos riscos no seu território. De facto, o nível municipal destaca-se como elemento fundamental em qualquer sistema de proteção civil, uma vez que possui essa capacidade de resposta célere, o conhecimento local, a coordenação de recursos e a responsabilidade de planear, preparar e auxiliar na recuperação da comunidade afetada do município em caso de emergências e desastres. Na RAA, a própria descontinuidade geográfica implica que as diferentes entidades estabeleçam uma organização local, permitindo uma resposta adequada e articulando com os restantes agentes de proteção civil de nível municipal ou regional, sempre que necessário (Fontes, 2017).

## 6. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS NUM CENÁRIO DE CRISE VULCÂNICA NO VULCÃO DO FOGO

### 6.1. CENÁRIO

O cenário desenvolvido pretende descrever de forma resumida a evolução do estado de atividade durante as várias fases que assinalam uma crise vulcânica. Sendo assim, o principal objetivo deste cenário passa por apresentar a informação científica relevante a partir dos cientistas responsáveis pela monitorização vulcânica, neste caso, o CIVISA, que a transmite posteriormente para as autoridades de proteção civil. Mais concretamente, pretende-se simular os precursores que se esperam anteceder uma erupção no Vulcão do Fogo, os produtos vulcânicos resultantes e os eventos pós-eruptivos prováveis com base na erupção selecionada.

Tal como já foi referido as fases eruptivas do cenário a utilizar no presente trabalho baseiam-se nas fases da erupção de 1563 no mesmo vulcão (Tabela 6.1). Esta opção justifica-se por ser uma erupção bastante estudada, sendo os produtos produzidos e a respetiva abrangência relativamente bem conhecidos e tendo sido alvo de estudo de vários autores (*e.g.* Walker & Croasdale, 1971; Booth *et al.*, 1978; Wallenstein, 1999; Aguiar *et al.*, 2018). Além disso, uma erupção do tipo sub-Pliniana com VEI 4, com características semelhantes, é considerada como o cenário mais provável para uma erupção no vulcão do Fogo, tendo sido, efetivamente, utilizada em diversos outros trabalhos (*e.g.* Wallenstein *et al.*, 2005; Gaspar *et al.*, 2015a; Wallenstein *et al.*, 2015b; Medeiros, 2018; Aguiar *et al.*, 2018; Medeiros *et al.*, 2021).

Todavia, ressalva-se que os eventos precursores a utilizar e os respetivos momentos serão distintos, considerando o que se espera da capacidade de monitorização atual e dos antecedentes a um evento eruptivo com estas características. Efetivamente, este cenário foi desenvolvido com o propósito de apresentar a origem/razão da subida e descida dos níveis de alerta científico vulcânico a utilizar como referência para a organização das ações de resposta e medidas de mitigação mais adequadas a desenvolver pela proteção civil.

6. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS NUM CENÁRIO DE CRISE VULCÂNICA NO VULCÃO DO FOGO

Tabela 6.1 - Descrição das fases que integram o cenário eruptivo considerado.

DURAÇÃO	FASES	DESCRIÇÃO
2 anos	Pré-Eruptiva - Início da instabilidade	Período marcado por predominância de microssismicidade com flutuações no número diário de sismos registados. Valores ligeiramente acima do normal. Alguns sismos sentidos ocasionalmente pela população com intensidades baixas a intermédias. Profundidades entre os 8-12 km. Ausência de outros indicadores.
2 meses	Pré-Eruptiva - Ameaça de erupção	Período inicial marcado pelo aumento do número de sismos registados e sentidos (epicentros no Vulcão do Fogo). Profundidades dos eventos entre os 0-10 km. Período final marcado pelo surgimento de outros indicadores acima dos valores normais de referência, como deformação crustal e alterações nos parâmetros geoquímicos. Confirmação da reativação do sistema vulcânico e ameaça de erupção.
6 dias	Eruptiva - Fase explosiva	Fase eruptiva, essencialmente, de carácter explosivo, centrada no Vulcão do Fogo, com emissão de piroclastos de queda (cinzas e <i>lapilli</i> pomítico) e ocorrência de sismicidade sentida com grande intensidade. Formação de coluna eruptiva com aproximadamente 15 km de altura. Piroclastos de queda depositam-se sobretudo nas imediações da caldeira e nas localidades a NE e E do vulcão, devido à direção e intensidade do vento na altura. Ocorrência de escoada de detritos no flanco sul. Período eruptivo acompanhado por sismicidade significativa e ocorrência de vários movimentos de vertente.
1 mês	Eruptiva - Fase efusiva	Erupção fissural, no flanco N, com emissão de piroclastos de trajetória balística até 170 m da fonte, seguida da formação de duas escoadas lávicas em dois tempos. Acompanhada por sismicidade intensa e de níveis elevados de gases vulcânicos tóxicos.
Vários anos	Pós-Eruptiva	Fim da atividade eruptiva principal, verificando-se atividade fumarólica, explosões de vapor na caldeira e valores anómalos de gases vulcânicos nos locais das erupções. Ocorrência de uma erupção freática na caldeira levando à formação de <i>lahars</i> no flanco sul. Cessação gradual da atividade eruptiva, até ser declarado o novo nível de referência para o Vulcão do Fogo.

### 6.1.1. Desenvolvimento do Cenário

- **Fase Pré-Eruptiva – Início da Instabilidade**

Esta fase assinala o início da instabilidade na região entre o Vulcão do Fogo e o Sistema Vulcânico Fissural do Congro, tendo sido caracterizada pela predominância da microssismicidade, registada, durante dois anos, pela rede de monitorização sísmica do CIVISA. No entanto, ocasionalmente, alguns eventos foram sentidos pela população nas localidades mais próximas aos epicentros, nomeadamente, em várias freguesias dos concelhos da Ribeira Grande e de Vila Franca do Campo e na freguesia das Furnas (Povoação). Ao longo desta fase de instabilidade inicial, verificaram-se algumas flutuações tanto na energia libertada como no número de eventos registados diariamente, não se verificando uma tendência sempre crescente. Os eventos sísmicos não ultrapassaram a magnitude de 2,6 (Richter) e foram sentidos com intensidade máxima IV (Mercalli Modificada). Já os hipocentros oscilaram, sobretudo, entre os 8 e os 12 km de profundidade. Ao longo desta fase de instabilidade não foram identificadas anomalias nos outros parâmetros monitorizados pelo observatório, pelo que o nível de alerta científico não ultrapassou o V2.

Nesta fase, é possível distinguir dois períodos distintos:

- O primeiro período marcado pelo incremento da atividade microssísmica até valores claramente acima dos níveis de referência (Tabela 6.2) que levou o CIVISA a determinar a subida do nível de alerta científico vulcânico de V0 para V2 para região do Fogo-Congro, na sequência do maior pico de eventos registados neste período. Apesar de, em períodos de normalidade, esta região ser considerada uma das zonas sísmicamente mais ativas dos Açores (Silva *et al.*, 2015; D’Araújo *et al.*, 2022), a atividade que se verificava nesta altura ultrapassava evidentemente o nível de referência deste vulcão. Além disso, o CIVISA justifica a subida do nível de alerta científico com base no facto de alguns eventos se situarem sob o edifício vulcânico do Fogo, um vulcão onde há registo de erupções históricas.
- Já no segundo período, averiguou-se uma diminuição clara no número de eventos sísmicos registados e na energia libertada, resultando num decréscimo no número de eventos sentidos, que já eram pouco frequentes. Adicionalmente, a ausência de valores anómalos nos outros indicadores monitorizados, levou o CIVISA a determinar a diminuição do nível de alerta científico para V1 para a região do Fogo-Congro.

Neste período, as únicas ocorrências identificadas na região do Fogo que se pode associar a esta fase inicial da crise sismovulcânica terão sido centenas de pequenos movimentos de vertente nos flancos norte e sul do Vulcão do Fogo que, todavia, não provocaram danos significativos.

**Tabela 6.2** - Número de sismos registados, sentidos e magnitudes máximas no primeiro e segundo períodos da instabilidade, em relação ao ano anterior.

	ANO ANTERIOR	1º PERÍODO	2º PERÍODO
<b>SISMOS REGISTADOS</b>	84	862	427
<b>SISMOS SENTIDOS</b>	3	8	4
<b>MAGNITUDE MÁX. (RICHTER)</b>	1,3	2,6	1,9

- **Fase Pré-Eruptiva – Ameaça de Erupção**

Esta fase, que durou cerca de dois meses, surge na sequência de um período de acalmia no que concerne a sismicidade e marcou o aumento significativo da instabilidade na zona sismogénica entre o Vulcão do Fogo e o Sistema Vulcânico Fissural do Congro, destacando-se pela ocorrência de vários sismos sentidos pela população na região do Fogo. Neste período, além dos mais de 49 mil sismos registados, observou-se uma tendência na migração dos epicentros para W, passando gradualmente a localizar-se sob o Vulcão do Fogo e uma diminuição gradativa nas profundidades dos eventos. Num momento posterior, surgem, pela primeira vez, alterações nos outros parâmetros monitorizados, conduzindo os cientistas do CIVISA/IVAR a admitir que se estava perante a iminência de uma erupção vulcânica no Vulcão do Fogo e, portanto, aumentando progressivamente o nível de alerta científico até V4.

Após uma primeira semana, em que se regista um ligeiro incremento na atividade sísmica localizada na região entre o Vulcão do Fogo e o Sistema Vulcânico Fissural do Congro, com vários eventos sentidos em algumas freguesias da Ribeira Grande e Vila Franca do Campo, o CIVISA emite um comunicado determinando a subida do nível de alerta científico vulcânico para V2 para a região do Fogo-Congro. Esta deliberação é justificada pelos cientistas com base no número de sismos registados muito acima dos valores normais de referência para aquela região e no facto de alguns epicentros se localizarem no edifício vulcânico do Fogo. Este momento refletiria, assim o reiniciar do incremento da instabilidade numa região que se encontravam sob vigilância desde o início da fase anterior.

Nas quatro semanas seguintes, continuou-se a observar um aumento da atividade sísmica registada e sentida pela população nas localidades mais próximas e a localização epicentral dos eventos nesta altura assinalava claramente a migração para W. Neste período, as magnitudes registadas não ultrapassaram 3,1 (Richter) e as profundidades dos hipocentros mantiveram-se, sobretudo num intervalo entre os 8 e os 10 km. Devido à ausência de outros indicadores acima dos valores normais de referência, o CIVISA opta por manter o nível de alerta científico em V2, indicando ainda uma possível reativação do sistema.

Todavia, na sexta semana verifica-se uma ligeira alteração nas características dos eventos sísmicos. Nesta altura, os epicentros indicavam uma localização, essencialmente, sob o Vulcão do Fogo e as profundidades médias dos hipocentros diminuíram ligeiramente para a faixa entre os 6 e os 8 km. Além disso, a partir desta semana observou-se também um aumento significativo na energia libertada, registando-se, inclusive, o evento mais energético desde o início da crise, com magnitude 4,0 (Richter), tendo sido sentido com intensidade máxima de V (Mercalli Modificada) em várias freguesias da Ribeira Grande e Vila Franca do Campo.

Apesar deste enquadramento, o nível de alerta científico manteve-se em V2 até ao final da sétima semana em que se observa o primeiro indicador com valores acima do normal de referência, para além da sismicidade. De facto, as estações GNSS instaladas nos flancos do vulcão detetaram um ligeiro incremento da deformação do terreno nas componentes verticais e horizontais. Além disso, continuou-se a registar um aumento no número de sismos e uma nova diminuição na profundidade dos eventos, que agora se situavam entre os 5 e os 6 km de profundidade. Esta alteração no comportamento identificado da sismicidade, conjugada com o aparecimento de outro indicador, apesar de ligeiro, levou o CIVISA a aumentar o nível de alerta científico vulcânico para V3, confirmando-se a reativação do sistema.

Na semana seguinte, continuou-se a verificar um incremento no número de sismos e na diminuição das profundidades médias dos mesmos, passando a situar-se num intervalo entre os 4 e os 5 km. Além disso, as estações GNSS continuavam a detetar um ligeiro incremento nos valores da deformação crustal, nas componentes vertical e horizontal, do edifício vulcânico do Fogo.

No início da nona semana, desde o início da crise, a região do Fogo-Congro já totalizava mais 36 mil sismos registados e mais de 300 sentidos, o CIVISA informa que identificou uma anomalia de CO<sub>2</sub> numa das estações instaladas nos flancos do vulcão, apresentando valores de fluxo de CO<sub>2</sub> cerca do dobro do valor médio. Na sequência da anomalia detetada, as medições no terreno

corroboraram a anomalia de CO<sub>2</sub> registada nas estações, determinando assim a subida do nível de alerta científico vulcânico para V4 para o Vulcão do Fogo que, segundo a interpretação dos cientistas, indicava uma ameaça real de erupção.

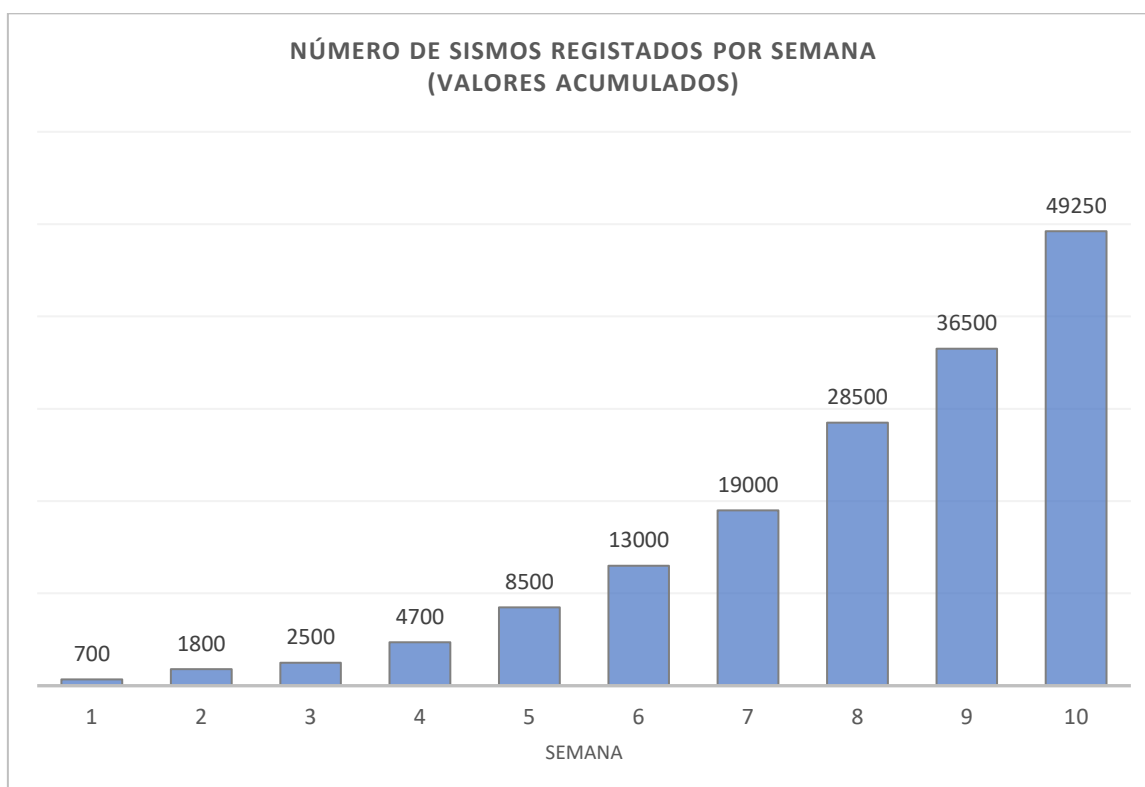
A partir da identificação desta anomalia, verificou-se uma escalada nos sinais que apontavam para a iminência de erupção:

- No dia seguinte, continuou-se a observar o incremento da atividade sísmica no Vulcão do Fogo, com eventos mais superficiais entre os 2 e os 3 km, e a anomalia de CO<sub>2</sub> persistia com valores ligeiramente superiores. Além disso, uma análise à temperatura da água da nascente mostrou que esta se encontrava cerca de 3°C acima dos valores normais.
- Dois dias depois, o CIVISA informa que além do incremento no número de sismos, averiguou um enxame de eventos de baixa frequência e a identificação de alguns eventos híbridos. A anomalia de CO<sub>2</sub> identificada anteriormente, continua a acentuar para valores claramente acima do normal.
- No terceiro dia continua-se a registar um aumento do número de eventos de baixa magnitude, sendo inclusive identificados mais eventos híbridos e um novo enxame de eventos de baixa frequência. Nesta fase, torna-se difícil localizar os epicentros devido às características dos eventos. No entanto, as profundidades situavam-se entre os 1,5 e os 2 km.
- No dia seguinte, verifica-se o incremento da atividade sísmica com eventos híbridos e vulcanotectónicos. A anomalia de CO<sub>2</sub> acentua-se significativamente. As profundidades dos eventos migram em direção à superfície, agora entre os 0 e os 2 km.
- Na madrugada do quinto dia, o CIVISA informa que todas as estações localizadas no Vulcão do Fogo registaram tremor vulcânico, além do incremento no número de eventos, agora situados em níveis muito superficiais (menos de 1,5 km). Na tarde do mesmo dia, observa-se o início de uma erupção vulcânica explosiva na caldeira do Vulcão do Fogo.

6. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS NUM CENÁRIO DE CRISE VULCÂNICA NO VULCÃO DO FOGO

**Tabela 6.3** - Resumo da evolução da crise. Legenda: D – Deformação crustal; GQ – Alterações geoquímicas; LF – Eventos de baixa frequência; HI – Eventos Híbridos.

	Semana									TOTAL
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	
<b>SISMOS REGISTRADOS</b>	700	1.100	1.400	3.300	5.200	9.200	7.000	9.500	12.750	49.250
<b>SISMOS SENTIDOS</b>	10	16	23	21	27	59	43	61	83	397
<b>MAG. MÁX. (RICHTER)</b>	2,9	2,5	2,6	2,8	3,1	4,0	3,0	3,2	4,5	4,5
<b>HIPOCENTROS (KM)</b>	8-10	8-10	8-10	8-10	8-10	6-8	5-6	4-5	0-2	-
<b>OUTROS INDICADORES</b>	-	-	-	-	-	-	D	D+	D, GQ, LF, HI	-



**Figura 6.1** - Sismos registrados em cada semana durante a segunda fase pré-eruptiva (valores acumulados).

- **Fase Eruptiva - Tipo Explosivo**

Inicia-se assim uma erupção do explosiva traquítica no Vulcão do Fogo com a produção de uma coluna eruptiva sustentada que, segundo o comunicado emitido pelo CIVISA teria cerca de 15 km de altura, determinando a subida do nível de alerta científico vulcânico para V6. A partir desta coluna verificou-se a emissão de piroclastos de queda de maiores dimensões nas imediações da caldeira e a deposição de cinzas para E e NE do Vulcão do Fogo, segundo a direção do vento que se fazia sentir na altura. O início da erupção foi acompanhado por sismicidade intensa sentida em várias freguesias dos concelhos de Ponta Delgada, Povoação e Nordeste.

No momento da erupção, averiguavam-se ventos com intensidade moderada a forte do quadrante W-WSW, que originaram queda de cinzas de forma significativa nas freguesias de Porto Formoso, São Brás, Maia, Lomba da Maia, Lomba de São Pedro, Fenais da Ajuda e Salga no final do primeiro dia de erupção. Nesta altura, as previsões meteorológicas semanais indicavam a predominância da direção do vento do quadrante W-WSW, à exceção para o segundo dia, em que se previa a mudança na direção do vento para E.

Na manhã do dia seguinte efetivou-se a alteração da direção do vento para E, que se manteve durante o resto do dia, resultando na deposição de cinzas em Ponta Delgada, com cerca de 10 cm de espessura.

