

Análise de Ruído Sísmico para a Otimização da Instalação de Estações Sísmicas de Banda Larga na Ilha de S. Miguel

Dissertação de Mestrado

Rodrigo Sousa Arruda

Mestrado em

**VULCANOLOGIA E RISCOS
GEOLÓGICOS**



Ponta Delgada
2018

Análise de Ruído Sísmico para a Otimização da Instalação de Estações Sísmicas de Banda Larga na Ilha de S. Miguel

Dissertação de Mestrado

Rodrigo Sousa Arruda

Orientadores

Professora Doutora Teresa de Jesus Lopes Ferreira
Doutora Rita Alexandra Ávila Melo da Silva Marques

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



ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE ACRÓNIMOS	IX
AGRADECIMENTOS	X
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	1
2. SISMICIDADE NOS AÇORES	4
2.1. Enquadramento geodinâmico	4
2.2. Sismicidade histórica	6
2.3. Sismicidade instrumental	8
3. INSTRUMENTAÇÃO SÍSMICA	14
3.1. Resenha histórica	14
3.2. Princípios de funcionamento de sismómetros	17
3.2.1. Sismómetros mecânicos	17
3.2.2. Sensores de força balanceada - <i>Force Balanced Accelerometers (FBA)</i>	19
3.3. Sismómetros de banda larga	21
4. ANÁLISE DE RUÍDO SÍSMICO	23
4.1. Causas e implicações	23
4.2. Densidade Espectral de Potência	26
4.3. Modelos de ruído sísmico	30
4.4. Caracterização de eventos em gráficos PDF	33
5. SELEÇÃO DE LOCAIS PARA A INSTALAÇÃO DE ESTAÇÕES SÍSMICAS	36
5.1. Aspectos condicionantes à seleção de locais de estudo para a instalação de estações sísmicas	36
5.2. Abrigos sísmicos	39
5.3. Seleção dos locais de estudo	42
6. CAMPANHAS DE CAMPO	45
6.1. Instalação das estações	49
6.2. Manutenção e recolha de dados	59
6.3. Processamento dos dados	62
7. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	65
7.1. Resultados e análise – Estações permanentes	65
7.1.1. Análise de variação diária	73
7.1.2. Análise de variação sazonal	75
7.2. Resultados e análise - Estações temporárias	77
7.3. Análise das condicionantes de ruído	100
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
9. BIBLIOGRAFIA	111

ANEXOS

ANEXO I – Configuração dos parâmetros das estações.....A-1

ANEXO II – PDF das estações permanentes de agosto de 2016A-4

ANEXO III – PDF das estações permanentes de janeiro de 2017A-13

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1

Localização geográfica do arquipélago dos Açores. Mapa apresentado com coordenadas geográficas, datum WGS84. 4

Figura 2.2

Enquadramento tectónico do arquipélago dos Açores, encontrando-se representadas as principais estruturas morfotectónicas. Legenda: NA – placa Norte-Americana; EU – placa Eurasiática; NU – placa Núbia; CMA – Crista Média Atlântica; ZFK – Zona de Fratura Kurchatov; 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; ZFEA – Zona de Fratura Este dos Açores; RT – Rift da Terceira; FG – Falha Glória; FI – Flores; C – Corvo; G – Graciosa; T – Terceira; SJ – S. Jorge; FA – Faial; P – Pico; SMG – S. Miguel; SMA – Sta. Maria; FO – Ilhéus das Formigas; BPA – Banco Princesa Alice, BA – Banco Açor; BJC – Banco D. João de Castro; BM – Banco do Mónaco; BWG – Bacia Oeste da Graciosa; BEG – Bacia Este da Graciosa; FH – Fossa Hirondele; BSM – Bacia de S. Miguel; DF – Desfiladeiro das Formigas (Carmo, 2014). 5

Figura 2.3

Localização epicentral dos principais sismos históricos dos Açores (Gaspar *et al.*, 2015). 8

Figura 2.4

Rede sísmica permanente do CIVISA. Cada ponto vermelho representa uma estação sísmica. Mapa apresentado com coordenadas geográficas, datum WGS84. 10

