

**Sérgio Luís Cabral Medeiros**

Análise da susceptibilidade, vulnerabilidade e do risco sísmico no concelho da Povoação (São Miguel, Açores), recorrendo a técnicas de cartografia automática.

Faculdade de Letras  
Universidade de Coimbra

2010

**Sérgio Luís Cabral Medeiros**

**Análise da susceptibilidade, vulnerabilidade e do risco sísmico  
no concelho da Povoação (São Miguel, Açores), recorrendo a  
técnicas de cartografia automática.**

**Tese realizada no âmbito do Mestrado em Geografia Física, Ambiente e  
Ordenamento do Território.**

**Orientador:**

Professor Doutor Lúcio José Sobral Cunha

Faculdade de Letras  
Universidade de Coimbra

2010

À minha família

## **Agradecimentos**

- Ao Professor Doutor Lúcio Cunha pela orientação e disponibilidade ao longo do trabalho.
- Ao Dr. João Pedro Resendes, Geógrafo da Câmara Municipal da Povoação, por facultar dados valiosos à realização deste trabalho.
- Ao amigo Dr. Paulo Guerreiro, pela disponibilidade em ajudar na impressão e organização do trabalho.
- À amiga Dr.<sup>a</sup> Verónica Silva, pela ajuda na revisão dos textos.
- À amiga Dr.<sup>a</sup> Aulédia Câmara, pela ajuda na revisão da cartografia.
- Ao Presidente da Câmara Municipal da Povoação, Dr. Carlos Ávila, pelo interesse demonstrado na elaboração deste trabalho.
- Ao Coordenador do Gabinete Técnico da Câmara Municipal da Povoação, Professor Rui Fravica, pelo interesse demonstrado e pela compreensão da minha ausência nas horas de expediente.
- À amiga Eng.<sup>a</sup> Vanessa Fidalgo pelo interesse demonstrado ao longo do trabalho.
- À minha namorada, Cristina Raposo, pelo apoio incondicional ao longo deste trabalho.
- A toda a minha família, por todo o apoio que me deram nos momentos mais difíceis.
- Por fim, a todos os que me apoiaram na realização deste trabalho.

# Índice

<b>Resumo</b> .....	1
<b>Abstract</b> .....	3
<b>1 - Introdução</b> .....	5
1.1 – Tema, objectivos e metodologia do Trabalho .....	5
1.2 – Aquisição de dados .....	6
<b>2 – Localização Geográfica</b> .....	7
2.1 – Localização da Ilha de São Miguel.....	8
2.2 – Enquadramento geostrutural dos Açores .....	9
<b>3 - Sismicidade</b> .....	16
3.1 – Sismologia- uma abordagem conceptual .....	16
3.1.1 – Conceitos básicos .....	17
3.2 – Actividade sísmica e vulcanismo.....	21
3.3 – Historicidade sísmica.....	25
3.4 – Relatos históricos dos referidos sismos .....	28
3.4.1 – O Sismo de 5 de Agosto de 1932 .....	28
3.4.2 – O Sismo de 27 de Abril de 1935 .....	32
3.4.3 – O sismo de 26 de Junho de 1952 .....	35
3.5 – Distribuição espacial da sismicidade.....	40
3.6 – Historicidade eruptiva .....	42
<b>4 – Caracterização da área</b> .....	44
4.1 – Localização geográfica .....	44
4.1.1 – Divisão administrativa.....	45
4.1.2 – Geomorfologia do concelho .....	46
4.1.3 – Ocupação do solo.....	47

4.1.4 – Demografia.....	48
4.1.5 – Parque habitacional do concelho da Povoação .....	50
4.1.6 – Edificado .....	51
<b>5 – Caracterização geofísica da área.....</b>	<b>54</b>
5.1 – Nota prévia.....	54
5.1.1 – Geomorfologia vulcânica .....	57
5.2 – Estratigrafia e litologia da área.....	60
5.2.1 – Litologia.....	66
5.3 -Tectónica da região e zonas envolventes .....	67
5.3.1 – Tectónica e rede filoniana que afectam a região .....	67
5.3.2 - Falhas.....	67
<b>6 – Risco sísmico .....</b>	<b>70</b>
6.1 – Alguns problemas conceptuais e terminológicos .....	70
6.2 – Estado da Arte.....	73
6.2.1 – Avaliação do risco sísmico.....	73
6.2.2 – Susceptibilidade e Vulnerabilidade ao Risco .....	74
<b>7- Elaboração e análise da cartografia de Susceptibilidade, Vulnerabilidade e Risco .</b>	<b>75</b>
7.1 – Sistemas de informação e análise do risco sísmico.....	75
7.2 – Aquisição e tratamento de dados.....	77
7.3 – Metodologia utilizada para a criação de cartografia de risco.....	83
7.3.1 – Carta de Susceptibilidade.....	84
7.3.2 – Elaboração da carta de Vulnerabilidade sísmica .....	87
7.4. –Carta de Risco sísmico .....	96
7.4.1 – Análise da carta de risco sísmico .....	99
<b>8 – Considerações finais .....</b>	<b>100</b>
<b>9 - Bibliografia .....</b>	<b>103</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 - Localização geográfica do Arquipélago dos Açores .....	7
Figura 2 - Divisão administrativa da ilha de São Miguel .....	8
Figura 3 A - Enquadramento geotectónico do arquipélago dos Açores .....	9
Figura 3 B - Sismicidade da região dos Açores para o período 1912-1985 .....	9
Figura 4 - Principais acidentes tectónicos da junção tripla dos Açores .....	11
Figura 5 - Cartas epicentrais para a região dos Açores, referentes aos períodos 1980-1988 .....	24
Figura 6 – Carta de intensidades do sismo de 5 de Agosto de 1932 .....	26
Figura 7 - Carta de intensidades do sismo de 27 de Abril de 1935.....	26
Figura 8 - carta de isossistas do sismo de 26 de Junho de 1952.....	27
Figura 9 - Carta de intensidades máximas históricas para a ilha de São Miguel.....	28
Figura 10 – Carta de sismicidade dos Açores, no período de 1980 a 2000 .....	40
Figura 11 - Carta de epicentros da ilha de São Miguel e área envolvente .....	41
Figura 12 – localização das erupções vulcânicas históricas de que se tem conhecimento na região da Plataforma dos Açores.....	43
Figura 13 – Ilha de São Miguel com destaque para a localização do concelho da Povoação .....	44
Figura 14 – Concelho da Povoação – Limites administrativos das freguesias .....	45
Figura 15 - Esboço hipsométrico do concelho da Povoação .....	46
Figura 16 - Carta de ocupação do solo do concelho da povoação .....	47
Figura 17 – Evolução da população no concelho da Povoação entre os anos de 1900 a 2001 .....	48
Figura 18 – Mapa alusivo à distribuição espacial por freguesia da população no concelho da Povoação.....	49
Figura 19 – Densidade populacional por freguesia (Dados do censo de 2001).....	49

Figura 20 - Evolução da população e do n.º de fogos no concelho da Povoação entre 1900 e 2001 .....	50
Figura 21 – Mapa representativo da percentagem de habitações e edifícios públicos por freguesia.....	53
Figura 22 – Carta tectónica da Região Povoação – Nordeste, extracto da carta 1/50000.....	55
Figura 23 – Mapa morfoestrutural simplificado do maciço das Furnas .....	56
Figura 24 – Unidades geomorfológicas da ilha de São Miguel .....	57
Figura 25 - Modelo Digital de Terreno (MDT) do concelho da Povoação.....	59
Figura 26- Análise geomorfológica com base no MDT da zona da Povoação e Nordeste...60	
Figura 27 - Fácies densamente soldada do ignimbrito da Povoação .....	64
Figura 28- Coluna litostratigráfica da região estudada .....	65
Figura 29 – Carta tectónica esquemática do concelho da Povoação.....	68
Figura 30 – Carta de intensidades máximas históricas para o concelho da Povoação.....	78
Figura 31 - Percentagem das classes litológicas no concelho da Povoação.....	79
Figura 32- Classes litológicas definidas para o concelho da Povoação .....	80
Figura 33 – <i>Multi Ring Buffer</i> em relação às falhas em metros para o concelho da Povoação .....	82
Figura 34 - Carta de Susceptibilidade sísmica do concelho da Povoação .....	85
Figura 35 – Percentagem de habitações por classe de vulnerabilidade no concelho da Povoação.....	90
Figura 36 – Esquema explicativo da obtenção da carta de vulnerabilidade sísmica .....	93
Figura 37 – Carta de vulnerabilidade sísmica para o concelho da Povoação .....	94
Figura 38 – Esquema explicativo da obtenção da carta de risco sísmico para o concelho da Povoação.....	96
Figura 39 – Mapa de risco sísmico para o concelho da Povoação .....	98



## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Principais sismos históricos dos Açores .....	25
Tabela 2 - Erupções históricas nos Açores .....	42
Tabela 3 – Evolução da população no concelho da Povoação entre os anos de 1900 a 2001 .....	48
Tabela 4 – Evolução da população e do n.º de fogos no concelho da Povoação entre os anos de 1900 e 2001.....	50
Tabela 5 – Número de edifícios segundo a respectiva categoria .....	52
Tabela 6 - Factores condicionantes da susceptibilidade sísmica.....	84
Tabela 7 – Descrição da tipologia das habitações para cada uma das classes de vulnerabilidades, por ordem decrescente .....	88
Tabela 8 – Descriminação , por freguesia, incluindo Lombas, das habitações pertencentes a cada classe de vulnerabilidade.....	89
Tabela 9 – Pesos atribuídos à vulnerabilidade do edificado por freguesia .....	91
Tabela 10 – Pesos atribuídos ao uso do solo no que diz respeito às diferentes classificações .....	92
Tabela 11 – Pesos atribuídos à densidade populacional por freguesia .....	93
Tabela 12 – Classificação das classes de Risco de acordo com os valores obtidos da relação da Susceptibilidade com a Vulnerabilidade .....	97

## Resumo

O arquipélago dos Açores, ao longo dos seus mais de cinco séculos de história, tem sido palco de um conjunto de fenómenos naturais com origens diversas que em virtude da sua magnitude e dos impactes causados foram catastróficos para a população.

Neste contexto, destaca-se a Ilha de São Miguel, localizada no grupo oriental do arquipélago, a qual foi afectada deste o seu povoamento no séc. XV, por diversas crises sísmicas, terramotos e erupções vulcânicas.

É na Ilha de São Miguel que se insere o local de estudo a que se reporta o presente trabalho, o concelho da Povoação, um dos mais fustigados da ilha por catástrofes e calamidades naturais ao longo da história. Na génese destes acontecimentos estão as especificidades geográficas, geológicas, tectónicas e geomorfológicas.

O trabalho engloba uma caracterização sumária do enquadramento geotectónico do Arquipélago dos Açores, onde o concelho da Povoação se enquadra, bem como uma caracterização sumária do concelho da Povoação no que se refere a aspectos gerais, nomeadamente aos diferentes enquadramentos, geomorfológico, tectónico, sísmico, uso dos solos, divisão administrativa, aspectos demográficos e vulnerabilidade do parque habitacional com o intuito de gerar um modelo de avaliação do risco sísmico recorrendo a cartografia automática.

Numa segunda fase procede-se à apresentação dos principais sismos registados e documentados no último século, tendo-se optado por caracterizar em pormenor três dos eventos mais recentes, registados respectivamente nos anos de 1932, 1935 e 1952 que provocaram o pânico e semearam a destruição na maior parte das freguesias do concelho.

Após a recolha dos dados necessário para inserir no modelo criado em SIG, procedemos à introdução dos dados e à sua ponderação de modo a poder obter

uma carta de susceptibilidade sísmica da qual classificamos em quatro classes: Baixa, Moderada, Elevada e Muito Elevada.

Noutra fase posterior, acrescentamos mais três variáveis ao modelo, no sentido de apurar a vulnerabilidade. Para tal, introduzimos ao modelo a variável uso dos solos, vulnerabilidade do edificado por freguesia, segundo a classificação de Gomes (2003) e a densidade populacional por freguesia. Dessa relação obtivemos quatro classes de vulnerabilidade: Muito Baixa, Baixa, Elevada e Muito Elevada.

Assim sendo, da relação da carta de susceptibilidade com a carta de vulnerabilidade, obtivemos uma carta de risco sísmico para o concelho da Povoação, na qual pudemos concluir que as zonas urbanas são as de maior risco em detrimento das zonas agrícolas e pastagens.

Convém referir que se recorreu à cartografia automática de Risco Sísmico, recorrendo para tal ao software Arcgis 9.2™, em que as ponderações atribuídas a cada variável são de carácter subjectivo, embora sejam fundamentadas com bibliografia.

## **Abstract**

Over its five centuries of history, Azores Islands have been a place of several natural phenomena derived from varied causes. Due to their size and impact, the natural phenomena was, in most instances, catastrophic to the population.

In this context, the island of Sao Miguel, located in the eastern group of the archipelago, has been affected since its human settlement in the XV century by several seismic crises, earthquakes and volcanic eruptions.

This study focus on San Miguel Island's municipality of Povoação – one of the most affected by catastrophes and natural disasters in its history. These kinds of events are generated by geographical, geological, geomorphological and tectonic particularities.

The work includes a brief description of the geotectonic setting of the Azores archipelago, where the municipality of Povoação is included as well as a brief description of the county's population in relation to general aspects, including the various frameworks, geomorphological, tectonic, seismic, land use, administrative boundaries, demographic characteristics and vulnerability of the habitations in order to generate a model of seismic risk assessment using an automatic mapping of risk model.

In a second phase proceeds to the presentation of the major earthquakes recorded and documented in the last century, we chose to characterize in detail the three most recent events, registered respectively in the years 1932, 1935 and 1952 that caused the panic and destruction sown in most parishes in the municipality of Povoação.

After the data collection necessary to insert the template created in GIS, proceeded to the input of data and its weighting in order to obtain a map of seismic susceptibility of which got four classes: Low, Moderate, High and Very High. Another later stage, we add three more variables to the model in order to determine the vulnerability. To this end, we introduce the model of variable land

use, vulnerability of the built up by the parish according to the classification of Gomes (2003) and population density by the parish. From this relationship we obtained four classes of vulnerability: Very Low, Low, High and Very High.

Thus, the relationship of the map of susceptibility to the map of vulnerability, we obtained a map of seismic risk for the municipality of Povoação, where we concluded that urban areas are at higher risk than that of agricultural areas and pastures.

It must first be turned to utter that automatic mapping of Seismic Risk, resorting to such software to ArcGIS 9.2™, in which the weights assigned to each variable are subjective in nature, although they are substantiated with bibliography.

## 1 – Introdução

### 1.1 – Tema, objectivos e metodologia do trabalho

O presente trabalho insere-se no âmbito da avaliação da susceptibilidade, vulnerabilidade e do risco sísmico para o concelho da Povoação, Ilha de São Miguel, Açores, sendo o seu objectivo principal a obtenção de cartogramas representativos da distribuição espacial da susceptibilidade sísmica, vulnerabilidade e risco, e desta forma contribuir para um melhor ordenamento do território em função dos riscos naturais associados ao local em questão.

A partir da informação recolhida na vasta pesquisa bibliográfica e através aquisição de dados em formato vectorial e *raster* da região, determinou-se as áreas do concelho da Povoação mais susceptíveis a eventos sísmicos, as respectivas vulnerabilidades, bem como a elaboração de uma carta de risco para o mesmo concelho obtida através do método heurístico ou de base empírica, mais adaptado para trabalhos a escalas médias a pequenas (1/50000 a 1/100 000), em que as diferentes ponderações são o resultado de um processo empírico interactivo de análise causa-efeito entre os diferentes factores considerados e a distribuição no espaço das manifestações.

Baseia-se na atribuição subjectiva de pesos (ainda que esta atribuição possa ser fundamentada com bibliografia) ao conjunto de factores tidos como fundamentais ao nível do estudo da instabilidade. O procedimento, após a atribuição de *scores* às diversas variáveis, passa pela soma ou multiplicação dos diversos temas, normalmente com recurso a álgebra matricial, sendo os valores resultantes divididos em classes de susceptibilidade e posteriormente cruzadas com variáveis relativas à vulnerabilidade, obtendo-se assim uma carta de risco sísmico. Uma das principais desvantagens deste tipo de métodos é a subjectividade relacionada com a atribuição de pesos não fundamentados estatisticamente, mas que neste trabalho serão devidamente corroborados recorrendo a bibliografia.

## 1.2 – Aquisição e tratamento de dados

A informação relativa às variáveis litologia, intensidades máximas sísmicas históricas, falhas e ocupação do solo foi obtida através de dados cedidos pela Câmara Municipal da Povoação, bem como por processos de vectorização e respectiva georreferenciação de cartografia em suporte papel.

A informação referente à geologia, estratigrafia e litologia foi recolhida através de abundantes fontes bibliográficas como o trabalho de Carmo (2004) e Resendes, (2004), em que estão bem explícitos e claros os resultados do estudo científico destes temas, sendo estas fontes bibliográficas uma mais-valia para a realização deste trabalho.

Após uma pesquisa bibliográfica intensiva relativa aos temas supra mencionados e o devido tratamento e transformação dos dados, recorreu-se ao software *Arcgis 9.2™* para se poder cruzar a informação, utilizando variadas ferramentas deste software, como por exemplo a ferramenta *Spatial Analysis Tools*, em que se utilizou metodologia de cruzamento de dados.

Após várias experiências de cruzamento de variáveis com o intuito de gerar uma carta de susceptibilidade sísmica, uma carta de vulnerabilidade sísmica bem como um mapa referente ao próprio risco, chegamos aos mapas finais resultantes do cruzamento e inquirição dos dados introduzidos nas ferramentas SIG.

## 2 - Localização Geográfica

O arquipélago dos Açores localiza-se no Oceano Atlântico Norte, entre as latitudes 37° e 40°N e as longitudes 25° e 31°W, e é constituído por nove ilhas, agrupadas geograficamente em três grupos. As ilhas Flores e Corvo são as que se situam mais a W, formando o Grupo Ocidental. O Grupo Central é composto pelas ilhas Faial, Pico, São Jorge, Graciosa e Terceira. As ilhas de São Miguel e de Santa Maria, conjuntamente com os ilhéus das Formigas, definem o Grupo Oriental.

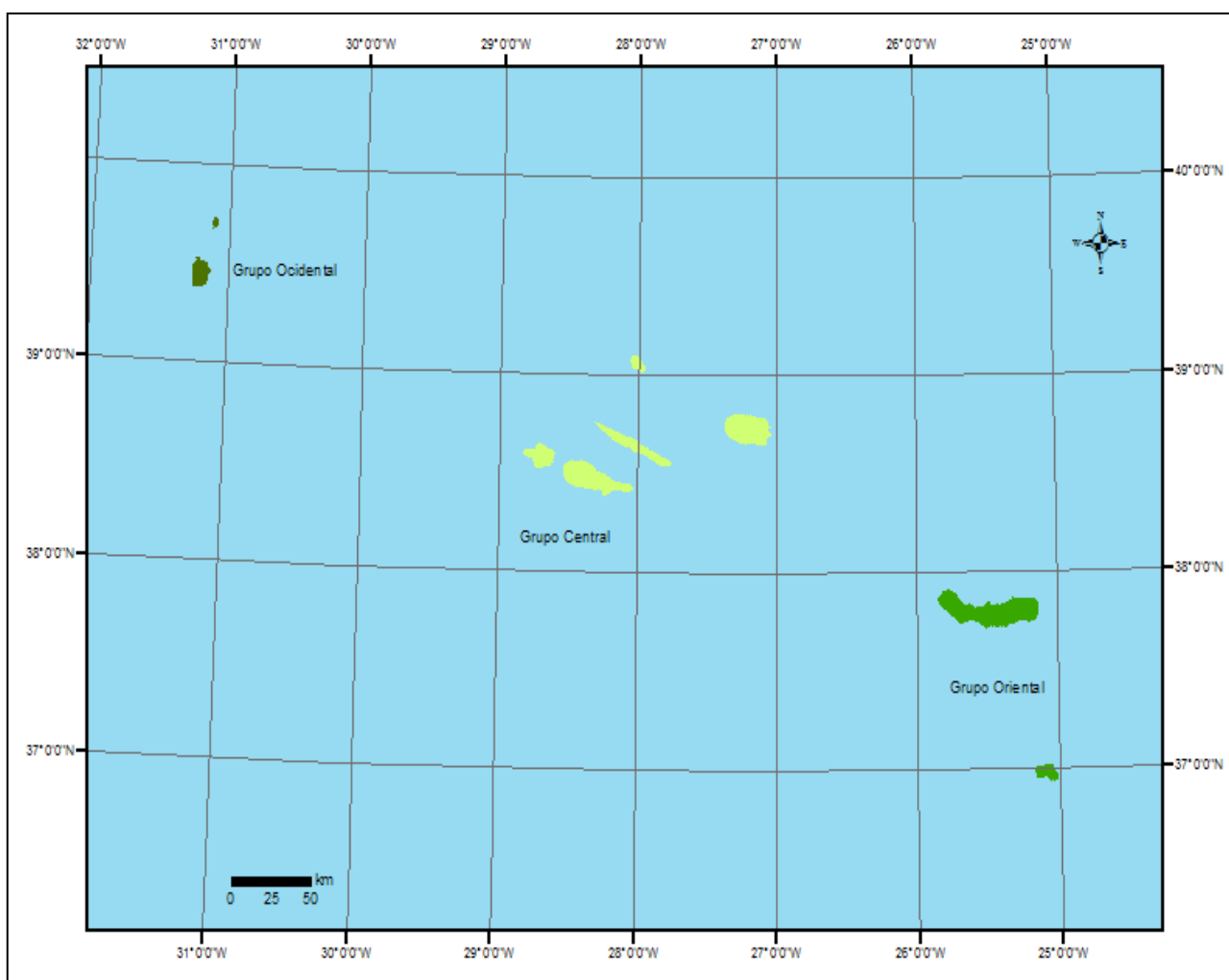


Figura1 - Localização geográfica do Arquipélago dos Açores



## 2.1 - Localização da ilha de São Miguel

A ilha de São Miguel (figura 2) situa-se, como se referiu no grupo Oriental e fica localizada entre as Latitudes de 37° 42' N e 37° 54' N e as Longitudes 25° 51' W e 25° 08' W. Esta ilha desfruta de uma forma aproximadamente rectangular e alongando-se segundo a direcção E-W, apresentando um comprimento máximo de cerca de 65km e uma largura variável entre os 8 km e os 16 km, tendo aproximadamente uma área de 747 km<sup>2</sup>. No que se refere ao ponto de vista administrativo compreende os concelhos de Ponta Delgada (231.92 km<sup>2</sup>), Ribeira Grande (179.50 km<sup>2</sup>), Lagoa (45.56 km<sup>2</sup>), Vila Franca do Campo (78 km<sup>2</sup>), Povoação (110.30 km<sup>2</sup>) e Nordeste (101.51 km<sup>2</sup>).

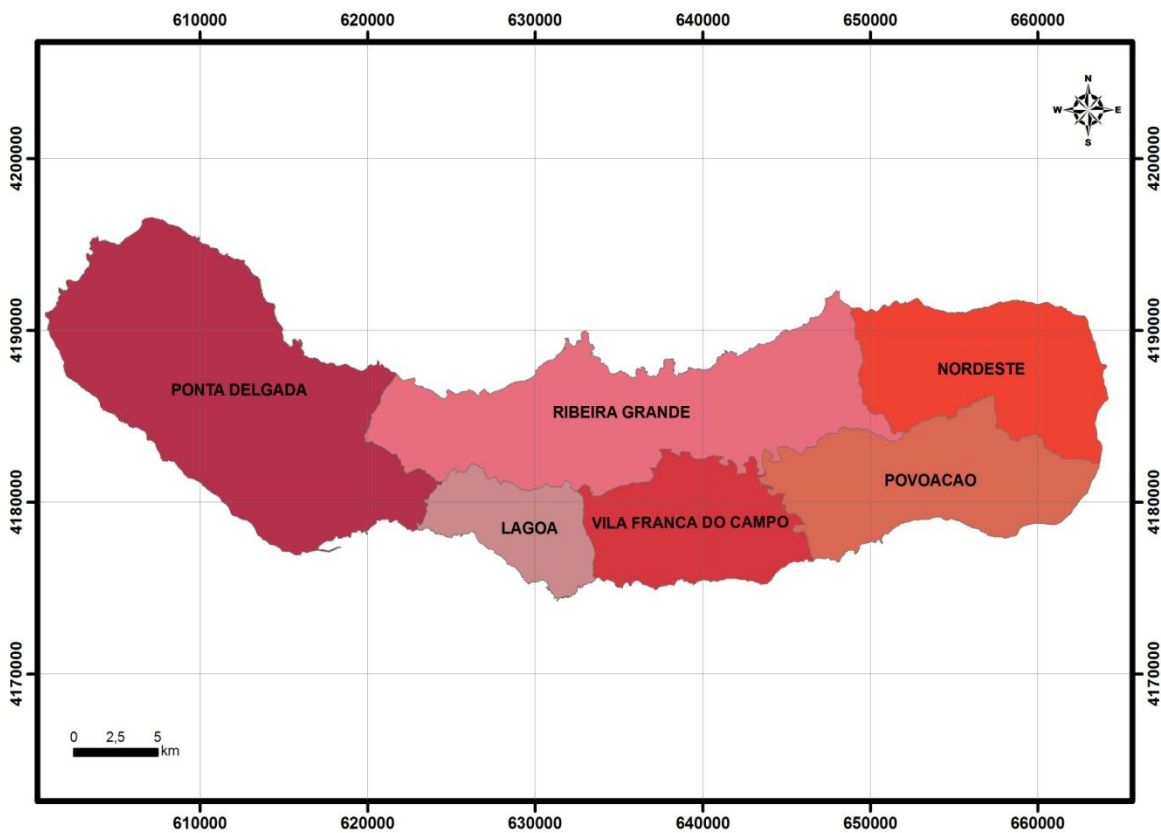


Figura 2 - Divisão administrativa da ilha de São Miguel

## 2.2 - Enquadramento geoestrutural dos Açores

As ilhas do Arquipélago dos Açores encontram-se alinhadas segundo uma direcção WNW-ESE e, sob o ponto de vista geoestrutural, estão na junção de três placas litosféricas: a Norte-americana; a Euroasiática e a Africana, cujas fronteiras são materializadas pela Crista Média Atlântica que separa a primeira, a W (onde se situam as ilhas Flores e Corvo) das restantes, e pela Falha Açores – Gibraltar (Nunes 1999). As tensões resultantes desta situação peculiar geraram um complexo sistema de estruturas tectónicas que afecta de forma particular a região, pela curva batimétrica dos 2000 metros. A partir desta zona, com uma forma aproximadamente triangular, designada por Plataforma dos Açores ou Microplaca dos Açores, emergiu o Arquipélago dos Açores (fig. 3 a) (Nunes, 1999).

A partir de dados geofísicos, é observável a maior ocorrência da actividade sísmica ao longo de uma faixa com orientação geral WNW-ESSE, concordante com a orientação das ilhas do grupo Central e Oriental (*Rift* da Terceira), em detrimento da Zona de Fractura Este dos Açores (Figura 3 b).

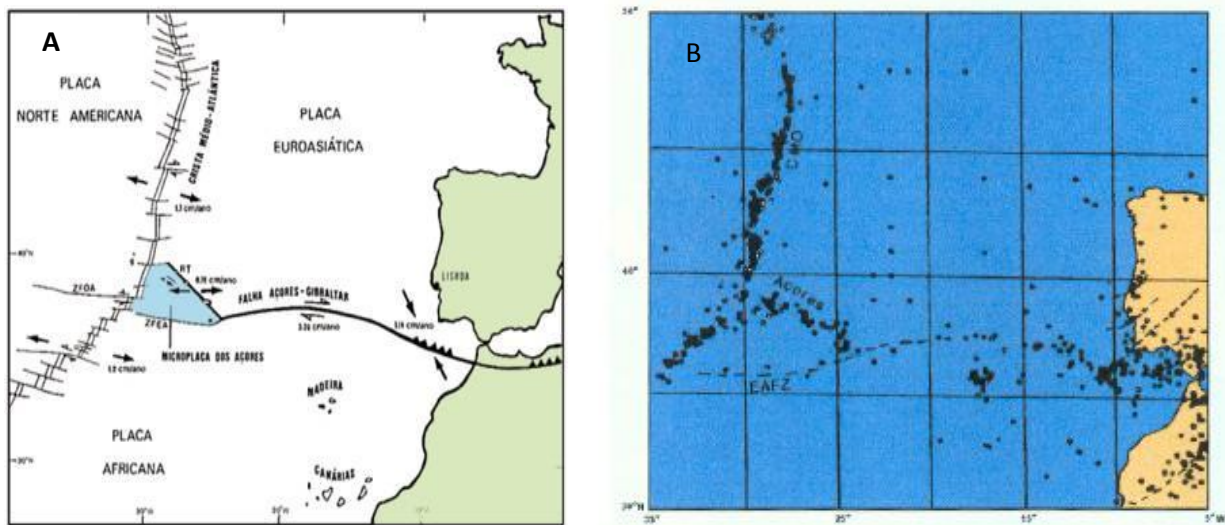


Figura 3 a) Enquadramento geotectónico do arquipélago dos Açores (adaptado de Forjaz, 1983 e Buforn *et al.*, 1988; *in* Nunes *et al.*, 1993).

Figura 3 b) Sismicidade da região dos Açores para o período 1912-1985 (adaptado de Burform *et al.*, 1988, *in* Wallenstein, 1999).

A junção tripla dos Açores apresenta-se como uma região tectonicamente muito complexa, onde confluem vários alinhamentos importantes. De um modo genérico, a Crista Médio-Atlântica (*CMA*) separa a placa Americana, a Ocidente, das placas Euroasiática e Africana, a Este, enquanto a Falha Açores-Gibraltar corresponde à fronteira das placas Euroasiática, a Norte, e Africana, a Sul (figura 3 a). Apesar disso, subsistem muitas interrogações acerca desta fronteira de placas no troço compreendido entre a ilha de Santa Maria (sensivelmente entre 25°W) e a *CMA* (Nunes, 1999).

Da análise da vasta bibliografia disponível sobre o assunto, objecto de análise anterior (Nunes, 1991), constata-se que a natureza e a localização dos ramos Norte e Sul da junção tripla dos Açores são maioritariamente aceites: a placa Americana está separada das restantes duas placas por intermédio da *CMA*, uma estrutura distensiva pura com tracção perpendicular à crista, localizada entre as ilhas do Faial e das Flores e que se apresenta cortada por diversas falhas transformantes E-W. Por outro lado, o terceiro ramo da junção tripla dos Açores (a Falha Açores-Gibraltar) apresenta três troços com comportamento geodinâmico distinto (Figura 3 a): um troço Leste, onde ocorre o cavalgamento da placa Euroasiática sobre a placa Africana; um troço central caracterizado por uma estrutura tectónica de desligamento direito puro e, um troço Oeste, com comportamento de transformante *leaky*, com expansão oblíqua (Nunes, 1999).

É precisamente a localização geográfica e a natureza desse ramo Oeste da Falha Açores-Gibraltar (ou seja, para Oeste de 25°W) que mais dúvidas e debates suscitam.

Apresentam-se, de seguida, as principais características geotectónicas da junção tripla dos Açores, objecto de outras abordagens mais detalhadas (e.g. Nunes, 1991 e Madeira, 1998), sem contudo pretender-se esgotar o tema, nem tão pouco apresentar uma discussão final e exaustiva sobre o assunto.

Localizada sensivelmente a meia distância entre as ilhas das Flores e do Faial, a Crista Médio-Atlântica (*CMA*) evidencia uma mudança de orientação de N10E, a

Norte de 39°10'N, para uma direcção N20E, a Sul de 38°40'N. Ao atravessar a Plataforma dos Açores, ou seja, para Sul de 39°30'N, o vale mediano está praticamente ausente e a crista perde grande parte da sua definição batimétrica. Contudo, a utilização do sonar *GLORIA*, a distribuição dos sedimentos (Searle, 1980 *in* Nunes 2000) e o padrão das anomalias magnéticas (Luis *et al.*, 1994 *in* Nunes, 1999) permitem inferir a posição da *CMA* na Plataforma dos Açores (fig.4).

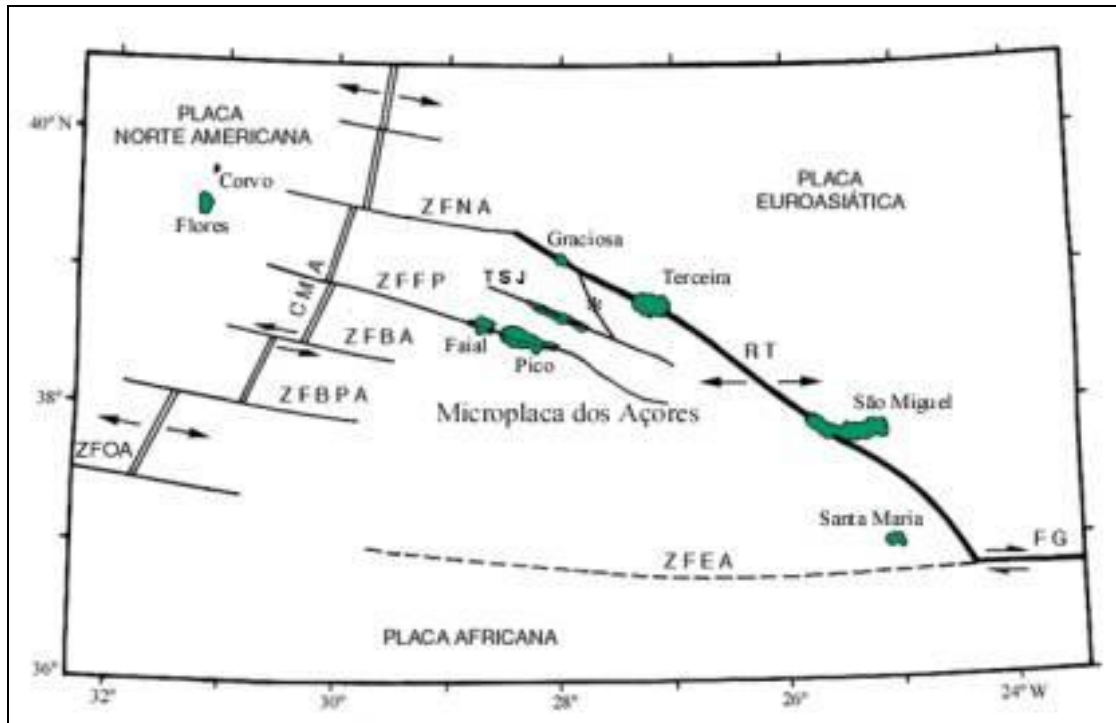


Figura 4 - Principais acidentes tectónicos da junção tripla dos Açores (adaptado de Nunes, 1991 e Luis *et al.*, 1994).