No terceiro dia de erupção, a direção do vento voltou para o quadrante W-WSW, tal como se previa, ocasionando a deposição de cinzas nas localidades já afetadas no primeiro dia. Todavia, um novo incremento na intensidade do vento provocou a queda de cinzas em algumas freguesias do concelho de Nordeste, nomeadamente, Achada, Santo António de Nordestinho e Lomba da Fazenda. No final deste dia, as previsões meteorológicas mais recentes apontavam para uma ligeira alteração no estado do tempo para o próximo dia, prevendo alguns períodos de precipitação intensa, ao longo do quarto dia de erupção.

De facto, principalmente, a partir da tarde do dia seguinte, verificaram-se períodos de chuva muito intensa por toda a ilha. Devido à ação da chuva, a queda de cinzas ficou limitada às localidades mais próximas durante o resto do dia. Concomitantemente, no final da tarde, é reportado o desencadeamento de uma escoada de detritos, ou *lahar*, no flanco sul, percorrendo a Ribeira da Praia até chegar ao mar, como consequência da precipitação.

No sexto dia de erupção, as cinzas e *lapilli* pomítico ainda se depositavam, maioritariamente, nas localidades a NE do Vulcão do Fogo, no entanto, devido à diminuição da intensidade da erupção e da altura da coluna eruptiva, neste momento já não se depositavam nas localidades mais

distantes. De facto, a partir da tarde deste dia, a altura da coluna eruptiva começou a diminuir visivelmente e a emitir menos piroclastos e, segundo a informação do observatório, a atividade eruptiva parecia começar a perder força, tendo a coluna eruptiva menos de 8 km de altura. Já com o aproximar da noite, quando já se observava uma diminuição mais significativa na intensidade da erupção, a atividade eruptiva de carácter explosivo parece cessar completamente na caldeira do Vulcão do Fogo, após seis dias de erupção acompanhada por sismicidade forte, sentida em toda a ilha de São Miguel, pela deposição de cinzas e *lapilli*, principalmente, na parte NE da região do Fogo e nas imediações da caldeira.

- **Fase Eruptiva - Tipo Efusivo**

Entretanto, no dia anterior ao término da erupção explosiva observou-se o início de uma erupção efusiva no flanco norte, localizada no Pico Queimado, antecedida pelo incremento repentino da sismicidade concentrada no flanco norte, incluindo tremor vulcânico, registado pela rede sísmica do CIVISA. Além disso, a erupção foi precedida por estrondos e explosões intensas que se ouviram no concelho de Ponta Delgada.

Esta erupção de carácter, essencialmente, efusivo iniciou-se com uma fase estromboliana, acompanhada por várias explosões e atividade sísmica significativa, sentida inclusive nos outros concelhos da ilha. Esta fase inicial estromboliana ficou marcada pela predominância de piroclastos de trajetória balística (blocos e bombas) que eram projetados até uma distância de 170 m da fonte.

Quatro dias após o início desta erupção, verifica-se uma alteração no seu comportamento, com base na produção de uma escoada lávica basáltica que progrediu para N, atravessando a freguesia da Ribeira Seca (Ribeira Grande). Esta escoada lávica atinge o mar dois dias depois, após percorrer 5 km, sendo este momento assinalado por pequenas explosões que originaram uma coluna de vapor e gases tóxicos, devido ao contacto da lava com a água salgada.

Ao oitavo dia de erupção, averigua-se a formação de outra escoada lávica basáltica com origem na mesmo foco eruptivo, percorrendo esta 2 km, em direção a NW, atravessando alguns terrenos de cultivo na freguesia de Santa Bárbara e cessando no mesmo dia.

Três semanas após o fim da erupção do tipo explosivo na caldeira, o CIVISA determina a descida do nível de alerta vulcânico para V5.

Apesar de não se ter verificado a produção de outras escoadas lávicas, a atividade estromboliana permaneceu a partir desta fonte eruptiva até um mês após o seu começo, mantendo a emissão significativa de piroclastos de trajetória balística num raio de até 170 m e a ser acompanhada por sismicidade frequente, que era inclusive por vezes sentida nas localidades mais distantes. O término desta erupção foi precedido por uma diminuição gradual do raio de queda dos piroclastos de trajetória balística até mostrar sinais aparentes de ter cessado por completo naquele local.

- **Fase Pós-Eruptiva**

Esta fase retrata o período após o fim de ambas as erupções. Apesar da atividade eruptiva de estilo explosivo ter cessado, verificava-se após aquele momento atividade fumarólica significativa e algumas explosões de vapor na caldeira do Vulcão do Fogo, tal como a presença de concentrações de CO<sub>2</sub> acima dos valores normais de referência, principalmente, segundo o CIVISA num raio de 5 km da caldeira, nas áreas envolventes às escoadas lávicas que se haviam formado recentemente e, inclusive, em algumas áreas habitacionais.

Tendo em conta estas observações e que a retoma de uma nova fase eruptiva em ambas as fontes permanecia como uma possibilidade, o CIVISA optou por manter o nível de alerta científico em V4. Além disso, o observatório continuava a registar valores de CO<sub>2</sub> muito acima dos valores anteriores às erupções e com níveis potencialmente letais para os humanos e animais.

Seis meses após o final das erupções, quando ainda se observavam estas manifestações pós-eruptivas, verificou-se a ocorrência de uma erupção freática na caldeira do Fogo. Esta erupção originou nuvens escuras com alturas relativamente baixas, compostas por água, vapor, gases, sedimentos e fragmentos de rocha que se depositaram maioritariamente no interior da caldeira. A erupção foi acompanhada por sismicidade registada pelo CIVISA e desencadeou, num momento posterior, um *lahar* no flanco sul, percorrendo novamente a Ribeira da Praia até atingir a costa em minutos, afetando, entretanto, tudo o que se encontrava no seu caminho.

Após este evento, a atividade fumarólica na caldeira e as explosões de vapor diminuíram gradualmente na sua frequência e intensidade. No entanto, os valores de CO<sub>2</sub> na caldeira e nas áreas afetadas pelas escoadas lávicas permaneceram elevados e em níveis letais até 1 ano após o final da erupção.

Depois desse período, a sismicidade registada permaneceu acima dos valores normais de referência anteriores para este vulcão, no entanto, o número de eventos sísmicos sentidos diminuiu significativamente.

O nível de alerta científico desceu nesta altura para V3, após os cientistas notarem que as concentrações de CO<sub>2</sub> estavam restringidas apenas a algumas zonas. Após mais três meses em que se continuou a verificar uma diminuição no número de sismos registados e nos níveis de CO<sub>2</sub>, à exceção nas imediações da caldeira e nas zonas da escoada lávica, o CIVISA determina a descida do nível de alerta científico para V2.

Apenas 1 ano depois, quando se observou que as zonas com anomalia de CO<sub>2</sub> haviam registado uma diminuição para níveis que não significavam perigo para a saúde humana, é que o observatório determinou a descida do nível de alerta científico para V1 no Vulcão do Fogo.

## 6.2. RESPOSTA OPERACIONAL

Antes importa referir que nenhum processo de tomada de decisão em proteção civil deve ser limitado ou completamente pré-definido, principalmente, quando se inclui a complexidade e a incerteza associada às erupções vulcânicas (Paton *et al.*, 1998). Além disso, é essencial referir que as respostas de proteção civil, a um certo nível, são decisões intrinsecamente políticas e dependem principalmente do nível de risco aceitável definido pelos decisores políticos, conjugando os vários fatores socioeconómicos que estas deliberações requerem (Capítulo 5).

Neste capítulo, pretende-se refletir sobre o elo de ligação entre a informação científica e as respostas a nível de proteção civil que devem acompanhar a informação dos cientistas, neste caso, discutindo sobre os procedimentos de reposta e medidas de mitigação a adotar num cenário de crise vulcânica no Vulcão do Fogo, com base, principalmente, na subida e descida dos níveis de alerta científico vulcânico, de acordo com o cenário descrito. Não obstante, tendo a noção de que a decisão da proteção civil não deve ser suportada apenas na informação científica, esta tentativa de ligação tem como objetivo principal traduzir a informação científica em linguagem de proteção civil.

Assim, o produto desta análise e discussão seria uma proposta de ações a nível de proteção civil para corresponder à alteração dos níveis de alerta científicos vulcânicos, constituindo uma base para ajustar a interpretação da informação científica por parte dos decisores da proteção civil, um aspeto fundamental e determinante no sucesso da gestão de crises vulcânicas (Peterson, 1988; Marzocchi *et al.*, 2012; Barsotti *et al.*, 2020; Papale, 2021; Newhall *et al.*, 2021). Para tal, neste capítulo, para cada fase da crise considerada, será apresentado um enquadramento geral da situação que determinou a alteração do nível de alerta científico, que justifica o objetivo principal e as ações e medidas de resposta ou de mitigação que se mostram mais adequadas a seguir. Já que numa situação real não se conhece previamente o desfecho da crise, nesta discussão procurou-se incluir as incertezas associadas a cada decisão na resposta desenvolvida, apresentando uma sucessão de ações progressivas ajustadas a cada alteração no nível de alerta científico. Efetivamente, a implementação da resposta em proteção civil deve corresponder a um processo gradual, tentando reagir não só às alterações do nível de alerta científico, mas também a outros sinais e inquietações que se esperam acompanhar o evoluir da crise, e permitindo aumentar os níveis de preparação e prevenção progressivamente (Bignami *et al.*, 2013).

As erupções vulcânicas deste tipo, normalmente, abrangem áreas extensas e, inclusive, são capazes de afetar direta ou indiretamente uma grande parte do território de um país, logo a resposta a este tipo de emergências é, habitualmente, desenvolvida pelas autoridades de proteção civil a um nível nacional mesmo numa fase pré-eruptiva (Bignami *et al.*, 2013). No entanto, tendo em conta a autonomia, as características territoriais do arquipélago dos Açores, localizando-se a uma distância de mais de 1.400 km de território nacional continental, a resposta a uma crise será encarregue, pelo menos numa fase inicial, pelos níveis local, municipal e regional. De facto, a proteção civil de âmbito local e municipal será fundamental, tanto nas ações imediatas como ao longo de toda a crise, já que detêm o maior conhecimento dos respetivos territórios e da capacidade das suas estruturas. Neste contexto, importa destacar a colaboração que deve ser desenvolvida ao longo de uma crise, não só entre os municípios que se esperam mais afetados, mas inclusive entre todos os municípios da ilha de São Miguel, permitindo uma resposta conjunta, já que se trata de uma preocupação partilhada. No seguimento desta afirmação, volta-se aqui a frisar a relevância da elaboração de planos especiais de âmbito supramunicipal, particularmente, quando se trata de perigos capazes de afetar a totalidade de uma ilha.

Obviamente, que o sucesso da resposta de proteção civil depende profundamente da capacidade do observatório vulcanológico, neste caso do CIVISA, na monitorização vulcânica e da respetiva assessoria (CIVISA/IVAR). Para o sucesso da resposta à crise, é essencial preservar a divisão clara de papéis entre cientistas e decisores ou autoridades de proteção civil, partilhando, no entanto, o objetivo comum na salvaguarda da vida humana. Assim, é fundamental que as ações de proteção civil sejam coerentes ao nível do alerta científico definido. O CIVISA, no âmbito da sua missão de monitorização sismovulcânica e com recurso à rede de monitorização, tem a capacidade de detetar e registar alterações nos parâmetros monitorizados, reconhecendo os sinais anormais que podem corresponder a fenómenos vulcânicos mais complexos, desde a movimentação de magma em profundidade até a sinais que apontam para a iminência de uma erupção vulcânica. O sistema de vigilância está intrinsecamente conectado ao sistema de proteção civil regional, que é devidamente informado acerca da alteração no estado da atividade de um sistema vulcânico. Esta comunicação é realizada através da definição de um nível de alerta científico para o respetivo sistema vulcânico que, normalmente, é acompanhado pela descrição do estado de atividade e os motivos que conduziram a tal deliberação por parte dos cientistas. Com base nesta informação, espera-se que a proteção civil seja capaz de interpretar e de desenvolver os procedimentos ajustados à situação que se verifica.

Neste contexto, é relevante destacar dois procedimentos comuns que são estabelecidos no planeamento de emergência em várias regiões vulcânicas, habituadas a lidar com crises recorrentes e que permitem desencadear os vários níveis de resposta, de acordo com o evoluir da instabilidade e de forma fundamentada, seguindo uma lógica progressiva dos eventos.

Em primeiro lugar, refere-se à definição de estados de alerta por parte da proteção civil e que com base no nível declarado, permitem desencadear os procedimentos mais adequados para lidar com a situação, à semelhança do que já acontece, por exemplo, com os avisos e alertas meteorológicos e com o risco de incêndio no território continental. Também, para o risco sismovulcânico esta ferramenta poderia ser útil como instrumento de suporte para a tomada de decisão na gestão da crise vulcânica. Além disso, poderia servir como uma ferramenta mais simples e intuitiva para comunicar com a população, já que este método em “semáforo” utiliza menos níveis do que a escala científica (e.g. Planos de Emergência do Vesúvio, Campos Flégreos e Stromboli (Nápoles, Itália); PEVOLCA (Canárias, Espanha)) (Baxter *et al.*, 2008; Bertolaso *et al.*, 2009; Rolandi, 2010). De entre as várias vantagens a nível operacional, este método permite que os vários níveis de proteção civil permaneçam sintonizados na intensidade da resposta (De la Cruz-Reyna & Tilling, 2008).

No âmbito da presente dissertação, optou-se por utilizar os estados de alerta previstos no SIOPS-RAA (Tabela 6.4), no entanto, com base no grau de mobilização e prontidão definidos no Dispositivo Integrado de Operações de Proteção e Socorro (DIOPS) da Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC), já que ainda não se encontram definidos a nível regional. O grau de mobilização refere-se à percentagem de meios humanos e materiais das entidades integrantes do SIOPS-RAA a mobilizar e o grau de prontidão comporta o tempo necessário para que estes meios estejam completamente operacionais.

**Tabela 6.4** -Estados de Alerta e respetivos graus de mobilização e prontidão previstos no DIOPS (adaptado da ANEPC).

ESTADOS DE ALERTA	NÍVEL	GRAU DE MOBILIZAÇÃO (%)	GRAU DE PRONTIDÃO
NORMAL	VERDE	-	-
ESPECIAL	AZUL	10	Imediato
	AMARELO	25	Até 2 horas
	LARANJA	50	Até 6 horas
	VERMELHO	100	Até 12 horas

Outro procedimento padrão por parte da proteção civil nas várias regiões vulcânicas, consiste no estabelecimento prévio de diferentes zonas de risco, de acordo com a suscetibilidade aos perigos vulcânicos esperados no cenário considerado. A divisão em zonas de risco, permite adotar uma evacuação progressiva face ao evoluir da crise (De Natale *et al.*, 2020). Não existe uma fórmula exata para definir as zonas de risco, sendo que cada região determina de acordo com os seus critérios, por vezes com base nas erupções históricas, na erupção mais provável ou através do pior cenário possível. No entanto, pode-se afirmar que esta é uma decisão que depende intimamente do nível de risco aceitável definido (Marzocchi & Woo, 2007; De Natale, 2020). Todavia, é importante salientar que esta estratégia utilizada na evacuação e eventualmente no retorno da população, deva ser flexível e dependente do evoluir da intensidade eruptiva e de outros fatores influenciadores, no entanto, pelo menos numa decisão inicial apresenta algumas vantagens, como tornar a deliberação de evacuação ou retorno relativamente menos pesada, por exemplo no que concerne as consequências socioeconómicas de um possível falso alarme.

Apenas para efeitos de exercício, optou-se por definir as zonas de risco a utilizar na resposta, após análise dos parâmetros referentes às erupções históricas e dos mapas de suscetibilidade aos perigos vulcânicos produzidos noutros trabalhos para o Vulcão do Fogo (Gaspar *et al.*, 2015a; Medeiros, 2018; Medeiros *et al.*, 2021). Nomeadamente, optou-se por utilizar a área de dispersão máxima de PDCs gerados numa erupção de VEI 4 para o Vulcão do Fogo. Quanto à área mais suscetível a piroclastos de queda, esta baseou-se na isopaca de 100 cm, considerando a intensidade do vento durante a erupção de 1563. Finalmente, para a área suscetível a escoadas de detritos utilizou-se o mapa de suscetibilidade a lahars no Vulcão do Fogo (Gaspar *et al.*, 2015a). Tendo isto em conta, definiram-se três zonas (Figura 6.3):

- Zona A (vermelha): corresponde à área mais suscetível de ser afetada por escoadas piroclásticas, surges e pela deposição de piroclastos de maiores dimensões (que se depositam mais próximo da fonte). Devido à capacidade destrutiva destes produtos, esta zona requer uma evacuação prioritária, de preferência antes da erupção iniciar. De facto, a imprevisibilidade dos processos construtivos e a velocidade de propagação, principalmente, das escoadas piroclásticas, não permitem uma margem de manobra temporal necessária para a evacuação depois da erupção iniciar;
- Zona B (amarela): corresponde à área para além da zona A mais suscetível à acumulação de maiores espessuras de piroclastos de queda (cinzas e *lapilli*), podendo provocar

impactos significativos no edificado ou até o colapso. Uma vez que o principal impacto deste perigo em zonas mais distante resulta da acumulação, normalmente, permite a evacuação após o início da erupção e de forma parcial, com base na análise da previsão do vento na altura da erupção. Caso não se verifique a predominância de nenhuma direção, algo improvável nos Açores, esta zona pode ser completamente evacuada. De facto, a existência de vento na altura da erupção faz com as cinzas se depositem mais numas zonas em detrimento de outras, ou seja, aumentando as distâncias na direção a favor do vento e diminuindo nas que se encontram no quadrante da direção do vento (Gaspar *et al.*, 2015a). Normalmente, nestes mapas são utilizados limites de 100 cm de espessura acumulada, contudo, importa referir que depósitos acima de 20 cm já são capazes de provocar alguns danos, principalmente, se as cinzas estiverem molhadas, requerendo atenção a nível de proteção civil. Com base nos dados estatísticos sobre o vento nos Açores, já se pode estimar a direção predominante do vento de acordo com a altura do ano (Pimentel *et al.*, 2006; Gaspar *et al.*, 2015a);

- Zona C (azul): corresponde à área mais suscetível a escoadas de lama ou *lahars*. Este perigo verifica-se numa altura de normalidade, no entanto, o seu desencadeamento pode ser potenciado por vários motivos durante uma fase de instabilidade, incluindo: a sismicidade e os movimentos de vertente na Lagoa do Fogo; explosões de vapor e/ou erupções freáticas na caldeira e a precipitação intensa e/ou persistente (Gaspar *et al.*, 2015a). Logo, devido ao incremento da possibilidade de fenómenos repentinos e que podem despoletar este produto, a medida de mitigação mais eficaz neste caso seria a evacuação da população das zonas suscetíveis numa fase precoce da crise. No Vulcão do Fogo, o caso mais problemático verifica-se no flanco sul, mais concretamente, no lugar da Praia. Com efeito, a parede da caldeira do Fogo é mais baixa no setor sul, pelo que um *lahar* com um volume superior a 10 mil metros cúbicos que corra ao longo do vale da Ribeira da Praia, pode causar impactos significativos no lugar da Praia e alguns impactos no edificado presente no delta e na estrada regional que é intersectada pela ribeira já mencionada (Gaspar *et al.*, 2015a).

