

RITA LÚCIO CARMO

**GEOLOGIA ESTRUTURAL DA REGIÃO POVOAÇÃO-NORDESTE
(ILHA DE S. MIGUEL, AÇORES)**



DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DOS AÇORES
2004

RITA LÚCIO CARMO

**GEOLOGIA ESTRUTURAL DA REGIÃO POVOAÇÃO-NORDESTE
(ILHA DE S. MIGUEL, AÇORES)**

**TESE REALIZADA NO ÂMBITO DO MESTRADO EM VULCANOLOGIA E RISCOS
GEOLÓGICOS, DE ACORDO COM O DISPOSTO NO ARTº 14º DO
REGULAMENTO DO MESTRADO EM VULCANOLOGIA E RISCOS
GEOLÓGICOS, PUBLICADO EM DIÁRIO DA REPÚBLICA, II SÉRIE, Nº 189, DE
17 DE AGOSTO DE 2000.**

**ORIENTADOR:
PROFESSOR DOUTOR JOSÉ MADEIRA
UNIVERSIDADE DE LISBOA**

**CO-ORIENTADOR:
PROFESSOR DOUTOR JOÃO LUÍS GASPAR
UNIVERSIDADE DOS AÇORES**



**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DOS AÇORES
2004**

A meus pais, Vítor e Isabel
e minhas irmãs, Inês e Marta

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FOTOGRAFIAS	IX
AGRADECIMENTOS	XI
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XVII
1. Introdução	1
1.1 Objectivos do trabalho	1
1.2 Neotectónica e falhas activas	2
1.2.1 Conceito de período neotectónico utilizado no trabalho	2
1.2.2 Tipos de deformação neotectónica	3
1.2.3 Noção de falha activa	4
1.3 Graus de actividade das falhas	5
1.4 Metodologia de aquisição de dados	7
1.5 Referências utilizadas na quantificação da deformação	9
1.5.1 Marcadores artificiais e naturais	9
1.5.2 Dificuldades associadas aos depósitos vulcânicos	10
2. Enquadramento geotectónico do arquipélago	12
2.1 Localização geográfica	12
2.2 Enquadramento geostrutural	13
2.3 Sismicidade e vulcanismo	20
3. Caracterização geológica da região Povoação-Nordeste	26
3.1 Nota prévia	26
3.2 Localização geográfica	29
3.3 Geomorfologia	30
3.4 Estratigrafia	34
3.5 Erupções históricas que afectaram a região estudada	39
4. Tectónica da região Povoação-Nordeste	44
4.1 Tectónica e rede filoniana que afectam a região Povoação-Nordeste	44
4.1.1 Falhas	44
4.1.1.1 Descrição geométrica	46
4.1.1.2 Descrição cinemática	47
4.1.2 Filões	73
4.1.3 Interpretação dos dados	78
4.1.4 Discussão dos dados obtidos	82
4.2 Base de Dados AZORIS	84
4.2.1 Localização Geográfica	85
4.2.2 Falhas	85
4.2.3 Filões	90
5. Sismicidade e sismotectónica	93
5.1 Rede sísmológica	93
5.2 Procedimentos no tratamento da informação sísmica	97
5.2.1 Procedimentos diários	97
5.2.2 Procedimentos de emergência perante alertas sísmicos	98
5.3 Dados sísmológicos e constrangimentos existentes	99
5.4 Análise da informação disponível	102
5.4.1 Carta de sismicidade	102

5.4.2 Mecanismos focais	102
6. Considerações finais	109
7. Bibliografia.....	113

ANEXOS

ANEXO I – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESTAÇÕES	A-1
ANEXO II – CARTOGRAFIA TECTÓNICA DA REGIÃO POVOAÇÃO-NORDESTE	A-2
ANEXO III – BASE DE DADOS AZORIS: TABELA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA	A-3
ANEXO IV – BASE DE DADOS AZORIS: TABELA DAS FALHAS.....	A-5
ANEXO V – BASE DE DADOS AZORIS: TABELA DOS FILÕES.....	A-9
ANEXO VI – BASE DE DADOS AZORIS: TABELA ARCVIEW GIS®	A-11

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1

Localização geográfica do arquipélago dos Açores (*in* Ferreira, 2000).

Fig. 2.2

Plataforma dos Açores, definida pela curva batimétrica dos 2 000 metros (adaptado de Needham e Francheteau, 1974 *in* Ferreira, 2000).

Fig. 2.3

Morfologia dos fundos oceânicos da Plataforma dos Açores. O vale do rifte está segmentado pelas zonas de falha transformante Kurchatov, Norte dos Açores, Açor, Princesa Alice, Pico e Este dos Açores. As letras indicam as ilhas do arquipélago: C – Corvo; F – Flores; G – Graciosa; FA – Faial; SJ – S. Jorge; PI – Pico; T – Terceira; SM – S. Miguel; FO – Formigas; SMA – Santa Maria. O *Rift* da Terceira é constituído pelo alinhamento das ilhas Graciosa, Terceira, S. Miguel e Formigas e pelas bacias Ocidental da Graciosa (1), Oriental da Graciosa (2), Hirondelle do Norte (3), Hirondelle do Sul (4), de S. Miguel (5) e Desfiladeiro das Formigas (6). Os principais bancos estão assinalados com asteriscos (*): Banco D. João de Castro (7), Banco Mónaco (8), Banco Açor (9) e Banco Princesa Alice (10) (*in* Madeira, 1998).

Fig. 2.4

Enquadramento tectónico do arquipélago dos Açores, encontrando-se representadas as principais estruturas tectónicas. Legenda: CMA – Crista Média Atlântica; ZFEA – Zona de Fractura Este dos Açores; RT – *Rift* da Terceira; FG – Falha Gloria (adaptado de Laughton e Whitmarsh, 1974 *in* Ferreira, 2000).

Fig. 2.5

Fronteira de placas Eurásia-África na área dos Açores e orientação das tensões principais na região: o campo de tensões distensivo na proximidade da Crista Média (Região 1) passa a compressivo por volta da isócrona dos 20 Ma (Região 2); no Centro de Expansão Oblíqua dos Açores o campo distensivo sofre permutação entre σ_1 e σ_2 e ocorre um desvio das trajectórias das tensões principais (Região 3). σ_1 (tensão compressiva máxima) a traço contínuo, σ_2 a tracejado e σ_3 a ponteadado (*in* Madeira, 1998).

Fig. 2.6

Carta de isossistas do sismo de 5 de Agosto de 1932 (intensidades EMS 98). Legenda: ● – localização aproximada do epicentro (*in* Silveira, 2002).

Fig. 2.7

Carta de intensidades do sismo de 27 de Abril de 1935 (intensidades EMS 98). Legenda: ● – localização aproximada do epicentro (*in* Silveira, 2002).

Fig. 2.8

Carta de isossistas do sismo de 26 de Junho de 1952 (intensidades EMS 98). Legenda: ● – localização aproximada do epicentro (*in* Silveira, 2002).

Fig. 2.9

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.

Fig. 2.10

Localização das erupções vulcânicas históricas de que se tem conhecimento na região da Plataforma dos Açores (modificado de Madeira e Brum da Silveira, 2003).

Fig. 3.1

Carta tectónica da região Povoação-Nordeste, na escala 1/50 000 (Forjaz, 1993).

Fig. 3.2

Mapa morfoestrutural simplificado do maciço das Furnas (adaptado de Gaspar *et al.*, 1995 *in* Sousa, 2003).

Fig. 3.3

Localização geográfica dos concelhos da Povoação (PVC) e do Nordeste (NRD).

Fig. 3.4

Unidades geomorfológicas da ilha de S. Miguel (adaptado de Zbyszewsky, 1961 *in* Ferreira, 2000).

Fig. 3.5

Modelo tridimensional do terreno (MDT) da área estudada 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, mostrando claramente o vale rectilíneo da Ribeira do Guilherme e a plataforma inclinada que constitui a parte norte da área estudada.

Fig. 3.6

Análise geomorfológica com base no modelo tridimensional do terreno (MDT) da área estudada, onde se podem observar aspectos da morfologia. A verde encontram-se os limites de estruturas vulcânicas, como as duas caldeiras do Vulcão das Furnas e os domos associados às erupções de 1439/43 no Pico do Gaspar e de 1630, bem como alguns cones de escórias, e a caldeira da Povoação truncada pelo recuo das arribas litorais. A vermelho encontram-se todos os lineamentos deduzidos da análise do MDT.

Fig. 3.7

Coluna litostratigráfica da região estudada (baseado em Guest *et al.*, 1999).

Fig. 3.8

Carta de isopacas da erupção de 1439/43 no Vulcão das Furnas; espessura em metros (modificado de Booth *et al.*, 1978).

Fig. 3.9

Carta de isopacas da erupção de 1563 no Vulcão do Fogo; espessura em metros (modificado de Walker e Croasdale, 1971 *in* Silveira, 2002).

Fig. 3.10

Carta de isopacas da erupção de 1630 no Vulcão das Furnas; espessura em metros (modificado de Booth *et al.*, 1978 *in* Silveira, 2002).

Fig. 4.1

Carta tectónica esquemática da região Povoação-Nordeste.

Fig. 4.2

Representação estereográfica da totalidade das falhas medidas, no hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2 (diagrama β ; n=110).

Fig. 4.3

Análise estatística global das falhas medidas no campo: a) Histograma circular de frequências não ponderadas das direcções das falhas; b) Estereograma da densidade de polos das falhas (110 polos).

Fig. 4.4

Localização cartográfica da Falha da Saibreira de Água Retorta (a verde), com a localização das estações em que foi observada.

Fig. 4.5

Estereograma do plano de falha e respectivas estrias, medidos na E5 (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

Fig. 4.6

Estereograma do plano de falha da E27 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

Fig. 4.7

Estereograma do plano de falha da E28 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

Fig. 4.8

Estereograma do plano de falha da E32 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

Fig. 4.9

Representação cartográfica da Falha da Ribeira (a verde), com a localização da estação em que foi observada.

Fig. 4.10

Estereograma dos planos de falha da E43 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

Fig. 4.11

Estereograma do plano de falha da E48 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

Fig. 4.12

Cartografia da Falha Água Retorta 1 (a verde), com a localização das estações em que foi observada.

Fig. 4.13

Estereograma do plano de falha da E55 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

Fig. 4.14

Corte esquemático das falhas conjugadas observadas. Legenda: 1 – Nível de referência correspondente a um nível de cozimento de cor amarela.

Fig. 4.15

Estereograma do plano de falha da E56 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

Fig. 4.16

Cartografia da Falha Ribeira Quente 4 (a verde), com a localização da estação em que foi observada.

Fig. 4.17

Estereograma do plano de falha da E58 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

Fig. 4.18

Estereograma dos planos de falha da E62 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

Fig. 4.19

Estereograma do plano de falha da E64 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

Fig. 4.20

Duas populações conjugadas incompatíveis: a) estruturas WNW-ESE direitas normais conjugadas de estruturas NNW-SSE esquerdas normais (dados das E32, E48 e E55); b) falhas WNW-ESE a NW-SE esquerdas normais conjugadas de falhas NE-SW direitas normais (dados das E5, E28 e E58).

Fig. 4.21

Projectão estereográfica de todos os filões medidos (n=128).

Fig. 4.22

Projectão estereográfica dos filões medidos entre as Furnas e a Povoação (n=20).

Fig. 4.23

Análise estatística dos filões medidos no sector da Povoação: a) Histograma circular de frequências não ponderadas das direcções; b) Estereograma da densidade de polos dos filões (20 polos).

Fig. 4.24

Projectão estereográfica dos filões medidos no Faial da Terra (n=23).

Fig. 4.25

Análise estatística dos filões medidos no sector do Faial da Terra: a) Histograma circular de frequências não ponderadas das direcções; b) Estereograma da densidade de polos dos filões (23 polos).

Fig. 4.26

Projectão estereográfica dos filões medidos em Água Retorta (n=37).

Fig. 4.27

Análise estatística dos filões medidos no sector de Água Retorta: a) Histograma circular de frequências não ponderadas das direcções; b) Estereograma da densidade de polos dos filões (37 polos).

Fig. 4.28

Projectão estereográfica dos filões medidos na região do Nordeste (n=48).

Fig. 4.29

Análise estatística dos filões medidos no sector do Nordeste: a) Histograma circular de frequências não ponderadas das direcções; b) Estereograma da densidade de polos dos filões (48 polos).

Fig. 4.30

Carta com a distribuição das orientações dos filões pelos vários sectores.

Fig. 4.31

Quatro famílias de falhas normais com componente de desligamento resultantes de deformação tridimensional, indicando a orientação das tensões principais: a) bloco diagrama; b) estereograma (Reches, 1983).

Fig. 4.32

Campo de tensões deduzido para o primeiro conjunto de falhas: a) desligamentos - σ_1 horizontal, NW-SE, σ_2 vertical e σ_3 horizontal, NE-SW; b) falhas normais - σ_1 vertical, σ_2 horizontal, NW-SE e σ_3 horizontal, NE-SW.

Fig. 4.33

Campo de tensões deduzido para o segundo conjunto de falhas: a) desligamentos - σ_1 horizontal, W-E, σ_2 vertical e σ_3 horizontal, N-S; b) falhas normais - σ_1 vertical, σ_2 horizontal, W-E e σ_3 horizontal, N-S.

Fig 5.1

Esquema do funcionamento do SIVISA.

Fig. 5.2

Rede sísmica dos Açores. Legenda: ● - CVARG, estação sísmica analógico-digital; ● - IM, estação sísmica analógico-digital; ⊕ - IM, estação sísmica digital.

Fig. 5.3

Rede sísmica das ilhas de S. Miguel e Santa Maria. Legenda: ● - CVARG, estação sísmica analógico-digital; ● - IM, estação sísmica analógico-digital; ⊕ - IM, estação sísmica digital.

Fig. 5.4

Cartas epicentrais para a região dos Açores, referentes aos períodos 1980-1988 (a) e 1989-1998 (b). As localizações foram feitas com base nas estações sismográficas da rede regional. Nesta figura não constam o sismo de 9 de Julho de 1998 e as respectivas réplicas (*in* Nunes, 1999).

Fig. 5.5

Sismicidade instrumental e histórica no Arquipélago dos Açores. Em destaque, e com a respectiva data, encontram-se representados os sismos "mais importantes": quadrados (sismos históricos e instrumentais pré-1980), círculos (sismos instrumentais), círculos finos (sismos instrumentais com magnitude $M \geq 4$ da base de dados mundial USGS, relativa ao período 1975-2002). Legenda: CMA – Crista Média Atlântica; ZFNA – Zona de Fractura Norte dos Açores; ZFF – Zona de Fractura do Faial; ZFA – Zona de Falha Açor; ZFPA – Zona de Falha Princesa Alice; ZFEA – Zona de Fractura Este dos Açores; Fa – Faial; Pc – Pico; Sjo – S. Jorge; Gr – Graciosa; Te – Terceira; Smg – S. Miguel; Sma – Santa Maria (modificado de Borges, 2003).

Fig. 5.6

Sismicidade instrumental (de todas as magnitudes) para a Bacia de S. Miguel.

Fig. 5.7

Mapa da sismicidade histórica e dos sismos instrumentais, com mecanismo focal, publicados na bibliografia (modificado de Madeira, 1998).

Fig. 5.8

Relação entre os principais sismos históricos e instrumentais registados na região dos Açores e as estruturas morfotectónicas deduzidas da análise batimétrica (modificado de Madeira, 1998).

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1

Principais sismos históricos dos Açores (intensidades na escala MM56) (*in* Madeira, 1998 e Silveira, 2002). Legenda: ■ - eventos que atingiram a região em estudo.

Tabela 2.2

Erupções históricas nos Açores (simplificado de Madeira, em publ.). Legenda: ■ - eventos que atingiram a região em estudo.

Tabela 4.1

Informação associada a todas as falhas e filões medidos no campo.

Tabela 4.2

Medições efectuadas na E5.

Tabela 4.3

Medições efectuadas na E27.

Tabela 4.4

Medições efectuadas na E28.

Tabela 4.5

Medições efectuadas na E32.

Tabela 4.6

Medições efectuadas na E43.

Tabela 4.7

Medições efectuadas na E48.

Tabela 4.8

Medições efectuadas na E55.

Tabela 4.9

Medições efectuadas na E56.

Tabela 4.10

Medições efectuadas na E58.

Tabela 4.11

Medições efectuadas na E62.

Tabela 4.12

Medições efectuadas na E64.

Tabela 5.1

Sismicidade instrumental na região da Plataforma dos Açores com mecanismos focais publicados (modificado de Madeira, 1998). Legenda: ■ - eventos cujo epicentro se localizou nas proximidades da área em estudo; DD – desligamento direito; DE – desligamento esquerdo; FN – falha normal; FND – falha normal direita. 1 – McKenzie (1972); 2 – Udías *et al.* (1976); 3 – Hirn *et al.* (1980); 4 – Udías (1980); 5 – Grimison e Chen, 1986; 6 - Udías *et al.*, 1986; 7 – Moreira, 1991; 8 – Nunes, 1991; 9 – Miranda *et al.*, 1998; 10 – Borges, 2003; 11 – IM, com. oral; 12- Madeira *et al.*, 1998.

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 3.1

Fácies densamente soldada do Ignimbrito da Povoação, aflorante na Praia da Povoação.

Foto 3.2

Pico do Gaspar, a E da Lagoa das Furnas, onde ocorreu a erupção de 1439/43.

Foto 3.3

Local da erupção de 1630, a S da Lagoa das Furnas.

Foto 4.1

Falha da Saibreira de Água Retorta observada na E5, correspondentente à parede da pedreira.

Foto 4.2

Falha da Saibreira de Água Retorta observada na E53, correspondente à linha de água.

Foto 4.3

Estrias medidas na E5, em que a lapiseira marca a linha de declive máximo do plano de falha.

Foto 4.4

Plano de falha observado na E27, nas arribas a W da vila da Povoação.

Foto 4.5

Plano de falha observado na E28, nas arribas a W da vila da Povoação.

Foto 4.6

Plano de falha observado na E32, nas arribas a W da vila da Povoação.

Foto 4.7

Estrias medidas na estação 32, em que a lapiseira marca a horizontal.

Foto 4.8

Zona de falha observada na E43.

Foto 4.9

Plano de falha observado na E48, nas arribas a W da vila da Povoação.

Foto 4.10

Falha Água Retorta 1 observada na E55.

Foto 4.11

Falha Água Retorta 1 observada na E3.

Foto 4.12

Falha observada na E56, nas arribas litorais a SE da vila de Água Retorta.

Foto 4.13

Plano de falha observado na E58.

Foto 4.14

Falhas observadas na E62.

Foto 4.15

Pormenor do plano da falha O1.

Foto 4.16

Plano de falha observado na E64.

AGRADECIMENTOS

A publicação desta tese fica também a dever-se à colaboração de muitos colegas e ao apoio de muitos amigos que sempre acreditaram na conclusão deste trabalho. De uma forma especial quero agradecer:

- ao Magnífico Reitor da Universidade dos Açores, Prof. Doutor Avelino de Freitas Meneses pelas facilidades concedidas, que tornaram possível a concretização deste trabalho;
- ao Prof. Doutor José Madeira, na qualidade de Orientador Científico e amigo, pelo seu constante interesse, apoio e revisão científica dos textos, ajuda e boa disposição em todas as campanhas de campo realizadas, assim como pelas inúmeras ideias que tornaram esta tese no que ela é hoje;
- ao Prof. Doutor João Luís Gaspar, na qualidade de ex-director do Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos, hoje Director Regional da Ciência e Tecnologia, pela exemplar coordenação deste grupo de mestrandos, sempre incutindo o espírito científico e de camaradagem entre todos, e na qualidade de Co-orientador Científico deste trabalho, pelo seu constante interesse, apoio e revisão científica dos textos;
- a todos os docentes deste curso de mestrado, João Luís Gaspar, Gabriela Queiroz, Teresa Ferreira, Nicolau Wallenstein, Maria Helena Almeida e José Manuel Pacheco, pela sua paciência, estímulo e disposição total para prestar quaisquer esclarecimentos e partilhar todo o tipo de conhecimento científico;
- a todos os outros docentes do curso de mestrado pela sua disponibilidade em se deslocarem aos Açores, alguns deles vindos de muito longe com o simples objectivo de ajudarem o grupo de mestrandos a serem excelentes profissionais na área de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos;

- a todos os meus colegas de mestrado e do CVARG pela solidariedade demonstrada ao longo de todo este percurso, pela companhia e amizade dispensadas por todos e a todos, pela paciência que tiveram nas horas mais difíceis e pela alegria emprestada a todas as actividades desenvolvidas;
- aos funcionários do Departamento de Geociências e do CVARG, em particular ao Rogério Sousa, pelo tempo dispensado ao transmitir os seus conhecimentos de sísmica, e ao José Medeiros, pela colaboração na elaboração dos *layouts*;
- ao meu amigo e colega Paulo Amaral pelo seu apoio e ajuda e pelas sugestões apresentadas ao longo deste trabalho;
- a todos os meus amigos de S. Miguel, pela companhia em todos os momentos do decorrer deste trabalho;
- à minha amiga Rita Reis, pelo apoio e amizade em todos os momentos mais difíceis da minha vida;
- a toda a minha família, e de modo muito especial aos meus pais que, sempre me apoiaram ao longo da vida, e apesar de estarem longe, sempre acreditaram e me acompanharam com paciência, transmitindo força e carinho para a conclusão deste trabalho;
- ao meu companheiro e amigo Luís, pela sua presença inspiradora e pela felicidade que transmite à minha vida.

O presente trabalho beneficiou de participação financeira do projecto “RETINA – Realistic Evaluation of Temporal Interaction of Natural Hazards”, contrato EVG1 – 2001 – 00046, financiado pela União Europeia.

RESUMO

O arquipélago dos Açores localiza-se na junção tripla entre as placas litosféricas Eurasiática, Americana e Africana, cujas fronteiras correspondem à Crista Média Atlântica e à Zona de Falha Açores-Gibraltar. A placa Americana situa-se a ocidente do rifte enquanto que as placas Eurasiática e Africana se situam a oriente, separadas pelo troço ocidental da estrutura Açores-Gibraltar.

Devido ao contexto geotectónico em que se inserem, as ilhas dos Açores são palco de uma actividade sísmica e vulcânica significativa. Desde o seu povoamento, no século XV, existem testemunhos de importantes crises sísmicas, com abalos, em geral, de magnitude intermédia a fraca. Menos frequentemente têm ocorrido, também, terramotos com magnitude elevada, de que é exemplo o sismo de 1980 que ultrapassou a magnitude 7. Relativamente à actividade vulcânica foram registadas pelo menos 26 erupções nos grupos central e oriental nos últimos cinco séculos.

O objectivo principal do presente trabalho consistiu no estudo tectónico da região Povoação-Nordeste, tendo-se procedido à identificação, cartografia e caracterização geométrica e cinemática das falhas observadas.

Para além das falhas, a região estudada é cortada por uma densa rede de filões cujas atitudes variam no espaço. Estes parecem dispôr-se radialmente em torno do edifício vulcânico do Nordeste, variando as direcções desde NNW-SSE no sector do Faial da Terra, passando a NW-SE em Água Retorta e aproximando-se de W-E no Nordeste. Na região da Povoação as direcções dominantes são NW-SE, incompatíveis com o campo radial do Nordeste, pelo que os filões poderão pertencer ao edifício vulcânico da Povoação, apresentando um controlo tectónico regional.

Os acidentes tectónicos afloram principalmente nas arribas litorais e, ocasionalmente, em taludes de estradas ou em antigas pedreiras sendo a extensão

observável das estruturas principais muito limitada devido quer à densa cobertura vegetal no interior, quer à própria dimensão da ilha.

A área estudada encontra-se recortada por três conjuntos de falhas de direcções distintas. As mais desenvolvidas têm direcção NW-SE a WNW-ESE, enquanto que as menos representativas apresentam direcções NNW-SSE e NE-SW.

A cinemática foi deduzida a partir de estrias em planos de falha e do deslocamento de marcadores estratigráficos.

Os dados da cinemática demonstram que a região estudada é caracterizada pela ocorrência de quatro famílias de falhas principais. As estruturas de direcção NW-SE a WNW-ESE apresentam estrias indicando movimentações oblíquas esquerda normal e movimentações oblíquas direita normal, as estruturas de direcção NE-SW apresentam movimentação oblíqua direita normal e as estrias observadas nas falhas de direcção NNW-SSE indicam movimentações oblíquas esquerda normal.

Estes dados mostram a ocorrência de duas populações de falhas conjugadas incompatíveis: estruturas WNW-ESE direitas normais conjugadas de estruturas NNW-SSE esquerdas normais e falhas WNW-ESE a NW-SE esquerdas normais conjugadas de falhas NE-SW direitas normais. Cada uma destas famílias é constituída por dois conjuntos de falhas com inclinações fortes (50° - 85°) e mergulhando em sentidos opostos. Ambas as situações são características de deformação tridimensional, contudo indicam a ocorrência de dois campos de tensões distintos, separados no tempo ou no espaço.

O primeiro conjunto de falhas conjugadas é compatível com o campo de tensões actual, transtensivo, definido para a Plataforma dos Açores, apresentando compressão máxima horizontal orientada segundo NW-SE, tracção máxima horizontal na direcção NE-SW e com eixo vertical igualmente compressivo, que pode

alternar, por permutação entre σ_1 e σ_2 , com um campo de tensões com compressão máxima vertical e tracção máxima horizontal NE-SW.

A segunda população é “anómala” e, aparentemente, incompatível com o campo de tensões actual, indicando um campo com compressão máxima horizontal orientada segundo E-W, tracção máxima horizontal na direcção N-S e eixo vertical igualmente compressivo. Não foi possível determinar a relação temporal entre os dois campos de tensões. Por um lado, pode ser mais antigo e resultar de um curto episódio de inversão no sentido de cisalhamento. Assim sendo, a taxa de expansão da Crista Média a S terá sido superior à taxa de expansão a N, fazendo com que as falhas WNW-ESE a NW-SE direitas normais passassem a jogar como esquerdas normais, gerando-se falhas conjugadas NE-SW direitas normais. Alternativamente, pode ser mais recente e corresponder a uma mudança no espaço do campo de tensões relacionado com o afastamento à dorsal e a entrada numa região em compressão E-W.

Os dados de tectónica foram introduzidos na Base de Dados AZORIS, criada pelo Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos para armazenar toda a informação necessária ao estudo dos riscos naturais, incluindo a perigosidade e a vulnerabilidade, na região dos Açores. Para incorporar toda a informação associada à tectónica foram criadas três tabelas: *Localização Geográfica* para a identificação das estações de campo com as respectivas coordenadas UTM; *Falhas* com os dados das falhas; e *Filões*, com os dados dos filões.

O estudo da sismicidade da região Açores-Gibraltar permite deduzir acerca da actividade associada aos principais acidentes tectónicos activos – fronteiras de placas e zonas de fractura. Na região dos Açores a actividade sísmica, distribui-se por toda a faixa de deformação designada por Centro de Expansão Oblíqua dos Açores.

A determinação de mecanismos focais permite identificar, em cada região, o estilo de movimentação tectónica actual, possibilitando as correlações entre este tipo de informação geofísica e os dados de natureza geológica.

A informação sísmica disponível é compatível com o padrão tectónico determinado por Madeira e Ribeiro (1990) e Madeira (1998), com base em dados de neotectónica, e Lourenço *et al.* (1998), com base em dados morfotectónicos, neotectónicos e sísmicos. Na maioria dos mecanismos focais publicados, verifica-se uma boa correlação entre um dos planos nodais e as estruturas tectónicas deduzidas da interpretação do mapa batimétrico do arquipélago, ocorrendo eventos sísmicos em desligamento direito segundo planos orientados WNW-ESE a NW-SE, em desligamento esquerdo em estruturas com direcção NNW-SSE a N-S, ambos com proporções variáveis de componente normal.

O campo de tensões “anómalo” deduzido no presente trabalho, apenas encontra expressão nas soluções publicadas para os casos dos sismos de 8 de Maio de 1939, de magnitude 7.1, e de 23 de Novembro de 1973, de magnitude 4.9. A sua interpretação está dependente da realização de estudos mais pormenorizados abrangendo toda a ilha de S. Miguel.

ABSTRACT

The Azores archipelago is located at the triple junction between Eurasia, North America and Africa lithospheric plates, whose boundaries are the Mid Atlantic Ridge (MAR) and Azores-Gibraltar Fault Zone. The American plate is located west of the MAR, while the Eurasian and African plates are situated in the east of this structure and are separated by the oblique western segment of the Azores-Gibraltar Fault Zone.

As a result of their geotectonic setting, the Azores islands are subject to frequent seismic and volcanic activity. Since their settlement, in the 15th century, the region has been severely affected by seismic activity, usually weak to moderate magnitude isolated seismic events or seismic swarms. However, high magnitude ($M > 7$) earthquakes, as Terceira's earthquake in 1980, may also occur. Volcanic activity has also been reported in the last five hundred years, occurring at least 26 eruptions since 1439 on land or in the sea.

The main goal of the present work was the tectonic study of the Povoação-Nordeste region. Faults were identified and mapped, and geometric and kinematically characterized.

The studied region is cut by several dykes whose directions vary in space. The dykes appear to have a radial pattern around the Nordeste Volcano, with directions changing from NNW-SSE at Faial da Terra, NW-SE at Água Retorta to W-E at Nordeste. At Povoação the main directions are NW-SE, incompatible with that radial field, and might belong to Povoação Volcano presenting a regional tectonic control.

The tectonic structures outcrop mainly at the sea cliffs and, rarely, at road cuts and quarries, with the observed length of the faults limited by the dense vegetation and dimension of the islands.

The studied area is cut by three groups of faults with distinct directions. The dominant structures have NW-SE to WNW-ESE directions, while the less representative have NNW-SSE and NE-SW directions.

The kinematics of the faults was deduced from striated fault surfaces as well from the displacement of stratigraphic surfaces.

The kinematic data show that the studied region is characterized by the presence of four main fault families. The NW-SE to WNW-ESE structures present striations indicating normal left oblique displacements and normal right oblique displacements, the NE-SW faults show normal right oblique displacements and the striations observed in the NNW-SSE faults indicate normal left oblique displacements.

These data show the presence of two distinct groups of conjugated faults: WNW-ESE normal dextral structures conjugated with NNW-SSE normal left lateral structures and WNW-ESE to NW-SE normal left lateral faults, conjugated with NE-SW normal dextral faults. Each of these families is composed by two sets of faults dipping strongly (50° - 85°) in opposite senses. Both cases are typical of three-dimensional strain, though they indicate the occurrence of two different stress fields, separated in time or in space.

In fact, the first set of conjugated faults is comparable with the present transtensive stress field in the Azores Platform, with maximum horizontal compressive stress axis trending NW-SE, maximum horizontal tension in the NE-SW direction and a compressive vertical intermediate stress axis, generating strike slip events which may alternate, by permutation between σ_1 and σ_2 , with normal faulting.

The second fault population is apparently incompatible with the orientation of the present stress field, indicating a maximum horizontal compressive stress in the E-W direction, a maximum horizontal tension trending N-S and a compressive vertical intermediate stress axis. The time relation between the two stress fields was not

determined. The second may be an older stress field that may have resulted from a short inversion episode of the sense of shear in the Eurasia-Africa plate boundary, as a consequence of a hypothetical expansion rate of the south Mid-Atlantic Ridge (MAR) greater than the north segment. This would make the WNW-ESE to NW-SE normal dextral structures to become normal left lateral faults, creating new conjugated, NE-SW normal dextral, faults. Alternatively it may be younger than the one observed on the most of the archipelago, and be the consequence of a change of the stress field in space related with the growing distance to the MAR and the entry into a region subject to an E-W compressive regime.

All tectonic data were included in the AZORIS database, created at Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos (CVARG), to store and manipulate all necessary data in order to evaluate the hazard, the risk and the vulnerability of Azores. For the tectonic data three tables were created: *Geographic Localization* of the field stations, *Faults* data and *Dykes* data.

The seismicity study of the Azores-Gibraltar zone allows us to deduce about the activity associated to the main tectonic structures – plate limits and fracture zones. In the Azores region the seismic activity occurs along whole the deformation zone called Azores Oblique Spreading Centre.

Published focal mechanisms allow the identification of the type of actual tectonic displacement for each region, enabling correlations between these and geological data.

The seismic information is compatible with the actual tectonic pattern determined by Madeira and Ribeiro (1990) and Madeira (1998), based on neotectonic data, and Lourenço *et al.* (1998), based on morphotectonic, tectonic and seismic data. In fact, the published focal mechanisms are in general agreement with the kinematic data obtained by neotectonics studies, revealing dextral slip seismic events on fault

planes trending WNW-ESE to NW-SE and left lateral slip on NNW-SSE to N-S structures, both with variable proportions of normal component.

The “anomalous” stress field deduced in eastern S. Miguel only agrees with the published solutions for the May 8th, 1939 (M=7.1), and November 23rd, 1973 (M=4.9), earthquakes. Its interpretation is dependent of more accurate studies on S. Miguel Island that haven’t been done yet.

1. Introdução

1.1 Objectivos do trabalho

O presente trabalho insere-se no âmbito da cartografia geológica da ilha de S. Miguel e tem como objectivo a cartografia tectónica dos Complexos Vulcânicos da Povoação e do Nordeste.

A partir da informação recolhida no campo, determinou-se o regime tectónico da região e estimou-se a orientação dos campos de tensões responsáveis pela formação das falhas cartografadas.

A informação tectónica obtida foi incluída na base de dados AZORIS, criada pelo Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos.

Pretende-se, de futuro, complementar os dados obtidos com parâmetros sísmicos de eventos de magnitude moderada a elevada publicados na bibliografia e pelo Sistema de Vigilância Sismológica dos Açores (SIVISA) na região em causa, com o objectivo de se determinar as principais zonas sismogénicas e contribuir para a avaliação do risco sísmico.

1.2 Neotectónica e falhas activas

O conceito original de neotectónica, que etimologicamente significa tectónica nova, foi introduzido por Obruchev em 1948 (*in* Cabral, 1993) para designar um ramo das Ciências da Terra dedicado ao estudo dos movimentos da crosta terrestre que ocorreram durante os períodos Neogénico e Quaternário durante os quais, as movimentações tectónicas da crosta terrestre contribuíram para o modelado da topografia contemporânea.

Actualmente existem duas correntes na definição do período neotectónico. Para alguns autores, este período é definido por critérios cronoestratigráficos, considerando um intervalo de tempo baseado na cronologia geológica independentemente da região em causa e do seu contexto tectónico. Assim, há autores que colocam o seu início na base do Neogénico (Obruchev, 1948), outros no Pliocénico (Mescherikov, 1968) ou ainda no Quaternário (Vita-Finzi, 1986) (*in* Cabral, 1993). Por outro lado, há autores (*e.g.* Hancock, 1986; Pavlides, 1989; Morner, 1989a,b *in* Cabral, 1993) que consideram mais coerente defini-lo como aquele a partir do qual se estabeleceu o regime tectónico actual numa dada região, ou seja, a partir da última reorganização significativa da tectónica regional. Segundo esta perspectiva, o início do período neotectónico é variável de região para região, não possuindo valor global.