A *CMA* é cortada por diversas falhas transformantes de direcção geral E-W e apresenta maiores velocidades de expansão a Norte do *Plateau* dos Açores do que a Sul: Laughton e Whitmarsh (1974) apresentam valores de 1,7 cm/ano para a velocidade média de expansão a Norte dos Açores e 1,2 cm/ano a Sul, segundo uma direcção paralela às falhas transformantes. Segundo Luis *et al.* (1994) a taxa de expansão da *CMA* na região dos Açores diminuiu, sistematicamente, de 4 cm/ano para valores de 1,4 cm/ano, no intervalo de tempo de 10,10 a 3,85 MA, acelerando depois até valores de 2,5 cm/ano, segundo o azimute N 100°.

O trabalho de Luis *et al.* (1994) veio trazer novos e importantes dados acerca da localização e orientação da CMA na zona da Plataforma dos Açores. Assim, verifica-se que entre 40°20'N e 37°30'N, o eixo da crista é deslocado, sinistrogiramente ou dextrogiramente, ao longo de cinco estruturas tectónicas principais, de orientação geral E-W (Figura 4) e que são, de Norte para Sul: a Zona de Fractura Norte dos Açores (ZFNA), a Zona de Fractura Faial-Pico (ZFFP), a Zona de Fractura do Banco Açor (ZFBA), a Zona de Fractura do Banco Princesa Alice (ZFBPA) e, mais a Sul, a Zona de Fractura Oeste dos Açores (ZFOA), também designada por “Zona de Fractura Pico”.

A Zona de Fractura Norte dos Açores (ZFNA) desloca a crista cerca de 20 km para Oeste e, de acordo com Searle (1980), durante um longo período de tempo a junção tripla dos Açores foi estabelecida através da ZFNA, que faria a ligação entre a CMA e o Rifte da Terceira. Há cerca de 6 MA a junção tripla ter-se-á deslocado mais para Sul.

A Zona de Fractura Oeste dos Açores (ZFOA), também conhecida por *Pico Fracture Zone*, é assísmica e é considerada como a continuação da Zona de Fractura Este dos Açores (ZFEA), após um pequeno deslocamento para Norte, na região da Crista Médio-Atlântica. A sua importância no contexto da tectónica actuante na região dos Açores é controversa, uma vez que actualmente não se observa um movimento relativo ao longo desta zona de fractura.

Pelo contrário, a Zona de Fractura Este dos Açores (ZFEA), de orientação geral EW, desenvolve-se para Oeste da ilha de Santa Maria, sensivelmente ao longo do paralelo 37°N e apresenta uma boa expressão batimétrica. Com actividade sísmica muito reduzida, esta zona é considerada como tendo constituído o terceiro ramo da junção tripla dos Açores na sua fase inicial de desenvolvimento e estará actualmente inactiva, com a migração para Norte da fronteira de placas Eurásia África (Searle, 1980 e Luis *et al.*, 1994 *in* Nunes 1999).

A Zona de Fractura Faial-Pico (ZFFP) está bem evidenciada na batimetria da Plataforma dos Açores, apresenta uma elevada sismicidade (Nunes, 1991) e

manifesta um vulcanismo activo e muito recente (...). De acordo com Luis *et al.* (1994), este acidente tectónico, que é um dos mais importantes da Plataforma dos Açores, define, na junção desta estrutura com a Crista Médio-Atlântica, o actual posicionamento do ponto triplo dos Açores.

Como atrás se referiu, a Falha Açores-Gibraltar pode ser subdividida em três troços distintos, com dimensão, características tectónicas e comportamento geodinâmico diferente. O segmento mais oriental desta falha corresponde à região que se estende da Crista Tore-Madeira (aproximadamente a 15°W) até Gibraltar, evidenciando uma batimetria muito irregular. A fronteira de placas é caracterizada por um movimento de cavalgamento da placa Euroasiática sobre a placa Africana, onde os mecanismos focais indicam movimentos do tipo falha inversa na sequência de uma compressão N-S resultante do movimento retrógrado da placa Africana em relação à Euroasiática (Udías, 1980). Nesta zona localizaram-se os epicentros de importantes sismos, frequentemente com *tsunamis* associados, como foi o caso do terramoto de 1 de Novembro de 1755 (M=8,5), ou do sismo de 28 de Fevereiro de 1969 (M=7,1).

No referido troço da fronteira de placas foram determinadas taxas de deslocamento de 1,14 cm/ano, de subducção da placa Africana nesta região (Buforn *et al.*, 1988). Para Este de Gibraltar abandona-se o domínio oceânico e entra-se em domínio continental, com a colisão dos continentes europeu e africano, e a sismicidade torna-se mais difusa, estendendo-se por uma faixa com cerca de 500 km de largura (Ribeiro, 1982).

O troço central da Falha Açores-Gibraltar, de orientação geral E-W, desenvolvesse para Leste da ilha de Santa Maria, por cerca de 800 km, entre as Longitudes 24° e 15°W (Figura 4). Este acidente tectónico, usualmente referido como a Falha GLORIA (FG), é caracterizado, batimetricamente, por uma impressionante estrutura linear, nalguns troços subdividida em vários ramos paralelos e cujos perfis N-S revelam uma importante escarpa de falha de aspecto recente (Searle, 1980). A Falha GLORIA é sísmicamente activa mas, ao contrário do anterior troço da Falha Açores-Gibraltar, evidencia um movimento do tipo desligamento direito

puro. Alguns dos sismos sentidos na ilha de Santa Maria, como o sismo de 8 de Maio de 1939 ( $M=7,1$  e  $I=VII$ ), tiveram foco nesta estrutura tectónica (Nunes, 1999).

A predominância de mecanismos focais do tipo desligamento, a ausência de *tsunamis* associados e a ocorrência de sismos fortes são atribuídos à natureza intraoceânica desta fronteira de placas, onde Buforn *et al.* (1988) determinaram velocidades de 3,39 cm/ano para o deslocamento relativo entre as placas Euroasiática e Africana.

O troço mais ocidental da Falha Açores-Gibraltar desenvolve-se através das ilhas do arquipélago dos Açores, desde a ilha de Santa Maria até à Crista Médio Atlântica. O *Rift* (ou *Ridge*) da Terceira (*RT*), desenvolve-se ao longo das ilhas Graciosa, Terceira e São Miguel, até à ilha de Santa Maria e é considerado por alguns autores como a actual fronteira de placas Eurásia-África nesta região do Atlântico.

O actual padrão da sismicidade dos Açores revela uma distribuição dos epicentros maioritariamente concentrada ao longo de uma estreita faixa coincidente com o *RT*, favorecendo esta interpretação (Nunes, 1991 e Luis *et al.*, 1994).

Apesar da sua designação, o Rife da Terceira não corresponde a uma estrutura distensiva pura, tal como sugerido por alguns autores (e.g. Udías, 1980), mas corresponderá antes a uma transformante *leaky*, com expansão oblíqua, característica que é compatível com os dados morfológicos, magnéticos, sismotectónicos e neotectónicos disponíveis e com o movimento de desligamento direito puro que caracteriza a Falha GLORIA (Searle, 1980 e Ribeiro, 1982).

O Rife da Terceira, (figura 4) de orientação geral WNW-ESE, apresenta um comprimento total de cerca de 500 km e é composto por uma série de bacias (fossas) tectónicas, separadas por cristas ou maciços vulcânicos submarinos, ligando-se à CMA através da Zona de Fractura Norte dos Açores. Foram determinadas neste troço da fronteira de placas, velocidades de deslocamento

relativo entre as placas Euroasiática e Africana de 0,76 cm/ano (Buforn *et al.*, 1988 *in* Nunes, 1999).

Apesar de muitos outros acidentes tectónicos afectarem a região dos Açores, merecem ainda destaque, pelo facto de serem frequentemente referidas nesta área do Atlântico, a designada Transformante *Leaky* de São Jorge (*TSJ*) e da falha geradora do sismo de 1 de Janeiro de 1980. A *TSJ* corresponde a um alinhamento tectónico de orientação geral WNW-ESE há muito conhecido nos Açores (e.g. Agostinho, 1935), com expressão subaérea ao longo da ilha de São Jorge, onde o vulcanismo, do tipo fissural e essencialmente estromboliano, se manifesta pela ocorrência de inúmeros cones de escórias alinhados.

Apesar dos vários modelos tectónicos propostos para a região do arquipélago dos Açores, não há, ainda, um modelo unanimemente aceite para a descrição da actual cinemática da junção tripla dos Açores, bem como para a natureza e a localização geográfica precisa do terceiro ramo desta junção. A presença do “ponto quente” dos Açores e a elevada complexidade da região, que se manifesta designadamente na morfologia submarina da Plataforma dos Açores, tornam, por outro lado, muito difíceis os estudos geofísicos nesta região do Oceano Atlântico (Luis *et al.*, 1994 *in* Nunes, 1999).

Como foi referido, as principais questões em aberto ou ainda objecto de discussão, residem na definição da natureza do terceiro ramo da junção tripla dos Açores, na região entre a Crista Médio-Atlântica e a ilha de Santa Maria (estrutura do tipo rifte ou transformante, com ou sem expansão oblíqua) e na sua localização (Nunes, 1999).

Ou seja, a fronteira de placas Eurásia-África na região das ilhas dos Açores será definida pelo Rifte da Terceira, pela Transformante de São Jorge, pela Zona de Fractura Faial- Pico ou, ainda, por outro (s) acidente (s) tectónico (s) activo (s) de orientação geral WNW-ESE? Por outro lado, diversos autores sugerem a existência, actual ou no passado, de uma mini ou microplaca (Machado *et al.*, 1972, Madeira e Ribeiro, 1989 e Luis *et al.*, 1994) – a designada “Microplaca dos



Açores” (Forjaz, 1983) – coincidente *grosso modo* com a Plataforma dos Açores e que definiria, assim, uma área-limite para esta fronteira de placas, em vez de uma única directriz tectónica.

### **3 - Sismicidade**

#### **3.1 – Sismologia - Uma Abordagem conceptual**

A maioria do conhecimento da estrutura interna da terra, das suas propriedades físicas, das forças internas que possibilitam a deriva das placas tectónicas e que produzem grandes acidentes geológicos tem origem nos dados sísmicos. Por este motivo, a Sismologia continua a ser ferramenta fundamental no estudo da dinâmica e de cinemática dos processos geológicos a todos os níveis (<http://www.seismo.com>, 2002). A Sismologia enquanto ciência apresenta dualidade relativamente à forma como o seu projecto de estudo é encarado. Esta dualidade advém da capacidade de discernimento que o cientista terá que possuir relativamente aos estudos efectuados nesta área. Se, por um lado, existe a necessidade de conhecimentos no âmbito da Geologia, por outro não será de menor importância o suporte matemático para compreender, interpretar e analisar a resposta instrumental que é o suporte desta ciência (Richter, 1958). Actualmente, o modelo explicativo para a ocorrência de sismos é bastante aceite, o qual preconiza que a acumulação de forças numa determinada região, poderá resultar num sismo quando é superado o limite de resistência dos materiais envolventes, originando a libertação instantânea da energia acumulada (Ibáñez e Carmona, 2001).

A magnitude do sismo está relacionada com as dimensões da fractura (Lee e Steward, 1981, in Ibáñez e Carmona, 2001) e uma das maiores incógnitas é determinar qual a origem da acumulação das forças (Ibáñez e Carmona 2001). A fracturação das rochas poderá ocorrer em diferentes escalas, nos locais onde estas fracturas estão organizadas em grandes estruturas planares que são dominadas por falhas (McNutt, 2000). Deste modo, pode-se inferir que quando uma estrutura deste tipo apresenta movimento, denomina-se por falha, e fractura

quando não existe deslocamento. A identificação das causas é de grande importância para a explicação da origem da sismicidade detectada ser de origem puramente tectónica ou se está relacionada, por exemplo, com a dinâmica de um vulcão (Ibáñez e Carmona, 2001).

### 3.1.1 – Conceitos básicos

Apresentam-se, de seguida, alguns conceitos básicos fundamentais para a compreensão de uma manifestação sísmica, e uma breve exemplificação da aplicação destes conceitos para uma melhor compreensão da complexidade que envolve este tipo de fenómeno segundo Cabral, (1995).

**Sismos** - são movimentos vibratórios do solo que se vão propagando até à superfície, originados por uma libertação brusca de energia gerada numa determinada zona da litosfera (hipocentro).

**Macrossismo** – sismo que é sentido pela população e que pode causar danos por vezes importantes.

**Microssismo** – sismos de pequena intensidade, geralmente imperceptíveis, ou quase, mas que são registados pelos sismógrafos.

**Abalos premonitórios** – sismos de menor magnitude que precedem o sismo principal, mais violento.

**Réplicas** – abalos de menor magnitude que se seguem a seguir ao sismo principal.

#### **Sismos naturais:**

- **Sismos vulcânicos** – sismos provocados pelo movimento de massas magmáticas.
- **Sismos de colapso ou de implosão** – originados pelo colapso de certas estruturas geológicas, como cavernas, ou devidos a movimentos em massa.

- **Sismos tectónicos** – sismo provocado pela deslocação brusca das rochas ao longo de uma falha.

Quando é ultrapassado o limite de elasticidade de uma rocha que tenha um comportamento frágil, verifica-se a rotura e o movimento entre os dois blocos, sendo libertada a energia elástica acumulada sob a forma de calor e também sob a forma de ondas sísmicas.

**Ondas sísmicas** – ondas elásticas produzidas durante um sismo e que se propagam segundo superfícies concêntricas a partir do foco.

**Teoria do ressalto elástico** – teoria proposta por Reid referindo que, se num dado momento as tensões tectónicas acumuladas ultrapassarem o atrito, entre dois blocos de uma falha activa, dá-se um movimento brusco, ocorrendo instantaneamente a libertação da energia elástica acumulada, em parte como calor e em parte como ondas sísmicas.

**Falha** - superfície da fractura, ao longo da qual ocorreu um movimento relativo entre os dois blocos separados.

- Para se poder considerar uma falha, os dois blocos, ou um deles tem de se mover.

**Epicentro** - local à superfície do globo na vertical do hipocentro onde o movimento vibratório do solo é o máximo.

**Ondas longitudinais ondas - P (Primárias)** – as partículas vibram na mesma direcção de propagação da onda, são as mais rápida e menos destruidoras e como tal são as primeiras a chegar à superfície terrestre. Propagam-se em meios sólidos líquidos e gasosos. Estas ondas comprimem e distendem fazendo variar o volume dos materiais.

**Ondas transversais - ondas S (secundárias)** – as partículas vibram perpendicularmente à direcção de propagação da onda. São mais lentas que as

ondas P, pelo que surgem em segundo lugar. Propagam se apenas em meios sólidos.

### **Ondas superficiais:**

**Ondas superficiais (L)** – ondas que se propagam à superfície do globo e que resultam de interferências de ondas P e S. São as responsáveis pela maior parte das destruições. São ainda mais lentas que as ondas S e as P, propagam se à superfície ou próximo dela.

**Onda de Love** – onda superficial em que as partículas vibram horizontalmente, fazendo a direcção de vibração um ângulo recto com a direcção de propagação.

**Onda de Rayleigh** – onda superficial em que as partículas descrevem um movimento elíptico num plano perpendicular à direcção da onda.

### **Intensidade sísmica e magnitude de um sismo:**

**Isossistas** – circunferências traçadas num mapa, a partir do epicentro, que separam duas zonas de diferentes intensidade sísmica.

**Intensidade** de um sismo varia com a distancia epicentral, e baseia se no grau de destruição que o sismo provoca nas construções antrópicas.

A velocidade de propagação das ondas sísmicas varia com a profundidade, a rigidez dos materiais por onde a onda se esta a propagar e a densidade. A escala da intensidade vai de I a XII, neste trabalho utilizamos a escala Macrossísmica Europeia (EMS 98).

**Magnitude** – conceito introduzido por Richter, cujo valor representa a ordem da grandeza de energia libertada no hipocentro sob a forma de ondas elásticas.

Do nosso ponto de vista, os conceitos acima apresentados são essenciais para uma melhor compreensão da complexidade do fenómeno que são os sismos. Por um lado, traduzem em termos gerais a terminologia correcta do fenómeno em

questão, por outro lado dão-nos a compreender a sucessão por vezes complexa da manifestação do próprio fenómeno.

Exemplificando: qualquer material rígido, de acordo com as leis físicas, quando submetido à acção de forças (pressões e tensões) deforma-se até atingir o seu limite de elasticidade. Caso a acção da força prossiga o material entra em ruptura, libertando instantaneamente toda a energia que havia acumulado durante a deformação elástica. Em termos gerais, é aquilo que se passa quando a litosfera fica submetida a tensões. Sob o efeito das tensões causadas, a maior parte das vezes, pelo movimento das Placas Tectónicas, a litosfera acumula energia.

Logo que, em certas regiões, o limite de elasticidade é atingido, dá-se uma ou várias rupturas que se traduzem por falhas. A energia bruscamente libertada ao longo destas falhas origina os sismos. Se as tensões prosseguem, na mesma região, a energia continua a acumular-se e a ruptura consequente far-se-á ao longo dos planos de falha já existentes.

As forças de fricção entre os dois blocos de uma falha, bem como os deslocamentos dos blocos ao longo do plano de falha, não actuam nem se fazem sentir de maneira contínua e uniforme, mas por "impulsos" sucessivos, originando cada "impulso" um sismo, as chamadas réplicas. Numa dada região, os sismos repetem-se ao longo do plano de falha, que por sua vez é um plano de fraqueza na litosfera.

Compreende-se então porque é que os sismos se manifestam geralmente pelo abalo principal, logo no seu início. Só no momento em que as tensões levaram as rochas rígidas e dotadas de certa elasticidade ao "potencial de ruptura" é que esta se produziu, oferecendo um duplo carácter de violência e instantaneidade. Mas depois da ruptura inicial, verifica-se uma série de rupturas secundárias, as quais correspondem ao reajustamento progressivo das rochas fracturadas, originando sismos de fraca intensidade as já referidas réplicas. Acontece que, por vezes, antes do abalo principal observam-se sismos de fraca intensidade denominados por abalos premonitórios.

### 3.2 - Actividade Sísmica e Vulcanismo

O peculiar enquadramento geotectónico do arquipélago dos Açores, confere-lhe uma actividade vulcânica importante e uma elevada sismicidade. Segundo Weston (1964), desde a descoberta e povoamento das ilhas dos Açores, na primeira metade do século XV, foram reportadas 32 erupções vulcânicas na região dos Açores. Uma análise crítica deste total deve ter em conta que na sua avaliação foram incluídos focos eruptivos que podem ser considerados como estando associados a uma mesma erupção vulcânica, como sejam os casos dos focos na Lagoa do Fogo e no Pico do Sapateiro (erupção de 1563) e, mais recentemente, dos focos nos Capelinhos e no interior da Caldeira do Faial (erupção de 1957-58). Por outro lado, colocam-se algumas dúvidas ou existem incertezas relativamente à ocorrência de alguns fenómenos eruptivos reportados (1963, na ilha do Pico, 1964, em São Jorge), bem como à localização dos centros emissores de outras erupções históricas.

Inversamente, o número anteriormente apontado não inclui, muito provavelmente, várias outras erupções que terão tido lugar nos mares dos Açores longe de uma eventual observação humana, ou que terão ocorrido a profundidades demasiado grandes para provocarem quaisquer efeitos superficiais observáveis. Adicionalmente, os estudos vulcanológicos em curso em diversas ilhas dos Açores, nomeadamente no domínio da cartografia, têm fornecido novos dados sobre este tema, como é o caso dos elementos actualmente disponíveis sobre o Vulcão Furnas (ilha de São Miguel), que apontam para a ocorrência de duas erupções no século XV (designadamente por volta de 1425 e em 1439-1443), para além da erupção de 1630, vastamente referenciada (Queiroz *et al.*, 1995).

No arquipélago dos Açores deram-se não só erupções subaéreas (nas ilhas de São Miguel, Terceira, São Jorge, Pico e Faial), mas também fenómenos vulcânicos submarinos, que originaram pequenas ilhas emersas ou, simplesmente, baixios. De entre os vulcões submarinos dos Açores destaca-se o Banco D. João de Castro (BDJC), considerado como um dos mais importantes vulcões activos do arquipélago, com grande actividade sísmica e um importante

campo fumarólico submarino, onde foram medidas, em 1989, temperaturas da água do mar de 55°C junto às fontes de calor (Nunes, 1991). Em 1996, durante uma expedição ao *BDJC* coordenada pelo Clube Naval de Ponta Delgada, foram medidas temperaturas de 110°C no fundo rochoso (Forjaz, com. pess.).

A última erupção vulcânica ocorrida nos Açores teve início em finais de 1998 e estará, ainda, em curso. Com focos (s) localizados no mar, sensivelmente a 10-15 km a Oeste da ilha Terceira, a “erupção da Serreta” desenvolve-se no troço do Rifte da Terceira que se desenvolve entre esta ilha e a ilha Graciosa, sede de uma outra erupção vulcânica, em 1867 (Weston, 1964, *in* Nunes, 2000). A erupção de 1998-99 apresenta como principais características uma muito baixa sismicidade associada, centros emissores localizados a profundidades entre 300 e 800 metros e um carácter marcadamente efusivo.

Refira-se que as ilhas e os ilhéus resultantes da actividade vulcânica submarina têm frequentemente uma existência efémera, uma vez que são destruídas pela acção erosiva do mar, especialmente quando são formadas por níveis incoerentes, não compactada. Tal foi o caso da *Ilha Sabrina*, edificada na sequência da erupção de 13 de Junho de 1811, ocorrida no mar a cerca de um milha da costa SW de São Miguel. Formada por escórias basálticas, esta ilha atingiu cerca de 100 metros de altura mas foi rapidamente destruída pela erosão marinha, de modo que, em Outubro de 1811, só restava um baixio na zona onde fora edificado o cone (Weston, 1964 *in* Nunes, 1999).

O arquipélago dos Açores tem sido palco de uma intensa actividade sísmica, bem documentada pelos registos históricos existentes e pela sua sismicidade instrumental. Para além de uma actividade sísmica relacionada com os fenómenos vulcânicos - observados ou inferidos (*vide* sismos sentidos na costa ocidental da ilha de São Miguel, em 1713) - a elevada sismicidade do arquipélago resulta essencialmente da tectónica regional e local, traduzindo-se pela ocorrência de sismos fortes, sentidos com maior ou menor intensidade em quase todas as ilhas do arquipélago (Nunes, 1991). A vasta bibliografia disponível sobre a actividade sísmica histórica no arquipélago dos Açores evidencia que os sistemas Faial -

Pico e Terceira - São Miguel (incluindo-se aqui a ilha Graciosa) constituem os principais sistemas tectónicos geradores da sismicidade do arquipélago. Por outro lado, o assinalável incremento de actividade sísmica no sistema Terceira - São Miguel no período 1988/89 (com a ocorrência de cerca de 230 sismos sentidos, sobretudo nas ilhas Graciosa e São Miguel) parece confirmar o intervalo de recorrência de 7 a 9 anos proposto por V. Forjaz para as crises sísmicas no arquipélago dos Açores (Nunes *et al.*, 1992).

Apesar da sismicidade instrumental dos Açores cobrir um espaço de tempo de cerca de um século, só a implementação de uma rede microssísmica permanente, em 1980, veio melhorar qualitativa e quantitativamente os dados relativos à sismicidade instrumental do arquipélago dos Açores (Nunes, 1991), passando a ser possível registar um grande número de sismos de pequena e média magnitude, gerados nas ilhas e nas suas proximidades.

A análise da sismicidade instrumental do arquipélago dos Açores no período 1980-1989 (Nunes, 1991) mostrou que a grande maioria dos epicentros calculados se dispõe ao longo do alinhamento definido pelo Rifte da Terceira, com os eventos dispersos ao longo de uma faixa de orientação WNW-ESE que se estende desde a região ocidental da ilha Graciosa até à região oriental da ilha de Santa Maria, passando pelas ilhas Terceira, São Miguel e os Ilhéus das Formigas (Figura 6).

O estudo efectuado mostrou também que a distribuição espacial dos sismos sentidos, globalmente mais energéticos, obedece ao mesmo padrão atrás referenciado e que a Zona de Fractura Faial - Pico apresenta uma notável sismicidade no período estudado, sobretudo no troço que se desenvolve para Oeste da ilha do Faial (fig. 5).



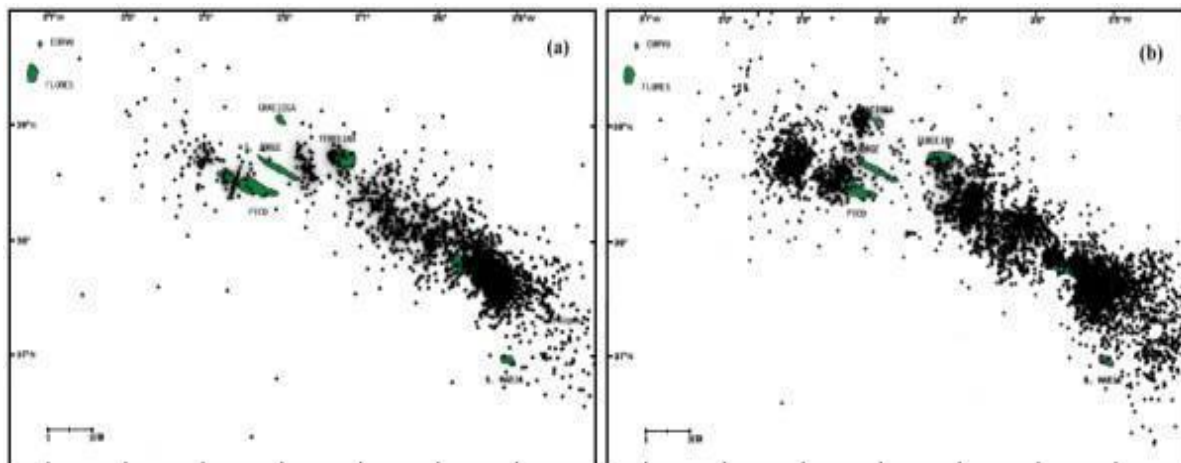


Figura 5 - Cartas epicentrais para a região dos Açores, referentes aos períodos 1980-1988 (a) e 1989-98 (b). Retirado de Nunes, 2000.

Apesar do pequeno intervalo de tempo estudado, das limitações impostas pela distribuição geográfica da rede sísmica de detecção e da sua distância aos epicentros, foi igualmente possível localizar eventos na Crista Médio-Atlântica e no extremo SE do Rifte da Terceira, na zona de transição para a Falha GLORIA. Finalmente, este estudo permitiu obter, pela primeira vez, um conjunto de epicentros localizado nas proximidades da Fossa Oeste da Graciosa, que traduzem uma importante actividade sísmica que se desenvolveu em 1989 no extremo NW do Rifte da Terceira, numa zona que é apontada como a região epicentral do sismo de 1837 (Nunes, 1991).

### 3.3 – Historicidade sísmica

Como anteriormente se referiu, dado o quadro geotectónico em que se inserem, os Açores são alvo de uma intensa actividade sísmica e vulcânica. Madeira, (1998); Silveira, (2002) e Carmo, (2004) apresentaram uma tabela síntese dos sismos mais importantes, ao nível da destruição e mortes, ocorridos nos Açores deste o seu povoamento, no séc. XV (tabela 1).

Carmo (2004) assinalou no seu trabalho os eventos que atingiram com maior intensidade a metade oriental da ilha de São Miguel, nomeadamente o concelho da Povoação, provocando prejuízos e dando origem a movimentos de massa.

Data	Intensidade	Zona mais afectada	Magnitude	Consequências
1522-10-22	X	Vila Franca do Campo		Cerca de 5000 mortes. Grandes destruições.
1571/Jun-Jul	VIVII	Terceira		Crise sísmica. Algumas destruições.
1614-05-24	X-XI (?)	Praia da Vitória		Destruição quase total.
1647-06-09	VVI	Terceira		Crise sísmica. Algumas destruições.
1713-12-08	VIVII	S. Miguel		Crise sísmica. Algumas destruições.
1730-06-13	IX-X (?)	Luz e Praia		Destruição quase total.
1757-07-09	XI	S. Jorge		Cerca de 1000 mortes. Grandes destruições.
1800-06-24	VII-VIII	Vila Nova e S. Sebastião		Grandes destruições.
1801-01-26	VIII-IX	Cabo da Praia e Fonte Bastardo		Grandes destruições.
1837-01-21	IX (?)	Luz e Praia		Destruição quase total.
1841-06-15	IX	Praia da Vitória		Grandes destruições.
1852-04-16	VII	S. Miguel		Várias mortes.
1926-08-31	X	Horta		20 mortes, 200 feridos. Grandes destruições.
1932-08-05	VIII	Povoação		Vários feridos. Grandes destruições.
1935-04-27	VIII-IX	Povoação		1 morto. Grandes destruições.
1937-11-21	VII	Santa Maria		
1939-05-08	VII	Santa Maria	7 Mb	
1952-06-26	VIII	Ribeira Quente		Grandes destruições.
1958-05-13	IX-X	Praia do Norte		Grandes destruições.
1964-02-21	VIII	Velas		Grandes destruições.
1973-11-23	VIII	Santo António		Grandes destruições.
1980-01-01	VII	Angra do Heroísmo	7.2 Mb	54 mortes, 400 feridos. Grandes destruições na Terceira, Graciosa e S. Jorge.
1998-07-09	VIII	Ribeirinha	5.8 Md	8 mortes e mais de uma centena de feridos. Grandes destruições no Faial e Pico.

Legenda: ■ - eventos que atingiram a região em estudo.

Tabela 1 – Principais sismos históricos dos Açores (intensidades na escala MM56) (in Madeira, 1998; Silveira, 2002 e Carmo, 2004)

No caso do sismo de 5 de Agosto de 1932, o epicentro ter-se-á localizado a SE da freguesia de Água Retorta, onde foi observada uma intensidade máxima de grau VIII (figura 6). Este evento terá tido origem provável em estruturas tectónicas da Bacia Este de São Miguel (Silveira, 2002).

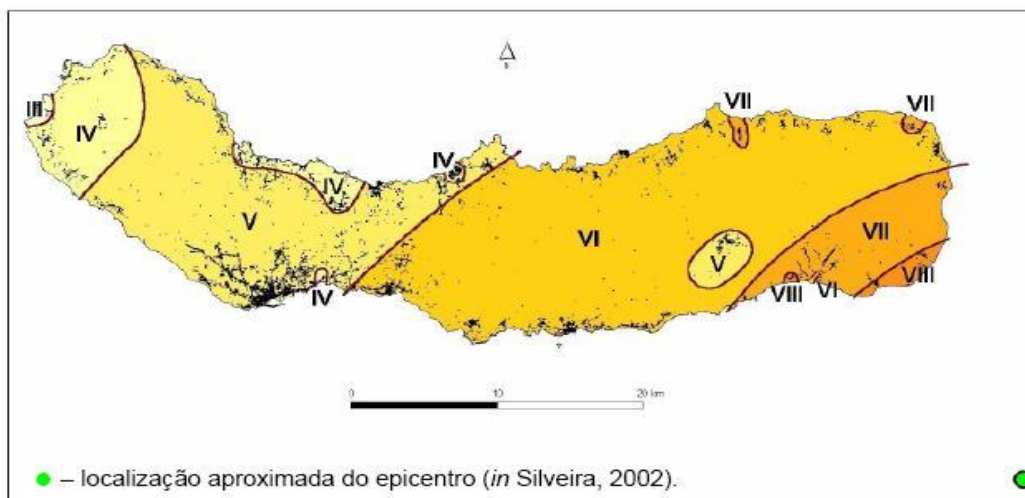


Figura 6 - Carta de intensidades do sismo de 5 de Agosto de 1932 (intensidades EMS 98)

Relativamente ao evento de 27 de Abril de 1935, o epicentro ter-se-á localizado numa zona a S da Ribeira Quente e relativamente próximo da costa (figura 7). As intensidades máximas foram de IX e VIII na Lomba do Cavaleiro (Povoação) e Ribeira Quente, respectivamente (Silveira, 2002).

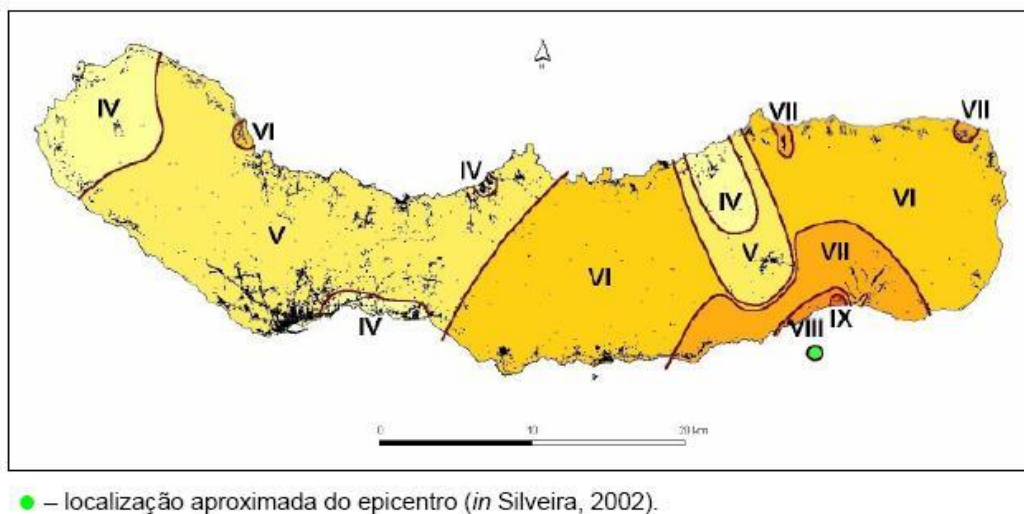
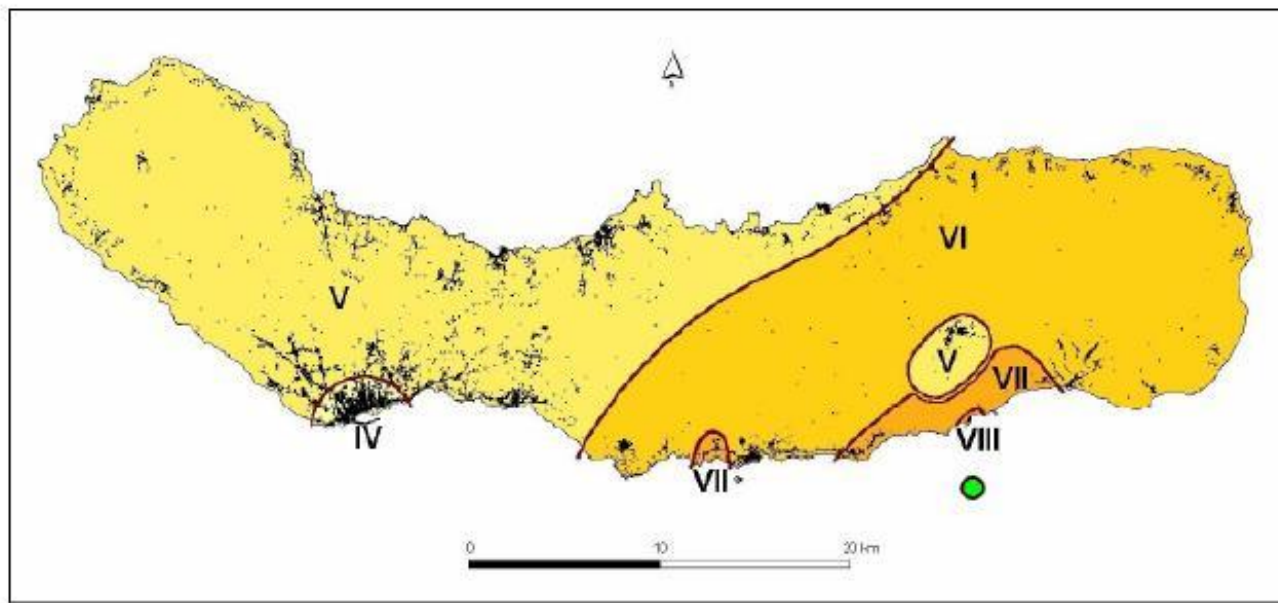


Figura 7 - Carta de intensidades do sismo de 27 de Abril de 1935 (intensidades EMS 98)

O epicentro do sismo de 26 de Junho de 1952, à semelhança do evento de 27 de Abril de 1935, ter-se-á localizado numa zona a S da Ribeira Quente e relativamente próxima da costa (figura 8). A intensidade máxima registada foi de VIII na freguesia da Ribeira Quente (Silveira, 2002).



