

GEODINÂMICA E PERIGOSIDADE NATURAL NAS ILHAS DOS AÇORES

ANTÓNIO DE BRUM FERREIRA¹

*A um velho Amigo
Recordando as raízes...*

Resumo – Os Açores situam-se num quadro tectónico original, que confere a essas ilhas uma geodinâmica muito activa, nomeadamente no que se refere ao vulcanismo e à sismicidade. O vulcanismo efusivo, tal como acontece em qualquer outro lugar da Terra, é o menos perigoso, mas a actividade explosiva pode tornar-se catastrófica, sobretudo se atingir o carácter violento revelado pelos ignimbritos formados nos últimos milhares de anos nalgumas ilhas. No tempo histórico, têm sido os sismos o factor natural de maior perigosidade, originando por vezes verdadeiras tragédias: foi o que aconteceu com o terramoto de São Jorge, em 1757, que vitimou 20% da população da ilha, e o de São Miguel, em 1522, que destruiu Vila Franca do Campo. Neste último caso, a causa última da tragédia foi um movimento de terreno, desencadeado pela vibração sísmica, que submergiu a povoação, causando a morte de quase todos os seus habitantes (vários milhares de pessoas). Os movimentos de terreno são particularmente importantes no litoral das ilhas: desabamentos e deslizamentos rotacionais gigantescos são testemunhados pelas fajãs, pequenas plataformas detríticas situadas no sopé de arribas por vezes imponentes, com várias centenas de metros de altura. Esses movimentos de terreno são favorecidos pela erosão marinha e pela estrutura geológica dos estratovulcões, mas muitos deles terão sido desencadeados pela própria vibração sísmica.

Palavras-chave: Vulcanismo, sismicidade, movimentos de terreno, perigosidade natural, Açores.

Abstract – GEODYNAMICS AND NATURAL HAZARDS IN THE AZORES ISLANDS. The central islands of the Azores archipelago exhibit significant volcanic and seismic activity. The most important tectonic structure responsible for this activity seems to be the leaky transform Terceira Rift, a branch of the Azores triple junction separating the Eurasia and Africa plates. In historical time (since the XV century), the most frequent volcanic eruptions were of the hawaiian and strombolian types, but the level of explosivity has occasionally reached subplinian magnitude, as it happened

¹ Investigador do Centro de Estudos Geográficos e Professor Catedrático da Universidade de Lisboa.

in the Fogo (1563) and Furnas (1630) volcanoes (hydromagmatic eruptions in the calderas). As in other volcanic regions of the world, effusive volcanism is not particularly dangerous in the Azores islands; explosive activity, however, can be catastrophic (ignimbrites formed in some islands over the last millennia). Still, throughout historical time, earthquakes have been the most dangerous natural phenomena in the Azores, sometimes bringing about tragic consequences: in 1757, an earthquake struck the São Jorge island, killing one thousand people (20% of the total population). But the most catastrophic seismic event of all occurred in the island of São Miguel in 1522: an earthquake triggered an earthflow that submerged the capital (Vila Franca do Campo) and killed nearly all of its inhabitants (several thousands). Whether or not they are triggered by earthquakes, mass movements are most common along the coast of the islands: huge falls and rotational slides are attested for by the so-called *fajãs*, detrital platforms on the foot of cliffs that are several hundred meters high; in death-defying fashion, some of these platforms are actually inhabited.

Key words: Volcanic activity, seismicity, landslides, natural hazards, Azores.

Résumé – GÉODYNAMIQUE ET RISQUE NATUREL DANS LES ÎLES DES AZORES. Un cadre tectonique particulier explique la grande activité géodynamique qui marque les îles des Açores. Si le volcanisme de type effusif n'est pas très dangereux, l'activité explosive peut y être violente, comme le montrent les ignimbrites formées dans certaines îles pendant les derniers milliers d'années. Mais ce sont surtout les tremblements de terre qui affectent l'archipel, en provoquant parfois de véritables tragédies. Le séisme de 1757 entraîna la mort de 20% de la population de l'île de São Jorge et celui de 1522 détruisit Vila Franca do Campo, dans l'île de São Miguel, la ville la plus importante des Açores, à l'époque. Il provoqua en effet un glissement de terrain qui recouvrit l'agglomération, entraînant la mort de milliers de personnes. Les mouvements de terrains sont particulièrement actifs le long des côtes, ou les *fajãs*, petites plateformes détritiques situées à la base de falaises hautes parfois de centaines de mètres, témoignent des énormes éboulements ou glissements rotationnels qui ont affecté celles-ci. L'érosion marine et la structure des strato-volcans favorisent ces mouvements de terrain, mais beaucoup d'entre eux ont pu être déclenchés par les vibrations sismiques.