1.2.1 Conceito de período neotectónico utilizado no trabalho

No presente trabalho consideraram-se como deformações neotectónicas as que ocorreram após o estabelecimento do regime tectónico actual nos Açores.

Na região estudada, a última reorganização tectónica ocorreu com a mudança da fronteira de placas Eurásia-África, na região dos Açores, da Zona de Fractura Este

dos Açores para a estrutura oblíqua dos Açores, com a qual está relacionada a edificação das ilhas que constituem o arquipélago (*in* Madeira, 1998).

Luis *et al.* (1994) propõem que a mudança para a actual fronteira Eurásia-África na região dos Açores se processou através da migração para norte do ponto triplo América-Eurásia-África iniciada há pouco mais de 10 Ma, valor este que, segundo Madeira (1998), é compatível com uma datação, através do método de K-Ar, de 8 Ma obtida em rochas vulcânicas subaéreas de Santa Maria (Abdel-Monem *et al.*, 1975). Contudo, os mesmos autores mostram que a localização da junção tripla sofreu modificações nos últimos 10 Ma e que se situa na posição actual, a oeste do Faial, desde o tempo da anomalia 2A, podendo-se considerar que a última reorganização tectónica ocorreu há 2.45 Ma. Assim, de acordo com os trabalhos citados, o período neotectónico nesta região corresponderá pelo menos ao Pliocénico terminal e Quaternário.

Se tivermos em conta as datações $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de Johnson *et al.* (1998) (veja-se capítulo 3), estas indicam uma idade entre 0.78 e 0.88 Ma para o Complexo Vulcânico do Nordeste, pelo que toda a área em estudo integrará o período neotectónico. Contudo, os dados K-Ar obtidos por Abdel-Monem *et al.* (1975), indicam idades entre os 4 Ma e 0.95 Ma, pelo que as formações mais antigas não serão englobadas no período neotectónico.

1.2.2 Tipos de deformação neotectónica

A actividade neotectónica pode originar deformações diversas, consoante o ambiente tectónico, que incluem movimentações verticais da crosta, dobramentos e falhamentos (Cabral, 1993).

Na região dos Açores, a actividade neotectónica encontra-se representada essencialmente por deformação associada a falhamento, embora se conheçam

evidências de movimentações verticais significativas nas ilhas de Santa Maria e S. Miguel.

Com efeito, Madeira (1986 *in* Madeira, 1998) verificou a ocorrência de tais movimentos em Santa Maria testemunhados pela exposição subaérea de sedimentos e rochas vulcânicas de fácies submarinas, datadas do Miocénico superior ao Quaternário, presentemente a cotas que podem atingir 250 metros acima do nível do mar. Do ponto de vista geomorfológico, estas movimentações encontram-se marcadas por desnivelamentos (levantamentos) até 250 metros, de plataformas de abrasão e paleo-arribas fini-Pliocénicas e Quaternárias.

Em S. Miguel, os movimentos verticais são evidenciados por uma importante subsidência testemunhada por uma sondagem que detectou produtos vulcânicos subaéreos a cotas de 786 metros abaixo do nível do mar (Muecke *et al.*, 1974 *in* Madeira, 1998). Contudo, em ambos os casos, desconhece-se quanta daquela movimentação é de natureza tectónica pois, para além das oscilações globais do nível do mar, terá ocorrido importante movimentação vertical associada às compensações isostáticas resultantes de intensa erosão no caso de Santa Maria e do rápido crescimento dos estrato-vulcões de S. Miguel (Madeira, 1998).

1.2.3 Noção de falha activa

O conceito de falha activa não tem uma definição universalmente aceite e tem sido discutido desde o início do século XX. A maior parte das definições contém conotações com deslocamentos passados durante o regime neotectónico presente, e a capacidade para a ocorrência de novas movimentações num futuro próximo (Slemmons e McKinney, 1977 *in* Cabral, 1993). De facto, esta noção devia decorrer directamente da definição de período neotectónico, ou seja, falha activa seria toda aquela que sofreu movimentação no decurso daquele período ou que seja susceptível de ser reactivada por acção do regime tectónico presente na região considerada.

1.3 Graus de actividade das falhas

A partir da década de 70 vários autores e entidades tentaram estabelecer esquemas ou classificações de modo a especificar o grau de actividade das falhas. Muitos destes estudos foram orientados para utilizações específicas, nuns casos apresentando natureza qualitativa enquanto que noutros se procurou quantificar o grau de actividade (Madeira, 1998).

Cluff *et al.* (1972 *in* Madeira, 1998) definem 4 graus de actividade das falhas com base em critérios históricos, geológicos e sismológicos. Os graus são os de falha activa, falha potencialmente activa, falha com actividade incerta e falha inactiva. Esta é uma classificação dirigida para uma utilização em engenharia, pois os diferentes graus de actividade são atribuídos em função do risco para a construção de estruturas críticas, não tendo em consideração o facto de que estes são uma característica intrínseca da estrutura tectónica independentemente da ocupação humana da área em que se localiza.

Matsuda (1975 *in* Madeira, 1998) classificou o grau de actividade das falhas em 5 classes de acordo com as taxas de deslizamento e a expressão geomórfica. As classes, da mais activa para a de menor actividade, são: AAA, AA, A, B, C e inactivas.

Slemmons (1977 *in* Madeira, 1998) relaciona as classes de Matsuda (1975) com os intervalos de recorrência e a magnitude dos sismos, de forma a que conhecendo dois dos parâmetros se possa estimar o outro.

Cluff, Coppersmith e Knuepfer (1982 *in* Madeira, 1998) desenvolveram uma classificação mais completa que integra todos os parâmetros que podem ser usados para definir a actividade de uma falha, permitindo estimar uns conhecendo os outros. Assim, estes autores usaram a taxa de deslizamento, o comprimento de rotura, o

deslocamento por evento, o momento sísmico, a dimensão do sismo máximo e o intervalo de recorrência para sismos daquela magnitude.

Estas classificações encontram-se sucintamente descritas em Madeira (1998).

1.4 Metodologia de aquisição de dados

A actividade numa falha pode ser detectada através de critérios geológicos (geomorfológicos e estratigráficos), históricos e geofísicos (normalmente sísmológicos). Deste modo, na análise tectónica da região Povoação-Nordeste procedeu-se a estudos de geomorfologia, através de observação estereoscópica de fotografia aérea, e de estratigrafia, baseados na bibliografia e em observações de campo, de modo a identificar elementos de referência que pudessem ser utilizados no reconhecimento das estruturas tectónicas activas e do seu grau de actividade.

Na elaboração deste trabalho procedeu-se, numa primeira fase, à observação e interpretação de fotografias aéreas verticais a preto e branco, nas escalas aproximadas 1/40 000 (voos da U. S. Navy de 1959, fornecidas pelo Serviço Cartográfico do Exército), 1/15 000 (voos 19/98, 13/00 e de 1974 da Força Aérea Portuguesa), e 1/8 000 (voo 12/00 e 13/00 da Força Aérea Portuguesa), para se identificarem lineamentos e outras morfologias relacionáveis com estruturas tectónicas, cuja natureza tectónica se procurou validar em campanhas de trabalho de campo posteriores.

A análise do relevo foi também efectuada através do Modelo Tridimensional do Terreno e da sua representação em mapas topográficos, em formato digital, nas escalas 1/25 000 e 1/50 000.

Os estudos geológicos no terreno foram realizados no decurso de 9 campanhas, entre 2002 e 2004, constando de uma fase inicial de reconhecimento e de uma segunda fase de estudo pormenorizado, em que se procedeu à análise dos acidentes tectónicos e à sua cartografia.

Na cartografia geológica efectuada utilizaram-se predominantemente os documentos fotográficos já referidos, em particular a fotografia aérea na escala 1/15 000, e a

base topográfica, em formato digital, na escala 1/25 000, para onde foram transpostos os levantamentos realizados.

1.5 Referências utilizadas na quantificação da deformação

Na quantificação da deformação resultante da movimentação de uma falha é necessário identificar dois tipos de informação. Em primeiro lugar têm de existir elementos de referência que funcionem como marcadores do deslocamento imposto pela actividade da falha; em segundo, é necessário conhecer a idade desses mesmos de modo a determinar durante quanto tempo se acumularam as deformações observadas, isto é, a velocidade média da deformação, expressa sobre a forma de taxas de deslizamento (*slip rates*) (Madeira, 1998).

1.5.1 Marcadores artificiais e naturais

Em regiões com tectónica activa os marcadores utilizados na quantificação da deformação podem ser artificiais ou naturais. Nos primeiros incluem-se todas as estruturas construídas pelo homem, tais como vedações, estradas, renques de árvores, etc., que tenham sido deslocadas por uma dada rotura (Madeira, 1998).

Quanto aos marcadores naturais, estes são os que existem na área em estudo e podem ser de natureza estratigráfica ou morfológica. Os primeiros consistem em estruturas geológicas (tais como planos de estratificação, limites geológicos, superfícies de erosão, filões, etc.) de idade compreendida no período neotectónico considerado. Os segundos incluem todas as formas topográficas que possam apresentar-se deslocadas por falha ou que constituam expressão directa de actividade recente da própria falha.

No presente trabalho utilizaram-se como referências estratigráficas as unidades vulcano-estratigráficas publicadas na bibliografia e através da análise fotogeológica foi possível reconhecer alguns critérios morfológicos.

O principal problema relacionado com a utilização de marcadores de natureza estratigráfica consiste no facto de não permitirem, na maioria dos casos, a determinação da componente de desligamento dos acidentes tectónicos, mas apenas de separações verticais, parte das quais poderão resultar directamente da componente horizontal da movimentação das falhas (Madeira, 1998). Em algumas das falhas observadas verificaram-se estrias oblíquas que testemunham a existência de componentes verticais e horizontais associadas.

Os lineamentos cartografados (que não foram observados) resultaram da dedução a partir de vales lineares, troços rectilíneos de linhas de costa e linhas de água desviadas ou mesmo capturadas. Contudo, deve-se ter em conta que tal facto pode nem sempre corresponder à realidade.

1.5.2 Dificuldades associadas aos depósitos vulcânicos

A expressão geomórfica da actividade das falhas depende fortemente das taxas relativas da actividade tectónica, da erosão e da deposição, pelo que, formas tectónicas mais desenvolvidas encontram-se frequentemente em regiões em que a deposição e a erosão se processam a taxas muito mais baixas que as da componente vertical da deformação tectónica (Madeira, 1998).

Os processos deposicionais tendem a colmatar os desníveis produzidos pela actividade tectónica através do enchimento de zonas deprimidas e fossilização de escarpas. Por outro lado, a erosão pode provocar o recuo ou a eliminação das escarpas de falha e de outras formas tectónicas (Madeira, 1998).

No caso dos Açores, em que a tectónica e o vulcanismo são activos, a manutenção da expressão superficial das falhas é fortemente condicionada pela frequência, localização e características dos processos eruptivos. O tipo de materiais expostos nas escarpas de falha também condiciona a longevidade destas, pois a erosão actua

mais rapidamente quando os depósitos constituintes são de natureza piroclástica, ao contrário dos derrames lávicos (Madeira, 1998).

Dado a região em estudo se encontrar extinta do ponto de vista vulcanológico, o modelado vulcânico actual é composto por morfologias erosivas ou vulcânicas muito degradadas, pelo que é difícil observar morfologias tectónicas sobre-impostas. Por outro lado, grande parte da área encontra-se coberta pelos materiais com origem em erupções no vulcão das Furnas. Estes materiais encontram-se, em alguns locais, afectados pelas estruturas tectónicas cartografadas, o que indica actividade tectónica recente.

2. Enquadramento geotectónico do arquipélago

2.1 Localização geográfica

O arquipélago dos Açores localiza-se no Atlântico Norte entre as latitudes 37°-40°N e as longitudes 25°-31°W e compreende nove ilhas vulcânicas distribuídas por três grupos geográficos (fig. 2.1). O grupo ocidental é constituído pelas ilhas do Corvo e das Flores. As ilhas do Faial, Pico, S. Jorge, Graciosa e Terceira formam o grupo central. O grupo oriental engloba as ilhas de S. Miguel e Santa Maria e ainda os ilhéus das Formigas.

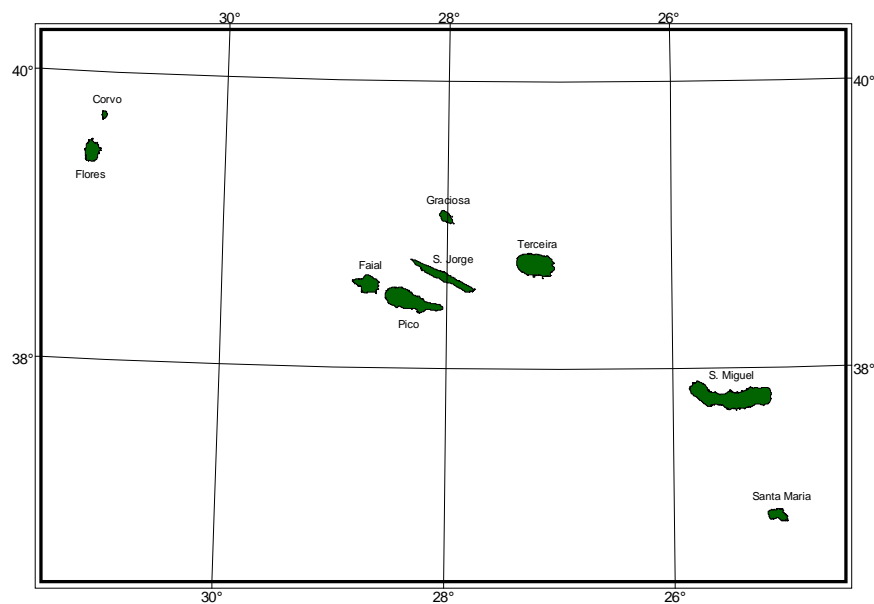


Fig. 2.1 – Localização geográfica do arquipélago dos Açores (*in* Ferreira, 2000).

2.2 Enquadramento geoestrutural

O arquipélago dos Açores estende-se ao longo de cerca de 500 km segundo uma direcção aproximada WNW-ESE, sobre a designada Plataforma dos Açores, definida pela curva batimétrica dos 2 000 metros e de forma aproximadamente triangular (Needham e Francheteau, 1974) (fig. 2.2). É limitada a oeste pelo flanco ocidental da Crista Média, a sul pela Zona de Fractura Este dos Açores e a norte, com direcção aproximada NW-SE, os fundos descem rapidamente dos 1 500 metros para uma planície abissal com profundidades superiores a 3 500 metros (Madeira, 1986).

Apesar da designação sugerir uma batimetria regular, na realidade tal facto não acontece. Os fundos que constituem a Plataforma dos Açores apresentam uma morfologia complexa, com fossas (depressões tectónicas) e cristas submarinas (fig. 2.3). As cristas correspondem a relevos que se elevam dos 1 000-1 500 metros de profundidade, geralmente com formas alongadas, cujos topos emersos constituem as ilhas dos Açores; contudo, alguns relevos não atingem a superfície, originando áreas pouco profundas: os Bancos D. João de Castro, Açor, Princesa Alice e Mónaco (*in* Madeira, 1998). Em torno da Plataforma dos Açores os fundos descem rapidamente para profundidades superiores a 3 500 metros.

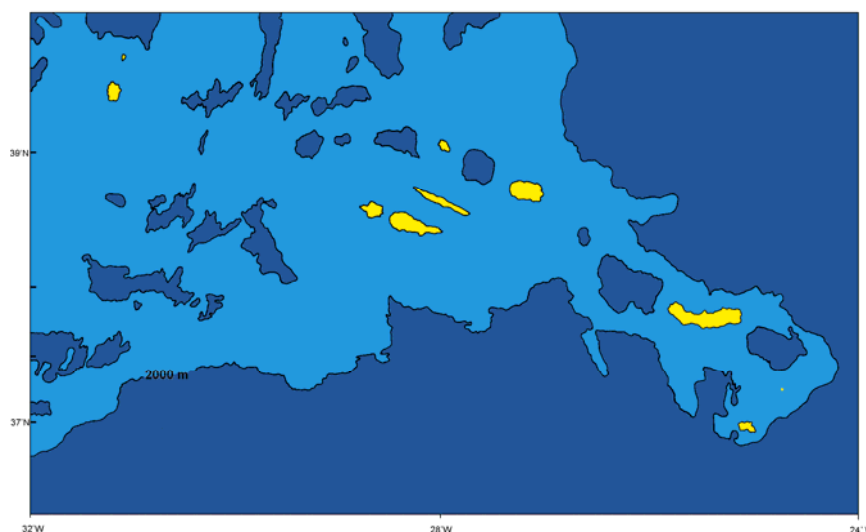


Fig. 2.2 – Plataforma dos Açores, definida pela curva batimétrica dos 2 000 metros (adaptado de Needham e Francheteau, 1974 *in* Ferreira, 2000).

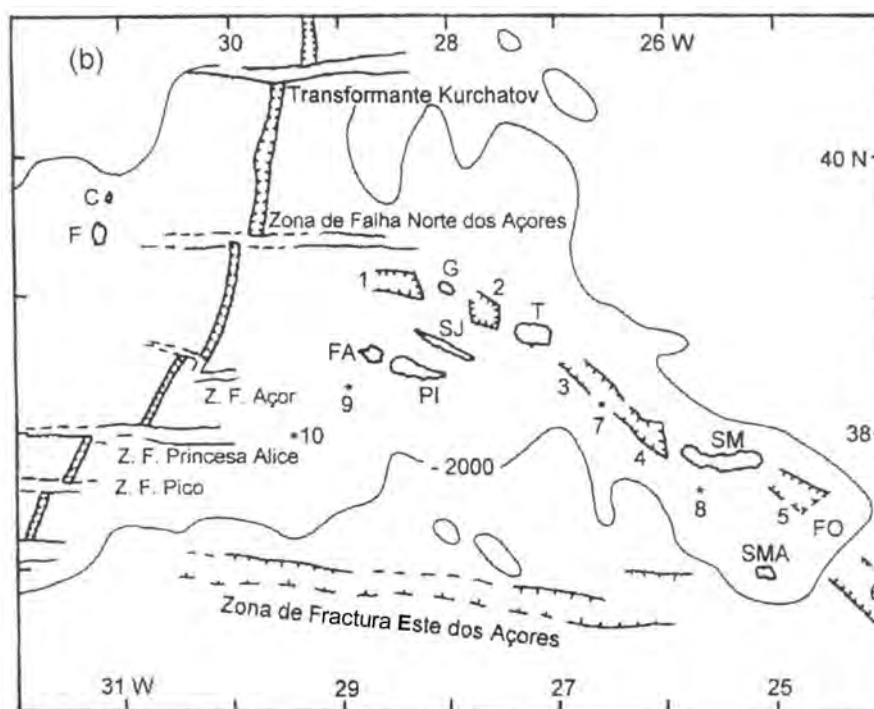


Fig. 2.3 – Morfologia dos fundos oceânicos da Plataforma dos Açores. O vale do rift está segmentado pelas zonas de falha transformante Kurchatov, Norte dos Açores, Açor, Princesa Alice, Pico e Este dos Açores. As letras indicam as ilhas do arquipélago: C – Corvo; F – Flores; G – Graciosa; FA – Faial; SJ – S. Jorge; PI – Pico; T – Terceira; SM – S. Miguel; FO – Formigas; SMA – Santa Maria. O *Rift* da Terceira é constituído pelo alinhamento das ilhas Graciosa, Terceira, S. Miguel e Formigas e pelas bacias Ocidental da Graciosa (1), Oriental da Graciosa (2), Hirondelle do Norte (3), Hirondelle do Sul (4), de S. Miguel (5) e Desfiladeiro das Formigas (6). Os principais bancos estão assinalados com asteriscos (*): Banco D. João de Castro (7), Banco Mónaco (8), Banco Açor (9) e Banco Princesa Alice (10) (*in* Madeira, 1998).

Sob o ponto de vista tectónico, este arquipélago localiza-se na junção tripla correspondente ao contacto das três placas litosféricas Eurasiática, Americana e Africana, com coordenadas aproximadas 39°N, 30°W (Laughton e Whitmarsh, 1974) (fig. 2.4).

O grupo Ocidental foi edificado sobre a Placa Americana, enquanto que as ilhas dos grupos Central e Oriental se localizam numa larga zona de cisalhamento que corresponde à fronteira de placas entre a Eurásia e a África (Madeira, 1998; Lourenço *et al.*, 1998).

As principais estruturas tectónicas presentes na região dos Açores são a Crista Média Atlântica, a Zona de Fractura Este dos Açores e o *Rift* da Terceira.



Fig. 2.4 – Enquadramento tectónico do arquipélago dos Açores, encontrando-se representadas as principais estruturas tectónicas. Legenda: CMA – Crista Média Atlântica; ZFEA – Zona de Fractura Este dos Açores; RT – *Rift* da Terceira; FG – Falha Gloria (adaptado de Laughton e Whitmarsh, 1974 *in* Ferreira, 2000).

A Crista Média Atlântica corresponde a uma estrutura distensiva pura, sismicamente activa, materializando a fronteira entre a placa Americana (a W) e as placas Eurasiática e Africana (a E). Apresenta uma orientação azimutal de 10° a N da latitude $39^\circ 10' N$ e de 20° a S de $38^\circ 40' N$. A orientação geral NE-SW da Crista Média na área do arquipélago resulta do facto desta se encontrar segmentada dextrógiramente por um conjunto de falhas transformantes muito próximas que a dividem em troços curtos, em que estes apresentam direcções que oscilam entre N-S e NNE-SSW (Searle, 1980; Madeira, 1986; Luis *et al.*, 1994; Madeira, 1998). Laughton e Whitmarsh (1974) determinaram uma velocidade média de expansão de 1.8 cm/ano no sector a norte dos Açores e de 1.3 cm/ano a sul. Esta estrutura cruza a Plataforma dos Açores a meia distância entre as ilhas do Faial e das Flores, o que é comprovado pela distribuição das anomalias magnéticas (Krause e Watkins, 1970; Luis *et al.*, 1994) e do estudo da atenuação das ondas sísmicas (Steinmetz *et al.*, 1976 *in* Queiroz, 1990).

A Zona de Fractura Este dos Açores (Krause, 1965) corresponde ao sector ocidental da Zona de Falha Açores-Gibraltar e apresenta uma direcção aproximada E-W,

desenvolvendo-se entre a Crista Média Atlântica e a Crista Tore-Madeira (à longitude 15°W). Compreende dois segmentos de comportamento tectónico distinto: o primeiro situa-se entre a Crista Média e o meridiano 24°W e encontra-se deslocado relativamente ao segundo 10° para S (Searle, 1980) e é considerado, por alguns autores, sismicamente activo (Krause e Watkins, 1970), enquanto que outros o consideram assísmico e uma estrutura remanescente da antiga fronteira entre as placas Eurasiática e Africana (Laughton e Whitmarsh, 1974; Searle, 1980). Para E, o sector que se encontra definido entre a ilha de Santa Maria e a crista Tore-Madeira define claramente o limite entre as placas referidas (Laughton *et al.*, 1972) apresentando actividade sísmica importante (Banghar e Sykes, 1969). Os mecanismos focais obtidos para alguns dos sismos registados ao longo deste troço são compatíveis com um movimento de desligamento direito puro ao nível da designada Falha Gloria (Laughton *et al.*, 1972; Udías *et al.*, 1986), verificando-se que a oeste do Banco de Gorringe, a estrutura adquire o comportamento de desligamento, falha inversa ou mistos e para E deste relevo, é predominantemente inversa (vários autores *in* Madeira, 1998), em resultado dos esforços compressivos em torno de N-S, induzidos pelo movimento no sentido directo da placa Africana relativamente à placa Eurasiática (McKenzie, 1970 *in* Laughton *et al.*, 1972; Udías e Lopez-Arroyo, 1972; Udías *et al.*, 1976; Udías, 1980; Udías *et al.*, 1986; Buforn *et al.*, 1988; Udías *et al.*, 1988).

O *Rift* da Terceira é um segmento da fronteira entre as placas Eurasiática e Africana compreendido entre a extremidade W da Falha Gloria (próximo do Desfiladeiro das Formigas) e a Crista Média Atlântica, definido, como já foi referido, pela disposição geográfica quase linear das ilhas Graciosa, Terceira, S. Miguel e Formigas, por 6 bacias tectónicas e um grande vulcão submarino. O limite N situar-se-á próximo do ponto 39°20'N, 28°50'W, local onde contacta com a Zona de Fractura Norte dos Açores (Searle, 1980), uma estrutura de direcção aproximada E-W que se prolonga para oeste intersectando a Crista Média Atlântica. A análise dos mecanismos focais permitiu identificar um predomínio de soluções do tipo *strike-slip*, relativamente a

mecanismos em falha normal e inversa igualmente existentes nesta área (Udíás, 1980; Madeira, 1998).

Existem vários modelos tectónicos publicados para a junção tripla na região dos Açores, em que a fronteira entre as placas Eurasiática e Africana, no sector entre a Crista Média e a Falha Gloria, é sempre uma estrutura discreta: um rifte mais ou menos contínuo designado por *Rift* da Terceira (Krause e Watkins, 1970; McKenzie, 1972), uma estrutura do tipo rifte, segmentada por falhas transformantes (Machado *et al.*, 1972; Searle, 1980), uma transformante com movimentação oblíqua, *Leaky Transform* (Ribeiro, 1982; Madeira e Ribeiro, 1990), ou ainda uma microplaca triangular limitada por falhas em desligamento (Forjaz, 1983).

Contudo, os dados mais recentes, de natureza neotectónica (Ribeiro, 1982; Madeira, 1986; Madeira e Ribeiro, 1990; Madeira *et al.*, 1990; Madeira, 1998), batimétrica (Lourenço *et al.*, 1998), paleomagnética (Luis *et al.*, 1994), sismológica (Miranda *et al.*, 1998) e vulcanológica (Gaspar, 1995), apontam para uma fronteira de placas, entre a Eurásia e a África, complexa, difusa, representada por uma larga faixa litosférica cisalhada entre aquelas duas placas (Madeira, 1998; Lourenço *et al.*, 1998).

A deformação imposta pela movimentação relativa entre as placas Eurasiática e Africana é absorvida por um conjunto vasto de falhas activas repartidas por dois sistemas dominantes: o sistema principal, paralelo ao alongamento da faixa cisalhada (WNW-ESE a NW-SE), constituído por dois conjuntos de falhas com movimentação direita normal; e um sistema conjugado, oblíquo à direcção de fronteira de placas, formado por outros dois conjuntos de falhas com movimentação esquerda normal (Madeira, 1998).

Madeira (1998) propõe para este sector da fronteira Eurásia-África uma estrutura designada por *Centro de Expansão Oblíqua dos Açores*, que consiste numa faixa litosférica larga na qual a deformação em transtensão é acomodada por um conjunto

muito numeroso de falhas activas (fig. 2.5). A largura provável desta zona deformada será de 160 km, estimativa baseada no padrão de anomalias magnéticas na Plataforma dos Açores e que corresponde à largura da área em que existem alinhamentos magnéticos paralelos ao arquipélago.

É de salientar que a zona densamente fracturada se estende bastante mais para SW do que a área com anomalias magnéticas de orientação equivalente à dos Açores, facto este explicado pela possibilidade dessa fracturação corresponder à ligação entre a Crista Média e a Zona de Fractura Este dos Açores à medida que se processou a migração progressiva para norte do ponto triplo América-Açores-África (Luis *et al.*, 1994 *in* Madeira, 1998).

O campo de tensões fora desta faixa e nas proximidades da Crista Média é um campo distensivo com σ_1 (tensão compressiva máxima) vertical, σ_2 N-S e σ_3 perpendicular à crista, ou seja, aproximadamente E-W. Na área cisalhada do Centro de Expansão Oblíqua dos Açores o campo é perturbado, ocorrendo uma permutação entre σ_1 e σ_2 e um desvio das trajectórias das tensões principais: σ_1 passa a ser horizontal e aproxima-se da direcção das falhas principais direitas (aproximadamente NW-SE na região do grupo central, rodando para N-S na área de Santa Maria), σ_2 torna-se vertical e σ_3 roda de NE-SW para E-W no extremo oriental da faixa cisalhada (fig. 2.5) (Madeira, 1998). Em resposta a este campo de tensões desenvolve-se uma família de falhas conjugadas esquerdas, em que o ângulo 2θ entre os dois conjuntos de falhas é normalmente bastante reduzido, sendo frequentemente próximo de 30 a 40°.

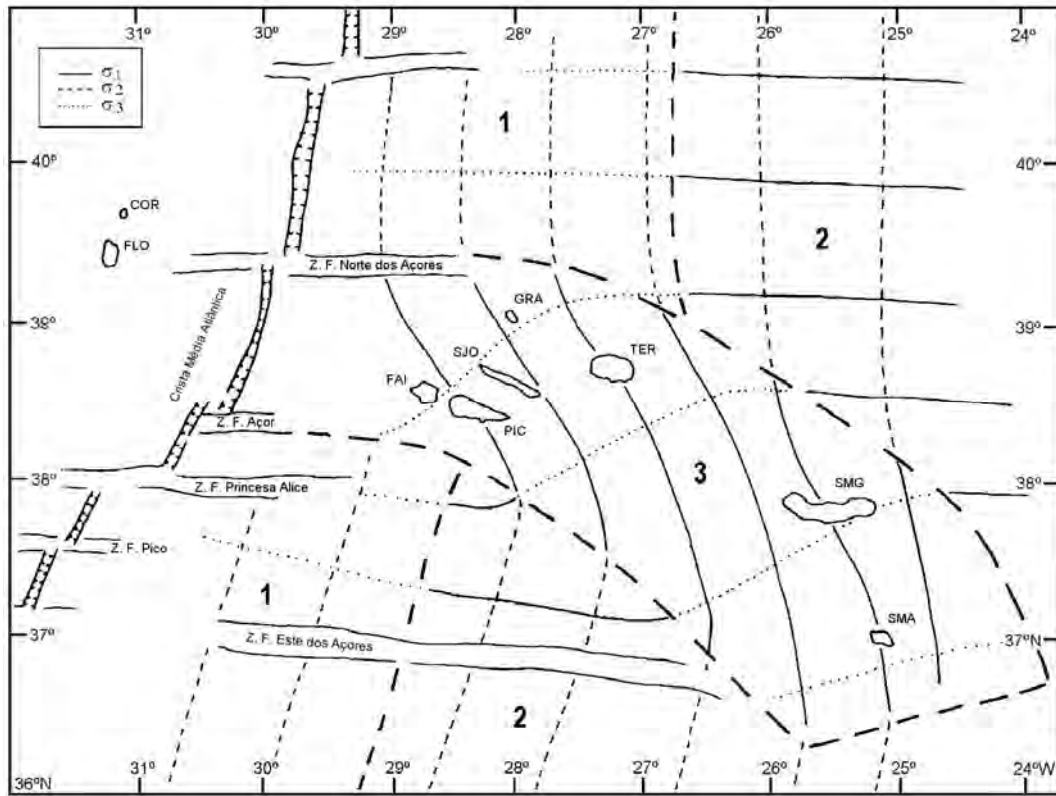


Fig. 2.5 – Fronteira de placas Eurásia-África na área dos Açores e orientação das tensões principais na região: o campo de tensões distensivo na proximidade da Crista Média (Região 1) passa a compressivo por volta da isócrona dos 20 Ma (Região 2); no Centro de Expansão Obliqua dos Açores o campo distensivo sofre permutação entre σ_1 e σ_2 e ocorre um desvio das trajectórias das tensões principais (Região 3). σ_1 (tensão compressiva máxima) a traço contínuo, σ_2 a tracejado e σ_3 a ponteadado (*in Madeira, 1998*).

2.3 Sismicidade e vulcanismo

Dado o quadro geotectónico em que se inserem, os Açores são alvo de intensa actividade sísmica e vulcânica. Na tabela 2.1 encontram-se os sismos mais importantes, ao nível de destruição e mortes, ocorridos nos Açores desde o seu povoamento, no século XV.

Os eventos assinalados a azul foram os que atingiram com maior intensidade a metade oriental da ilha de S. Miguel, nomeadamente o concelho da Povoação, provocando prejuízos e dando origem a movimentos de massa.

Tabela 2.1 – Principais sismos históricos dos Açores (intensidades na escala MM56) (*in* Madeira, 1998 e Silveira, 2002). Legenda: ■ - eventos que atingiram a região em estudo.

Data	Intensidade	Zona mais afectada	Magnitude	Consequências
1522-10-22	X	Vila Franca do Campo		Cerca de 5000 mortes. Grandes destruições.
1571/Jun-Jul	VI/VII	Terceira		Crise sísmica. Algumas destruições.
1614-05-24	X-XI (?)	Praia da Vitória		Destruição quase total.
1647-06-09	V/VI	Terceira		Crise sísmica. Algumas destruições.
1713-12-08	VI/VII	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.

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 (fig. 2.6). Este evento terá tido origem provável em estruturas tectónicas da Bacia Este de S. Miguel (Silveira, 2002).

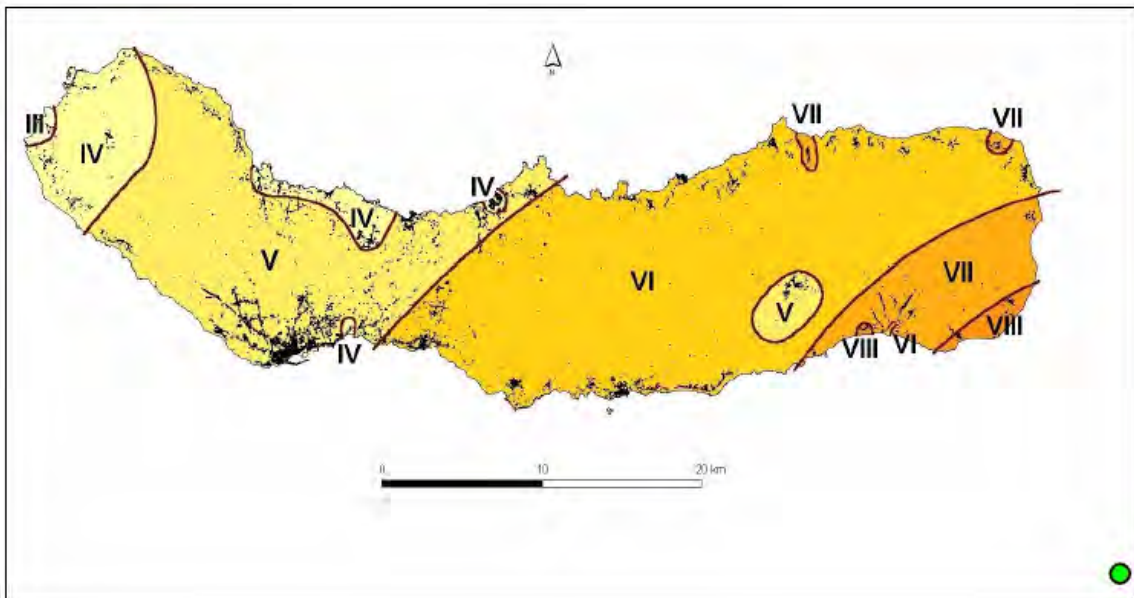


Fig. 2.6 – Carta de isossistas do sismo de 5 de Agosto de 1932 (intensidades EMS 98). Legenda: ● – localização aproximada do epicentro (*in* Silveira, 2002).