Figura 2.5

Carta epicentral dos Açores, no período compreendido entre 1 de janeiro de 1997 e 31 de dezembro de 2016 (dados CIVISA, 2017). Zonas sismogénicas definidas pelo CIVISA: 1 – Santa Maria; 2 – São Miguel; 3 – Terceira; 4 – Graciosa; 5 – São Jorge; 6 – Pico; 7 – Faial; 8 – Flores; 9 – Corvo; 10 – Região dos Ilhéus das Formigas; 11 – E dos Açores (Falha Glória); 12 – N dos Açores; 13 – Bacia SE de São Miguel; 14 – Banco Grande Norte; 15 – Bacia de Santa Maria; 16 – N de São Miguel; 17 – Crista do Mónaco; 18 – Bacia Hirondele S; 19 – Banco D. João de Castro; 20 – Bacia Hirondele N; 21 – N da Terceira; 22 – Bacia S da Terceira; 23 – Bacia E da Graciosa; 24 – N da Graciosa; 25 – Canal N de São Jorge; 26 – Canal São Jorge – Pico; 27 – Bacia W da Graciosa; 28 – N do Faial; 29 – Crista do Condor; 30 – Zona N de Fratura dos Açores; 31 – W do Faial; 32 – Crista Média Atlântica; 33 – S dos Açores; 34 – E de Flores e Corvo. Mapa apresentado com coordenadas geográficas, datum WGS84. 13

Figura 3.1

Na mitologia Hindu, o planeta era segurado por oito elefantes que estavam no topo de uma tartaruga gigante. Quando uma destas criaturas se movia ocorria um sismo (Coles, 2013). 14

Figura 3.2

Modelo do sismoscópio de Zhang Heng (*Seismograph*, 2016). 15

Figura 3.3

Esquema de um sismómetro de inércia (*in*: Montalvo, 2005; adaptado de Espíndola e Jiménez, 1994). 18

Figura 3.4

Esquema de funcionamento dos acelerómetros de força balanceada (adaptado de Havskov e Alguacil, 2004). 20

Figura 3.5

Classificação dos diferentes tipos de sensores conforme a sua faixa de frequência (adaptado de Ortiz *et al.* 2001). 21

Figura 4.1

Exemplo de uma série contínua de dados referente a 24 horas de registo na estação SET2. É possível observar algum ruído ao início da manhã e ao final da tarde. 28

Figura 4.2

Exemplo de estimativas de PSD, efetuado a partir de registos individuais. A vermelho, o registo associado à passagem de um automóvel e a azul o registo de fundo da estação (McNamara e Buland, 2004). 29

Figura 4.3

Mapa estações utilizadas na elaboração dos modelos de ruído (Peterson, 1993). 31

Figura 4.4

Representação gráfica das curvas de PSD utilizadas para definir os modelos de ruído. As curvas dos dois modelos estão representadas a vermelho (adaptado de Peterson, 1993). 32

Figura 4.5

Exemplo de PDF onde são demonstrados os efeitos de certos eventos (McNamara e Buland, 2004). 34

Figura 5.1

Exemplo de abrigo sísmico para um sensor de banda larga (adaptado de Trnkoczy *et al.*, 2012). 40

Figura 5.2

Níveis de PSD relativos ao sensor instalado à superfície para os períodos selecionados, referente à componente horizontal das estações. As profundidades foram 0, 4,3, 89 e 152 m (adaptado de Trnkoczy *et al.*, 2012). 41

Figura 5.3

Localização das estações do CIVISA na ilha de S. Miguel. As estações de três componentes estão representadas a vermelho, enquanto que as de uma só componente estão representadas a verde. Mapa apresentado com coordenadas no sistema UTM, datum WGS84 zona 26S. 43

Figura 6.1

Proteção térmica em poliestireno a cobrir o sensor sísmico em SET2. 47

Figura 6.2

Exemplo de variação de temperatura ao longo de um dia em MESC. O dia selecionado foi o que apresentou maior amplitude térmica. 48

Figura 6.3

Aspeto geral da cave sísmica da estação SET2. 49

Figura 6.4

Fosso de SET2. Na parte superior da foto encontra-se o sensor de banda larga dentro da proteção térmica e na parte inferior da foto o sensor de curto período. 50