● – localização aproximada do epicentro (in Silveira, 2002).

Figura 8 – carta de isossistas do sismo de 26 de Junho de 1952 (intensidades EMS 98)

No concelho da Povoação, e com base na análise de documentos históricos e trabalhos realizados (e.g Silveira, 2002), ocorreram diversos eventos com repercussões graves no parque habitacional e na população. Com base nestes relatos, Silveira (2002) desenhou a carta de intensidades máximas históricas (EMS-98) para a ilha de São Miguel.

De acordo com esta projecção, a intensidade máxima registada no concelho da Povoação foi de VIII-IX (EMS-98) aquando as crises sísmicas de 5 de Agosto de 1932 e de 26 de Abril de 1935 (fig.9).

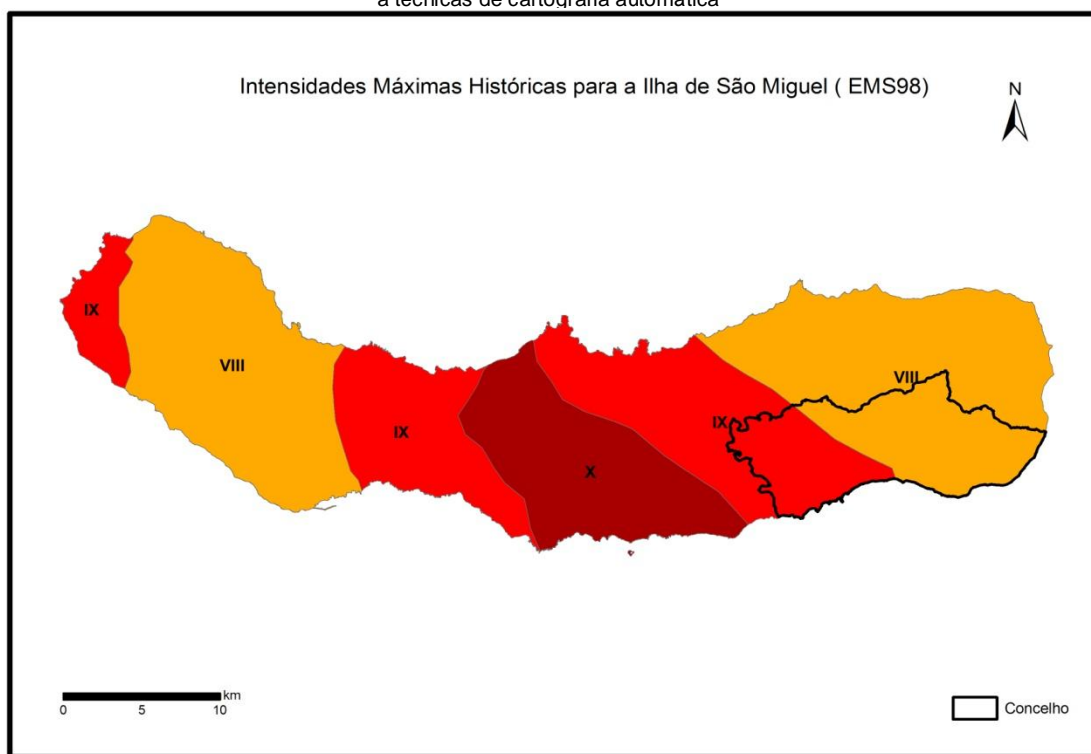


Figura 9 – Carta de intensidades máximas históricas para a ilha de São Miguel (modificado de Silveira, 2002)

### 3.4 – Relatos Históricos dos referidos sismos

Os relatos históricos dos principais sismos ocorridos na Ilha de São Miguel, e com especial enfoque no concelho da Povoação, são do nosso ponto de vista uma mais-valia para a percepção da destruição e caos provocados por aqueles acontecimentos, sendo também importantes para a compreensão e corroboração do modelo de risco sísmico a que nos propusemos criar. Estes três relatos são os mais significativos, pois traduzem as crises sísmicas mais importantes do século passado. Apesar de terem acontecido mais episódios sísmicos, do nosso ponto de vista, e de acordo com a pesquisa efectuada, estes três são determinantes na compreensão da manifestação do fenómeno. Após a crise de 1952, não houve crises sísmicas com esta importância e com este grau de destruição. Assim sendo, não preservavam interesse para este trabalho.

#### 3.4.1 - O Sismo de 5 de Agosto de 1932

O “tremor de terra” de 5 de Agosto de 1932 foi dos mais importantes eventos registados no arquipélago dos Açores durante o século passado, com a maior incidência na ilha de São Miguel. Este importante evento não causou qualquer

vítima mortal, mas foi responsável por avultados danos materiais na zona Este da ilha, com maior incidência no concelho da Povoação, em que muitas habitações de algumas freguesias ficaram parcialmente destruídas (Resendes, 2004).

Foi calculado que a distância do epicentro do abalo era de 212 km, cinco milhas a leste de Água Retorta (Silveira, 2002).

O tremor terá durado 6 segundos, registando-se primeiro, de acordo com relatos da época, *“uma pequena oscilação, logo seguida dum choque muito violento, que durou uns quatro ou cinco segundos, acompanhado de ruídos subterrâneos”*. Para além do Concelho da Povoação, o sismo provocou pânico generalizado em todas as freguesias da ilha. A intensidade máxima, VIII na Escala de Mercalli, foi observada na freguesia de Água Retorta e no lugar da Lomba do Cavaleiro.

Segundo Agostinho (1932), o evento foi de origem tectónica, estando associado a um deslocamento ao longo da parte oriental da linha de fractura São Miguel - Terceira - Graciosa, a qual é demarcada por uma série de fossas submarinas.

No sábado dia 6, e na sequência deste sismo, foram sentidas diversas réplicas. Efectivamente, *“pelas 14H00 sentiram-se tremores de terra no Faial da Terra, Água Retorta e Sete Cidades”* (Diário dos Açores, n.º 12.042). Posteriormente, ainda nos dias 7 e 8 de Agosto foram registados alguns pequenos abalos de curta duração, os quais acabaram por estar na génese do colapso estrutural de algumas edificações certamente fragilizadas pelo evento do dia 5 de Agosto e que são relatados como *“desmoronamentos sem mais pequena influência de vento ou qualquer outro factor”* (Correio dos Açores, n.º 354).

Quanto aos impactos do sismo, para além dos danos verificados nas habitações que de seguida se referirão, ocorreram ainda alguns movimentos de vertente por todo o concelho da Povoação, sendo de salientar *“o escorregamento<sup>1</sup> verificado num talude da Estrada Municipal que liga a Vila da Povoação à freguesia de Nossa senhora dos Remédios”* (Correio dos Açores, n.º12.042).

---

<sup>1</sup> Provavelmente o tipo de movimento em questão foi um desabamento, tendo em conta a litologia da área.

No que se refere aos danos nas casas, “de um modo geral, registaram-se fendas em inúmeras habitações em todas as localidades da ilha...” (Diário dos Açores, n.º 12.040). Contudo, foi no concelho da Povoação que o sismo teve impactos mais significativos, “...sendo a Lomba do Cavaleiro, Água Retorta, Faial da Terra e Lomba do Loução os sítios e que os danos mais avultam”. (Diário dos Açores n.º 12.053). Ainda segundo relatos dos quotidianos da altura (Correio dos Açores n.ºs 3540,3541,3544,3545; Diário dos Açores n.ºs 12.040,12.041 e 12.042) a freguesia de Água Retorta foi a mais afectada, sendo possível observar “...habitações seguidas completamente desmoronadas.” E também “...66 casas completamente desmoronadas e 350 completamente em ruínas.” Para além destas, havia também “...muitas casas ameaçando cair.” Para além destes danos materiais, houve também a registar muitas pessoas feridas fruto dos desabamentos, tendo morrido “...alguns animais atingidos pela queda de pedra e muros.” (Silveira, 2002).

Na freguesia do Faial da Terra existem também relatos de grande destruição, com dezenas de casas destruídas e outras sem condições de segurança para continuarem a ser habitadas. Contudo, “Não nos oferece o Faial da Terra, olhada exteriormente a sua casaria, o aspecto de derrocada que se nos depara em Água Retorta, a não ser um pequeno aglomerado de casas na margem esquerda da ribeira, e no lugar do Outeiro...” (Diário dos Açores n.º 12.075). Para além destas casas visivelmente atingidas “ no interior das casas desde o Sanguinho até ao mar, observam-se e constata-se prejuízos de, talvez, maior vulto material do que em qualquer das outras regiões sinistradas...porque a sua casaria, em grande número de dois andares, é, manifestante, de muito valor, e toda ou quase toda ela está fendida de modo a oferecer iminente perigo de desmoronamento, apesar de, pelo exterior pouco mais apresentarem, muitas casas, do que largas fendas em todas as direcções, que impõe todavia, o seu apeamento até aos alicerces...” (Diário dos Açores, n.º 12.075). O património religioso da freguesia foi também muito atingido “A Ermida de Nossa Senhora de Lourdes ficou completamente desmoronada. A Capela e o Campanário da igreja Paroquial, assim como o frontispício.” (Apontamentos Histórico Etnográfico, págs. 527 e 528, 1982). A

intensidade do sismo foi tanta que “A fachada da Igreja Paroquial, separada do corpo da torre pelo terramoto...a torre, torcida e balustrada por terra...” (Diário dos Açores, n.º 12.092).

Outro local deveras atingido foi a Lomba do Cavaleiro. Aqui as “...140 casas de habitação que possui aquela Lomba, todas reduzidas a um montão de ruínas... Nenhuma casa susceptível de ser habitada e algumas completamente destruídas... onde os montões de caliza se misturam com os destroços do mobiliário...nenhum desastre há a registar (Correio dos Açores n.º 3540). Segundo relato do Governador Civil existiam apenas “... duas casas habitáveis...” (Correio dos Açores n.º 3541). Inclusivamente, “ o chão de todas as habitações térreas apresentava em todos os locais do sinistro pequenas fendas.” (Correio dos Açores n.º 3541).

Tal como a Lomba do Cavaleiro, também a Lomba do Loução o panorama não era melhor no que aos impactes do sismo diz respeito. Embora não se registassem “... tantas casas abatidas como na do Cavaleiro...” não houve “... uma só casa que não haja sido prejudicada com o sismo...” (Correio dos Açores n.º 3540). A igreja foi também atingida, tendo-se registado “... várias fendas e algumas pirâmides partidas...” (Correio dos Açores n.º 3540). Tal como se referiu atrás, a queda de um talude no acesso à Lomba fez com que ficasse “...impedido o trânsito pelo ramal que conduz directamente àquela Lomba...” (Correio dos Açores n.º3540).

Nas restantes Lombas localizadas no interior da Caldeira da Povoação, houve muitos estragos, se bem que em menor dimensão do que as Lombas do Loução e Cavaleiro (Silveira, 2002).

Na Vila da Povoação existem apenas registos de “...um grande número de casas fendidas e uma com a chaminé e a empena derrubada...” (Correio dos Açores n.º 3540; Diário dos Açores n.º 12.041). A Igreja da Mãe de Deus foi também atingida pois “... caíram algumas pirâmides e ficaram abertas pequenas frestas...”, tal como a Igreja de Santa Bárbara, onde também caíram “... a cruz da



frontaria...mais uma pirâmide da torre e o seu gradeamento de pedra abriu deixando largas fendas, o que aconteceu também na escada que lhe dá acesso... As duas ordens de colunas que sustentam o tecto desviaram-se... No tecto existe uma fenda em quase todo o seu comprimento...fendas nas paredes, principalmente na da frente, que se desviou da sua posição vertical.” (Correio dos Açores n.º 3540). As pontes da Povoação também foram atingidas, nomeadamente a Ponte Nova, a qual “... ficou com algumas fendas.” (Diário dos Açores, n.º 12.042).

Na área poente do concelho da Povoação, nomeadamente nas freguesias de Furnas e Ribeira Quente, os impactes do sismo de 5 de Agosto de 1932 foi muito menor. Registaram-se na Ribeira Quente “...apenas alguns prejuízos, vendo-se fendidas muitas casas” e um movimento de massa no lugar do Agrião que “... arrastou para o mar alguns alqueires de terra, ficando muito arruinada uma casa, ameaçando desabamento. Os caminhos ali apresentam grandes fendas.” (Diário dos Açores n.º 12.041; Correio dos Açores n.º 3541).

Na freguesia de Furnas, “A Igreja de Nossa Senhora de Sant’Ana ficou fendida o mesmo acontecendo a uma casa no Estaleiro e ao edifício termal. “ (Correio dos Açores n.º 3540; Diário dos Açores 12.041). Numa casa da rua das Caldeiras “... caiu uma trave que, atingindo uma criança de meses, produziu-lhe ferimentos de gravidade”. (Diário dos Açores 12.041; Correio dos Açores n.º 3540).

### **3.4.2 - O Sismo de 27 de Abril de 1935**

Ainda não tendo passado três anos sobre o sismo de 5 de Agosto de 1932, ocorreu outro abalo de terra que, mais uma vez, atingiu a ilha de São Miguel, com maior impacte na sua metade Oriental (Resendes, 2004).

O evento ocorreu no sábado, dia 27 de Abril de 1935, pelas 17h e 44m, sendo a réplica de maior intensidade sentida no dia 28 do mesmo mês às 15h 10m. O sismo foi registado no sismógrafo do Observatório Afonso Chaves, em Ponta Delgada, não sendo, contudo, “... registada a fase inicial ou dos tremores preliminares...tendo o máximo de amplitude...sido registado às 17h e 48m. Foi

neste momento que o abalo atingiu o máximo de acção destrutiva. Ainda nesta chamada fase inicial registaram-se durante uns 10 minutos, 6 grupos bem definidos de oscilações...” (Diário dos Açores n.º 12.834).

Segundo testemunhas, o sismo teve a duração de 17 segundos, sendo precedido e acompanhado de “...fortes ruídos subterrâneos...” e no Nordeste testemunhas afirmam ter sentido “... um cheiro muito pronunciado a enxofre.” (Correio dos Açores, n.º 4332).

As réplicas sentidas no Domingo, dia 28 constituíram “... mais dois abalos, sendo o primeiro quase imperceptível e o segundo muito violento... Este último abalo, foi especialmente ouvido nos primeiros andares das casas, passando quase despercebido na maioria da população...” (Correio dos Açores, n.º 4332).

Na noite de 29 para 30 de Setembro e entre as 15 horas e as 15h e 25 m do dia 30 foram sentidas mais réplicas, tal como na noite de 10 para 11 de Maio (Silveira, 2002) “... sentiram-se três novos abalos de terra, sendo o 1º por volta da meia-noite, o 2º pelas 4 e o 3º pelas 4.15”. (Diário dos Açores, n.º 12.844).

Ao contrário do sismo de 1932, este evento teve uma vítima mortal, para além de alguns feridos e importantes danos materiais. Por outro lado, foi também o concelho da Povoação o mais afectado, tendo mesmo ocorrido novos desabamentos em habitações anteriormente atingidas pelo sismo de 1932 (Silveira, 2002).

No entanto, e para além deste concelho, toda a ilha de São Miguel foi afectada, tendo o sismo causado pânico geral na sua população e avultados prejuízos materiais e uma vítima mortal “... na sequência de ter desabado sobre ele uma quebrada.” (Correio dos Açores, n.º 4331).

O impacte do sismo de 27 de Abril de 1935 no parque habitacional fez-se sentir em toda a ilha de São Miguel. No entanto, “ todo o concelho da Povoação sofreu mais fortemente do que qualquer outra parte da ilha...” (Açoriano Oriental, n.º 5179), tendo as localidades mais atingidas sido, mais uma vez a Lomba do

Cavaleiro, onde os prejuízos, em relação ao sismo de 1932 “... foram muito superiores...” e também na Ribeira Quente (Correio dos Açores, n.º 4332). Inclusivamente, ficaram “em ruína quase total, todas as casas.” da Lomba do Cavaleiro (Diário dos Açores, n.º 12.833). Por outro lado, em muitos casos, as casas que tinham ficado em pé e sem problemas aparentes, tornava-se necessário “...entrar dentro das casas arruinadas para se fazer uma ideia dos prejuízos causados. É que exteriormente, as casas não causam impressão de maior, não dão ideia exacta da extensão e importância da catástrofe. Por tudo o que ficou de pé, tudo o que ainda se equilibra, está completamente em ruína, em derrocada eminente.” (Correio dos Açores, n.º 4332). Resumindo, das 150 casas existentes na Lomba do Cavaleiro, quase todas ficaram destruídas com este sismo (Silveira, 2002).

Importa ainda referir que, e segundo testemunhos do Governador Civil e do Director das Obras Públicas distritais, mesmo as casas reconstruídas após o sismo de 5 de Agosto de 1932 “...não resistiram melhor do que as outras. De resto, não admira, visto que essas reconstruções se efectuaram usando os mesmos processos da construção vulgar e não da construção anti-sísmica.” (Correio dos Açores, n.º 4332). Ainda na Lomba do Cavaleiro, “...registaram-se três feridos, um dos quais de gravidade” (Correio dos Açores, n.º 4331).

Para além desta Lomba, também as Lombas do Carro, Botão e Pomar foram atingidas com algum impacto. Efectivamente, o parque habitacional da Lomba do Carro ficou “Quase metade em ruínas” (Diário dos Açores, n.º 12.833).

A Lomba do Botão, também muito afectada, apresentava “...casas em ruína total, 57; parcial, 72; e com ligeiras fendas, 76.” (Correio dos Açores, n.º 4334; Diário dos Açores, n.º 12.839).

Na Lomba do Pomar “...16 casas em ruína total; 45 parcial; 46 com pequenas fendas e 8 sem prejuízos.” (Correio dos Açores, n.º 4335; Diário dos Açores, n.º 12.839).

Na Lomba do Loução, houve “... três casas demolidas e várias fendas em muitas outras...” (Açoriano Oriental, n.º 5179); Diário dos Açores, n.º 12.833). No entanto o *Correio dos Açores* n.º 4335 relata que os prejuízos foram maiores, apontando “... casas em ruína total, 18; parcial, 54; ligeira fendas, 123 e sem prejuízos, 54.” (Correio dos Açores, n.º 4335).

Na Vila da Povoação aparecem apenas registos de algumas fendas em todas as casas (Resendes, 2004).

No Faial da Terra, e tendo sido esta uma das freguesias do concelho mais afectadas pelo sismo de 5 de Agosto de 1932, existem relatos de “Muitas casas fendidas e outras ameaçadas de desmoronamento.” (Correio dos Açores, n.º 4331). De acordo com o Director das Obras Públicas distritais de então, existiam “...apenas duas casas em ruína total e 15 com prejuízos parciais, nada tendo sofrido as reconstruídas pelos Serviços de Socorro aos Sinistrados de 1932.” (Correio dos Açores, n.º 4332).

Em Água Retorta, este sismo teve muito menos impacto do que o de 1932, registando-se apenas “...prejuízos parciais só em 3 casas e fendas em algumas outras”. (Correio dos Açores, n.º 4332).

A freguesia da Ribeira Quente, como já se mencionou, foi uma da mais afectadas e onde se registou a única vítima mortal deste evento. Efectivamente, nesta freguesia “...o sismo atingiu grande violência, derrubando algumas e arruinado outras casas...” (Diário dos Açores, n.º 12.833).

Na freguesia de Furnas, e tal como em 1932, não existiram prejuízos de maior, “...a não ser fendas nalgumas casas velhas.” (Correio dos Açores, n.º 4334).

### **3.4.3 - O sismo de 26 de Junho de 1952**

Vinte anos após o sismo de 1932 e dezassete após o de 1935, a Ilha de São Miguel foi de novo afectada por um forte abalo de terra. Efectivamente, a 26 de Junho de 1952 ocorreu um sismo que atingiu o grau VII da escala de Mercalli modificada e afectou, sobretudo a costa SE da ilha, nomeadamente os concelhos

de Vila Franca do Campo e, de novo, Povoação, mas com maior incidência, a freguesia da Ribeira Quente (Resendes, 2004).

Assim, e segundo relatos da época, na tarde do dia 26 de Junho, quinta-feira, pouco depois do meio-dia, foram sentidos quatro sismos, tendo os mesmos sido registados pela estação sismográfica de Ponta Delgada às 13h 06m 42.2s, 13h 43m 17.4s, 14h 27m 23s e 15h 32m 55s TMG (uma hora a mais do que nos Açores – arquivo do IM – OAC) dos quais resultaram elevados danos materiais e um ferido sem gravidade (Silveira, 2002 *in* Resendes, 2004). Pela descrição implícita no III volume do Apontamento Histórico Etnográfico de São Miguel e Santa Maria, “...a terra tremeu de súbito, quatro abalos sacudiram teres e haveres dos habitantes...e trouxeram a população em contínuo alvoroço, cerca de uma semana”. É de salientar que os sismos foram precedidos e acompanhados por ruídos subterrâneos, sendo que “ O primeiro e o quarto foram de maior intensidade; os outros dois, pouco perceptíveis em Ponta Delgada.” (Diário dos Açores, n.º 2.057; Correio dos Açores, n.º 9.395; Açores n.º 2175). Nos dois eventos mais fortes foi determinado um S-P igual a 3.6 segundo, o que equivale a uma distância radial ao epicentro de 28 km (arquivo do IM – OAC *in* Silveira, 2002 e Resendes, 2004). Importa aqui referir “...que todos estes sismos tiveram a sua génese a distâncias entre os 22 e 38 km de Ponta Delgada, sendo que o quarto foi o mais próximo.” (Diário dos Açores, n.º 22.057; Correio dos Açores, n.º 9.395; Açores, n.º 2175).

Tendo ocorrido quatro eventos, o principal aconteceu às 15h 32m 55s (TMG), tendo sido precedido por pequenos abalos premonitórios alguns dias antes (Dias, 1952) e no próprio dia 26, alguns dos quais sentidos. Destes, o das 13h 06m 42s (TMG) chegou a provocar prejuízos (Silveira, 2002 *in* Resendes, 2004).

Embora tivessem sido atingidos os concelhos de Vila Franca do Campo e da Povoação, foi de novo o “Celeiro da Ilha” a ser o mais afectado. Assim sendo, junto da Ribeira do Além, na Vila da Povoação, e no “...sítio do Morro desprenderam-se alguns bocados de rocha, caindo com grande fragor nas águas, assim como em alguns pontos registaram-se movimentos de terra.” (Açores, n.º

2175). Também era possível observar-se, em vários pontos da sede de concelho da Povoação casas com fendas e pequenos desmoronamentos, sendo que a igreja Matriz da Nossa Senhora da Mãe de Deus pouco sofreu, tendo apenas caído a cruz do frontispício, apresentando a torre "...algumas brechas." (Diário dos Açores, n.º 22.057; Correio dos Açores, n.º 9.395; Açores, n.º 2175).

No entanto, foi a freguesia da Ribeira Quente a mais afectada. De acordo com a geomorfologia local, esta freguesia divide-se, de forma natural, em dois aglomerados populacionais designados como Fogo e Ribeira.

Aquando o sismo de 1952, segundo os relatos da época, a área do Fogo foi a mais atingida. "No lugar do Fogo ruíram a maior parte das casas e na freguesia cem habitações ficaram impraticáveis" sendo que seiscentas pessoas têm de viver ao ar livre. Não há água potável, pois os canos de ferro partiram-se; não há pão, os fornos ficaram inutilizados. No povoado só duas pessoas cozem e os restantes, que põem, vão fazê-lo às Furnas." (III volume do Apontamento Histórico Etnográfico de São Miguel e Santa Maria, pág. 632, 1982). Para além disto, em todas as casas "...são muitas as fendas abertas. Mas não são só fendas. Há dezenas de casas em que ruíram as empenas." (Açores, n.º 2175). Ainda no Fogo é relatado que "Ali não há mais do que duas ou três casas, cujas quatro paredes estão de pé..." (Diário dos Açores, n.º 22.071).

Na igreja de São Paulo, e para além "...do frontispício todo fendido..." (Diário dos Açores, n.º 22.071) "A igreja abriu fenda e o seu muro de suporte cedeu; três pirâmides da torre deslocaram-se e até a imagem de Nossa Senhora da Graça se despenhou do altar". (III volume do Apontamento Histórico Etnográfico de São Miguel e Santa Maria, pág. 632, 1982).

Por sua vez, no lugar da "...ribeira, algumas das casas parecem estar sólidas, elas estão, no entanto, todas profundamente fendidas, com chaminés rachadas, uma trave em baixo, etc." (Açores, n.º 2175).

O ferido contabilizado neste sismo foi uma criança “...que foi apanhada na derrocada de uma casa, sofreu várias escoriações...” (Diário dos Açores, n.º 22.057; Açores, n.º 2175).

Para além dos grandes estragos provocados pelo sismo na Ribeira Quente, também as Lombas da Povoação foram atingidas. Inclusivamente, “...onde o sismo produziu maiores estragos foi nas Lombas do Loução, Cavaleiro e Pomar. Aqui não é fácil encontrar uma casa intacta. Em todas são numerosas as fendas e os desmoronamentos.” (Açores, n.º 2175). “ A igreja da Lomba do Loução ficou danificada, tendo caído algumas pirâmides...” Por outro lado, relatos há que descrevem que esta edificação ficou parcialmente desmoronada (Correio dos Açores, n.º 9.395) e que a destruição nalgumas casas é total e noutras parcial (Diário dos Açores, n.º 22.057).

Na Lomba do Cavaleiro “...ondas superficiais foram ainda mais notáveis, segundo as descrições, dificultando a fuga das pessoas que saíam das casas, que sentiam o chão a aproximar-se e a seguir, fugir debaixo dos pés (Dias, 1952 *in* Resendes, 2004). Para além do miradouro que permite uma visão geral sobre toda a caldeira da Povoação ter ficado deslocado (Diário dos Açores, n.º 22.057) “...os estragos verificados nessa Lomba, mesmo em construções de certa solidez como a escola ali recentemente construída, devem relacionar-se com estas ondas superficiais, em geral bastante destruidoras nas áreas epicentrais como esta; além disso, essas construções parecem ter sofrido o efeito de choques verticais (sussultórios) pela maneira bastante geral como estão afectadas, das vergas das portas para cima...” bem como “Muitas das suas casas apresentam as paredes com barrigas salientes...” (Dias, 1952 *in* Resendes, 2004).

Para nascente, notam-se ainda impactos do sismo nas Lombas do Carro e Botão (Dias, 1952 *in* Resendes, 2004).

Nas freguesias de Água Retorta e Faial da Terra, locais muito atingidos pelos eventos anteriores, desta vez, embora tenham sofrido alguns estragos, não foram muito atingidas. Efectivamente, em Água Retorta “...ficaram algumas casas

destruídas e muito fendidas...” (Diário dos Açores, n.º 22.057: Correio dos Açores, n.º 9.395; Açores, n.º 2.175) e “... a rua da Canada, segundo informações colhidas, apresenta certo número de casas atingidas, sendo de notar ser esta a rua já conhecida como mais sujeita aos efeitos dos abalos.” (Dias, 1952 *in* Resendes, 2004).

Na freguesia do Faial da Terra, designado por Gaspar Frutuoso como o “ Presépio da Ilha”, “...os prejuízos materiais não foram extensos, comparados com o sucedido noutros locais do concelho,” (Açores, n.º 2.175).

Finalmente, na freguesia de Furnas, muito próxima da Ribeira Quente, “Foram sentidos 5 abalos...” (Correio dos Açores, n.º 9.395) tendo os mesmos apenas provocado “...além do pânico, não houve senão algumas ligeiras fendas abertas em casas.” (Açores, n.º 2.175).

Pela descrição dos impactos causados por estes três eventos no concelho da Povoação, tendo em conta que todos estes sismos de natureza tectónica são considerados históricos, chega-se à conclusão que a Povoação foi, num período de 20 anos, muito atingida, vendo-se constantemente, a recuperar de situações de quase total destruição, pois qualquer um dos sismos descritos teve como consequência a ocorrência de prejuízos consideráveis por toda a área concelhia (Resendes, 2004).

Aliás, e de uma forma geral, é pela distribuição espacial dos impactos dos sismos nos diversos locais que se consegue sugerir uma localização do epicentro. No caso concreto, quer para os abalos de 1932 e 1935, quer para o abalo de 1952, os epicentros são sempre calculados para S e SE da ilha de São Miguel, daí os maiores prejuízos se terem verificado ao longo das freguesias situadas junto à costa (Resendes, 2004).

Houve efectivamente algumas crises sísmicas na ilha de São Miguel num passado mais recente, no entanto, nenhuma delas teve a duração e o grau de destruição como as que se acima se apresentaram.



### 3.5 - Distribuição espacial da sismicidade

Madeira (1998) e Carmo (2004) caracterizam a sismicidade geralmente pela ocorrência de crises sísmicas com centenas ou milhares de eventos com magnitudes inferiores ao limiar da sensibilidade humana que, por vezes, precedem, e/ou seguem um evento principal de grande intensidade causador de importantes destruições ou até mesmo mortes (Silveira, 2002 *in* Carmo, 2004).

Quanto à sismicidade instrumental, segundo Carmo (2004) e corroborando o que se transcreveu de Nunes (1991), verifica-se que, no período de 1980 a 2000, esta ocorre ao longo do designado *Rift* da Terceira e da Crista Média Atlântica (fig.10). Após o sismo de 1998 verifica-se que a sismicidade se concentra na região Faial - Pico (Carmo, 2004). Relativamente à ilha de São Miguel, constata-se existir uma maior densidade de epicentros associada à depressão submarina da Bacia Este de São Miguel, estendendo-se para NW, sob os maciços dos Vulcões do Fogo e das Furnas, e também do Maciço das Sete Cidades (fig.11)

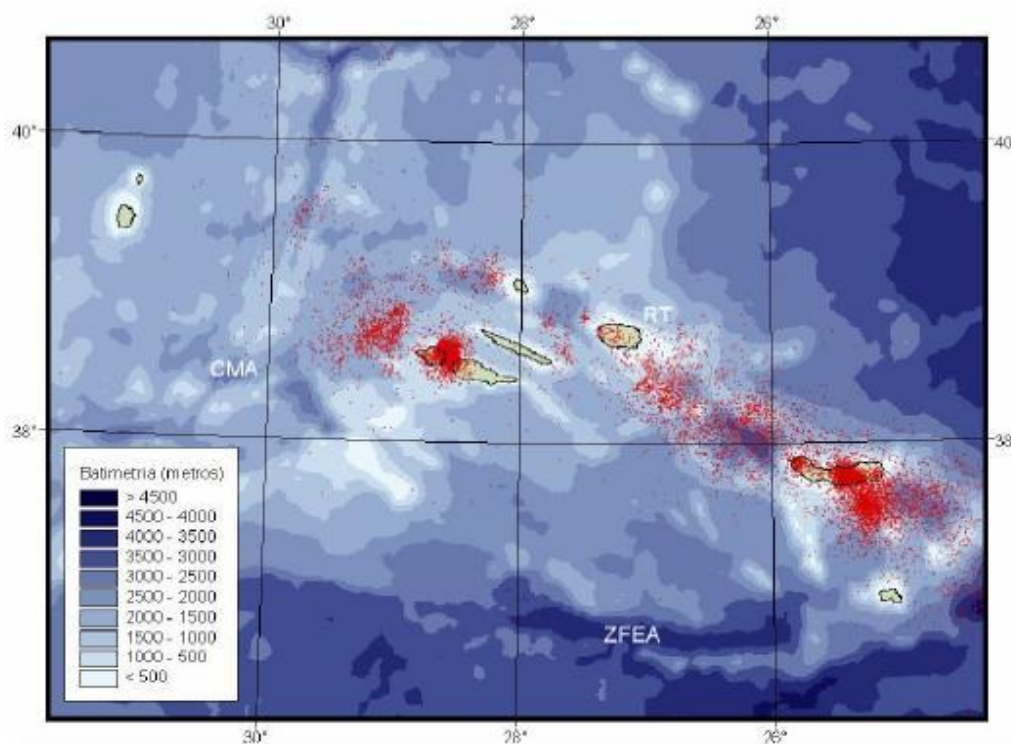


Figura 10 - Carta de sismicidade dos Açores, no período de 1980 a 2000 (SIVISA, 2003), onde estão representados todos os epicentros localizados. Legenda: CMA – Crista Média Atlântica; ZFEA – Zona de Fractura Este dos Açores; RT – Rift da Terceira

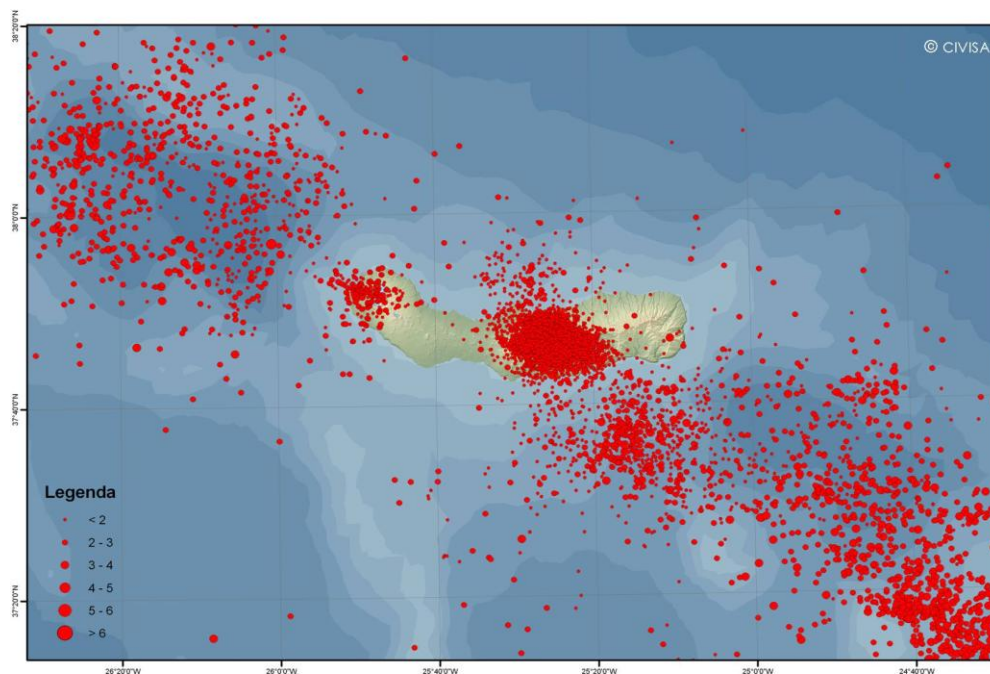


Figura 11 – Carta de epicentros da ilha de São Miguel e área envolvente (SIVISA)

A actividade vulcânica é inerente à própria constituição dos Açores, sendo cada uma das ilhas constituída por uma edificação vulcânica (formada por um ou mais vulcões) que atingiu dimensões suficientes para emergir. Esta actividade também tem sido frequente nos cinco séculos e meio que se seguiram ao descobrimento dos Açores, não se registando erupções históricas apenas nas Flores, Corvo, Graciosa e Santa Maria.