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 (fig. 2.7). As intensidades máximas foram de IX e VIII na Lomba do Cavaleiro (Povoação) e Ribeira Quente, respectivamente (Silveira, 2002).

O epicentro do sismo de 26 de Junho de 1952, à semelhança do evento de 27 de Abril de 1932, ter-se-á localizado numa zona a S da Ribeira Quente e relativamente próxima da costa (fig.2.8). A intensidade máxima registada foi de VIII na Ribeira Quente.

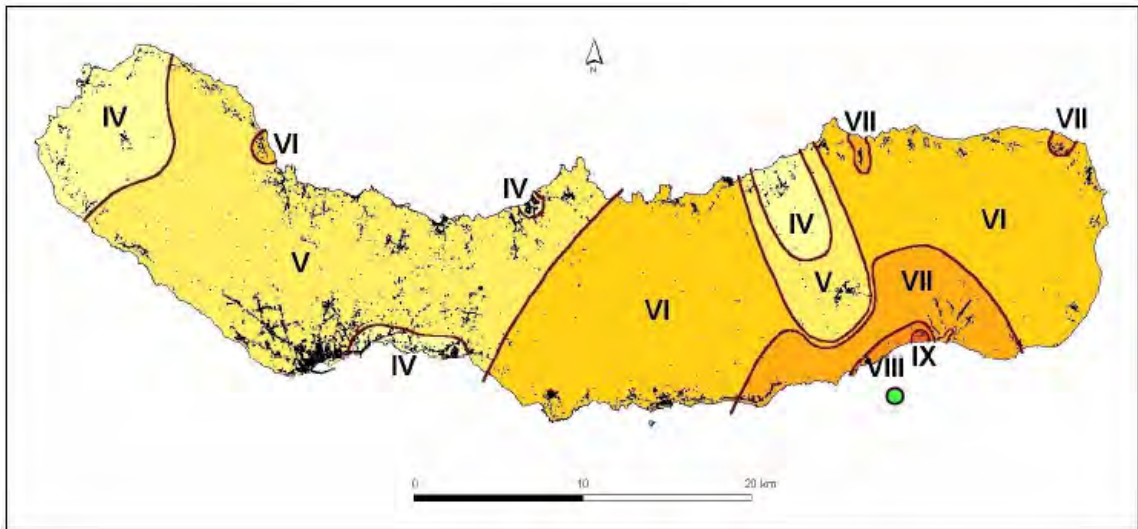


Fig. 2.7 – Carta de intensidades do sismo de 27 de Abril de 1935 (intensidades EMS 98). Legenda:
● – localização aproximada do epicentro (*in* Silveira, 2002).

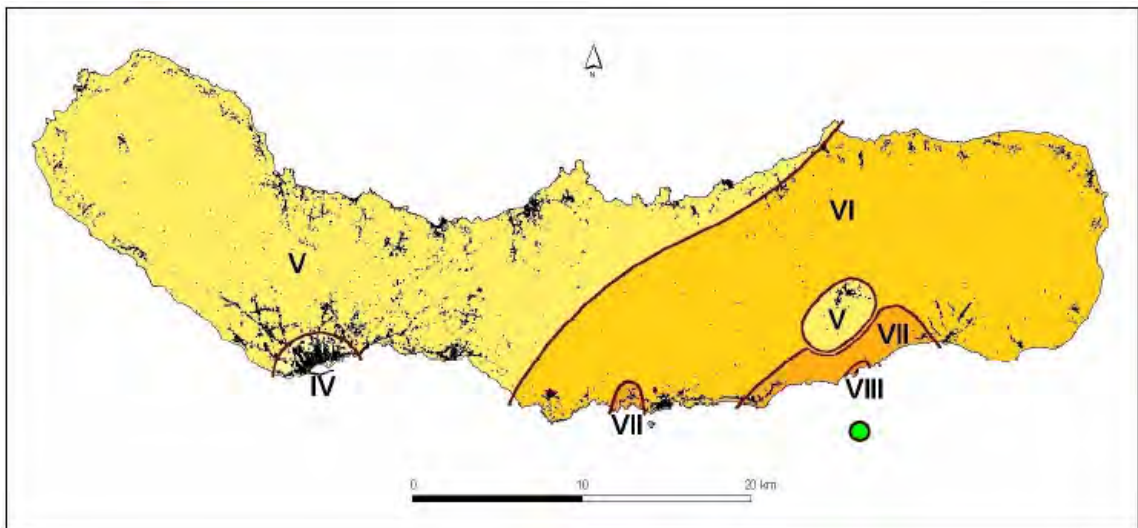


Fig. 2.8 – Carta de isossistas do sismo de 26 de Junho de 1952 (intensidades EMS 98). Legenda:
● – localização aproximada do epicentro (*in* Silveira, 2002).

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

Quanto à sismicidade instrumental verifica-se que, no período entre 1980 e 2000, esta ocorre ao longo do designado *Rift* da Terceira e da Crista Média Atlântica (fig. 2.9). Após o sismo de 1998 verifica-se que a sismicidade se concentra na região Faial-Pico. Relativamente à ilha de S. Miguel, constata-se existir uma maior densidade de epicentros associada à depressão submarina da Bacia Este de S. Miguel, estendendo-se para NW, sob os maciços dos vulcões do Fogo e das Furnas, e também do maciço das Sete Cidades.

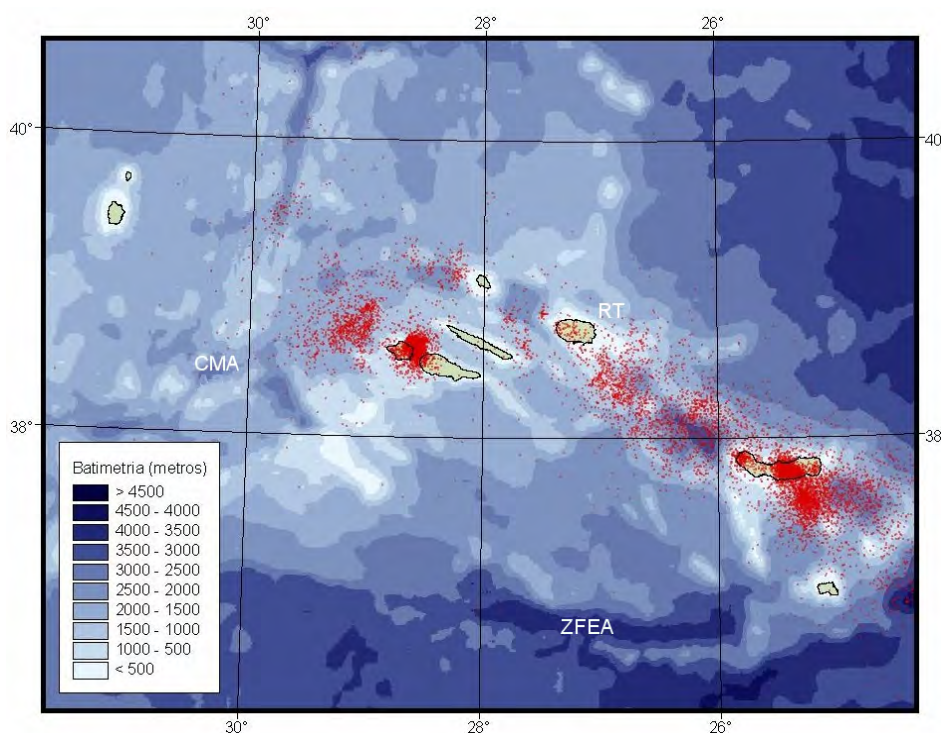


Fig. 2.9 – Carta de sismicidade dos Açores, no período de 1980 a 2000 (SIVISA, 2003), onde estão representados todos os epicentros localizados. Legenda: CMA – Crista Média Atlântica; ZFEA - Zona de Fractura Este dos Açores; RT – *Rift* da Terceira.

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 do arquipélago, não se registando erupções apenas nas Flores, Corvo, Graciosa e Santa Maria; contudo, tanto nas Flores como na Graciosa não se pode considerar o vulcanismo como extinto pois apresentam episódios vulcânicos muito recentes

(anteriores ao povoamento) e manifestações secundárias de vulcanismo (Madeira, em publ.).

Desde o início do povoamento conhece-se a ocorrência de pelo menos 26 erupções (Tabela 2.2) que tiveram lugar quer em terra, nas ilhas de S. Miguel, Terceira, S. Jorge, Pico e Faial, quer no mar, em pontos elevados da Plataforma dos Açores (fig. 2.10). Algumas erupções foram acompanhadas por uma importante actividade sísmica, suficientemente forte para causar danos avultados.

Tabela 2.2 – Erupções históricas nos Açores (simplificado de Madeira, em publ.). Legenda:
■ - 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 – Furnas
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 ^a do Almeida, Mistério da Queimada, Rib ^a 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)

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 resultantes que atingiram a zona oriental da ilha, como se verá adiante.

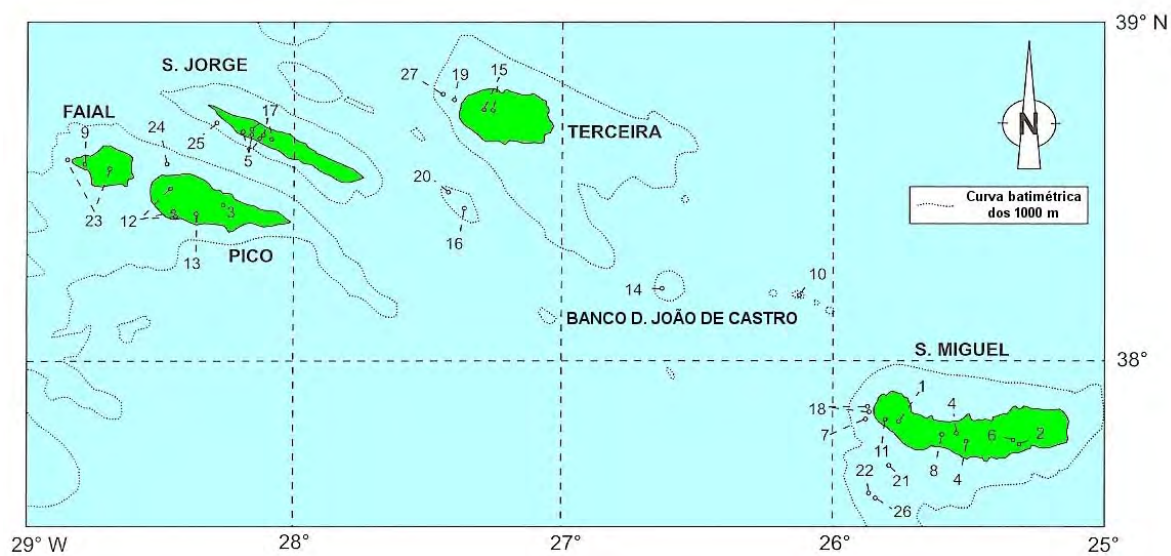


Fig. 2.10 – Localização das erupções vulcânicas históricas de que se tem conhecimento na região da Plataforma dos Açores (modificado de Madeira e Brum da Silveira, 2003).

3. Caracterização geológica da região Povoação-Nordeste

3.1 Nota prévia

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

No âmbito da cartografia geológica da ilha de S. Miguel, Zbyszewski *et al.* (1958) e Zbyszewski (1961) descreveram a estratigrafia e a tectónica da área, tendo reconhecido falhas e filões nas arribas da costa S da ilha com a 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.

Forjaz (1993) elaborou a carta tectónica de S. Miguel, na escala 1/50 000, em que classificou as falhas de acordo com o grau de actividade em três classes (fig. 3.1): activas, potencialmente activas e provavelmente inactivas. Cartografou acidentes com uma orientação dominante WNW-ESE a NW-SE, e menos representativos 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 poucas activas.

A tectónica do Vulcão das Furnas (fig. 3.2), aparelho activo que limita a oeste 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 direcção WNW-ESE e

apresenta 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.

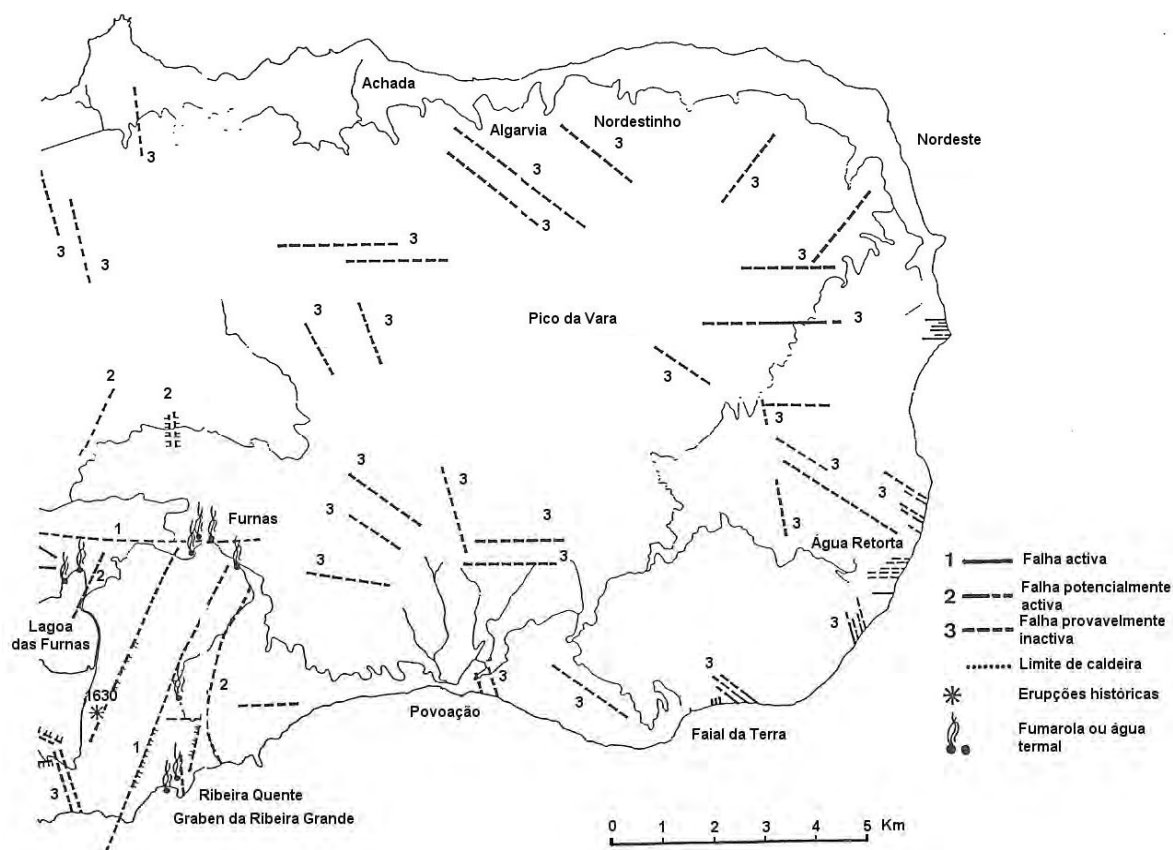


Fig. 3.1 – Carta tectónica da região Povoação-Nordeste, na escala 1/50 000 (Forjaz, 1993).

O estudo petrológico e geoquímico do Complexo Basáltico do Nordeste deve-se a Fernandez (1982) que classificou as rochas desta unidade estratigráfica como pertencendo à série 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.

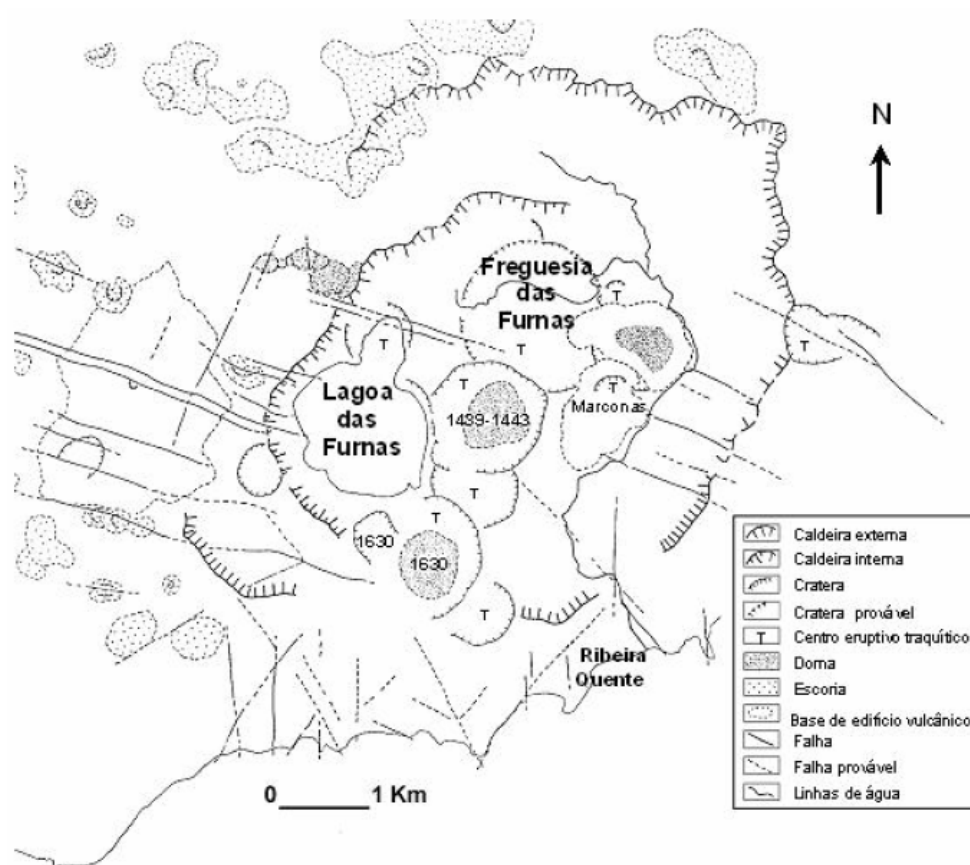


Fig. 3.2 – Mapa morfoestrutural simplificado do maciço das Furnas (adaptado de Gaspar *et al.*, 1995 in Sousa, 2003).

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) apresentaram datações $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ para o mesmo Complexo Vulcânico que contrastam com as publicadas por Abdel-Monem *et al.* (1975). Estes autores obtiveram idades entre os 0.78 a 0.88 Ma e obtiveram ainda um intervalo temporal para a sua edificação de 0.1 Ma.

3.2 Localização geográfica

A ilha de S. Miguel tem comprimento e largura máximos de cerca de 65 e 16 km, respectivamente, abrangendo a área aproximada de 746 km². É a maior e a mais populosa ilha dos Açores. Situa-se entre as latitudes 37°42' e 37°54'N e as longitudes 25°51' e 25°08'W.

A área estudada abrange os concelhos da Povoação e do Nordeste, localizados na região oriental da ilha (fig. 3.3), e corresponde aproximadamente, do ponto de vista geológico aos complexos vulcânicos do mesmo nome.

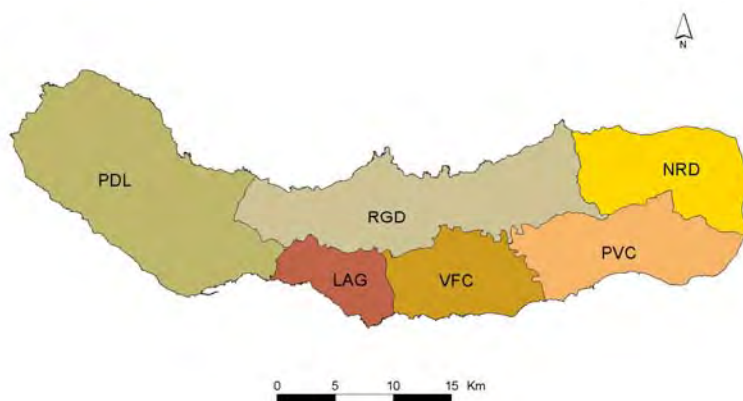


Fig. 3.3 – Localização geográfica dos concelhos da Povoação (PVC) e do Nordeste (NRD).

3.3 Geomorfologia

Zbyszewski *et al.* (1958, 1959) e Zbyszewski (1961), na análise geomorfológica que efectuaram sobre a ilha de S. 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 do Nordeste e o Planalto Setentrional ou Plataforma Litoral do Norte (fig. 3.4).

A área estudada engloba a parte oriental do Vulcão das Furnas e do Planalto Setentrional, o Vulcão da Povoação e a Região da Tronqueira e do Nordeste.

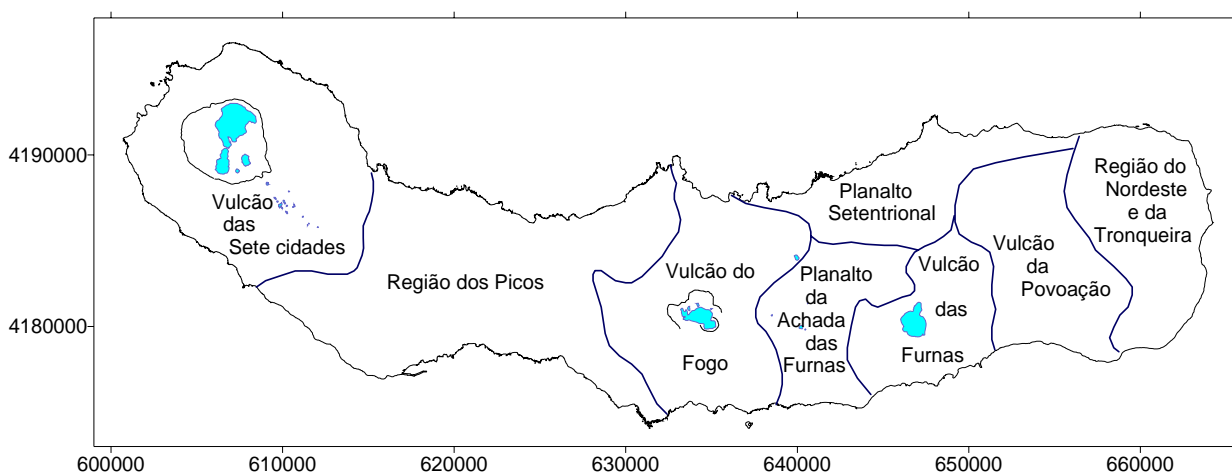


Fig. 3.4 - Unidades geomorfológicas da ilha de S. Miguel (adaptado de Zbyszewsky, 1961 *in* Ferreira, 2000).

O Vulcão das Furnas é um vulcão central em que se reconhecem pelo menos duas caldeiras (Cole *et al.*, 1995), com várias fases de formação, incluindo fenómenos de colapso e de explosão que marcam períodos particulares da 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 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 foi já 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 200 e 400 metros.

Na parte mais oriental da ilha, encontra-se a região da Tronqueira e Nordeste que corresponde a uma região montanhosa com profundos vales de erosão e imponentes arribas e 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 3.5 encontra-se o modelo tridimensional do terreno da área estudada onde se pode observar alguns aspectos da morfologia.

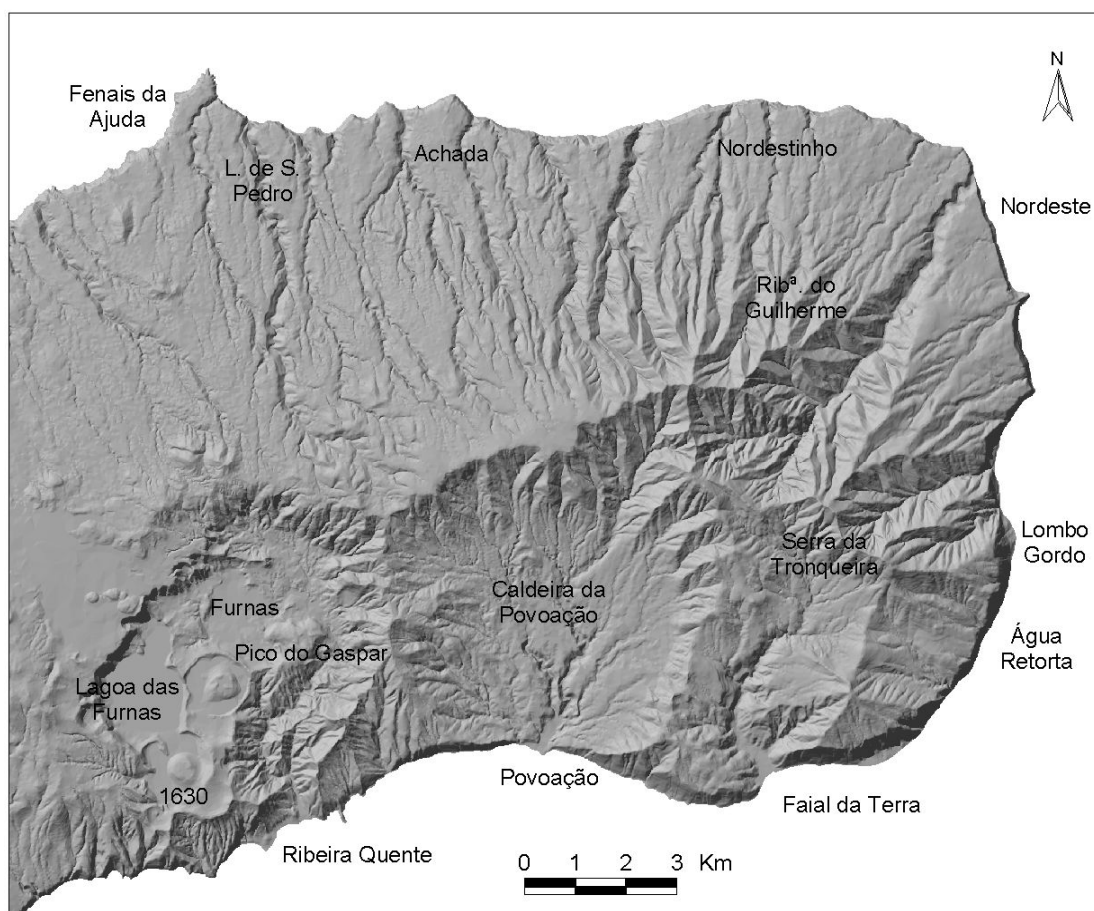


Fig. 3.5 – Modelo tridimensional do terreno (MDT) da área estudada onde se podem observar aspectos da morfologia como: as duas caldeiras do Vulcão das Furnas e a caldeira da Povoação truncada pelo recuo das arribas litorais, a Região da Tronqueira e do Nordeste, mostrando claramente o vale rectilíneo da Ribeira do Guilherme e a plataforma inclinada que constitui a parte norte da área estudada.

A análise geomorfológica do Modelo Tridimensional do Terreno (MDT) permitiu verificar 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 (fig. 3.6).

Com efeito, na parte N da área de estudo verificam-se uma série de lineamentos de direcções NNW-SSE e NE-SW. A primeira é paralela à orientação da arriba rectilínea do Nordeste e a segunda 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 S as direcções dominantes são WNW-ESE e, menos frequentemente, E-W e N-S.

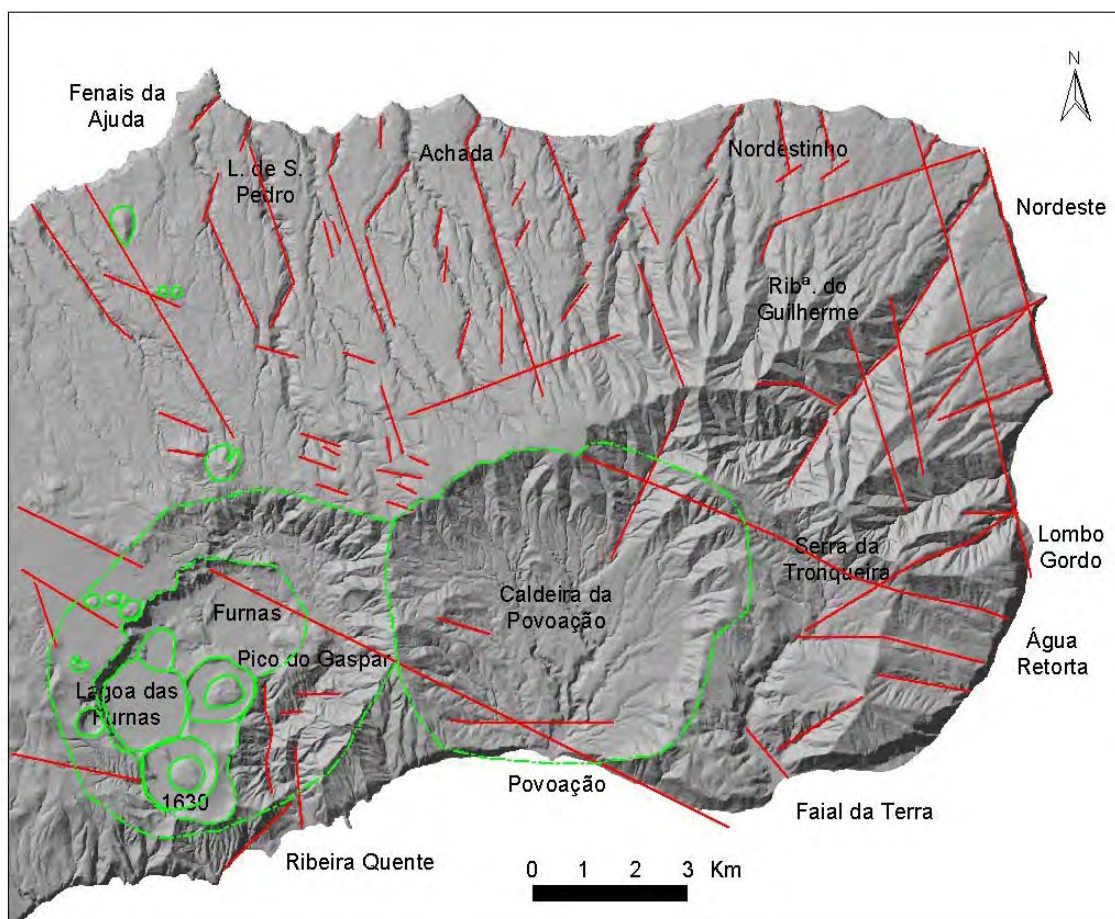


Fig. 3.6 – Análise geomorfológica com base no modelo tridimensional do terreno (MDT) da área estudada, onde se podem observar aspectos da morfologia. A verde encontram-se os limites de estruturas vulcânicas, como as duas caldeiras do Vulcão das Furnas e os domos associados às erupções de 1439/43 no Pico do Gaspar e de 1630, bem como alguns cones de escórias, e a caldeira da Povoação truncada pelo recuo das arribas litorais. A vermelho encontram-se todos os lineamentos deduzidos da análise do MDT.

3.4 Estratigrafia

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

O Complexo Vulcânico 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 este autor, este complexo possui um espessura de cerca de 1 100 metros de escoadas lávicas, dividindo-se em quatro formações que, da mais antiga para a mais recente são: os “Basaltos Inferiores”, os “Ancaramitos”, os “Basaltos Superiores” e os “Traquibasaltos e Tristanitos”. Estas formações incluem termos de composição variável entre os 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”.

Em contrapartida, Johnson *et al.* (1998), através de 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 0.82-0.79 Ma.

No topo do complexo surgem produtos do vulcanismo explosivo, dos vulcões do Fogo e das Furnas, que correspondem à actividade vulcânica mais recente 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 litostratigráfica, 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).

Com mais de 100 000 anos, o Vulcão das Furnas é aparentemente o mais jovem dos vulcões centrais traquíticos existentes em 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 (Gaspar *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 deste 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 explosivas e efusivas, conhecendo-se a existência de, pelo menos, 10 erupções nos últimos 5 000 anos. Duas destas erupções ocorreram após a descoberta da ilha de S. 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 representam 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 há cerca 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 área vasta. 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 (foto 3.1), 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 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 escoriáceas, escoadas lávicas, ignimbritos e *surges*). O limite superior é definido pelo depósito do Fogo A (5 000 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 S. Miguel, devido tanto à sua dispersão como às suas características facilmente identificáveis, em que a pedra-pomes aparece normalmente bandada.



Foto 3.1 – Fácies densamente soldada do Ignimbrito da Povoação, aflorante na Praia da Povoação.

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 envolverem fases magmáticas e hidromagmáticas.

Na figura 3.7 apresenta-se uma coluna litostratigráfica representativa da região estudada.

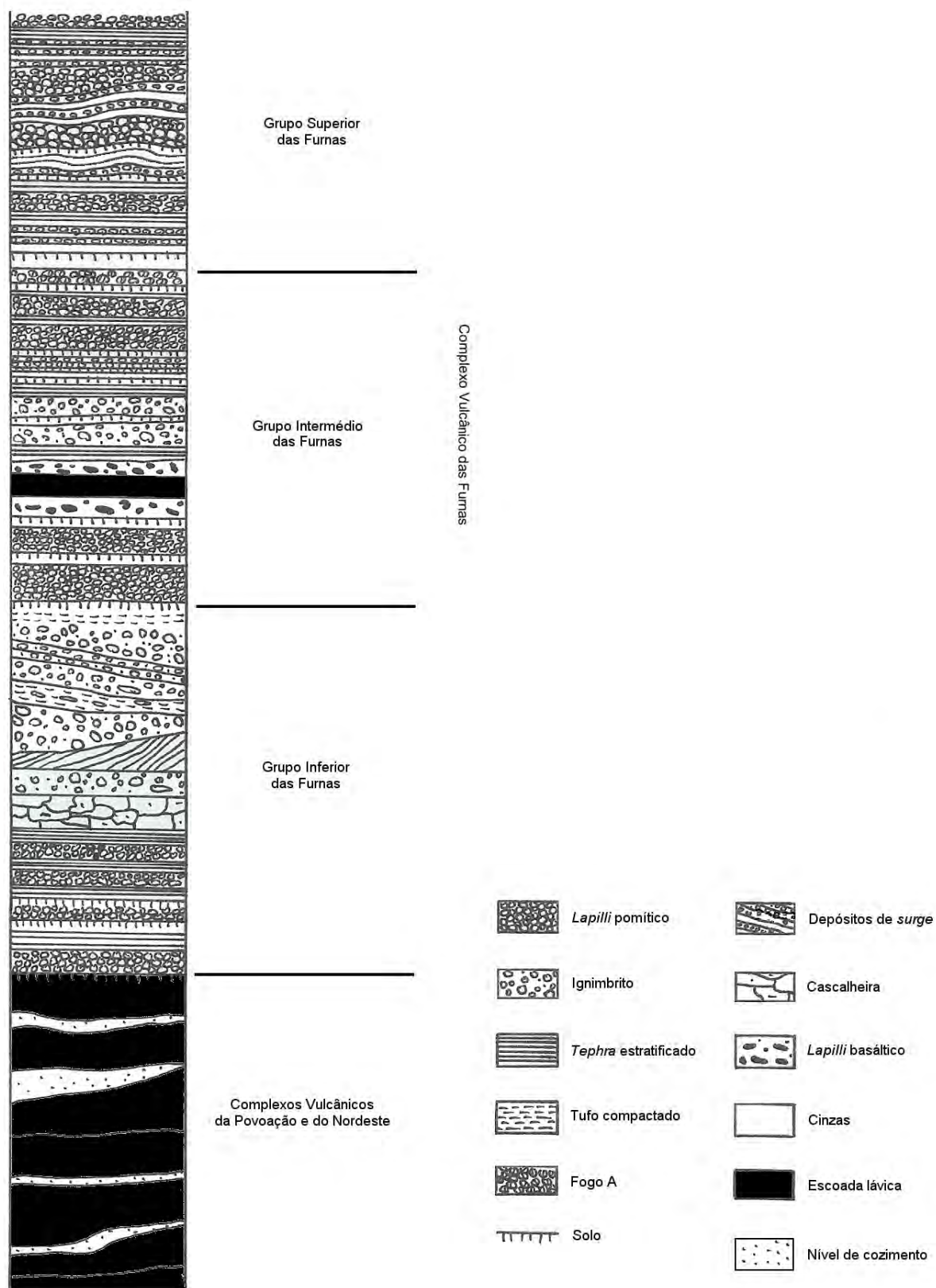


Fig. 3.7 – Coluna litostratigráfica da região estudada (baseado em Guest *et al.*, 1999).