Figura 6.5

Equipamento em SET2. À esquerda o equipamento de aquisição e transmissão de dados do sensor de curto período, ao centro as baterias ligadas aos painéis solares e à direita o digitalizador da estação de banda larga dentro da caixa de transporte. 51

Figura 6.6

Aspeto geral do abrigo da estação MESC. 52

Figura 6.7

Fosso em MESC. Visível a proteção térmica do sensor de banda larga. O sensor de curto período encontra-se no canto superior direito da base em betão, assinalado a vermelho. 53

Figura 6.8

Equipamento em MESC, já com as baterias extra ligadas e com o digitalizador dentro da caixa de transporte. 54

Figura 6.9

Aspeto geral do abrigo da estação sísmica PFET. 55

Figura 6.10

Aumento da abertura pré-existente para passagem do cabo de GPS. 56

Figura 6.11

Equipamento em PFET. Note-se a ausência de fosso, ficando todo o equipamento ao mesmo nível. 56

Figura 6.12

Localização do Centro Ambiental do Priolo a vermelho, na zona da Reserva Florestal de Recreio da Cancela do Cinzeiro. Mapa apresentado com coordenadas no sistema UTM, datum WGS84 zona 26S. 58

Figura 6.13

Manutenção e recolha de dados em MESC. É utilizado um computador portátil para ligação ao digitalizador, permitindo assim controlar a estação e recolher os dados. 59

Figura 6.14

Estrutura dos dados obtidos antes da fase de tratamento dos mesmos. Cada pasta diária possui um ficheiro para cada componente da estação, mais um ficheiro SOH. 63

Figura 7.1

Estações pertencentes à rede sísmica permanente do CIVISA, na ilha de S. Miguel. As estações calibradas estão representadas a vermelho, enquanto que as estações não calibradas estão representadas a verde. Mapa apresentado com coordenadas no sistema UTM, datum WGS84 zona 26S. 65

Figura 7.2

PDF da estação FRA1, componente vertical, com dados referentes a agosto de 2016. 67

Figura 7.3

PDF da estação MESC, componente vertical, com dados referentes a agosto de 2016. 67

Figura 7.4

PDF da estação PCNG, componente vertical, com dados referentes a agosto de 2016. 68

Figura 7.5

PDF da estação PMAT, componente vertical, com dados referentes a agosto de 2016. 68

Figura 7.6

PDF da estação PRCH, componente vertical, com dados referentes a agosto de 2016. 69

Figura 7.7

PDF da estação PVER, componente vertical, com dados referentes a agosto de 2016. 69

Figura 7.8

PDF da estação VIF, componente vertical, com dados referentes a agosto de 2016. 70

Figura 7.9	
PDF da estação LFA, componente vertical, com dados referentes a agosto de 2016.....	70
Figura 7.10	
PDF da estação CMLA, componente vertical, com dados referentes a agosto de 2016.	71
Figura 7.11	
Valores de moda das componentes verticais das diferentes estações de S. Miguel para o mês de agosto de 2016.....	72
Figura 7.12	
Valores de moda da estimativa de PSD comparando o período noturno (das 22h às 8h) com o período diurno (das 9h às 19h), na componente vertical da estação MESC, utilizando os dados do mês de agosto de 2016.....	74
Figura 7.13	
Valores de moda da estimativa de PSD comparando o período noturno (das 22h às 8h) com o período diurno (das 9h às 19h), na componente vertical da estação PRCH, utilizando os dados do mês de agosto de 2016.....	75
Figura 7.14	
Valores de moda das componentes verticais das estações FRA1 e CMLA para o mês de janeiro de 2017.....	76
Figura 7.15	
Gráfico PDF da estação instalada em SET2 para o período de dados compreendido entre 22 de junho e 13 de julho de 2017.....	80
Figura 7.16	
Gráfico PDF da estação instalada em SET2, para o período noturno, com os dados compreendidos entre 22 de junho e 13 de julho de 2017.....	81
Figura 7.17	
Gráfico PDF da estação instalada em SET2, para o período diurno, com os dados compreendidos entre 22 de junho e 13 de julho de 2017.....	82
Figura 7.18	
Gráfico PDF da estação instalada em MESC para o período de dados compreendido entre 15 de agosto e 3 de setembro de 2017.	85
Figura 7.19	
Gráfico PDF da estação instalada em MESC, para o período noturno, com os dados compreendidos entre 15 de agosto e 3 de setembro de 2017.	86
Figura 7.20	
Gráfico PDF da estação instalada em MESC, para o período diurno, com os dados compreendidos entre 15 de agosto e 3 de setembro de 2017.	87
Figura 7.21	
Gráfico PDF da estação instalada em PFET para o período de dados compreendido entre 24 de agosto e 11 de setembro de 2017.....	90
Figura 7.22	
Gráfico PDF da estação instalada em PFET, para o período noturno, com os dados compreendidos entre 24 de agosto e 11 de setembro de 2017.	91