Mots-clés: Volcanisme, séismicité, mouvements de terrain, risque naturel, Açores.

I. O QUADRO ESTRUTURAL

O quadro estrutural dos Açores é determinado pela junção tripla entre as placas litosféricas americana, eurasiática e africana. É uma junção em forma de T, com dois ramos de direcção N-S, constituídos pela Dorsal Média do Atlântico, e um terceiro ramo, com direcção aproximada WNW-ESE, conhecido por Rife da Terceira (fig. 1). De acordo com Searle (1980), o Rife da Terceira, que passa pelas ilhas Graciosa, Terceira e a parte ocidental de São Miguel, corresponde a uma transformante em desligamento direito, com movimentação oblíqua (*leaky transform*), constituindo assim uma faixa de expansão oceânica, perpendicular à Dorsal Média do Atlântico, responsável pelo vulcanismo e actividade sísmica

dessas ilhas. No entanto, é preciso ter em conta que São Jorge, Faial e Pico têm registado também importante actividade vulcânica e sísmica, de modo que aquela solução não é inteiramente satisfatória. Por isso MADEIRA e RIBEIRO (1990; ver também MADEIRA, 1998 e RIBEIRO, 2002), consideram que a *leaky transform* passa pelo canal de São Jorge.

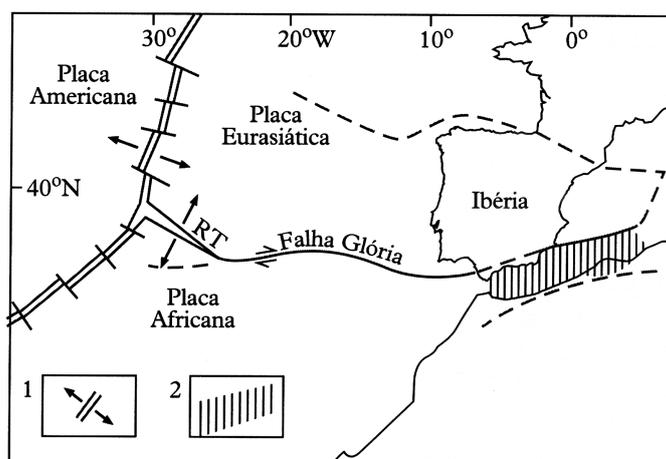


Fig. 1 – Quadro estrutural dos Açores (muito simplificado)

1 – Dorsal Média do Atlântico; 2 – Faixa de compressão; RT – Rifte da Terceira

Fig. 1 – Tectonic framework of Azores archipelago (very simplified)

1 – Mid-Atlantic Ridge; 2 – Compression zone; RT – Terceira Ridge.

O problema da definição do quadro geotectónico dos Açores é dificultado pelo facto de não se observarem estruturas suficientemente contínuas na Plataforma dos Açores (relevo submarino triangular, a cerca de 2.000 m de profundidade) que permitam traçar com nitidez a fronteira entre as placas eurasiática e africana. Segundo SEARLE (1980) e também MOORE (1990), a actual fronteira entre essas placas litosféricas passaria pelo Rifte da Terceira, o que significa que as ilhas de São Jorge, Faial, Pico e Santa Maria ficariam situadas na placa africana. Na solução adoptada por MADEIRA e RIBEIRO (1990), o limite das placas passaria, como se disse, pelo canal de São Jorge. Por sua vez, FORJAZ (1988) considera que a Plataforma dos Açores constitui uma microplaca de forma triangular, situada entre as placas eurasiática e africana, limitada a oeste pela Dorsal Média do Atlântico, a norte por uma falha em desligamento direito que coincidiria com o Rifte da Terceira, e a sul por outro desligamento direito, situado numa faixa tectónica conhecida por Zona de Fractura Este dos Açores. Todavia, não parece haver uma estrutura tectónica única e bem definida entre a

Eurásia e a África na região dos Açores, mas antes uma larga faixa de acomodação das tensões entre essas duas placas (MADEIRA, 1998).