Contudo, tanto nas Flores como na Graciosa não se pode considerar o vulcanismo como extinto pois estas ilhas apresentam episódios vulcânicos muito recentes (anteriores ao povoamento) e manifestações secundárias de vulcanismo (Madeira em publ., *in* Carmo, 2004).

### 3.6 - Historicidade Eruptiva

Madeira (em publ.), apresenta um quadro síntese das principais erupções desde o povoamento do arquipélago, que tiveram lugar quer em terra, nas ilhas de São Miguel, Terceira, S. Jorge, Pico e Faial, quer no mar, em pontos elevados da Plataforma dos Açores (figura 12). Algumas erupções foram acompanhadas por uma importante actividade sísmica, suficientemente forte para causar danos avultados.

■ - eventos que atingiram a região em estudo.

Nº	Ano	Local	Estrutura
1	1439?	S. Miguel	Pico da Ferraria – Sete Cidades
2	1439-43	S. Miguel	Pico do Gaspar – Fumas
3	1562/64	Pico	Pico do Cavaleiro (actuais Cabeços do Fogo)
4	1563/64	S. Miguel	Lagoa do Fogo, Pico do Sapateiro (actual Pico Queimado)
5	1580	S. Jorge	Rib <sup>a</sup> do Almeida, Mistério da Queimada, Rib <sup>a</sup> do Nabo
6	1630	S. Miguel	Lagoa Escura e Lagoa Barrenta - Furnas
7	1638	no mar	Ao largo da Ponta da Candelária (S. Miguel)
8	1652	S. Miguel	Picos do Paio (actual Pico do Fogo) e de João Ramos
9	1672/73	Faial	Cabeço do Rilha Boi (actual Cabeço do Fogo) e Pincarito
10	1682	no mar	Entre Mosteiros (S. Miguel) e o Banco D. João de Castro
11	1713	S. Miguel	Pico das Camarinhas
12	1718	Pico	Lomba de Fogo, Cabeços de Cima e de Baixo, no mar junto a S. João
13	1720	Pico	Cabeço do Soldão (ou do Fogo)
14	1720	no mar	Formou uma ilha no Banco D. João de Castro
15	1761	Terceira	Picos das Caldeirinhas, Mistério Negro
16	1800	no mar	Fora da Ponta do Topo (S. Jorge)
17	1808	S. Jorge	Crateras a W do Pico do Pedro, Entre Ribeiras e Areias de Santo Amaro
18	1811	no mar	Frente à Ponta da Ferraria (S. Miguel), Ilha Sabrina
19	1867	no mar	Frente à Ponta da Serreta (Terceira)
20	1902	no mar	Fora da Ponta do Topo (S. Jorge)
21	1907	no mar	Junto à costa S de S. Miguel
22	1911	no mar	Banco do Mónaco
23	1957/58	Faial	Capelinhos, explosão freática na Caldeira
24	1963	no mar	Fora do Cachorro (Pico)
25	1964	no mar	A W das Velas (S. Jorge)
26	1981	no mar	Mar de Prata (SW de S. Miguel)
27	1998/01	no mar	A WNW da Ponta da Serreta (Terceira)

Tabela 2 -Erupções históricas nos Açores (simplificado de Madeira, em publicação)

Das erupções mencionadas, merecem especial atenção as de 1563 no Vulcão do Fogo e as de 1439-43 e 1630 no Vulcão das Furnas, devido à dispersão e espessura dos produtos vulcânicos que atingiram a zona oriental da ilha.

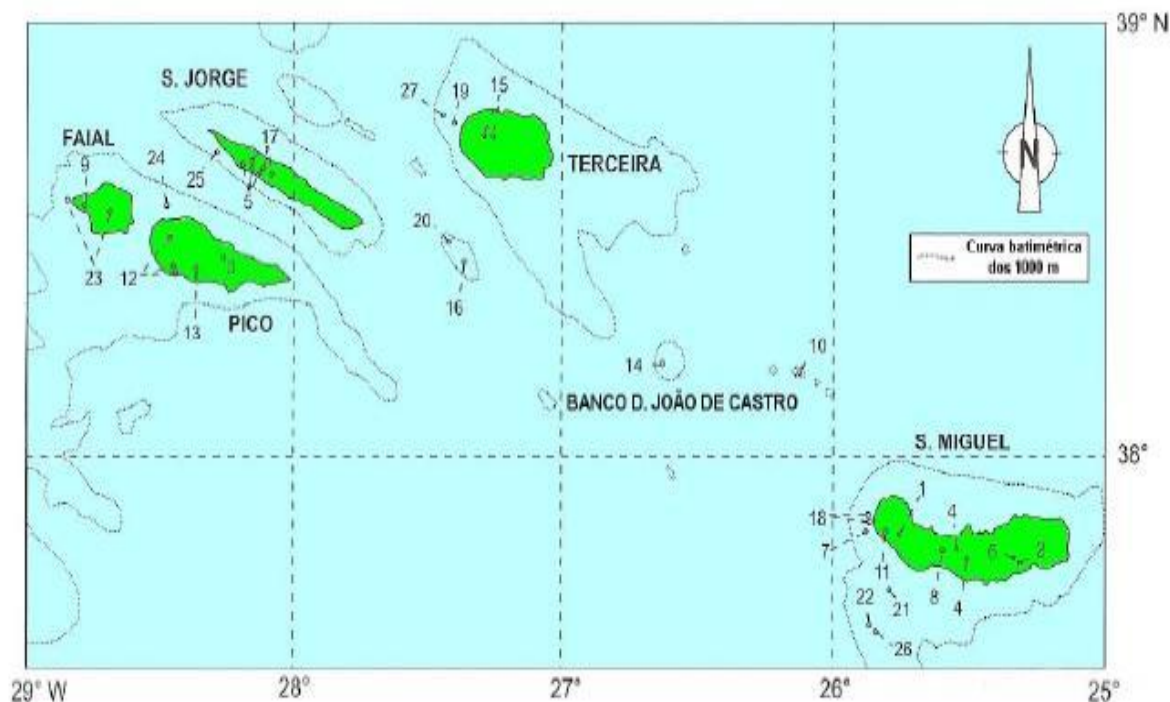


Figura 12 – localização das erupções vulcânicas históricas de que se tem conhecimento na região da Plataforma dos Açores (Modificado de Madeira e Brum da Silveira, 2003 *in* Camo, 2004).

Os dados referentes à historicidade eruptiva são relevantes, na medida que traduzem as alterações geomorfológicas (novos depósitos de diferentes tipos de materiais) que provocaram no concelho da Povoação, tal como traduzem em termos gerais a sismicidade associada ao vulcanismo. Deste modo, é importante conhecer a historicidade eruptiva para uma melhor compreensão da geomorfologia do concelho da Povoação, já que esta é fortemente marcada pelas erupções acima assinaladas.

## 4 – Caracterização da área

### 4.1 – Localização geográfica



Figura 13 - Ilha de São Miguel com destaque para a localização do concelho da Povoação

O concelho da Povoação ocupa a área SE da ilha e confina a S e a E com o Oceano Atlântico, a N com os concelhos de Nordeste e Ribeira Grande e a W com o de Vila Franca do Campo (figura 13).

#### 4.1.1 – Divisão administrativa

Localizado na costa SE da ilha de São Miguel, o concelho da Povoação, elevado a esta categoria pela Rainha D. Maria II em 3 de Julho de 1839, tem uma área de 110.20 km<sup>2</sup>, abrangendo as freguesias de Água Retorta, Faial da Terra, Furnas, Nossa Senhora dos Remédios, Povoação e Ribeira Quente.

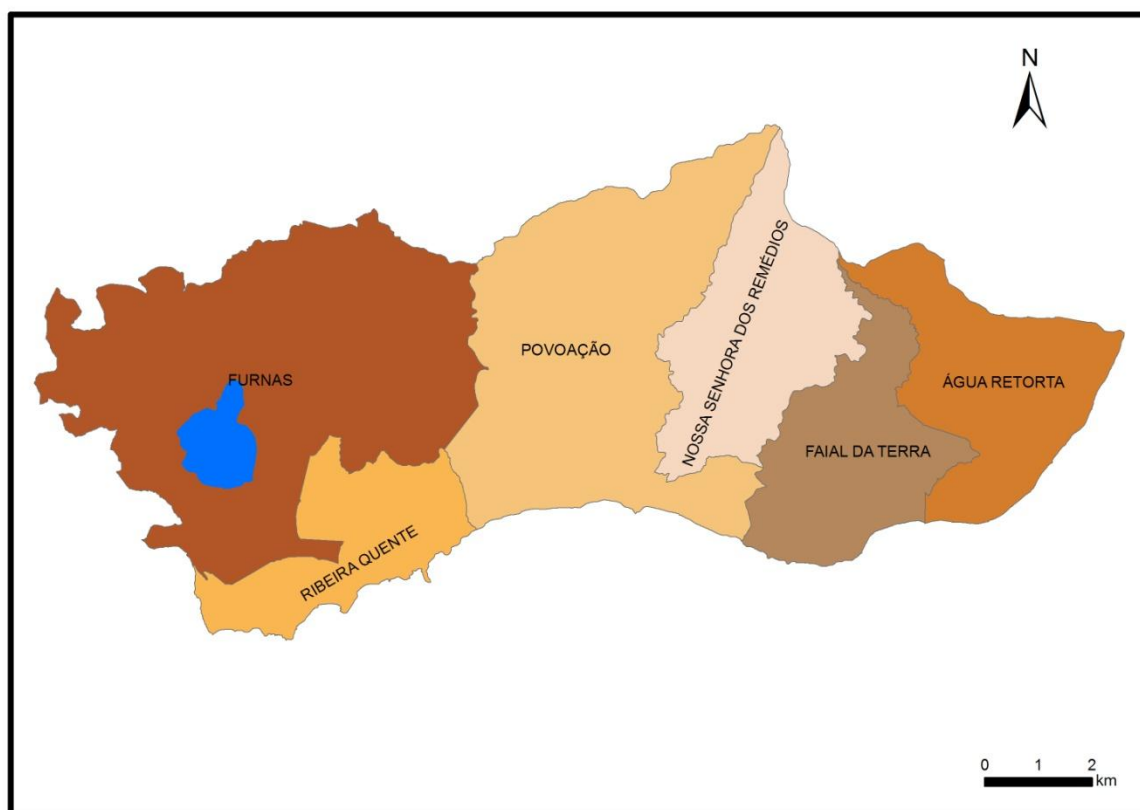


Figura 14 - Concelho da Povoação – Limites administrativos das freguesias

Junto à sede de concelho, as Lombas da Povoação estão localizadas nos interflúvios existentes na caldeira da Povoação, que são sete, e a sua dispersão territorial compara-se a um leque aberto, tendo em como punho a vila, sede de concelho, e como varetas as Lombas do Cavaleiro, Carro, Botão, Pomar, Loução, Alcaide e Pós. Deste ponto de vista, considera-se presente uma expansão digital, essencialmente por razões de ordem física a partir da Povoação, freguesia. No caso concreto das Lombas houve uma polarização ao nível do povoamento, o qual se caracteriza por ser alinhado ao longo dos sete interflúvios.

#### 4.1.2 – Geomorfologia do concelho

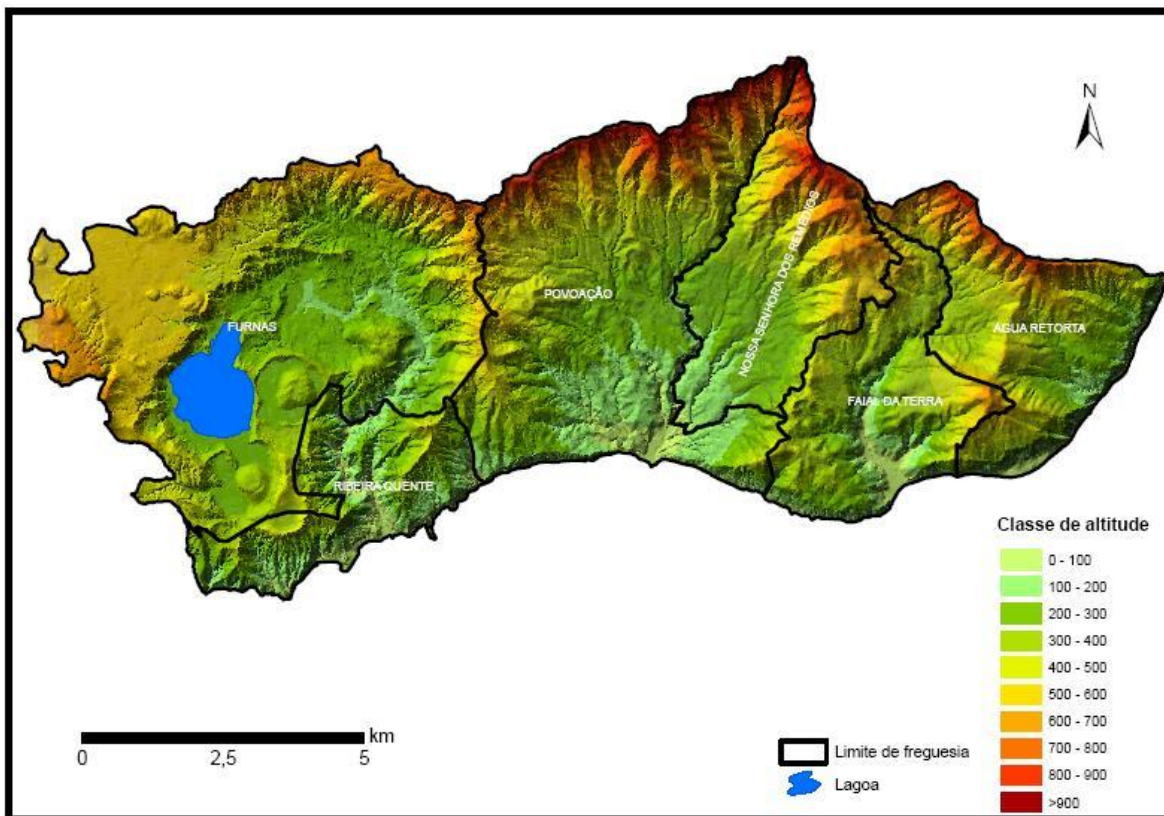


Figura15 - Esboço hipsométrico do concelho da Povoação

Em termos geomorfológicos o concelho abrange os edifícios vulcânicos das Furnas e da Povoação e parte da designada Achada das Furnas, uma área planáltica, que se estende entre o Vulcão do Fogo e o Vulcão das Furnas. As caldeiras associadas aos referidos vulcões marcam profundamente a geomorfologia da região, nomeadamente no que se refere à rede de drenagem.

O concelho é limitado a N, e de W para E, por um alinhamento de picos – Covões, Cedros, Gafanhoto, Buraco, Sebastião Alves, Vara, Pico Verde e Bartolomeu – com altitude máxima no Pico da Vara com 1103 metros, sendo esta a máxima altitude registada na ilha. A S, o litoral, de difícil acesso, apresenta uma costa muito escarpada, exceptuando-se apenas os cones de dejeção para onde confluem as principais linhas de água do concelho, nomeadamente a Ribeira Quente, as Ribeiras da Povoação e a Ribeira do Faial da Terra.

### 4.1.3 – Ocupação do solo

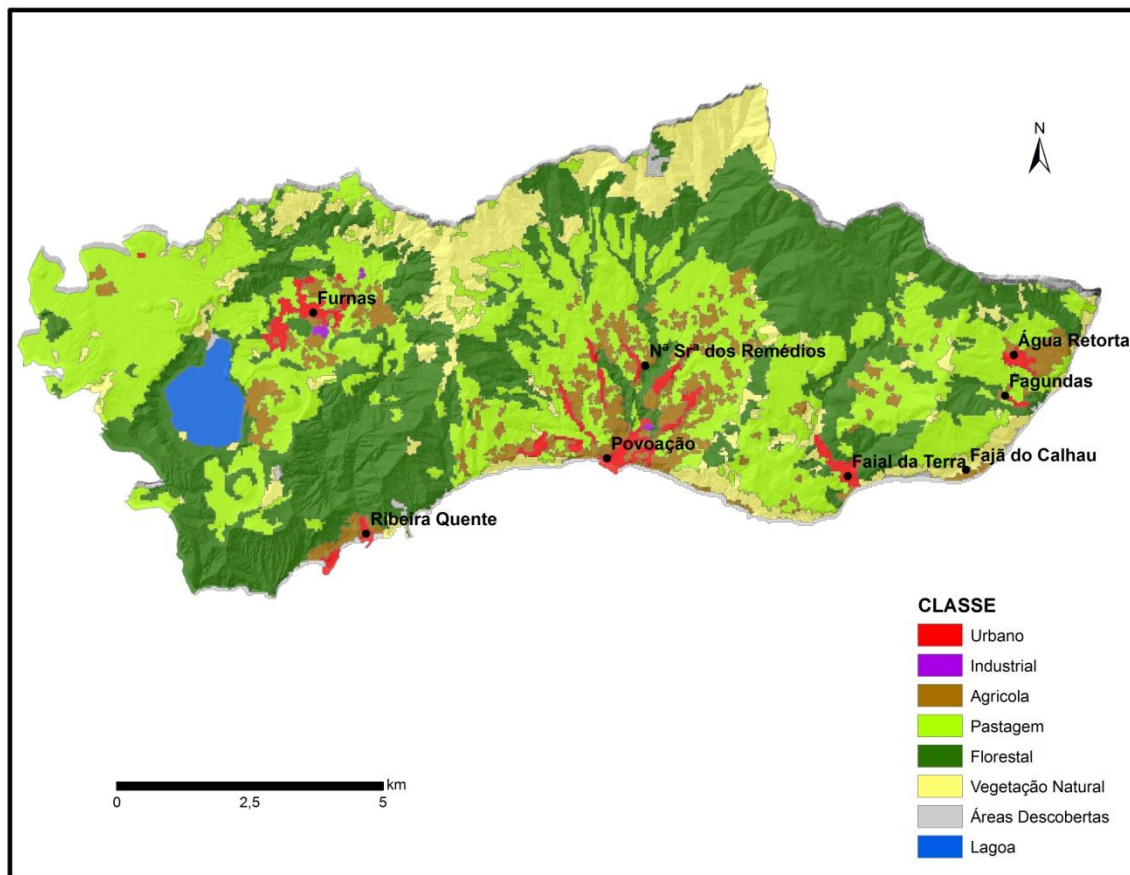


Figura 16 – Carta de ocupação do solo do concelho da povoação

O coberto vegetal da ilha de São Miguel sofreu grande evolução à medida que progredia o povoamento. Desde o século XV que se introduziram novas espécies, derrubaram florestas e se alargaram os campos de cultivo. Não é de estranhar que a vegetação endémica ocupe hoje uma fraca área extensão em toda a ilha. No concelho da Povoação, não esquecendo que a vila da Povoação foi o primeiro lugar de povoamento, fez-se igualmente sentir essa evolução. Uma parte considerável das bacias do concelho é tida como de média a boa aptidão para a prática da agricultura. Em toda a área das “Lombas” é praticada a agricultura, embora predomine claramente o pasto, o mesmo acontecendo nas outras freguesias. Só ficam livres de pasto os encaixes vigorosos dos cursos de água, as áreas de montanha com forte declive e as áreas ocupadas pelos aglomerados populacionais.



#### 4.1.4 – Demografia

De acordo com o Censo de 2001 a população residente no concelho era de 6726 pessoas, facto que traduz um decréscimo relativo a anos anteriores (tabela 3). Como é natural, a concentração populacional verifica-se com mais intensidades nas áreas urbanas (Água Retorta – 497 habitantes; Faial da Terra – 377; Furnas – 1541; Nossa Senhora dos Remédios – 1072; Povoação – 2441; Ribeira Quente – 798) (figura 18).

Anos	Freguesias					
	Faial da Terra	Água Retorta	Povoação	N.S. dos Remédios	Furnas	Ribeira Quente
1900	1191	1188	5026	*	2219	1463
1911	1178	1155	6192	*	2267	**
1920	1188	1048	6121	*	2182	**
1930	1381	1255	7242	*	2440	**
1940	1519	1408	8113	*	3021	**
1950	1667	1354	6947	*	3404	2126
1960	1585	1253	4583	2071	3361	2211
1970	1074	799	3664	1811	2449	1861
1981	604	637	2682	1345	1882	1308
1991	468	529	2481	1155	1692	998
2001	377	497	2441	1072	1541	798

\* Nossa Senhora dos Remédios foi elevada a freguesia em 1957

\*\* Não existem dados para a freguesia da Ribeira Quente

Tabela 3 - Evolução da população no concelho da Povoação entre os anos de 1900 a 2001 (retirado de Resendes, 2004)

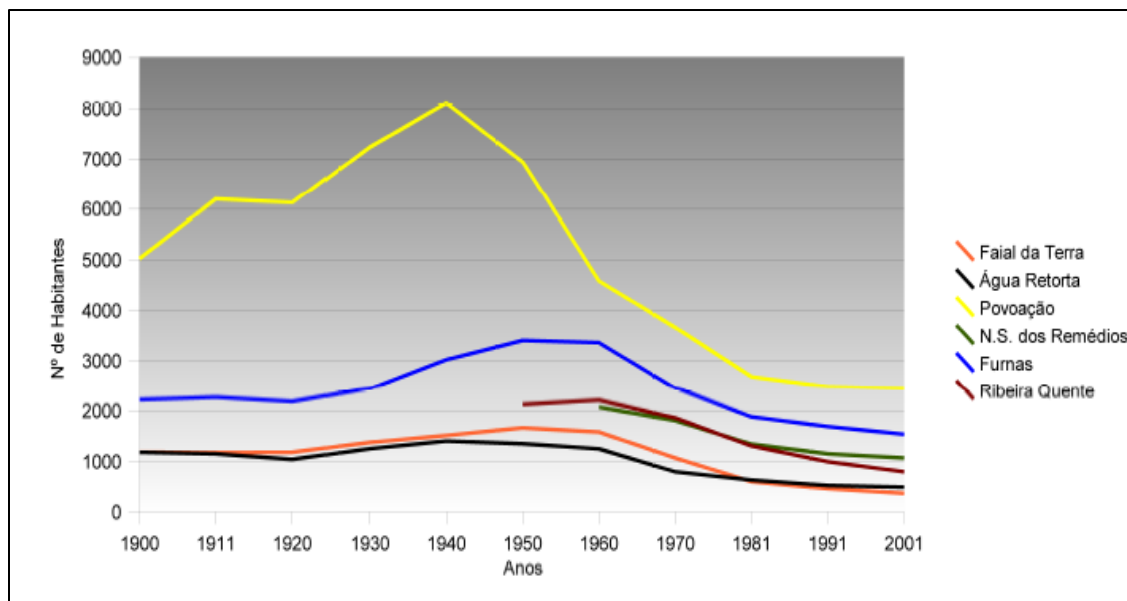


Figura 17 - Evolução da população no concelho da Povoação entre os anos de 1900 a 2001

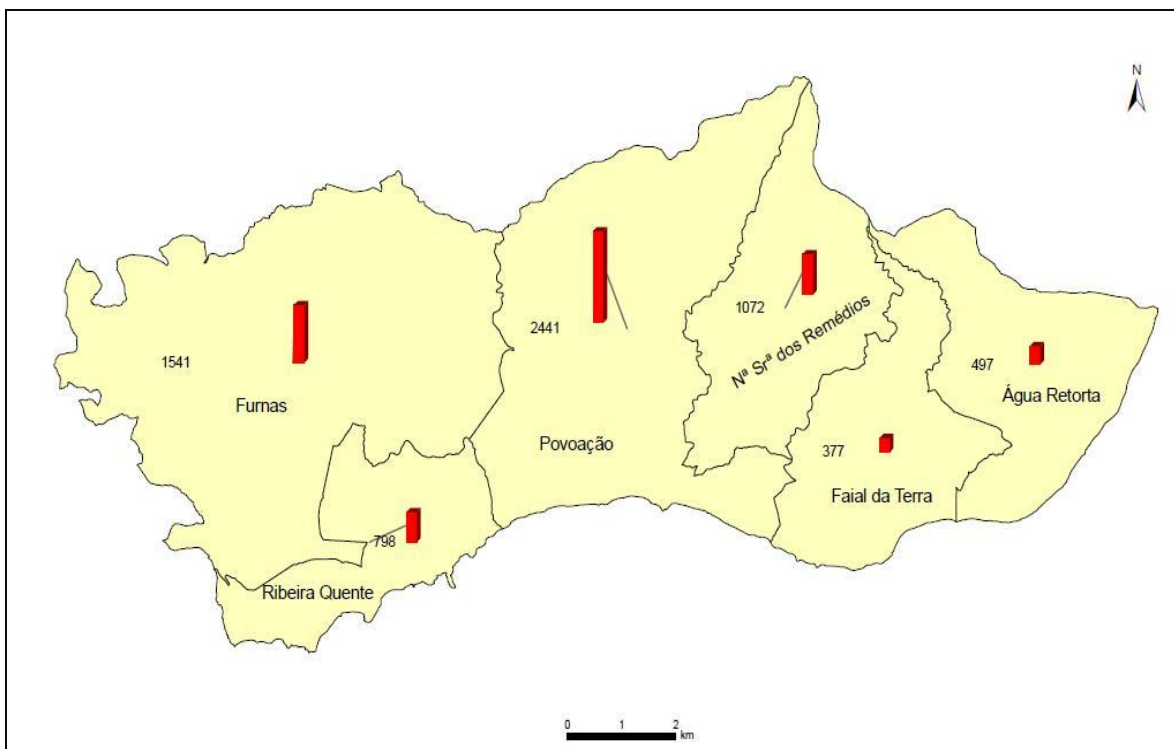


Figura 18 – Mapa alusivo à distribuição espacial por freguesia da população no concelho da Povoação

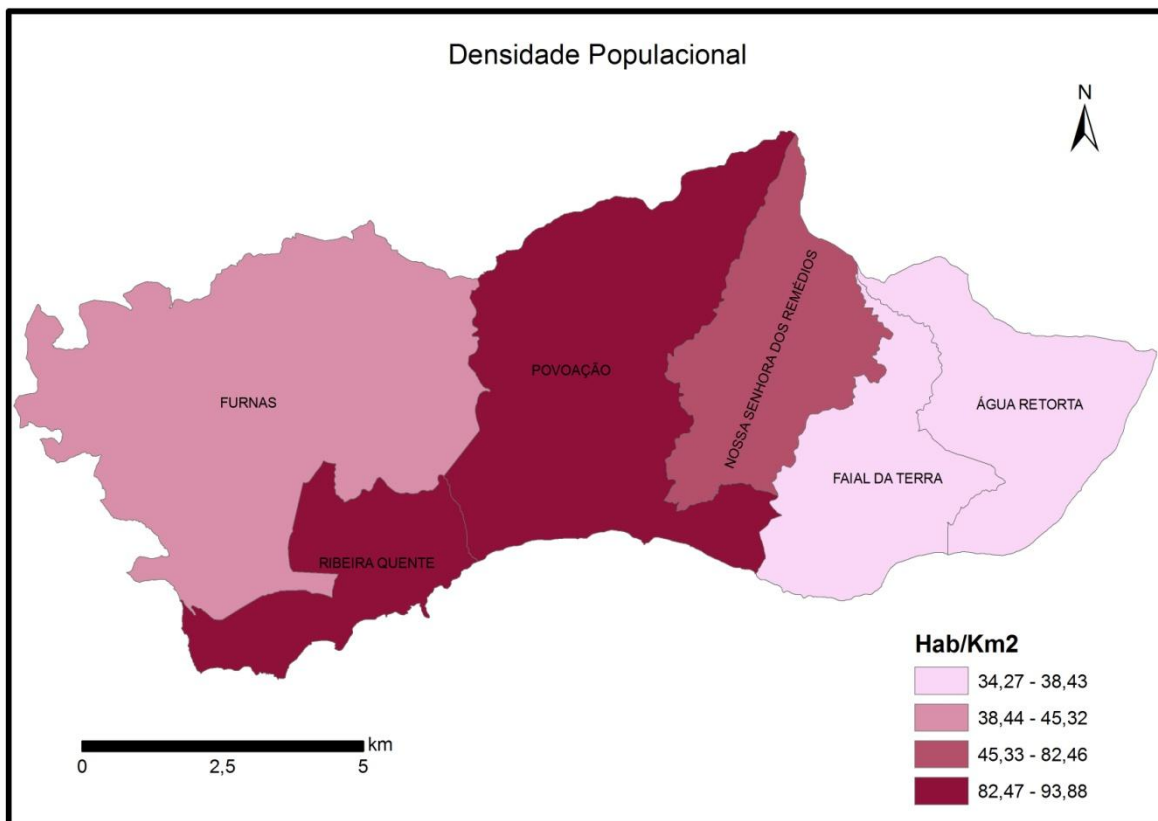


Figura 19 – Densidade populacional por freguesia (Dados do censo de 2001).

#### 4.1.5 – Parque habitacional do concelho da Povoação

No que concerne à evolução do parque habitacional do concelho da Povoação, registam-se dois períodos distintos. O primeiro, compreendido entre 1920 e 1940, corresponde a uma fase em que se verificou o aumento do número de fogos, acompanhando desta forma o crescimento da população. O segundo, a partir de 1970, mostra uma diminuição do número de fogos como reflexo do decréscimo da população. Na avaliação do número de fogos, verifica-se que o decréscimo da população a partir de 1950, aliado à evolução da dimensão média da família, conduziu à diminuição do número médio de pessoas por fogo, que segundo o Censo 2001 era de apenas 2.01. Em 2001, existiam 3282 edifícios que agrupavam 3348 fogos para uma população residente de 6726 habitantes. Ao nível da evolução do número de fogos nestas duas décadas observa-se, no cômputo geral, um aumento, com excepção para os casos das freguesias de Água Retorta e Ribeira Quente. A taxa mais elevada registou-se na freguesia de Furnas, facto este que se pode explicar com base no resultado do esforço de promoção turística centrada na dinamização das potencialidades hidrotermais da zona.

	1900	1911	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1981	1991	2001
<b>População</b>	11087	10792	10539	12318	14061	15498	15064	11658	8458	7323	6726
<b>Fogos</b>		2498	2422	2822	3019			3785	3249	3235	3348
<b>Pop/Fogos</b>		4,32	4,35	4,36	4,65			3,08	2,6	2,26	2,01

Tabela 4 – Evolução da população e do n.º de fogos no concelho da Povoação entre os anos de 1900 e 2001 (retirado de Resendes, 2004).

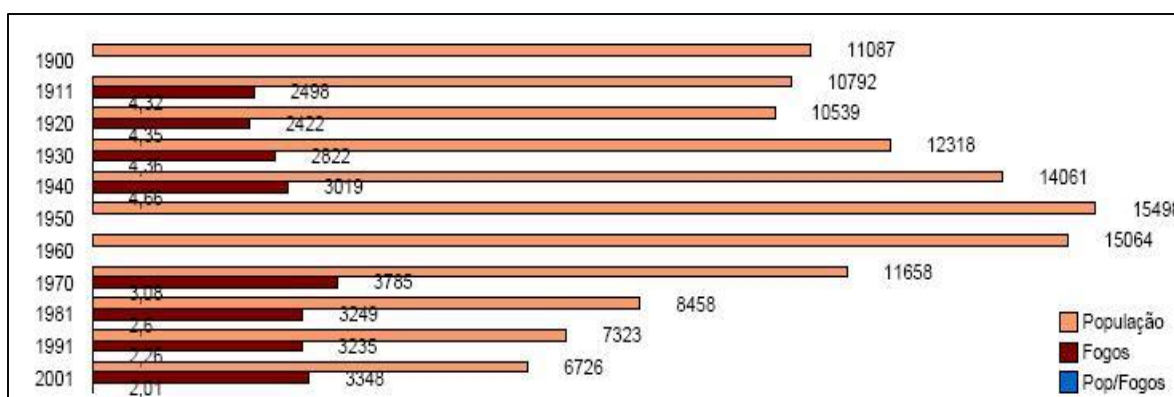


Figura 20 – Evolução da população e do n.º de fogos no concelho da Povoação entre 1900 e 2001 (retirado de Resendes, 2004).

No concelho da Povoação verifica-se que o total de alojamentos não ocupados e de uso sazonal representa cerca de 40%. Grande parte destes situam-se na freguesia de Furnas, onde os interesses naturais têm vindo a suscitar o aumento da procura das habitações de veraneio (Resendes, 2004).

#### **4.1.6 – Edificado**

Resendes, (2004) no seu trabalho efectuou um levantamento de todo o edificado e, concomitantemente, das condições de segurança de cada um dos edifícios para assim aferir da sua vulnerabilidade.

Este levantamento foi feito em todo o concelho, tendo sido utilizada a cartografia 1:25000 de 2001 (folhas 29,30,33 e 34) em formato digital.

Para catalogar todo o parque edificado de cada freguesia, bem como das Lombas da Povoação, foram definidas, previamente, cinco categorias de edifício, sendo (1) habitações, (2) edifícios públicos, (3) monumentos, (4) comércio e (5) “outros”. Na categoria das habitações, e como o próprio nome indica, foram colocados todos os edifícios que se destinam a esse fim. Nos edifícios públicos englobaram-se todas as construções que pertençam ou sejam utilizadas por instituições que prestem serviço público, nomeadamente, Câmara Municipal, Juntas de Freguesia, Escolas, Centros paroquiais, Casas do povo, Centro de saúde e Postos clínicos, entre outros.

Nos monumentos consideraram-se as igrejas, as ermidas e a biblioteca. Na categoria de comércio foram englobados apenas os edifícios destinados exclusivamente a esse fim, isto é, todos os edifícios que utilizam o rés-do-chão como comércio e o primeiro andar como habitação não foram consagrados nesta categoria, mas sim na de habitações. Por fim, a categoria “outros” agrupa todos os edifícios que não coadunam com nenhuma das categorias anteriores, ou seja, garagens, arrumos, anexos abrigos de autocarro, etc.