3.5 Erupções históricas que afectaram a região estudada

Como foi referido anteriormente, importa referir as erupções históricas que mais impacto tiveram na região estudada. Estas foram as erupções de 1439/43 no Vulcão das Furnas, de 1563 no Vulcão do Fogo e de 1630 no Vulcão das Furnas.

A erupção de 1439/43 ocorreu no interior da caldeira das Furnas, mais concretamente no Pico do Gaspar (foto 3.2), a E da Lagoa das Furnas (Queiroz *et al.*, 1995). Ao longo da erupção foram sentidos tremores de terra e explosões.

Os depósitos vulcânicos, cartografados e designados como Furnas I por Booth *et al.* (1978) (fig. 3.8), mostram que a erupção se iniciou com actividade explosiva com emissão de cinzas e pedra pomes, seguindo-se a efusão de lavas que edificaram um domo traquítico no seio do anel pomítico. Esta erupção teve maior impacto na área das Furnas.

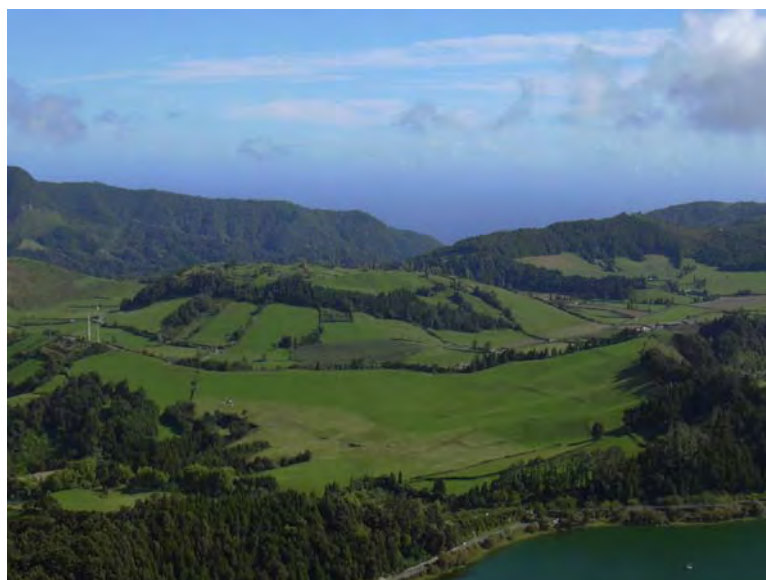


Foto 3.2 – Pico do Gaspar, a E da Lagoa das Furnas, onde ocorreu a erupção de 1439/43.



Fig. 3.8 – Carta de isopacas da erupção de 1439/43 no Vulcão das Furnas; espessura em metros (modificado de Booth *et al.*, 1978).

A erupção de 1563 no vulcão do Fogo teve início a 28 de Junho, no então chamado Pico da Lagoinha ou Pico das Berlengas (Frutuoso, 1522-1591 *in* Silveira, 2002), e foi precedida e acompanhada por tremor vulcânico quase contínuo, pontuado por sismos relativamente importantes que destruíram muitas habitações em diversos povoados, tais como Ribeira Grande, Lagoa e Água de Pau.

A erupção foi de natureza pliniana (Walker e Croasdale, 1971), iniciando-se com a formação de uma enorme coluna negra que, com vento de WSW, originou queda de pedra pomes e cinza em toda a zona oriental da ilha desde Porto Formoso até à Povoação (Frutuoso, 1522-1591 *in* Madeira, em publ.).

A fase inicial apresentou carácter hidromagmático, facilmente verificado pelos relatos históricos, bem como pela análise dos níveis de cinzas finas que marcam a base do depósito. Apesar de parte significativa do depósito exibir produtos de actividade de carácter magmático, a grande quantidade de níveis de cinzas intercaladas com os níveis de *lapilli* evidencia a ocorrência de numerosos episódios com interacção água-magma no decurso da erupção. Tais eventos poderão ter

estado na origem de uma coluna eruptiva pulsatória que se terá desenvolvido até às fases finais da actividade eruptiva, correspondendo às nuvens cipressóides de cor escura, descritas nos documentos históricos (Wallenstein, 1999). Com a diminuição da intensidade eruptiva, a actividade vulcânica passou a apresentar características efusivas (*in* Madeira, em publ.).

O impacto desta erupção foi enorme, afectando sobretudo a região a E onde os depósitos atingiram espessuras consideráveis (fig. 3.9) (Walker e Croasdale, 1971).

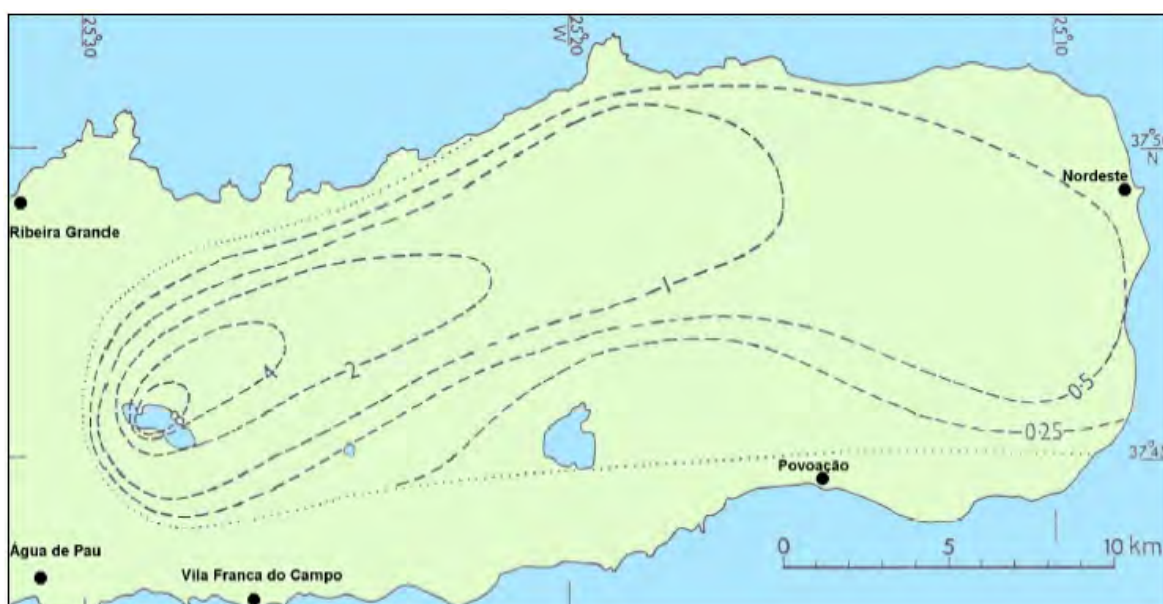


Fig. 3.9 – Carta de isopacas da erupção de 1563 no Vulcão do Fogo; espessura em metros (modificado de Walker e Croasdale, 1971 *in* Silveira, 2002).

A erupção de 1630 ocorreu numa zona S da caldeira das Furnas, provavelmente onde se situa hoje um domo lávico traquítico (foto 3.3), e envolveu fases explosivas e efusivas.

O evento foi precedido por actividade sísmica que terá desencadeado quebradas nas arribas mais próximas, pois, estudos geológicos recentes (Cole *et al.*, 1995) revelaram a presença, na praia da Ribeira Quente, de depósitos de movimentos de massa sob os depósitos vulcânicos da erupção.



Foto 3.3 – Local da erupção de 1630, a S da Lagoa das Furnas.

A actividade vulcânica apresentou alternância de fases eruptivas com características subplinianas e freatomagmáticas, iniciando-se com actividade explosiva magmática, que durou aproximadamente 3 dias. Identificaram-se mais de 6 níveis de *lapilli* de queda, de magnitude subpliniana. Os mapas de isopletas (Cole *et al.*, 1999) sugerem colunas eruptivas com altura superior a 14 km. A existência de camadas ricas em cinzas, contendo *lapilli* de acreção e texturas vesiculares, intercaladas nos níveis de *lapilli*, indica a ocorrência de fases freatomagmáticas que alternaram com as fases magmáticas. As variações laterais de espessura, assim como a presença de estratificação oblíqua presentes nestes níveis sugerem a ocorrência de fluxos turbulentos de baixa concentração (*surges*). Simultaneamente, escoadas piroclásticas foram canalizadas pelos vales, atingindo a costa S desde o litoral da Ribeira Quente até Ponta Garça (fig. 3.10).

Após esta fase, seguiu-se um episódio efusivo, que terá durado pelo menos dois meses, com formação de um domo lávico no interior do anel de tufos formado na fase explosiva inicial (Cole *et al.*, 1995).



Fig. 3.10 – Carta de isopacas da erupção de 1630 no Vulcão das Furnas; espessura em metros (modificado de Booth *et al.*, 1978 *in* Silveira, 2002).

4. Tectónica da região Povoação-Nordeste

4.1 Tectónica e rede filoniana que afectam a região Povoação-Nordeste

4.1.1 Falhas

Não se observou na região estudada expressão indubitável de rotura superficial recente. A análise geomorfológica permitiu verificar 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 foi observada nas arribas litorais e, ocasionalmente, em taludes de estradas ou em antigas pedreiras. Apenas em alguns casos foi possível seguir o seu prolongamento cartográfico através da análise do relevo.

A localização das estações e a cartografia pormenorizada das estruturas tectónicas encontram-se nos anexos I e II, respectivamente.

De um modo geral, a área estudada encontra-se recortada por falhas, orientadas NW-SE a 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 (fig. 4.1).

Na parte N da área de estudo, as estruturas tectónicas são maioritariamente deduzidas da análise do relevo através de interpretação estereoscópica de fotografia aérea e de um modelo digital de terreno. Com efeito, correspondendo à zona mais antiga, encontra-se com uma densa cobertura de vegetação, pelo que a existência

de cortes apropriados à observação destas estruturas é bastante rara. Por outro lado, as sequências aflorantes nas arribas correspondem predominantemente a escoadas lávicas muito fracturadas, pelo que se torna mais difícil definir os planos de falha. Contudo, verificam-se uma série de lineamentos de direcções dominantes NNW-SSE e NE-SW.

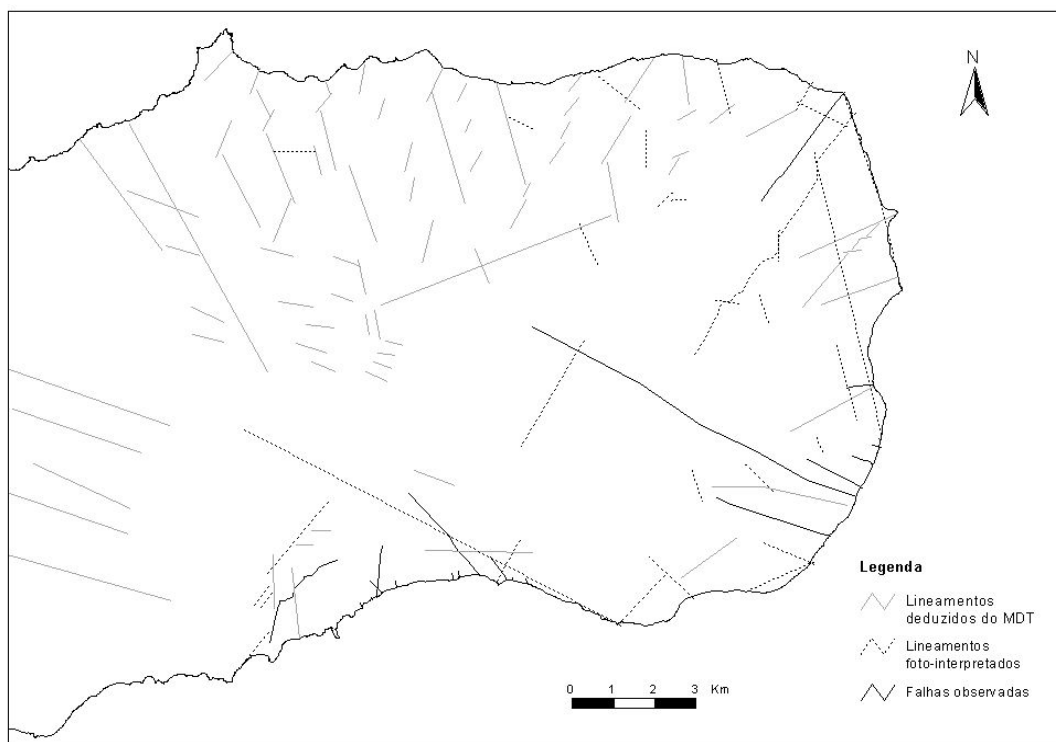


Fig. 4.1 – Carta tectónica esquemática da região Povoação-Nordeste.

A S (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 estudada, cortando os depósitos mais recentes com origem nos vulcões das Furnas e do Fogo.

4.1.1.1 Descrição geométrica

A análise da distribuição das atitudes das falhas foi feita por dois processos: diagrama estereográfico da densidade de polos e histograma circular de frequências não ponderadas das direcções.

A região estudada apresenta três conjuntos de falhas de direcções distintas (fig. 4.2). As mais frequentes têm direcção NW-SE (N40-50°W) a WNW-ESE (N50-80°W), enquanto que as menos representativas apresentam direcções NNW-SSE (N0-40°W) e NE-SW (N40-50°E).

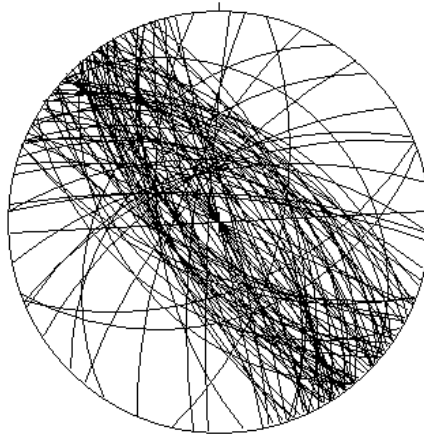


Fig. 4.2 – Representação estereográfica da totalidade das falhas medidas, no hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2 (diagrama β ; n=110).

Através da análise do histograma circular (fig. 4.3a) é evidente o predomínio das falhas com direcção NW-SE e um pequeno pico centrado na direcção N65°E. A projecção estereográfica dos polos (fig. 4.3b) mostra que as inclinações dos planos de falha são elevadas (50-90°).

Em planta, os traços dos planos de falha possuem, por vezes, variações de direcção. Em corte verifica-se que estes apresentam variações no valor da inclinação, podendo alternar traços subverticais com outros menos inclinados.

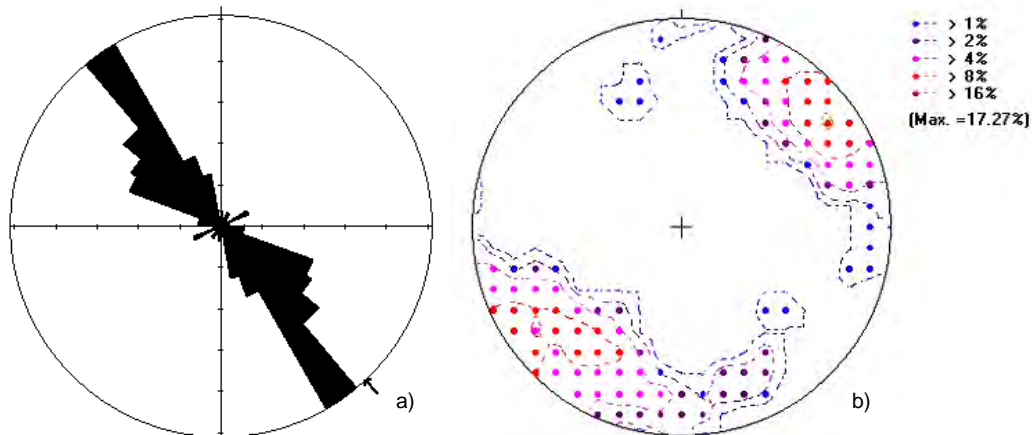


Fig. 4.3 – Análise estatística global das falhas medidas no campo: a) Histograma circular de frequências não ponderadas das direcções das falhas; b) Estereograma da densidade de polos das falhas (110 polos).

4.1.1.2 Descrição cinemática

A cinemática dos acidentes tectónicos cartografados foi deduzida através de estrias em planos de falha e da deslocação de referências estratigráficas.

Em praticamente todas as falhas foi observada componente normal, detectada a partir do deslocamento de marcadores de natureza estratigráfica. Os valores de separação observáveis foram de ordem métrica nas estruturas maiores a centimétrica nas menores. Contudo, em alguns casos, parte do valor da separação normal pode ser aparente e resultar da componente de desligamento ao deslocar estruturas inclinadas.

A informação associada a todas as falhas e filões observados e medidos encontra-se na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Informação associada a todas as falhas e filões medidos no campo.

Referência	Estação	Medição	Atitude	Estrias	Separação	Estrutura	Observações
ID_FA2ARET01	ID_TTS200003	O1	322, 70SW			Falha	
ID_FA2SBAR01	ID_TTS200005	O1	310, 59NE	45, 344		Falha	
ID_FA2SBAR01	ID_TTS200005	O2	306, 64 NE	59, 27		Falha	
ID_FA2SBAR01	ID_TTS200005	O3	306, 64NE	31, 328		Falha	
ID_FA2FTER01	ID_TTS200006	O1	330			Falha	
ID_FA2FTER02	ID_TTS200007	O1	291, 70SW		0.10 m, normal	Falha	
ID_FA2FTER03	ID_TTS200007	O2	330			Filão	
ID_FA2FTER04	ID_TTS200008	O1	343			Filão	
ID_FA2FTER05	ID_TTS200008	O2	345			Filão	
ID_FA2FTER06	ID_TTS200008	O3	350			Filão	
ID_FA2POVO01	ID_TTS200009	O1	320, 51SW		>3.20 m, normal	Falha	Movimentação deduzida de outras falhas
ID_FA2LCAV01	ID_TTS200010	O1	320, 54NE		0.10 m, normal	Falha	
ID_FA2LCAV02	ID_TTS200010	O2			0.20 m, normal	Falha	Plano difícil de individualizar
ID_FA2LCAV03	ID_TTS200010	O3	327, 78SW		0.23 m, normal	Falha	
ID_FA2LCAV04	ID_TTS200010	O4	321, 71NE			Falha	
ID_FA2LCAV05	ID_TTS200010	O5	341, 84NE			Falha	
ID_FA2LCAV06	ID_TTS200010	O6	330,72NE			Falha	
ID_FA2LCAV07	ID_TTS200010	O7	324, 60NE			Falha	
ID_FA2LCAV08	ID_TTS200010	O8	309, 60NE		0.70 m, normal	Falha	
ID_FA2LCAV09	ID_TTS200010	O9	312, 65NE			Falha	
ID_FA2FCAL01	ID_TTS200011	O1	345, 90			Filão	
ID_FA2FCAL02	ID_TTS200011	O2	331, 90			Filão	
ID_FA2FCAL03	ID_TTS200011	O3	322, 70SW			Filão	
ID_FA2FCAL04	ID_TTS200011	O4	343, 90			Filão	
ID_FA2FCAL05	ID_TTS200011	O5	357, 90			Filão	
ID_FA2FCAL06	ID_TTS200011	O6	341, 90			Filão	
ID_FA2FCAL07	ID_TTS200011	O7	330, 90			Filão	
ID_FA2FCAL08	ID_TTS200011	O8	324, 70NE			Filão	
ID_FA2FCAL09	ID_TTS200011	O9	347, 86NE			Filão	
ID_FA2FCAL10	ID_TTS200011	O10	360, 90			Filão	
ID_FA2FCAL11	ID_TTS200011	O11	337, 75SW			Filão	
ID_FA2FCAL12	ID_TTS200011	O12	353, 77E			Filão	
ID_FA2FCAL13	ID_TTS200012	O1	336, 80NE			Falha	
ID_FA2FCAL14	ID_TTS200012	O2	350, 90			Filão	
ID_FA2FCAL15	ID_TTS200012	O3	348, 90			Filão	
ID_FA2FCAL16	ID_TTS200012	O4	25, 90			Filão	
ID_FA2FCAL17	ID_TTS200012	O5	356, 90			Filão	
ID_FA2FCAL18	ID_TTS200012	O6	355, 90			Filão	
ID_FA2FCAL19	ID_TTS200012	O7	8, 72E			Filão	
ID_FA2FCAL20	ID_TTS200012	O8	347, 80E			Filão	
ID_FA2LSPE01	ID_TTS200013	O1	328, 63NE			Falha	Atitude medida à distância
ID_FA2ALGA01	ID_TTS200014	O1	335, 82NE		0.04 m, normal	Falha	
ID_FA2ALGA02	ID_TTS200014	O2	326, 76SW		0.03 m, normal	Falha	
ID_FA2ALGA03	ID_TTS200015	O1	319, 90			Filão	
ID_FA2APOV01	ID_TTS200016	O1	320, 90		4 m, normal	Falha	
ID_FA2AEPV01	ID_TTS200017	O1	334, 80SW			Filão	
ID_FA2AEPV02	ID_TTS200017	O2	330, 76SW		1.5 m, normal	Falha	
ID_FA2AEPV03	ID_TTS200017	O3	325, 80NE		Normal	Falha	
ID_FA2AEPV04	ID_TTS200018	O1	310, 70SW		1 m, normal	Falha	
ID_FA2AEPV05	ID_TTS200018	O2	335, 90		1 m, normal	Falha	
ID_FA2AEPV06	ID_TTS200018	O3	353, 90			Filão	
ID_FA2AEPV07	ID_TTS200018	O4	353, 75W			Filão	
ID_FA2AEPV08	ID_TTS200018	O5	324, 90			Filão	
ID_FA2FARR01	ID_TTS200019	O1	328, 63SW		>26 m, normal	Falha	Zona de falha
ID_FA2FARR01	ID_TTS200019	O2	340, 90		>26 m, normal	Falha	Zona de falha
ID_FA2FARR01	ID_TTS200019	O3	344, 70SW		>26 m, normal	Falha	Zona de falha
ID_FA2LPOM01	ID_TTS200020	O1	250, 52SE		Normal	Falha	
ID_FA2LPOM02	ID_TTS200020	O2	341, 62NE		Normal	Falha	
ID_FA2LPOM03	ID_TTS200020	O3	307, 57NE		0.53 m, normal	Falha	
ID_FA2LPOM04	ID_TTS200020	O4	298, 75SW		1.25 m, normal	Falha	
ID_FA2LPOM05	ID_TTS200020	O5	325, 84NE		0.12 m, normal	Falha	
ID_FA2LPOM06	ID_TTS200020	O6	335, 62NE			Falha	
ID_FA2LPOM07	ID_TTS200020	O7	339, 66NE			Falha	
ID_FA2LPOM08	ID_TTS200020	O8	321, 78SW		>0.01<0.02 m, normal	Falha	
ID_FA2LPOM09	ID_TTS200020	O9				Falha	Plano difícil de individualizar
ID_FA2LPOM10	ID_TTS200020	O10	3, 86W		0.25 m, normal	Falha	
ID_FA2LPOM11	ID_TTS200020	O11				Falha	Plano difícil de individualizar
ID_FA2LPOM12	ID_TTS200020	O12	13, 66E		0.75 m, normal	Falha	

Referência	Estação	Medição	Atitude	Estrias	Separação	Estrutura	Observações
ID_FA2LPOM13	ID_TTS200020	O13				Falha	Plano difícil de individualizar
ID_FA2LPOM14	ID_TTS200020	O14	313, 33NE			Falha	
ID_FA2LPOM15	ID_TTS200020	O15	332, 69NE		0.11 m, normal	Falha	
ID_FA2LPOM16	ID_TTS200020	O16	345, 80SW			Falha	
ID_FA2LALC01	ID_TTS200021	O1	339, 66SW			Falha	
ID_FA2LALC02	ID_TTS200021	O2	23, 73NW			Falha	
ID_FA2LALC03	ID_TTS200021	O3	33, 44NW			Falha	
ID_FA2LALC04	ID_TTS200021	O4	57, 70NW			Falha	
ID_FA2RQUE01	ID_TTS200022	O1	327, 80NW			Filão	
ID_FA2RQUE02	ID_TTS200023	O1	233, 90			Filão	
ID_FA2AWPV01	ID_TTS200025	O1	323, 90			Filão	
ID_FA2AWPV02	ID_TTS200025	O2	303, 90			Filão	
ID_FA2AWPV03	ID_TTS200026	O1	327, 76SW			Filão	
ID_FA2AWPV04	ID_TTS200026	O2	327, 80SW			Filão	
ID_FA2AWPV05	ID_TTS200026	O3	313, 90			Filão	
ID_FA2AWPV06	ID_TTS200026	O4	293, 90		1.50 m, inversa?	Falha	
ID_FA2AWPV07	ID_TTS200026	O5	286, 75N		0.70 m, normal	Falha	
ID_FA2AWPV08	ID_TTS200027	O1	294, 70SW	47, 137	0.10 m, normal	Falha	
ID_FA2AWPV08	ID_TTS200027	O2	288, 74SW	13, 118	0.10 m, normal	Falha	
ID_FA2AWPV09	ID_TTS200027	O3	303, 90		2 m, normal	Falha	
ID_FA2PEXP01	ID_TTS200028	O1	323, 70SW	20, 151		Falha	
ID_FA2AEPV09	ID_TTS200029	O1	323, 70SW			Filão	
ID_FA2AEPV10	ID_TTS200030	O1	313, 90			Filão	
ID_FA2AEPV11	ID_TTS200030	O2	321, 80SW			Falha	
ID_FA2AWPV10	ID_TTS200031	O1	63, 90			Filão	
ID_FA2AWPV11	ID_TTS200031	O2	305, 66SW		>1<1.5 m, normal	Falha	
ID_FA2AWPV12	ID_TTS200032	O1	353, 66SW	25, 184	4.5 m, normal	Falha	
ID_FA2AWPV13	ID_TTS200032	O2	343, 90		0.24 m, normal	Falha	
ID_FA2AWPV14	ID_TTS200032	O3	339, 68SW	64, 212	0.24 m, normal	Falha	
ID_FA2AWPV15	ID_TTS200032	O4	319, 70SW		0.50 m, normal	Falha	
ID_FA2AWPV16	ID_TTS200032	O5	319, 75SW		1 m, normal	Falha	Falha com vários planos
ID_FA2AWPV16	ID_TTS200032	O6	341, 64SW		0.50 m, normal	Falha	Falha com vários planos
ID_FA2AWPV17	ID_TTS200033	O1	315, 80NE			Filão	
ID_FA2AWPV18	ID_TTS200033	O2	333, 90			Filão	
ID_FA2AWPV19	ID_TTS200033	O3	323, 90			Filão	
ID_FA2AWPV20	ID_TTS200033	O4	317, 80NE			Falha	Falha com vários planos
ID_FA2AWPV20	ID_TTS200033	O5	320, 80SW		0.40 m, normal	Falha	Falha com vários planos
ID_FA2AWPV20	ID_TTS200033	O6	311, 76SW			Falha	Falha com vários planos
ID_FA2FAGU01	ID_TTS200038	O1	303, 80NE			Filão	
ID_FA2FAGU02	ID_TTS200038	O2	305, 52NE		1 m, normal	Falha	Falha a cortar o filão FA2FAGU01
ID_FA2FAGU03	ID_TTS200038	O3	307, 90			Filão	
ID_FA2FAGU04	ID_TTS200038	O4	297, 50NE			Falha	Falha a cortar o filão FA2FAGU03
ID_FA2FAGU05	ID_TTS200038	O5	299, 70NE		>0.50<0.70 m, normal	Falha	
ID_FA2FAGU06	ID_TTS200038	O6	299, 80NE			Filão	
ID_FA2FAGU07	ID_TTS200039	O1	295, 90			Filão	
ID_FA2FAGU08	ID_TTS200040	O1	337, 90			Filão	
ID_FA2FAGU09	ID_TTS200040	O2	341, 64NE			Filão	
ID_FA2FAGU10	ID_TTS200040	O3	301, 90			Filão	
ID_FA2FAGU11	ID_TTS200040	O4	303, 90			Filão	
ID_FA2FAGU12	ID_TTS200040	O5	337, 70NE			Filão	
ID_FA2FAGU13	ID_TTS200040	O6	297, 90			Filão	
ID_FA2FAGU14	ID_TTS200040	O7	337, 70SW			Falha	
ID_FA2FAGU15	ID_TTS200040	O8	321, 90			Filão	
ID_FA2FAGU16	ID_TTS200040	O9	317, 80NE			Filão	
ID_FA2FAGU17	ID_TTS200040	O10	293, 90			Filão	
ID_FA2FAGU18	ID_TTS200040	O11	293, 90			Filão	
ID_FA2FAGU19	ID_TTS200042	O1	293, 70NE			Falha	
ID_FA2FAGU20	ID_TTS200042	O2	303, 90			Filão	
ID_FA2FRIB01	ID_TTS200043	O1	301, 70SW	23, 129		Falha	Zona de falha
ID_FA2FRIB01	ID_TTS200043	O2	298, 84NE	1, 118		Falha	Zona de falha
ID_FA2FRIB01	ID_TTS200043	O3	298, 84NE	53, 111		Falha	Zona de falha
ID_FA2FRIB01	ID_TTS200043	O4	274, 68SW	30, 106		Falha	Zona de falha
ID_FA2FRIB01	ID_TTS200043	O5	274, 68SW	56, 129		Falha	Zona de falha
ID_FA2FRIB01	ID_TTS200043	O6	289, 70SW	24, 116		Falha	Zona de falha
ID_FA2FRIB01	ID_TTS200043	O7	284, 53SW			Falha	Zona de falha
ID_FA2FRIB01	ID_TTS200043	O8	301, 56SW	16, 130		Falha	Zona de falha
ID_FA2AWPV21	ID_TTS200044	O1	13, 90			Filão	
ID_FA2POVO02	ID_TTS200045	O1	328, 90		>0.20<0.30 m, normal	Falha	
ID_FA2AWPV22	ID_TTS200046	O1	326, 84SW			Falha	

Referência	Estação	Medição	Atitude	Estrias	Separação	Estrutura	Observações
ID_FA2AWPV23	ID_TTS200046	O2	293, 60N			Falha	
ID_FA2AWPV24	ID_TTS200047	O1	326, 70SW			Falha	
ID_FA2AWPV25	ID_TTS200048	O1	346, 85NE	70, 3		Falha	
ID_FA2AWPV26	ID_TTS200049	O1	303, 74NE			Falha	
ID_FA2AWPV27	ID_TTS200050	O1	313, 80SW			Filão	
ID_FA2AWPV28	ID_TTS200051	O1	323, 90			Filão	
ID_FA2AWPV29	ID_TTS200052	O1	323, 70SW		>1<1.5 m, normal	Falha	
ID_FA2SBAR01	ID_TTS200053	O1	299, 56NE			Falha	
ID_FA2SBAR01	ID_TTS200053	O2	323, 90	90, 13		Falha	
ID_FA2ARET03	ID_TTS200053	O3	301, 63NE			Filão	
ID_FA2ARET04	ID_TTS200053	O4	301, 64NE			Filão	
ID_FA2ARET05	ID_TTS200053	O5	308, 80SW			Falha	
ID_FA2ARET06	ID_TTS200053	O6	333, 90			Falha	
ID_FA2ARET07	ID_TTS200053	O7	328, 80NE			Filão	
ID_FA2ARET08	ID_TTS200053	O8	338, 82NE			Filão	
ID_FA2ARET09	ID_TTS200053	O9	330, 75NE			Filão	
ID_FA2ARET10	ID_TTS200053	O10	340, 80NE			Filão	
ID_FA2ARET11	ID_TTS200053	O11	90, 82N			Filão	
ID_FA2ARET12	ID_TTS200053	O12	306, 76NE			Filão	
ID_FA2ARET13	ID_TTS200053	O13	314, 80NE			Filão	
ID_FA2ARET14	ID_TTS200053	O14	328, 75NE			Filão	
ID_FA2ARET15	ID_TTS200053	O15	314, 90			Filão	
ID_FA2ARET16	ID_TTS200053	O16	313, 70NE			Filão	
ID_FA2ARET17	ID_TTS200054	O1	303, 90			Filão	
ID_FA2ARET18	ID_TTS200054	O2	318, 72NE			Filão	
ID_FA2ARET19	ID_TTS200054	O3	319, 74NE			Filão	
ID_FA2ARET20	ID_TTS200054	O4	296, 80NE			Filão	
ID_FA2ARET21	ID_TTS200054	O5	325, 82NE			Filão	
ID_FA2ARET22	ID_TTS200054	O6	301, 67NE			Filão	
ID_FA2ARET23	ID_TTS200054	O7	300, 70NE			Filão	
ID_FA2ARET01	ID_TTS200055	O1	305, 64NE	20, 116		Falha	
ID_FA2ARET24	ID_TTS200055	O2	359, 55E			Filão	
ID_FA2ARET25	ID_TTS200055	O3	329, 70NE			Filão	
ID_FA2ARET26	ID_TTS200055	O4	303, 80NE			Filão	
ID_FA2ARET27	ID_TTS200055	O5	310, 59SW			Falha	
ID_FA2ARET28	ID_TTS200055	O6	68, 70NW			Falha	
ID_FA2ARET29	ID_TTS200056	O1	300, 54SW	28, 141		Falha	
ID_FA2ARET30	ID_TTS200056	O2	292, 66N			Falha	
ID_FA2RQUE03	ID_TTS200057	O1	7, 80W			Falha	
ID_FA2RQUE04	ID_TTS200058	O1	66, 66NW	62, 11		Falha	
ID_FA2RQUE05	ID_TTS200059	O1	103, 72N			Falha	
ID_FA2RQUE06	ID_TTS200059	O2	93, 66N			Falha	
ID_FA2RQUE07	ID_TTS200059	O3	87, 90			Falha	
ID_FA2RQUE08	ID_TTS200059	O4	295, 85NE			Falha	
ID_FA2RQUE09	ID_TTS200060	O1	45, 56NW			Falha	Atitude medida à distância
ID_FA2LGOR01	ID_TTS200061	O1	85, 65S			Filão	
ID_FA2LGOR02	ID_TTS200061	O2	315, 85NE			Filão	
ID_FA2LGOR03	ID_TTS200061	O3	286, 80N			Filão	
ID_FA2LGOR04	ID_TTS200061	O4	303, 86NE			Filão	
ID_FA2LGOR05	ID_TTS200061	O5	312, 68NE			Filão	
ID_FA2LGOR06	ID_TTS200062	O1	321, 61NE	61, 51		Falha	
ID_FA2LGOR06	ID_TTS200062	O2	321, 61NE	41, 115		Falha	Plano difícil de individualizar
ID_FA2LGOR07	ID_TTS200062	O3	311, 56NE	40, 99		Falha	Plano difícil de individualizar
ID_FA2LGOR08	ID_TTS200063	O1	309, 85NE			Filão	
ID_FA2LGOR09	ID_TTS200063	O2	308, 64NE			Filão	
ID_FA2LGOR10	ID_TTS200063	O3	98, 78N			Filão	
ID_FA2LGOR11	ID_TTS200063	O4	296, 60NE			Filão	
ID_FA2LGOR12	ID_TTS200063	O5	291, 74S			Filão	
ID_FA2LGOR13	ID_TTS200063	O6	294, 86NE			Filão	
ID_FA2LGOR14	ID_TTS200063	O7	310, 85NE			Filão	
ID_FA2LGOR15	ID_TTS200063	O8	314, 50NE			Filão	
ID_FA2LGOR16	ID_TTS200063	O9	299, 90			Filão	
ID_FA2LGOR17	ID_TTS200063	O10	92, 80S			Filão	
ID_FA2LGOR18	ID_TTS200063	O11	309, 80S			Filão	
ID_FA2LGOR19	ID_TTS200063	O12	325, 86NE			Filão	
ID_FA2LGOR20	ID_TTS200063	O13	299, 45NE			Filão	
ID_FA2LGOR21	ID_TTS200063	O14	291, 50N			Filão	
ID_FA2LGOR22	ID_TTS200063	O15	310, 65NE			Filão	
ID_FA2LGOR23	ID_TTS200063	O16	312, 70NE			Filão	