Figura 7.23	
Gráfico PDF da estação instalada em PFET, para o período diurno, com os dados compreendidos entre 24 de agosto e 11 de setembro de 2017.	92
Figura 7.24	
Localização do ponto de amostragem localizado no Pico do Gaspar, Furnas. Mapa apresentado com coordenadas no sistema UTM, datum WGS84 zona 26S.	93
Figura 7.25	
Aspetto geral da cave sísmica da estação PPGR.	94
Figura 7.26	
Detalhe do fosso bem como da proteção térmica adaptada ao fosso e ao sensor.....	95
Figura 7.27	
Gráfico PDF da estação instalada em PPGR, para o período de dados compreendidos entre 11 de dezembro de 2008 e 1 de fevereiro de 2009.	97
Figura 7.28	
Gráfico PDF da estação instalada em PPGR, para o período noturno, com os dados compreendidos entre 11 de dezembro de 2008 e 1 de fevereiro de 2009.	98
Figura 7.29	
Gráfico PDF da estação instalada em PPGR, para o período diurno, com os dados compreendidos entre 11 de dezembro de 2008 e 1 de fevereiro de 2009.	99
Figura 7.30	
Gráfico PDF da componente vertical da estação CMLA 00.	101
Figura 7.31	
Gráfico PDF da componente vertical da estação CMLA 10.	102
Figura 7.32	
Gráfico PDF da componente horizontal (BH2) da estação CMLA 00.....	103
Figura 7.33	
Gráfico PDF da componente horizontal (BH2) da estação CMLA 10.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Principais sismos históricos dos Açores (intensidades na escala MM56) (adaptado de Madeira, 1998, Silveira, 2002 e Gaspar <i>et al.</i> , 2015).....	7
Tabela 2.2 Rede sísmica do CIVISA.....	11
Tabela 3.1 Frequências associadas a diferentes eventos (adaptado de Havskov e Ottemöller, 2010).....	19
Tabela 6.1 Resumo das deslocações e trabalhos efetuados nas estações.....	60
Tabela 7.1 Dados da estação CMLA (dados IRIS/GSN).....	66
Tabela 7.2 Períodos de dados utilizados nos gráficos PDF.....	77
Tabela 7.3 Dados da estação PPGR, situada no Pico do Gaspar, Furnas.....	94

LISTA DE ACRÓNIMOS

CAD – Centro de Aquisição de Dados
CIVISA – Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores
CMA – Crista Média Atlântica
CVARG – Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos
FBA – *Force Balanced Accelerometers* (Acelerómetros de Força Bbalanceada)
FFT – *Fast Fourier Transform* (Transformada Rápida de Fourier)
FG – Falha Glória
GSN – *Global Seismograph Network*
IM – Instituto de Meteorologia
INMG – Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
IRIS – *Incorporated Research Institutions for Seismology*
ISS – *International Seimological Summary*
IVAR – Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos
NHNM – *New High Noise Model*
NLNM – *New Low Noise Model*
PDF – *Probability Density Function* (PDF, Função Densidade de Probabilidade)
PSD – *Power Spectral Density* (Densidade Espectral de Potência)
RT – *Rift* da Terceira
RUVS – Rede Universitária de Vigilância Sismovulcânica
SIVISA – Sistema de Vigilância Sismológica dos Açores
SOH – *State of Health*
UAç – Universidade dos Açores
USGS – *United States Geological Survey*
ZFAG – Zona de Fratura Açores-Gibraltar
ZFEA – Zona de Fratura Este dos Açores