Freguesias e localidades	Classe de edifício	N.º de habitações
Água Retorta	Habituação	361
	Públicos	7
	Monumentos	6
	Comércio	4
Falal da Terra	Outros	27
	Habituação	362
	Públicos	14
	Monumentos	4
Lomba do Pomar	Comércio	1
	Outros	78
	Habituação	116
	Públicos	3
Lomba do Botão	Monumentos	1
	Comércio	0
	Outros	24
	Habituação	215
Lomba do Carro	Públicos	3
	Monumentos	3
	Comércio	3
	Outros	31
Lomba do Cavaleiro	Habituação	142
	Públicos	2
	Monumentos	3
	Comércio	0
Lomba dos Pôs	Outros	22
	Habituação	159
	Públicos	3
	Monumentos	1
Lomba do Loução	Comércio	2
	Outros	32
	Habituação	53
	Públicos	1
Lomba do Alcaide	Monumentos	1
	Comércio	0
	Outros	12
	Habituação	301
Vila da Povoação	Públicos	5
	Monumentos	4
	Comércio	6
	Outros	24
Fumas	Habituação	180
	Públicos	7
	Monumentos	2
	Comércio	2
Ribeira Quente	Outros	31
	Habituação	336
	Públicos	36
	Monumentos	3
	Comércio	36
	Outros	78
	Habituação	922
	Públicos	23
	Monumentos	5
	Comércio	22
	Outros	69
	Habituação	396
	Públicos	9
	Monumentos	3
	Comércio	5
	Outros	30

Tabela 5 – Número de edifícios segundo a respectiva categoria (*in* Resendes, 2004)

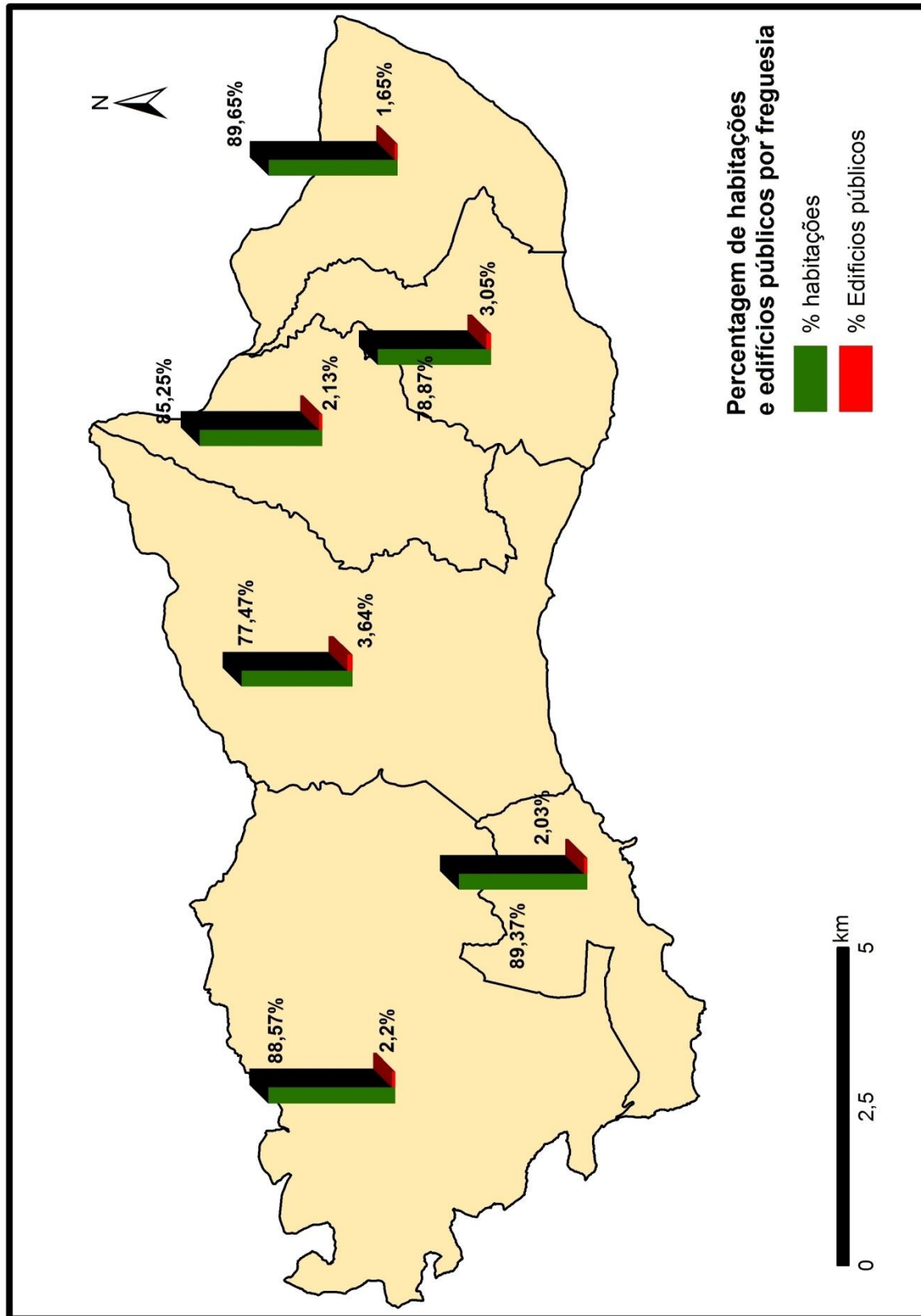


Figura 21 – Mapa representativo da percentagem de habitações e edifícios públicos por freguesia.

## 5 – Caracterização geofísica da área

### 5.1 – Nota Prévia

A região focada neste trabalho é mal conhecida do ponto de vista geológico. Os estudos estratigráficos são ainda insuficientes para conhecer a história eruptiva dos Complexos Vulcânicos da Povoação e do Nordeste. No entanto, alguns autores debruçaram-se sobre aspectos tectónicos, vulcanológicos e estratigráficos (Carmo, 2004).

No âmbito da cartografia geológica da ilha de São Miguel, Zbyszewski *et al.* (1958) e Zbyszewski (1961) descreveram a estratigrafia e a tectónica da área, tendo reconhecido falhas e filões na costa Sul da ilha com direcção dominante NNW-SSE a NW-SE. Os mesmos autores referem que entre o Faial da Terra e a Fajã do Calhau, os filões passam a ter uma orientação NW-SE e a partir de Água Retorta em direcção ao Nordeste, evidenciam, progressivamente, direcções WNW-ESE, W-E e WSW-ENE (Carmo, 2004).

Forjaz (1993) elaborou a carta tectónica da ilha de São Miguel, na escala 1/50000, em que classificou as falhas de acordo com o grau de actividade em três classes (figura 22): activas, potencialmente activas e provavelmente inactivas. Cartografou acidentes com uma orientação dominante WNW-ESE a NW-SE, e menos representativos a W-E e NE-SW. Segundo este autor as estruturas tectónicas presentes na área em estudo são provavelmente inactivas, existindo contudo algumas potencialmente activas e muito pouco activas.

A tectónica do Vulcão das Furnas (concelho da Povoação., figura 23), aparelho activo que limita a W os complexos vulcânicos da Povoação e do Nordeste, foi estudada por Gaspar *et al.* (1995). Segundo estes autores, o sistema de fracturas dominante, que corta o maciço e se prolonga para a caldeira da Povoação, tem uma direcção WNW-ESE e apresenta uma componente normal (*dip slip*), provavelmente associada a uma componente de desligamento direito. Para além desta direcção, Gaspar *et al.* (1995) identificaram a presença de um outro sistema distensivo N-S a NNE-SSW conjugado nas vertentes S e W do Vulcão das Furnas,

enquanto que a orientação de alguns vales sugere controlo estrutural por falhas com direcção E-W.

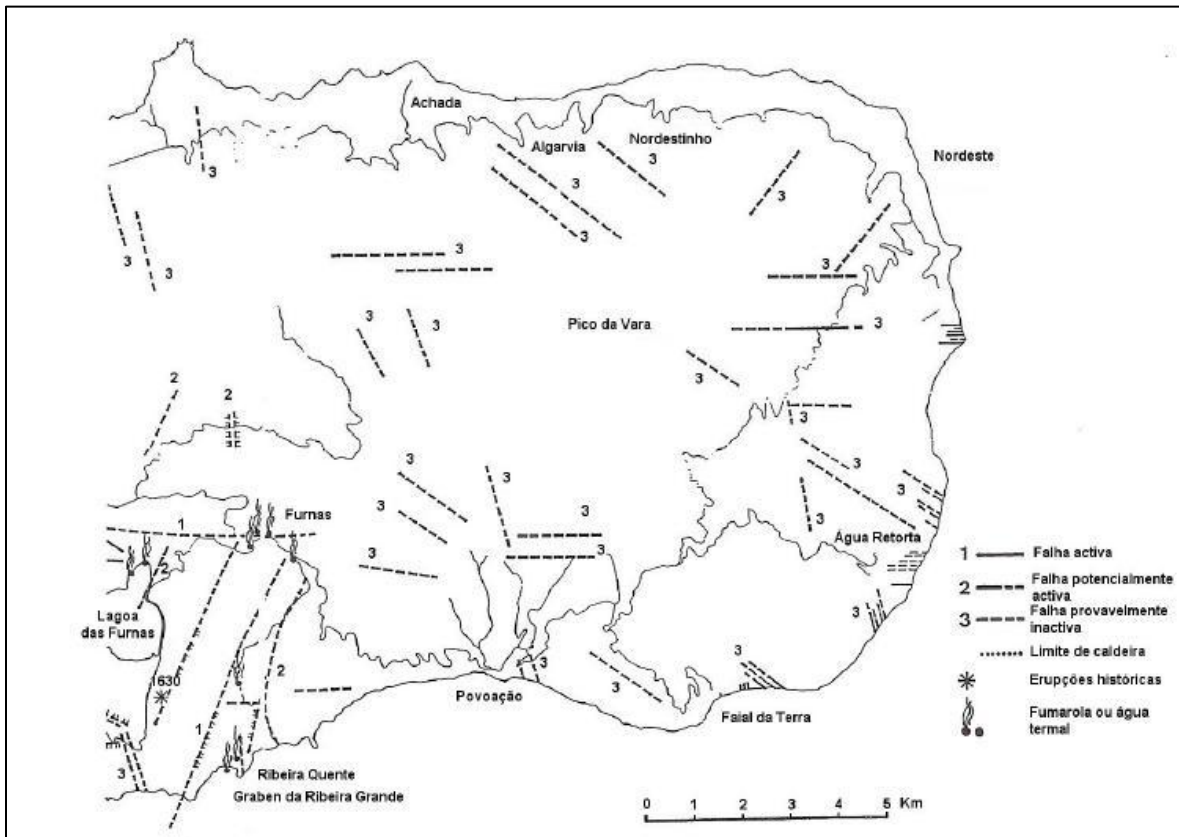


Figura 22 - Carta tectónica da Região Povoação – Nordeste, extracto da carta 1/50000 (Forjaz, 1993).

O estudo petrológico e geoquímico do Complexo Basáltico do Nordeste (onde se insere parte do concelho da Povoação) deve-se a Fernandez (1982) que classificou as rochas desta unidade estratigráfica como pertencendo à serie alcalina de tendência potássica, incluindo termos de composição variável entre os basaltos e os traquitos. As escoadas mais antigas, caracterizadas por baixos teores de  $TiO_2$  e elevadas concentrações de  $SiO_2$ , foram interpretadas como tendo composições toleíticas a alcalinas.



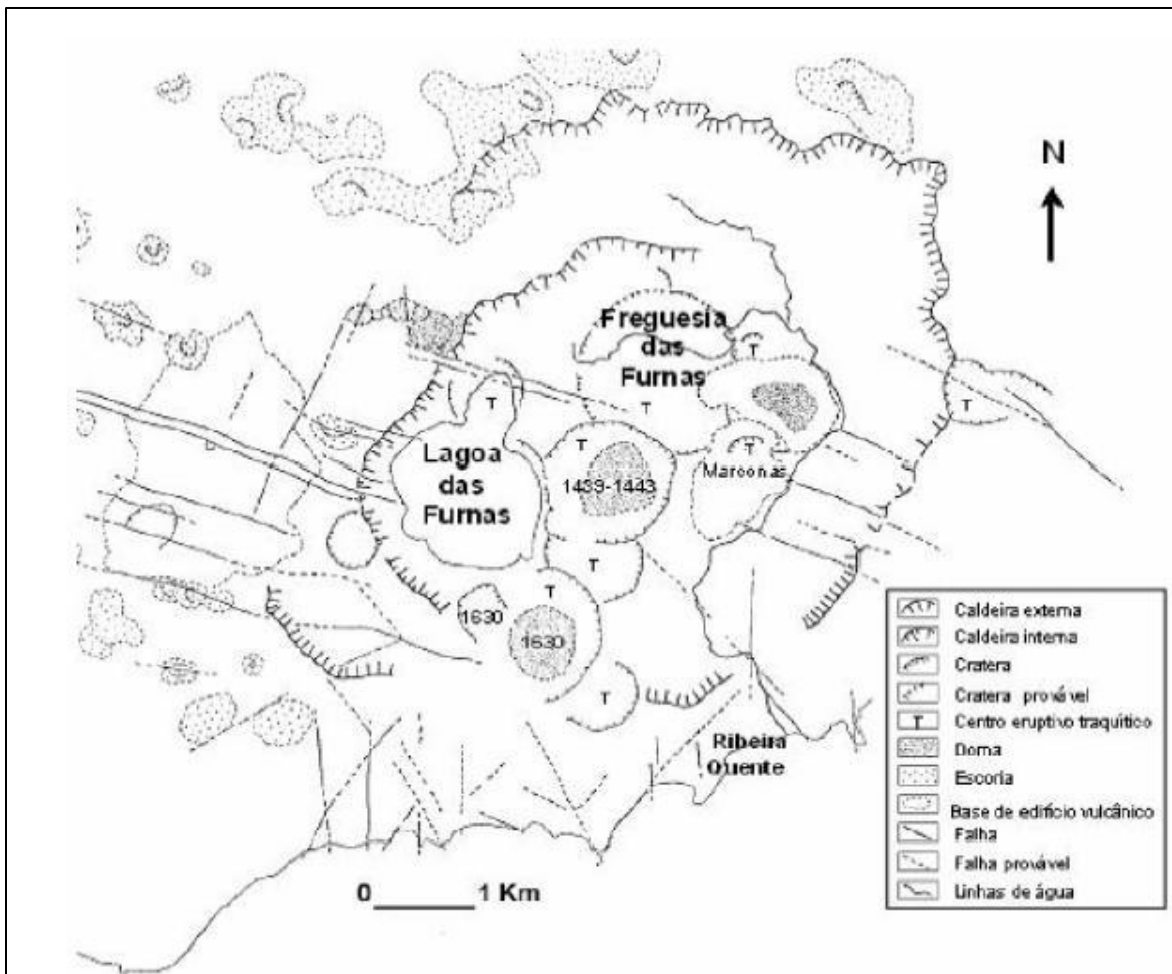


Figura 23 – Mapa morfoestrutural simplificado do maciço das Furnas (Adaptado de Gaspar *et al.*, in Carmo, 2004).

Abdel-Monem *et al.* (1975) dataram, através do método K-Ar, rochas do Complexo vulcânico do Nordeste, obtendo idades entre os 4 Ma e 0,95 Ma. Para estes autores o intervalo de tempo para a edificação da maior parte deste complexo foi de 2,15 Ma, que corresponde ao intervalo entre as formações dos “Basaltos Inferiores e dos “Basaltos Superiores” (1,86 Ma).

Johnson *et al.* (1998) apresentam datações  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  para o mesmo complexo vulcânico que contrastam com as de Abdel-Monem *et al.* (1975). Estes autores obtiveram ainda um intervalo temporal para a sua edificação de 0,1 Ma.

### 5.1.1 – Geomorfologia Vulcânica

Zbyszewski *et al.* (1958,1959) e Zbyszewski (1961), na análise geomorfológica que efectuaram sobre a ilha de São Miguel, consideraram a existência de oito regiões distintas: Maciço Vulcânico das Sete Cidades, Região dos Picos, Maciço vulcânico de Água de Pau (Vulcão do Fogo), Planalto da Achada das Furnas, Vulcão das Furnas, Vulcão da Povoação, Região da Tronqueira e Nordeste e o Planalto Setentrional ou Plataforma Litoral Norte (figura 24).

A Região estudada, ou seja o concelho da Povoação, compreende a parte oriental do Vulcão das Furnas e do Planalto Setentrional, Vulcão da Povoação e a Região da Tronqueira e do Nordeste.

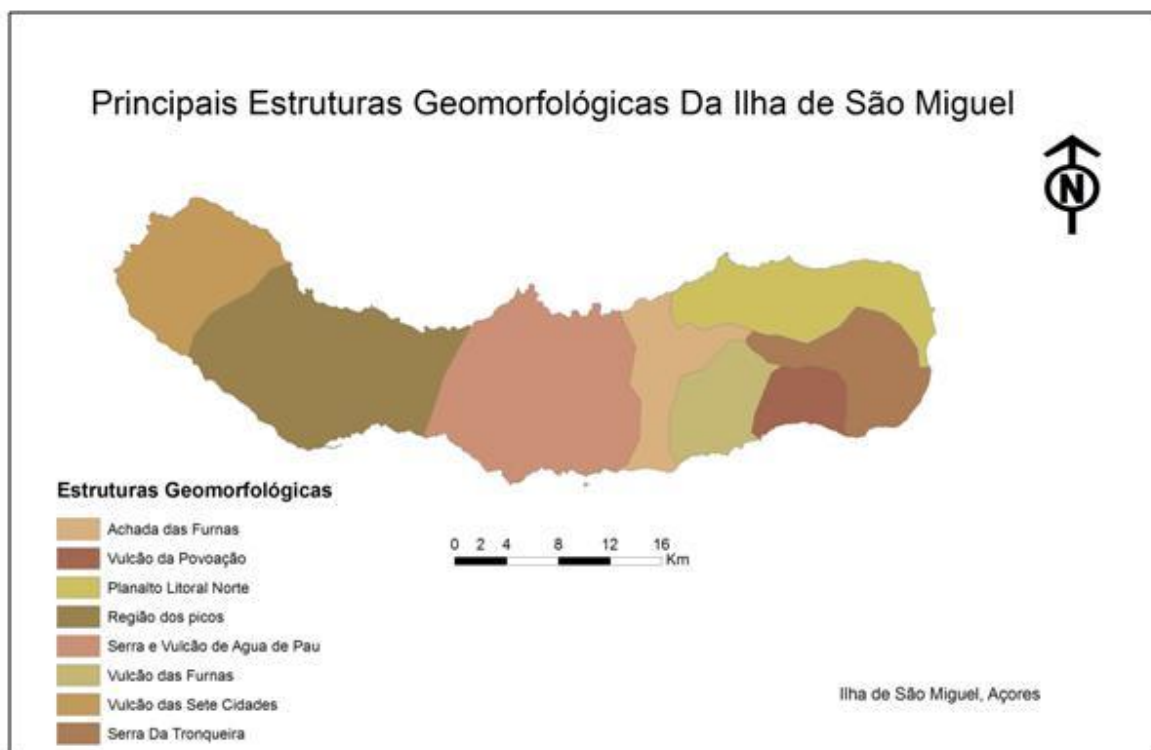


Figura 24 – Unidades geomorfológicas da ilha de São Miguel

O vulcão das Furnas é um vulcão central que se reconhece pelo menos duas caldeiras (Cole *et al.*, 1995), com várias fases de formação, incluindo fenómenos de colapso e de explosão que marcaram períodos particulares na evolução do maciço (Gaspar *et al.*, 1995).

A caldeira mais antiga apresenta um diâmetro de aproximadamente 7x5.5 km e os seus contornos encontram-se bem definidos pela imponente escarpa que corta diversos mantos lávicos do Complexo Vulcânico da Povoação a N e a NE. A SE a parede da caldeira trunca igualmente uma importante sucessão de escoadas lávicas e é atravessada pelo vale da Ribeira Quente.

Por sua vez, a caldeira mais recente, com um diâmetro de cerca de 4.5x3.5 km, situa-se no centro da anterior. Sob o ponto de vista geomorfológico é materializada a N e a NW por uma abrupta escarpa com mais de 200 metros de altura que corta produtos vulcanoclásticos, epiclásticos e escoadas lávicas da fase de preenchimento da primeira caldeira.

No interior da caldeira observam-se numerosos cones de pedra-pomes, *maars* (s.l.) domas (agulhas vulcânicas) e cones de escórias (Gaspar et al., 1995; Guest et al., 1999).

A caldeira da Povoação encontra-se fortemente erodida e a sua vertente S já foi truncada pelo recuo da arriba litoral. O interior encontra-se profundamente dissecado por uma rede de vales fluviais que convergem para S e que separam as designadas Lombas da Povoação. As arribas litorais apresentam alturas entre os 200 e os 400 metros.

Na parte oriental da ilha, encontra-se a região da Tronqueira e do Nordeste que corresponde a uma região montanhosa com profundos vales de erosão e imponentes arribas o que integra as formações correspondentes ao vulcanismo mais antigo da ilha (4 a 0.95 Ma, segundo Abdel-Monem *et al.* 1975., 0.78 a 0.88 Ma segundo Johnson *et al.*, 1998).

A parte N da área consiste numa plataforma que inclina para N, profundamente entalhada por uma rede de vales mais ou menos paralelos. Não se trata, portanto, de um planalto conforme a designação de Zbyszewski *et al.* (1958) e Zbyszewski (1961).

Na figura 25 apresentamos um modelo digital de terreno da área estudada onde se podem observar alguns aspectos da morfologia.

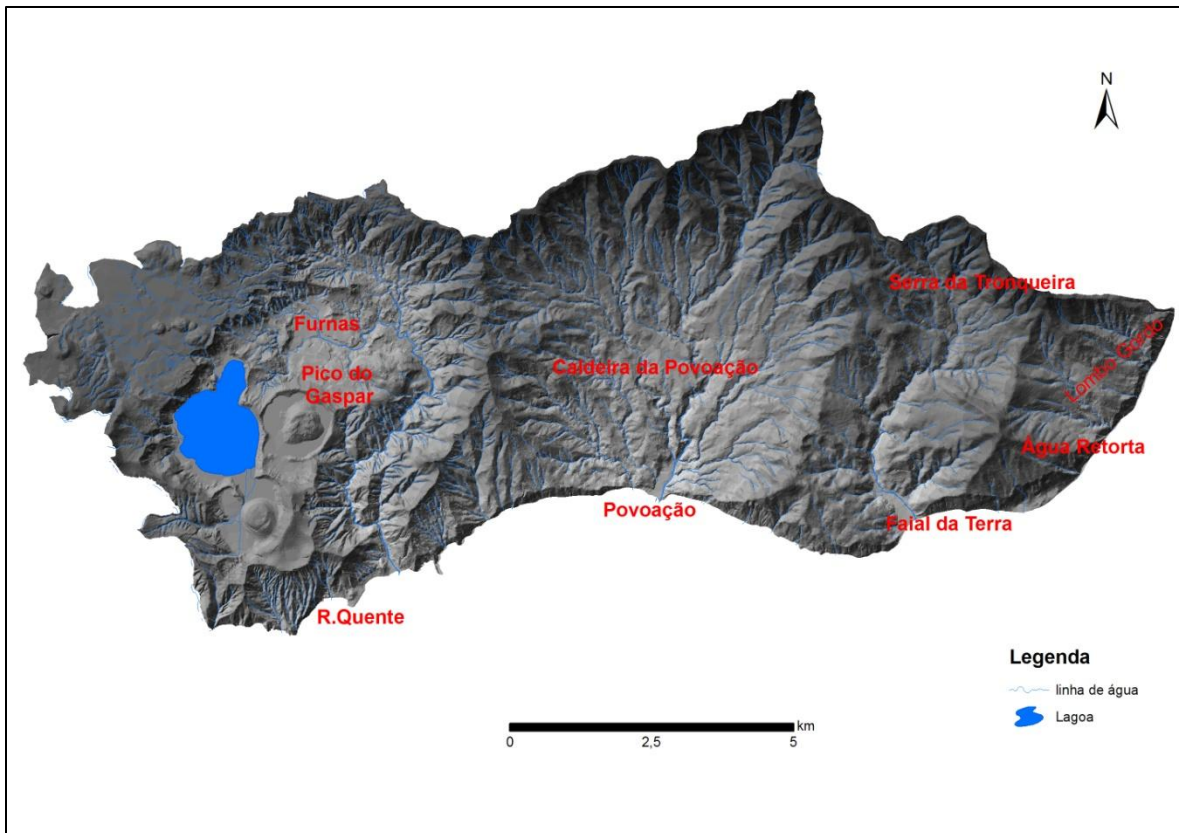


Figura 25 – Modelo Digital de Terreno (MDT) do concelho da Povoação, onde se podem observar aspectos da morfologia como: as duas caldeiras do vulcão das Furnas e a Caldeira da Povoação truncada pelo recuo das arribas litorais, a região da Tronqueira e do Nordeste (parte).

A análise geomorfológica do Modelo Digital de Terreno (MDT) permitiu verificar a expressão morfológica dos acidentes tectónicos se restringe a arribas litorais e vales fluviais de traçado rectilíneo (eventuais vales de linhas de falha), sugerindo controlo tectónico por falhas pouco activas ou sem actividade recente (figura 26).

Com efeito, na parte N do concelho da Povoação, mais concretamente na zona do Nordeste, verifica-se uma série de lineamentos de direcções NNW-SSE e NE-SW. A primeira é paralela à direcção do vale da Ribeira do Guilherme que, devido ao facto de ser bastante rectilíneo, sugere um controlo tectónico. Já na zona Sul as direcções dominantes são WNW-ESE e, menos frequentemente, E-W e N-S (Carmo, 2004).

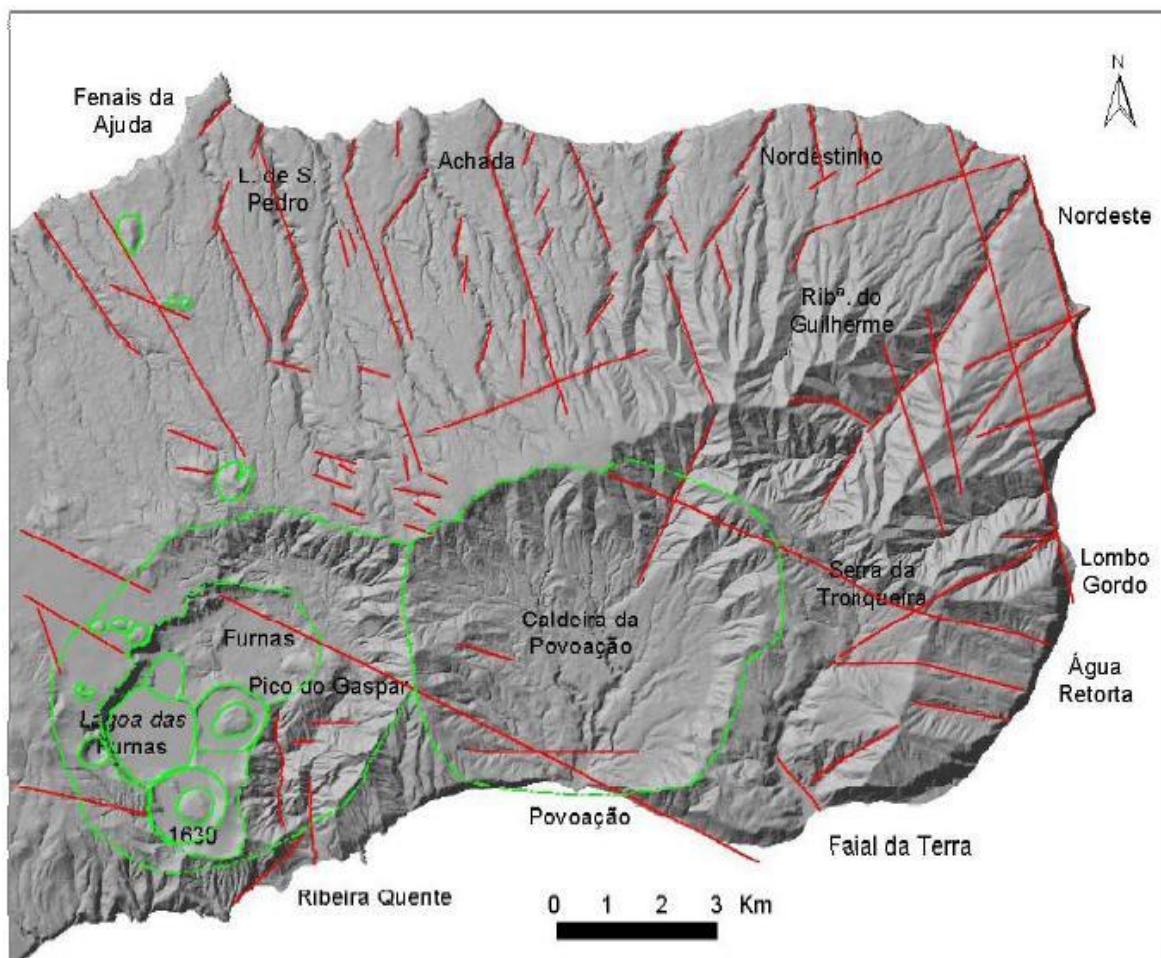


Figura 26 – Análise geomorfológica com base no MDT da zona da Povoação e Nordeste, onde se podem verificar aspectos da morfologia. As verdes destacam-se os limites das estruturas vulcânicas, como as duas caldeiras do Vulcão das Furnas e os domos associados às erupções de 1439/1443 no Pico do Gaspar e de 1630, bem como alguns cones de escória, e a caldeira da Povoação truncada pelo recuo das arribas litorais. A vermelho encontram-se todos os lineamentos deduzidos da análise do MDT (Retirado de Carmo, 2004).

## 5.2 – Estratigrafia e Litologia da área

Os estudos estratigráficos efectuados na área são ainda insuficientes para conhecer a geologia da região, esperando-se estudos posteriores para alcançar tais objectivos. Pelo contrário, a estratigrafia do Vulcão das Furnas encontra-se pormenorizadamente estudada, pelo que é possível descrever a sua história eruptiva (Carmo, 2004).

O Complexo basáltico do Nordeste corresponde ao vulcanismo mais antigo da ilha de São Miguel, marcado essencialmente por actividade do tipo efusivo. O seu estudo geológico, petrológico e geoquímico deve-se a Fernandez (1969 *in* Abdel –

Monem *et al.*, 1975). Segundo o autor, este complexo possui uma espessura de cerca de 1100 metros de escoadas lávicas, dividindo-se em quatro formações que, da mais antiga para a mais recente, são: os “Basaltos Inferiores” e os “Ancaramitos”, os “Basaltos Superiores” e os “Traquibasaltos e Tristanitos”. Estas formações incluem em termos de composição variável entre basaltos e os traquitos, e ter-se-ão desenvolvido em ambiente subaéreo devido à ausência de sedimentos marinhos interestratificados e *pillow lavas*.

Abdel-Monem *et al.* (1975) realizaram datações, através do método K/Ar, neste complexo, obtendo idades de 4.01 Ma para os “Basaltos Inferiores”, de 1.86 Ma para os “Basaltos Superiores” e de 1.28 a 0.95 Ma para os “Traquibasaltos e Tristanitos”( Abdel-Monem *et al.*,1975 *in* Carmo, 2004).

Em contrapartida, Johnson *et al.* (1998), através das datações pelo método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  obtiveram idades de cerca de 0.87-0.82 Ma para os “Basaltos Inferiores”, enquanto que para os “Basaltos Superiores” as idades estão compreendidas entre os 0.82-0.79 Ma.

No topo do complexo surgem produtos do vulcanismo explosivo, dos vulcões do Fogo e das Furnas, correspondendo à actividade vulcânica mais recente da ilha de São Miguel, as quais cobriram vastas áreas da ilha.

Quanto à geologia da região da Povoação, esta é fortemente condicionada pelo seu enquadramento vulcanológico: a E, na base da coluna estratigráfica, encontram-se mantos lávicos do Complexo Vulcânico do Nordeste. Sobre estes repousam as escoadas lávicas e os produtos vulcanoclásticos da actividade do Vulcão da Povoação, edifício truncado por uma caldeira. No topo, encontram-se escoadas lávicas e depósitos vulcanoclásticos associados ao desenvolvimento do Vulcão das Furnas, cujos produtos se estendem significativamente para lá da respectiva forma vulcânica, intercalando a W os derrames do Planalto da Achada das Furnas e cobrindo a E o edifício da Povoação, em particular a sua caldeira (Gaspar *et al.*, 2001, *in* Carmo, 2004).

Com mais de 100 000 anos, o vulcão das Furnas é aparentemente o mais jovem dos vulcões centrais traquíticos existentes na ilha de São Miguel (Guest *et al.*, 1999). A actividade inicial, predominantemente efusiva, encontra-se representada por uma sequência de mantos lávicos aflorantes junto à foz da Ribeira Quente (Guest *et al.*, 2001). A actividade explosiva tornou-se gradualmente mais importante com o desenvolvimento da estrutura, sucedendo-se violentas erupções, do tipo pliniano, caracterizadas pela produção de piroclastos de queda, escoadas piroclásticas e *surges*; ocorre também actividade efusiva representada por pelo menos um grande domo lávico, a que estão associados fluxos de blocos e cinzas. Alguns destes eventos estiveram ligados à formação de caldeiras, de que é exemplo a erupção que esteve na origem do Ignimbrito da Povoação. Este depósito foi gerado no decurso de um episódio paroxismal ocorrido no interior da Caldeira das Furnas há cerca de 30 000 anos.

As erupções mais recentes tiveram igualmente localização intracaldeira, e incluíram fases efusivas e explosivas, conhecendo-se a existência de, pelo menos, 10 erupções nos últimos 5000 anos. Duas destas erupções ocorreram após a descoberta da ilha de São Miguel, mais concretamente entre 1439 e 1443 e em 1630. Conforme referido anteriormente, Guest *et al.* (1999) descreveram a estratigrafia deste vulcão, definindo 3 grupos:

O “Grupo Inferior”, encontra-se dividido em várias unidades, sendo o limite superior marcado pelo Ignimbrito da Povoação. Cada uma destas unidades representa erupções de magnitude considerável, consistindo em alternâncias de depósitos pomíticos de fluxo e de queda (*Surges*, ignimbritos, *debris flow*, depósitos estratificados de *lapilli* e cinzas pomíticos).

O “Ignimbrito da Povoação”, datado de acerca de 30 000 anos BP (Guest *et al.* 1999), corresponde a um nível de referência por ser fácil de identificar e estender-se por uma vasta área. Conhecendo a sua idade é possível estabelecer limites de idade e calcular taxas para as deformações tectónicas que o afectam. É um depósito de escoada piroclástica (figura 27), que cobre a maior parte do fundo da caldeira da Povoação, aflorando nas vertentes de vales e nas arribas costeiras.