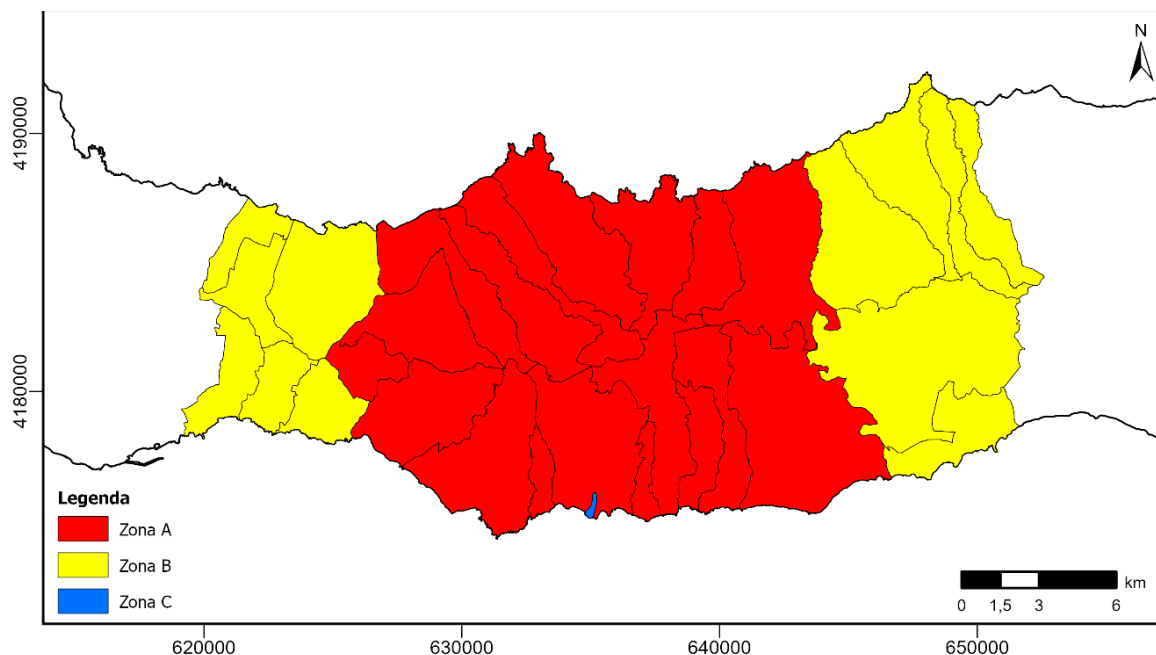


Figura 6.2 - Proposta de zonas de risco no Vulcão do Fogo para efeitos de exercício. Quadrícula UTM, Zona 26S; Datum WGS84.

### 6.2.1. Fase Pré-Eruptiva

- **Nível de Alerta Científico Vulcânico V0**

Fase que compreende o período em que o Vulcão do Fogo se encontra no seu estado normal ou num estado de repouso. Verifica-se atividade normal, ou seja, os indicadores geofísicos, geodésicos e geoquímicos exibem os valores normais de referência para este vulcão. Neste contexto, consiste numa fase de normalidade, em que fora alguns eventos pontuais relacionados com a sismicidade e os perigos permanentes, como as emanações gasosas, ou quase permanentes como os movimentos de vertente nos flancos do vulcão, não se antecipa a ocorrência de um fenómeno vulcânico devastador a curto prazo. Todavia, mesmo num período de normalidade é recomendado desenvolver ações de prevenção e medidas de mitigação face ao risco vulcânico, e que devem estar previstas nos planos de emergência e no plano de atividades dos órgãos de proteção civil. Mais concretamente, nesta fase, é essencial desenvolver ações com vista a aumentar o conhecimento e ajustar a perceção do risco vulcânico por parte da população e de todos os atores na gestão de crises vulcânicas.

Além disso, é também fundamental investir na prevenção, com o objetivo de aumentar a capacidade de resposta por parte do sistema de proteção civil. A área de planeamento de emergência mostra-se particularmente essencial nesta fase, sendo aconselhável desenvolver medidas como:

- Atualização e revisão de planos de emergência, incluindo os PMEPC e o PREPCA, dentro dos prazos estipulados, especialmente, a secção de meios e recursos de forma regular, atualizando também nas bases de dados previstas para o efeito;
- Discutir e elaborar planos específicos para o perigo vulcânico ou sismovulcânico, incluindo os planos de âmbito supramunicipal já mencionados. Estes planos especiais devem incluir as três fases da crise, incluindo a pós-eruptiva, prevendo as ações de reposição da normalidade, ações de remoção dos produtos vulcânicos, realojamento, condições e critérios de retorno, entre outras (Bignami *et al.*, 2013);
- Revisão e elaboração de diretivas operacionais gerais e específicas ao perigo sismovulcânico, essenciais para orientar as entidades e operacionais envolvidos nas ações de resposta;
- Promover e participar em exercícios à escala real (LIVEX), em cenário vulcânico nas suas diversas fases, de preferência envolvendo as várias entidades previstas numa situação real. Realizar exercícios com a finalidade de testar procedimentos, por exemplo, no que concerne à evacuação ou ao retorno com base num cenário pré ou pós-eruptivo, respetivamente. Treinar e avaliar a eficácia da comunicação dos avisos e alertas à população, garantindo que todas as pessoas alvo são notificadas, para mitigar o risco de falha numa crise real (Bird *et al.*, 2009, 2010);
- Reforçar e apoiar a rede e as atividades de monitorização do CIVISA, estabelecido em protocolo. Os equipamentos e aparelhos utilizados no âmbito da monitorização sismovulcânica devem acompanhar a evolução tecnológica nesta área, pois aumentam a capacidade de monitorização, contribuindo para a mitigação das incertezas e para a identificação mais eficaz dos sinais de instabilidade que permitem antecipar as erupções vulcânicas;
- Realizar o inventário e a manutenção do material e equipamentos de emergência disponíveis em armazém e a utilizar numa situação de catástrofe;
- Promover a aquisição de meios e recursos de emergência necessários e empregar em situação de catástrofe, através da identificação de lacunas e do aparecimento de novas tecnologias.

No âmbito da perceção e conhecimento do risco vulcânico, averigua-se a necessidade e a relevância de desenvolver ações com o propósito de ajustar a perceção e o conhecimento do risco vulcânico nos Açores. Assim, mostra-se indicado, mesmo antes de uma crise, que se coloque em prática as seguintes condutas:

- Promover mais ações de sensibilização, educação e formação sobre o perigo vulcânico direcionadas à comunidade, incluindo informação sobre os perigos vulcânicos e as respetivas medidas de autoproteção. Esta medida deve ser implementada incluindo todas as faixas etárias como público-alvo e não apenas os mais jovens (crianças e adolescentes), inculcando uma cultura de segurança e proteção civil. A prevenção da comunidade deve ser incluída no planeamento de emergência e na redução do risco face a erupções vulcânicas (Spence *et al.*, 2005). De facto, os cidadãos constituem a base dos sistemas de proteção civil e se investirmos mais na educação dos mesmos, ajustando a sua perceção do risco, espera-se que, numa fase de resposta posterior, estas pessoas adotem uma postura de prevenção e preparação e colaborem e respeitem as ordens das autoridades (Perry & Godchaux, 2005; Bird *et al.*, 2009; 2010). Nesta área, é importante além de abordar o perigo, divulgar e explicar as formas de aviso, os níveis de alerta e os planos de emergência existentes. De forma a entender o comportamento das pessoas face a uma erupção vulcânica, é fundamental considerar os fatores sociais, culturais, económicos e religiosos de cada região (Bird *et al.*, 2010). Efetivamente, esta análise permite desenvolver as estratégias mais adequadas para comunicar com a população numa fase de crise. Finalmente, a realização de exercícios em cenário vulcânico envolvendo a comunidade, além de contribuir para melhorar a relação entre a população e os cientistas e proteção civil, permitem identificar as dificuldades que se esperam numa situação real (*e.g.* desobediência às autoridades, recusa de evacuação, pessoas com necessidade de assistência especial para entender ordens, etc.) (Bretton *et al.*, 2018);
- Ponderar a criação de outros instrumentos a utilizar na comunicação do estado de atividade dos sistemas vulcânicos dos Açores. A título de exemplo, disponibilizar uma plataforma online que permita a consulta da informação sobre o estado de atividade em cada sistema vulcânico de forma intuitiva – incluindo o nível de alerta científico e o estado de alerta (à semelhança do que já acontece com os avisos meteorológicos);

- Participar e promover ações de formação sobre perigos vulcânicos e gestão de crises vulcânicas, direcionadas aos técnicos e decisores políticos de proteção civil nos vários níveis;
- Instruir as entidades envolvidas na resposta e, principalmente, as equipas de emergência, como os CB, para os procedimentos específicos na resposta aos impactos dos perigos vulcânicos;
- Incentivar a execução de medidas de ordenamento de território, como proibição de construções novas em zonas de suscetibilidade elevada (Perry & Godchaux, 2005), uma colaboração entre técnicos de proteção civil e cientistas (Peterson, 1996). Para o caso concreto da região do Fogo, ter particular atenção, sobre áreas habitacionais com anomalias recorrentes de gases vulcânicos, áreas com suscetibilidade elevada a *lahars*, construção perto de ribeiras ou cursos de águas. Construção de estradas mais largas a utilizar em possíveis rotas de evacuação e construção de edifícios mais resistentes à sismicidade e aos produtos vulcânicos.

Mesmo num estado normal de atividade, a comunicação entre os cientistas e a proteção civil deve ser mantida num nível adequado, frequente e que permita a tomada de decisão ajustada na sequência do despoletar repentino de uma situação de crise ou emergência. De facto, nem todas as crises apresentam um desenvolvimento lento ou surgem de forma mais ou menos anunciada, portanto, a informação científica sobre a monitorização dos sistemas vulcânicos deve fluir de forma recorrente e ser recebida com atenção por parte da proteção civil, permitindo um nível de acompanhamento ajustado.

○ **Nível de Alerta Científico Vulcânico V0→V2**

A sismicidade localizada num sistema vulcânico pode resultar da formação de fraturas decorrentes da movimentação/ascensão de magma em profundidade. A atividade sísmica verificada nas crises vulcânicas tende a apresentar magnitudes relativamente baixas, no entanto, existe a possibilidade de se verificarem eventos com magnitudes superiores, já com a capacidade de provocar danos estruturais nos edifícios e/ou em infraestruturas críticas. Até surgirem outros sinais, nesta fase, mantém-se a hipótese de esta crise ser apenas de origem tectónica, embora localizada numa região vulcânica.

De facto, a subida para o nível de alerta científico, de um modo simplificado, significa que apesar de se verificar instabilidade, esta pode não estar relacionada com fenómenos vulcânicos como a ascensão de magma, sendo interpretado pelos cientistas como uma possível reativação do sistema. Portanto, permanece a possibilidade de os sinais evoluírem em direção a uma erupção vulcânica ou verificar-se “apenas” a ocorrência de um ou mais sismos magnitudes mais elevadas. A sismicidade nesta altura é caracterizada por apresentar magnitudes baixas e hipocentros profundos, sendo a maioria dos eventos não sentidos pela população, apenas registados. De facto, os principais impactos nesta fase estão relacionados com o possível desencadeamento de movimentos de vertente, devido à sismicidade situada em zonas com elevada suscetibilidade a movimentos de vertente (Figura 6.4).

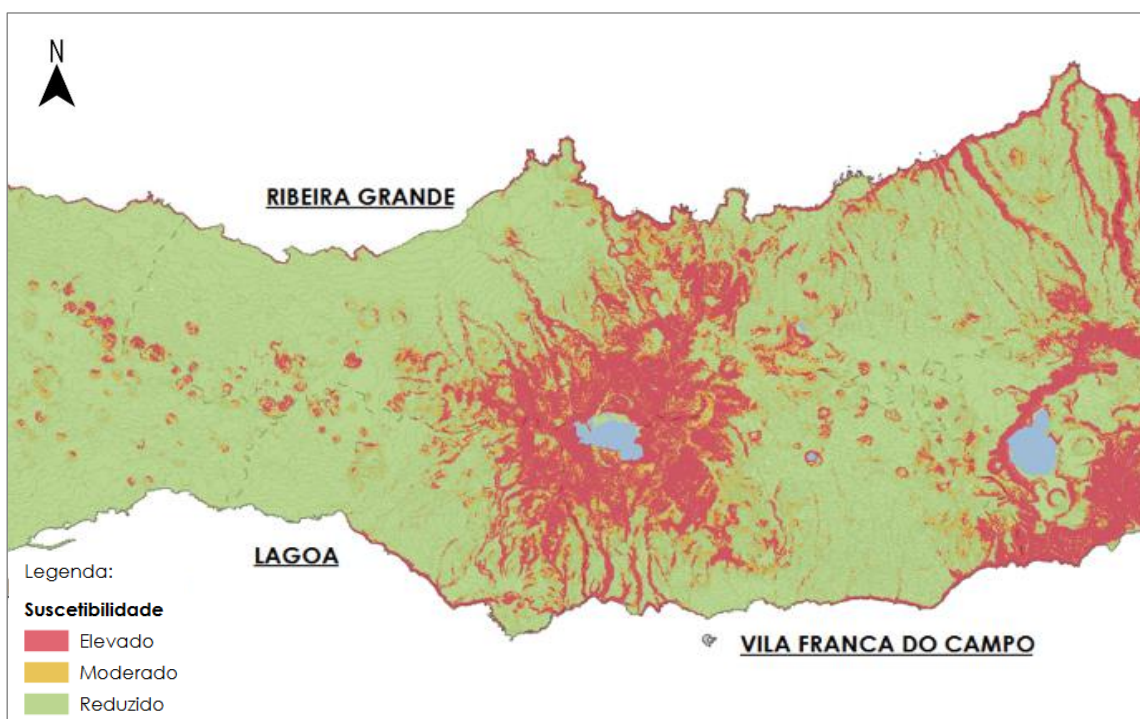


Figura 6.3 - Mapa de suscetibilidade a movimentos de vertente para a parte central da ilha de São Miguel (adaptado de Portal do Ordenamento do Território dos Açores, elaborado pelo CIVISA/IVAR).

Com base neste enquadramento, não existem motivos aparentes para causar alvoroço entre as partes interessadas. Todavia, tendo em conta a localização epicentral próxima de zonas populosas, alguns eventos são sentidos e, considerando o número de habitantes nas imediações e presença das crises sísmicas na memória destas pessoas (e.g. 2005; 2011-2012; 2018), espera-se que esta fase inicial seja capaz de despertar alguma ansiedade ou preocupação por parte da

população e, conseqüentemente, captando já alguma atenção por parte dos *media*. Para tentar controlar esta situação, desde o momento inaugural é fundamental garantir uma comunicação eficaz e transparente tanto diretamente com a população, como através dos meios de comunicação social à disposição, mantendo-os devidamente informados sobre a situação e as incertezas à medida que a crise evolui. Neste contexto, é fundamental passar uma mensagem inicial com vista a controlar o alarmismo, mas com um estado de acompanhamento, vigilância e atenção sobre as circunstâncias, incluindo o possível evoluir da crise.

Tendo em conta este enquadramento, após a subida do nível de alerta científico vulcânico de V0 para V2 por parte do CIVISA, numa fase inicial, as principais ações e medidas de resposta da proteção civil mostram-se mais adequadas para o reconhecimento de uma instabilidade que pode evoluir para uma situação que represente uma ameaça significativa à população e, de forma gradual e ponderada com vista a aumentar o estado de preparação das entidades previstas na resposta.

A nível de comunicação, nesta fase inicial, é importante já definir e estabelecer formas de comunicação entre os vários níveis de proteção civil e os outros atores da crise, nomeadamente, cientistas, população e comunicação social:

- Definir formas de contacto frequentes entre o nível regional e o municipal, neste caso, entre o SRPCBA e os SMPC. Transmitir a informação recebida pelo CIVISA com o evoluir da situação, definindo medidas preventivas a adotar e possíveis formas de apoio. Para concretizar isto, mostra-se mais indicado que se promovam reuniões diárias com os SMPC de preferência após reunir com o CIVISA, participar nas reuniões das CMPC e com outras entidades que podem estar envolvidas na resposta a nível municipal.
- Manter a população informada - divulgar os comunicados do CIVISA, mas informando sobre as medidas preventivas tomadas com base na informação científica e divulgar medidas de autoproteção adequadas à situação atual. Elaborar notas de imprensa, divulgando-as com os vários meios de comunicação social locais e, em caso de solicitação, participar em entrevistas como forma de informar a população.

Quanto à logística, já numa etapa inicial da instabilidade, é importante que se promova a atualização de inventários de meios e recursos a utilizar em situações de emergência, da informação disponível sobre zonas de concentração e apoio à população (ZCAP) e pontos de encontro (PE) dos municípios da ilha de São Miguel. Mais concretamente:

- Identificar necessidades nos recursos de reserva e material de emergência que possam vir a ser utilizados em situação de catástrofe (colchões, tendas, sacos-cama, cobertores, refeições de campanha, etc.). Em caso de necessidade, iniciar os procedimentos para garantir o reforço destes recursos;
- Levantamento e atualização da informação sobre as zonas previstas para estabelecer as ZCAP em cada município e de acordo com o estabelecido nos respetivos PMEPC;
- Levantamento e atualização da informação sobre os pontos de encontro previstos nos PMEPC, tal como identificação de possíveis rotas de evacuação a utilizar.

Na área de avaliação dos riscos, é fundamental que se analise as vulnerabilidades presentes nos municípios face aos principais perigos desta fase e além disso, promover ações com vista a aumentar a capacidade de monitorizar os perigos e o evoluir da situação, como:

- Analisar as zonas mais suscetíveis e vulneráveis existentes no município - identificar possíveis problemas e impactos resultantes de um sismo de maiores magnitudes e de movimentos de vertente;
- Apoiar o CIVISA no desenvolvimento das suas atividades de monitorização, como a instalação de equipamentos de monitorização adicionais no terreno.

No que concerne a preparação das equipas de resposta a uma emergência, neste momento, devido às incertezas inerentes à situação, incluindo a possibilidade de um sismo de maior magnitude, mostra-se prudente solicitar um aumento no reforço de efetivo nos quartéis de São Miguel correspondente ao estado de alerta especial azul (Tabela 6.4).

Tendo em conta a ausência de outros indicadores fora a microssismicidade e os poucos eventos sentidos pela população, não se prevê a adoção de medidas nem ações de resposta demasiado intensas ou ativas nesta fase. De facto, as principais ações de proteção civil mostram-se capazes de ser desenvolvidas pelos níveis local e municipal, através das juntas de freguesia, câmaras municipais e serviços municipais de proteção civil dos respetivos concelhos. No entanto, nesta fase é importante que se verifique um acompanhamento da situação e apoio do nível regional. Essencialmente, o despoletar desta instabilidade deve motivar a revisão dos planos de emergência, atualizar bases de dados e os inventários de meios e recursos, como materiais e equipamentos disponíveis em armazém, tanto a nível municipal e local, como regional. A mensagem a transmitir à população deve contribuir para acalmar, mas mantendo um estado de

atenção e vigilância, informando o acompanhamento por parte das autoridades de proteção civil em relação à situação de instabilidade que se verifica, ou seja, tranquilizar a população sem desvalorizar os potenciais perigos.

○ **Nível de Alerta Científico Vulcânico V2 → V1**

A diminuição do nível de alerta científico vulcânico representa o reconhecimento de um abrandamento significativo nos valores da instabilidade que havia sido identificada anteriormente, levando à deliberação pelo nível de alerta científico V1, ou seja, significando que a atividade microssísmica diminui expressivamente em relação à fase transata. No entanto, não revela que a instabilidade tenha cessado por completo e que não seja possível voltar a refletir um novo aumento. Assim, o nível de atenção e precaução deve ser mantido numa fase inicial e, gradualmente, diminuindo a intensidade das medidas e ações de prevenção, a nível de recursos humanos e materiais alocados no nível anterior. É importante manter um equilíbrio e uma coerência com o nível de alerta científico, pois os recursos são limitados e há a necessidade de proceder à mitigação de outros perigos presentes no território e que requerem a atenção da proteção civil.