Referência	Estação	Medição	Atitude	Estrias	Separação	Estrutura	Observações
ID_FA2LGOR24	ID_TTS200063	O17	293, 72NE			Filão	
ID_FA2LGOR25	ID_TTS200064	O1	68, 63SE	63, 158		Falha	Filão a preencher a falha FA2LGOR25
ID_FA2LGOR26	ID_TTS200064	O2	298, 75NE			Filão	
ID_FA2LGOR27	ID_TTS200064	O3	301, 90			Filão	
ID_FA2LGOR28	ID_TTS200064	O4	290, 80NE			Filão	
ID_FA2LGOR29	ID_TTS200064	O5	299, 80NE			Filão	
ID_FA2LGOR30	ID_TTS200064	O6	296, 85NE			Filão	
ID_FA2LGOR31	ID_TTS200064	O7	313, 80NE			Falha	
ID_FA2LGOR32	ID_TTS200064	O8	306, 80NE			Filão	
ID_FA2LGOR33	ID_TTS200064	O9	336, 83NE			Filão	
ID_FA2LGOR34	ID_TTS200064	O10	327, 83NE			Filão	
ID_FA2LGOR35	ID_TTS200064	O11	303, 74NE			Filão	
ID_FA2LGOR36	ID_TTS200065	O1	321, 64SE			Falha	
ID_FA2LGOR37	ID_TTS200066	O1	86, 66N			Filão	
ID_FA2LGOR38	ID_TTS200066	O2	287, 60NE			Filão	
ID_FA2LGOR39	ID_TTS200066	O3	289, 80NE			Filão	
ID_FA2FELI01	ID_TTS200066	O4	288, 64NE	64, 18	>15<20 m, normal	Falha	
ID_FA2LGOR40	ID_TTS200066	O5	98, 80N			Filão	
ID_FA2LGOR41	ID_TTS200066	O6	98, 70N			Filão	
ID_FA2LGOR42	ID_TTS200066	O7	292, 90			Filão	
ID_FA2LGOR43	ID_TTS200066	O8	98, 59N			Filão	
ID_FA2PARN01	ID_TTS200067	O1	79, 70N		0.20 m, normal	Falha	Falha a cortar um cone de piroclastos
ID_FA2PARN02	ID_TTS200067	O2	95, 80N		0.40 m, normal	Falha	
ID_FA2PARN03	ID_TTS200067	O3	93, 79N		0.20 m, normal	Falha	
ID_FA2LGOR44	ID_TTS200068	O1	76, 83S			Filão	
ID_FA2LGOR45	ID_TTS200068	O2	53, 90			Filão	
ID_FA2LGOR46	ID_TTS200068	O3	86, 80N			Filão	
ID_FA2LGOR47	ID_TTS200068	O4	98, 80N			Filão	
ID_FA2LGOR48	ID_TTS200068	O5	296, 90			Filão	
ID_FA2LBOT01	ID_TTS200069	O1	336, 83N			Falha	
ID_FA2LBOT01	ID_TTS200069	O2	318, 66NE			Falha	
ID_FA2LBOT02	ID_TTS200069	O3	314, 69NE			Falha	
ID_FA2LBOT03	ID_TTS200069	O4	323, 77SW			Falha	
ID_FA2LBOT04	ID_TTS200069	O5	312, 75NE		0.18 m, normal	Falha	
ID_FA2LBOT04	ID_TTS200069	O6	313, 60NE		0.18 m, normal	Falha	
ID_FA2LBOT05	ID_TTS200069	O7	314, 86SW		0.025 m, normal	Falha	
ID_FA2LBOT06	ID_TTS200069	O8	304, 78SW		0.13 m, normal	Falha	
ID_FA2LBOT07	ID_TTS200069	O9	342, 75SW		0.12 m, normal	Falha	
ID_FA2LBOT08	ID_TTS200069	O10	328, 75NE		0.32 m, normal	Falha	
ID_FA2LBOT09	ID_TTS200069	O11	316, 80SW		0.35 m, normal	Falha	
ID_FA2LBOT10	ID_TTS200069	O12	309, 90		0.13 m, vertical	Falha	
ID_FA2LBOT11	ID_TTS200069	O13	315, 90		0.30 m, normal	Falha	
ID_FA2LBOT12	ID_TTS200069	O14	313, 78NE		0.20 m, normal	Falha	
ID_FA2LBOT13	ID_TTS200069	O15	323, 80NE		0.73 m, normal	Falha	
ID_FA2LBOT14	ID_TTS200069	O16	326, 90		0.34 m, normal	Falha	Aparenta inversa, mas desligamento
ID_FA2LBOT14	ID_TTS200069	O17	336, 80SW		0.34 m, normal	Falha	Aparenta inversa, mas desligamento
ID_FA2LBOT14	ID_TTS200069	O18	328, 90		0.34 m, normal	Falha	Aparenta inversa, mas desligamento
ID_FA2LBOT15	ID_TTS200069	O19	297, 76SW		Normal	Falha	
ID_FA2LBOT16	ID_TTS200069	O20	350, 90			Falha	Sentido movimento dado pela S ₀
ID_FA2LBOT16	ID_TTS200069	O21	345, 90			Falha	Sentido movimento dado pela S ₀
ID_FA2LESP01	ID_TTS200070	O1	328, 65SW			Falha	
ID_FA2AGRI01	ID_TTS200071	O1	318, 70SW			Falha	
ID_FA2ACHA01	ID_TTS200072	O1	332, 70NE			Filão	
ID_FA2ACHA02	ID_TTS200072	O2	340, 90			Filão	
ID_FA2SANT01	ID_TTS200073	O1	360, 90			Filão	
ID_FA2ASSO01	ID_TTS200074	O1	28, 90			Filão	
ID_FA2NORD01	ID_TTS200075	O1	40, 76SW			Falha	

A informação resultante da observação de planos estriados não é muito abundante, devido ao facto de existirem poucos afloramentos expondo os planos de falha e à natureza dos materiais afectados aflorantes. Foi possível medir estrias em escoadas lávicas e noutros materiais vulcânicos quando o grau de alteração era significativo (transformados em argilas); por vezes, apesar do plano de falha não se encontrar naturalmente exposto, conseguia-se observá-lo removendo o material de um dos blocos com a ajuda de uma faca. Este procedimento exige alguma cautela para não originar falsas estrias no plano exposto ou apagar eventuais estrias presentes.

De seguida apresenta-se a análise cinemática de tais estruturas.

➤ Estação 5 – Falha da Saibreira de Água Retorta (ID_FA2SBAR01)

A Falha da Saibreira de Água Retorta foi primeiramente observada e cartografada na área de Água Retorta, na estrada secundária em direcção ao Faial da Terra (foto 4.1).



Foto 4.1 – Falha da Saibreira de Água Retorta observada na E5, correspondente à parede da pedreira.

A morfologia da área envolvente sugere que este acidente se estende para SE até ao litoral, onde voltou a ser observado (E53) (foto 4.2); para NW desaparece junto ao vale da Ribeira do Faial da Terra. Está marcado pela vertente NE, abrupta, do relevo em que se localiza o vértice geodésico de Água Retorta (fig. 4.4), apresentando, deste modo, uma extensão superior a 2.9 km.



Foto 4.2 - Falha da Saibreira de Água Retorta observada na E53, correspondente à linha de água.

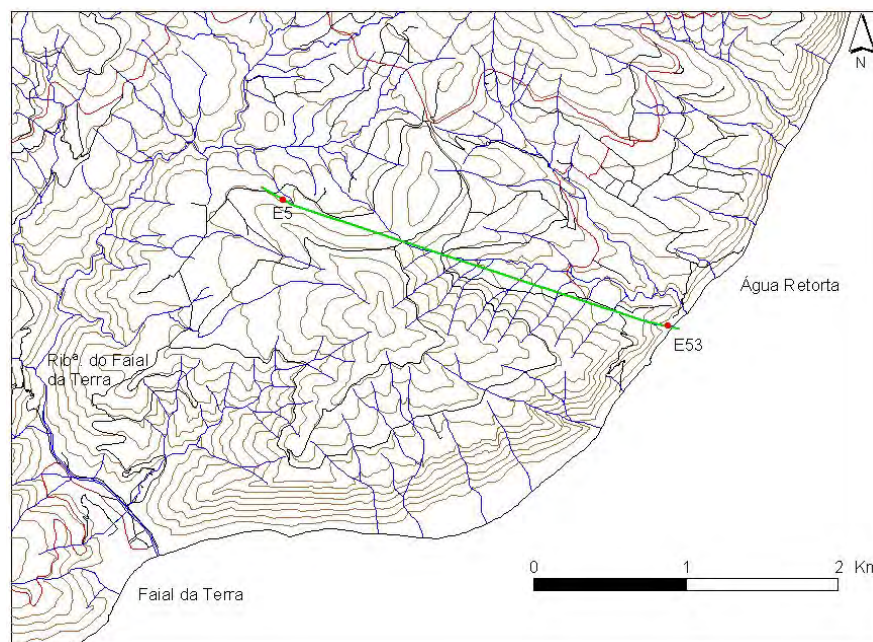


Fig. 4.4 – Localização cartográfica da Falha da Saibreira de Água Retorta (a verde), com a localização das estações em que foi observada.

De NW para SE a direcção da falha oscila entre 310° (E5) e 299° (E53), mergulhando para NE (59° na E5 e 56° na E53). As estrias medidas (foto 4.3) indicam uma movimentação oblíqua normal esquerda (fig. 4.5).

Não foi possível medir a separação normal, mas esta será bastante grande (dezenas a centenas de metros). Contudo, devido ao facto da vegetação ser muito densa na E53, não foram reconhecidos níveis de referência.



Foto 4.3 - Estrias medidas na E5, em que a lapiseira marca a linha de declive máximo do plano de falha.

Tabela 4.2 – Medições efectuadas na E5.

Referência	Medição	Atitude	Estrias	Cinemática
ID_FA2SBAR01	O1	$310^\circ, 59^\circ\text{NE}$	$45^\circ, 344^\circ$	Normal esquerda
	O2		$59^\circ, 27^\circ$	Normal
	O3		$31^\circ, 328^\circ$	Esquerda normal

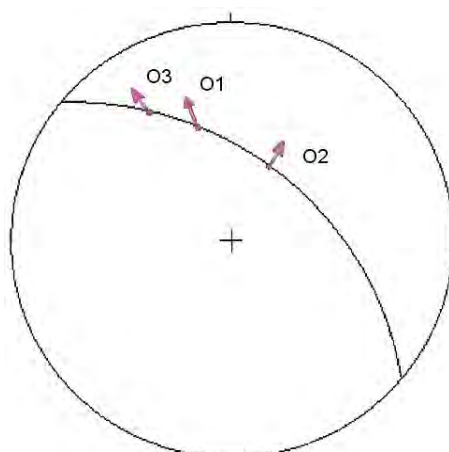


Fig. 4.5 – Estereograma do plano de falha e respectivas estrias, medidos na E5 (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

➤ Estação 27 – Falha Arribas W da Povoação 8 (ID_FA2AWPV08)

Este plano de falha apenas se encontra exposto na arriba litoral a W da vila da Povoação (foto 4.4), não sendo possível prolongá-lo para o interior, dado a morfologia do terreno nada sugerir.



Foto 4.4 – Plano de falha observado na E27, nas arribas a W da vila da Povoação.

As estrias medidas indicam movimentação oblíqua em falha normal e esquerda ou esquerda normal (fig. 4.6). Apresenta uma separação aparente de, pelo menos, 10 metros dada por um nível de cozimento de cor laranja que, no bloco abatido, aflora na base da arriba.

Tabela 4.3 – Medições efectuadas na E27.

Referência	Medição	Atitude	Estrias	Cinemática
ID_FA2AWPV08	O1	294°, 70°SW	47°, 137°	Normal esquerda
	O2		13°, 118°	Esquerda normal

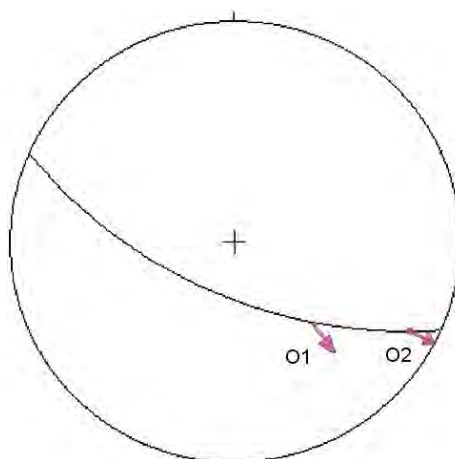


Fig. 4.6 – Estereograma do plano de falha da E27 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

➤ Estação 28 – Falha do Plano Exposto (ID_FA2PEXP01)

À semelhança da estação 27, o plano de falha apenas se encontra exposto na arriba litoral a W da vila da Povoação (foto 4.5), não sendo possível segui-lo para o interior.

Não foi possível quantificar a separação, pois, mais uma vez, a vegetação, bastante densa, não possibilitou reconhecer os níveis de referência no bloco NE. Porém, as estrias medidas indicam uma movimentação em desligamento esquerdo associada a componente normal (fig. 4.7).



Foto 4.5 – Plano de falha observado na E28, nas arribas a W da vila da Povoação.

Tabela 4.4 – Medições efectuadas na E28.

Referência	Medição	Atitude	Estria	Cinemática
ID_FA2PEXP01	O1	323°, 70°SW	20°, 151°	Esquerda normal

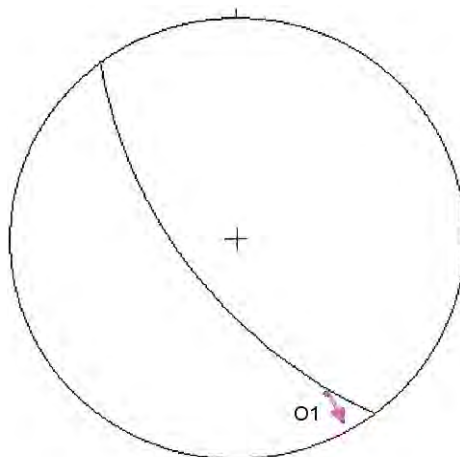


Fig. 4.7 – Estereograma do plano de falha da E28 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*®, versão 9.2).

- Estação 32 – Falha Arribas W da Povoação 12 (ID_FA2AWPV12) e Falha Arribas W da Povoação 14 (ID_FA2AWPV14)

O acidente (O1) observado nesta estação só se encontra exposto na arriba litoral a W da vila da Povoação (foto 4.6) e, mais uma vez, não foi possível segui-lo para o interior.



Foto 4.6 - Plano de falha observado na E32, nas arribas a W da vila da Povoação.

Apresenta separação normal aparente da ordem dos 4.5 metros, dada pelo deslocamento de dois níveis de cozimento de cor laranja. As estrias medidas (foto 4.7) indicam cinemática em desligamento esquerdo e normal (fig. 4.8).

Nesta mesma estação foi, também, observada uma microfalha (O3) cujas estrias indicam movimentação normal esquerda, apresentando cerca de 24 cm de separação normal.



Foto 4.7 - Estrias medidas na estação 32, em que a lapiseira marca a horizontal.

Tabela 4.5 – Medições efectuadas na E32.

Referência	Medição	Atitude	Estria	Cinemática
ID_FA2AWPV12	O1	353°, 66°WSW	25°, 184°	Esquerda normal
ID_FA2AWPV14	O3	339°, 68°WSW	64°, 212°	Normal esquerda

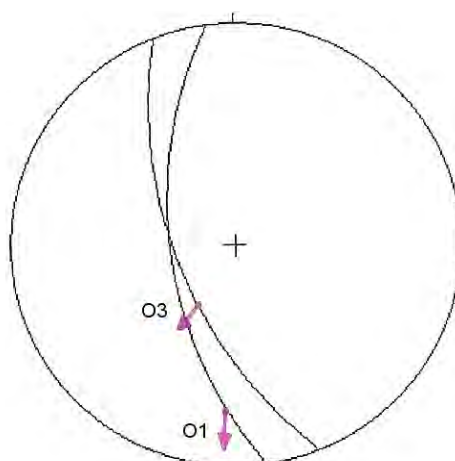


Fig. 4.8 - Estereograma do plano de falha da E32 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

➤ Estação 43 – Falha da Ribeira (ID_FA2FRIB01)

Este acidente tectónico corresponde a uma zona de falha com vários planos (foto 4.8), que aflora na arriba litoral imediatamente a W da ribeira que separa a Lomba do Cavaleiro da Lomba do Carro, na vila da Povoação.



Foto 4.8 – Zona de falha observada na E43.

Apesar de apenas aflorar nesta estação, verifica-se que, seguindo o prolongamento desta para NW, encontra-se um troço de linha de água quase rectilíneo e colinear com a falha, podendo-se inferir a continuidade desta estrutura (fig. 4.9). Apresenta uma extensão de 2.6 km, aproximadamente.

As estrias medidas indicam movimentação oblíqua com componente de desligamento esquerdo dominante associada a componente normal (fig. 4.10). Verificou-se, contudo, a presença de um plano de movimento com direcção semelhante mas sentido de movimento aparentemente oposto (observações O2 e O3). Dada a forte inclinação deste plano de falha, a movimentação direita pode resultar de uma inversão local do sentido de inclinação do plano.

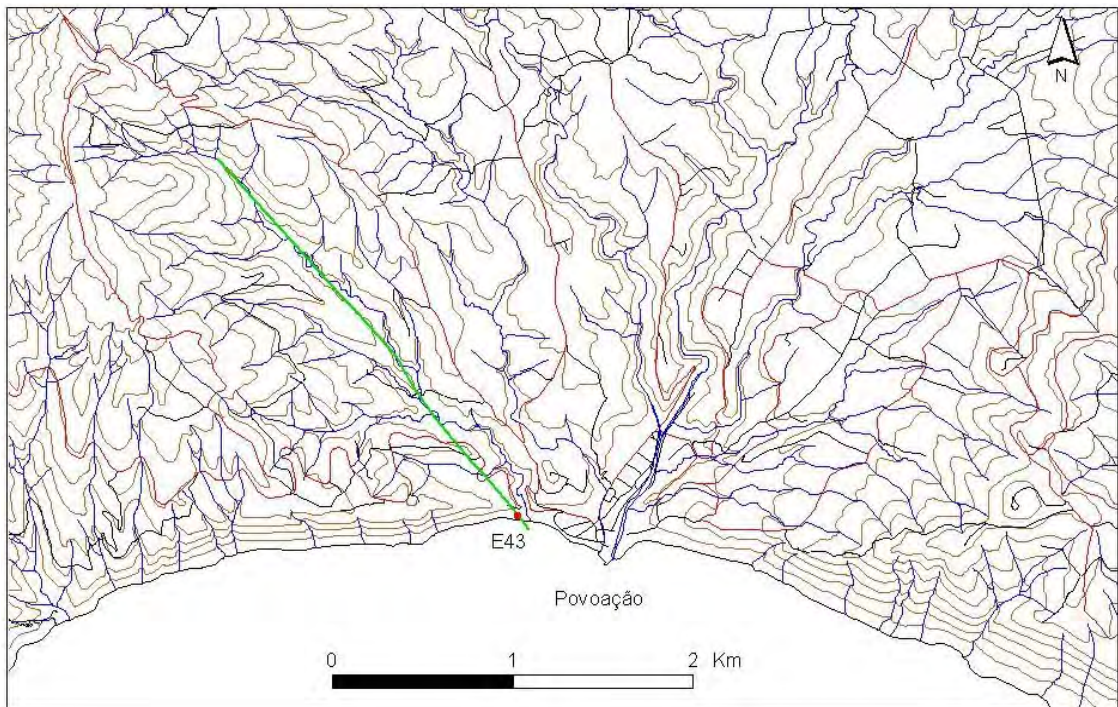


Fig. 4.9 – Representação cartográfica da Falha da Ribeira (a verde), com a localização da estação em que foi observada.

Não foi possível determinar com exactidão a separação aparente devido às razões já mencionadas; contudo, esta será da ordem das dezenas de metros.

Tabela 4.6 – Medições efectuadas na E43.

Referência	Medição	Atitude	Estrias	Cinemática
ID_FA2FRIB01	O1	301°, 70°SW	23°, 129°	Esquerda normal
	O2	298°, 84°NE	1°, 118°	Direita
	O3		53°, 111°	Direita normal
	O4	274°, 68°S	30°, 106°	Esquerda normal
	O5		56°, 129°	Esquerda normal
	O6	289°, 70°SW	24°, 116°	Esquerda normal
	O8	301°, 56°SW	16°, 130°	Esquerda normal

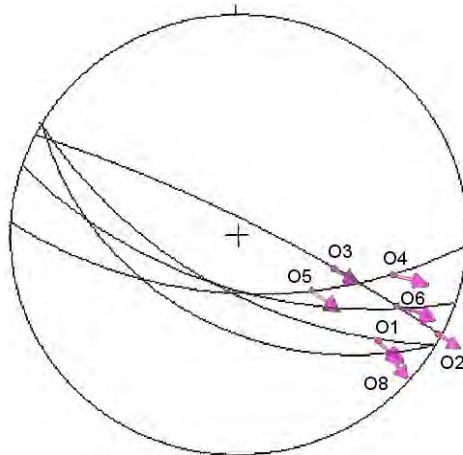


Fig. 4.10 - Estereograma dos planos de falha da E43 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

➤ Estação 48 – Falha Arribas W da Povoação 25 (ID_FA2AWPV25)

O plano de falha apenas se encontra exposto na arriba litoral a W da vila da Povoação (foto 4.9), não sendo possível prolongar este acidente para o interior pelas razões já mencionadas.



Foto 4.9 - Plano de falha observado na E48, nas arribas a W da vila da Povoação.

Também não foi possível determinar a separação aparente. Contudo, um nível de cozimento de cor laranja encontra-se arrastado, pelo menos, 5 metros em falha

normal (foto 4.9). Com efeito, as estrias medidas indicam movimentação oblíqua com componente normal associada a uma componente de desligamento esquerdo (fig. 4.11).

Tabela 4.7 – Medições efectuadas na E48.

Referência	Medição	Atitude	Estrias	Cinemática
ID_FA2AWPV25	O1	346°, 85°ENE	70°, 3°	Normal esquerda

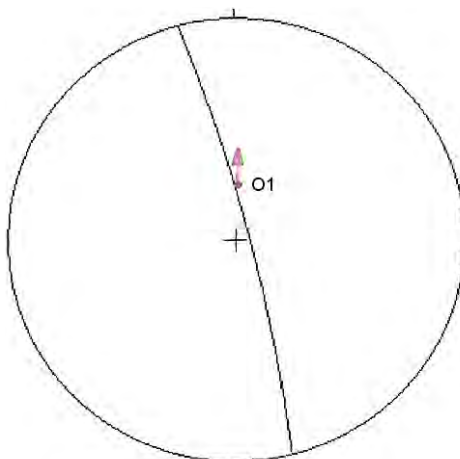


Fig. 4.11 - Estereograma do plano de falha da E48 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*®, versão 9.2).

➤ Estação 55 – Falha Água Retorta 1 (ID_FA2ARET01)

Este plano de falha encontra-se perfeitamente exposto nas arribas litorais a SE da vila de Água Retorta (Foto 4.10).

A morfologia da área envolvente sugere, contudo, que este acidente se estende para NW, correspondendo à vertente SW da Serra da Tronqueira (fig. 4.12). Passa imediatamente a NE da vila de Água Retorta e segue pela estrada principal que liga esta vila à Povoação, onde já tinha sido observada uma falha com a mesma orientação (322°, 70°SW), mas inclinada em sentido oposto (E3) (foto 4.11); contudo, ambas as inclinações são próximas da vertical, pelo que podem corresponder a pequenas variações do plano de falha ou, esta segunda, corresponder a uma falha associada ao acidente principal. Para NW desaparece

junto ao relevo da Serra da Tronqueira. Apresenta, deste modo, uma extensão superior a 4.3 km.



Foto 4.10 - Falha Água Retorta 1 observada na E55.

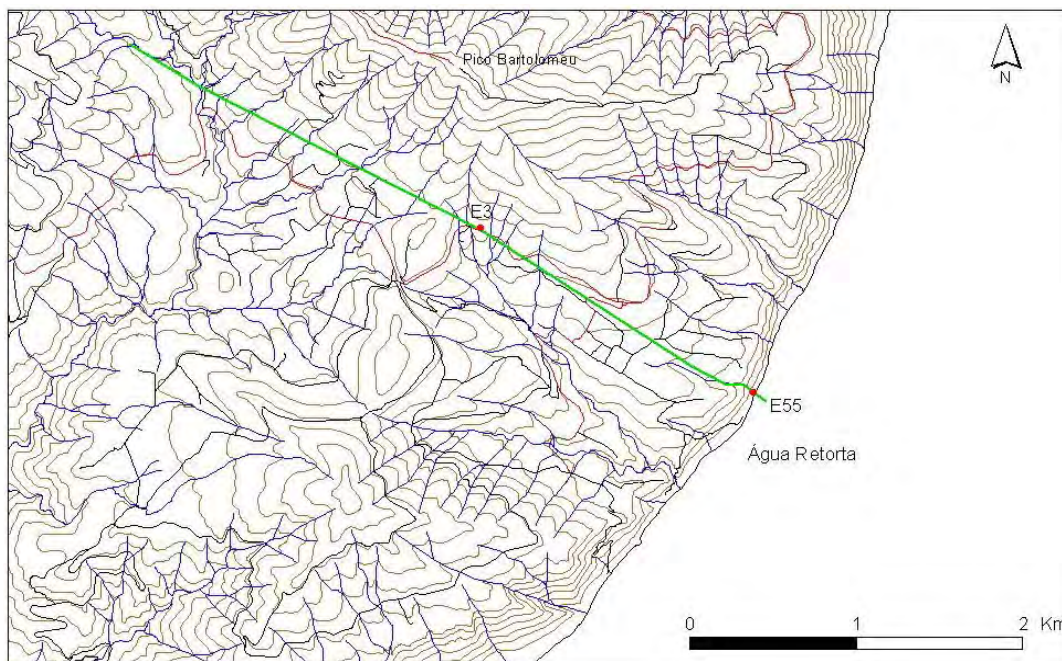


Fig. 4.12 – Cartografia da Falha Água Retorta 1 (a verde), com a localização das estações em que foi observada.



Foto 4.11 - Falha Água Retorta 1 observada na E3.

As estrias medidas nesta estação indicam movimentação oblíqua em desligamento direito com componente normal associada (fig. 4.13).

Tabela 4.8 – Medições efectuadas na E55.

Referência	Medição	Atitude	Estrias	Cinemática
ID_FA2ARET01	O1	305°, 64°NE	20°, 116°	Direita normal

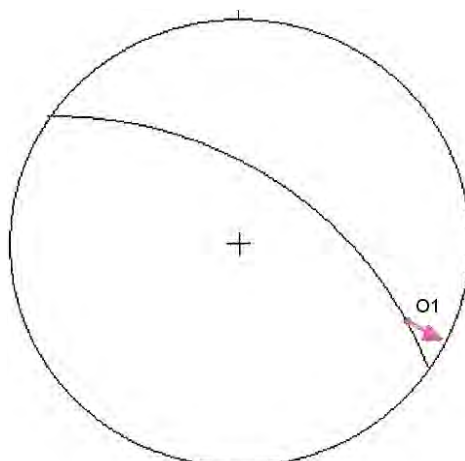


Fig. 4.13 - Estereograma do plano de falha da E55 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*®, versão 9.2).

➤ Estação 56 – Falha Água Retorta 29 (ID_FA2ARET29)

Esta falha apenas se encontra exposta nas arribas litorais a SE da vila de Água Retorta (foto 4.12), não se observando continuidade para o interior. Nesta estação verifica-se a presença de duas falhas normais conjugadas (fig. 4.14), das quais numa foram observadas estrias que evidenciam componente de desligamento esquerdo (fig. 4.15). O nível de referência corresponde a um nível de cozimento de cor amarela.



Foto 4.12 – Falha observada na E56, nas arribas litorais a SE da vila de Água Retorta.

Tabela 4.9 – Medições efectuadas na E56.

Referência	Medição	Atitude	Estrias	Cinemática
ID_FA2ARET29	O1	300°, 54°SW	28°, 141°	Esquerda normal

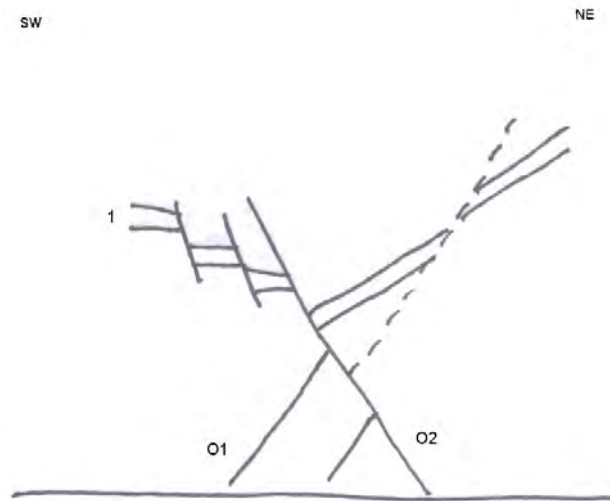


Fig. 4.14 - Corte esquemático das falhas conjugadas observadas. Legenda: 1 – Nível de referência correspondente a um nível de cozimento de cor amarela.

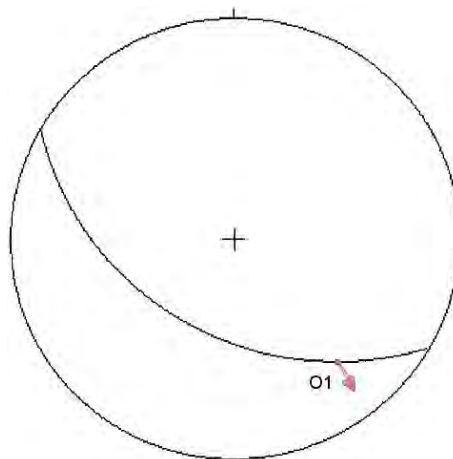


Fig. 4.15 - Estereograma do plano de falha da E56 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

➤ Estação 58 – Falha Ribeira Quente 4 (ID_FA2RQUE04)

Este plano de falha foi observado na estrada que liga a vila das Furnas à Ribeira Quente (foto 4.13).

Analisando a morfologia do terreno envolvente verifica-se que, para ENE, esta estrutura coincide com um troço de linha de água rectilíneo, pelo que se pode inferir a continuidade desta (fig. 4.16). Contudo, o seu traçado cartográfico é bastante

sinuoso, devido à topografia acidentada da região que atravessa. Para SW poderá prolongar-se em direcção a uma antiga cicatriz de movimento de massa, a norte da vila Ribeira Quente (fig. 4.16). Apresenta assim, uma extensão de, pelo menos, 2.8 km.



Foto 4.13 – Plano de falha observado na E58.

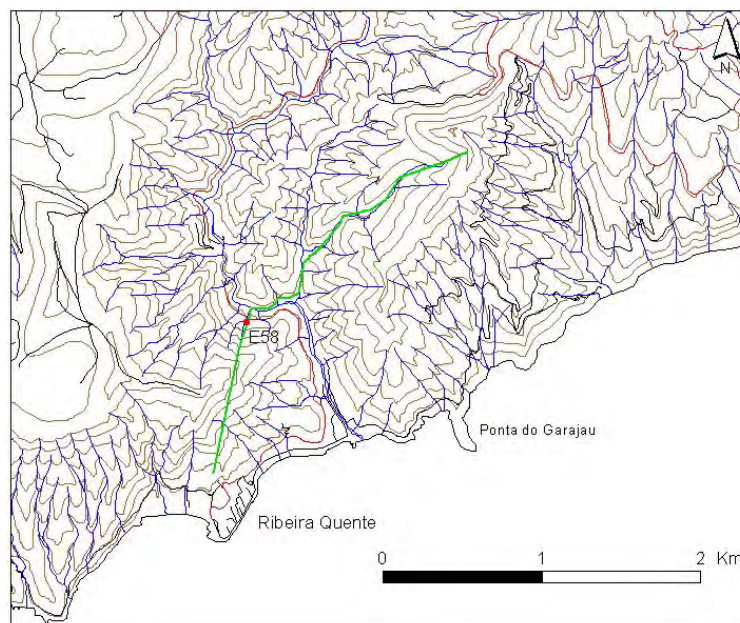


Fig. 4.16 – Cartografia da Falha Ribeira Quente 4 (a verde), com a localização da estação em que foi observada.

As estrias medidas indicam movimentação oblíqua em falha normal com uma componente de desligamento direito associada (fig. 4.17).

Tabela 4.10 – Medições efectuadas na E58.