Apresenta uma zona densamente soldada que atinge espessuras superiores a 60 metros nos locais em que preencheu as depressões (*pond deposits*). Esta formação é composta por fácies variadas, incluindo depósitos de lapilli de queda, *surges* espessos e unidades ignimbríticas soldadas e não soldadas (Duncan *et al.*, 1999). A erupção que formou este depósito terá sido provavelmente a maior do Vulcão das Furnas e, dada a elevada magnitude, estará relacionada com a formação da caldeira mais antiga (Guest *et al.* 1999).

O grupo intermédio, subdividido em várias unidades, aflora nos flancos S e SE do Vulcão das Furnas e como preenchimento da caldeira mais antiga. As formações que o constituem consistem em alternâncias de depósitos de queda e de fluxo (*lapilli* e cinzas pomíticas e escoréáceas, escoadas lávicas ignimbríticas e *surges*). O limite superior é definido pelo depósito do Fogo A (5000 anos BP), marcador estratigráfico resultante de uma erupção vulcânica do Vulcão do Fogo e que constitui um dos melhores níveis de referência para o estabelecimento da estratigrafia recente da ilha de São Miguel, devido tanto à sua dispersão como às características facilmente identificáveis, em que a pedra-pomes aparece normalmente bandada.





Figura 27 - fácies densamente soldada do ignimbrito da Povoação, aflorante na Estrada Regional

O Grupo Superior corresponde à sequência que se sobrepõe aos depósitos do Fogo A, e a última erupção que contribuiu para esta sequência foi a de 1630 AD. Os depósitos pertencentes a cada uma das erupções encontram-se bem definidos, apresentando, contudo, características comuns, tais como as fácies dominantes que se caracterizam por alternâncias de cinzas e níveis de *lapilli* pomítico (Cole *et al.*, 1999). Isto resulta do facto de que todas as erupções que contribuíram para este grupo envolveram fases magmáticas e hidromagmáticas (Carmo, 2004).

Na figura 28 apresenta-se uma coluna litostratigráfica representativa da região estudada.

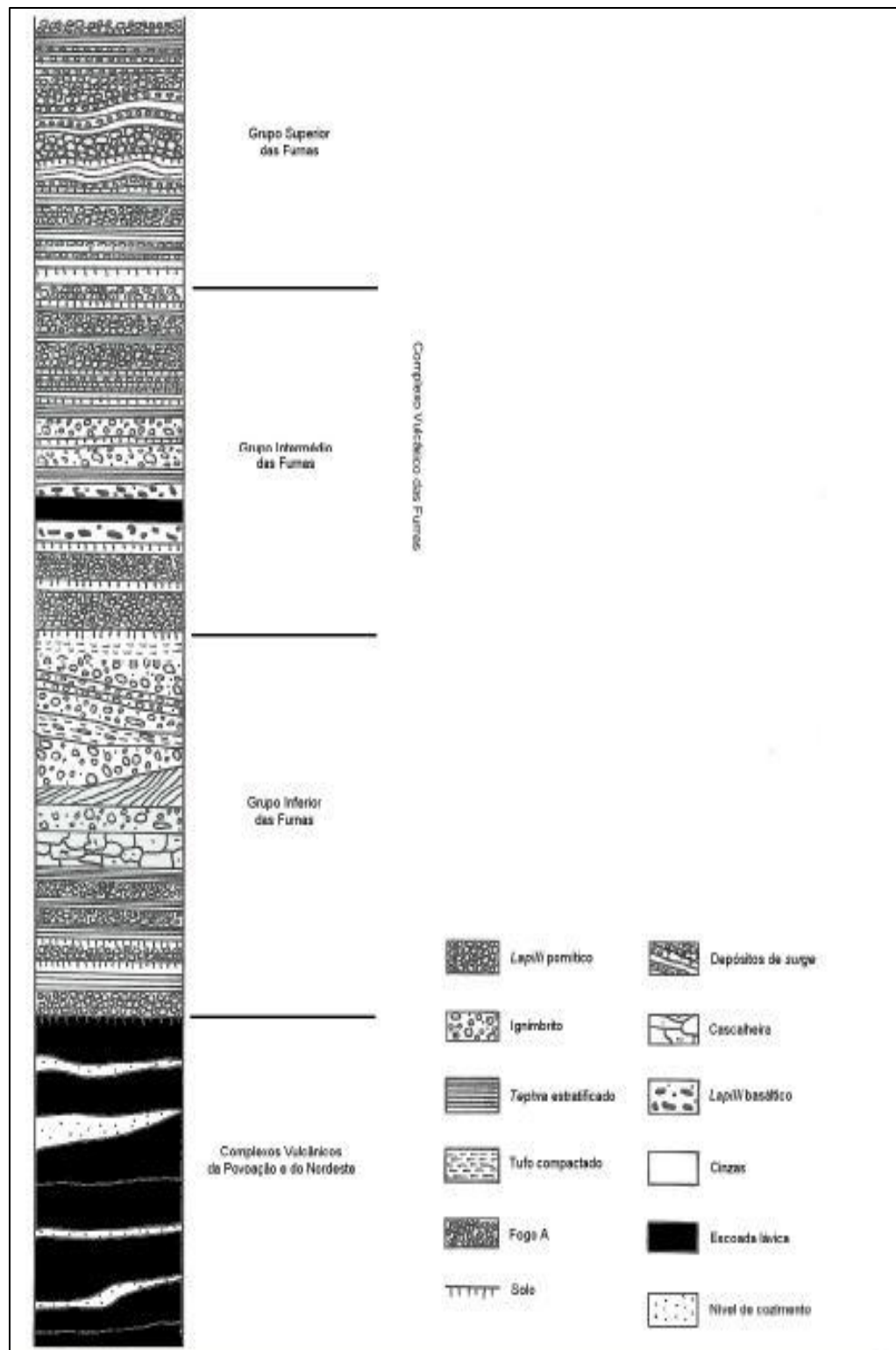


Figura 28 – Coluna litostratigráfica da região estudada (Retirado de Camo, 2004)

### 5.2.1 – Litologia

Através dos trabalhos realizados por Zbyszewski (1958), Moore (1991), Guest (1999) e Gaspar *et al.* (2001) para a área em estudo, constata-se que a litologia desta é dominada por materiais resultantes, maioritariamente, de eventos vulcânicos ocorridos no concelho da Povoação. De facto, a litologia de toda a zona é marcada, de uma forma geral, por materiais de projecção de natureza pomítica e basáltica, escoadas lávicas (*s.l.*), bem como materiais de fluxo (*s.l.*).

Como anteriormente se referiu, do ponto de vista estratigráfico, a área Este do concelho, nomeadamente as freguesias de Água Retorta e Faial da Terra, bem como as suas zonas envolventes, são dominadas por mantos lávicos que, segundo Zbyszewski (1958) e Moore (1991), constituem parte integrante do complexo basáltico do Nordeste. De acordo com Gaspar *et al.* (2001), sobre estes materiais, encontram-se escoadas de natureza basáltica (*s.l.*) e produtos vulcanoclásticos provenientes do edifício vulcânico da Povoação. Sobre estes materiais, e continuando a ter referencia a estratigrafia da área supra apresentada, encontram-se escoadas lávicas (*s.l.*) depósitos vulcanoclásticos associados à actividade do Vulcão das Furnas, bem como depósitos piroclásticos inerentes à actividade explosiva do complexo vulcânico do Fogo.

Neste contexto vulcanológico, merece especial destaque a actividade vulcânica que se tem vindo a manifestar há mais de 100.000 anos (Gaspar *et al.*, 2001) no edifício poligenético das Furnas, sendo que, após uma primeira fase efusiva bem marcada pelos mantos lávicos junto à foz da Ribeira Quente, como anteriormente se referiu, a actividade explosiva foi ganhando maior importância ao longo do tempo, de forma a que se sucederam violentas erupções caracterizadas pela produção de piroclastos de queda, escoadas piroclásticas, *surges* e domos traquíticos (*e.g.* Pico do Ferro, Pico do Gaspar, Pico dos Bodes e Pico do Canário).

Na área localizada a W do concelho, nomeadamente na Achada das Furnas (Complexo vulcânico do Planalto da Achada das Furnas, Zbyszewski, 1958)

encontram-se numerosos cones monogenéticos e escoadas de natureza basáltica (s.l.) resultantes de erupções havaianas e/ou estrombolianas ocorridas neste complexo. Sobrejacente a estes materiais, é possível encontrarem-se materiais piroclásticos dos maciços vulcânicos das Furnas e do Fogo.

### **5.3 – Tectónica da região do concelho da Povoação e zonas envolventes**

#### **5.3.1 – Tectónica e rede filoniana que afectam a região**

#### **5.3.2 – Falhas**

Carmo (2004), no seu estudo sobre a tectónica da área da Povoação-Nordeste, não observou expressão indubitável de ruptura superficial recente. Segundo este autor, na sua análise geomorfológica, verificou que a expressão morfológica dos acidentes tectónicos se restringe a arribas litorais e vales fluviais de traçado rectilíneo (eventuais vales de linha de falha), sugerindo controlo tectónico por falhas pouco activas ou sem actividade recente.

A maioria das falhas foram observadas nas arribas litorais e, ocasionalmente, em taludes de estradas ou em antigas pedreiras. Segundo este autor, apenas em alguns casos foi possível seguir o seu prolongamento cartográfico através da análise de relevo.

De um modo geral, o concelho da Povoação, encontra-se recortado por falhas orientadas a NW-SE, NNW-SSE e WNW-ESE a NW-SE, compatíveis com a fracturação associada à zona de deformação do troço ocidental da fronteira de placas Eurásia-África (figura 29).

As sequências aflorantes nas arribas correspondem predominantemente a escoadas lávicas muito fracturadas, pelo que segundo este autor se torna mais difícil definir os planos de falha. Contudo, verificam-se uma série de lineamentos de direcções dominantes NNW-SSE e NE-SW.

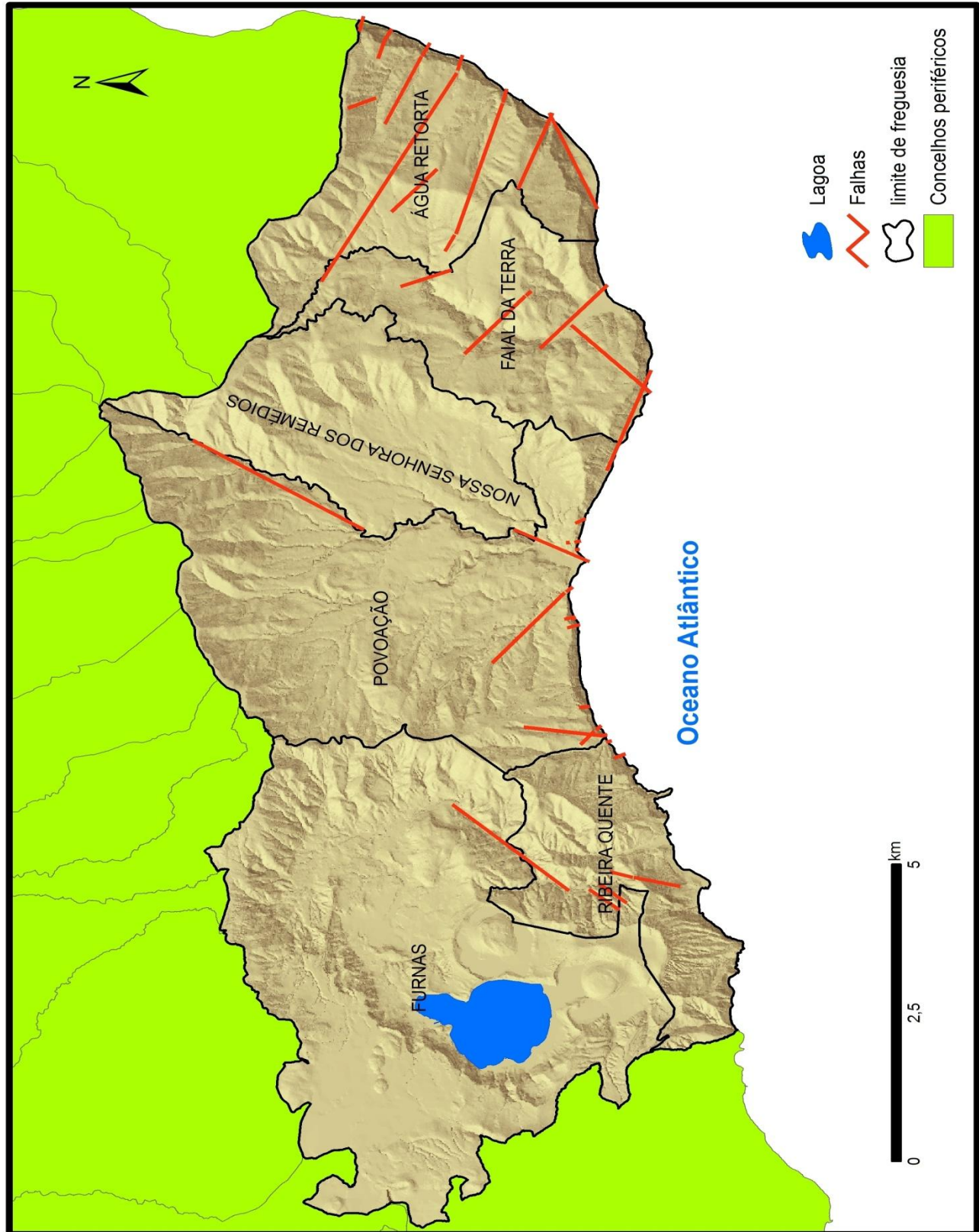


Figura 29 – carta tectónica esquemática do concelho da Povoação (Dados do Gabinete de Protecção Civil, cedidos por Camo, 2004)

A sul (Furnas, Povoação e Água Retorta), os acidentes tectónicos apresentam direcções WNW-ESE a NW-SE e, menos frequentemente, E-W e N-S, encontrando-se bem definidos nas arribas litorais, cortando alternâncias de depósitos piroclásticos com escoadas lávicas, podendo-se identificar, em alguns casos, níveis de referência.

Contudo, as estruturas tectónicas cartografadas afectam, em geral, todas as sequências vulcânicas da área em questão, cortando os depósitos mais recentes com origem nos Vulcões das Furnas e do Fogo.

O mapa acima apresentado resultou de um trabalho de campo efectuado por Carmo (2004), daí existir discrepâncias do mapa apresentado por Forjaz (1993). Este último autor elaborou uma carta tectónica a pequena escala. Já no caso de Carmo (2004), a autora elaborou a carta tectónica recorrendo a estações de monitorização e trabalho de campo. Deste modo, a carta acima apresentada é, do nosso ponto de vista, mais fiável cientificamente, já que traduz a tectónica do concelho a uma escala de maior pormenor, e auxiliará como uma das bases para a elaboração das cartas de susceptibilidade, vulnerabilidade e risco.

## 6 – O Risco Sísmico

### 6.1 - Alguns problemas conceptuais e terminológicos

Apesar de ser matéria de tratamento recente, pelo menos com esta formulação e com utilização explícita da expressão “riscos naturais”, são já muitos os estudos que no nosso país foram feitos por geógrafos, geólogos, engenheiros e outros investigadores. De entre eles destacamos pelo seu interesse teórico os trabalhos de A. B. FERREIRA (1992), J. Luís ZÊZERE (1997 e 2001), L. RODRIGUES (1998), F. REBELO (1999 e 2001) e A. TAVARES (1999).

De um modo talvez muito simplista, podemos dizer que com base na conhecida fórmula que traduz a noção compósita do risco<sup>2</sup>, o estudo dos riscos naturais implica a análise integrada de dois conjuntos de factores, os factores ligados à dinâmica natural do Meio, que configuram o conceito de *hazard*, para os cientistas de língua inglesa, e de *aléas* para os de língua francesa<sup>3</sup>, e os factores ligados à diferente vulnerabilidade das populações, decorrente não só das características demográficas, mas sobretudo do seu poder económico, do seu modo de organização política ou do seu estatuto social e cultural. Curiosamente, tanto nuns como noutros, o Homem marca a sua presença, diríamos mesmo é determinante para as transformações responsáveis por um aumento significativo do risco em determinados territórios (CUNHA e CRAVIDÃO, ob. cit.).

Enquanto conceito entendido no seu sentido mais restrito, *hazard* ou *aléas* designa a probabilidade espacial e temporal de ocorrência de um fenómeno, neste caso um fenómeno indesejado, pelas consequências negativas de que se reveste para o Homem e para a sociedade. Essa probabilidade decorre, naturalmente, das condições dinâmicas do meio físico natural e estas têm vindo a sofrer alterações

---

<sup>2</sup> -  $R=A+V$ , para os autores de língua francesa ou  $R=H+V$  para os de língua inglesa (F. REBELO, 1999). No entanto, a combinação entre o factor *Aléas* (ou *Hazard*) e o factor vulnerabilidade talvez traduza melhor o conceito de risco natural se estes forem relacionados através do operador multiplicação  $R = A \times V$  ou  $R = H \times V$ , ou simplesmente através do operador função  $[R=F(A,V)]$  definido caso a caso, como refere, por exemplo, André DAUPHINÉ (2001).

<sup>3</sup> - Perigosidade, ou qualidade de perigo, talvez fosse a tradução mais ajustada em português, à semelhança do que se passa com as traduções para língua espanhola ou italiana (ZÊZERE, 2001, p. 129).

profundas em consequência de transformações impostas pelo uso social do território<sup>4</sup>.

Por outro lado, o conceito de vulnerabilidade procura traduzir as consequências previsíveis, sobre o homem e a sociedade, de um fenómeno natural. Pode ser avaliada de diferentes modos, desde o valor económico-financeiro dos prejuízos (análise custo-benefício) e a quantidade de energia necessária para reparar as perdas e danos, às chamadas técnicas multicritério em que se conjugam diversos destes elementos (DAUPHINÉ, 2001 *in* Cunha e Dimuccio, 2002).

Na opinião de F. REBELO (ob. cit.) a actual distribuição do Homem no Planeta e o carácter indirecto de muitos dos efeitos dos fenómenos naturais fazem com que “a vulnerabilidade esteja sempre presente” e, por consequência, o risco também. Assim “a vulnerabilidade é intrínseca à noção de risco e quase não se vê a necessidade de falar em aleatório, acaso, casualidade ou perigosidade”. Neste caso, a fórmula compósita do risco deixaria de ter pleno significado, ainda que possa ser aceite “só por uma questão de metodologia” que permita jogar com diversos graus de vulnerabilidade.

Seja como for, o risco terá sempre uma dimensão probabilística, de algum modo próxima de um sentimento de incerteza, ainda que não de fatalidade<sup>5</sup>, diferentemente sentida e percebida pela população em função do tempo histórico, mas também do estatuto económico, social e cultural, e em função de outros dados demográficos, como o sexo e a idade, ou geográficos, como o local de naturalidade, residência ou vivência (TELES, 2001; SANTOS *et al.*, 2001, *in* Cunha e Dimuccio, 2002).

---

<sup>4</sup> No entanto, alguns Autores como, por exemplo, F. REBELO (1999) preferem reservar o termo perigo para ser utilizado no contexto da sequência Risco – Perigo – Crise, estabelecida de acordo com trabalhos patrocinados pela UNESCO (1987 e 1989) e, particularmente, do trabalho teórico desenvolvido por L. FAUGÈRES (1990).

Neste caso o termo *Hazard* teria um significado muito próximo do de risco, devendo ser este o termo apropriado em termos de tradução.

Por outro lado, a própria evolução conceptual do termo *hazard*, que terá começado por se aproximar do conceito de risco, para mais tarde ir ganhando um significado mais restrito que o aproxima do conceito de *aléas*, aliada à conotação essencialmente fatalista do termo leva autores como DAUPHINÉ (ob. cit., p. 30) a propor, dada a actual polissemia do conceito, o abandono do uso deste termo.

<sup>5</sup> - De certa forma associada ao conceito de *Hazard* (DAUPHINÉ, 2001, p. 30).



## 6.2 - Estado da Arte

O risco sísmico representa perdas de um dado elemento exposto sofrerá, como resultado de sismos futuros, e a probabilidade das mesmas ocorrerem num período de tempo de exposição (Carvalho, 2001). Os danos provocados pelos sismos nas construções dependem da intensidade da acção sísmica e da resistência e qualidade da construção ou seja a vulnerabilidade da construção a essa acção.

A avaliação do risco sísmico engloba três componentes fundamentais: a caracterização das sismicidades para um dado período de exposição e região (seismic hazard); avaliação da vulnerabilidade dos elementos expostos e a avaliação dos danos e do risco na região sísmica em análise (Carvalho, 2001).

Frequentemente, a distribuição dos danos produzidos por um sismo forte, numa determinada área, apresenta-se de forma heterogénea, isto é, os danos são mais elevados numas zonas, e menores noutras, apesar da sua proximidade. Este padrão de distribuição de intensidades é característico de uma área que apresenta o efeito de sítio local. De um modo geral, os danos maiores nas zonas de solos macios do que nas zonas de solos duros ou rochas. Este comportamento deve-se, sobretudo à amplificação do movimento sísmico através das camadas superficiais.

A grande variedade de propriedades físicas dos materiais que constituem a parte superficial da crosta (até 5 km), como a composição mineralógica, a densidade, a porosidade, as velocidades dos diferentes tipos de onda, as características elásticas e plásticas, assim como a grande dispersão nos mecanismos de atenuação, são responsáveis pelos comportamentos dos diferentes sítios.

As “condições de sítio” referem-se, em geral, às condições geotécnicas e de geologia superficial no local, tais como as características dos solos dentro de algumas dezenas a centenas de metros, a profundidade do nível freático, a topografia local e as falhas próximas.

A experiência mundial tem mostrado a importância das condições de sítio na distribuição da intensidade e do movimento de solo. Em 1906, durante o sismo de São Francisco, observou-se que os danos foram muito menores na parte alta da cidade, a qual possuía um solo duro. Posteriormente, observou-se o mesmo tipo de fenómeno em diversas cidades como por exemplo, Caracas, em 1967, Bursa (Turquia), em 1970, e Bucareste (Roménia), em 1977.

A nível do arquipélago dos Açores, como a região é muito heterogénea a nível litológico (diferentes materiais) é obvio que haverá zonas muito díspares que deste modo reagem de maneira diferente a um evento sísmico.

No que toca aos efeitos geológicos, dada a heterogeneidade das formações geológicas, é possível dividir os solos em dois grupos: rígidos e brandos. Os resultados observados quando ocorrem sismos, levam a concluir que os solos brandos dão origem a amplificações duas a três vezes superiores às dos solos rígidos, para frequências inferiores a 5 Hz. Para frequências superiores, a situação é inversa levando a que sejam os sismos sentidos com diferentes intensidades devido à diferente reacção dos diferentes solos.

A sismicidade pode ser definida como a descrição das relações entre datas, os locais, as dimensões e a periodicidade da ocorrência de eventos sísmicos, numa dada região. A análise da sismicidade e a sua compreensão é a base de qualquer estudo sísmico (Estêvão, 1998).

A sismicidade de uma região é controlada por dois factores: pelos campos de tensão e deformação decorrentes dos movimentos das placas tectónicas e pela capacidade de resistência à deformação do local onde o sismo ocorre (Hu *et al.* 1996 *in* Estêvão, 1998), o que se poderá representar cartograficamente conhecendo a litologia da área e a sua tectónica.

### **6.2.1 - Avaliação do risco sísmico**

Avaliar o risco sísmico de uma região não significa apenas conhecer o comportamento previsível dos solos durante um sismo (susceptibilidade). Significa, sobretudo, estimar os danos que o fenómeno pode eventualmente

produzir numa região, quer sobre as estruturas construídas, quer sobre a população aí presente (vulnerabilidade). Assim se definem cenários de danos e se poderá criar cartografia temática.

A definição de cenários e a identificação de áreas críticas constituem os pilares de base do desenvolvimento de instrumentos e acções de minimização de risco sísmico, bem como potenciais efeitos do fenómeno (Perry e Hirose, 1991).

Nas acções para a minimização do risco sísmico, incluem-se as iniciativas de carácter preventivo como, por exemplo, a intervenção e o reforço das estruturas construídas vulneráveis, a implementação de medidas correctivas na localização das actividades produtivas e na organização do espaço urbano, e ainda, as acções de sensibilização e formação da população (Alexander, 2002).

Os sismos são um risco geológico muito frequente nas designadas zonas activas do globo, facto comprovado pelo elevado número de vítimas e elevadíssimos danos materiais que se registam todos os anos (e.g. Carvalho e Oliveira, 1983; Walker, 1990; Samardjieva e Badal, 2002; Yong *et tal.*, 2002).

A preparação da resposta à ocorrência de desastres naturais necessita de medidas a vários níveis, uma vez que a falta de organização institucional e comunitária, as debilidades nos preparativos das emergências, a instabilidade política e a falta de saúde económica de uma área geográfica, contribuem para um maior risco. Portanto, as consequências potenciais não só estão relacionadas com o impacto do sucedido, mas também com a capacidade para suportar o impacto e as implicações do mesmo na área afectada (Barbat e Pujades, 2004; Oliveira, 2005).

### **6.2.2 – Susceptibilidade e Vulnerabilidade ao risco**

A redução do risco sísmico passa necessariamente por reduzir a vulnerabilidade das construções e de outros elementos expostos à perigosidade sísmica. Assim sendo, o risco sísmico de uma dada região está, então, directamente relacionado com a resistência sísmica do edificado aí existente (vulnerabilidade do edificado e da população exposta).

Conhecida a vulnerabilidade das construções e a susceptibilidade de uma determinada área geográfica, é possível avaliar o risco sísmico e representá-lo através de mapas, ou apenas cartografar as zonas susceptíveis a este fenómeno. Estes mapas representam cenários de risco sísmico, onde estão representados espacialmente os efeitos de um determinado evento sísmico pode provocar numa dada região, de acordo com a vulnerabilidade das suas construções (Oliveira, 2004). No entanto, a redução da vulnerabilidade, neste tipo de risco, não reduz a probabilidade, já que este é um tipo de risco completamente impossível prever. No nosso estudo, avaliaremos o risco e elaboraremos a cartografia multiplicando a susceptibilidade sísmica do concelho da Povoação pela vulnerabilidade (S.V).

## **7 – Elaboração e análise da cartografia de Susceptibilidade e Vulnerabilidade e Risco**

### **7.1 – Sistemas de informação e análise do risco sísmico**

O risco terá sempre uma dimensão probabilística de algum modo próxima de um sentimento de incerteza, ainda que não de fatalidade, diferentemente sentida e percebida pela população em função do tempo histórico mas também do estatuto económico, social e cultural, e em função de outros dados demográficos, como o sexo, idade, ou geográficos, como o local de naturalidade, residência ou vivência (Teles, 2001; Santos *et al.*, 2001 *in* Cunha e Dumuccio, 2002). Neste processo perceptivo de grande importância em termos de Ordenamento do Território, sobretudo à escala local, dada, por exemplo, a diferente valorização dos espaços e, particularmente dos solos urbanos e peri-urbanos, têm particular interesse o modo como os meios de comunicação social perturbam essa percepção, por exemplo ao condicionar a relevância de acidentes e catástrofes naturais em função do contexto noticioso do momento (Cunha e Dumuccio, 2002).

A evolução recente e, particularmente o aparecimento de software cada vez mais poderoso em termos de cálculo, mas também mais amigável (caso do programa *ArcView*), é responsável por um acréscimo significativo da popularidade destas ferramentas entre geógrafos e outros investigadores que trabalham sobre o espaço e o território. Nos últimos anos intensificou-se o ensino das técnicas de

operação com SIG's, tanto nos cursos de Geografia, como fora deles e, par disso, vulgarizou-se a utilização destas poderosas ferramentas na elaboração de cartografia temática e na própria análise geográfica, através do cruzamento e tratamento matemático de informação espacial georreferenciada (Cunha, L. e Dimuccio, L., 2002).

Pela diversidade dos elementos em jogo, pela complexidade das relações que entre eles se estabelecem e, sobretudo, pelo carácter espacial de que se revestem, os estudos ambientais são uma das áreas em que os SIG's têm particular interesse, enquanto ferramenta de análise. É particularmente, o caso dos riscos naturais. Com base em ferramentas SIG é possível não só manter actualizada a cartografia das áreas afectadas por acidentes e catástrofes naturais, como criar modelos prospectivos com base no cruzamento e tratamento quantitativo dos factores intervenientes (por exemplo: relevo, geologia, uso do solo, elementos climáticos, dados demográficos, infra-estruturas, para previsão do risco de movimentos de materiais em vertentes ou cheias rápidas e inundações) (Cunha, L. e Dimuccio, L., 2002). Neste caso, a previsão destina-se ao risco sísmico, onde, as variáveis são um tanto diferentes, já que estamos a falar de um outro tipo de risco.

Autores como Cunha e Dimuccio (2002), levantam alguns problemas relativamente a este tipo de análise, no que concerne aos pesos atribuídos às diversas variáveis. Segundo estes, uma questão importante está na necessidade de isolar a influência de cada um dos factores, o que parece difícil num sistema complexo, em que os diferentes factores não actuam isolados. Exemplificando no nosso estudo, as áreas urbanas justificarão em grande parte os valores obtidos para o risco muito elevado, já que são nestas áreas onde teoricamente as actividades se concentram e, onde se localiza a maior parte dos indivíduos que podem ser afectados por um evento sísmico.

Embora tenhamos noção e consciência do carácter perigosamente simplista do modelo, determinamos que através deste, alcançaremos um limiar mais ou menos aproximado da realidade, dado que os resultados obtidos do cruzamento da carta

de susceptibilidade com a carta de vulnerabilidade traduzem uma noção espacial da distribuição do risco.

Os critérios que utilizamos para a obtenção da carta de susceptibilidade, vulnerabilidade e risco fruem de alguma subjectividade, no entanto, tivemos o cuidado de analisar documentos relativos aos efeitos causados pelos principais sismos históricos e, deste modo concluímos que o modelo se ajusta à realidade, já que as zonas de risco mais elevado situam-se onde os relatos históricos demonstraram através da sua descrição narrativa uma maior destruição provocada pelos sismos.

## **7.2 – Aquisição e tratamento de dados**

Para a elaboração de um estudo desta natureza, é necessária a aquisição de dados que possibilitem o desenvolvimento de um modelo credível e fiel à realidade para a área geográfica em questão, ou seja, o concelho da Povoação.

Deste modo, e não obstante as dificuldades, conseguiu-se a obtenção de dados importantes para a execução de cartografia pretendida.

Alguns trabalhos de campo, pesquisa bibliográfica e principalmente a cedência de dados por parte de algumas instituições foram, deste modo, os pilares principais da elaboração do trabalho a que nos propusemos.

Na nossa pesquisa bibliográfica, obtivemos dados relativos a intensidades máximas históricas para a ilha de São Miguel na escala EMS98, o que nos permitiu “vectorizar” esta informação, recorrendo a técnicas específicas utilizando o Arcgis 9.2™, para numa fase posterior poder ser devidamente introduzida no software Sig e, ser efectivamente tratada de modo a poder fornecer informação geográfica substancial para o estudo (figura 30).

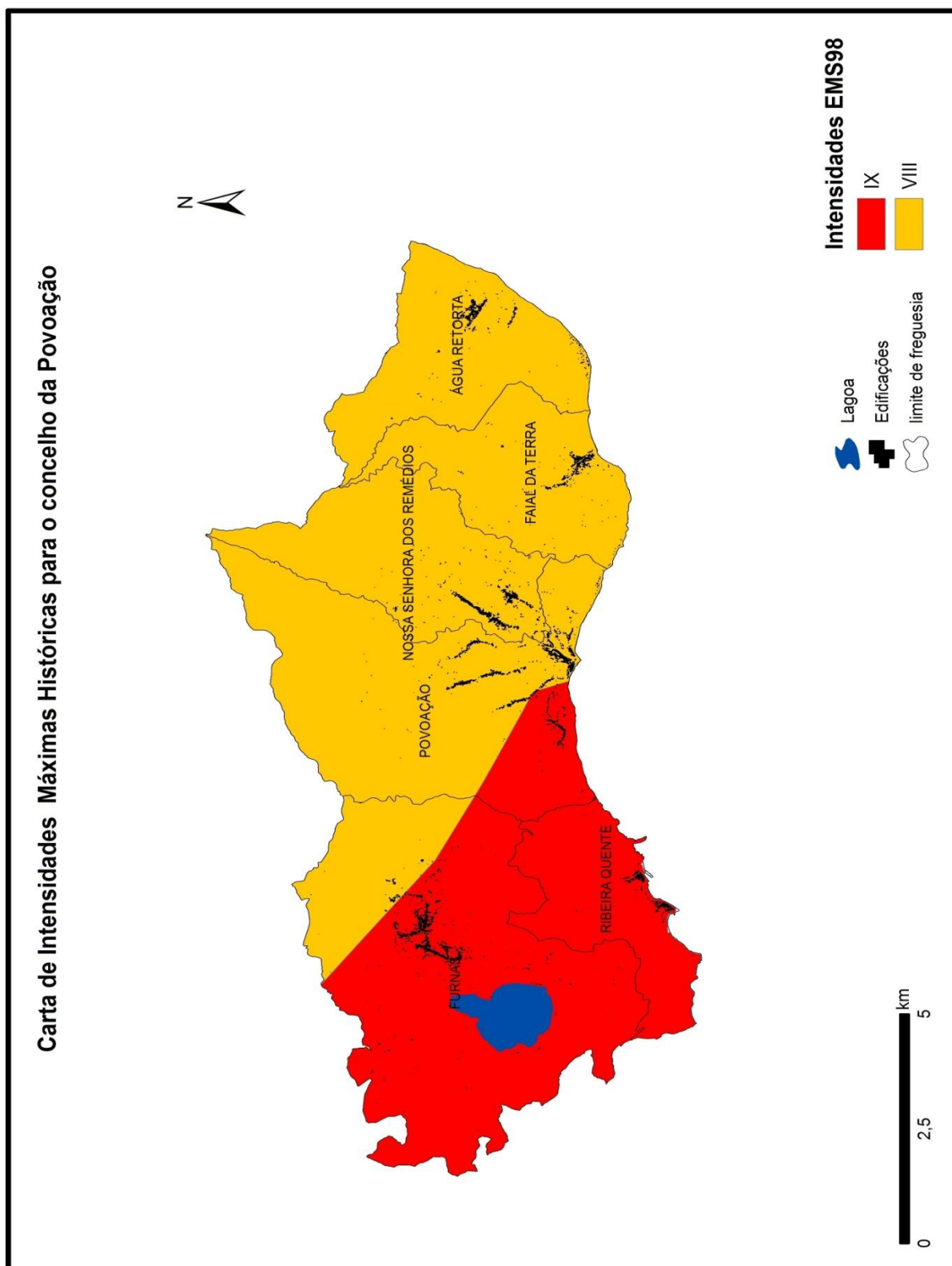


Figura 30 – Carta de intensidades máximas históricas para o concelho da Povoação, modificado de Silveira, 2002

No que diz respeito à litologia da área, obtivemos os dados em formato *shapefile*, cedidos pelo Gabinete de Geografia e Planeamento e Protecção Civil, da Câmara Municipal da Povoação, que foi por sua vez elaborada por Resendes 2004, no seu trabalho de mestrado apresentado à universidade dos Açores.