Portanto, nesta nova fase refere-se que, num momento inicial, deve-se considerar manter as tarefas estabelecidas no início da crise, contudo, após a estabilização relativa da situação admite-se a diminuição progressiva do nível de preparação e prevenção. Contudo, no rescaldo das ações desenvolvidas anteriormente, é indicado que se eliminem as lacunas identificadas, como:

- Suprir as necessidades identificadas na fase anterior: garantir a aquisição dos meios e recursos em falta, reforçar o material e equipamentos de emergência na ilha de São Miguel e nos municípios - já que os procedimentos de aquisição e transporte podem demorar algum tempo - armazená-los de forma adequada e em condições de utilizar;
- Finalizar a revisão dos planos de emergência e assegurar a organização da informação sobre ZCAP, PE e rotas de evacuação, compilando-a em bases de dados.

Nesta fase, apesar da diminuição de um estado de preparação, a descida do nível de alerta científico não pode significar uma desvalorização da instabilidade, transversal aos vários níveis da proteção civil. Portanto, o estado de vigilância e atenção sobre o possível escalar da crise deve ser ajustadamente mantido. Para além disso, é importante continuar a transmitir a informação

sobre o evoluir da população mantendo uma mensagem no sentido de acalmar a população, recomendando a manutenção de um estado de prevenção e vigilância ajustado à situação anormal que ainda se verifica. Por outro lado, reconhece-se a necessidade de alocar os meios e recursos humanos e materiais para outras situações que possam surgir nesta altura e que exijam prioridade, contudo, sem subestimar o potencial desta crise despoletar um perigo que possa afetar os elementos expostos, justificado pelo facto da atividade ainda não se encontrar nos seus níveis habituais, correspondente ao nível V0.

○ **Nível de Alerta Científico Vulcânico V1 → V2**

A subida do nível de alerta científico vulcânico novamente para V2 traduz uma reincidência da instabilidade, embora, com características diferentes no que concerne o aumento do número de eventos sentidos. Assim, espera-se que desperte mais preocupação e ansiedade entre população, principalmente, à medida que aumenta o número de eventos sentidos. Efetivamente, esta subida requer uma interpretação distinta por parte das autoridades de proteção civil e, portanto, numa implementação de medidas e ações de resposta diferentes da fase anterior e correspondendo quase como o prosseguir dos procedimentos adotados face à última subida, de forma a aumentar proporcionalmente o estado de preparação. Nesta fase, os principais perigos incluem a sismicidade mais intensa e, portanto, maior probabilidade de desencadeamento de movimentos de vertentes.

Com a subida do nível para V2, os procedimentos de resposta mais adequados deverão ser implementados no sentido de aumentar a preparação para o possível escalar da crise e o nível de atenção, avaliando, entretanto, os possíveis danos que podem surgir devido à sismicidade mais frequente e intensa e face à possibilidade de esta desencadear movimentos de vertente. De facto, com o incremento da sismicidade, nota-se que esta fase demonstra características diferentes das outras, com maior potencial para provocar danos nos elementos expostos. Além disso, num momento posterior, a migração dos eventos para o Vulcão do Fogo, deve ser interpretada como um indicador que a crise poderá evoluir de forma diferente, portanto, assumir que por ter o mesmo nível de alerta científico anterior, esta fase terminará com o mesmo resultado pode significar uma má interpretação.

Assim sendo, no que respeita aos procedimentos a adotar com vista a um novo aumento da preparação e da prevenção, identificam-se os seguintes:

- Estabelecer as formas de comunicação entre os vários intervenientes com base nos moldes semelhantes aos já referidos, reforçando, no entanto, a informação sobre as medidas de autoproteção à população;
- Atualizar os inventários de acordo com as alterações verificadas desde os últimos registos;
- Apoiar o CIVISA na implementação de equipamento adicional a utilizar na monitorização da crise.

Além destas, a partir deste nível devem ser reforçadas as ações com vista a avaliar técnica e cientificamente as vulnerabilidades e as zonas de maior perigo, pois verificou-se o incremento na severidade da sismicidade e na probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente. Os resultados destas atividades devem ser comunicados ao nível regional, incluindo as ações de:

- Avaliar os danos resultantes da atividade sísmica registada;
- Identificar as zonas de maior suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente e, se necessário, restringir o acesso a estas;
- Analisar as vulnerabilidades em relação ao perigo sísmico e ao perigo de movimentos de vertente, em cada município mais afetado pela atividade sísmica: habitações e infraestruturas em condições inseguras;
- Recomendar a deslocação da população presente em zonas de suscetibilidade mais elevada e/ou em habitações degradadas, face à possibilidade de ocorrência de eventos que podem contribuir para o colapso ou destruição destas estruturas, como a previsão de períodos de chuva forte.

Nesta fase, é importante que se comunique mais frequentemente com a entidade responsável pela meteorologia, com particular atenção aos níveis de precipitação, que podem ser motivo de alertas. Caso se verifique algum alerta meteorológico para a região que está a ser afetada pela sismicidade, algumas ações devem ser desenvolvidas com vista a aumentar a mitigação e prevenção para responder ao incremento da probabilidade de desencadeamento de movimentos de vertente, resultantes da conjugação da sismicidade com os solos saturados de água. Sendo assim, como resposta a cenários de meteorologia adversa, propõe-se que as zonas de maior suscetibilidade a movimentos de vertentes sejam notificadas para que durante o período em que vigore, os habitantes adotem medidas preventivas como a deslocação para

outras residências em locais mais seguros. Nestes casos, as câmaras municipais também podem disponibilizar abrigos temporários para quem não tenha alternativa ou não se sentir seguro nas suas habitações. Além disso, proibir ou limitar o acesso a estas zonas por parte dos não residentes.

Quanto às atividades de preparação e prevenção nas áreas de salvamento e socorro, também requerem um incremento, sendo indicado determinar as seguintes medidas:

- Solicitar o reforço do efetivo nos quartéis de São Miguel, com base no nível de alerta especial amarelo (Tabela 6.4);
- Aferir a disponibilidade dos outros corpos de bombeiros do arquipélago dos Açores em formar equipas para projetar para a ilha de São Miguel, caso se confirme um cenário de catástrofe.

Além disso, com este novo enquadramento com tendência essencialmente crescente, aumenta também a necessidade de analisar uma possível evacuação da população mais vulnerável, portanto, nesta altura parece o mais indicado desenvolver:

- O levantamento prévio de informação demográfica, solicitando aos municípios e juntas de freguesia informação sobre o número e localização/residência de pessoas que requeiram uma assistência diferenciada (pessoas com mobilidade reduzida ou outro tipo de assistência especial, internados e acamados, idosos);
- Definir e testar as formas de aviso e alarme à população. Testar a operacionalidade de outros equipamentos e veículos a utilizar numa eventual evacuação. Identificar a necessidade de recursos humanos e materiais a utilizar nesta ação.

Num momento posterior, como consequência da insistência do incremento da instabilidade, marcada pela tendência maioritariamente crescente no número de sismos registados, migração dos epicentros para o Vulcão do Fogo e a ligeira diminuição na profundidade a partir da sexta semana, o cenário de erupção vulcânica parece adquirir mais força, logo tendo em conta o nível de risco deste cenário e a ausência de planos de emergência específicos, esta fase da crise mostra ser o momento ideal para iniciar a elaboração de planos de evacuação, de acordo com os diferentes cenários a considerar em colaboração com os cientistas.

○ **Nível de Alerta Científico Vulcânico V2 → V3**

Quando o observatório eleva o nível de alerta científico vulcânico para V3 significa que se confirma a reativação do sistema. Nesta altura, quando já se verificava o incremento da atividade sísmica intensa, com epicentros agora maioritariamente sob o Vulcão do Fogo, surge outro indicador com valores acima do normal de referência, nomeadamente, a deformação crustal. A deformação do terreno nas componentes vertical e horizontal, pode resultar da pressão exercida nas rochas subjacentes, pela ascensão do magma. Este enquadramento traduz assim um aumento da possibilidade de se efetivar um cenário vulcânico e, sendo assim, requer a intensificação das medidas de mitigação e das ações de resposta no sentido de aumentar o grau de preparação a nível operacional e da população.

Tendo isto em conta, este momento parece ser o ideal para promover a ativação dos PMEPC da Ribeira Grande, Vila Franca do Campo e Lagoa, e como consequência o PREPCA e as estruturas regionais de comando (CROS) e de coordenação da política de proteção civil previstas (CRPCA). Portanto, nesta fase, as ações de resposta incluem:

- Ativação das salas especiais previstas no COE (SSit e SAT), com base no plano de empenhamento operacional;
- Agendamento de reuniões ou *briefings* (pelo menos uma vez por dia) com os membros da CRPCA, ou sempre que determinado pelo presidente desta comissão;
- Solicitar o reforço do efetivo nos quartéis de bombeiros de acordo com o estado de alerta especial laranja (Tabela 6.4);
- Promover ações de instrução específica sobre os perigos vulcânicos aos CB de São Miguel e manter um acompanhamento das suas atividades, assegurando o estado de prontidão e preparação face ao incremento da instabilidade.

Nesta fase, a possibilidade de erupção encontra-se no patamar mais elevado desde o início da crise, portanto, a nível técnico, mostra-se como a altura ideal para garantir as seguintes ações:

- Analisar os possíveis cenários eruptivos numa erupção no Vulcão do Fogo, em colaboração com os cientistas;
- Analisar a vulnerabilidade dos elementos expostos aos produtos vulcânicos mais prováveis nos cenários considerados (escoadas piroclásticas, piroclastos de queda e escoadas de lama ou de detritos) – com especial atenção sobre aqueles que podem provocar o corte das vias de acesso;

- Definir os limites das zonas A, B e C, as respetivas prioridades, momentos e as rotas de evacuação a utilizar;
- Iniciar os contactos com as entidades responsáveis pelas ações de evacuação e posterior receção e acompanhamento das pessoas deslocadas.

Quanto à informação pública, parece ser o momento mais indicado para continuar a informar sobre o evoluir da situação, não escondendo informação essencial, apresentando as incertezas associadas, as medidas preventivas já implementadas e divulgando as medidas de autoproteção a desenvolver pela população, incluindo as necessárias para uma eventual evacuação (pontos de encontro, rotas, kit de emergência, etc.). Manter o princípio da voz única é particularmente fundamental nesta fase, tanto por parte da proteção civil e cientistas. Para assegurar isto, é indicado:

- Nomear o responsável ou responsáveis autorizados a falar com a imprensa;
- Elaborar uma estratégia a utilizar na comunicação com a população, em colaboração com os cientistas – manter a coerência no discurso de ambas as partes;
- Convocar conferências de imprensa diárias em conjunto com os cientistas com o objetivo de atualizar a população com o evoluir da situação desde o último contacto, garantindo a distinção clara dos papéis;
- Emitir comunicados com o ponto de situação duas vezes por dia, incluindo o evoluir da crise e as medidas preventivas adotadas;
- Garantir o fluxo de informação através dos vários níveis da proteção civil, mantendo a sintonia e a coerência no discurso adotado;
- Participar em entrevistas em canais públicos de televisão e restantes órgãos de comunicação social, de preferência com a presença de fonte dos cientistas, garantindo a distinção clara dos papéis (Bird *et al.*, 2009, 2010);
- Convocar a população para reuniões presenciais em edifícios públicos como igrejas ou auditórios, pois a comunicação presencial pode ser mais eficaz num determinado público-alvo, principalmente, na presença de líderes da comunidade - em colaboração com as câmaras municipais, SMPC e juntas de freguesia;
- Ativar, garantir o funcionamento e divulgar a SAT - uma linha telefónica para a população esclarecer as suas dúvidas e solicitar informações sobre a crise.

A nível de preparação da evacuação, quando se atingir este nível de alerta, entende-se que o ideal seria que os planos de evacuação estivessem finalizados, prontos a ativar quando fosse emitida a ordem de evacuação, provavelmente, já num nível de alerta científico V4. Estes planos devem incluir cenários eruptivos realistas – elaborados em conjunto com os cientistas (Peterson, 1996) - e de acordo com cada, a definição de prioridades e rotas de evacuação, os meios a utilizar (aéreos, marítimos, terrestres), pontos de encontro e a localização das ZCAP instaladas.

Na preparação da evacuação é importante analisar algumas medidas para mitigar a recusa de uma ordem de evacuação por parte de alguns habitantes. Assim, pode-se considerar a adoção das seguintes medidas:

- Evacuar previamente os animais domésticos e o gado presente das zonas de suscetibilidade mais elevada;
- Reforçar a informação e a sensibilização da população para os possíveis impactos dos produtos de uma erupção vulcânica;
- Estudar medidas para prevenir o loteamento das áreas abandonadas, divulgando-as à população.

Além disso, é importante já definir as questões logísticas para cada ZCAP, nomeadamente, a nomeação das equipas responsáveis, os formulários de registo em articulação com as CM/SMPC e as entidades competentes na área psicossocial. No que concerne as ZCAP, é importante referir que estas consistem em locais de acolhimento e alojamento temporário da população deslocada. Estas devem ser instaladas em locais abertos ou fechados, como parques de estacionamento, superfícies comerciais, campos de futebol, pavilhões gimnodesportivos, entre outros, mas num local estratégico seguro e de preferência com condições adequadas à habitabilidade temporária (duches, sanitários, dormitórios, zonas de alimentação, enfermaria, etc.) e previstas instalações diferenciadas reservadas a grupos de pessoas com necessidades especiais. Devido à complexidade logística desta operação, nesta fase, parece ser indicado para iniciar a preparação das ZCAP com base nos planos de evacuação e nos locais pré-definidos dos PMEPC e de acordo com os cenários eruptivos considerados.

Com base na possibilidade de evacuação, a realização de atualizações frequentes do número de pessoas expostas pode ser vantajoso numa altura em que se verifique a necessidade de deslocar esta população, nomeadamente:

- Promover censos diários sobre o número de residentes na zona A, ou seja, os respetivos SMPC devem proceder ao levantamento do número aproximado de pessoas nesta área (através de um método de *check-in*, por exemplo);
- Promover contagem diária do número estimado de turistas na zona A (com base nos alojamentos, estabelecimentos de lazer e de turismo, etc.).

A partir desta fase, torna-se particularmente importante garantir a manutenção e operacionalidade das infraestruturas críticas que possam vir a ser afetadas pela sismicidade, especialmente, as vias de acesso a utilizar como rotas de evacuação, de acordo com as responsabilidades definidas (Tabela 6.4).

Com a escalada dos sinais que parecem anteceder uma erupção vulcânica no Vulcão do Fogo, aumenta também a possibilidade de se verificarem explosões de vapor na caldeira, devido à presença de um sistema hidrotermal. Estes eventos não demonstram, normalmente, sinais precursores evidentes que permitam a sua antecipação, ou seja, constituem um perigo que pode ocorrer inesperadamente. O principal impacto, fora o direto às pessoas que se encontrem nas imediações da Lagoa do Fogo, consiste na possibilidade de se desencadearem escoadas de lama ou *lahars* que, no caso do Vulcão do Fogo, é esperado que percorram o flanco sul na Ribeira da Praia, afetando severamente as localidades que se encontrem no seu percurso em questão de minutos (Gaspar *et al.*, 2015a). Tendo isso em conta, nesta altura, recomenda-se a adoção de algumas medidas mais ativas, como:

- Recomendação ou ordem de evacuar a população das zonas C, principalmente, o lugar da Praia e determinar o encerramento dos estabelecimentos desta zona, durante um período de tempo indeterminado (tendo em conta o baixo custo relativo desta ação e o benefício);
- Propor a primeira zona restrita: proibição do acesso à caldeira a turistas e limitado a residentes (à exceção de pessoal autorizado) – isto requer a montagem de pontos de controlo em cada via de acesso principal à Lagoa do Fogo e o corte das estradas secundárias;
- Evacuação preventiva da população com mobilidade reduzida e assistência diferenciada identificadas nas fases anteriores;
- Recomendar à população não residente para evitar permanecer na região do Fogo, sem ser em caso de extrema necessidade.

Com o aumento da possibilidade de evacuação e do incremento da sismicidade sentida nesta fase, parece ser o momento oportuno para determinar o encerramento de locais frequentados pela população mais vulnerável (crianças e idosos) e a limitação do funcionamento de algumas atividades de risco e as não essenciais que se encontrem mais próximas à caldeira, de forma a mitigar o risco e evitar possíveis constrangimentos. Mais especificamente:

- Recomendar o encerramento de estabelecimentos escolares (escolas, creches, jardins de infância centros de ocupação temporária) e locais de reunião de idosos (lares de idosos, centros de dia ou de convívio, etc.) dos três municípios e da freguesia das Furnas;
- Reduzir o horário de funcionamento de indústrias e comércio com atmosferas altamente inflamáveis, como postos de combustível (horários mais reduzidos);
- Encerrar estabelecimentos de lazer ou turísticos, como o Centro de Interpretação da Caldeira Velha e as Termas das Caldeiras, estabelecimentos comerciais, como o Restaurante das Caldeiras e limitar o funcionamento de atividades essenciais num raio de 4 km da caldeira.

○ **Nível de Alerta Científico Vulcânico V3 → V4**

Esta alteração do nível de alerta vulcânico científico para V4 reflete a presença de uma ameaça real de erupção. De facto, deve-se notar que o registo de um incremento na quantidade de voláteis a atingir a superfície, neste caso o CO<sub>2</sub> (o primeiro a ser libertado do magma) e o registo do aumento da temperatura da água das nascentes são, normalmente, indicadores que permitem antecipar uma erupção vulcânica. Assim, de acordo com o diagnóstico científico com base nos sinais recebidos e tendo em conta que se trata do último nível de alerta pré-eruptivo, a possibilidade de se verificar uma erupção vulcânica no Vulcão do Fogo a partir desta altura é a mais elevada desde o início da crise. Sendo assim, este contexto deve ser suficiente para traduzir um aumento significativo na intensidade das ações de preparação e prevenção com vista a salvaguarda da vida das pessoas nas áreas de maior perigo, face aos produtos vulcânicos que se esperam. Logo, o objetivo nesta fase deverá incidir no desencadeamento dos últimos procedimentos, por parte das autoridades de proteção civil, na preparação da evacuação da população a realizar assim que a ordem for declarada pelos decisores políticos.

Na sequência do aumento do nível de alerta científico para V4, considerar:

- A declaração de Estado de Contingência (decisão da SRSD, recomendação do Presidente do SRPCBA);
- O encerramento total de todas as atividades não essenciais num raio de 5 km e de todos os postos de combustível dos três municípios, com a indicação para a reduzirem a quantidade de material inflamável antes;
- O reforço das viagens de autocarro para fora do município para quem quiser evacuar das zonas de maior suscetibilidade por conta própria.

Além destas, outras ações de resposta a desencadear consistem em:

- Reforçar as comunicações no terreno, através da projeção de equipas na área das telecomunicações e outros técnicos do SRPCBA para a ilha de São Miguel;
- Solicitar o reforço dos efetivos nos quartéis da ilha de São Miguel de acordo com o nível vermelho (Tabela 6.4) e manter as equipas provenientes dos CB de outras ilhas a projetar em prevenção e preparadas para serem mobilizadas;
- Montar e instalar postos de comando, em zonas seguras e estratégicas, de forma a assegurar o comando e controlo, na resposta a emergências que possam surgir no TO, como por exemplo, a desobstrução de rotas de evacuação, ações de salvamento e socorro, busca e resgate em estruturas colapsadas e de pessoas desaparecidas, além da evacuação da população que se espera nesta fase.