Referência	Medição	Atitude	Estrias	Cinemática
ID_FA2RQUE04	O1	66°, 66°NW	62°, 11°	Normal direita

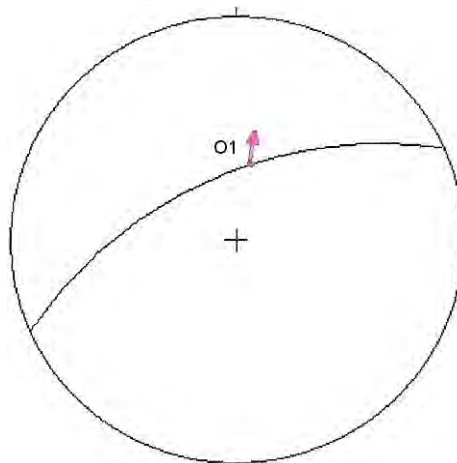


Fig. 4.17 - Estereograma do plano de falha da E58 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

- Estação 62 – Falhas Lombo Gordo 6 (ID_FA2LGOR06) e Lombo Gordo 7 (ID_FA2LGOR07)

As falhas que se seguem apenas foram observadas na arriba litoral a sul da Fajã do Lombo Gordo (fotos 4.14 e 4.15), não tendo sido observadas expressões morfológicas para o interior.

Como não existem marcadores estratigráficos não foi possível determinar a separação aparente. As estrias medidas indicam, para ambas, componente normal associada a desligamento direito (fig. 4.18).



Foto 4.14 - Falhas observadas na E62.



Foto 4.15 – Pormenor do plano da falha O1.

Tabela 4.11 – Medições efectuadas na E62.

Referência	Medição	Atitude	Estrias	Cinemática
ID_FA2LGOR06	O1	321°, 61°NE	61°, 51°	Normal
	O2		41°, 115°	Direita normal
ID_FA2LGOR07	O3	311°, 56°NE	40°, 99°	Direita normal

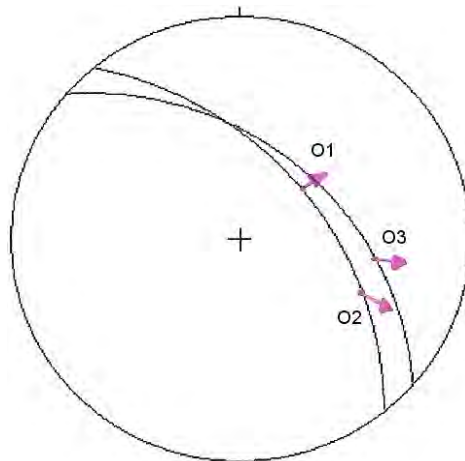


Fig. 4.18 - Estereograma dos planos de falha da E62 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*®, versão 9.2).

➤ Estação 64 – Falha Lombo Gordo 25 (ID_FA2LGOR25)

O plano de falha observado tem grande expressão morfológica na arriba litoral entre Água Retorta e a Fajã do Lombo Gordo (foto 4.16); para o interior não é tão evidente, pois desaparece junto à Serra da Tronqueira. Nesta estação observaram-se numerosos filões basálticos, um dos quais se encontra intruído na falha.



Foto 4.16 – Plano de falha observado na E64.

Não foi possível determinar a separação aparente, devido à ausência de marcadores estratigráficos; as estrias medidas indicam movimentação em falha normal pura (fig. 4.19).

Tabela 4.12 – Medições efectuadas na E64.

Referência	Medição	Atitude	Estrias	Cinemática
ID_FA2LGOR25	O1	68°, 63°SE	63°, 158°	Normal

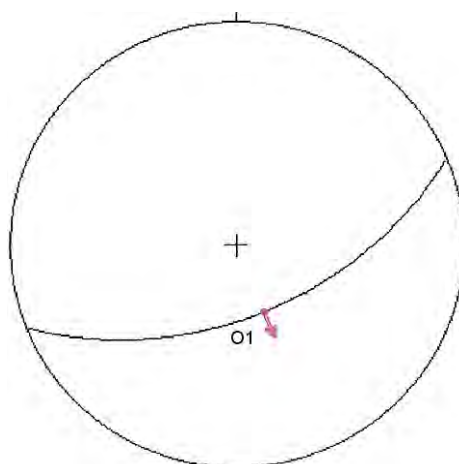


Fig. 4.19 - Estereograma do plano de falha da E64 e respectivas estrias (hemisfério inferior da rede de Schmidt, utilizando o programa *Georient*[®], versão 9.2).

A análise das projecções estereográficas mostra que a tectónica da região é caracterizada pela ocorrência de acidentes de direcção WNW-ESE a NW-SE com movimentações oblíquas esquerda normal (E5, E27, E28, E43 e E56), um grupo menos representativo de direcção NE-SW com movimentação oblíqua direita normal (E58), falhas de direcção WNW-ESE a NW-SE com movimentações oblíquas direita normal (E55 e E68) e estruturas de direcção NNW-SSE com movimentações oblíquas esquerda normal (E32 e E48). Outro facto a salientar é o sentido de inclinação dos acidentes observados. Cada uma destas famílias é constituída por dois conjuntos de falhas com inclinações fortes (50-85°) mergulhando em sentidos opostos.

Se as estruturas corresponderem a pares conjugados (WNW-ESE a NW-SE esquerdas normais com NE-SW direitas normais e WNW-ESE a NW-SE direitas

normais com NNW-SSE esquerdas normais), verifica-se a presença de duas populações de falhas incompatíveis com um mesmo campo de tensões (fig. 4.20).

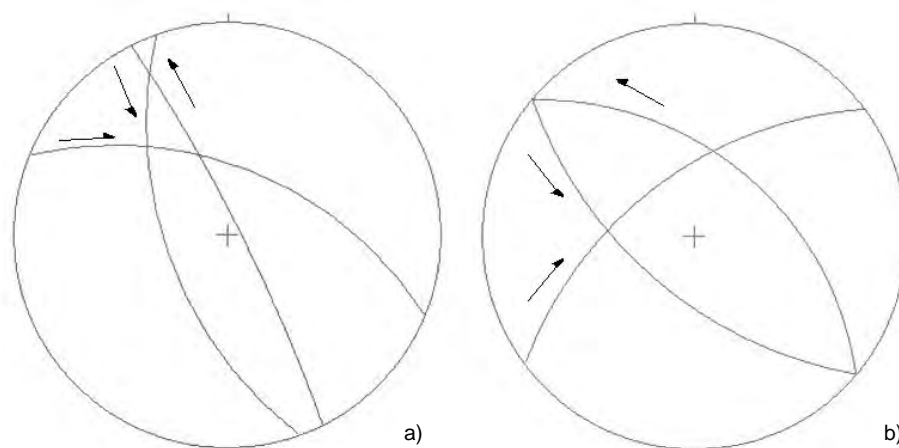


Fig. 4.20 – Duas populações conjugadas incompatíveis: a) estruturas WNW-ESE direitas normais conjugadas de estruturas NNW-SSE esquerdas normais (dados das E32, E48 e E55); b) falhas WNW-ESE a NW-SE esquerdas normais conjugadas de falhas NE-SW direitas normais (dados das E5, E28 e E58).

As duas populações ocorrem conjuntamente, não parecendo haver qualquer correlação com um campo local associado a diferentes edifícios vulcânicos.

4.1.2 Filões

A região estudada é cortada por uma densa rede de filões, dos quais se determinou a atitude de 128. Cerca de 77% dos filões medidos apresenta direcção entre $N10^{\circ}W$ e $N70^{\circ}W$, com inclinações fortes a subverticais (60 a 90°) (fig. 4.21). Os restantes 23% distribuem-se pelos outros sectores.

Analisando a distribuição espacial das atitudes dos filões verifica-se que esta não é homogénea, isto é, as direcções mudam de local para local. Deste modo, procedeu-se a uma análise por sectores através de três processos: projecção estereográfica, diagrama de densidade de polos e histograma circular de frequências não ponderadas.

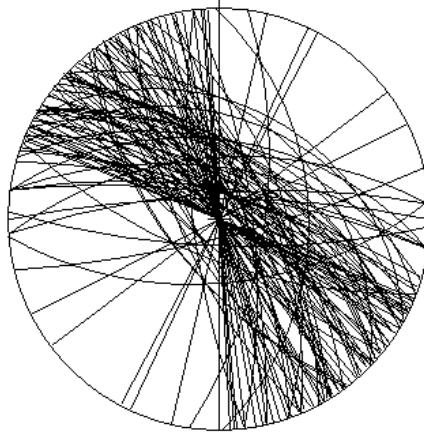


Fig. 4.21 – Projecção estereográfica de todos os filões medidos (n=128).

➤ Povoação

Neste sector encontram-se os filões medidos entre as Furnas e a Povoação. Aqui os filões apresentam direcção geral NW-SE (N20-70°W) com fortes inclinações (70-90°) (figs. 4.22 e 4.23). Através da análise do histograma circular (fig. 4.23a) e do diagrama de densidade de polos (fig 4.23b) é evidente o predomínio dos filões com direcções NW-SE e inclinações próximas da vertical. Verificam-se dois pequenos picos centrados nas direcções N6°W e N56°E.

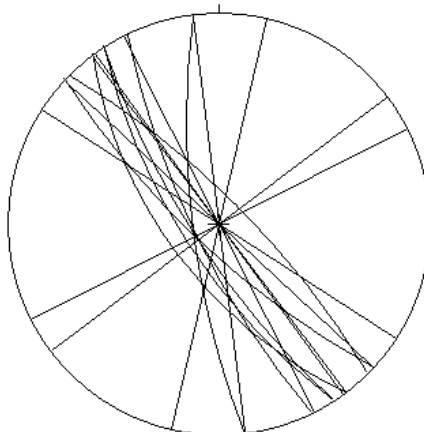


Fig. 4.22 – Projecção estereográfica dos filões medidos entre as Furnas e a Povoação (n=20).

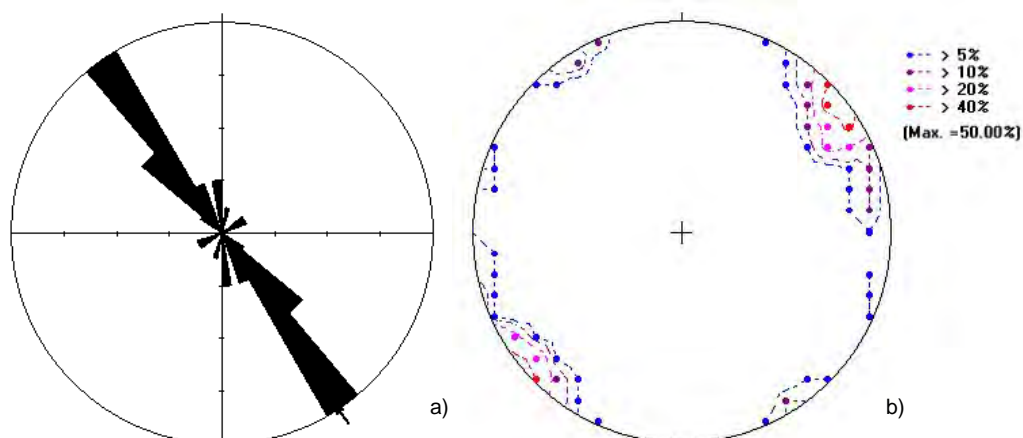


Fig. 4.23 – Análise estatística dos filões medidos no sector da Povoação: a) Histograma circular de frequências não ponderadas das direcções; b) Estereograma da densidade de polos dos filões (20 polos).

➤ Faial da Terra

No Faial da Terra mediram-se filões com direcções NNW-SSE (N5-20°W), com inclinações fortes a subverticais (70-90°) (figs. 4.24 e 4.25). Procedendo a uma análise estatística (fig. 4.25) verifica-se que a direcção dominante é NNW-SSE com inclinações fortes a subverticais.

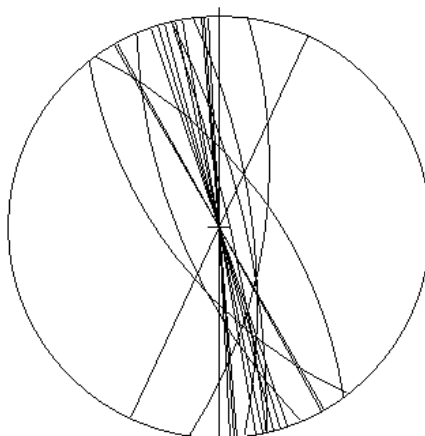


Fig. 4.24 - Projecção estereográfica dos filões medidos no Faial da Terra (n=23).

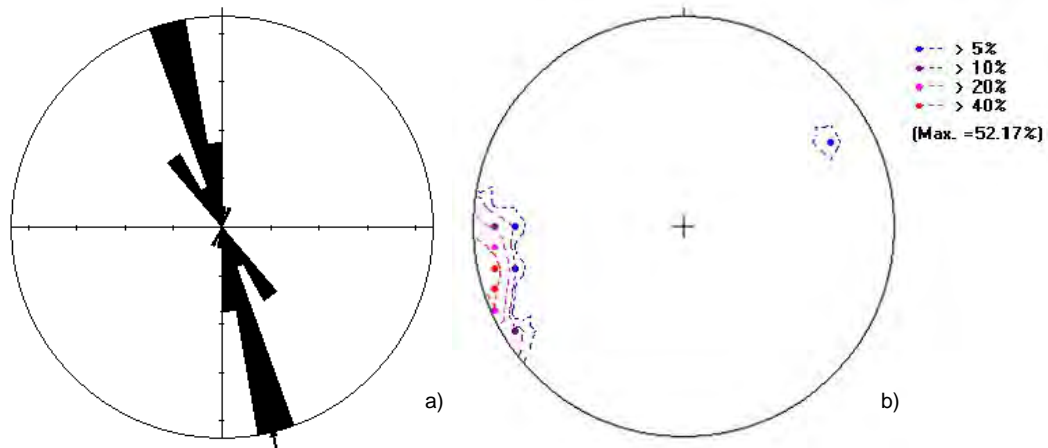


Fig. 4.25 - Análise estatística dos filões medidos no sector do Faial da Terra: a) Histograma circular de frequências não ponderadas das direcções; b) Estereograma da densidade de polos dos filões (23 polos).

➤ Água Retorta

Nesta zona, os filões medidos apresentam direcção dominante NW-SE (N20-65°W) com inclinações fortes a subverticais (60-90°) (figs. 4.26 e 4.27). Através da análise do histograma circular (fig. 4.27a) e do diagrama de densidade de polos (fig 4.27b) é evidente o predomínio dos filões com direcções NW-SE e inclinações fortes a subverticais.

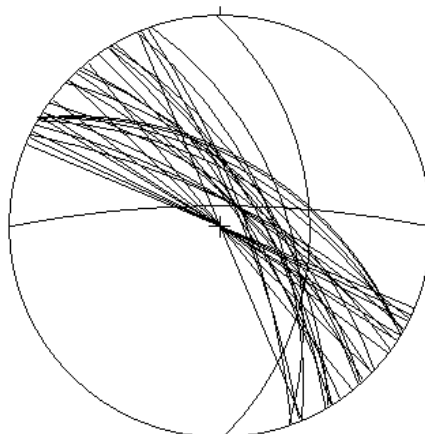


Fig. 4.26 - Projecção estereográfica dos filões medidos em Água Retorta (n=37).

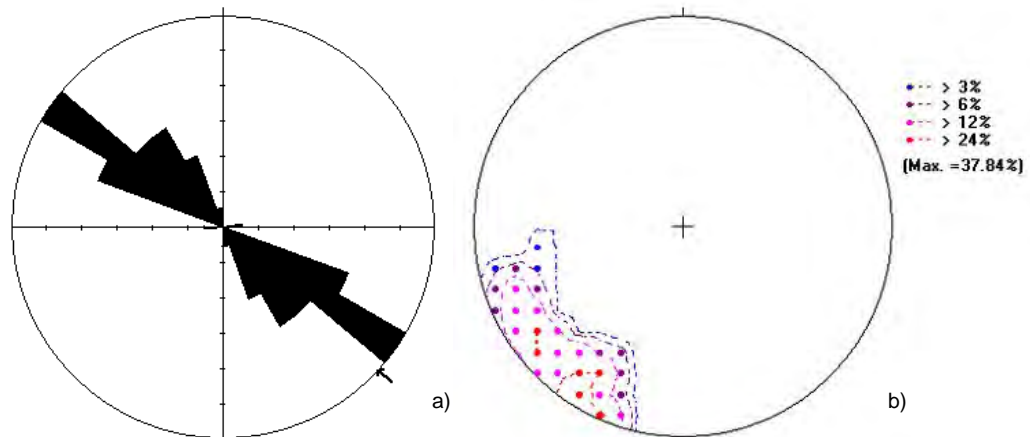


Fig. 4.27 - Análise estatística dos filões medidos no sector de Água Retorta: a) Histograma circular de frequências não ponderadas das direcções; b) Estereograma da densidade de polos dos filões (37 polos).

➤ Nordeste

Na região do Nordeste a direcção dominante é NW-SE a WNW-ESE (N24-85°W), verificando-se um enriquecimento em filões de direcção ENE-WSW a NE-SW. As inclinações variam entre 50 e 90° (figs. 4.28 e 4.29). Através da análise estatística comprova-se que, neste sector, os filões apresentam uma direcção dominante NW-SE a WNW-ESE (fig. 4.29).

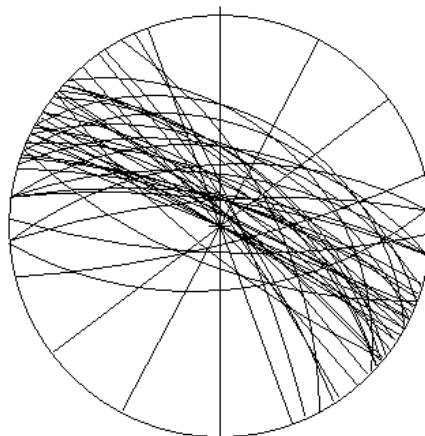


Fig. 4.28 - Projecção estereográfica dos filões medidos na região do Nordeste (n=48).

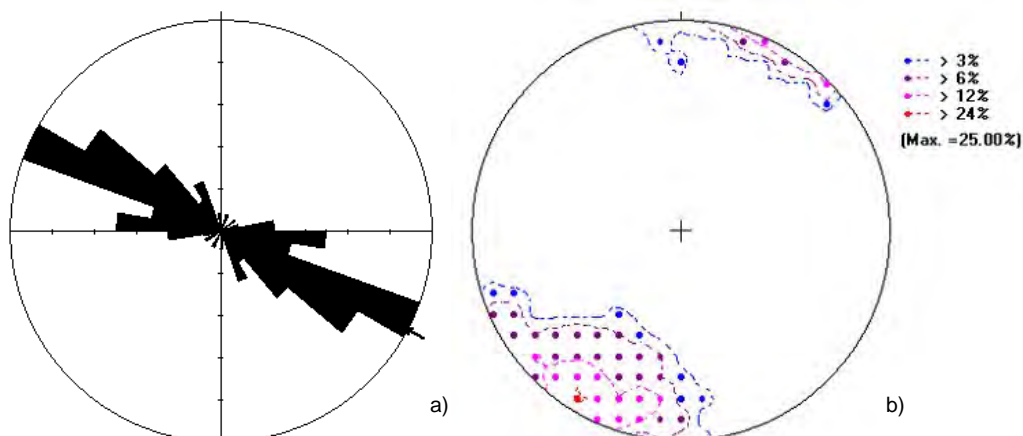


Fig. 4.29 - Análise estatística dos filões medidos no sector do Nordeste: a) Histograma circular de frequências não ponderadas das direcções; b) Estereograma da densidade de polos dos filões (48 polos).

4.1.3 Interpretação dos dados

Verifica-se que a distribuição espacial das atitudes dos filões (fig. 4.30) não é homogénea no Vulcão do Nordeste, pois parecem dispôr-se radialmente em torno do edifício vulcânico: no sector do Faial da Terra as direcções dominantes são NNW-SSE (fig. 4.24), passando a NW-SE em Água Retorta (fig. 4.26) e aproximando-se de W-E no Nordeste (4.28). Isto demonstra que estes correspondem a estruturas vulcânicas locais, dispostos radialmente.

No sector da Povoação as direcções dominantes são NW-SE (fig. 4.22), incompatíveis com o campo radial do Nordeste. Este sistema filoniano poderá pertencer ao edifício vulcânico das Furnas.

Contudo, em toda a região de estudo verifica-se um paralelismo entre as atitudes das falhas e dos filões, pois muitos deles apresentam a direcção regional. Assim, estes últimos (e provavelmente uma parte dos outros) terão intruído em fracturas geradas pelo campo de tensões regional.

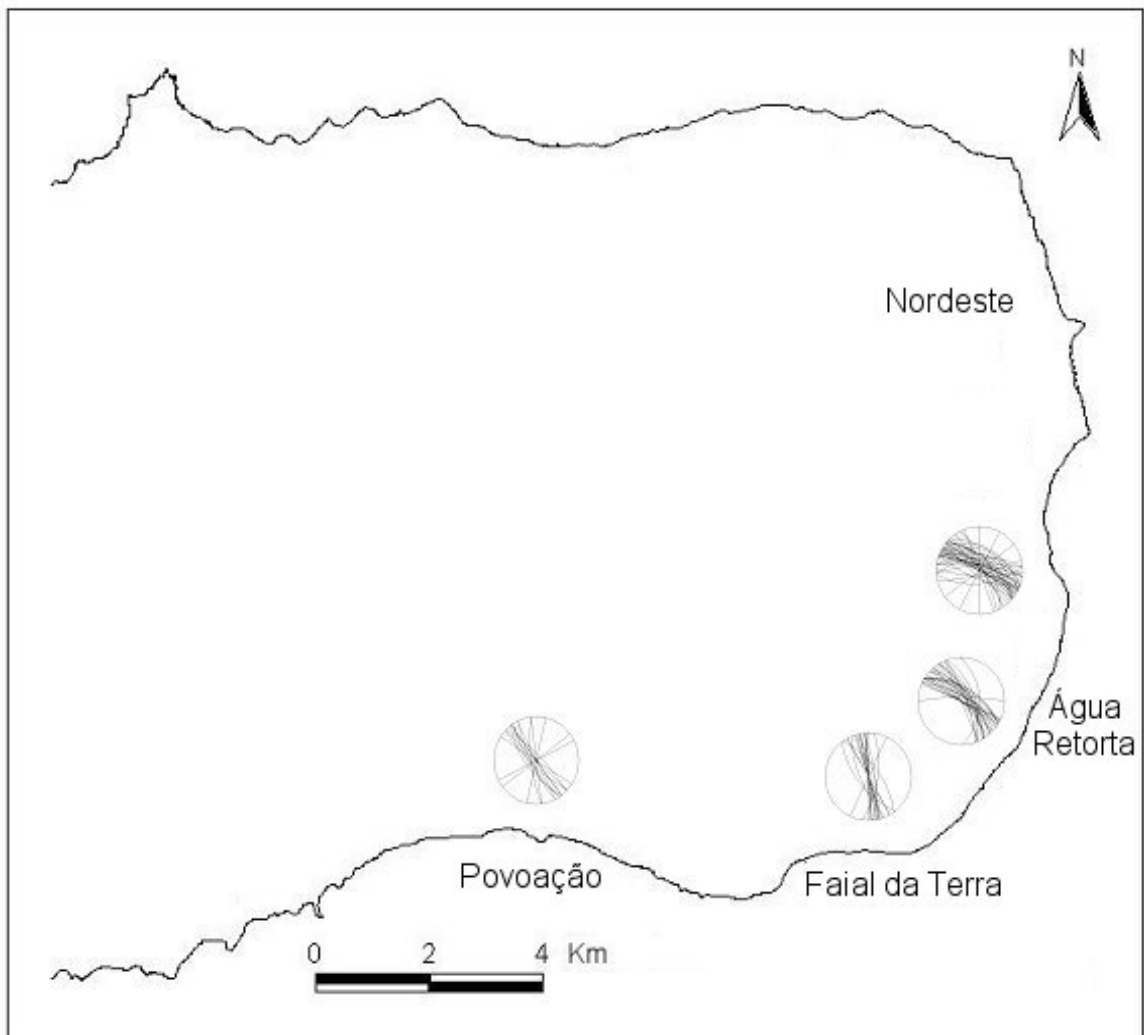


Fig. 4.30 – Carta com a distribuição das orientações dos filões pelos vários sectores.

O facto de existirem quatro conjuntos de falhas com movimentação oblíqua, duas normais direitas inclinando em sentidos opostos e duas normais esquerdas também com dois sentidos de mergulho, é indicador de deformação tridimensional (Reches, 1983). Em cada par o desligamento tem necessariamente o mesmo sentido, isto é, um par tem componente esquerda enquanto que no outro o movimento é dextrógiro.

A teoria da deformação tridimensional (Reches, 1983) mostra que, perante tal situação, pode-se formar uma a quatro famílias de falhas por acção do mesmo campo de tensões, sendo o caso mais geral, quatro famílias constituindo dois pares

conjugados. Em cada par as falhas têm a mesma direcção e inclinação mas mergulham em sentidos opostos (fig. 4.31).

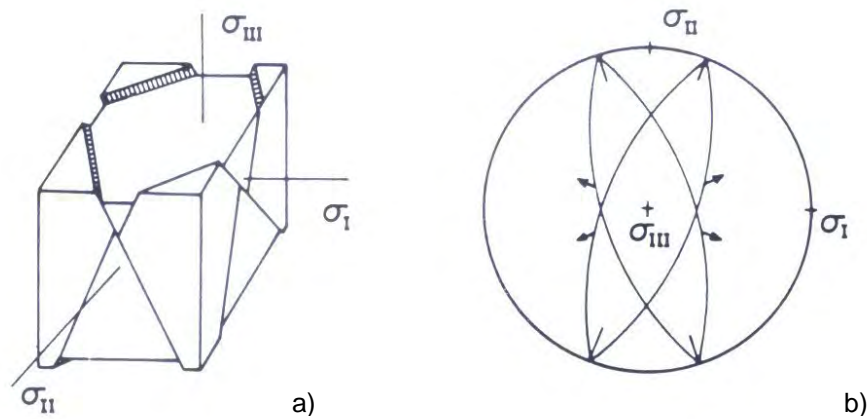


Fig. 4.31 – Quatro famílias de falhas normais com componente de desligamento resultantes de deformação tridimensional, indicando a orientação das tensões principais: a) bloco diagrama; b) estereograma (Reches, 1983).

A ocorrência de falhas normais e desligamentos na mesma área é exemplificativa da permuta das tensões máxima e intermédia após um evento de cedência, como foi demonstrado experimentalmente por Reches (Reches e Dieterich, 1983). Numa região com a compressão (σ_1) e a tracção máximas (σ_3) horizontais e a tensão intermédia (σ_2) vertical, a acumulação de tensões no material rochoso provoca a rotura, gerando-se falhas do tipo desligamento. Após este evento de cedência dá-se um decréscimo da tensão segundo σ_1 podendo eventualmente tornar-se inferior a σ_2 . Nesta situação geram-se, num segundo evento de cedência, falhas normais uma vez que a compressão máxima é agora vertical.

O ângulo 2θ entre os planos bissectores dos ângulos agudos dos dois pares de falhas pode variar como resultado de variação da taxa de deformação e em função da ductibilidade ou ângulo de atrito interno dos materiais afectados. Deste modo, podemos encontrar falhas cujo ângulo 2θ pode variar consideravelmente. Se a deformação for muito próxima de deformação plana os dois pares de falhas podem apresentar direcções muito próximas ou mesmo iguais.

Outro factor que contribui para a dispersão na orientação das falhas observadas é a variação na orientação das tensões principais. Como foi referido, verificam-se duas populações conjugadas incompatíveis: estruturas WNW-ESE direitas normais conjugadas de estruturas NNW-SSE esquerdas normais e falhas WNW-ESE a NW-SE esquerdas normais conjugadas de falhas NE-SW direitas normais (fig. 4.20).

Este facto implica a existência de dois campos de tensões distintos e separados no tempo ou espaço: um com σ_1 ou σ_2 NW-SE (estações E32, E48, E55 e E62) (fig. 4.32) e outro com σ_1 ou σ_2 W-E (estações E5, E27, E28, E43, E56, E58 e E64) (fig. 4.33).

O primeiro é compatível com o campo de tensões actual determinado por Madeira e Ribeiro (1990), Madeira (1998) e Lourenço *et al.* (1998) para o resto do arquipélago, ou seja, deformação tridimensional em regime transtensivo, com compressão horizontal máxima (σ_1) orientada segundo NW-SE, tracção horizontal máxima (σ_3) na direcção NE-SW e eixo vertical (σ_2) igualmente compressivo (fig. 4.32a). Após eventos sísmicos com componente de desligamento dominante, dá-se uma permutação entre σ_1 e σ_2 (fig. 4.32b) devido à queda de tensão segundo o eixo de compressão máxima horizontal, favorecendo a ocorrência de eventos sísmicos com componente normal dominante.

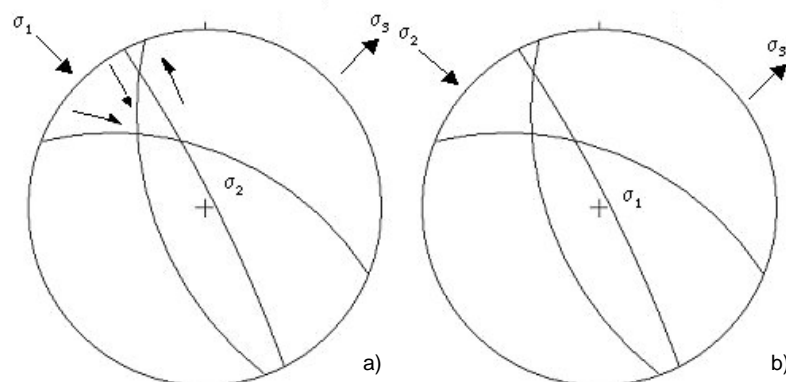


Fig. 4.32 – Campo de tensões deduzido para o primeiro conjunto de falhas: a) desligamentos - σ_1 horizontal, NW-SE, σ_2 vertical e σ_3 horizontal, NE-SW; b) falhas normais - σ_1 vertical, σ_2 horizontal, NW-SE e σ_3 horizontal, NE-SW.

O segundo caso corresponde a uma situação “anómala”, implicando um campo de tensões diferente, com a compressão horizontal máxima orientada E-W, tracção horizontal máxima N-S e eixo vertical igualmente compressivo, originando desligamentos (fig. 4.33).

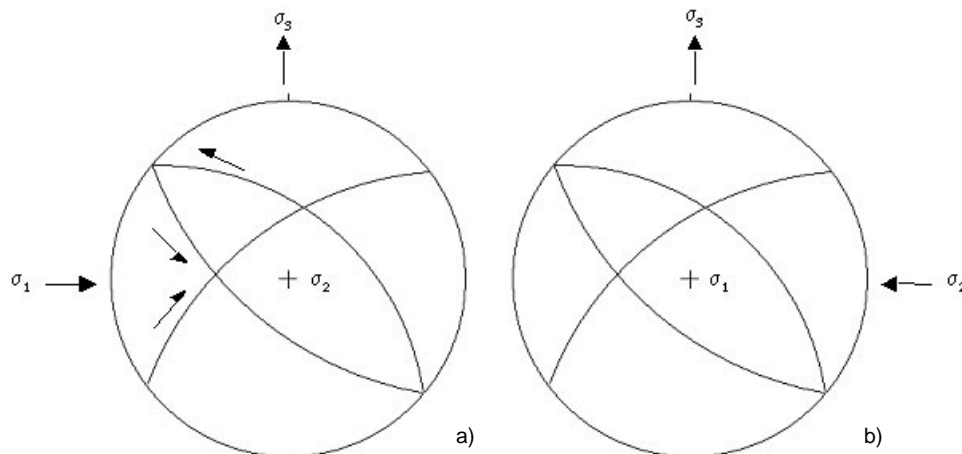


Fig. 4.33 – Campo de tensões deduzido para o segundo conjunto de falhas: a) desligamentos - σ_1 horizontal, W-E, σ_2 vertical e σ_3 horizontal, N-S; b) falhas normais - σ_1 vertical, σ_2 horizontal, W-E e σ_3 horizontal, N-S.

4.1.4 Discussão dos dados obtidos

A geometria e a cinemática das estruturas tectónicas indicam dois campos de tensões distintos e separados no tempo. O mais recente é, como já foi referido, compatível com o campo de tensões actual no resto do arquipélago.

O segundo caso é “anómalo”, pois implica uma variação no tempo do campo de tensões que gerou ou reactivou os acidentes. Pode tratar-se de um campo de tensões mais antigo que o actual, apenas observado na região por esta ser constituída por uma sequência de idade contemporânea ou imediatamente anterior, compatível com a manutenção no registo geológico das falhas geradas por aquele campo de tensões.

Esta situação poderia ser explicada por um episódio curto de inversão do sentido de cisalhamento, isto é, a taxa de expansão da Crista Média a S terá sido superior à taxa de expansão a N. Assim, as falhas WNW-ESE a NW-SE direitas normais terão passado a jogar como esquerdas normais e como conjugadas geraram-se falhas NE-SW direitas normais.

Outra hipótese (A. Ribeiro, com. oral) seria a de tratar-se de um campo de tensões mais recente que aquele que corresponde ao observado no resto do arquipélago. Neste caso, o campo de tensões anómalo poderia ser local e estar relacionado com o afastamento à dorsal e a entrada numa região em compressão E-W.

Seja como for, a confirmação de uma destas hipóteses ou de qualquer outra que se venha a propôr, necessita de mais trabalho de campo, particularmente no resto da ilha de S. Miguel onde não se realizaram estudos de geologia estrutural pormenorizados, tendo-se apenas cartografado os acidentes tectónicos maiores.

4.2 Base de Dados AZORIS

Os resultados que se apresentaram foram incluídos na base de dados AZORIS, criada, em *ArcGis*[®], pelo Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos, com o objectivo de arquivar, manipular e modelar toda a informação georreferenciada necessária para avaliar o risco e a vulnerabilidade na região dos Açores (Gaspar *et al.*, 2004).

A AZORIS é composta por vários conjuntos de dados temáticos, definidos de acordo com o tipo de informação que, por sua vez, se subdividem em vários campos (básicos, de monitorização e históricos). Estes encontram-se estruturados de forma a que a avaliação de riscos geológicos possa ser feita ao nível do arquipélago, da ilha, do concelho, da freguesia ou do lugar. Contém, também, informação bibliográfica que consiste em cópias de documentos (livros, revistas, jornais, entre outros) com descrições de catástrofes naturais históricas (Gaspar *et al.*, 2004).

Os dados relativos à tectónica inserem-se no conjunto de informação geológica e geomorfológica, onde se incluem campos descritivos e interpretativos de estruturas observadas nas campanhas de cartografia ou deduzidas através da análise de fotografia aérea ou do modelo digital de terreno.

De forma a evitar a repetição dos dados, estes foram repartidos por diferentes tabelas devidamente concebidas para tal. Com efeito, um acidente tectónico, sendo uma estrutura planar, pode aflorar em mais do que uma estação. Contudo, alguns dados são repetidos, pois uma falha pode ser bastante mais complexa do que um simples plano e apresentar mais do que uma superfície de movimento e uma família de estrias. Assim, foram criadas três tabelas que se passam a enumerar: *Localização Geográfica* para a identificação das estações de campo, *Falhas* e *Filões*, que comportam toda a informação descritiva associada a estes.

4.2.1 Localização Geográfica

Nesta tabela (anexo III) existem vários campos que se apresentam seguidamente.