Segundo este autor, definiram-se três classes litológicas com base nos depósitos de cobertura cartografados nos trabalhos de Zbyszewski, (1958) e Moore (1991). Desta forma, a classe definida como L1 é constituída, quase exclusivamente, por depósitos piroclásticos; a classe definida como L2 é composta por depósitos piroclásticos e escoadas lávicas; a classe L3 inclui, maioritariamente, escoadas lávicas. No entanto, o facto da zona E do concelho ser fortemente condicionada pela forte presença de materiais que tiveram a sua génese na actividade essencialmente efusiva do complexo vulcânico do Nordeste, condicionou em parte a aplicação desta metodologia, nomeadamente no que se refere à definição da classe L1. Efectivamente, o facto das áreas inerentes às freguesias de Água Retorta e Faial da Terra serem constituídas maioritariamente por escoadas lávicas com cerca de 4 Ma (Abdel e Monem, 1975), e apresentam bastantes movimentos de vertente, o que pode ser explicado pelo grau de alteração de tais produtos, justificando, desta forma, a sua classificação de L1 (Resendes, 2004).

Com base nas três classes litológicas definidas delimitaram-se áreas de cada uma delas, sendo que L1 corresponde a 76,07 %, L2 a 14,66 % e L3 a 9,27 % do Concelho da Povoação.

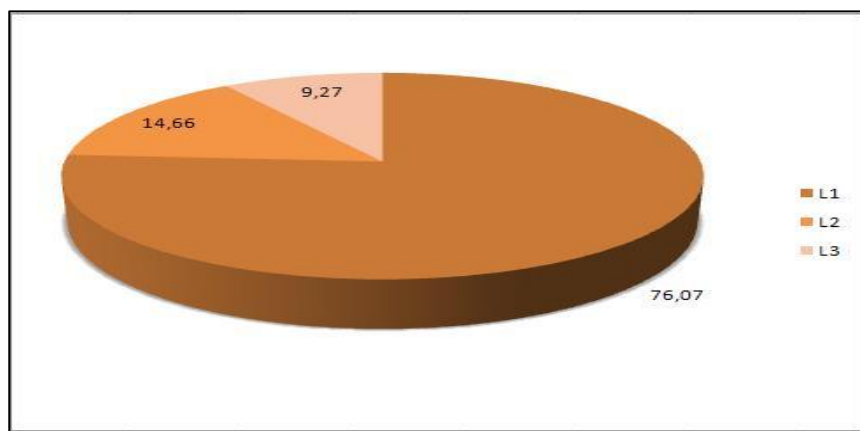


Figura 31- Percentagem das classes litológicas no concelho da Povoação



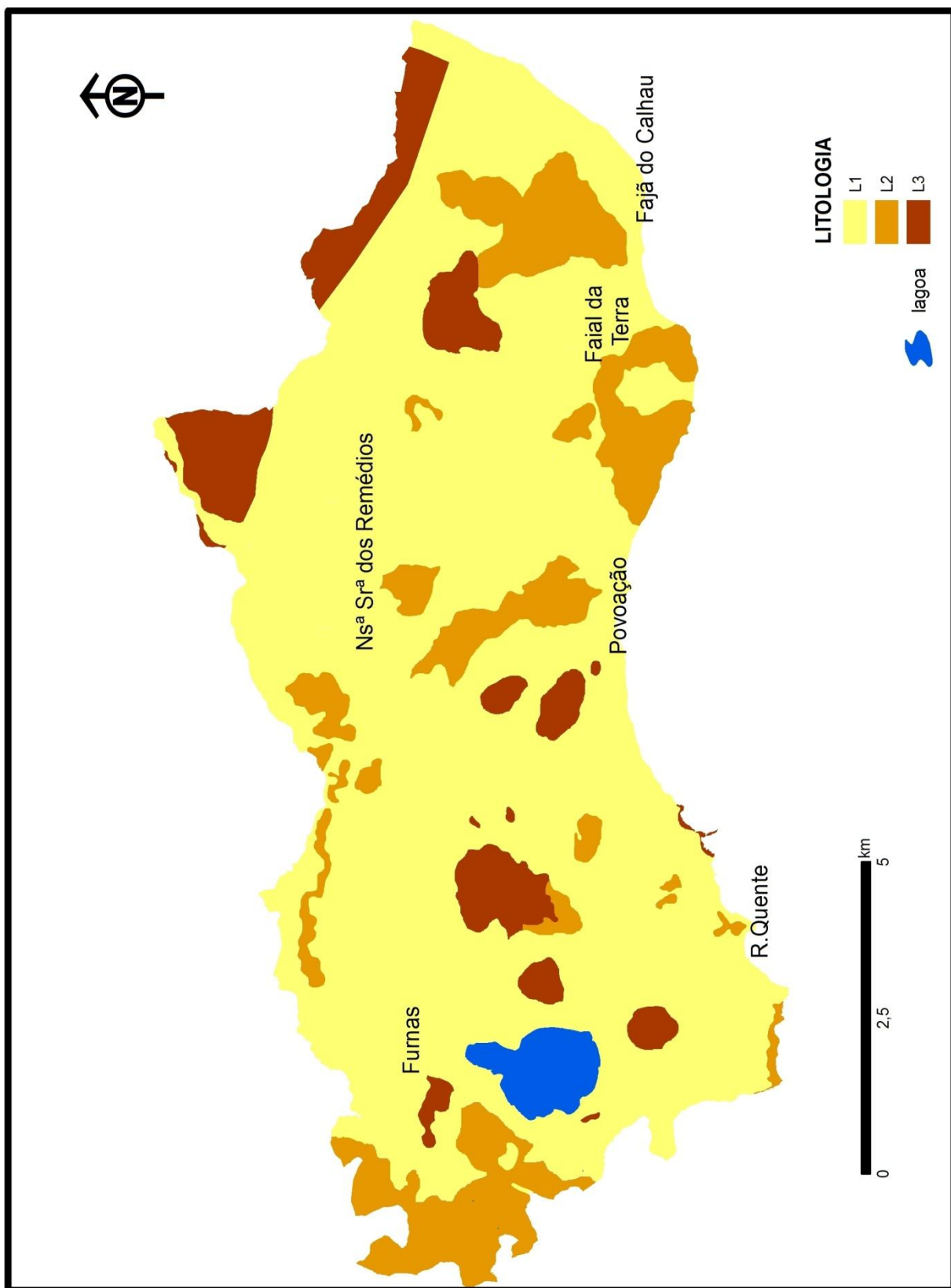


Figura 32 - Classes litológicas definidas para o concelho da Povoação, segundo a metodologia de Gomes, 2003.

No que concerne à tectónica da região do concelho da Povoação e zonas envolventes, obtivemos dados relativos à posição/orientação das falhas publicadas no trabalho de Carmo, (2004) onde, este autor descreve pormenorizadamente o sistema de falhas para a região da Povoação e do Nordeste.

A figura 29 apresentada no capítulo 5 deste trabalho, demonstra bem a distribuição do sistema de fracturas que afectam o concelho da Povoação, bem como a sua orientação.

No entanto, e como este trabalho se propõe a proceder a um cruzamento de dados no sentido de alcançar um cartogramas representativo da susceptibilidade, vulnerabilidade e risco sísmico, tivemos de recorrer a algumas técnicas utilizando ferramentas SIG que nos permitem trabalhar com os dados de modo a ser viável a realização da referida cartografia.

Para tal, utilizamos a ferramenta *Multi Ring Buffer* do Arcgis 9.2 <sup>TM</sup>, criando distâncias definidas por nós em relação às falhas presentes na região em questão (figura 33). Após este procedimento, obtivemos um mapa que representa as distâncias em metros às falhas na área administrativa do concelho da Povoação, sendo esta uma metodologia, que no nosso entender, é fundamental para calcular a susceptibilidade de determinadas unidades de terreno face a um sismo, já que, a proximidade às falhas é um factor intrínseco para a obtenção das intensidades sentidas pela população como posteriormente desenvolveremos.

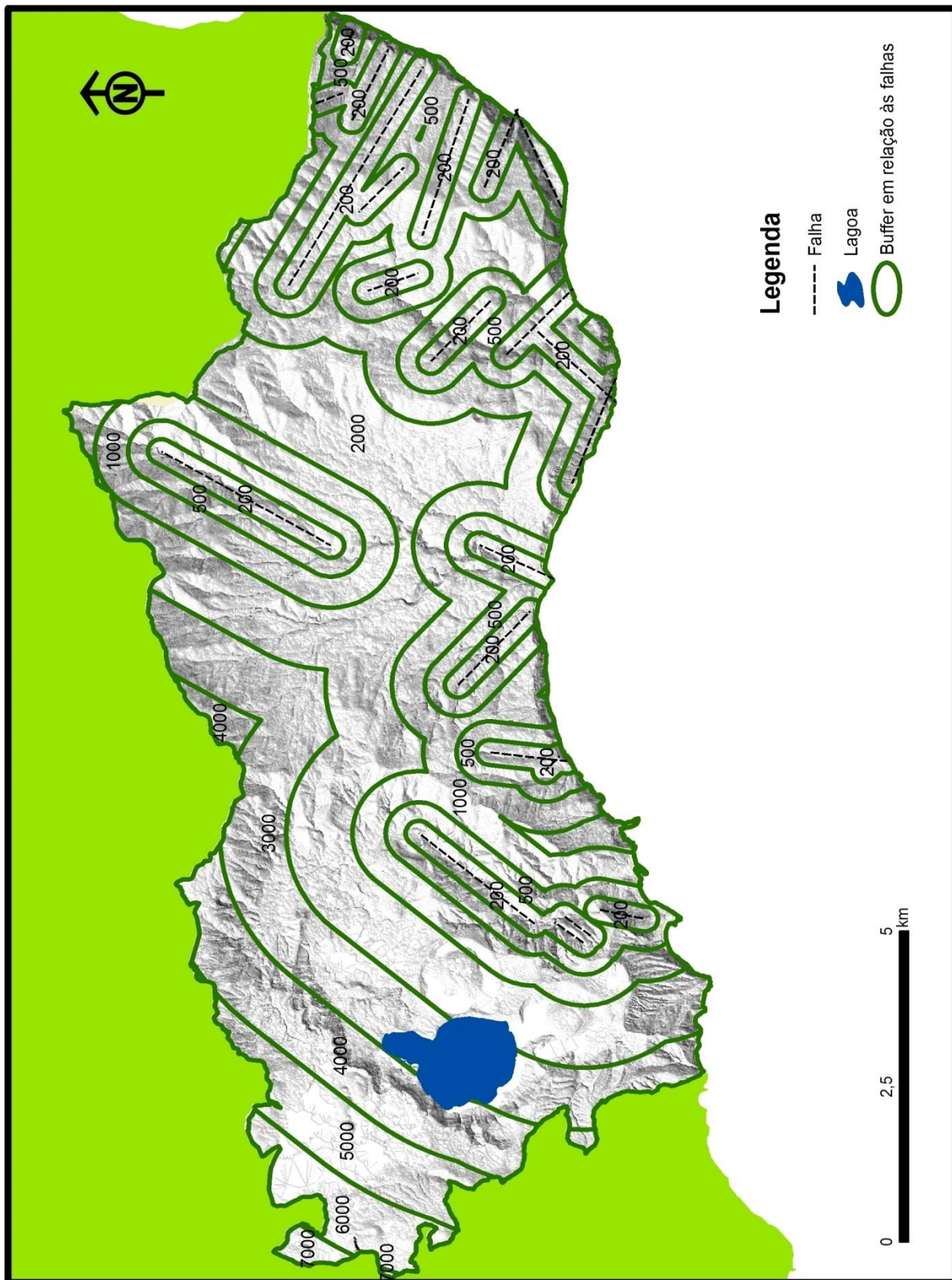


Figura 33- Multi Ring Buffer em relação às falhas em metros para o concelho da Povoação.

Outros dados que achamos fundamentais para este estudo, foram apresentados nos capítulos anteriores, no que se refere à ocupação dos solos no concelho da Povoação, densidade populacional e vulnerabilidade do edificado, sendo estes, os dados que utilizaremos para o estudo da vulnerabilidade sísmica do concelho da Povoação, integrados e tratados no modelo SIG.

### **7.3 – Metodologia utilizada para a criação de cartografia de risco**

Como se referiu no primeiro capítulo, utilizamos o método heurístico – qualitativo, mais adaptado à realidade deste trabalho, já que estamos a falar de escalas médias a pequenas, em que as diferentes ponderações são o resultado de um processo empírico interactivo de análise causa - efeito entre os diferentes factores considerados. Deste modo, procedeu-se à criação de uma carta de susceptibilidade sísmica e uma carta de vulnerabilidade sísmica, e da relação destas duas obtivemos uma carta de risco sísmico para o concelho da Povoação.

Todos estes procedimentos foram elaborados em ambiente SIG, recorrendo-se às técnicas e ferramentas de cartografia automática.

### 7.3.1 – Carta de susceptibilidade

A produção de uma carta de susceptibilidade sísmica, passou por um processo de atribuição de pesos (*scores*) em que cada classe e cada factor entram no modelo. Deste modo, concebemos um mapa síntese de acordo com as ponderações indicadas na tabela abaixo:

Variáveis	Classes	Valor
Intensidade sísmica histórica	VIII	2
	IX	3
Litologia	L1	3
	L2	2
	L3	1
Falhas Geológicas (buffer)	< 200 m	4
	200 - 500m	3
	500 - 1000m	2
	2000m	1
	3000m	1
	4000m	1
	5000m	1
	6000m	1
	7000m	1

Tabela 6 – Factores condicionantes da susceptibilidade sísmica

Procedemos à união das respectivas tabelas de atributos (em ambiente SIG) e fez-se uma soma dos pesos para a unidade territorial do concelho da Povoação. Desta relação surgiram 8 resultados, no que se tornou necessário reclassificar para 4 classes de susceptibilidade (figura 34).

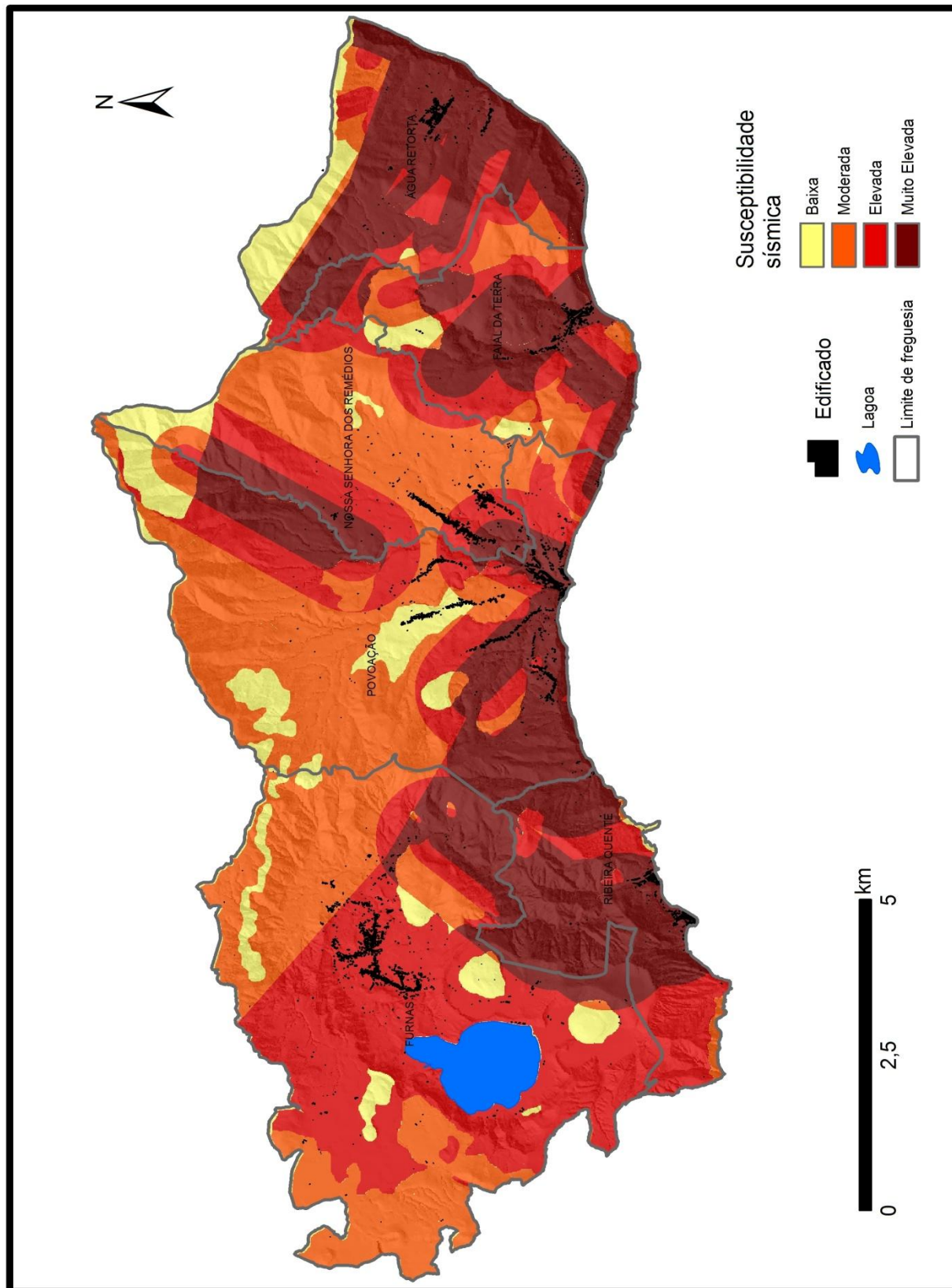


Figura 34 - Carta de Susceptibilidade sísmica do concelho da Povoação

Após este processo de ponderação, reclassificou-se os 8 valores resultantes da acumulação dos pesos atribuídos para 4 classes de susceptibilidade, sendo estas: Baixa, Moderada, Elevada e Muito Elevada, como podemos verificar na figura anterior.

No caso da susceptibilidade sísmica, e atendendo ao enquadramento geotectónico do concelho da Povoação, não poderá existir susceptibilidade zero, ou seja, uma classe de susceptibilidade muito baixa não faria qualquer sentido, dado que, todo o arquipélago dos Açores é uma região sísmicamente muito activa, registando-se diariamente centenas de sismos.

A carta acima apresentada, traduz, de um modo geral, as zonas do concelho da Povoação em que um evento sísmico terá mais significado. Ao analisar o cartograma, aferimos claramente as zonas mais susceptíveis a este fenómeno, sendo de um modo geral em todo o concelho, mas, com zonas mais susceptíveis em detrimento de outras o que pode ser explicado pelas variáveis inseridas no modelo. As freguesias de Água Retorta, Faial da Terra, parte de Nossa Senhora dos Remédios e Ribeira Quente, são as que apresentam maior susceptibilidade. Já no caso da freguesia de Furnas, determinamos que a susceptibilidade é Moderada a Elevada.

De um modo geral, todo o concelho da Povoação é susceptível à manifestação de um sismo, no entanto, existem zonas onde esta susceptibilidade é mais elevada. Se analisarmos a localização do parque edificado do concelho, determinamos que a maioria dos edifícios se insere nas classes de susceptibilidade Elevada e Muito Elevada. Analisando os registos históricos dos sismos mais importantes mencionados no capítulo III, e compararmos a descrição das zonas mais afectadas com o mapa de susceptibilidade apresentado, podemos concluir que o modelo se ajusta à realidade, já que as zonas mais afectadas dos três sismos descritos correspondem às classes de susceptibilidade mais elevadas, o que vem corroborar que o modelo é viável.

No entanto, a susceptibilidade não traduz o risco que um evento sísmico tem para a população, daí urge a necessidade de criar um modelo de avaliação da vulnerabilidade sísmica para o concelho da povoação.

### **7.3.2 – Elaboração da carta de Vulnerabilidade sísmica**

Para podermos avaliar a vulnerabilidade do concelho da Povoação face a um evento sísmico, foi necessário recolher dados referentes à ocupação dos solos (cap.5), vulnerabilidade do edificado e calcular a densidade populacional (cap.4) para cada freguesia e, deste modo, cruzar estes dados para a obtenção de uma carta de vulnerabilidade sísmica.

Para que se entenda de uma maneira mais clara o procedimento, apresentaremos o modelo de classificação da vulnerabilidade do edificado elaborado por Resendes, (2004). Este autor, para analisar o grau de vulnerabilidade no que concerne à ocorrência de sismos, teve em consideração o parque habitacional e a população da área em estudo.

Assim sendo, o edificado é um dos elementos mais atingidos em caso de ocorrência de sismos, e tendo em atenção as mortes que ocorrem nestes casos, na maioria das vezes, têm a sua génese no colapso dos edifícios. Neste sentido, o autor realizou um levantamento de todo o parque edificado do concelho segundo a classificação de Gomes, (2003) (tabela 7).









Classe de vulnerabilidade	Descrição	Exemplo
Classe A	-edifícios com paredes exteriores (rebocadas ou não) em pedra irregular ou talhada de pequenas dimensões. Esta classe é a de maior vulnerabilidade	
Classe B	-edifícios com paredes exteriores em blocos de betão mas que não possuem placas de betão armado entre os diferentes pisos;  -edifícios com paredes de pedra pequena talhada mas com reforço, isto é, com cimento embutido entre estas	 
Classe C	-edifícios com paredes exteriores em pedra grande talhada ou paredes em blocos de betão com placas de betão armado entre os andares.	
Classe D	-edifícios com construção sismo-resistente moderada, os quais possuem armação em betão armado, com paredes de enchimento em blocos de betão;  -edifícios em madeira desde que bem construídos.	 
Classe E	-sendo a classe de menor vulnerabilidade, engloba edifícios com estrutura sismo-resistente elevada, isto é, com armação e paredes em betão armado.	

Tabela 7 - Descrição da tipologia das habitações para cada uma das classes de vulnerabilidades, por ordem decrescente (adaptado de Gomes, 2003).

O autor após tratar os dados resultantes do levantamento de campo efectuado, apresenta uma tabela, com os resultados referentes às percentagens das habitações de cada uma das freguesias do concelho da Povoação pertencentes a cada uma das classes de vulnerabilidade previamente definidas (tabela 8).

Freguesia	Localidade	Classe de vulnerabilidade	N.º de habitações	% de habitações
Água Retorta		classe A	338	79,76%
		classe B	50	11,76%
		classe C	36	8,47%
		classe D	0	0,00%
Falai da Terra		classe A	343	74,24%
		classe B	73	15,80%
		classe C	44	9,52%
		classe D	2	0,43%
Fumas		classe A	582	55,91%
		classe B	116	11,14%
		classe C	338	32,47%
		classe D	5	0,48%
Ribeira Quente		classe A	235	53,05%
		classe B	95	21,44%
		classe C	107	24,15%
		classe D	6	1,35%
N. S. dos Remédios	Lomba do Alcaide	classe A	130	58,56%
		classe B	45	20,27%
		classe C	44	19,82%
		classe D	3	1,35%
	Lomba do Loução	classe A	229	66,96%
		classe B	54	15,79%
		classe C	56	16,37%
		classe D	3	0,88%
Povoação	Lomba do Cavaleiro	classe A	119	60,41%
		classe B	30	15,23%
		classe C	46	23,35%
		classe D	2	1,02%
	Lomba do Carro	classe A	123	73%
		classe B	12	7%
		classe C	34	20%
		classe D	0	0%
	Lomba do Botão	classe A	206	80,78%
		classe B	20	7,84%
		classe C	27	10,59%
		classe D	2	0,78%
	Lomba do Pomar	classe A	96	66,67%
		classe B	27	18,75%
		classe C	21	14,58%
		classe D	0	0,00%
	Lomba dos Pés	classe A	37	55,22%
		classe B	6	8,96%
		classe C	23	34,33%
		classe D	1	1,49%
Povoação		classe A	231	47,24%
		classe B	101	20,65%
		classe C	137	28,02%
		classe D	20	4,09%

Tabela 8 – Discriminação, por freguesia, incluindo Lombas, das habitações pertencentes a cada classe de vulnerabilidade (retirado de Resendes, 2004)

De acordo com o estudo elaborado pelo autor, no que se refere às classes de vulnerabilidade, verifica-se que no concelho da Povoação existe um claro predomínio da classe A, a de maior vulnerabilidade, com 63%, seguindo da classe C com 21%, da classe B com 15% e da classe D, a menos vulnerável, com 1% (figura 35).

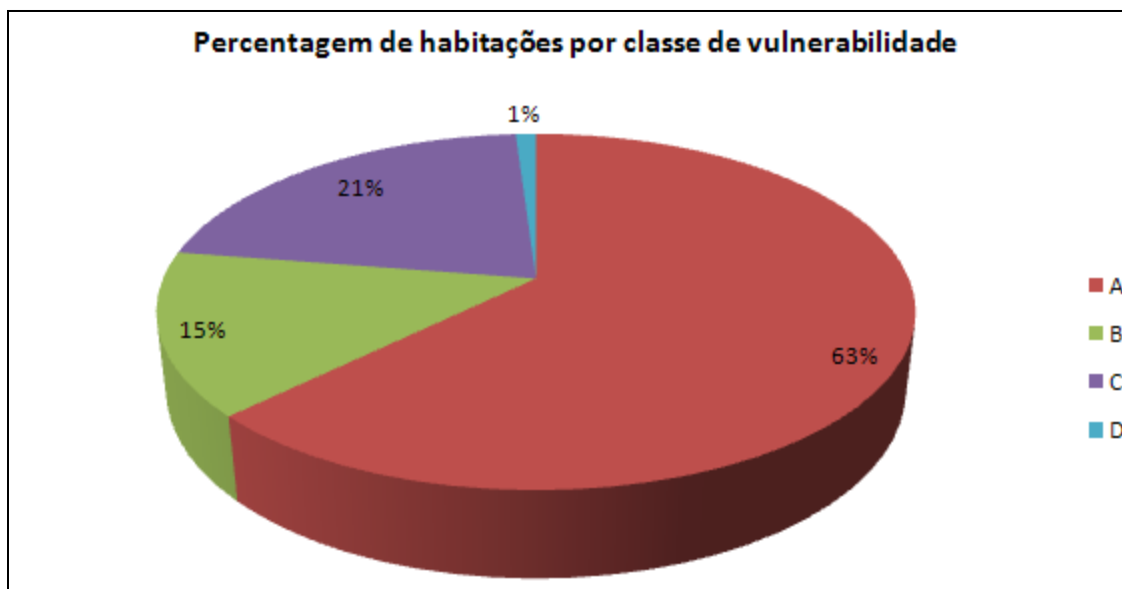


Figura 35 – Percentagem de habitações por classe de vulnerabilidade no concelho da Povoação

Após entendermos a classificação do edificado e a respectiva percentagem à escala das freguesias, acrescentamos na tabela de atributos da carta de vulnerabilidade um novo campo com a designação vulnerabilidade\_edificado. Deste modo, e recorrendo às percentagens apresentadas, atribuímos pesos a esta variável de acordo com o critério de maior ou menor percentagem e número de edifícios inseridos nas classes de vulnerabilidade supra apresentadas.

No decorrer do procedimento da elaboração da carta de vulnerabilidade, atribuímos os pesos no que se refere ao assinalado como urbano na carta de uso dos solos no novo campo criado, somando uma vez mais o valor atribuído ao uso em si com os valores atribuídos à vulnerabilidade do edificado. A atribuição de *scores* consistiu em analisar por freguesia a percentagem de edificações inseridas em cada classe de vulnerabilidade, e assim, resolveu-se atribuir o valor de acordo com a tabela seguinte:

<b>Freguesia</b>	<b>Valor</b>
Água Retorta	5
Faial da Terra	5
Povoação	4
Furnas	3
Ribeira Quente	4
Lomba do Alcaide	5
Lomba do Loução	5
Lomba dos Póis	4
Lomba do Pomar	5
Lomba do Carro	5
Lomba do Botão	5
Lomba do Cavaleiro	5

Tabela 9 – Pesos atribuídos à vulnerabilidade do edificado por freguesia

Os critérios definidos para a atribuição dos pesos, foram, como já se referiu, as percentagens apresentadas pelo autor. Assim ponderamos de modo a poder jogar com as percentagens, ou seja, freguesias com maioritariamente edifícios de classe A atribuiu-se o peso 5, freguesias com maioritariamente classe B, atribuiu-se o peso 4, com percentagem razoável de edifícios de classe C, atribuiu-se o peso 3.

No que concerne ao peso atribuído ao uso dos solos, foram atribuídos os valores de acordo com a influência que a classificação exerce num evento sísmico como demonstra a seguinte tabela:

<b>Classe de Solo</b>	<b>Valor</b>
Urbano	4
Industrial	4
Agrícola	1
Pastagem	1
Florestal	1
Vegetação Natural	0
Áreas descobertas	0
Lagoa	0

Tabela 10 – Pesos atribuídos ao uso do solo no que diz respeito às diferentes classificações

Como é evidente, é nas áreas urbanas e industriais onde se sente com maior destaque os efeitos causados por um evento sísmico, daí terem o peso máximo (4), no entanto, como estamos a falar de um concelho que tem um grande peso no sector primário, consideramos que existe sempre vulnerabilidade nas pastagens, onde poderá eventualmente se encontrar um empresário agrícola, nas suas infra-estruturas de apoio à actividade, bem como nas áreas agrícolas. Decidimos atribuir o peso 1 no uso florestal por existirem no concelho várias empresas madeireiras que laboram deste modo no espaço florestal, que, deste modo, poderão ser afectados por um sismo. No que concerne à vegetação natural e lagoa, atribuímos o peso 0 (zero), por achar que não existe vulnerabilidade que mereça destaque neste modelo.

Outra variável a ter em conta na avaliação da vulnerabilidade sísmica, foi, como já se referiu, a densidade populacional. Calculou-se a densidade populacional por

freguesia e, atribuiu-se um *score* em função da maior ou menor densidade populacional como a tabela abaixo demonstra.

Freguesia	Densidade populacional (hab/km2)	Peso
Água Retorta	38,43	1
Faial da Terra	34,27	1
N.S.R	82,46	3
Povoação	93,88	4
Furnas	45,32	2
Ribeira Quente	88,66	3

Tabela 11 – Pesos atribuídos à densidade populacional por freguesia

No decorrer do processo, somamos então todos os pesos provenientes destas três variáveis, e obtivemos 15 valores diferentes de vulnerabilidade, sendo estes posteriormente reclassificados para 4, traduzindo assim as seguintes classes de vulnerabilidade: Baixa, Moderada, Elevada e Muito Elevada (fig. 37).

O esquema abaixo esquematiza o procedimento:

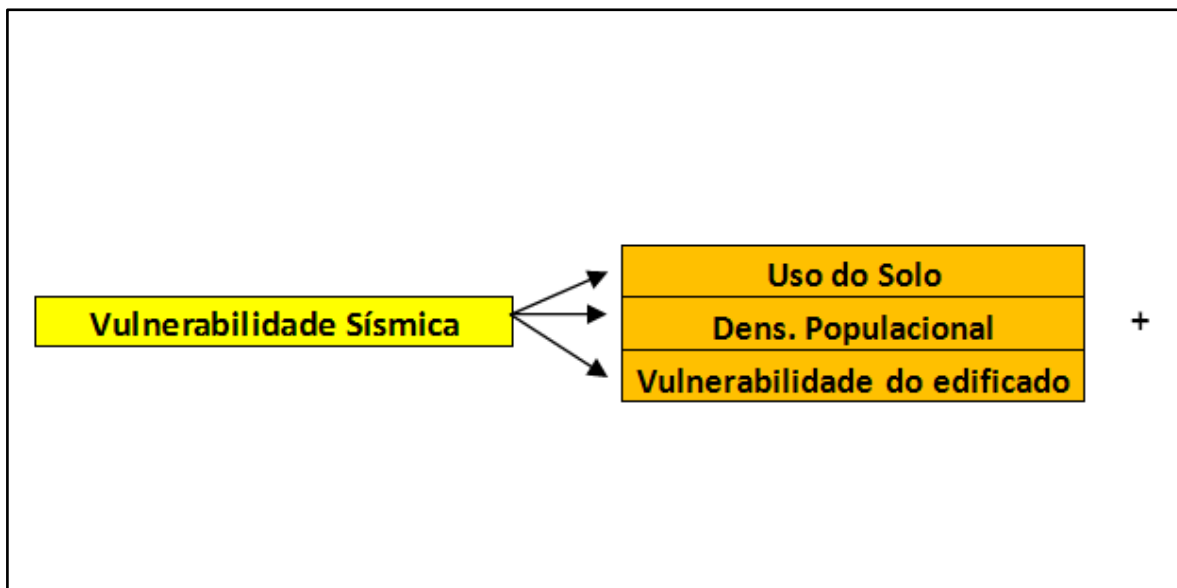


Figura 36 – Esquema explicativo da obtenção da carta de vulnerabilidade sísmica

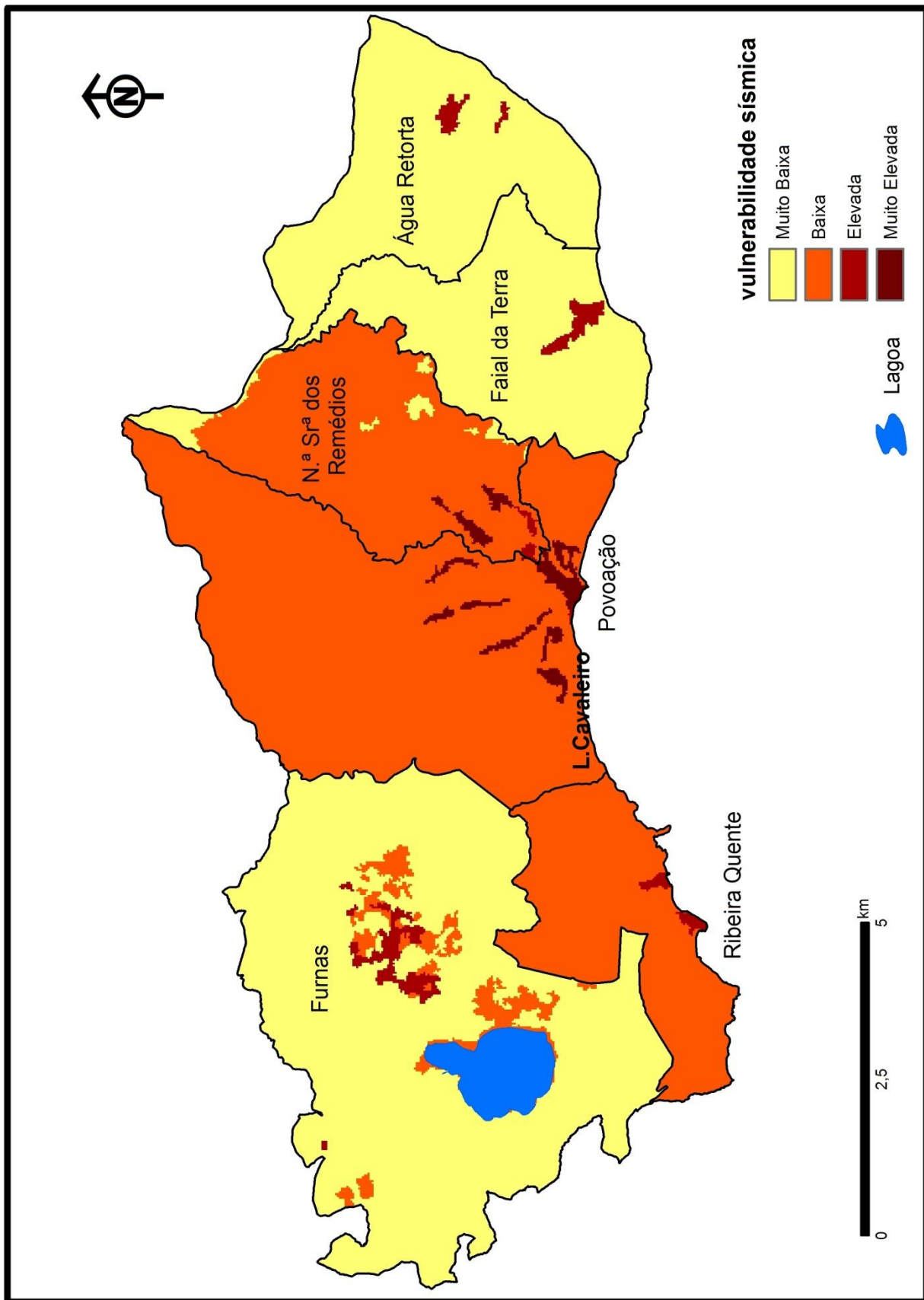


Figura 37 – Carta de vulnerabilidade sísmica para o concelho da Povoação

Ao analisarmos a carta de vulnerabilidade acima apresentada, concluímos claramente que as zonas mais vulneráveis são as áreas que estão marcadas na carta de ocupação dos solos como urbano (cap.4), e a explica claramente também as zonas menos vulneráveis, já que estas aparecem em áreas com uma ocupação em que foi atribuído um *score* mais baixo no que concerne à sua ponderação para a avaliação da vulnerabilidade.