A partir deste nível de alerta, a proteção civil deve ter acesso a uma transmissão de informação essencial quase em tempo real, por parte das instituições científicas como o CIVISA e o IPMA. De um lado o CIVISA com a informação sobre o estado da atividade vulcânica, história eruptiva e conhecimento científico do vulcão, logo com capacidade para estimar as características de uma erupção, que permitem definir pelo menos uma base para os cenários eruptivos e, por outro lado, a informação do IPMA através das previsões meteorológicas que permitem complementar os cenários ao fornecer os fatores determinantes para entender a distribuição e os impactos dos produtos vulcânicos (vento e chuva). Por um lado, a distribuição das cinzas e do *lapilli* é muito influenciada pela ação dos ventos, ou seja, a partir deste nível deve-se solicitar informação acerca da direção e intensidade dos ventos para as próximas horas, por outro lado, a presença da precipitação pode influenciar uma deposição mais precoce do material que, devido ao facto

de se encontrarem molhados, apresentam um peso superior, logo uma maior capacidade de provocar o colapso das coberturas.

De qualquer das formas, a opção por uma evacuação progressiva, de acordo com as zonas de suscetibilidade, pode-se mostrar eficaz face à possibilidade de erupção neste vulcão. Normalmente, a recomendação para efetivar tal ação passa por evacuar a população que se encontra nas zonas mais suscetíveis aos produtos mais devastadores que podem surgir a partir de uma erupção do tipo explosivo, nomeadamente, as escoadas piroclásticas e *lahars* e devem ser evacuadas preventivamente, antes da erupção iniciar (De la Cruz-Reyna & Tilling, 2008), porque a velocidade de progressão e a magnitude dos impactos possíveis destes produtos não permitem uma evacuação atempada durante a erupção. Assim, com a população na zona C já evacuada num nível prévio, neste momento da crise a proteção civil deve focar-se na preparação e evacuação da zona A.

De facto, mostra-se evidente que a decisão de evacuação da população seja mais adequada surgir neste nível de alerta vulcânico científico, por ser o último pré erupção e, portanto, que se espera mais próximo a uma eventual erupção. No entanto, reconhece-se a dificuldade e a complexidade em determinar o momento exato para ordenar a evacuação da população das zonas de maior perigo, antecipadamente, de forma a permitir o tempo necessário à deslocação das pessoas, mas sem determinar com demasiada antecedência, de forma a minimizar a possibilidade de falso alarme e as consequências socioeconómicas associadas. Com efeito, pode-se afirmar que esta consiste na decisão política de proteção civil mais complexa desde o início da crise, no entanto, é considerada a única ou a mais eficaz na salvaguarda da vida humana face a uma erupção vulcânica (Perry & Godchaux, 2005; Marzocchi & Woo, 2007; Marzocchi *et al.*, 2012; De Natale *et al.*, 2020; Papale, 2021), principalmente, numa região com uma adequada capacidade de monitorização. No entanto, quando se trata de um vulcão com capacidade de provocar impactos significativos nas pessoas e outros elementos expostos, como mostra a sua história eruptiva, aguardar por um sinal mais claro pode-se revelar uma decisão desastrosa. O cenário desenvolvido permite implementar esta deliberação suportada por sinais que evidenciam efetivamente a presença de processos vulcânicos em profundidade, por exemplo, na sequência do incremento de eventos de baixa frequência e/ou de eventos híbridos, que podem indicar a movimentação de fluídos magmáticos ou hidromagmáticos em profundidade.

No seguimento desta decisão, a população na zona A deve ser notificada através das formas de aviso e alerta pré-definidas e divulgadas à população (*e.g.* SMS, redes sociais das autoridades de

proteção civil, rádios locais, sirenes das viaturas dos agentes de proteção civil). Após isto, a população deve-se dirigir para os pontos de encontro pré-definidos e difundidos, onde serão posteriormente, transportadas através dos meios de transporte de entidades públicas ou privadas, para as ZCAP montadas.

No desenvolvimento de uma evacuação que envolva esta complexidade e possíveis situações que requeiram a assistência a pessoas, em colaboração com as Forças Armadas, deve-se considerar a instalação de Pontos de Reunião e Irradiação de Desalojados (PRID) em locais seguros, mas estrategicamente instalados com a possibilidade de servirem como uma zona de transição para as ZCAP. Estas estruturas têm a capacidade para receber as pessoas em primeira instância, na iminência ou após um desastre, disponibilizando áreas de descanso, cuidados de saúde e alimentação.

A nível estratégico, é necessário considerar a possibilidade de uma erupção, mesmo de pequenas dimensões, bloquear a comunicação via terrestre entre os dois extremos da ilha, originando o isolamento da população que se encontra na parte oriental da ilha em relação a Ponta Delgada, o único município fora das zonas de maior risco que apresenta um aeroporto, um hospital e um porto de maiores dimensões, que podem ser utilizados tanto para o transporte de bens como de pessoas para dentro e fora da ilha. Tendo isto em conta, a evacuação prévia da população da zona de maior suscetibilidade demonstra-se estrategicamente mais vantajosa para Ponta Delgada. No entanto, reconhece-se também que esta decisão apresenta algumas desvantagens como o aumento da densidade populacional do concelho que já é o mais habitado dos Açores e as consequências que possam advir disto, além de incrementar o tempo necessário para evacuar a população das freguesias mais distantes de Ponta Delgada (*e.g.* Ponta Garça e Maia).

Após a evacuação da população da zona A, é esperado que se estabeleçam novas áreas restritas, como o acesso controlado à zona A, sendo proibido ou condicionado o acesso a civis, à exceção de cientistas, *media* e outros agentes de proteção civil. Esta medida requer a criação de pontos de controlo nas principais vias de acesso e nas secundárias com sinalização na via, em colaboração com as forças de segurança. De facto, é indicado que após a evacuação estar concluída, apenas o pessoal autorizado possa entrar nesta área, devidamente identificados, com equipamentos de proteção individual, como máscaras de gás e capacetes, e após a avaliação das condições de segurança por parte dos cientistas (níveis de gases vulcânicos).

Quando se regista tremor vulcânico nas estações pela primeira vez, deve-se garantir a evacuação de todo o pessoal que se encontre no interior da área de maior suscetibilidade, eventualmente, cientistas, jornalistas e agentes de proteção civil, para locais seguros.

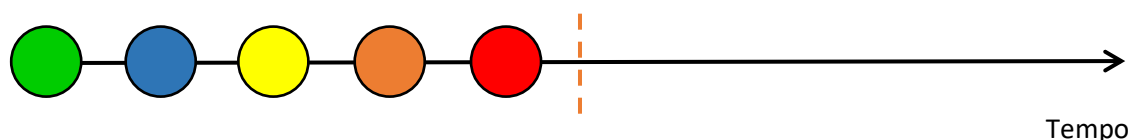


Figura 6.4 - Evolução esperada dos estados de alerta especial até ao início da erupção (tracejado).

### 6.2.2. Fase Eruptiva

#### ○ **Nível de Alerta Científico Vulcânico V4 → V6**

Este nível só é declarado quando se verifica uma erupção em curso. Nesta fase, um dos maiores problemas consiste na duração da erupção, já que esta pode variar e não é possível determinar antecipadamente a sua duração exata. No decorrer da erupção, com base nas avaliações científicas é possível ir acompanhado a força/intensidade da erupção, possibilitando determinar, com alguma incerteza, se a erupção está a caminhar para um fim ou não. A nível político surgem duas medidas a considerar:

- Declaração de situação de calamidade pública regional, com vista a antecipar a fase de recuperação e reabilitação das zonas afetadas;
- Ordem de evacuação das localidades da zona B mais suscetíveis ao perigo de piroclastos de queda.

Numa fase inicial, com a população da zona de maior suscetibilidade aos perigos vulcânicos já evacuada, a prioridade das atividades de proteção civil deve incidir no sentido de perceber a dimensão da erupção e com base na informação científica do observatório vulcanológico e do instituto meteorológico, compreender quais os perigos e a respetiva abrangência nas horas imediatamente a seguir, através da realização de simulações para a dispersão de cinzas e *lapilli*. Com base nesta análise, determinar a evacuação das pessoas que se encontrem na zona B, mais suscetíveis de serem afetadas tendo em conta a direção e intensidade do vento nesta fase. De facto, o principal perigo para a população que habita nesta área são os piroclastos de queda, nomeadamente, cinzas e *lapilli* que se podem depositar nas coberturas das habitações e

provocar o seu colapso. Considerando a distância à fonte eruptiva e a taxa de extrusão de material vulcânico esperado numa erupção com as características previstas é possível que a evacuação proceda de forma segura já após o início da erupção.

Neste caso concreto, a informação sobre a previsão do vento apontava para a predominância da direção do quadrante W-WSW, com intensidade moderada a forte. Com base nestes parâmetros e nos mapas de suscetibilidade produzidos em colaboração com os cientistas, as autoridades de proteção civil devem determinar a evacuação da população nas freguesias de Lomba da Maia, Fenais da Ajuda, Lomba de São Pedro e Salga. Em caso de ordem de evacuação dos setores definidos da zona B, a população desta zona deve ser evacuada para a ZCAP mais próxima, devido à restrição da zona A. Sendo assim, quem se encontrar no setor nordeste do vulcão será dirigido para as ZCAP instaladas no município de Nordeste, quem se encontrar no setor sudeste será transportado para as ZCAP do município da Povoação e nos setores noroeste e sudoeste, para as ZCAP já instaladas em Ponta Delgada.

Além disto, devido à imprevisibilidade da intensidade da erupção e da possível mudança nos ventos, é importante manter em alerta as restantes localidades da zona B e as restantes povoações da ilha, ao longo da erupção. Se a previsão apontar para a mudança de intensidade e/ou direção dos ventos, é importante avisar e notificar a população que se localize nas áreas que se preveem afetadas, de forma a permitir a tomada de medidas de autoproteção adequadas, ou em casos mais extremos, ordenar o confinamento da população. Neste caso, devido à alteração da direção do vento de W-WSW para o quadrante NE, através das simulações é possível antecipar a chegada de cinzas a Ponta Delgada. Com base nesta previsão, é recomendado: ordenar o confinamento nas próprias habitações e/ou disponibilizar edifícios públicos para quem se encontre em edifícios vulneráveis. Quando a direção do vento volta para o quadrante anterior, promover a limpeza e remoção das cinzas dos telhados, caso existam condições de segurança para tal. Em caso de necessidade, deve ser considerada a definição de novas zonas de exclusão com base na incidência destes produtos.

Ao longo desta fase eruptiva:

- Coordenar ações de avaliação técnico-científica sobre a erupção em curso (com recurso a helicópteros, *drones* e aparelhos de medição à distância), com o objetivo de acompanhar o evoluir da erupção e antecipar alterações na atividade, tal como o aproximar do término da erupção.

- Acompanhar as atividades nas ZCAP: prestando a assistência necessária às pessoas deslocadas, disponibilizando as melhores condições possíveis e apoio nas várias áreas: logística, alimentação, assistência médica, psicossocial;
- Manter a população devidamente informada: tanto as pessoas que se encontrem nas ZCAP, mas também a restante população que se espera preocupada e ansiosa sobre a possibilidade de os produtos da erupção atingirem as suas residências;
- Instalar pontos de acesso e controlo em zonas seguras nas principais vias de acesso às localidades evacuadas, em colaboração com as forças de segurança, com o objetivo de impedir e/ou diminuir o loteamento;
- Manter e restabelecer a operacionalidade das comunicações de emergência, sempre que se verifiquem falhas;
- Monitorizar e manter a operacionalidade das vias de comunicação terrestre (estradas principais e possíveis rotas de evacuação), aérea (limpeza da pista do aeroporto após o período em que a cinza se deposita em Ponta Delgada) e marítima (portos).

Tendo em conta a magnitude e a duração da erupção, não se prevê que os meios e recursos regionais se esgotem e, por isso, as ações de proteção civil a nível regional esperam-se suficientes para lidar com a erupção. Contudo, quando esteja previsto o esgotamento dos recursos ou a necessidade de reforço de meios e recursos, deve-se considerar a solicitação de apoio ao nível nacional (ANEPC). De facto, as erupções vulcânicas podem durar várias semanas, meses ou anos e em casos mais extremos a capacidade regional e até a nacional podem se mostrar limitadas para responder à emergência. Por suposto, através do nível nacional também se prevê a possibilidade de solicitar auxílio ao nível de proteção civil internacional, através dos mecanismos de proteção civil previstos na União Europeia - Centro de Coordenação de Resposta de Emergência (CCRE). Com recurso a este auxílio, é possível contar com equipas especializadas em lidar com cenários vulcânicos, tanto a nível de proteção civil como científico, permitindo o reforço de pessoal com ampla experiência na gestão de crises vulcânicas.

Já com o evento na caldeira a mostrar uma diminuição na intensidade eruptiva, verifica-se o início de uma erupção do tipo efusivo no flanco norte do vulcão, tendo em conta que a população mais próxima ao foco eruptivo já se encontra deslocada, neste momento, não se mostra necessário a implementação de ações de proteção civil adicionais no que concerne a segurança das pessoas, à exceção de manter o acompanhamento do evoluir da situação, através das avaliações dos cientistas, e a transmissão de informação ao público.

Antes da erupção terminar, deve-se começar a preparação do regresso seguro e gradual da população deslocada e o respetivo retorno das atividades. Mais especificamente:

- Estabelecer critérios para determinar o regresso da população e das atividades - definir as zonas e as condições necessárias para determinar o retorno (considerando os produtos e os impactos da nova fase eruptiva do tipo efusivo);
- Definir formas de apoio à população deslocada;
- Estipular formas de aviso e alerta para a eventualidade de nova evacuação, na sequência da iminência ou reincidência da atividade eruptiva do tipo explosivo.

○ **Nível de Alerta Científico Vulcânico V6 → V5**

Quando o nível de alerta científico vulcânico diminui para V5, significa que o observatório reconhece a interrupção da atividade explosiva na caldeira. Nesta altura, apesar da diminuição da intensidade eruptiva, ainda se observam manifestações de atividade no local da erupção, como atividade fumarólica, algumas explosões de vapor e concentrações elevadas de gases vulcânicos nas proximidades. Adicionalmente, o foco eruptivo mais recente no Vulcão do Fogo evidencia o desenvolvimento de uma erupção do tipo efusivo no flanco norte, inicialmente, de estilo estromboliano, ou seja, com produção de piroclastos de trajetória balística e sua deposição nas proximidades do foco eruptivo e, num momento posterior, com a produção de duas escoadas lávicas. Esta erupção é acompanhada por sismicidade e pela diminuição da qualidade do ar face aos níveis elevados de gases vulcânicos emitidos.

Com a diminuição do nível de alerta científico, numa fase inicial deve-se:

- Manter a população evacuada das zonas A, B e C e continuar a fornecer assistência à população nas ZCAP;
- Continuar a planear o regresso da população e a retoma das atividades.

Apesar do evidente abrandamento da atividade e dos perigos resultantes da erupção efusiva aparentarem estar restritos à zona do foco eruptivo e das escoadas lávicas, não é aconselhado ordenar o regresso da população nesta fase, por dois motivos principais:

- A atividade explosiva cessou recentemente e ainda existe a possibilidade de retomar com intensidade semelhante ou superior à anterior;

- A incerteza associada à abrangência das concentrações letais de gases vulcânicos emitidos a partir do foco eruptivo e das escoadas lávicas. Além disto, a possibilidade de as escoadas lávicas atingirem o mar provocando explosões de vapor podem originar um agravamento da qualidade do ar e na sua abrangência.

Com base nesta informação, nesta fase é fundamental, desenvolver e apoiar atividades de proteção civil com vista ao acompanhamento desta nova fase eruptiva, mantendo um nível elevado de atenção e prevenção face às manifestações de atividade na caldeira. Sendo assim, nesta altura, as atividades de proteção civil devem ser direcionadas para apoiar as ações desenvolvidas pelos cientistas na monitorização dos novos perigos vulcânicos, assegurando os procedimentos necessários para garantir a sua segurança. Sempre que possível, desenvolver atividades de reconhecimento e avaliação da situação com recurso a meios aéreos ou à distância, nomeadamente, helicópteros, *drones*, câmaras de videovigilância instaladas, entre outros. Além disso, manter o acompanhamento e o suporte necessário às operações nas ZCAP, informando a população frequentemente sobre o evoluir da situação.

### 6.2.3. Fase Pós-Eruptiva

- **Nível de Alerta Vulcânico Científico V5 → V4**

Esta diminuição do nível de alerta científico reflete o final da erupção do tipo efusivo que havia iniciado no flanco norte, no entanto, a manutenção de um nível de alerta científico elevado significa que a atividade eruptiva no Vulcão do Fogo mostra sinais de ter cessado, todavia ainda persiste a possibilidade da atividade retomar a qualquer momento. Este período pós-eruptivo é marcado pela existência de zonas com concentrações elevadas de gases vulcânicos, estando as zonas mais problemáticas localizadas nas imediações da caldeira e das escoadas lávicas formadas. Portanto, esta fase requer a manutenção de algumas restrições e das medidas preventivas, face à eventualidade de se verificar o reinício da atividade ao nível dos focos eruptivos, mas com especial atenção aos impactos dos gases vulcânicos em concentrações anómalas e perigosas.

Nesta fase, com as devidas precauções e medidas de segurança como a utilização de equipamentos portáteis de medição dos gases vulcânicos, já se podem desenvolver algumas ações nas zonas restritas durante um período limitado, à exceção da área restrita que envolve as

escoadas lávicas, num raio de 4 km da caldeira e nos restantes locais onde se registam concentrações elevadas de gases vulcânicos. A nível de ações de proteção civil, no rescaldo da erupção, além de acompanhar as anomalias das concentrações dos gases vulcânicos é indicado desenvolver as seguintes ações:

- Avaliar os danos nos locais mais afetados e preparar um plano de recuperação, incidindo na remoção e limpeza do material vulcânico (cinzas e *lapilli*) e das estruturas que colapsaram durante as erupções;
- Elaborar um relatório com número de causalidades, feridos, evacuados, material utilizado ao longo da resposta à crise e os respetivos custos;
- Manter a população informada sobre a situação e a possibilidade da atividade retomar;
- Assegurar e reforçar os pontos de controlo nas áreas restritas, pois com o abrandamento visível da atividade eruptiva pode haver tentativas espontâneas de visitar ou retornar por parte de alguns habitantes e/ou proprietários de terrenos;
- Colaborar e apoiar os cientistas na reposição ou reinstalação dos equipamentos da rede de monitorização que possam ter sido afetados;
- Manter a solicitação de reforço do efetivo nos quartéis de São Miguel correspondente ao nível vermelho (Tabela 6.4).

Tão ou mais complicado que ordenar a evacuação da população das suas residências, é declarar o seu retorno. De facto, esta deliberação demonstra-se muito complexa, já que o período pós-eruptivo envolve níveis de incerteza e imprevisibilidade semelhantes aos pré-eruptivos. Além da possibilidade de a atividade eruptiva retomar, mesmo após um período de acalmia, existem outros perigos que podem persistir durante um longo período após a erupção, como a presença de concentrações de gases vulcânicos anómalas e prejudiciais à saúde dos seres humanos e animais. Adicionalmente, as frequentes explosões de vapor que se verificam na caldeira, apesar de restringida no que concerne a abrangência do impacto direto, podem desencadear escoadas de lama ou *lahars*. Assim, numa fase posterior à erupção, quando o nível de alerta científico vulcânico permanece elevado, parece ser o mais indicado:

- Manter a população das zonas A e C nos alojamentos temporários, continuando a fornecer o apoio necessário;
- Preparar o regresso faseado da população da zona de risco B, que tenha sido deslocada no início ou no decorrer da erupção;

- Preparar o plano de recuperação e reabilitação das áreas afetadas.

Numa fase posterior, apesar do nível de alerta continuar em V4, se os indicadores demonstrarem uma tendência decrescente, pode-se intensificar as atividades de acordo com o plano de recuperação definido e com vista a ordenar o regresso da população e das atividades na zona B, para tal, deve-se antes:

- Promover avaliações técnicas dos edifícios que se mantiveram aparentemente intactos, averiguando a segurança dos mesmos;
- Efetuar medições das concentrações e fluxo de gases vulcânicos nesta área (fator determinante para avançar com esta decisão);
- Promover ações de remoção e limpeza dos produtos vulcânicos na zona B evacuada, com especial atenção aos telhados/coberturas e às ribeiras que possam ter acumulado produtos, com vista a mitigar o perigo de inundações;
- Restabelecer as infraestruturas críticas providenciando pelo menos as condições básicas de vida nestes setores.