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho apenas foi possível com o apoio e ajuda de diversas pessoas. Expresso aqui o meu profundo agradecimento a todos quantos os que de uma forma ou outra deram o seu contributo, de forma especial:

- ao Magnífico Reitor da Universidade dos Açores, Professor Doutor João Luís Gaspar, pelas facilidades concedidas, que tornaram possível a concretização deste trabalho;

- ao Professor Doutor Nicolau Wallenstein, coordenador do curso de mestrado, pela forma como coordenou o grupo de mestrandos;

- à Professora Doutora Teresa Ferreira, orientadora científica deste trabalho, pelo tempo e interesse que cedeu para a realização do mesmo, pela revisão científica dos textos e troca de ideias;

- à Doutora Rita Marques, orientadora científica deste trabalho, pelo acompanhamento de todo o trabalho efetuado, partilha de bibliografia, conselhos, discussão de ideias e revisão de científica dos textos;

- a todos os docentes do curso de Mestrado, pelo interesse e partilha de conhecimentos;

- aos funcionários Ernesto Sousa e Victor Sousa, pela sua paciência e disponibilidade durante os trabalhos de campo;

- a todos os colegas de Mestrado pela solidariedade, amizade e convívio proporcionados ao longo do curso;

- aos colegas Sérgio Oliveira e Arturo Montalvo pela ajuda fornecida em todo o trabalho, especialmente na parte de informática, com o equipamento de monitorização e pelas ideias fornecidas;

- aos elementos do CAD, Rogério Sousa, Ana Rosa Medeiros, Irina Araújo, João Couto, Ana Rita Cabral, Adriano Pimentel e Sário Armas pelo enorme companheirismo, amizade, convívio e ajuda;

- a todos os colegas do Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos que, de uma forma ou outra, contribuíram no desenvolvimento deste trabalho;

- a toda a minha família, em especial aos meus pais, pela compreensão, apoio e ajuda que sempre transmitiram, tornando possível o desenvolvimento deste trabalho, bem como, o meu desenvolvimento pessoal;

- a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho, o meu profundo agradecimento.

RESUMO

Localizado no oceano Atlântico Norte, o arquipélago dos Açores é composto por nove ilhas de origem vulcânica, distribuídas por três grupos geográficos (Ocidental, Oriental e Central), numa área de confluência de três placas litosféricas: as placas Norte-Americana, Euroasiática e Africana. Como consequência deste enquadramento, o arquipélago é palco de uma elevada sismicidade e frequentes manifestações vulcânicas, que são registadas deste o seu povoamento.

Dada esta atividade, torna-se imprescindível a monitorização dos sistemas vulcânicos e sísmicos ativos, sendo que a entidade responsável por esta monitorização é o Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA). Atualmente esta entidade possui uma rede de monitorização sísmica composta por 36 sensores de curto período, distribuídos por sete das nove ilhas do arquipélago.

Neste contexto, e face à contínua evolução dos equipamentos de monitorização e devido às limitações de resolução/configuração da rede de monitorização, o CIVISA decidiu melhorar as capacidades da rede através da instalação de estações sísmicas de banda larga. Este tipo de estações é caracterizado pela sua elevada sensibilidade numa ampla gama de frequências. No entanto, a máxima rentabilização destas capacidades está dependente das condições do local em que as estações são instaladas.

Desta forma, foi utilizado o método de McNamara e Buland (2004), que procura quantificar os níveis de ruído registados em cada estação, de forma a verificar as condições do local. Como tal, inicialmente, utilizou-se o mesmo método para verificar os níveis de ruído registados pela rede do CIVISA, estabelecendo um nível de base para os níveis de ruído registados pelas estações permanentes, permitindo ainda verificar a proveniência dos diferentes tipos de ruído, bem como os seus comportamentos em função de diferentes períodos sazonais e/ou diários, e em função da frequência/período dos mesmos.

Assim, foram instaladas estações de banda larga em diferentes abrigos sísmicos de forma provisória, sendo os dados resultantes utilizados para verificar os níveis

de ruído em cada local e verificar a influência do desenho das caves sísmicas no nível de ruído registrado.