ID TTSTATION

Código de identificação das estações, composto por 9 caracteres alfanuméricos, sob a forma TTS200000, em que TT corresponde à informação básica dos dados, S significa estação, 2 identifica a ilha (S. Miguel) e os seguintes referem-se ao número da estação (e.g. ID_TTS200043).

M

Valor da longitude, em UTM, constituído por 6 caracteres numéricos.

P

Valor da latitude, em UTM, constituído por 7 caracteres numéricos.

LOCAL

Campo destinado à identificação toponímica do local onde se situa a estação, permitindo no máximo 50 caracteres alfabéticos.

4.2.2 Falhas

Os campos que constituem esta tabela (anexo IV) são apresentados seguidamente.

ID_FAULT

Campo reservado para a inserção do código de identificação da falha ou fractura constituído por 9 caracteres alfanuméricos, sob a forma FA2KKKK00, em que FA diferencia a estrutura observada, 2 corresponde ao número da ilha (S. Miguel) e KKKK00 refere-se ao nome da falha (e.g. ID_FA2ARET01).

FAULT_NAME

Nome da falha correspondente ao ID_FAULT (e.g. ARET01 = Falha Água Retorta 1) e composto no máximo por 30 caracteres alfanuméricos.

ID TTSTATION

Campo que faz ligação com a tabela Localização Geográfica das estações, identificando o local em que a estrutura foi observada.

ST_OBS

Espaço destinado à identificação das diferentes medições que se efectuaram nas várias estações, permitindo um máximo de 5 caracteres alfanuméricos, correspondendo o primeiro à letra O e os seguintes ao número da observação.

FAULT_STR

Direcção do plano (*fault strike*) de falha em azimutes, constituído no máximo por 3 caracteres numéricos que variam entre 0 e 360°.

FAULT_DIP

Inclinação do plano de falha, sendo composto no máximo por cinco caracteres alfanuméricos (valor da inclinação + sentido de inclinação; por exemplo 15WNW), variando entre 0 e 90°.

STRIATION_PLU

Mergulho das estrias (*striation plunge*), constituído no máximo por 2 caracteres numéricos (0 a 90°).

STRIATION_TREND

Orientação, em azimutes, do plano vertical que contém as estrias e composto no máximo por 3 caracteres numéricos (0 a 360°).

V_COMP

Classificação da componente vertical presente, podendo ser normal, inversa ou vertical, e constituído no máximo por 8 caracteres alfabéticos.

H_COMP

Classificação da componente de desligamento presente, podendo ser esquerda ou direita, e composto no máximo por 8 caracteres alfabéticos.

DOWN_THROW

No caso das falhas com componente vertical indica qual o bloco abatido e é constituído no máximo por 3 caracteres alfabéticos (por exemplo WNW, se for este o bloco que abateu).

SEPARATION

Refere-se ao deslocamento na falha segundo uma dada componente (vertical ou horizontal), e é composto no máximo por 30 caracteres alfanuméricos (quantidade de separação em m), em que a letra v refere-se à separação vertical e a letra h à separação horizontal.

UVULC_AGE

Idade, ou intervalo de idade, para um dado marcador deslocado pela falha. Permite, no máximo, 20 caracteres alfanuméricos.

SLIP_RATE

Corresponde à velocidade média de deformação determinada a partir da razão do deslocamento pela idade do marcador (estratigráfico ou topográfico). É constituído, no máximo, por 16 caracteres alfanuméricos.

SURF RUPTURE

Refere-se, sempre que exista, às dimensões da rotura superficial e é constituído no máximo por 10 caracteres alfanuméricos. No caso em estudo não foram observados quaisquer casos de rotura superficial.

MAX QUAKE

Sismo máximo expectável para uma determinada estrutura tectónica (baseado na extensão da falha e supondo rotura total do acidente).

MAX QUAKE REG

Refere-se ao sismo máximo gerado pela falha, baseado na sismicidade histórica ou instrumental.

RECUR INTERVAL

Corresponde ao intervalo de tempo médio entre eventos sísmicos com origem numa determinada estrutura tectónica, para uma magnitude mínima de 5.5-6. Este campo permite um máximo de 20 caracteres alfanuméricos.

HAZARD CLASS

Classificação da falha de acordo com o seu grau de actividade ou consoante o sismo máximo expectável, utilizando a classificação de Cluff, Coppersmith e Knuepfer (1982).

PHOTO

Campo reservado à inserção do código de fotografias (gerais e de pormenor) das falhas observadas, sendo constituído por 10 caracteres, em que os dois primeiros se referem ao tipo de informação em causa, o terceiro ao número da ilha, os cinco seguintes à estação onde foi fotografada e os dois últimos ao número da foto tirada naquela estação (e.g. TT20001801). As fotografias encontram-se associadas à tabela de dados através de um *link*.

SCHEME

Campo destinado a esquemas que se encontram associados à tabela através de *links*. É composto por 10 caracteres alfanuméricos em que os dois primeiros se referem ao tipo de informação e imagem em causa, o terceiro ao número da ilha, os cinco seguintes à estação onde foi efectuado e os dois últimos ao número do esquema daquela estação (e.g. TS20001801).

OBS

Campo reservado a comentários de ordem variada, tais como a atitude poder ter sido medida à distância devido à impossibilidade de acesso à estrutura, a planos de falha difíceis de individualizar face à natureza do depósito aflorante, a acidentes cartografados correspondentes a zonas de falha, ou seja, com vários planos, ou a qualquer outro aspecto relevante. Este campo permite um máximo de 110 caracteres.

ID_QUAKE

Código de sismos associados a uma determinada falha, composto por 15 caracteres numéricos sob a forma QAAAAMMDDHHMMSS, em que AAAA corresponde ao ano, MM ao mês, DD ao dia, HH à hora, MM ao minuto e SS ao segundo. Este campo está associado a uma tabela que contém os dados relativos a todos os sismos instrumentais do arquipélago.

ID_DYKE

Campo que estabelece a ligação à tabela Filões, pois algumas fracturas encontram-se preenchidas por filões.

ID_UVULCANO

Código correspondente à unidade geológica mais recente afectada. É constituído por 9 caracteres em que os dois primeiros se referem ao tipo de informação (UV), o terceiro (2) ao número da ilha, os dois seguintes ao número da unidade vulcanológica e os restantes quatro às subunidades (e.g. ID_UV2060000). Este

campo está associado a uma tabela com os códigos das unidades vulcanológicas do arquipélago.

4.2.3 Filões

Os campos que constituem esta tabela (anexo V) são apresentados seguidamente.

ID_DYKE

Campo destinado à inserção do código de identificação dos filões observados e que estabelece a ligação à tabela Falhas. É constituído por 9 caracteres alfanuméricos, sob a forma DY2KKKK00, em que DY indica tratar-se de um filão, 2 corresponde ao número da ilha (2 - S. Miguel) e KKKK00 referem-se ao nome do filão (e.g. ID_DY2FTER01).

DYKE_NAME

Nome do filão correspondente ao ID_DYKE (e.g. FTER01 = Filão Faial da Terra 1) e composto no máximo por 30 caracteres alfanuméricos.

ID_TTSTATION

Código de identificação da estação em que foram observados os filões e que estabelece a ligação à tabela Localização Geográfica.

ST_OBS

Espaço destinado à identificação das diferentes observações que se efectuaram nas várias estações, permitindo um máximo de 5 caracteres alfanuméricos, correspondendo o primeiro à letra O e os seguintes ao número da observação.

DYKE_STR

Direcção do filão (*dyke strike*) em azimutes, constituído no máximo por 3 caracteres numéricos.

DYKE_DIP

Inclinação e sentido de inclinação do filão, composto no máximo por cinco caracteres alfanuméricos.

THICKNESS

Espessura do filão representada no máximo por 10 caracteres alfanuméricos.

COMPOSITION

Natureza do filão, permitindo um máximo de 20 caracteres alfabéticos.

PHOTO

Campo destinado ao código de fotografias dos filões observados, sendo constituído por 10 caracteres, em que os dois primeiros se referem ao tipo de estrutura (filão), o terceiro ao número da ilha, os cinco seguintes à estação onde foram fotografados e os dois últimos ao número da fotografia tirada naquela estação (e.g. DY20000501). Encontra-se associado à tabela de dados através de um *link*.

SCHEME

Campo destinado ao código de esquemas dos filões, associados a esta tabela através de *links*. É composto por 10 caracteres alfanuméricos em os dois primeiros se referem ao tipo de estrutura (D para *Dyke*) e de imagem (S de *Scheme*) em causa, o terceiro ao número da ilha, os cinco seguintes à estação onde foi fotografada e os dois últimos ao número do esquema daquela estação (e.g. DS20001801).

OBS

Campo reservado a comentários de ordem variada, permitindo um máximo de 110 caracteres.

ID UVULCANO

Código correspondente à unidade geológica mais recente atravessada e que estabelece a ligação à tabela com os códigos das unidades vulcanológicas do arquipélago.

A carta tectónica foi elaborada com o programa *ArcView GIS*[®], versão 3.3.

Nem todas as falhas observadas possuem expressão cartográfica ou nem sempre se consegue deduzir a sua continuidade para lá do afloramento onde foram observadas. Por outro lado, algumas das falhas traçadas são apenas inferidas da análise de fotografia aérea.

Como a atitude de uma falha medida em afloramento é frequentemente distinta da direcção média (cartográfica) da estrutura, associada à carta existe uma tabela com informação medida directamente através do programa *ArcView GIS*[®] (anexo VI), como sendo a direcção média (AVER_STR) em azimutes, e o comprimento (EXTENSION) da estrutura, em metros. Estas falhas também possuem um ID_FAULT e um FAULT_NAME, já definidos anteriormente, e uma referência ao modo como foi marcada (TYPE).

5. Sismicidade e sismotectónica

5.1 Rede sismológica dos Açores

A sismicidade instrumental nos Açores teve início em 1902 com a instalação das primeiras estações sismográficas nas cidades de Ponta Delgada (S. Miguel) e Horta (Faial); apenas em 1932 foi instalada a estação de Angra do Heroísmo (Terceira) (Nunes *et al.*, 1992; Senos *et al.*, 1997; Costa Nunes *et al.*, 1999). Estas três estações constituíram a rede de monitorização sísmica dos Açores durante várias décadas (Costa Nunes *et al.*, 1999).

Após o sismo de 1 de Janeiro de 1980, o mais forte abalo ($M=7.2$) ocorrido nos Açores nos últimos 100 anos (Hirn *et al.*, 1980 *in* Nunes *et al.*, 1992), foi instalada na região uma rede sismológica, sob a gestão do Departamento de Geociências da Universidade dos Açores (RUVS, Rede Universitária de Vigilância Sismovulcânica) com maior resolução para a actividade registada no arquipélago (Nunes, 1991). No início da década de 80 a Secretaria Regional do Comércio e Indústria activou diversas estações sismográficas no âmbito do Projecto Geotérmico dos Açores, cuja gestão, da responsabilidade do então Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica passou para a Universidade dos Açores (UA) em 1988 (Nunes *et al.*, 1992). O crescimento desta rede analógica, paralelamente ao da rede analógica do Instituto de Meteorologia (IM), teve como consequência o desenvolvimento de duas redes de vigilância independentes (Senos *et al.*, 1997).

Só a partir de 1980 a informação sísmica instrumental fornecida por estas redes é considerada satisfatória (Nunes, 1991), mas o facto de não haver uma integração dos dados de ambas as redes penalizou a qualidade dos mesmos, bem como a determinação de alguns parâmetros sísmicos (Silveira, 2002).

Em Abril de 1997 o Instituto de Meteorologia (IM) e a Universidade dos Açores (UA) celebraram um protocolo de cooperação técnica e científica a partir do qual passaram a colaborar, criando o Sistema de Vigilância Sismológica dos Açores – SIVISA (Senos *et al.*, 1997). Este acordo garantiu a complementaridade e a rentabilização dos meios humanos e técnicos disponíveis e permitiu não só consolidar substancialmente o sistema de monitorização existente, como também melhorar a qualidade dos dados adquiridos no que concerne a diminuição dos erros associados à localização dos epicentros e ao cálculo de magnitudes (Silveira, 2002).

As equipas do SIVISA integram geofísicos, geólogos e outros técnicos com vista a aprofundar o conhecimento científico sobre o comportamento sismotectónico desta zona do Atlântico Norte e, conseqüentemente, melhorar a capacidade de resposta a todos os utilizadores, em particular, às autoridades responsáveis pelo desenvolvimento de acções de protecção civil.

A estrutura do SIVISA compreende um centro coordenador, localizado em S. Miguel e constituído pelo IM e pela UA, para onde converge toda a informação recolhida, e quatro pólos (fig. 5.1), pelos quais se dividem as várias tarefas de rotina e de emergência: dois pólos em S. Miguel, um no Observatório Afonso Chaves (OAC) e outro no Centro de Vulcanologia da Universidade dos Açores (CVUA); o Observatório José Agostinho (OJA) na Terceira; e o Observatório Príncipe Alberto do Mónaco (OPAM) no Faial. O centro de coordenação encontra-se numa fase de transição para um centro móvel, de forma a operar autonomamente numa relação de proximidade ao desenvolvimento de qualquer crise sísmica.

Actualmente, o SIVISA gere uma rede constituída por 47 estações sísmicas (34 analógico-digitais de curto período, 12 digitais e 1 *broad band*) (figs. 5.2 e 5.3), prevendo-se para breve a instalação de mais 5 estações. Para o registo de sismos distantes existem 2 estações de longo período.

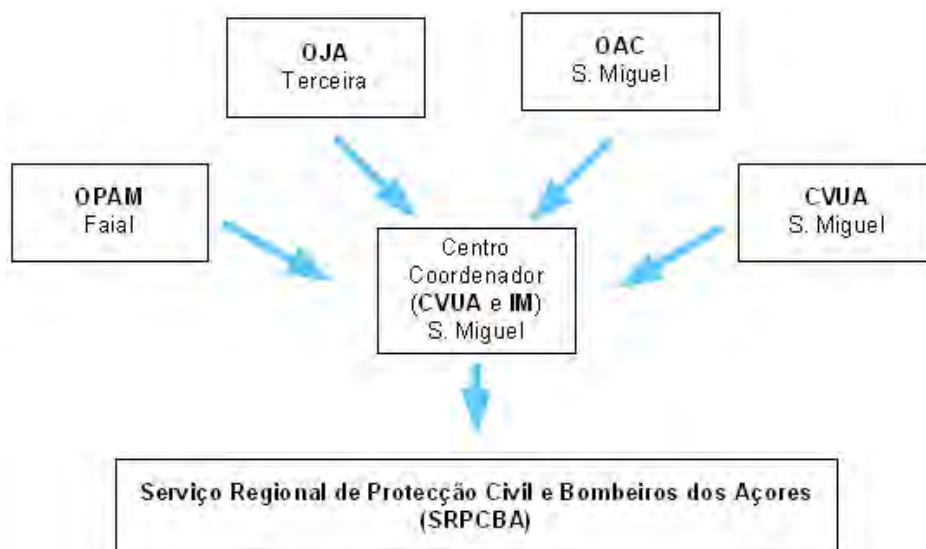


Fig. 5.1 – Esquema do funcionamento do SIVISA.

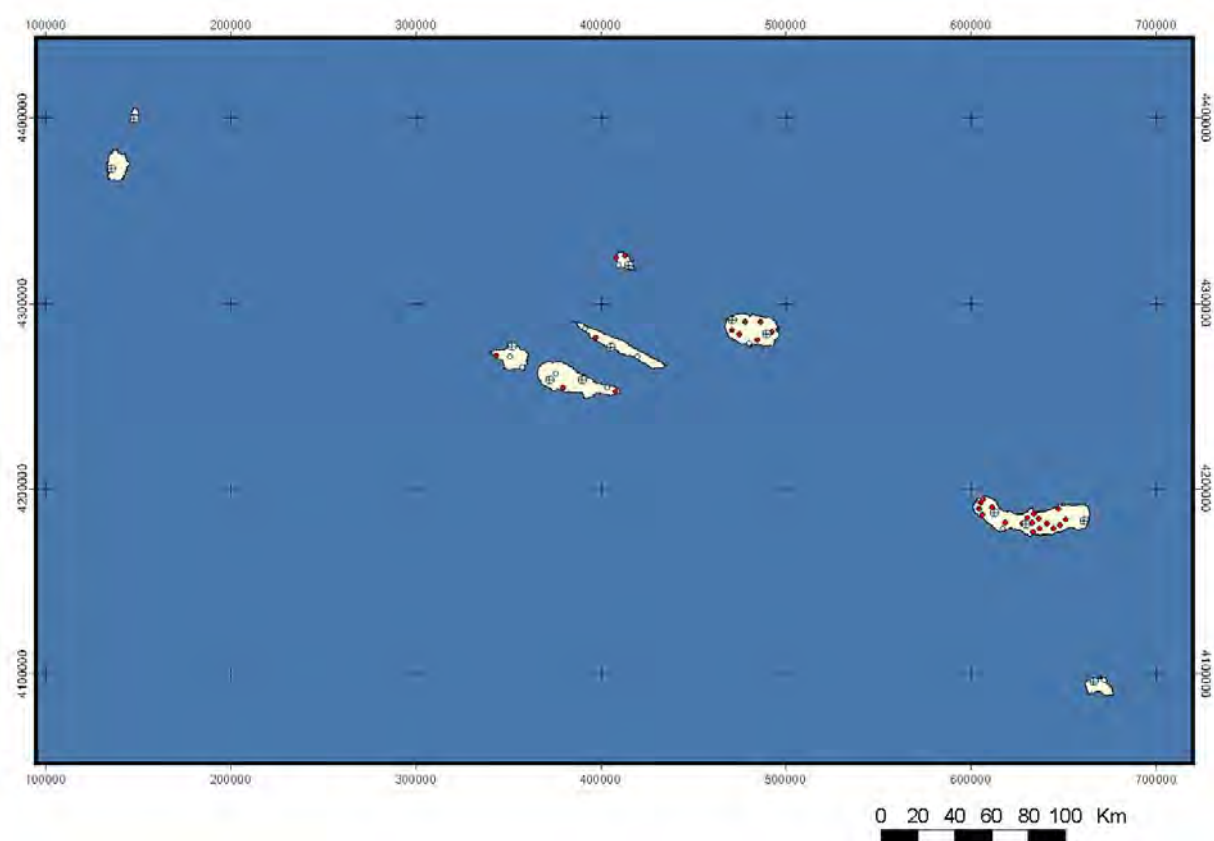


Fig. 5.2 – Rede sísmica dos Açores. Legenda: ● - CVARG, estação sísmica analógico-digital; ● - IM, estação sísmica analógico-digital; ⊕ - IM, estação sísmica digital.

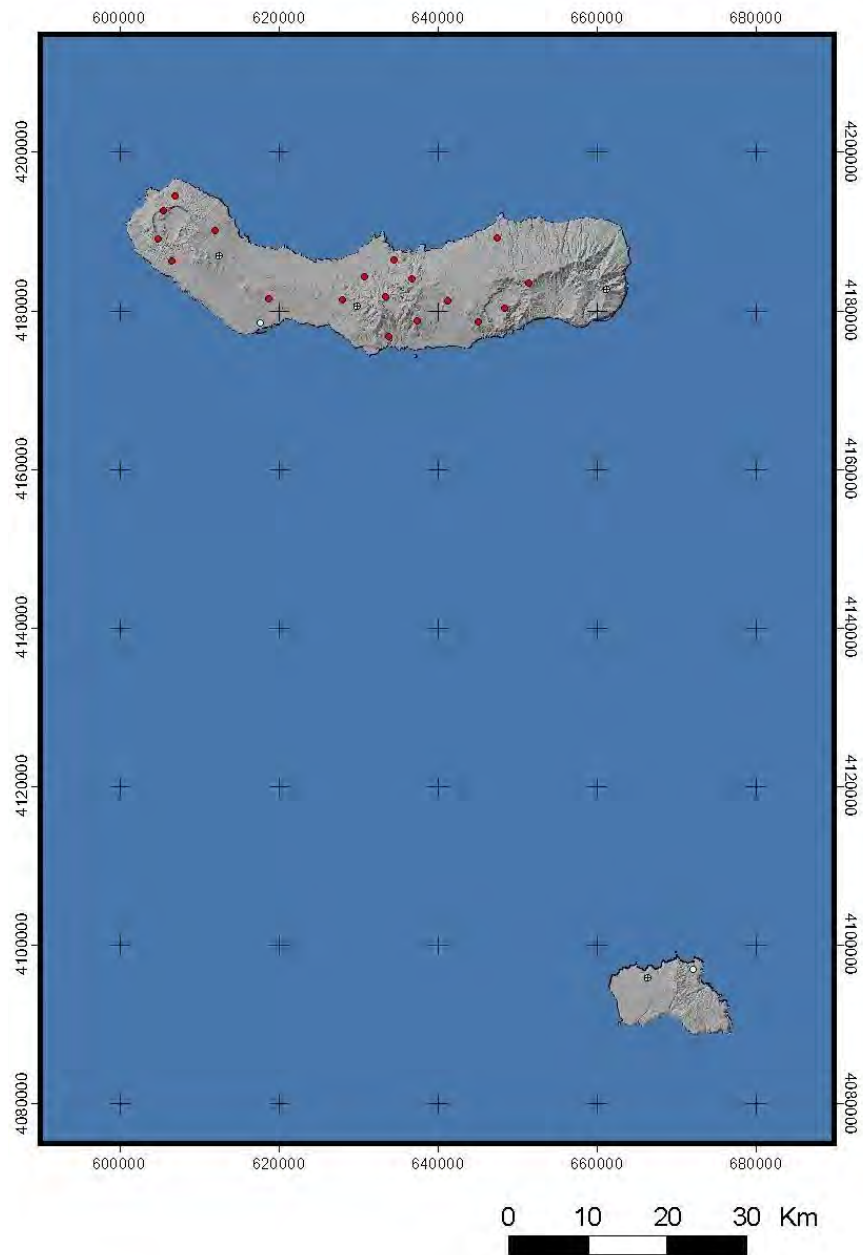


Fig. 5.3 – Rede sísmica das ilhas de S. Miguel e Santa Maria. Legenda: ● - CVARG, estação sísmica analógico-digital; ● - IM, estação sísmica analógico-digital; ⊕ - IM, estação sísmica digital.

A rede actual permite uma boa resolução para eventos de pequena magnitude ocorridos entre as ilhas enquanto que, para sismos com epicentros a NE ou a SW dos Grupos Central e Oriental, a determinação da sua localização possui um erro superior, inerente à distribuição geográfica das ilhas, e consequentemente das estações, ao longo de um alinhamento de direcção WNW-ESE (Silveira, 2002).

5.2 Procedimentos no tratamento da informação sísmica

5.2.1 Procedimentos diários

Os registos sísmicos são transmitidos para os pólos e para o Centro de Coordenação, onde se processa o registo analógico e se faz a conversão digital do sinal. Sempre que ocorra um evento sísmico procede-se à sua extracção manual ou automática.

Após a conversão do sinal, cada evento é classificado quanto à sua provável natureza: sismo local (LQ), sismo distante (DQ), tremor vulcânico (LV), provável evento vulcânico (LZ), explosão (LE), explosão provável (LP) e natureza desconhecida (LU). Calculam-se o epicentro e outros parâmetros sísmicos e toda a informação é arquivada.

Para a análise de sismos, o SIVISA utiliza o programa *SEISAN*[®], versão 7.2. Este programa permite calcular automaticamente localizações epicentrais e efectuar o seu acerto, comparar os sismogramas obtidos numa estação nas diferentes componentes horizontais (N-S, E-W) e vertical (Z), bem como comparar os diferentes sismogramas obtidos para um mesmo evento em diferentes estações (Barata, 2003).

Para além de se proceder à localização epicentral também é possível calcular a magnitude, isto é, a quantidade de energia libertada por um sismo. O SIVISA calcula dois tipos de magnitude: Md ou magnitude de duração e ML ou magnitude local (Richter). A primeira é determinada com base na duração do sismo, sendo por isso necessário marcar a coda (final do registo do evento), e resulta da observação directa no sismograma. A segunda é calculada a partir da maior amplitude atingida.

Outro parâmetro importante dos sinais sísmicos é o conteúdo espectral que apresentam os seus sinais, pois permite inferir sobre a natureza do sismo. Os

espectros são uma forma gráfica de apresentar a variação do somatório da amplitude da forma de onda em função de frequência que esta apresenta, podendo-se inferir através da análise espectral quais as frequências predominantes, o que permite a classificação de um sismo quanto ao seu período (curto-período ou de longo-período) e ter, assim, uma noção da sua possível natureza (tectónico/vulcânico) (Barata, 2003).

O SIVISA actualiza diariamente uma página da intranet possibilitando ao SRPCBA estar sempre ao corrente da actividade sismovulcânica do arquipélago.

5.2.2 Procedimentos de emergência perante alertas sísmicos

O SIVISA entra em situação de alerta sempre que há um sismo sentido ou sempre que se verifica qualquer situação anómala, como por exemplo, um aumento da frequência dos sismos registados, uma sequência de eventos registados com a mesma origem num curto intervalo de tempo ou a ocorrência de um sismo de maior magnitude.

Geralmente quando há um sismo sentido a população entra em contacto com o Serviço Regional de Protecção Civil e Bombeiros dos Açores (SRPCBA) e este contacta por rádio ou por telefone a equipa que estiver em serviço de emergência. Outra situação resulta da activação do sinal de alarme da rede sísmica do CVARG que introduz um sinal nos rádios da equipa de serviço às emergências.

Paralelamente ao cálculo dos parâmetros sísmicos, nestas condições, procede-se à recolha de informação macrossísmica para determinar preliminarmente as intensidades sísmicas, utilizando o inquérito-tipo baseado na escala de intensidades de Mercalli.

Uma vez adquirida toda a informação envia-se um comunicado para o SRPCBA através da intranet.

5.3 Dados sismológicos e constrangimentos existentes

O estudo da sismicidade da região Açores-Gibraltar é feito com base nos dados instrumentais recolhidos pelas redes locais e regionais e, nos dados das redes globais para sismos com epicentros mais afastados relativamente àquelas redes ou possuidores de magnitudes mais elevadas. A localização dos eventos sísmicos e o cálculo da magnitude permite-nos deduzir acerca da actividade associada aos principais acidentes tectónicos activos – fronteiras de placas e zonas de fractura (Borges, 2003).

A informação histórica, como complemento da informação instrumental, tem um papel fundamental na caracterização da actividade sísmica, devido ao largo período de recorrência de sismos de elevada magnitude que é, quase sempre, superior ao intervalo de tempo para o qual se dispõe de informação de natureza instrumental. Os dados históricos, baseados na descrição dos efeitos destrutivos provocados pelos sismos, apresentam lacunas temporais e espaciais (Borges, 2003). No caso dos Açores o período histórico inicia-se em 1439 com o início do povoamento do arquipélago, pelo que este tipo de informação apenas existe para o período posterior a este ano. Por outro lado, os aglomerados populacionais do arquipélago localizam-se na orla costeira, pelo que a informação sísmica (isossistas) relativa às zonas interiores é escassa e no mar é nula.

Como já foi referido, só a partir de 1980, após o sismo de 1 de Janeiro, é que a rede regional foi incrementada quer em número de estações, quer na sua qualidade, permitindo maior precisão na determinação dos parâmetros epicentrais e hipocentrais e o aumento da sensibilidade da própria rede. Porém, persistem dificuldades na determinação precisa dos epicentros e sismos localizados excentricamente em relação à rede regional. Este obstáculo só poderá ser ultrapassado com a instalação de estações sismográficas submarinas (OBS's), preferencialmente permanentes.

Contudo, é possível projectar, com base na rede regional, a distribuição epicentral na região dos Açores (fig. 2.9). Na figura 5.4 podem ver-se representadas as cartas epicentrais para esta região, respeitantes aos períodos 1980-1988 (a) e 1989-1998 (b), a partir dos quais se pode constatar que apesar de se referirem a períodos distintos de observação, marcados por importantes beneficiações da rede de observação, o padrão de distribuição espacial de eventos mantém-se praticamente o mesmo, à excepção de uma ligeira intensificação da actividade sísmica a W da ilha do Faial. Podemos também verificar que o padrão de distribuição espacial dos epicentros segue aproximadamente as observações baseadas em catálogos da rede mundial (fig. 5.5).

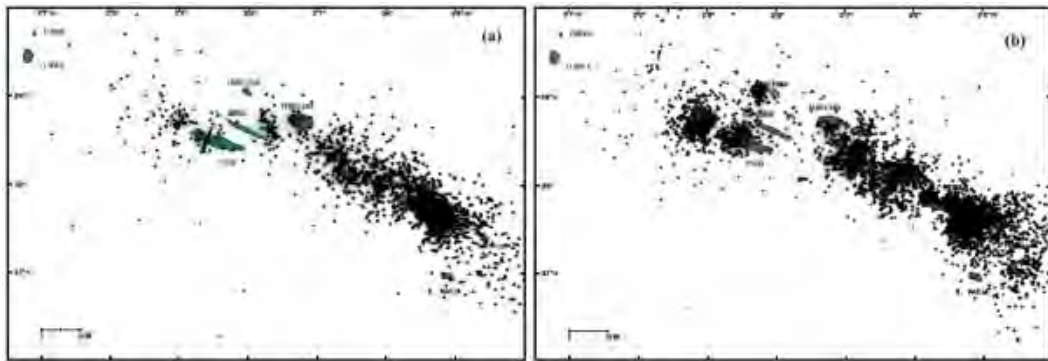


Fig. 5.4 – Cartas epicentrais para a região dos Açores, referentes aos períodos 1980-1988 (a) e 1989-1998 (b). As localizações foram feitas com base nas estações sismográficas da rede regional. Nesta figura não constam o sismo de 9 de Julho de 1998 e as respectivas réplicas (*in* Nunes, 1999).

Toda esta zona, devido ao potencial risco sísmico a que está sujeita, tem sido alvo de vários estudos em domínios como a sismicidade, fonte sísmica e mecanismos focais. Contudo, relativamente a estes dois últimos existem poucos trabalhos publicados, dado ao tipo de sismicidade (fraca a moderada magnitude) e à distribuição da rede que não permite a obtenção de mecanismos focais com um razoável grau de confiança.

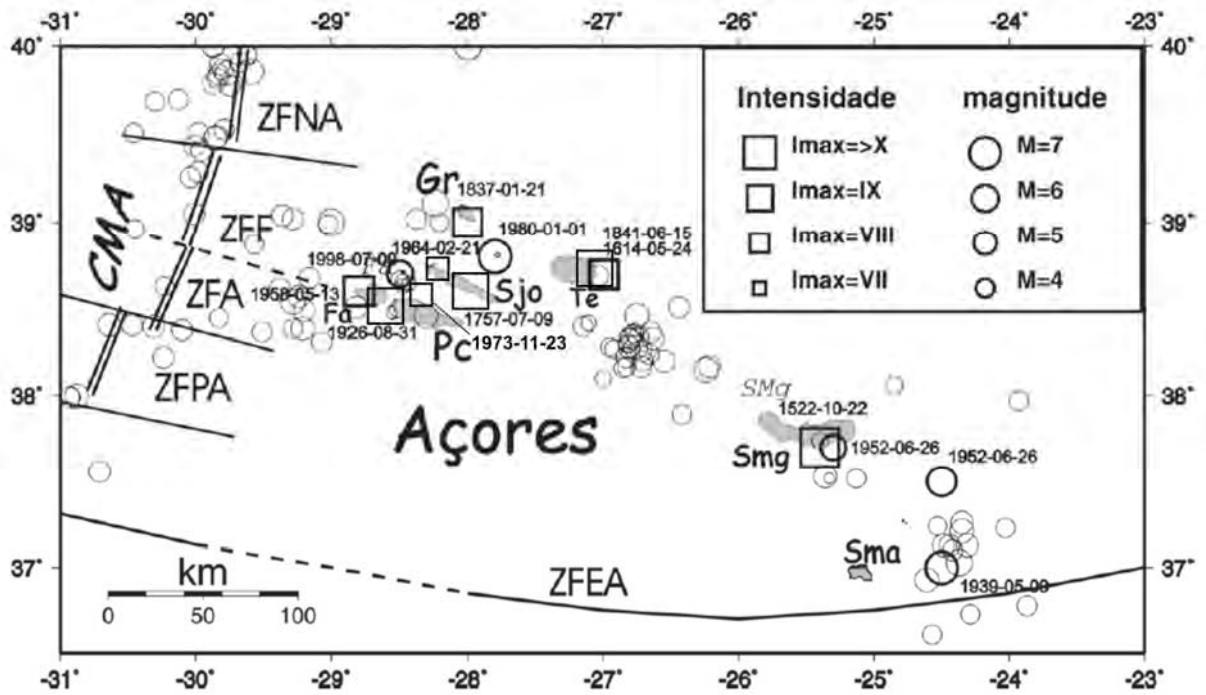


Fig. 5.5 – Sismicidade instrumental e histórica no Arquipélago dos Açores. Em destaque, e com a respectiva data, encontram-se representados os sismos “mais importantes”: quadrados (sismos históricos e instrumentais pré-1980), círculos (sismos instrumentais), círculos finos (sismos instrumentais com magnitude $M \geq 4$ da base de dados mundial USGS, relativa ao período 1975-2002). Legenda: CMA – Crista Média Atlântica; ZFNA – Zona de Fractura Norte dos Açores; ZFF – Zona de Fractura do Faial; ZFA – Zona de Falha Açor; ZFPA – Zona de Falha Princesa Alice; ZFEA – Zona de Fractura Este dos Açores; Fa – Faial; Pc – Pico; Sjo – S. Jorge; Gr – Graciosa; Te – Terceira; Smg – S. Miguel; Sma – Santa Maria (modificado de Borges, 2003).

5.4 Análise da informação disponível

5.4.1 Carta de sismicidade

A análise preliminar da sismicidade instrumental do arquipélago (fig. 2.9) permite identificar que a actividade sísmica se concentra principalmente no alinhamento do *Rift* da Terceira e que a W do Faial existe uma intensa actividade possivelmente associada à Zona de Fractura Faial-Pico, considerada por alguns autores como o prolongamento da Zona de Fractura do Faial (Luis *et al.*, 1994; Nunes, 1999). Por outro lado, a NW de S. Jorge verifica-se uma elevada concentração de epicentros coincidente com a Bacia Oeste da Graciosa, considerada também como a extremidade ocidental do *Rift* da Terceira. Relativamente à região estudada, a sismicidade concentra-se na Bacia de S. Miguel (fig. 5.6) situada no extremo E do alinhamento do *Rift* da Terceira.

Contudo, a partir da análise da figura 5.4, verifica-se que a sismicidade instrumental distribui-se por toda a faixa do arquipélago a E da Crista Média Atlântica. A dispersão, que parece aumentar com a distância às ilhas, e as lacunas espaciais existentes são resultantes de apenas se ter 24 anos de registo e do aumento da incerteza da localização devido à disposição da rede que não permite determinar com exactidão epicentros localizados excentricamente a esta.