Quando estas localidades estiverem prontas para receber as pessoas, deve-se promover o retorno gradual, alertando para uma possível reincidência da atividade e de uma conseqüente evacuação, ou seja, informar para a necessidade de se manterem preparadas para a eventualidade de ser emitida nova ordem para abandonarem as suas habitações. Quanto aos desalojados como conseqüência da erupção, devem permanecer nos alojamentos temporários até serem fornecidas habitações temporárias ou permanentes.

Na seqüência da erupção freática, manter um estado de prontidão e alerta, já que este episódio pode desencadear o início de uma nova fase eruptiva. Os produtos deste tipo de erupções são relativamente limitados no espaço e por isso não se evidencia necessário adotar ações de resposta adicionais, uma vez que neste momento não se esperam elementos expostos nas proximidades da caldeira. Deve-se recomendar, no entanto, a evacuação de todo o pessoal operacional que se encontrar no interior das zonas de risco A, devido à possibilidade de nova escalada na atividade eruptiva. Devido à possibilidade de serem desencadeados *lahars*, tal como o que se verificou, também não requer a implementação de outras repostas, além do acompanhamento da situação à distância, já que a população da zona C se encontrava deslocada.

○ **Nível de Alerta Vulcânico Científico V4 → V3**

Após a erupção freática, a continua diminuição do nível de alerta científico significa que o vulcão demonstra sinais que apontam no sentido da diminuição da instabilidade e confirmam a tendência decrescente dos indicadores registados, no entanto, estes permanecem em níveis que ainda podem evoluir no sentido da retoma da atividade eruptiva. Assim, o objetivo das atividades de proteção civil, além do acompanhamento do evoluir da situação, deve incidir na intensificação da preparação do regresso da restante população.

Assim, este mostra-se como sendo o momento ideal para promover ações com vista a determinar o retorno à zona A, à exceção das habitações que se encontram em áreas restritas devido às concentrações anómalas e perigosas de gases vulcânicos. Por outro lado, parece ser a altura indicada para intensificar as atividades com vista à recuperação e reabilitação das zonas afetadas. Sendo assim, numa fase inicial deve-se:

- Promover avaliações técnicas dos edifícios que se mantiveram aparentemente intactos, averiguando a segurança dos mesmos;
- Promover as ações de limpeza e remoção do material vulcânico na zona A;
- Restabelecer as infraestruturas críticas nesta área, disponibilizando pelo menos as condições básicas de vida;
- Restringir as áreas com concentrações elevadas de gases vulcânicos, com base na avaliação e informação dos cientistas.

Após concluídas estas ações, já se pode ordenar o regresso seguro e de forma gradual dos residentes da zona A, à exceção das áreas restritas, das pessoas com mobilidade reduzida e dos desalojados.

A nível operacional, a partir desta fase, já se mostra adequado diminuir gradualmente o nível de prontidão e preparação, embora, mantendo um estado de atenção de acordo com a instabilidade que ainda se verifica. Sendo assim, parece o momento mais oportuno para baixar o efetivo de reforço solicitado para o correspondente ao estado de alerta especial para laranja (Tabela 6.4) e desmobilizar as equipas operacionais de reforço.

○ **Nível de Alerta Vulcânico Científico V3 → V2**

Quando os cientistas determinam a diminuição do nível científico para V2, pode-se interpretar como a confirmação da tendência decrescente da instabilidade, aproximando-se de valores considerados normais numa fase pós-eruptiva. Considerando o abrandamento da instabilidade e da possibilidade da atividade eruptiva retornar a curto prazo, este momento parece o ideal para intensificar as ações de proteção civil destinadas a repor a normalidade das condições de vida nas áreas afetadas, mantendo um nível de acompanhamento da situação pós-eruptiva de forma a antecipar situações que envolvam algum perigo para a população regressada. Com a diminuição de alerta científico para V2, mostra-se indicado:

- Desativar os PMEPC;
- Desativar o PREPCA, como consequência da desativação anterior.

Após a avaliação técnico-científica, já se pode preparar o regresso da população da zona C na condição de, quando possível, se estabelecerem formas de aviso e alerta específico para a possibilidade de *lahars* na sequência de um aumento das condições favoráveis a tal. Antes de isso, é importante analisar os danos provocados pelas escoadas de lama desencadeadas no flanco sul e, com base nisso, promover a limpeza e remoção do material. Em particular nestas áreas de perigo, deve-se fazer uma avaliação prévia sobre o benefício da reconstrução e reabilitação de uma zona que se espera completamente devastada face aos produtos a afetaram. Nestes casos, é fundamental fazer uma análise custo benefício, considerando que se promover a reconstrução nestes locais, os edifícios irão permanecer em áreas de elevada suscetibilidade aos perigos vulcânicos. Sendo assim, e com o acordo dos residentes, estes poderiam ser deslocados permanentemente. Além desta, outras medidas podem ser implementadas neste momento:

- Promover o regresso da população das zonas restritas devido aos gases vulcânicos, quando os cientistas determinarem que se verificam condições de segurança para tal (ausência de valores anómalos ou em níveis que não constituam um perigo à saúde das pessoas);
- Promover a retoma de todas as atividades;
- Efetuar um relatório final sobre as áreas afetadas - número de edifícios e infraestruturas destruídos, pessoas desalojadas, etc.;
- Baixar o efetivo solicitado nos quartéis de São Miguel para o correspondente ao estado de alerta especial amarelo (Tabela 6.4).

- Promover avaliações técnicas dos edifícios que se mantiveram aparentemente intactos, averiguando a segurança dos mesmos.

Com base na informação anterior, começar a preparar a adoção de medidas governamentais (nacionais e regionais) previstas no plano de recuperação e reabilitação, para apoiar a população afetada na recuperação das condições de vida pré-eruptivas: reconstruir as habitações, disponibilizar habitações temporárias, fornecer novos empregos, reabilitar e retomar por completo as infraestruturas críticas afetadas, entre outras.

Continuar a acompanhar a fase pós-eruptiva em colaboração com o observatório, mantendo um contacto frequente com os cientistas, solicitando informação sobre a atividade pós-eruptiva e os resultados da monitorização efetuada. Quando alguma situação apresente perigo à segurança das pessoas, como a existência de anomalias nos parâmetros monitorizados, contactar os SMPC para restringir o acesso a locais de risco, recomendar a evacuação da população em risco e/ou o encerramento de estabelecimentos e atividades.

- **Nível de Alerta Vulcânico Científico em V1 ou V0**

A descida do nível de alerta científico para V1 ou V0 representa o momento pós-eruptivo em que os parâmetros monitorizados continuam a mostrar uma tendência decrescente, encontrando-se em níveis muito próximos dos valores normais de referência pré-eruptivos. Apesar de traduzirem estados de atividade distintos, na organização das ações de proteção civil optou-se por abordar estes níveis em conjunto, uma vez que é pouco provável que o vulcão volte a apresentar os valores normais de referência pré-eruptivos, pelo menos até vários anos depois. De facto, o nível V0 apenas é declarado quando os cientistas chegarem à conclusão que se está perante um novo nível de referência para o Vulcão do Fogo e, sendo uma deliberação complexa, pode demorar vários anos até ser declarada. No entanto, apenas quando os cientistas informarem oficialmente a descida do nível de alerta científico para V0 é que se pode afirmar que o Vulcão do Fogo se encontra num estado de atividade normal.

Entretanto, quando a erupção é oficialmente declarada como terminada, já se mostra o momento mais adequado para implementar as ações de recuperação e reabilitação mais ativas previstas no plano de recuperação, incluindo a reconstrução e a recuperação dos terrenos agrícolas destruídos. Nesta fase, importa assim definir as áreas alvo de reconstrução e as que se deve deliberar para a deslocação ou realojamento permanente dos residentes. Na reconstrução

deve-se implementar as medidas de mitigação estruturais, de forma a diminuir a vulnerabilidade dos edifícios, incluindo a qualidade dos materiais utilizados e a sua resistência aos perigos presentes em cada área.

Esta fase, também, se mostra como a mais adequada para promover a implementação de medidas com vista a repor a economia da região afetada, como a implementação e divulgação de medidas com vista a promoção do turismo da ilha e da região do Fogo em particular. De facto, após a recomendação para evitarem deslocações desnecessárias à região do Fogo e a limitação na operacionalidade do aeroporto, espera-se que o número de visitantes diminua significativamente já numa fase pré-eruptiva e se mantenham até ao terminar da crise. Além disso, muitos residentes podem optar por abandonar a ilha por conta própria, promovendo uma onda de emigração acentuada e afetando a economia da região. Algumas medidas que podem contribuir para mitigar estas situações incluem a disponibilização de apoios financeiros aos visitantes, por exemplo, através de *vouchers* turísticos, a criação de mais postos de trabalho estáveis e assegurar apoios monetários às empresas mais afetadas pela crise.

A nível operacional, nesta fase já é aconselhado retomar a implementação dos procedimentos normais padrão e o nível de reforço solicitado aos CB poderá diminuir para o correspondente ao azul e, posteriormente, para um estado de alerta normal (verde) (Tabela 6.4).

Nesta fase, já com o final da crise vulcânica declarada, devem ser desenvolvidas ações com objetivo de analisar e avaliar a gestão efetuada à crise vulcânica que terminou:

- Convocar reuniões ou *debriefings* com as entidades envolvidas na resposta;
- Analisar os procedimentos de resposta do sistema de proteção civil e das várias entidades intervenientes;
- Analisar a eficácia das ações e as medidas de mitigação implementadas pelos vários níveis de proteção civil para acompanhar a escalada da crise - identificar falhas ou aspetos a melhorar, averiguar soluções e introduzir as correções necessárias.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1. PROPOSTA DE AÇÕES DE PROTEÇÃO CIVIL À ESCALA CIENTÍFICA DE NÍVEIS DE ALERTA VULCÂNICO

No seguimento da discussão sobre a resposta de proteção civil mais adequada para reagir às alterações do nível de alerta científico vulcânico esperadas no cenário eruptivo considerado, importa elaborar um resumo da ligação emergida desta análise, visando a identificação do conjunto de ações e medidas a desencadear para cada nível de alerta científico. Para este sumário, distinguem-se dois momentos distintos na crise: uma fase com tendência crescente de instabilidade apontando para a iminência de erupção (Tabela 7.1) e uma fase com tendência decrescente, com a diminuição da instabilidade indicando para um retorno à normalidade (Tabela 7.2).

#### 7.1.1. Aumento da Instabilidade (Tendência Crescente)

Quando se verifica uma tendência crescente na instabilidade de um sistema vulcânico, as ações de resposta e medidas de mitigação devem acompanhar a evolução da crise, aumentando progressivamente a intensidade das ações tomadas em níveis anteriores, implementando outras com vista a amplificar o grau de preparação do sistema de proteção civil até a uma eventual erupção. Numa etapa precoce da crise, é fundamental reconhecer o início de uma situação anormal com base na interpretação científica, evitando uma postura de indiferença ou desvalorização logo inicialmente. Efetivamente, este momento mostra-se fundamental para incitar uma abordagem preventiva e de vigilância, implementando certas medidas, embora evitando o alarmismo. Posteriormente, com o incremento da instabilidade, deve-se verificar o aumento da frequência da comunicação entre os vários atores envolvidos na gestão da crise, destacando-se a relação entre cientistas e proteção civil (Papale, 2021; Newhall *et al.*, 2021), pois as autoridades necessitam da informação científica frequente para tomar as decisões que lhes são incumbidas e a comunicação entre a proteção civil e a população, já que esta deve estar devidamente informada do evoluir da situação (Nakada *et al.*, 2019). Com o evoluir da crise, torna-se crítico gerir a agitação e a ansiedade da população, mantendo um equilíbrio, já que, por um lado, o alarmismo é prejudicial e, por outro lado, a apatia ou desvalorização do risco, pode ser determinante para o insucesso da gestão da crise. Com o decorrer da crise, numa fase mais

desenvolvida, é essencial considerar as medidas mais “pesadas” que envolvem o estabelecimento de zonas de exclusão, evacuação de parte da população e a suspensão de algumas atividades nas zonas de maior suscetibilidade aos perigos vulcânicos. Para tal, a resposta beneficia da tomada de certas decisões políticas, como a ativação dos planos de emergência e a declaração de situações de alerta previstas na legislação de proteção civil. Em suma, em cada momento da crise é importante considerar todas as possibilidades e as incertezas presentes, todavia, adotando uma postura de prevenção e preparação que se reflita gradualmente nas atividades de proteção civil, com o incremento da ameaça de erupção e/ou da ocorrência de outros fenómenos geológicos que a podem anteceder.

**Tabela 7.1** - Proposta de ações de proteção civil recomendadas para cada nível de alerta científico vulcânico (instabilidade com tendência crescente).

NÍVEL DE ALERTA CIENTÍFICO	PRINCIPAIS AÇÕES RECOMENDADAS
V0	<p>Atividades e procedimentos normais. Sensibilização, informação e educação da população, técnicos de proteção civil, decisores políticos, cientistas, entre outros. Planeamento de emergência e exercícios.</p> <p>Apoiar a rede e as atividades de monitorização – ações estabelecidas em protocolo.</p>
V1	<p>Inventariar e averiguar a conformidade dos meios e recursos de emergência a empregar numa eventual emergência/catástrofe.</p> <p>Garantir a revisão dos planos de emergência.</p>
V2	<p>Aumentar a frequência de comunicação com os cientistas e definir formas de apoio entre os vários níveis de proteção civil – solicitar relatórios semanais. Aumentar a divulgação de informação para o público.</p> <p>Ativar as estruturas de coordenação previstas a nível municipal.</p> <p>Recolher informação sobre as estruturas de acolhimento e assistência à população. Iniciar a elaboração do plano de evacuação.</p> <p>Levantamento do número e localização de pessoas que requeiram assistência diferenciada.</p> <p>Avaliar o estado e inventariar equipamentos, meios e recursos a utilizar numa eventual evacuação.</p> <p>Atualizar e reforçar os meios e recursos de emergência, conforme as necessidades identificadas.</p> <p>Aferir disponibilidade de equipas de emergência de reforço. Compilar meios e recursos de reforço, possíveis de empregar.</p> <p>Reforçar o efetivo do dispositivo de resposta operacional.</p> <p>Apoiar os cientistas no eventual reforço da rede de monitorização.</p> <p>Avaliar a vulnerabilidade e identificar as zonas de maior suscetibilidade a outros perigos geológicos.</p> <p>Avaliar os danos resultantes dos outros perigos geológicos.</p>

<b>V3</b>	<p>Aumentar a frequência da comunicação com os cientistas – solicitar relatórios diários. Aumentar a comunicação com a população, informando sobre as medidas e ações implementadas.</p> <p>Ativar planos de emergência - PMEPC e PREPCA e estruturas de comando e coordenação previstas a nível regional.</p> <p>Reforçar o efetivo do dispositivo de resposta operacional.</p> <p>Iniciar os procedimentos para instalação e montagem das ZCAP e outras estruturas de assistência à população.</p> <p>Recomendar a mobilização da população que não se sinta segura nas suas residências e evitar a deslocação para a região mais afetada.</p> <p>Avaliar os danos causados pelos eventos precursoros e promover/recomendar evacuações localizadas se necessário, nomeadamente, da população com mobilidade reduzida e assistência diferenciada.</p> <p>Definir zonas de exclusão ou de acesso limitado em colaboração com os cientistas.</p> <p>Finalizar os planos de evacuação com base nos cenários possíveis. Contactar as entidades intervenientes.</p> <p>Suspender as atividades não essenciais e que promovam a concentração da população mais vulnerável. Encerrar estabelecimentos de lazer e/ou turísticos nas imediações.</p> <p>Recolher informação diariamente sobre o número de pessoas a evacuar.</p> <p>Evacuar a população dos setores mais críticos - zona C.</p>
<b>V4</b>	<p>Reforçar o efetivo do dispositivo de resposta operacional para o nível máximo.</p> <p>Instalar postos de comando operacional.</p> <p>Ampliar as zonas de exclusão ou de acesso limitado em colaboração com os cientistas.</p> <p>Encerrar todas as atividades nas zonas de maior suscetibilidade.</p> <p>Promover evacuações por iniciativa própria e reforçar os meios de transporte para tal.</p> <p>Ativar o plano de evacuação.</p> <p>Solicitar informação meteorológica atualizada.</p> <p>Evacuar preventivamente a população da zona A.</p>
<b>V5</b>	<p>Evacuar a população das áreas suscetíveis de ser afetadas por escoadas lávicas e num raio de segurança aos perigos de gases vulcânicos e piroclastos de trajetória balística.</p> <p>Controlar o acesso às áreas evacuadas.</p> <p>Acompanhar a evolução da atividade eruptiva, definindo novas zonas de exclusão, se necessário.</p>
<b>V6</b>	<p>Evacuar a população da zona B nos setores situados a favor da direção do vento. Ir acompanhando ao longo da erupção, evacuando outros setores que se preveem afetados.</p> <p>Incentivar a evacuação preventiva da restante população da zona B.</p> <p>Promover atividades de assistência nas estruturas de acolhimento.</p> <p>Controlar o acesso às áreas evacuadas.</p> <p>Acompanhar a evolução da atividade eruptiva, definindo novas zonas de exclusão, se necessário.</p>

### 7.1.2 Diminuição da Instabilidade (Tendência Decrescente)

O decréscimo da atividade eruptiva e/ou dos níveis de instabilidade até atingirem novamente os valores normais de referência ou o novo nível de referência, deve ser acompanhado por uma resposta de proteção civil progressiva, mantendo a coerência com a informação científica

disseminada pelo observatório vulcanológico. Neste sentido, é importante definir as zonas para as quais a população pode regressar, quais as atividades a retomar, que restrições levantar, de acordo com as características do território e os perigos existentes (gases vulcânicos, explosões de vapor, movimentos de vertente, etc.) (Papale, 2021). De facto, as ações de retorno devem ser suportadas por avaliações técnico-científicas, que permitem averiguar as condições de segurança para o regresso da população e das atividades. Assim, a resposta de proteção civil à diminuição dos níveis de alerta científicos pós-erupção deve respeitar à mesma um processo gradual e ponderado, considerando as ameaças presentes e a possibilidade de retorno da atividade eruptiva principal. De facto, um vulcão pode demorar vários anos ou nunca regressar a um estado de atividade normal ou de repouso num curto período de tempo relativo ao da vida humana, o que torna complexa a decisão de declarar o fim da erupção. Caso os níveis de atividade se mantenham elevados, tal como a possibilidade de erupção, deve-se considerar medidas permanentes de apoio à população desalojada ou à população das áreas de maior suscetibilidade aos perigos vulcânicos, retribuindo as condições básicas de vida, mas em locais mais seguros. Assim, tal como a gestão da crise em que se verifica uma tendência crescente na instabilidade, o período de retorno ou pós-eruptivo apresenta várias complexidades e nuances que devem estar assentes no momento da decisão e contempladas pelos decisores políticos e técnicos da proteção civil.

**Tabela 7.2** - Proposta de ações de proteção civil recomendadas para cada nível de alerta científico vulcânico (instabilidade com tendência decrescente).

NÍVEL DE ALERTA CIENTÍFICO	PRINCIPAIS AÇÕES RECOMENDADAS
V6	Manter todas as restrições. Zonas restritas ou de acesso limitado. Pontos de controlo. Vias de acesso bloqueadas. Assistir a população nos alojamentos temporários. Acompanhar a evolução da atividade eruptiva. Planear o regresso da população e das atividades.
V5	Manter as zonas restritas ou de acesso limitado nos locais das erupções. Acompanhar a erupção efusiva. Planear o regresso da população e das atividades.