No geral, verificou-se que as estações instaladas na ilha apresentam níveis de ruído elevados, resultantes da atividade humana, oceânica e atmosférica. Apesar disso, foi possível selecionar três locais com as condições necessárias para albergar uma estação sísmica de banda larga, sendo ainda possível a recomendação de medidas capazes de reduzir os níveis de ruído das estações resultantes dos processos mencionados, aplicadas quer nos sensores sísmicos, como na construção de abrigos sísmicos, pretendendo com isso aumentar a qualidade dos dados. Para além disto, a documentação deste processo servirá como linha de orientação para facilitar estudos futuros semelhantes ou estudos que utilizem os dados provenientes das estações utilizadas.

ABSTRACT

Located in the Northern Atlantic Ocean, the archipelago of the Azores is composed of nine volcanic islands, spread over three main geographic groups (Occidental, Oriental and Central) in a confluence area of three lithospheric plates, the North American, the Eurasian and the African plates. Consequently, the archipelago is marked by frequent seismic and volcanic events.

Given the high levels of seismic and volcanic activity, it is essential the monitoring of the volcanic active systems present in the region. The Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA) is, currently, the responsible entity for such monitoring. It has a permanent seismic network composed by 36 short period sensors dedicated to seismovolcanic monitoring, spread over seven of the nine islands of the archipelago.

Due to the continuous technological evolution of the monitoring equipment and the limitations of the monitoring network, CIVISA decided to improve the network capabilities by installing broadband seismic stations. This type of sensors is characterized by its high sensitivity and resolution over a wide range of frequencies. However, the site conditions in which these sensors are installed can limit the sensors capability to detect seismic events, and therefore the installation is a process that requires several requirements.

The McNamara and Buland (2004) method quantifies the noise levels recorded in each station in order to verify the site conditions. Given this, beforehand the same method was used to establish a baseline for the noise levels recorded by the seismic permanent stations composing the CIVISA network, also allowing to confirm the sources of noise and its behaviour depending on annual and daily periods, and the frequency/period of the resulting signals.

The broadband seismic stations were temporary installed in different seismic vaults to obtain data records from each site. The collected data was used to verify the noise levels of each site and to verify the influence of the seismic vaults design have on the noise levels.

Overall, it was possible to verify that the seismic stations present on the island are marked by high noise levels as a result of human, oceanic and atmospheric

processes. Despite this, it was possible to select three different sites that were adequate to permanently install a broadband station, and to define some recommendations that are capable of reducing the noise levels recorded by the stations, and therefore improving the quality of the acquired data. These improvements include both measures to be applied on seismic stations and on seismic vaults and are based on information retrieved during this study. Furthermore, the documentation of all this process will be used as a guideline for similar studies but in other sites, or other studies based on the data used on this study.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivos

O presente trabalho foi realizado no âmbito do Mestrado em Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos, inserido na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade dos Açores (UAç), com a colaboração do Departamento de Geociências e do Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), anteriormente designado por Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos (CVARG), e incide sobre a análise do contributo do efeito de sítio e das condições de instalação de estações sísmicas para o ruído sísmico registado.

Os grandes eventos sísmicos estão, na maioria dos casos, associados a grandes perdas. O aumento da densidade populacional, das infraestruturas técnicas e do nível de complexidade da sociedade significa um aumento do potencial de perdas associadas a fenómenos destrutivos (Baubion, 2013). Neste contexto, a monitorização sísmica assume um importante papel na mitigação do risco sísmico, especialmente em regiões como o Arquipélago dos Açores, onde é registada uma atividade sísmica frequente e por vezes com magnitude elevada. A mitigação do risco sísmico implica o estudo da fonte sísmica de forma a conhecer a natureza e características da mesma. Tal estudo, fornece informações sobre sinais sísmicos que possam ser considerados anómalos, em particular no caso da monitorização vulcânica, em que os eventos sísmicos podem ser os primeiros indícios de uma reativação vulcânica.

Para além da monitorização sísmica, outra forma de mitigação implica o estudo de eventos sísmicos ocorridos no passado de forma a caracterizar zonas quanto ao seu potencial sísmico. A partir desta avaliação é possível proceder à criação de medidas em termos de ordenamento do território. Mais recentemente têm sido utilizadas novas tecnologias na mitigação do risco sísmico, levando ao desenvolvimento de sistemas de alerta precoce (e.g. Allen e Kanamori, 2003; Gasparini e Manfredi, 2014).