A densidade populacional e a vulnerabilidade do edificado, ajudam a explicar a vulnerabilidade Muito Baixa e Baixa na periferia das zonas urbanas, mas sempre aliadas à ocupação dos solos. As variáveis isoladas não traduzem a vulnerabilidade, terá de haver sempre uma leitura integrada das variáveis em jogo.

A carta de vulnerabilidade obtida traduz claramente que as zonas edificadas são as que possuem maior grau de vulnerabilidade. No entanto, dentro das próprias manchas urbanas, podemos verificar que aparecem manchas de vulnerabilidade classificadas como Elevada e Muito Elevada, facto este que pode ser explicado pelos pesos atribuídos à vulnerabilidade do edificado de cada freguesia.

De um modo geral, as seis freguesias do concelho da Povoação surgem no mapa como tendo uma vulnerabilidade Muito Baixa e Baixa. Mas há que ter especial cuidado nesta leitura, pois embora espacialmente estas duas classes predominem, na realidade são nas zonas classificadas como vulnerabilidade Elevada e Muito Elevada que se concentra a população. A densidade populacional e a ocupação dos solos são a variáveis que ajudam a entender esta distribuição. Embora espacialmente (nos limites administrativos de cada freguesia) nos apareçam com maior frequência classes de vulnerabilidade baixa, deixamos claro que dentro de cada freguesia, as manchas urbanas aparecem com vulnerabilidades elevadas, outorgando, deste modo, um carácter de fidelidade ao modelo criado para a vulnerabilidade.



## 7.4 – Carta de Risco Sísmico

Os procedimentos para a elaboração de cartas de risco não é consensual, deixando, portanto, um quanto de subjectividade nos factores físicos e humanos a ter em conta na elaboração de uma carta de risco sísmico.

Ao cruzar os dados referentes à susceptibilidade sísmica como os dados referentes à vulnerabilidade (multiplicando a carta de susceptibilidade com a vulnerabilidade), obtivemos então uma carta de risco de acordo com o estipulado na figura 38. Convém, antes de mais, referir que da relação da susceptibilidade sísmica com a vulnerabilidade sísmica, foram obtidos 56 resultados de risco diferentes (tabela 12) que, foram reclassificados para 4, convertendo o cartograma para o formato *raster* e procedeu-se à sua reclassificação. Assim sendo, classificamos o território do concelho da Povoação em 4 classes de risco, tendo estas a designação Risco Baixo, Risco Médio, Risco Elevado e Risco Muito elevado (figura 39).

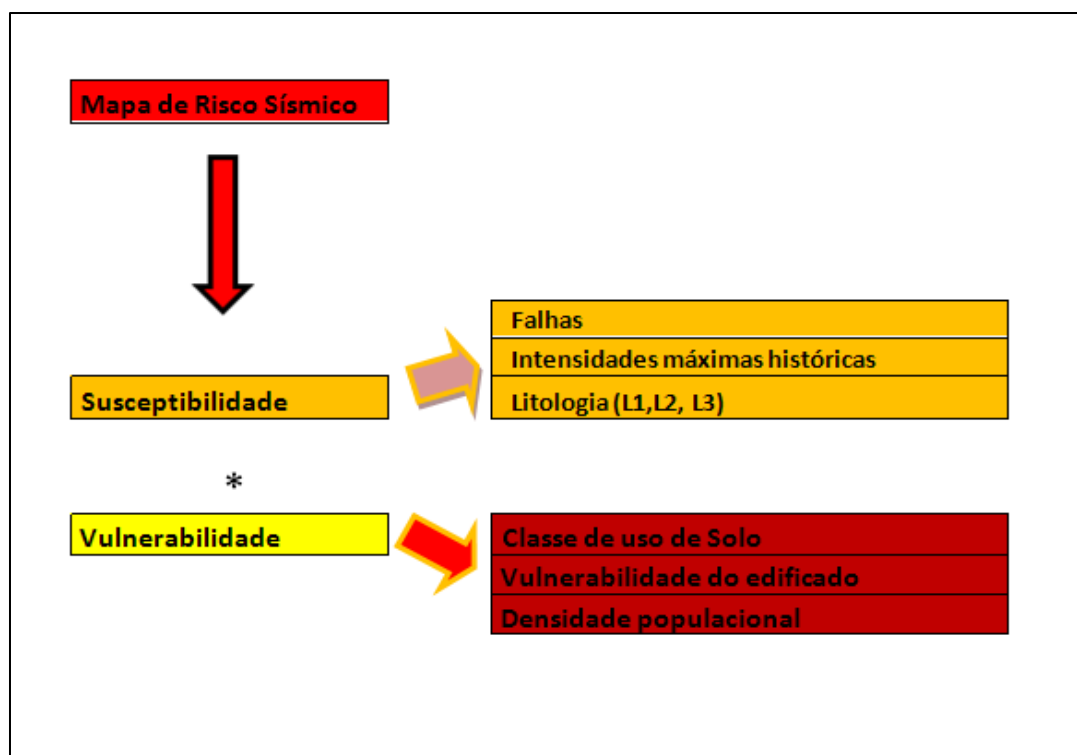


Figura 38 – Esquema explicativo da obtenção da carta de risco sísmico para o concelho da Povoação.

Susceptibilidade * Vulnerabilidade	Valor	
<b>Risco Baixo</b>	2	<b>2 a 30: Risco Baixo</b>
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	12	
	14	
	15	
	16	
	18	
	20	
21		
24		
25		
27		
28		
30		
<b>Risco Médio</b>	32	<b>32 a 80: Risco Médio</b>
	35	
	36	
	40	
	42	
	45	
	48	
	49	
	50	
	54	
	56	
	60	
	63	
	64	
	66	
70		
72		
75		
78		
80		
<b>Risco Elevado</b>	84	<b>84 a 89: Risco Elevado</b>
	88	
	90	
	91	
	96	
<b>Risco Muito Elevado</b>	98	<b>104 a 150: Risco Muito Elevado</b>
	99	
	104	
	105	
	108	
	112	
120		
126		
135		
150		

Tabela 12 – Classificação das classes de Risco de acordo com os valores obtidos da relação da Susceptibilidade com a Vulnerabilidade.

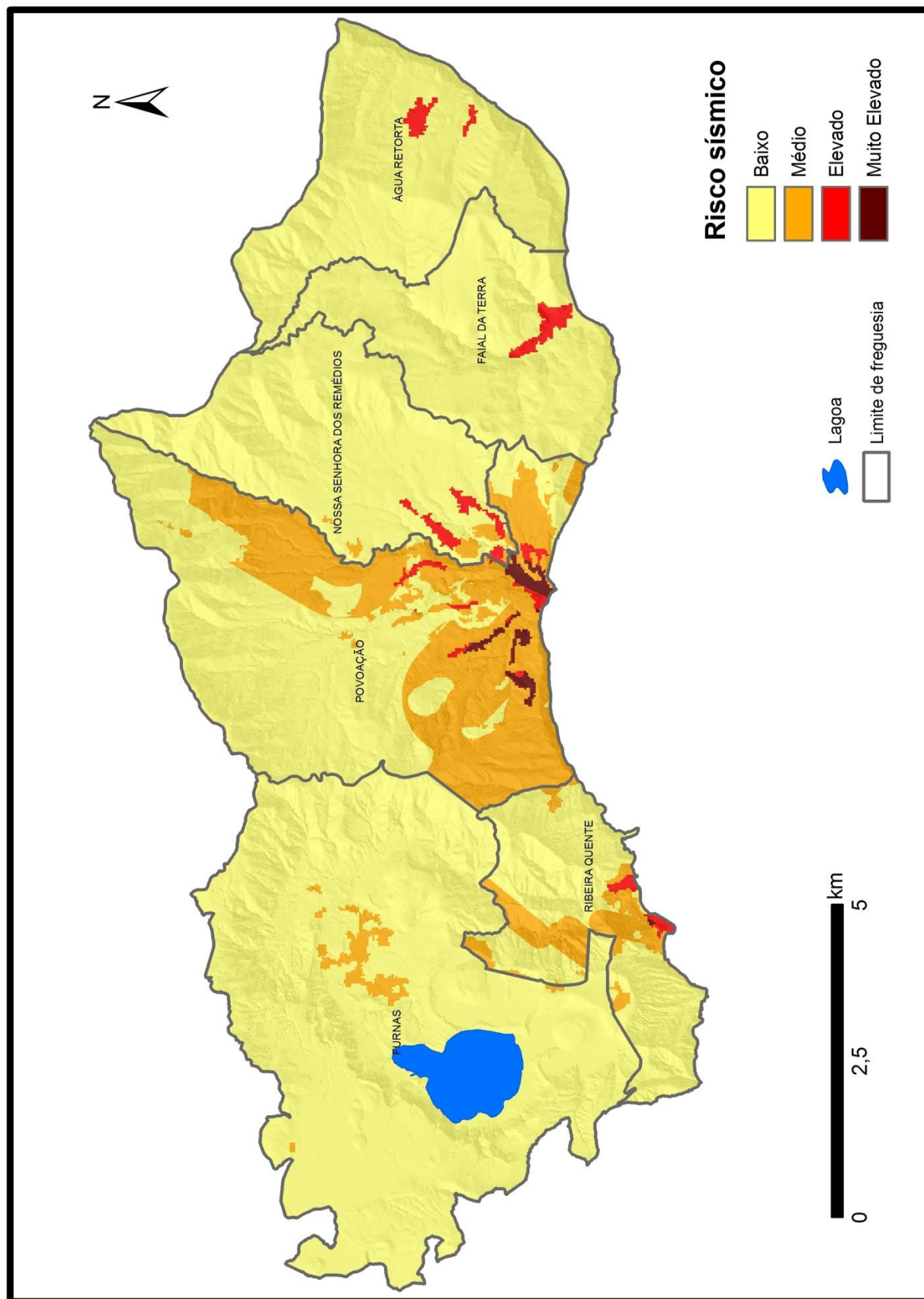


Figura 39 – Mapa de risco sísmico para o concelho da Povoação.

#### **7.4.1 – Análise da Carta de Risco**

Após termos criado uma carta de susceptibilidade e outra de vulnerabilidade sísmica, o objectivo principal foi a criação da carta de risco acima apresentada.

Ao elaborarmos uma análise do geral para o particular verificamos que, espacialmente, ou seja, dentro dos limites administrativos de cada freguesia, a classe de risco dominante é a classe Baixo. A predominância desta classe pode ser perfeitamente explicada pelo uso dos solos, bem como pela densidade populacional.

No entanto, se analisarmos as áreas com classes de risco mais elevadas verificamos que todas as freguesias do concelho, com a excepção de Furnas, detêm nos seus limites administrativos as classes de risco Elevado e Muito Elevado. Estas duas classes aparecem na chamada “mancha urbana” de cada freguesia, e são fruto dos pesos atribuídos à vulnerabilidade do edificado.

A “mancha urbana” de Furnas é a única que se apresenta com Risco Médio, o que pode ser explicado pela distância aos principais sistemas de fracturas e pela sua densidade populacional.

De um modo geral, a classe predominante é a de Risco Baixo, no entanto à que ter atenção que este mapa de risco representa espacialmente as classes de risco por freguesia e, se tivermos em consideração a carta de uso dos solos, podemos verificar claramente que as zonas urbanas de todas as freguesias são as que apresentam classes de risco mais altas.

A freguesia de Povoação (onde está incluída a Lomba do Cavaleiro a Oeste da Vila da Povoação) e Ribeira Quente são as freguesias com classes de risco mais elevadas (analisando as zonas de concentração da população, ou seja, as áreas urbanas). Nossa Senhora dos Remédios, Faial da Terra e Água Retorta apresentam-se com freguesias de Risco Elevado e, finalmente, a freguesia de Furnas com Risco Médio.

## **8 – Considerações Finais**

A avaliação do Risco e a análise das vulnerabilidades potenciadas pela ocorrência de sismos no concelho da Povoação constituíram-se como objectivos essenciais neste trabalho.

Para uma abordagem concreta e coerente dos resultados apresentados com a elaboração do presente trabalho, tornou-se imprescindível proceder a uma análise dedutiva dos factores que estão na génese do desencadear do fenómeno geológico em estudo.

Deste modo, tornou-se fundamental fazer um enquadramento do concelho da Povoação abordando todas as questões, como enquadramento geotectónico, tectónica, intensidades máximas históricas, ocupação dos solos e vulnerabilidade do edificado, densidade populacional e alguns aspectos económicos, para uma análise o mais exaustiva possível do risco sísmico naquele concelho.

Um dos pilares mais importantes deste trabalho foi a recolha de relatos históricos acerca dos principais sismos documentos e estudados no último século. Com base nestas descrições pormenorizadas pudemos, assim, determinar as zonas mais afectadas por sismos e, deste modo, aferir onde e como essas manifestações se tornam mais importantes já que são os factores de validação do modelo matricial criado.

Numa fase posterior do trabalho, com a inserção de diversas variáveis para a obtenção de um modelo de avaliação de susceptibilidade sísmica, concluímos que as zonas mais próximas às falhas e com litologia L1 são as áreas mais susceptíveis de se fazerem sentir os efeitos de um sismo. No entanto, a susceptibilidade por si só não traduz informação relevante quando estamos a falar neste tipo de fenómenos. Deste modo, e considerando que o concelho da Povoação tem sido sucessivamente fustigado por eventos sísmicos importantes ao longo do último século, tornou-se necessário tentar criar um modelo de avaliação da vulnerabilidade sísmica. Neste sentido, e introduzindo mais variáveis no modelo, conseguimos criar uma de vulnerabilidade sísmica. Esta carta provém

do cruzamento somatório das variáveis: uso dos solos conjugada com a vulnerabilidade habitacional do edificado de cada freguesia e densidade populacional.

Da relação das cartas de susceptibilidade com a vulnerabilidade, obtivemos então a carta de risco sísmico para o concelho da Povoação.

Concluimos efectivamente que as zonas urbanas e industriais são de facto as áreas de maior risco. No entanto, e tendo em atenção a vulnerabilidade do edificado apresentada e classificado por Resendes, (2004), verificamos que certas manchas urbanas têm um maior índice de risco do que outras, por exemplo a freguesia de Furnas surge numa classe de risco inferior a outras freguesias. Por outro lado, o cruzamento dos diversos factores intervenientes também traduziu algumas diferenças na classificação do risco dentro da própria freguesia, em que partes da mancha urbana aparecem como vermelho mais claro e outras a vermelho escuro.

É natural que as áreas menos habitadas não apareçam como zonas de risco muito elevadas, mas o risco nunca poderá ser nulo. As áreas agrícolas e pastagens também detêm um determinado índice de risco, já que podem ser afectadas directa ou indirectamente por um sismo.

Em suma podemos afirmar que todo o concelho da Povoação se caracteriza por ser de elevado risco sísmico, tal como todos os concelhos da ilha de São Miguel e do próprio Arquipélago dos Açores. Neste caso propusemo-nos a fazer este estudo nesta unidade territorial no sentido de averiguar a potencialidade da utilização de métodos de cartografia automática na obtenção de cartas temáticas de risco, concluindo deste modo que é um instrumento interessante e potente do ponto de vista da avaliação do risco.

As acções para a minimização do risco sísmico, incluem-se as iniciativas de carácter preventivo como, por exemplo, a intervenção e o reforço das estruturas construídas vulneráveis, a implementação de medidas correctivas na localização

Análise da susceptibilidade, vulnerabilidade e do risco sísmico no concelho da Povoação (São Miguel, Açores), recorrendo a técnicas de cartografia automática

das actividades produtivas e na organização do espaço urbano, e ainda, as acções de sensibilização e formação da população.

## 9 - Bibliografia

Abdel- Monem, A.A.; Fernandez, L. A. e Boone , G M. (1975) – K-Ar ages from the eastern Azores Group (Santa Maria, São Miguel and the Formigas islands). *Lithos*, 8, pp. 247-254.

Açores. Dir. Cícero Medeiros. A.1, n.º1 (Out, 1944) – Ponta Delgada: Ed. Bruno M. n.ºs 5179 (1935), 8907, 8908 (1986), 12317, 12318, 1231,12320,12325, 12327,12328, 12330, 12331, 12332 (1996), Diário.

*Açoriano Oriental*. Dir. (fundador, editor e redactor Manuel António Vasconcelos) – n.ºs 5179 (1935), 8907,8908, (1986), 12317, 12318, 12319, 12320, 12320, 12325, 12327, 12828, 12330, 12331, 12332 (1996), Diário.

Agostinho J., 1935. Tectónica, sismicidade e vulcanismo das ilhas dos Açores. *Açoreana* 1 (2); 86-98.

Alexander, D. (2002) “principles or emergency planning and management.”Harpenden: Terra Publishing, 340 p.

Astiz, M.(Ed.), *Instrumentación en Volcanologia*.Casa de Los Volcanes do Cabido de Lanzarote, nº8,p. 269-282.

Banghar, A. R. e Sykes, L. R. (1969) – Focal mechanisms of earthquakes in the Indian Ocean and adjacent regions. *J Geophys. R.*, 74 (2), pp. 632-649.

Barata, U. (2003) – Contribuição para a monitorização sísmica de um sistema vulcânico activo – Sete Cidades, S. Miguel, Açores. Tese de Mestrado no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, 123 p.

Barbat, A e Pujades, L. (2004) “Evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico en zonas urbanas: aplicación a Barcelona.” In *Sísmica 2004: 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica: Livro de Actas*. Guimarães: Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil. p. 229-252.



- Bolt, B. A. (1993) "Earthquakes". New revised and expanded." New York: W.H. freeman, 331 p.
- Bolt, B. A. (1993). "ERTHQUAKES", university of California, Berkeley, W. H.Freeman and company, U.S.A 1 – 331 p.
- Booth,B.; Walker, G.P.L e Croasdale, R. (1978) – A quantitative study of five thousand years of volcanism on São Miguel, Azores. *Philos Trans. R. Soc. London*, 228, pp. 271-319.
- Borges, J. (2003) – Fonte sísmica em Portugal – *algumas implicações na geodinâmica da região Açores – Gibraltar*. Tese de Doutoramento em Física. Universidade de Évora, Departamento de Física, 237 p.
- Burfon, E., Udiaz, A. e Colombás M.A, 1988. Seismicity, source mechanism and tectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary. *Tectonophysics* 152; 89-118.
- Burfon, E.; Udíaz, A e Colombás, M. A. (1988) – Seismicity, source mechanisms and tectonics of the Azores – Gibraltar plate boundary. *Tectonophysics*, 152, pp. 89-118.
- Cabral, J. (1993) – *Neotectónica de Portugal continental*. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Geodinâmica Interna. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 435 p.
- Cabral, J. (1995) - *Neotectónica em Portugal Continental*. Tese de Doutoramento, Univ. Lisboa.
- Carmo, R. (2004) – "Geologia Estrutural da Região Povoação – Nordeste (S. Miguel, Açores)" Departamento de Geociências da Universidade dos Açores.
- Carvalho, E. C. e Oliveira, C. S. (1983) "Manual de construção anti – sísmica. Edifícios de pequeno porte." Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Ministério Do Equipamento Social, 123 p.

Carvalho, E.C. (2001) “ Mitigação do risco sísmico em Portugal: o papel do LNEC.” <http://www.civil.ist.utl.pt/ic/nucleos/nucleo1/capitulos/s2.pdf>.

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

*Correio dos Açores* – propriedade e redacção M.J Cabral, Ponta Delgada (1920) - n.ºs 3540, 3541, 3544, 3545, (1932), 4331, 4332, 4334, 4335, (1935), 9395 (1952), 14210 (1969). Diário.

Costa Nunes, J.: Teves Costa, P. e Senos, M. L. (1999) – Estudos de sismicidade no Arquipélago dos Açores – Aplicação ao sismo de 9 de Julho de 1998. In: Martins, C. – 4.º Encontro Nacional de sobre Sismologia e Engenharia Sísmica. 1.ª ed., Universidade do Algarve, 2, pp. 19-28.

Cunha e Dimuccio, (2002) – “Considerações sobre riscos naturais num espaço de transição – Exercícios cartográficos numa área a Sul de Coimbra.” *Territorium*, 9.ª edição.

Dias, A.A. (1986) Modelo Hipotético do Mecanismo sísmico interessando a Ilha De São Miguel.

Duncan, A. M.; Queiroz, G.; Guest, J.E.; Cole, P.D.; Wallenstein, N. e Pacheco, J.M (1999) – The Povoação Ignimbrite, Furnas volcano, São Miguel, Azores, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92, pp. 55-65.

Estêvão, J.M.C. (1998) “ Modelo computacional de avaliação do risco sísmico de edifícios.” Tese de Mestrado em Engenharia de Estruturas, Instituto Superior Técnico, Lisboa. 147 P.

Fernandez, L. A. (1982) – The petrology and geochemistry of Nordeste Volcanic Complex, São Miguel, Azores. *Arquipélago, série Ciências da Natureza*, 3, pp. 145-158.

Ferreira, T. (2000) – *Caracterização da actividade vulcânica da ilha de São Miguel (Açores): vulcanismo basáltico recente e zonas de desgaseificação*. Avaliação e riscos. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, 248p.

Forjaz, H., 1983. *Azores tectonic sketch*. Centro de Vulcanologia. Universidade dos Açores. Documento não publicado. 1p.

Forjaz, V. H. (1983) – *Azores tectonic sketch*. Documento interno do Centro de Vulcanologia, Universidade dos Açores.

Forjaz, V. H. (1993) – *Carta tectónica de São Miguel*. Edição do Centro de Vulcanologia da Universidade dos Açores, 2 folhas na escala 1:50 000.

Gaspar, J.L. (1995) – Breve nota sobre as principais estruturas tectónicas da ilha Graciosa (Açores). *Açoreana*, 8 (1), pp. 177-179.

Gaspar, J.L.; Ferreira, T; Queiroz, G.; Ferreira, T.; Trota, A.; Coutinho, R.; Valdão, P. e Alves, P. (2001) – *Plano Municipal de Emergência – Concelho da Povoação*. Ed. Câmara Municipal da Povoação, Departamento de Geociências da Universidade dos Açores e Serviço Regional de Protecção Civil e Bombeiros dos Açores.

Gaspar, J.L.; Ferreira, T; Queiroz, G; Wallenstein, N.; Pacheco, J.M.; Guest, J. E.; Duncan, A. e Cole, P. (1995) – Evolução morfoestrutural do Vulcão das Furnas (ilha de São Miguel, Açores). Memória n.º 4 do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, pp. 999-1003.

Gomes, A. (2003). “Contribuição para o estudo dos riscos geológicos no vulcão das Sete Cidades. Tese de mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos.” Departamento de Geociências da Universidade dos Açores. Ponta Delgada.

Hirn, A., H. Haessler, P. Hoang Trong, G. Wittlinger e L.A. Mende Victor, 1980. Aftershock sequence of the January 1st, 1980, earthquake and present-day tectonics in the Azores. *Geophysical Research Letters* 7 (7); 501-504.

- Ibáñez, J. M & Carmona E. (2001). "Sismicidad Volcánica" in Ortiz, R., Garcia, A. E Johnson, C. L.; Wijbrans, J.R.; Constable, C.G.; Gee, J.; Staudigel, H.; Tauxe, L.; Forjaz, V.H. e Salgueiro, M. (1998) – 40 Ar/39Ar ages and paleomagnetism of São Miguel lavas, Azores. *Earth and Planetary Science Letters*, 160, pp. 637-649.
- Krause, D. C. e Watkins, N. D. (1970) – North Atlantic crustal genesis in the vicinity of the Azores. *Geophys. J.R Astron Soc.*, 19, pp. 261-283.
- Krause, D.C. (1965) – East and West Azores Fracture-Zones in the North Atlantic. In: Whittard, W. and Bradshaw, R. (Eds.), *Submarine Geology and Geophysics*. London Butterworths Publ., pp.163-172.
- Laughton, A.S. e Whitmarsh, R.B. (1974) – The Azores-Gibraltar plate boundary. In: Kristjansson (Ed.), *Geodynamics of Iceland and the North Atlantic Area*, D.Reidel Publ. Co.,Dordrecht, pp. 63-81.
- Lourenço, N.; Miranda, J. M.; Luís, J.F.; Ribeiro, A.; Mendes Victor, L.A.; Madeira, J. e Needham, H.D. (1998) – Morpho-tectonic analysis of the Azores Volcanic Plateau from a new bathymetric compilation of the area. *Marine Geophysical Researches*, 20, pp. 141-156.
- Luís, J.F., J.M. Miranda, A. Galdeano, P. Patriat, J.C. Rossignol e L.A. Mendes Victor, 1994. The Azores triple junction since 10 Ma from an aeromagnetic survey of the Mid- Atlantic Ridge. *Earth and Planetary Science Letters* 125; 439-459.
- Luís, J.F.; Miranda, J.M.; Galdeano, A.; Patriat, P.; Rossignol, J. C. e Mendes, Victor, L.A. (1994) – The Azores triple junction evolution since 10 Ma from an aeromagnetic survey of the Mid-Atlantic Ridge. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 125, pp. 439-459.
- Machado, F., Quintino, J. e Monteiro, J. 1972. Geology of Azores and the Mid Atlantic Rift. *Proceedings of the 24th International Geological Congress*, Seccion 3; 134-142.

Machado, F.; Quintino, J. e Monteiro, J.H. (1972) – Geology of the Azores and the Mid-Atlantic Rift. Proceedings do 24<sup>th</sup> Intern. Geology Congress (Montreal). Section 3, pp. 134-142.

Madeira, J. (1986) – *Geologia estrutural e enquadramento geotectónico da ilha de Santa Maria (Açores)*. Tese apresentada às Provas de capacidade Científica para passagem a Assistente, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 107 p.

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

Madeira, J. (em publ.) – *Enciclopédia Açoriana*. Centro de Estudos dos Povos e cultura de Expressão Portuguesa, Universidade Católica Portuguesa e S.R. Educ. Cult..

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

Madeira, J. e Ribeiro, A. (1990) – Godynamic models for the Azores triple junction: a contribution from tectonics. *Tectonophysics*, 184, pp. 405-415.

Madeira, J.; Brum da Silveira, A. e Serralheiro, A. (1998) – Efeitos geológicos do sismo do Faial de 9 de Julho de 1998. *Protecção Civil* (Serviço Nacional de Protecção Civil), 14, pp. 12-20.

Madeira, J.; Cabral, J. e Ribeiro, A. (1990) – Hierarchy of active faulting: examples from Portugal mainland and Azores. In: Oliveira, C. S. (ed.) – *Prediction of Earthquakes: occurrence and ground motion*. LNEC, vol. I, pp. 69-72.

Mckenzie , D. (1972) – Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J.R. Astron.Soc.*, 30, pp. 109-185.

McNutt, S. R.(2000). “Volcano Seismicity”. In: Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S. R., Rymer, H., Stix, J., (Eds), Alaska Volcano Observatory and University of Alaska Fairbanks, Enciclopedia of Volcanos, Academic Press, EUA. p. 1015 – 1033.

Medeiros, S., (2008). Contribuição para o estudo da vulnerabilidade sísmica do edificado e mitigação do risco: aplicação à freguesia de Água Retorta. Seminário de Licenciatura em Geografia Física, Universidade de Coimbra.

Miranda, J.M.; Mendes, Victor, L.A.; Simões, J.Z.; Luís, J.F.; Matias, L.; Shimamura, H.; Shiobara, H.; Nemoto, H.; Mochizuki, H.; Hirn, A. e Lépine, J.C. (1998) – Tectonic setting of the Azores Plateau deduced from a OBS survey. *Marine Geophysical Researches*, 20, pp.171-182.

Needham, H.D. e Francheteau, J. (1974) – Some characteristics of the rift valley in the Atlantic Ocean near 36° 28’ north. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 22, pp. 29-43.

Nunes, J.C., (1991). *Microsismos e neotectónica - Contribuição para o seu estudo*. Tese. Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores. 212p.

Nunes, J.C., (1999). *A actividade vulcânica na ilha do Pico do Plistocénico Superior ao Holocénico: mecanismo eruptivo e hazard vulcânico*. Provas de Doutoramento. Ramo de Geologia. Especialidade de Vulcanologia. Departamento de Geociências. Universidade dos Açores. Ponta Delgada. 357p.

Nunes, J.C., Alves, J e Forjaz, V., (1992). Sismicidade instrumental dos Açores no período 1980-1989. Implicações neotectónicas. In: C.S. Oliveira, A.R. Lucas e J.H. Guedes (Eds.), *10 Anos Após o Sismo dos Açores de 1 de Janeiro de 1980*, Lisboa. LNEC. vol 1; 141-160.

Oliveira D. V. (2004) “ Redução do risco sísmico e implicações no imobiliário.” In *sísmica 2004 – 6º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica: Livro de actas*. Guimarães: universidade Do Minho.

Perry, R. e Hirose, H. (1991) “Volcano management in the United States and Japan. In Contemporary studies in applied behavioral science. University of Texas.v. 7.

Queiroz, G. (1990) – *Aspectos vulcanológicos do maciço das Sete Cidades*. Tese PPCI, Centro de Vulcanologia do I.N.I.C., Universidade dos Açores, 148 p.

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

Queiroz, G., Gaspar J., Cole, P., Guest, J., Wallenstein N, Duncan, A e Pacheco, J. (1995). Erupções vulcânicas no vale das Furnas (ilha de S. Miguel, Açores) na primeira metade do século XV. *Açoreana* 8 (1); 159-175.

Queiroz, G.; Gaspar, J.L.; Cole, P.D.; Guest, J.E; Wallenstein, N.; Duncan, A.M. e Pacheco J.M. (1995) – Erupções vulcânicas no vale das Furnas (ilha de São Miguel, Açores) na primeira metade do século XV. *Açoreana*, 8 (1), pp. 159-165.

Rebelo, F. (2003). “Riscos Naturais e acção Antrópica.” Estudos e reflexões, segunda edição, imprensa da Universidade de Coimbra 286 pg.

Resendes, J. (2004). “Contribuição para o estudo dos riscos geológicos no Concelho da Povoação (São Miguel, Açores) e suas implicações em termos de planeamento de emergência.” Departamento de Geociências da Universidade dos Açores.

Ribeiro, A., (1982). Tectónica de placas: aplicação à sismotectónica e à evolução da fronteira de placas Açores-Gibraltar. *Geonovas* 4; 87-95.

Richter, C. F. (1958). “Elementary Seismology”, Californian Institute of Tecnology, W. H. Freeman and Company, U.S.A., p. 3 – 768.

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

Silveira, D.(2002). “ Caracterização da Sismicidade Histórica da Ilha de São Miguel com base na reintegração de dados de macrossísmica: contribuição para a avaliação do risco sísmico.” Departamento de Geociências da Universidade Dos Açores.

SIVISA (2003) – Carta de Sismicidade dos Açores, no período de 1980 a 2000.

Udías, A. (1980) – Seismic stresses in the region Azores - Spain-Western Mediterranean. *Rocks Mechanisms*, Suppl. 9, pp. 75-84.

Udías, A. e Espinosa, A.F.; Mezcua, J.;Burfon, E.; Vegas, R.; Nishenko, S.P.; Martinez – Solares, J.M. e Lopez-Arroyo, A. (1986) – Seismicity and tectonics of the North African-Eurasian plate boundary (Azores-Iberia-Tunisia).*U.S. Geol. Survey Open File Report*, pp. 86-626.

Udías, A. e López Arroyo, A. (1972) – Plate tectonics and the Azores-Gibraltar region. *Nature*, *Nature*, 237(74), pp. 67-69.

Udías, A. e López Arroyo, A. e Mezcua, J. (1976) – Seismotectonic of the Azores – Alboran region. *Tectonophysics*, 31, pp. 259-289.

Udías, A.; Burfon, E e Mezcua, J. (1988) – Occurrence of large earthquakes in the Azores-Iberia region. *Seminar on the Prediction of Earthquakes*, pp. 17-55.

Walker, G.P.L e Croasdale, R. (1971) – Two Plinian-type eruptions in the Azores. *Journal of the Geological Society of London*, 127, pp. 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 de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Departamento de Geociências. Universidade dos Açores.

Weston, F.S., (1964). List of recorded volcanic eruptions in the Azores with brief reports. *Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências de Lisboa* 10 (1); 3-18.



Yong, C. Ling, C; Guendel, F. Kualhánek, O. e Juan, L. (2002) “Seismic hazard and loss estimation for Central America.” *Natural Hazard*, 25(20029 161-175.

Zbyszewski, G. (1961) – Étudie géologique de l’Ile de S. Miguel (Açores). Separata do tomo XLV das comunicações dos Serv. Geol. Portugal, 79 p.

Zbyszewski, G.; Moitinho de Almeida, F.; Veiga e Ferreira, O. E Torre de Assunção, C. (1958) – Notícia explicativa da Folha “B” da ilha de São Miguel (Açores) da *carta Geológica de Portugal na escala 1:50000*. Serv. Geol. Portugal, 37 p.

Zbyszewski, G.; Veiga Ferreira, O. e Torre de Assunção, C. (1959) – Notícia explicativa da Folha “A” da ilha de S. Miguel (Açores) da *Carta Geológica de Portugal na escala 1:50000*. Serv. Geol. Portugal, 22 p.