<b>V4</b>	<p>Avaliar danos e elaborar o plano de recuperação.</p> <p>Promover ações de limpeza e remoção nas restantes zonas de risco. Restabelecer infraestruturas críticas.</p> <p>Promover avaliações técnicas dos edifícios, averiguando a segurança dos mesmos.</p> <p>Determinar o regresso da população da zona B, à exceção da população mais vulnerável.</p> <p>Manter zonas restritas ou de acesso limitado nos locais da atividade eruptiva.</p>
<b>V3</b>	<p>Reduzir as zonas de exclusão de acordo com o perigo existente.</p> <p>Promover ações de limpeza e remoção nas restantes zonas de risco. Restabelecer infraestruturas críticas.</p> <p>Manter as zonas restritas ou de acesso limitado de acordo com os níveis de gases vulcânicos.</p> <p>Promover avaliações técnicas dos edifícios, averiguando a segurança dos mesmos.</p> <p>Determinar o regresso da população da zona A, à exceção da população mais vulnerável, e a retoma de algumas atividades.</p>
<b>V2</b>	<p>Desativar os planos de emergência.</p> <p>Promover ações de limpeza e remoção nas restantes zonas de risco.</p> <p>Promover o regresso da população vulnerável e da população da zona C. Determinar a retoma de todas as atividades.</p> <p>Avaliar as condições de segurança dos edifícios afetados.</p> <p>Zonas restritas ou de acesso limitado de acordo com os níveis de concentração de gases vulcânicos existentes.</p>
<b>V1</b>	<p>Promover ações de reconstrução.</p> <p>Manter as zonas restritas ou de acesso limitado de acordo com os níveis de concentração de gases vulcânicos</p> <p>Avaliar a resposta da proteção civil, introduzindo as correções das falhas identificadas. Revisão de planos de emergência.</p>
<b>V0</b>	<p>Promover ações de reconstrução.</p> <p>Manter as zonas restritas ou de acesso limitado de acordo com os níveis de concentração de gases vulcânicos.</p> <p>Atividades e procedimentos normais.</p>

## 7.2. CONCLUSÕES GERAIS

O enquadramento geodinâmico que o arquipélago dos Açores exhibe explica as condições propícias à existência de sismicidade e vulcanismo em quase todas as ilhas que o integram. Realmente, tal como nos mostra a história dos Açores existem vários exemplos de eventos eruptivos que afetaram de forma significativa a população, bens e o ambiente, resultando em consequências socioeconómicas relevantes para a região. Localizado na parte central da ilha de São Miguel, o Vulcão do Fogo é um vulcão ativo onde já se registaram pelo menos seis erupções explosivas de natureza traquítica nos últimos cinco mil anos, incluindo a última do tipo Pliniano nos Açores. A sua história eruptiva evidencia bem o seu carácter explosivo e o potencial destruidor, resultado da combinação de diversos perigos vulcânicos diretos e indiretos. Assim, é

de se esperar que um próximo evento neste vulcão represente também uma ameaça significativa à população e outros elementos vulneráveis. De facto, considerando o enquadramento atual e a análise dos elementos expostos suscetíveis de serem afetados pelos produtos do cenário eruptivo mais provável, é possível averiguar os potenciais impactos e constrangimentos significativos que podem advir de um evento semelhante.

Contudo, apesar do vulcanismo ativo ser uma realidade presente nos Açores, o planeamento específico para o perigo vulcânico é escasso e, atualmente, a nível de proteção civil não existem procedimentos estabelecidos que devam ser desencadeados face aos níveis de alerta científico para a caracterização do estado de atividade sismovulcânica na região dos Açores, conforme definidos por Gaspar *et al.* (2012). Esta lacuna, aliada à ausência de legislação base ou desatualizada, como se verificou através da exposição sobre o sistema de proteção civil dos Açores, evidenciam uma falha importante na fase de mitigação e preparação face ao perigo vulcânico nos Açores.

A gestão de crises vulcânicas corresponde a um processo de elevada complexidade. A análise dos principais desafios e particularidades evidenciam as dificuldades que podem emergir neste processo, exigindo o envolvimento de diversos atores com as respetivas responsabilidades apresentando um carácter multidisciplinar e interinstitucional. A relação entre cientistas e proteção civil consiste numa das mais críticas para o sucesso da gestão de crises vulcânicas. Com base na análise desta relação, ficou patente a importância da interpretação da informação científica em termos de proteção civil, sendo os níveis de alerta vulcânico uma das formas mais utilizadas pelos cientistas para comunicar o estado de atividade nos sistemas vulcânicos ativos.

Antes, foi necessário desenvolver o cenário eruptivo que envolvesse a subida e descida dos níveis de alerta científico com base na erupção considerada mais provável para este vulcão, nomeadamente, descrevendo a fase pré-eruptiva, eruptiva e pós-eruptiva, utilizando os eventos da erupção histórica semelhante e os que se esperam numa erupção com estas características.

Tendo o cenário definido, procedeu-se à discussão sobre a organização das ações de resposta e medidas de mitigação a desenvolver pela proteção civil como reação a cada alteração do nível de alerta científico vulcânico. Antes disso, realizou-se a interpretação da informação científica em termos de proteção civil, que permitisse justificar e traduzir o nível de resposta ajustado à atividade que se observava em cada momento da crise.

Concluiu-se que a resposta de proteção civil deve ser coerente com a informação científica e gradual no tempo, no entanto, não deve limitar-se a reagir apenas à subida e descida do nível de

alerta, mas também a outros fatores que surgem em cada estado de atividade. Efetivamente, o processo deve ser progressivo, começando pelo reconhecimento de uma situação anormal até atingir um nível máximo de preparação possível, com o menor número de elementos expostos nas áreas de maior risco. Numa fase inversa, a resposta também deve acompanhar gradualmente a descida dos níveis de alerta científico, já que o retorno a uma situação de normalidade implica tantos ou mais desafios do que a fase pré-erupção.

Contudo, nem sempre foi possível definir um momento exato para desencadear determinadas decisões, pois requeriam contextos que eram possíveis de conjecturar neste âmbito. A política inerente às decisões que envolvem custos socioeconómicos significativos, como a evacuação ou o retorno da população, principalmente, em relação ao momento mais adequado e a amplitude das medidas, compreenderam um desafio particular neste exercício, uma vez que, dependem essencialmente do nível de risco aceitável por parte do decisor.

Finalmente, foi possível estabelecer uma proposta de ações e medidas de resposta de proteção civil para cada nível de alerta científico que se mostram mais adequadas para alcançar o propósito das atividades de proteção civil. Neste resumo, tentou-se transmitir o processo gradual que deve acompanhar a resposta de proteção civil, já que os momentos escolhidos em cada nível de alerta, dependem intrinsecamente das características dos políticos ou órgãos sociais incumbidos das deliberações que envolvem uma análise sobre as consequências socioeconómicas associadas.

Neste caso abordou-se um cenário de evolução relativamente lenta, tal como se espera para uma erupção semelhante à considerada, ao contrário do expectável noutros contextos. Efetivamente, algumas erupções podem ser antecidas por percursos pouco claros e/ou mais concentrados no tempo, exigindo, portanto, uma resposta de proteção civil diferente. Sendo assim, para futuros trabalhos reconhece-se a necessidade de discutir ações de resposta a desenvolver em outros tipos de sistemas vulcânico, uma vez que cada realidade apresenta as suas particularidades que, certamente, se refletem no modo de atuação da proteção civil.

### **7.2.1. Recomendações/Sugestões**

Quando se aborda um perigo como o vulcânico, com as suas particularidades e desafios, onde se inclui a imprevisibilidade e a incerteza associadas, mostra-se crítico e urgente abordar formas de prevenção e preparação face a este perigo. Assim, no processo de elaboração da presente

dissertação e com base nos eventos recentes, podem-se destacar alguns pontos que merecem atenção particular e que requerem progresso nos próximos tempos.

Em relação aos instrumentos legislativos, apesar de se verificarem melhorias nos últimos anos, ainda é evidente a necessidade de atualizar e alterar alguns diplomas importantes. Efetivamente, as organizações das estruturas de proteção civil devem evoluir de acordo com o tempo, acompanhando as particularidades e as necessidades do momento atual. Além disso, destaca-se a ausência de adaptação para a região de alguns instrumentos de nível nacional. Tal como a legislação, as estruturas, os meios e recursos devem respeitar o desenvolvimento da sociedade. É fundamental investir em equipamentos e recursos atuais, promovendo a atualização e a modernização do sistema.

No âmbito do planeamento de emergência e exercícios, identifica-se desde logo a ausência de exercícios de proteção civil à escala real (LIVEX), em cenário de erupção vulcânica nos Açores. Estes exercícios, que devem envolver a participação das várias entidades e da comunidade, contribuem para melhorar a relação e articulação entre os intervenientes numa situação real, permitem treinar procedimentos, identificar aspetos a melhorar e introduzir as correções necessárias nos planos de emergência. Ainda nesta temática, averigua-se a necessidade de elaborar planos especiais para o perigo vulcânico nos Açores, que atualmente são escassos e, inclusive, até há pouco tempo eram inexistentes.

No que diz respeito à relação entre cientistas e proteção civil nos Açores, é importante que se mantenha uma distinção clara de papéis seja em situação de crise ou de normalidade, permitindo que os cientistas oficiais trabalhem sem pressões políticas, de forma independente dos interesses dos vários setores socioeconómicos. De facto, é notório que uma erupção ou apenas a possibilidade da mesma pode resultar em prejuízos sociais e económicos significativos, principalmente, quando se trata dos setores que contribuem mais para a economia da região. No entanto, é relevante salientar que a salvaguarda da vida das pessoas deve ser o objetivo principal de qualquer atividade de proteção civil e, para isso, as medidas implementadas devem ser coerentes com a informação dos cientistas responsáveis pela vigilância e comunicação do estado de atividade dos sistemas vulcânicos.

Como demonstram os estudos sobre a perceção do risco vulcânico nos Açores, esta encontra-se realmente desajustada. Portanto, na área da sensibilização, informação e educação da população, destaca-se a necessidade de disponibilizar mais e melhor informação sobre o perigo vulcânico nos Açores. Atualmente, existem diversas formas de divulgar informação sobre os perigos e que, devidamente exploradas, permitem alcançar o público-alvo. Neste aspeto, é

importante considerar a população temporária, já que os números turísticos continuam a aumentar numa região vulcanicamente ativa. Melhorar a divulgação do estado atual dos sistemas vulcânicos, explicando as escalas de alerta existentes, pode contribuir para aumentar o conhecimento do risco vulcânico entre a população.

Quanto às medidas de mitigação estruturais e de ordenamento do território, destacam-se a construção de edifícios sísmo-resistentes, aos projéteis de trajetória balística e ao peso das cinzas, principalmente, quando estes se localizam junto a vias de acesso a utilizar numa eventual evacuação; evitar a construção em áreas de elevada suscetibilidade a escoadas de lama ou detritos (*lahars*) e, se possível, realojar a população que já habita, principalmente, nas zonas em que não é viável estabelecer sistemas de aviso e alerta; e promover a análise da vulnerabilidade das infraestruturas críticas aos impactos dos vários perigos que podem surgir numa crise vulcânica, estabelecer estratégias para manter a sua operacionalidade e definir alternativas viáveis.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aguiar, S., Pacheco, J., & Pimentel, A. (2018). Eruptive history of the 1563 eruption Of Fogo Volcano (S. Miguel, Azores). *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 776.
- Barberi, F., Civetta, L., Rosi, M., & Scandone, R. (2009). Chronology of the 2007 eruption of Stromboli and the activity of the Scientific Synthesis Group. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 182: 123-130.
- Barberi, F., Davis, M. S., Isaia, R., Nave, R., & Ricci, T. (2008). Volcanic risk perception in the Vesuvius population. *Journal Of Volcanology and Geothermal Research*, 172: 244-258.
- Barsotti, S., Oddsson, B., Gudmundsson, M.T., Pfeffer, M.A., Parks, M.M., Ófeigsson, B.G., Sigmundsson, F., Reynisson, V., Jónsdóttir, K., Roberts, M.J., Heiðarsson, E.P., Jónasdóttir, E.B., Einarsson, P., Jóhannsson, T., Gylfason, Á.G. & Vogfjörd, K. (2020). Operational response and hazards assessment during the 2014–2015 volcanic crisis at Bárðarbunga volcano and associated eruption at Holuhraun, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 390, 106753.
- Baxter, P. J., Aspinall, W. P., Neri, A., Zuccaro, G., Spence, R. J. S., Cioni, R., & Woo, G. (2008). Emergency planning and mitigation at Vesuvius: A new evidence-based approach. *Journal Of Volcanology and Geothermal Research*, 178: 454-473.
- Benessia, A. & De Marchi, B. (2017). When the earth shakes... and science with it. The management and communication of uncertainty in the L'Aquila earthquake. *Futures*, 91: 35-45.
- Bertolaso, G., De Bernardinis, B., Bosi, V., Cardaci, C., Ciolli, S., Colozza, R., Cristiani, C., Mangione, D., Ricciardi, A., Rosi, M., Scalzo, A. & Soddu, P. (2009). Civil protection preparedness and response to the 2007 eruptive crisis of Stromboli volcano, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 182: 269-277.
- Bignami, C., Bosi, V., Costantini, L., Cristiani, C., Lavigne, F., & Thierry, P. (2013). Handbook for Volcanic Risk Management: an outcome from MIAVITA project. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 13, 10709.
- Bird, D. K., Gísladóttir, G., & Dominey-Howes, D. (2009). Resident perception of volcanic hazards and evacuation procedures. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: 251-266.

- Bird, D. K., Gisladdottir, G., & Dominey-Howes, D. (2010). Volcanic risk and tourism in southern Iceland: Implications for hazard, risk and emergency response education and training. *Journal Of Volcanology and Geothermal Research*, 189: 33-48.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. & Wisner, B. (1994). Vulnerability and Hazard Types. In: Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. & Wisner, B. (Eds.), *At risk: natural hazards, peoples's vulnerability, and disasters*. Routledge, 2: 125-319, doi: 10.4324/9780203714775.
- Blong, R. (1984a). *Volcanic hazards. A sourcebook on the effects of eruptions*. Academic Press, doi: 10.1016/C2009-0-21853-8.
- Blong, R. (1984b). Public Views on Disaster Response and The News Media - Some Australian Examples. *Australian Counter Disaster College*, 250-262.
- Blong, R. (2000). Volcanic Hazards and Risk Management. In: H. Sigurdsson, B. Houghton, McNutt Stephen, H. Rymer, & J. Stix (Eds.), *Encyclopedia of Volcanoes (1<sup>st</sup> Edition)*. Academic Press, 8: 1215-1227.
- Booth, B., Croasdale, R., Walker, G. P. L. (1978). A quantitative study of five thousand years of volcanism on Sao Miguel, Azores. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 228: 271-319.
- Booth, B., Croasdale, R., Walker, G. P. L. (1983). Volcanic hazard on São Miguel, Azores. In: Tazieff, H. & Sabroux, J.-C. (Eds.), *Forecasting volcanic events*. Elsevier Amsterdam, 99-109.
- Bretton, R. J., Ciolli, S., Cristiani, C., Gottsmann, J., Christie, R., & Aspinall, W. (2018). Volcanic Unrest Simulation Exercises: Checklists and Guidance Notes. Volcanic Unrest. *Advances in Volcanology. Springer*, 271-298.
- 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: 307 p.
- Carmo, R., Gaspar, J.L., Ferreira, T., Queiroz, G., Medeiros, J., Goulart, C. (2023). Vigilância vulcanológica, avaliação de riscos e difusão de informação no arquipélago dos Açores. Livro de Resumos do XI Congresso Nacional de Geologia, Coimbra, Portugal, 265-266.
- Carmo, R., Madeira, J., Ferreira, T., Queiroz, G. & Hipólito, A. (2015). Volcano-tectonic structures of São Miguel Island, Azores. In: Gaspar, J. L., Guest, J. E., Duncan, A. M., Barriga, F. J. A.

- S. & Chester, D. K. (Eds) *Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*, Geological Society of London Memoir, 44: 65–86, doi: 10.1144/M44.6.
- Coutinho, R., Chester, D. K., Wallenstein, N. & Duncan, A. M. (2010). Responses to, and the short and long-term impacts of the 1957/1958 Capelinhos volcanic eruption and associated earthquake activity on Faial, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 196: 265–280.
- Coutinho, R., Pimentel, A. & Pacheco, J. (2008). *Na Rota dos Vulcões – Guia Geológico da Ilha do Faial*. Secretaria Regional do Ambiente e do Mar, ADELIAÇOR, doi: 10.13140/RG.2.1.3006.8325.
- D' Araújo, J., Sigmundsson, F., Ferreira, T., Okada, J., Lorenzo, M., Silva, R., Carmo, R., & Gaspar, J. L. (2022). Multiple inflation and deflation events from 2004 to 2016 at Fogo (Água de Pau) volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 432, 107694.
- De la Cruz-Reyna, S. (1995). Un código de alerta para el manejo de emergencias antes y durante potenciales erupciones del Volcán Popocatepetl. *In Volcán popocatepetl estudios realizados durante la crisis de 1995*. Coedición del Sistema Nacional De Protección Civil, el Centro Nacional De Prevención De Desastres y la Unam, 327–333.
- De la Cruz-Reyna, S., & Tilling, R. I. (2008). Scientific and public responses to the ongoing volcanic crisis at Popocatepetl Volcano, Mexico: importance of an effective hazards-warning system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 170: 121-134.
- De Natale, G., Troise, C., & Somma, R. (2020). Invited perspectives: The volcanoes of Naples: how can the highest volcanic risk in the world be effectively mitigated?. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20: 2037-2053.
- Dibben, C. & Chester, D. (1999). Human vulnerability in volcanic environments: the case of Furnas, São Miguel, Açores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92: 133 – 150.
- Dohaney, J., Brogt, E., Kennedy, B., Wilson, T. M., & Lindsay, J. M. (2015). Training in crisis communication and volcanic eruption forecasting: design and evaluation of an authentic role-play simulation. *Journal of Applied Volcanology*, 4: 1-26.
- Dolce, M. & Di Bucci, D. (2015). Risk management: roles and responsibilities in the decision-making process. *In: Wyss, M. & Peppoloni, S. (Eds.), Geoethics: ethical challenges and case studies in earth science. Elsevier*, 4: 211-221.