O desenvolvimento destes sistemas iniciou-se no final da década de 60 com o objetivo de proteger as linhas férreas de alta velocidade no Japão, tendo mais

tarde iniciado o seu desenvolvimento em outras zonas de elevada sismicidade como no México, Taiwan, E.U.A. (Califórnia). O sistema utiliza sensores sísmicos, que ao detetar a chegada de ondas primárias (ondas P) enviam o registo sísmico desta para uma central onde, reunidos os registos de diversas estações, são calculados parâmetros do evento tais como a sua magnitude e localização. É ainda calculada a aceleração máxima do solo, sendo que se este parâmetro ultrapassar um dado valor predefinido é emitido um alerta com a estimativa do tempo de chegada das ondas secundárias (ondas S) e da intensidade expectável. À medida que fica disponível mais informação sobre o evento estas estimativas e parâmetros são atualizadas. A difusão da informação é realizada via televisão, rádio, telemóvel ou pela *internet*, e em certos casos permite a desativação automática de transportes ferroviários ou indústrias perigosas antes da chegada das ondas S. Como estes sistemas são ativados após a ocorrência de um sismo, utilizam as velocidades dos meios de transmissão de informação de forma a que o alerta seja entregue antes da chegada das ondas mais destrutivas e, como tal, a eficácia destes sistemas está dependente da sua distância ao epicentro, sendo que o alerta pode ser recebido segundos ou até alguns minutos antes da chegada das ondas S.

Face à aplicação de sistemas de alerta torna-se vital a contínua atualização das redes de monitorização sísmica, de forma a garantir a qualidade dos sinais registados, possibilitando uma maior eficiência no tratamento e estudo dos dados obtidos. Para além disto, os avanços tecnológicos na instrumentação utilizada na monitorização, nomeadamente nos sensores sísmicos, garantem uma maior sensibilidade e fiabilidade na deteção de sinais em cada nova geração de equipamentos desenvolvidos para o efeito (Agnew, 2002).

O Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA) gere uma rede de monitorização sísmica para a deteção de sinais sísmicos de origem tectónica e vulcânica. No âmbito da contínua atualização desta rede, irão ser instalados sensores sísmicos de banda larga em todas as ilhas do Arquipélago. Este tipo de sensores sísmicos, dadas as suas características, requerem cuidados especiais no seu processo de instalação. Como tal, este estudo, realizado na ilha de S. Miguel, teve por objetivo identificar locais aptos para essa

instalação, tendo por base o estudo prévio de ruído sísmico nesses mesmos locais.

Neste trabalho pretende-se descrever todos os procedimentos efetuados para o estudo do ruído sísmico e para o estabelecimento de critérios a ter em consideração na seleção de locais para a futura instalação de sismómetros de banda larga. Assim, no segundo capítulo, após um breve enquadramento geodinâmico do arquipélago, é revista a situação atual da sismicidade na região dos Açores. Neste ponto é igualmente revista a sismicidade histórica, desde o povoamento até à atualidade, bem como a sismicidade instrumental e a evolução das redes de monitorização sísmica na região.

O terceiro capítulo introduz a temática dos sensores de banda larga, incidindo no progresso que tem sido feito no seu desenvolvimento, no princípio de funcionamento, nas vantagens e desvantagens, e nos requisitos necessários para o correto funcionamento, aproveitar ao máximo as suas capacidades de deteção.

A metodologia a utilizar na análise dos dados recolhidos ao longo do trabalho é discutida no quarto capítulo. As fontes de ruído sísmico e as suas implicações nos registos obtidos são igualmente abordados.

A seleção dos locais para instalação de sensores de banda larga e obtenção dos respetivos registos sísmicos é afetada pela distância a fontes de ruído sísmico e, assim, os critérios habitualmente utilizados para essa seleção são abordados no quinto capítulo.

No sexto capítulo são apresentados todos os procedimentos realizados no campo e no sétimo capítulo é realizada a análise dos dados, bem como a sua discussão. No último capítulo são elaboradas as conclusões finais.