5.4.2 Mecanismos focais

Vários autores (McKenzie, 1972; Udías *et al.*, 1976; Hirn *et al.*, 1980 *in* Madeira, 1998; Udías, 1980; Grimison e Chen, 1986; Udías *et al.*, 1986; Moreira, 1991 *in* Madeira, 1998; Nunes, 1991; Miranda *et al.*, 1998) apresentam a localização epicentral e mecanismos focais de vários eventos de magnitude moderada e alta ($M \geq 4.8$) e 2 de magnitude inferior ($M=3.2$ e 3.4) a partir dos quais Madeira (1998) obteve uma listagem de 17 eventos sísmicos com mecanismos focais (Tabela 5.1,

fig. 5.7). Borges (2003) estudou os mecanismos focais de 3 eventos com epicentro na região dos Açores com magnitude superior ou igual a 6; são eles os sismos de 1 de Janeiro de 1980, 27 de Junho de 1997 e 9 de Julho de 1998.

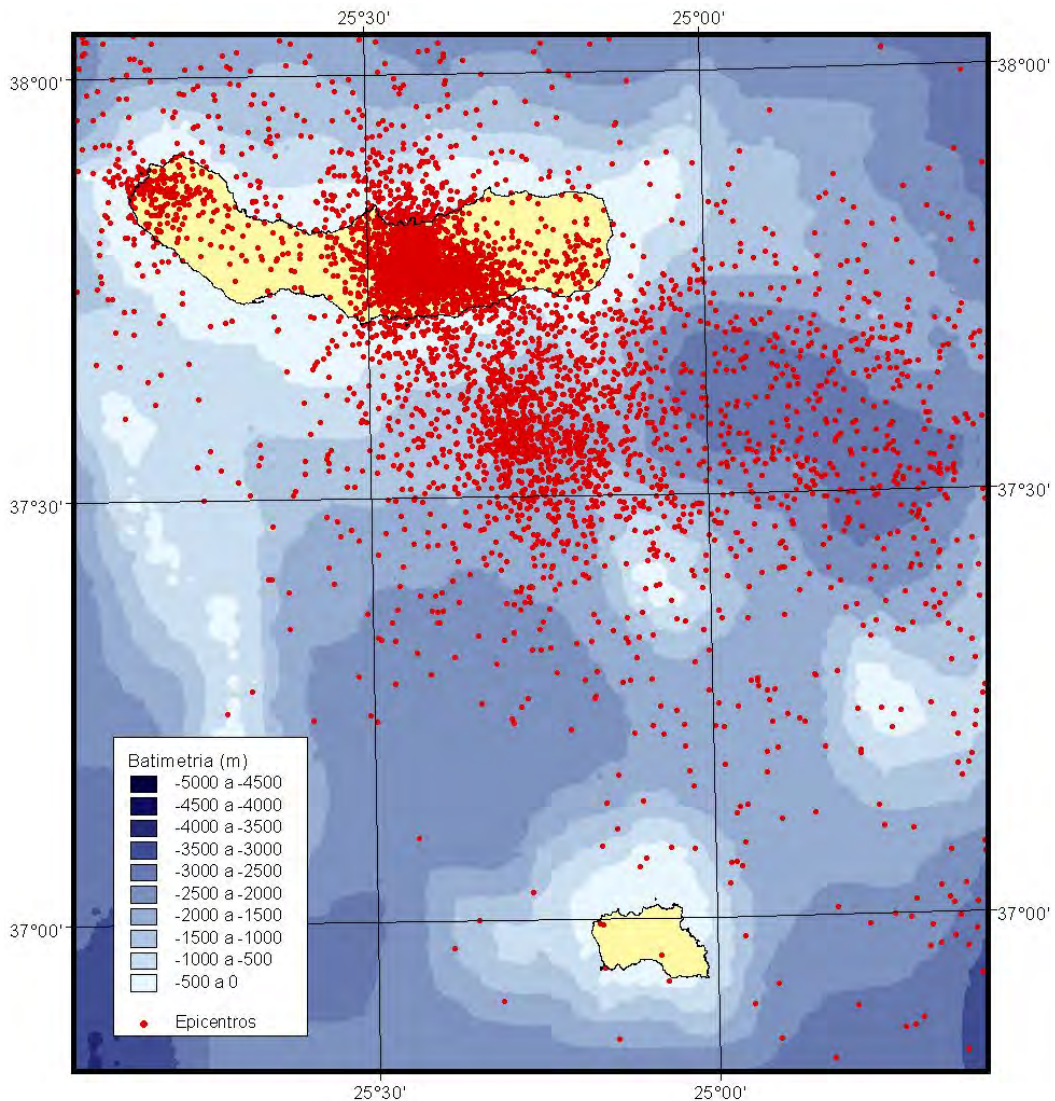


Fig. 5.6 – Sismicidade instrumental (de todas as magnitudes) para a Bacia de S. Miguel.

Em geral, os mecanismos focais apresentados têm os eixos da pressão e da tensão sub-horizontais orientados aproximadamente NW-SE e NE-SW, indicando a maioria das soluções uma movimentação oblíqua com componentes em desligamento e em falha normal. Um dos planos nodais corresponde, quase sempre, a uma direcção tectónica conhecida do arquipélago, normalmente WNW-ESE a NW-SE ou NNW-SSE a N-S (Madeira, 1998).

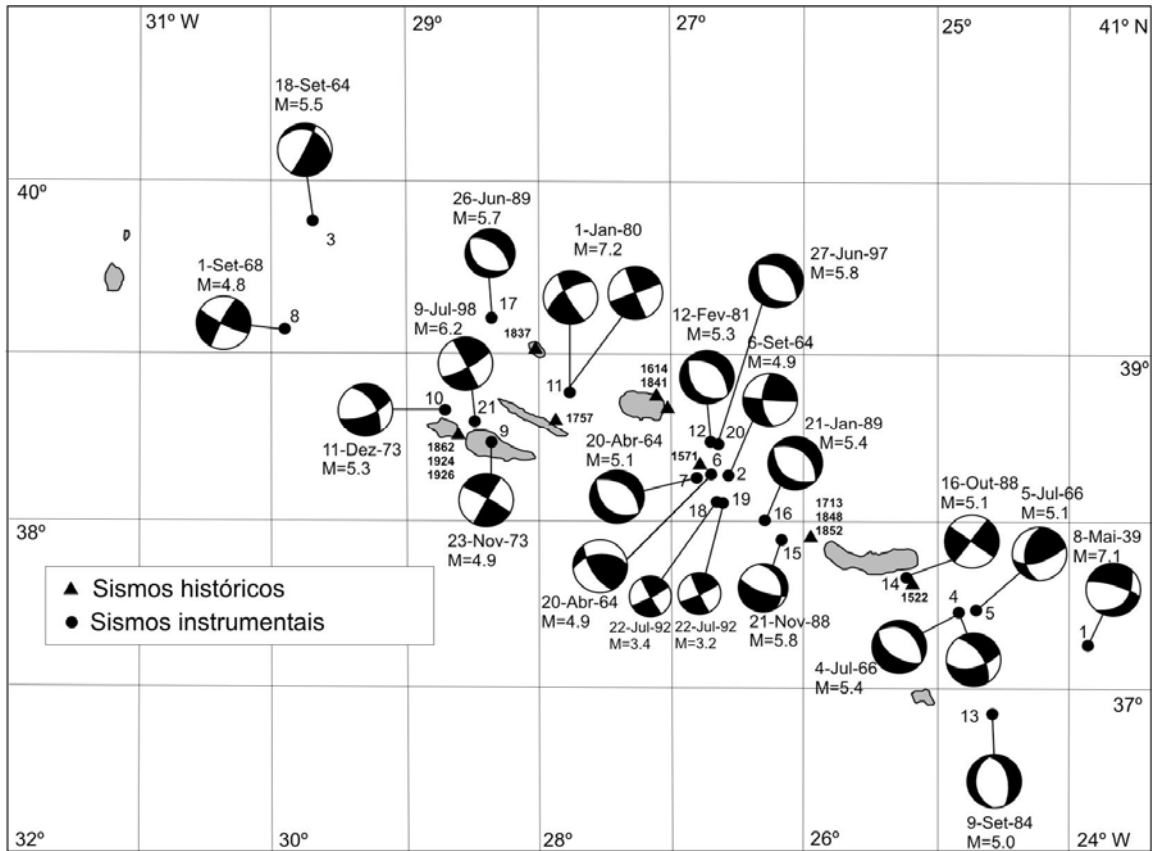


Fig. 5.7 – Mapa da sismicidade histórica e dos sismos instrumentais, com mecanismo focal, publicados na bibliografia (modificado de Madeira, 1998).

Na tabela 5.1 encontram-se assinalados a azul, os eventos cujo epicentro se localizou nas proximidades da área em estudo.

Tabela 5.1 – Sismicidade instrumental na região da Plataforma dos Açores com mecanismos focais publicados (modificado de Madeira, 1998).
Legenda:

■ - eventos cujo epicentro se localizou nas proximidades da área em estudo; DD – desligamento direito; DE – desligamento esquerdo; FN – falha normal; FND – falha normal direita. 1 – McKenzie (1972); 2 – Udías *et al.* (1976); 3 – Hirn *et al.* (1980); 4 – Udías (1980); 5 – Grimison e Chen, 1986; 6 - Udías *et al.*, 1986; 7 – Moreira, 1991; 8 – Nunes, 1991; 9 – Miranda *et al.*, 1998; 10 – Borges, 2003; 11 – IM, com. oral; 12- Madeira *et al.*, 1998.

Nº	Data	Hora	Magnitude	Localização	Estrutura	Outros dados	Referências
1	08-05-1939	01:46	7.1 (Ms)	37.4N-23.9W	Bordo E da Plataf. dos Açores a E das Formigas	DE NW-SE ou NNW-SSE?	2,4,6,7
2	06-09-1964	18:55	4.9 (Ms)	38.3N-26.6W	Banco D. João de Castro	DE NNW-SSE?; DD WNW-ESE	2,4,6,7
3	18-09-1964		5.5 (Ms)	39.8N-29.7W	Crista Média a N da Z.F.N.A.	DE WNW-ESE ou FN NNE-SSW	2,4,6
4	04-07-1966	12:15	5.3; 5.4 (Ms)	37.51N-24.75W	Bacia de S. Miguel	FN N45W56SW ou FND N77W70SW; Prof. - 12±5 km	1,2,4,5,6,7
5	05-07-1966	05:09	5.1; 5.0 (Ms)	37.6N-24.7W 37.5N-24.7W	Bacia de S. Miguel	DD WSW-ESE ou DE NNW-SSE	2,4,6,7
6	20-04-1968	09:44	4.8 (Ms)	38.3N-26.7W	Bordo SW da B. Hirondele do N. junto ao Banco D. João de Castro	DD N83W70S ou DE N4E80E	7
7	20-04-1968	10:18	5.0; 5.1 (Ms)	38.30N-26.77W	Bordo SW da B. Hirondele do N. junto ao Banco D. João de Castro	FN ou FND N58W54NE Prof. - 15±5 km	5,6,7
8	01-09-1968		4.8 (Ms)	39.16N-29.93W	Crista Média a S da Z.F.N.A.	DD WNW-ESE?	6
9	23-11-1973	13:36	4.9 (Ms)	38.52N-28.37W	Ilha do Pico	Mecanismo focal duvidoso	6
10	11-12-1973	10:09	5.0 (Ms)	38.7N-28.7W	Bordo S do Canal de S. Jorge	DD N78W70S ou DE N7W70W	6,7
11	01-01-1980	16:42	7.2; 6.4 (Ms)	38.82N-27.78W 38.6N-27.7W	Canto SW da B. Oriental da Graciosa	DE N31W86; Prof. 10 km; DE N26W90	3,5,6,7
12	12-02-1981	01:50	5.3 (Ms)	38.5N-26.7W	Bordo NE da B. Hirondele do Norte	Mecanismo focal duvidoso	7
13	09-09-1984	13:06	5.0 (Ms)	36.9N-24.6W	Extremo W da Falha Gloria	Mecanismo focal duvidoso	7
14	16-10-1988		5.1 (Ms)	37.70N-25.20W	Povoação – falhas do Congro	DD NW-SE	8
15	21-11-1988	16:55	5.8 (Ms)	37.9N-26.2W	Cruzamento do bordo SW da B. Hirondele do S. Com falhas NNW-SSE	DE NNW-SSE	7
16	21-01-1989		5.4 (Ms)	38.04N-26.28W	Bordo SW da B. Hirondele do Sul	DE N15W ou DD N71W	8
17	26-06-1989		5.7 (Ms)	39.23N-28.34W	Bacia Ocidental da Graciosa	DD N82W ou DE N8E	8
18	22-07-1992	21:09	3.2 (Ms)	38.15N-26.65W	Bordo SW da B. Hirondele junto ao Banco D. João de Castro	DE N28W87SW	9
19	22-07-1992	21:14	3.4 (Ms)	38.15N-26.65W	Bordo SW da B. Hirondele junto ao Banco D. João de Castro	DE N28W89SW	9
20	27-06-1997	04:39	5.8 (Mw)	38.2N-26.8W	Banco D. João de Castro	FN N120E45SW	10,11
21	09-07-1998	05:19	6.2 (Mw)	38.63N-28.52W	NE da ilha do Faial	DE N28W89ENE	11,12

Udías *et al.* (1976) e Udías *et al.* (1986) determinaram para o sismo de 8 de Maio de 1939, cujo epicentro se localizou a ESE da ilha de S. Miguel, um mecanismo focal que indica eixo P orientado WSW-ENE e planos nodais WNW-ESE (em desligamento esquerdo) ou NNE-SSW (em desligamento direito). O primeiro plano nodal é compatível com as falhas WNW-ESE esquerdas da região Povoação-Nordeste e o mecanismo focal é compatível com σ_1 E-W.

Quanto ao sismo de 4 de Julho de 1966, cujo epicentro se localizou a SE da ilha de S. Miguel, McKenzie (1972) e Udías *et al.* (1976) apresentam mecanismo focal que indica movimentação normal esquerda em plano NNW-SSE ou em falha normal direita WSW-ENE; segundo Grimison e Chen (1986) a análise dos dados deste evento através da inversão da forma e amplitude das ondas P e SH permite também solução em falha normal num plano N54W (mesma direcção da estrutura que constitui o bordo SW da Bacia de S. Miguel). Estas soluções são compatíveis com o campo de tensões actual determinado por Madeira e Ribeiro (1990), Madeira (1998) e Lourenço *et al.* (1998) para o resto do arquipélago, não se aplicando assim, ao campo de tensões “anómalo”.

Relativamente ao evento do dia 5 de Julho de 1966, Udías *et al.* (1976) obtiveram um mecanismo focal que permite soluções em desligamento esquerdo com componente normal no plano nodal NNW-SSE ou em desligamento direito normal no plano WSW-ENE (direcção próxima da estrutura que limita a SE a Bacia de S. Miguel). Mais uma vez, esta solução não se aplica às estruturas tectónicas cartografadas e geradas pelo campo de tensões “anómalo”.

O epicentro do sismo de 9 de Setembro de 1984 localizou-se no extremo W da Falha Gloria, tendo sido sentido em Santa Maria com intensidade V (MMI), onde se registaram pequenos estragos (queda parcial de chaminés, escorregamento de telhas, algumas fendas nas paredes) em casas de construção deficiente ou edificadas sobre depósitos sedimentares recentes. O mecanismo focal determinado por Moreira (1991 *in* Madeira, 1998) em falha normal com planos nodais orientados

aproximadamente N-S não é compatível com a referida estrutura (de orientação E-W).

O sismo mais forte que atingiu a Povoação a 16 de Outubro de 1988 teve epicentro a poucos quilómetros da costa S de S. Miguel, no prolongamento para SE das Falhas da Lagoa do Congro (Nunes, 1991). Este autor escolheu como plano de falha o plano nodal com direcção NW-SE (em desligamento direito), que corresponde à orientação dos lineamentos deduzidos da batimetria e do bordo SW da Bacia de S. Miguel que se encontra alinhado com aqueles. Esta solução é compatível com o campo de tensões actual para o resto do arquipélago, não se aplicando ao campo de tensões “anómalo” determinado para a região Povoação-Nordeste.

Na maioria dos mecanismos focais publicados, verifica-se uma boa correlação entre um dos planos nodais e as estruturas tectónicas deduzidas da interpretação do mapa batimétrico do arquipélago (Madeira, 1998) (fig. 5.8).

Da mesma forma, a correlação entre um dos planos nodais dos mecanismos focais publicados na bibliografia, com excepção daqueles que são pouco credíveis, e as direcções tectónicas interpretadas da batimetria e/ou conhecidas através de estudos de neotectónica é também bastante boa, dado que a movimentação naqueles planos, indicada pela distribuição dos quadrantes em compressão e em tracção, é quase sempre compatível com os sentidos de movimentação reconhecidos nas estruturas emersas.

Madeira (1998) e Lourenço *et al.* (1998) concluem que existe uma boa correlação entre os dados neotectónicos, batimétricos e sismológicos que permite afirmar que a tectónica da Plataforma dos Açores é dominada por duas famílias de acidentes tectónicos orientadas WNW-ESE a NW-SE com movimentação oblíqua direita normal e NNW-SSE a N-S em desligamento esquerdo normal.

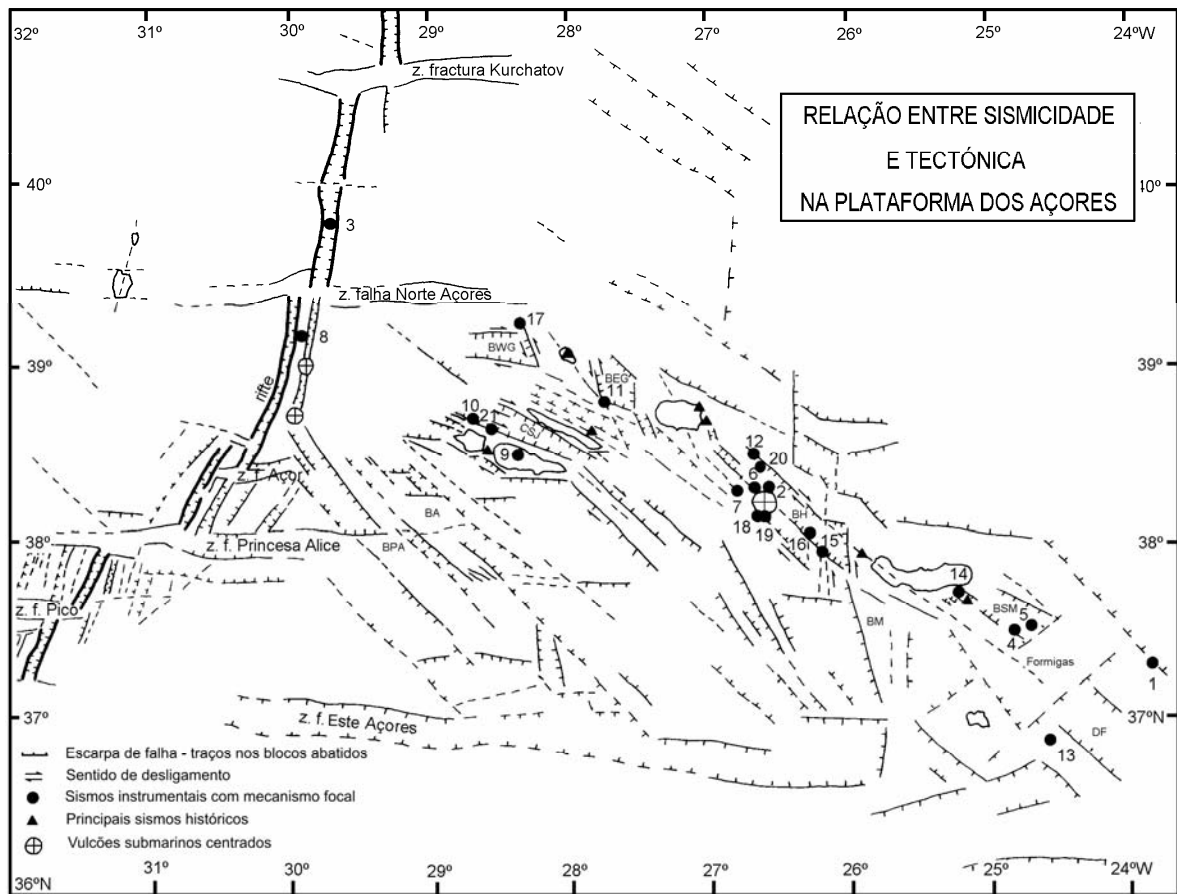


Fig. 5.8 – Relação entre os principais sismos históricos e instrumentais registados na região dos Açores e as estruturas morfotectónicas deduzidas da análise batimétrica (modificado de Madeira, 1998).

Apenas dois dos mecanismos focais publicados se adaptam ao campo de tensões “anómalo” determinado: o do sismo de 8 de Maio de 1939, de magnitude 7.1, e o do sismo de 23 de Novembro de 1973, de magnitude 4.9. O primeiro é credível e pode ser justificado com base na hipótese do afastamento à dorsal e da entrada numa região em compressão E-W, apresentada no capítulo anterior. O segundo não é tão credível, devido à sua localização epicentral quase central na Plataforma dos Açores (ilha do Pico) e, portanto, deveria estar de acordo com o campo de tensões determinado para o resto do arquipélago.

6. Considerações finais

A análise geomorfológica permitiu verificar que a expressão morfológica dos acidentes tectónicos na região Povoação-Nordeste 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 extensão observável das estruturas principais é muito limitada devido à densa cobertura vegetal que ocorre para o interior e à própria dimensão da ilha.

Para além das falhas, a região em estudo é cortada por uma rede densa de filões, dispostos radialmente em torno do Vulcão do Nordeste. Na verdade, no sector do Faial da Terra as direcções dominantes são NNW-SSE, passando a NW-SE em Água Retorta e aproximando-se de W-E no Nordeste. Na região da Povoação as direcções dominantes, NW-SE, são incompatíveis com o campo radial do Nordeste, pelo que poderão pertencer ao edifício vulcânico da Povoação, apresentando um controlo tectónico regional.

A área estudada encontra-se recortada por três conjuntos de falhas de direcções distintas. As mais desenvolvidas têm direcção NW-SE a WNW-ESE, compatíveis com a fracturação associada à zona de deformação do troço ocidental da fronteira de placas Eurásia-África, enquanto que as menos representativas apresentam direcções NNW-SSE e NE-SW.

Os dados da cinemática demonstram que na região estudada ocorrem quatro famílias de falhas principais. As estruturas de direcção NW-SE ($N40-50^{\circ}W$) a WNW-ESE ($N50-80^{\circ}W$) apresentam estrias indicando movimentações oblíquas esquerda normal e movimentações oblíquas direita normal. As estruturas de direcção NE-SW ($N40-50^{\circ}E$) apresentam movimentação oblíqua direita normal e as estrias observadas nas falhas de direcção NNW-SSE ($N0-40^{\circ}W$) indicam movimentações oblíquas esquerda normal.

Em praticamente todas as falhas foi observada componente normal, detectada a partir do deslocamento de marcadores de natureza estratigráfica. Os valores de separação observáveis foram de ordem métrica ou decamétrica nas estruturas maiores a centimétrica nas menores. Contudo, em alguns casos, parte do valor da separação normal pode ser aparente e resultar da componente de desligamento ao deslocar marcadores inclinados.

A tectónica da região estudada é caracterizada pela ocorrência de duas populações de falhas incompatíveis com um só campo de tensões: estruturas de direcção WNW-ESE direitas normais conjugadas de estruturas NNW-SSE esquerdas normais e falhas WNW-ESE a NW-SE esquerdas normais possivelmente conjugadas de falhas NE-SW direitas normais. Cada uma destas famílias é constituída por dois conjuntos de falhas com inclinações fortes (50-85°) e mergulhando em sentidos opostos.

Ambas as situações são características de deformação tridimensional, contudo indicam a ocorrência de dois campos de tensões distintos, separados no tempo ou no espaço.

A primeira população de falhas referida é compatível com o campo de tensões actual, transtensivo, definido para a Plataforma dos Açores (Madeira e Ribeiro, 1990; Madeira, 1998; Lourenço *et al.*, 1998), com compressão horizontal máxima (σ_1) orientada NW-SE, tracção horizontal máxima (σ_3) NE-SW e eixo vertical (σ_2) igualmente compressivo, originando desligamentos e, seguidamente, permutação entre σ_1 e σ_2 gerando falhas normais.

A segunda população é “anómala” e incompatível com o campo de tensões admitido para a região, com compressão máxima (σ_1) horizontal orientada segundo E-W, tracção máxima (σ_3) horizontal na direcção N-S e eixo vertical (σ_2) igualmente compressivo, ocorrendo também permutações entre σ_1 e σ_2 .

Uma hipótese é considerá-lo como um campo de tensões mais antigo que o actual, correlativo de um curto episódio de inversão no sentido de cisalhamento durante o qual a taxa de expansão da Crista Média a S terá sido superior à taxa de expansão a N, fazendo com que as falhas WNW-ESE a NW-SE direitas normais passassem a jogar como esquerdas normais, gerando-se falhas NE-SW direitas normais como conjugadas.

Outra hipótese (A. Ribeiro, com. oral) seria considerá-lo como actual e relacionado com a entrada da região E de S. Miguel numa zona sujeita a um regime compressivo E-W.

O estudo da sismicidade da região Açores-Gibraltar permite-nos deduzir acerca da actividade associada aos principais acidentes tectónicos activos – fronteiras de placas e zonas de fractura.

Projectando, com base na rede regional, a distribuição epicentral na região dos Açores, verifica-se que a actividade sísmica se distribui por toda a faixa do arquipélago a E da Crista Média Atlântica. A dispersão e as lacunas espaciais existentes são resultantes de apenas se ter 24 anos de registo e do aumento da incerteza da localização devido à disposição da rede que não permite determinar com exactidão epicentros localizados excentricamente a esta.

A informação sísmica é compatível com o padrão tectónico actual determinado por Madeira e Ribeiro (1990), Madeira (1998) com base em dados de neotectónica, e Lourenço *et al.* (1998), com base em dados morfotectónicos, neotectónicos e sísmicos. Com efeito, os mecanismo focais publicados estão de acordo com os dados cinemáticos obtidos pelos estudos neotectónicos, revelando eventos sísmicos em desligamento direito segundo planos orientados WNW-ESE a NW-SE e em desligamento esquerdo nas estruturas com direcção NNW-SSE a N-S, ambos com proporções variáveis de componente normal.

O campo de tensões “anómalo” determinado apenas se adequa a duas das soluções publicadas: a do sismo de 8 de Maio de 1939, de magnitude 7.1, e a do sismo de 23 de Novembro de 1973, de magnitude 4.9, sendo o primeiro mais credível e justificado com base na hipótese do afastamento à dorsal e entrada numa região em compressão E-W.

Sendo assim, é necessário confirmar, através de mais trabalhos de campo, a ocorrência deste campo de tensões, particularmente no resto da ilha de S. Miguel, onde não se realizaram estudos de geologia estrutural pormenorizados, tendo-se apenas cartografado os acidentes tectónicos maiores. Estes trabalhos poderão incluir estudos de paleossismicidade em acidentes com expressão morfológica de rotura superficial recente.

Pretende-se, de futuro, complementar os dados obtidos com parâmetros sísmicos de eventos de magnitude moderada a elevada publicados na bibliografia e pelo Sistema de Vigilância Sismológica dos Açores (SIVISA) na região em causa, com o objectivo de se determinar as principais zonas sismogénicas e contribuir para a avaliação do risco sísmico.

7. 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.
- BANGHAR, A. R. e SYKES, L. R. (1969) – Focal mechanisms of earthquakes in the Indian Ocean and adjacent regions. *J. Geophys. Res.*, 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.
- 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.
- BUFORN, E.; UDÍAS, 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.

- COLE, P. D.; QUEIROZ, G.; WALLENSTEIN, N.; GASPAR, J. L.; DUNCAN, A. M. e GUEST, J. E. (1995) – An historic subplinian/phreatomagmatic eruption: the 1630 AD eruption of Furnas volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 69, pp. 117-135.
- COLE, P. D.; GUEST, J. E.; QUEIROZ, G.; WALLENSTEIN, N.; PACHECO, J. M.; GASPAR, J. L.; FERREIRA, T. e DUNCAN, A. M. (1999) – Styles of volcanism and volcanic hazards on Furnas volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92, pp. 39-53.
- 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. – *4º Encontro Nacional sobre Sismologia e Engenharia Sísmica*. 1ª ed., Universidade do Algarve, 2, pp. 19-28.
- 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.
- FERNANDEZ, L. A. (1982) - The petrology and geochemistry of the 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 S. Miguel (Açores): vulcanismo basáltico recente e zonas de desgaseificação. Avaliação de riscos*. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, 248 p.
- FORJAZ, V. H. (1983) - *Azores tectonic sketch*. Documento interno do Centro de Vulcanologia, Universidade dos Açores.

- FORJAZ, V. H. (1993) – *Carta tectónica de S. 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.; WALLENSTEIN, N.; PACHECO, J. M.; GUEST, J. E.; DUNCAN A. e COLE, P. (1995) - Evolução morfoestrutural do vulcão das Furnas (ilha de S. Miguel, Açores). *Memória nº4 do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico*, pp. 999-1003.
- GASPAR, J. L.; QUEIROZ, G.; FERREIRA, T.; TROTA, A.; COUTINHO, R.; VALADÃO, 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.; GOULART, C.; QUEIROZ, G.; SILVEIRA, D. e GOMES, A. (2004) - Dynamic structure and data sets of a GIS database for geological risk and analysis in the Azores volcanic islands. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 4, pp. 1-10.
- GRIMISON, N. L. e CHEN, W.-P. (1986) – The Azores-Gibraltar plate boundary: focal mechanisms, depths of earthquakes and their tectonic implications. *J. Geophys. Res.*, 92, pp. 2029-2047.
- GUEST, J. E.; GASPAR, J. L.; COLE, P. D.; QUEIROZ, G.; DUNCAN, A. M.; WALLENSTEIN, N.; FERREIRA, T. e PACHECO, J. M. (1999) - Volcanic geology of Furnas Volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92, pp. 1-29.

- JOHNSON, C. L.; WIJBRANS, J. R.; CONSTABLE, C. G.; GEE, J.; STAUDIGEL, H.; TAUXE, L.; FORJAZ, V. H. e SALGUEIRO, M. (1998) – $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages and paleomagnetism of São Miguel lavas, Azores. *Earth and Planetary Science Letters*, 160, pp. 637-649.
- KRAUSE, D. C. (1965) – East and West Azores Fracture-Zones in the North Atlantic. In: WHITTARD, W. & BRADSHAW, R. (Eds.), *Submarine Geology and Geophysics*. London Butterworths Publ., pp. 163-172.
- 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.
- LAUGHTON, A. S.; WHITMARSH, R. B.; RUSBY, J. S. M.; SOMERS, M. L.; REVIE, J.; McCARTNEY, B. e NAFE, J. E. (1972) – A continuous East-West fault on the Azores-Gibraltar Ridge. *Nature*, 237(5352), pp. 217-220.
- 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.; LUIS, 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.
- LUIS, 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. H. (1972) – Geology of the Azores and the Mid-Atlantic Rift. *Proceedings do 24th Intern. Geol. 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 S. 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 RIBEIRO, A. (1990) – Geodynamic models for the Azores triple junction: a contribution from tectonics. *Tectonophysics*, 184, pp. 405-415.
- 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.
- 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. e BRUM DA SILVEIRA, A. (2003) – Active tectonics and first paleoseismological results in Faial, Pico and S. Jorge islands (Azores, Portugal). *Annals of Geophysics*, 46(5), pp. 733-761.
- MCKENZIE, D. (1972) – Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 30, pp. 109-185.
- MIRANDA, J. M.; MENDES VICTOR, L. A.; SIMÕES, J. Z.; LUIS, 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° 48' north. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 22, pp. 29-43.
- NUNES, J. C. (1991) – *Microssismos e Neotectónica: contribuição para o seu estudo nos Açores*. Provas de Capacidade Científica para passagem a Assistente, Departamento de Geociências da Universidade dos Açores, 245 p.
- NUNES, J. C. (1999) – *Actividade vulcânica na ilha do Pico do Plistocénico Superior ao Holocénico: mecanismo eruptivo e hazard vulcânico*. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade em Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências.
- NUNES, J. C.; ALVES, J. L. & FORJAZ, V. H. (1992) – Sismicidade instrumental dos Açores no período 1980-89: implicações neotectónicas. In OLIVEIRA, C.; LUCAS, A. e GUEDES J. – *10 anos após o sismo dos Açores de 1 de Janeiro de 1980*. Secretaria Regional da Habitação e Obras Públicas / Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1, pp. 163-174.

- 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.; 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 S. Miguel, Açores) na primeira metade do século XV. *Açoreana*, 8(1), pp. 159-165.
- RECHES, Z. (1983) – Faulting of rocks in three-dimensional strain fields. II – Theoretical analysis. *Tectonophysics*, 95, pp. 133-156.
- RECHES, Z. e DIETERICH, J. H. (1983) – Faulting of rocks in three-dimensional strain fields. I – Failure of rocks in poliaxial, servo control experiments. *Tectonophysics*, 95, pp. 111-132.
- RIBEIRO, A. (1982) – Tectónica de placas: aplicação à sismotectónica e à evolução da fronteira de placas Açores-Gibraltar. *Geonovas*, 1(4), pp. 87-96.
- SEARLE, R. (1980) – Tectonic pattern of the Azores triple junction. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 51, pp. 415-434.
- SENOS, M. L.; GASPAR J. L.; CARRILHO, F.; QUEIROZ, G.; ALVES, P. M. e FERREIRA, T. (1997) – Estrutura do sistema de vigilância sismológica dos Açores – SIVISA. *3º Encontro sobre Sismologia e Engenharia Sísmica*. 1ª ed., pp. 31-38.
- SILVEIRA, D. (2002) – *Caracterização da sismicidade histórica da ilha de S. Miguel com base na reinterpretação de dados de macrossísmica: contribuição para a avaliação do risco sísmico*. Tese de Mestrado no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, 149 p.
- 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 Mechanics*, Suppl. 9, pp. 75-84.
- UDÍAS, A. e LÓPEZ ARROYO, A. (1972) – Plate tectonics and the Azores-Gibraltar region. *Nature*, 237(74), pp. 67-69.
- UDÍAS, A.; LÓPEZ ARROYO, A. e MEZCUA, J. (1976) – Seismotectonic of the Azores-Alboran region. *Tectonophysics*, 31, pp. 259-289.
- UDIAS, A.; ESPINOSA, A. F.; MEZCUA, J.; BUFORN, 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.
- UDIAS, A.; BUFORN, E e MEZCUA, J. (1988) – Occurrence of large earthquakes in the Azores-Iberia region. *Seminar on the Prediction of Earthquakes*, pp. 1-7.
- 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 Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, 266 p.
- ZBYSZEWSKI, G. (1961) – *Étude géologique de l'Île de S. Miguel (Açores)*. Separata do tomo XLV das Comunicações dos Serv. Geol. Portugal, 79 p.
- ZBYSZEWSKI, G.; MOITINHO DE ALMEIDA, F.; VEIGA FERREIRA, O. e TORRE DE ASSUNÇÃO, C. (1958) – *Notícia explicativa da Folha "B" da ilha de S. 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.