- Donovan, A., & Oppenheimer, C. (2014). Science, policy and place in volcanic disasters: Insights from Montserrat. *Environmental Science & Policy*, 39: 150-161.
- Donovan, A. R., & Oppenheimer, C. (2015). Modelling risk and risking models: The diffusive boundary between science and policy in volcanic risk management. *Geoforum*, 58: 153-165.
- Doyle, E. E., Paton, D., & Johnston, D. M. (2015). Enhancing scientific response in a crisis: evidence-based approaches from emergency management in New Zealand. *Journal of Applied Volcanology*, 4: 1-26.
- Doyle, E.E., McClure, J., Paton, D. & Johnston, D.M. (2014). Uncertainty and decision making: Volcanic crisis scenarios. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10: 75-101.
- Fearnley, C. J., Bird, D. K., Haynes, K., McGuire, W. J. & Jolly, G. (2018). *Observing The Volcano World: Volcano Crisis Communication*. Springer, doi: 10.1007/978-3-319-44097-2.
- Fernandes, R. M. S., Ambrosius, B. A. C., Noomen, R., Bastos, L., Wortel, M. J. R., Spakman, W., & Govers, R. (2003). The relative motion between Africa and Eurasia as derived from ITRF2000 and GPS data. *Geophysical Research Letters*, 30, 1828.
- Fontes, C. (2017). *Plano Supramunicipal de Emergência de Proteção Civil da Ilha Terceira – Contributo para o Plano Regional de Emergência de Proteção Civil*. Dissertação de Mestrado em Riscos e Proteção Civil. Escola Superior de Segurança, Tecnologia e Aviação. Instituto Superior de Educação e Ciências de Lisboa, 119 p.
- Fournier d'Albe, E. M. (1979). Objectives of volcanic monitoring and prediction. *Journal of the Geological Society*, 136: 321-326.
- Freire, S., Florczyk, A. J., Pesaresi, M., & Sliuzas, R. (2019). An improved global analysis of population distribution in proximity to active volcanoes, 1975–2015. *ISPRS International Journal Of Geo-Information*, 8: 341.
- Frutuoso, G. (1522-1591). *Livro Quarto das Saudades da Terra*. In: Frutuoso, G., Saudades da Terra, 2ª ed. Ponta Delgada. Instituto Cultural de Ponta Delgada, 1981.
- 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: 260 p.
- Gaspar, J.L. (2004) - *Os cientistas, as autoridades, os media e o público: histórias de crises vulcânicas que fizeram História*. Sumário da lição de síntese da disciplina de Gestão de

- Crises e Mecanismos de Resposta. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 18p.
- Gaspar, J. L., Barriga, F., Miranda, J.M. (2001). A Erupção Submarina da Serreta no Quadro da Actividade Vulcânica Histórica dos Açores. 2º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG, 110.
- Gaspar, J. L., Guest, J. E., Queiroz, G., Pacheco, J., Pimentel, A., Gomes, A., Marques, R., Felpeito, A., Ferreira, T. & Wallenstein, N. (2015a). 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. & Chester, D. K. (Eds), Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*. Geological Society of London Memoir, 44: 155-166.
- Gaspar, J.L., Queiroz, G. & Ferreira, T. (2012). Escala de Alertas Científicos para a Caracterização do Estado da Atividade Sismovulcânica da Região dos Açores.
- Gaspar, J. L., Queiroz, G., Ferreira, T., Medeiros, A. R., Goulart, C., Medeiros, J. (2015b). 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. & Chester, D. K. (Eds), Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*. Geological Society of London Memoir, 44: 33–49.
- Gaspar, J. L. & Wallenstein, N. (1999). Submarine eruption west of Terceira Island (Azores). Preliminary report. *Bulletin of Global Volcanism Network*, 24: 1.
- GEBCO\_08 (2010). IHO-UNESCO, General Bathymetry Chart of the Oceans, digital edition – disponível em [gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data](http://gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data).
- Giordano, G., Bretton, R., Calder, E., Cas, R., Gottsmann, J., Lindsay, J., Newhall, C. Pallister, J., Papale, P. & Rodriguez, L. (2016). Toward IAVCEI guidelines on the roles and responsibilities of scientists involved in volcanic hazard evaluation, risk mitigation, and crisis response. *Bulletin of Volcanology*, 78: 1-3.
- Gomes, A., Gaspar, J. L., & Queiroz, G. (2006). Seismic vulnerability of dwellings at Sete Cidades Volcano (S. Miguel Island, Azores). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6: 41-48.
- Gottsmann, J., Neuberg, J., & Scheu, B. (2018). *Volcanic Unrest: From Science to Society*. Springer Nature, doi: 10.1007/978-3-319-58412-6.

- Graham, O., Edwards, S. & Robertson, R. (2022). Managing stakeholder relationships for improved situation awareness during volcanic emergencies: An Eastern Caribbean case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 67, 102656.
- Haynes, K., Barclay, J., & Pidgeon, N. (2007). Volcanic hazard communication using maps: an evaluation of their effectiveness. *Bulletin of Volcanology*, 70: 123-138.
- Haynes, K., Barclay, J., & Pidgeon, N. (2008). Whose reality counts? Factors affecting the perception of volcanic risk. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172: 259-272.
- Jóhannesdóttir, G., & Gísladóttir, G. (2010). People living under threat of volcanic hazard in southern Iceland: vulnerability and risk perception. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10: 407-420.
- Jolly, G. & de la Cruz, S. (2015). Volcanic crisis management. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H. & Stix, J. (Eds.), *The Encyclopedia of Volcanoes (2<sup>nd</sup> Edition)*. Academic Press, 68: 1187-1202.
- Jumadi, Carver, S., & Quincey, D. (2016). A conceptual framework of volcanic evacuation simulation of Merapi using agent-based model and GIS. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 227: 402-409.
- Komendantova, N., Mrzyglocki, R., Mignan, A., Khazai, B., Wenzel, F., Patt, A. & Fleming, K. (2014). Multi-hazard and multi-risk decision-support tools as a part of participatory risk governance: Feedback from civil protection stakeholders. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 8: 50-67.
- Laughton, A. & Whitmarsh, R. (1974). The Azores-Gibraltar plate boundary. In Kristjansson (Ed.), *Geodinamics of Iceland and the North Atlantic Area*, Springer Netherlands, 63-81.
- Laughton, A., Whitmarsh, R., Rusby, J., Somers, M.L., Revie, J., McCartney, B. & Nafe, J.E. (1972). A continuous East-West fault on the Azores-Gibraltar Ridge. *Nature*, 237: 217-220.
- Lowenstern, J. B., Wallace, K., Barsotti, S., Sandri, L., Stovall, W., Bernard, B., Privitera, E., Komorowski, J. C., Fournier, N., Balagizi, C., & Garaebiti, E. (2022). Guidelines for volcano-observatory operations during crises: recommendations from the 2019 volcano observatory best practices meeting. *Journal of Applied Volcanology*, 11: 1-24.
- 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 Avaliação de Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 136 p.
- Malheiro, A. (2006). Geological hazards in the Azores archipelago: Volcanic terrain instability and human vulnerability. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 156: 158-171.
- Marques, R., Amaral, P., Araújo, I., Gaspar, J. L. & Zêzere, J. L. (2015). Landslides on São Miguel Island (Azores): susceptibility analysis and validation of rupture zones using a bivariate GIS-based statistical approach. In: Gaspar, J. L., Guest, J. E., Duncan, A. M., Barriga, F. J. A. S. & Chester, D. K. (Eds), *Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*. Geological Society of London Memoir, 44: 167–184.
- Marzocchi, W., & Bebbington, M. S. (2012). Probabilistic eruption forecasting at short and long time scales. *Bulletin of volcanology*, 74: 1777-1805.
- Marzocchi, W., & Woo, G. (2007). Probabilistic eruption forecasting and the call for an evacuation. *Geophysical Research Letters*, 34, 22310.
- Marzocchi, W., Newhall, C. & Woo, G. (2012). The scientific management of volcanic crises. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 247: 181-189.
- Marzocchi, W., Papale, P., Sandri, L. & Selva, J. (2021). Reducing the volcanic risk in the frame of the hazard/risk separation principle. In: Papale, P. (Ed.), *Forecasting and Planning for Volcanic Hazards, Risks, and Disasters*. Elsevier, 14: 545-564, doi: 10.1016/B978-0-12-818082-2.00014-7.
- Medeiros, J. (2018). *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 em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade dos Açores: 129 p.
- Medeiros, J., Carmo, R., Pimentel, A., Vieira, J. & Queiroz, G. (2021). Assessing the impact of explosive eruptions of Fogo volcano (São Miguel, Azores) on the tourism economy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21: 417–437.
- Miranda, J., Luis, J., Lourenço, N. & Fernandes, R. (2015). The structure of the Azores Triple Junction: implications for Sao Miguel Island. *Geological Society of London Memoir*. 44: 5-13, doi: 10.1144/M44.2.

- Muecke, G.K., Ade-Hall, J.M., Aumento, F., Macdonald, A., Reynolds, P.H., Hyndman, R.D., Quintino, J., Opdyke, N. & Lowrie, W. (1974). Deep drilling in an active geothermal area in the Azores. *Nature*, 252: 281-285.
- Nakada, S., Miyagi, Y., Kubo, T., & Fujita, E. (2019). Conveying volcano information effectively to stakeholders—A new project for promotion of next generation volcano research. *Journal of Disaster Research*, 14: 623-629.
- Needham, H. D. & 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.
- Newhall, C. G. & Self, S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research*, 87: 231–1238.
- Newhall, C. G., Pallister, J. S., & Miller, C. D. (2021). A checklist for crisis operations within volcano observatories. In: Papale, P. (Ed.), *Forecasting and planning for Volcanic hazards, risks, and disasters*. Elsevier, 13: 493-544.
- Pacheco, J., Ferreira, T., Queiroz, G., Wallenstein, N., Coutinho, R., Cruz, J. V., Pimentel, A., Silva, R., Gaspar, J. L. & Goulart, C. (2013). Notas sobre geologia do arquipélago dos Açores. In Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J.C. (Eds). *Geologia de Portugal*. Escolar Editora, 2: 596-690.
- Papale, P. (2017). Rational volcanic hazard forecasts and the use of volcanic alert levels. *Journal of Applied Volcanology*, 6: 1-13.
- Papale, P. (2021). Some relevant issues in volcanic hazard forecasts and management of volcanic crisis. In: Papale, P. (Ed.), *Forecasting and planning for volcanic hazards, risks, and disasters*. Elsevier, 1: 1-24.
- Papale, P., & Marzocchi, W. (2019). Volcanic threats to global society. *Science*, 363: 1275-1276.
- Paton, D., Johnston, D., & Houghton, B. F. (1998). Organisational response to a volcanic eruption. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 7: 5-13.
- Perry, R. W., & Godchaux, J. D. (2005). Volcano hazard management strategies: Fitting policy to patterned human responses. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 14: 183-195.
- Peterson, D. W. (1988). Volcanic hazards and public response. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 93: 4161-4170.

- Peterson, D. W. (1996). Mitigation Measures and Preparedness Plans for Volcanic Emergencies. *In: Scarpa & Tilling, R. (Eds.), Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*. Springer, 701-718.
- Pimentel, A., Pacheco, J. & Felpeito, 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). *Geophysical Research Abstracts*, 8, EGU06-A-04983.
- Pomonis, A., Spence, R. & Baxter, P. (1999). Risk assessment of residential buildings for an eruption of Furnas Volcano, Sao Miguel, the Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92, 107–31.
- Potter, S.H., Jolly, G.E., Neall, V.E., Johnston, D.M., & Scott, B.J. (2014). Communicating the status of volcanic activity: revising New Zealand’s volcanic alert level system. *Journal of Applied Volcanology*, 3: 1-16.
- Rego, I. E. & Arrozo, A. M. (2012). Places of fear and attachment. How Azoreans perceive seismic and volcanic risk. *Global Journal of Community Psychology Practice*, 3: 1-9.
- Rego, I. E., Pereira, S. M., Morro, J., & Pacheco, M. P. (2018a). Perceptions of seismic and volcanic risk and preparedness at São Miguel Island (Azores, Portugal). *International journal of disaster risk reduction*, 31: 498-503.
- Rego, I. E., Pereira, S. M., & Pacheco, M. P. (2018b). People, places and volcanoes. A study on risk perception in the Azores (Portugal). *Geographies of the Anthropocene*, 51.
- Rolandi, G. (2010). Volcanic hazard at Vesuvius: An analysis for the revision of the current emergency plan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 189: 347-362.
- Scolobig, A., Mechler, R., Komendantova, N., Liu, W., Schröter, D. & Patt, A. (2014). The co-production of scientific advice and decision making under uncertainty: lessons from the 2009 L'Aquila earthquake, Italy. *Planet@ risk*, 2: 71-76.
- Silva, R. (2023). Monitorização multiparamétrica dos sistemas vulcânicos ativos dos Açores. *Açores Magazine*, 12-13.
- Silva, R., Carmo, R. & Marques, R. (2020). Characterization of the tectonic origins of historical and modern seismic events and their societal impact on the Azores Archipelago, Portugal. *Geological Society of London Memoir*, 501, doi: 10.1144/SP501-2019-106.
- Silva, R., Ferreira, T., Medeiros, A., Carmo, R., Luís, R., Wallenstein, N. & 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. & 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.
- Solana, M.C., Kilburn, C.R. & Rolandi, G. (2008). Communicating eruption and hazard forecasts on Vesuvius, Southern Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172, 308-314.
- Spence, R., Pomonis, A., Baxter, P.J., Coburn, A., White, M. & Dayrit, M. (1996). Building damage caused by the Mount Pinatubo eruption of June 15, 1991. Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines. *Philippine Institute of Volcanology and Seismology*, 1055-1061.
- Spence, R., Kelman, I., Baxter, P.J., Zuccaro, G. & Petrazzuoli, S. (2005). Residential building and occupant vulnerability to tephra fall. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5: 477-494.
- SREA (2021). Censos 2021: Resultados Preliminares. Serviço Regional de Estatística dos Açores, Açores.
- SRPCBA (2023). Caderno Técnico SRPCBA 01#2023 - Manual de apoio à elaboração e operacionalização de Planos de Emergência de Proteção Civil.
- Tavares, C. (2021). *Consequências e impactes dos eventos de precipitação extrema nas operações de proteção e socorro. O caso do Baixo Mondego*. Dissertação de Mestrado em Gestão de Emergência e Socorro. Instituto Superior de Ciências da Informação e Administração: 81 p.
- Trota, A. (2008). *Estudos de deformação crustal nas ilhas de S. Miguel e Terceira (Açores): Avaliação da actividade vulcânica na área do Fogo/Congro (S. Miguel)*. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade Geodesia. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores: 281 p.
- Viveiros, F., Gaspar, J.L., Ferreira, T., Silva, C., Marcos, M. & Hipólito, A. (2015). Mapping of soil CO<sub>2</sub> diffuse degassing at São Miguel Island and its public health implications. In: Gaspar, J.L., Guest, J.E., Duncan, A.M., Barriga, F.J.A.S. & Chester, D.K. (Eds.), *Volcanic Geology of São Miguel Island (Azores Archipelago)*. Geological Society of London Memoir, 44: 185-195, doi: 10.1144/M44.14.
- Walker, G.P.L. & 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. & 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., Chester, D., & Marques, R. (2007). Fogo volcano (Sao Miguel, Azores): a hazardous edifice. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 13: 259-270.
- Wallenstein, N., Duncan, A., Guest, J.E. & Almeida, M.H. (2015a). Eruptive history of Fogo Volcano, São Miguel, Azores. In: Gaspar, J.L., Guest, J.E., Duncan, A.M., Barriga, F.J.A.S. & 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.
- Wallenstein, N., Chester, D., Coutinho, R., Duncan, A. & Dibben, C. (2015b). Volcanic hazard vulnerability on Sao Miguel Island, Azores. *Geological Society of London Memoir*, 16: 213-225, doi: 10.1144/M44.16.
- Wilson, G., Wilson, T., Deligne, N., Blake, D. & Cole, J. (2017). Framework for developing volcanic fragility and vulnerability functions for critical infrastructure. *Journal of Applied Volcanology*, 6: 14.
- Winson, A. E., Costa, F., Newhall, C. G., & Woo, G. (2014). An analysis of the issuance of volcanic alert levels during volcanic crises. *Journal of Applied Volcanology*, 3: 1-12.
- Zêzere, J. L., Pereira, A. R., & Morgado, P. (2006). Perigos naturais e tecnológicos no território de Portugal Continental. *Apontamentos de Geografia-Série Investigação*, 19.

**LEGISLAÇÃO**

Aviso n.º 10860/2009, de 12 de maio – Aprova a organização dos serviços municipais da Câmara Municipal de Lagoa (RAA).

Aviso n.º 6486/2010, de 8 de março - Aprova o presente Regulamento do Serviço Municipal de Proteção Civil do Concelho de Vila Franca do Campo.

Aviso n.º 760/2005, de 6 de janeiro – Altera a estrutura orgânica dos serviços municipais e quadro de pessoal da Câmara Municipal da Povoação.

Decreto 112/2018, de 30 de julho - Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por riesgo volcánico en la Comunidad Autónoma de Canarias (PEVOLCA).

Decreto Legislativo Regional n.º 26/2019/A, alterado pelo Decreto Legislativo Regional n.º 12/2021/A – Cria o Regime Jurídico do Sistema de Proteção Civil da Região Autónoma dos Açores.

Decreto Legislativo Regional n.º 24/2011/A, de 22 de agosto - Aprova o sistema portuário dos Açores.

Decreto Legislativo Regional n.º 7/99/A, de 19 de março, alterado e republicado pelo Decreto Legislativo Regional n.º 39/2006/A, de 31 de outubro – Estabelece a orgânica do Serviço Regional de Proteção Civil e de Bombeiros dos Açores.

Decreto Regulamentar Regional n.º 11/2007/A, de 23 de abril – Altera a orgânica e o quadro de pessoal do Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores.

Decreto Regulamentar Regional n.º 24/2003/A – Aprova a orgânica do Serviço Regional de Proteção Civil e de Bombeiros dos Açores

Decreto Regulamentar Regional n.º 6/2022/A, de 29 de abril - Estabelece a nova orgânica do XIII Governo Regional dos Açores.

Decreto-Lei n.º 2/2019, de 11 de janeiro - Institui o Sistema Nacional de Monitorização e Comunicação de Risco, de Alerta Especial e de Aviso à População.

Decreto-Lei n.º 20/2022, de 28 de janeiro - Aprova os procedimentos para identificação, designação, proteção e aumento da resiliência das infraestruturas críticas nacionais e europeias.

Decreto-Lei n.º 45/2019, de 1 de abril - Aprova a orgânica da Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil.

Despacho n.º 3317-A/2018, de 3 de abril – Revê o Sistema de Gestão de Operações (SGO).

Diretiva Operacional Nacional n.º 1 ANEPC – Dispositivo Integrado das Operações de Proteção e Socorro.

Edital n.º 1166/2019, de 3 de outubro – Estabelece o regulamento do Serviço Municipal de Proteção Civil da Ribeira Grande.

Lei n.º 27/2006, de 3 de julho, alterada e republicada pela Lei n.º 80/2015, de 3 de agosto – Aprova a Lei de Bases de Proteção Civil.

Lei n.º 65/2007, de 12 de novembro, alterada pelo Decreto-Lei n.º 114/2011, de 30 de novembro – Define o enquadramento institucional e operacional da proteção civil no âmbito municipal, estabelece a organização dos serviços municipais de proteção civil e determina as competências do comandante operacional municipal.

Manual Técnico ANEPC. (2020). Instalação e gestão de Zonas de Concentração e Apoio à População.

Plano Especial de Emergência de Proteção Civil para o Risco Sismovulcânico da ilha de São Jorge.

Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil do concelho da Povoação.

Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil do concelho da Ribeira Grande.

Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil do concelho de Lagoa (R.A.A.).

Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil do concelho de Vila Franca do Campo.

Plano Nacional de Emergência de Proteção Civil.

Resolução da Comissão Nacional de Proteção Civil n.º 30/2015, de 7 de maio – Aprova a diretiva que fixa os Critérios e Normas Técnicas para a Elaboração e Operacionalização de Planos de Emergência de Proteção Civil.

Resolução do Conselho do Governo n.º 161/2016, de 23 de dezembro - Aprova a distribuição dos portos dos Açores pela classe D.

Resolução do Conselho do Governo n.º 55/2019, de 16 de abril – Aprova o Plano Regional de Emergência de Proteção Civil dos Açores.

Resolução do Conselho do Governo n.º 56/2019 - Aprova o regulamento do Sistema Integrado de Operações de Proteção e Socorro da Região Autónoma dos Açores (SIOPS-RAA).

Resolução do Conselho do Governo n.º 84/2008 - Autoriza a participação da Região Autónoma dos Açores na Associação “CIVISA - Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores”.

**UNIVERSIDADE DOS AÇORES**  
**Faculdade de Ciências e Tecnologia**

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



2023

**DM**

# Procedimentos Operacionais Crise Vulcânica no Vulcão do Fogo

David Machado Miranda