II. O VULCANISMO

1. Origem do vulcanismo dos Açores

Aquilo que se disse no ponto anterior mostra que o vulcanismo das ilhas dos Açores não se relaciona directamente com a faixa de expansão oceânica N-S da Dorsal Média do Atlântico, mas antes com uma ou mais faixas de expansão oblíqua, de que o Rife da Terceira ou a *leaky transform* de São Jorge parecem os melhores representantes. Esse facto reflecte-se no quimismo das lavas: enquanto as rochas açorianas se filiam na série de basaltos alcalinos, as lavas da dorsal apresentam carácter toleítico (FRANÇA, 2002). Alguns autores consideram que a importante actividade vulcânica e sísmica das ilhas centrais dos Açores e de São Miguel se relaciona com a existência de um *hot spot* («ponto quente»). No entanto, não existe nenhuma anomalia térmica positiva no manto da região dos Açores: bem pelo contrário, a temperatura deduzida da análise dos peridotitos e dos basaltos do manto superior é ligeiramente inferior ao normal (BONATTI, 1998). Mas a composição dos basaltos do manto superior da região açoriana mostra concentrações anormalmente elevadas de água, e também de componentes voláteis e de terras raras, que têm como consequência um abaixamento da temperatura de fusão. Assim, não haveria nos Açores propriamente uma «pluma térmica», mas uma composição particular dos basaltos do manto superior que facilitaria o vulcanismo. Nestes casos, em vez de «pontos quentes» deveria falar-se de «pontos húmidos, para sublinhar o papel fundamental que desempenham os fluidos na sua formação» (BONATTI, 1998, p. 18).

Diversas idades radiométricas permitem fazer-se uma ideia razoável da idade das ilhas. FORJAZ (*in* FORJAZ *et al.*, 2000) apresenta-nos uma cómoda síntese, baseada em dados de vários autores, sendo particularmente interessante a sequência das idades das formações mais antigas de cada ilha, a leste da dorsal, e que seria a seguinte: Santa Maria (4,8 Ma); São Miguel (3,1 Ma); Terceira (0,9 Ma); Graciosa (0,62 Ma); São Jorge (0,45); Faial (0,4 Ma); Pico (0,25 Ma). Isso mostra uma relação clara entre a idade da individualização dessas ilhas e a distância à dorsal, num esquema semelhante ao que costuma acontecer em relação aos *hot spot* intraplaca. Quanto às ilhas situadas a oeste da dorsal, ou seja, já na placa americana, a ilha das Flores (2,1 Ma) é bastante mais antiga do que o Corvo (0,3 Ma?).

Na ilha de Santa Maria, a mais antiga dos Açores, o vulcanismo parece extinto há cerca de três milhões de anos. Nas ilhas das Flores, do Corvo e da Graciosa não foram registadas erupções vulcânicas no tempo histórico, que é bastante curto, pois as ilhas foram povoadas apenas em meados do século XV. Na ilha das Flores, parece ter havido uma importante actividade vulcânica e

freatomagmática há cerca de 3.000 anos, que terá dado origem a crateras de explosão de tipo *maar* e *tuff ring* e também às escoadas de lava mais recentes (cf. SIEBERT e SIMKIN, 2002). Na Graciosa, algumas escoadas lávicas mostram uma grande frescura e, por isso, não podem ser muito anteriores à ocupação humana, além de que nela se regista ainda actividade fumarólica e termal. Nas ilhas de São Miguel, Terceira, São Jorge, Faial e Pico, foram registadas diversas erupções vulcânicas no tempo histórico.

2. As erupções vulcânicas, no tempo geológico

O vulcão porventura melhor conhecido dos Açores é o das Furnas, na ilha de São Miguel, o qual tem sido estudado por uma equipa de cientistas nacionais e estrangeiros. De acordo com GUEST *et al.* (1999), e com base em datações de radiocarbono, a caldeira do vulcão das Furnas deve ter-se formado há cerca de 12 000 – 10 000 anos B.P., e a actividade vulcânica daí para cá terá mantido um carácter explosivo, de magnitude pliniana a subpliniana. Nos últimos 5.000 anos terão ocorrido uma dezena de erupções, contando com duas erupções históricas. O vulcão do Fogo, situado mais a oeste, na mesma ilha, registou 20 erupções nos últimos 15 000 anos, sendo 7 nos últimos 5.000 anos, incluindo duas erupções históricas (WALLENSTEIN e DUNCAN, 1998). Todas essas erupções tiveram um carácter explosivo. Por sua vez, no vulcão das Sete Cidades, localizado no extremo ocidental da ilha de São Miguel, a última fase da formação da caldeira parece ter ocorrido há cerca de 16 000 anos, tendo-se registado 17 erupções nos últimos 5000 anos. No interior da caldeira, as erupções tiveram um carácter hidromagmático, enquanto nas vertentes exteriores do vulcão elas foram de tipo havaiano-estromboliano (QUEIROZ e GASPAR, 1998).

Num estudo vulcanológico muito pormenorizado sobre a ilha Terceira, SELF (1974, cf. FERNANDES, 1985; ver também SELF, 1982) identificou 116 erupções nos últimos 23 000 anos, registando-se 21 erupções nos últimos 2 000 anos. As erupções foram de natureza muito variada, mas revestiram por vezes um carácter extremamente explosivo, como revelam os ignimbritos que cobriram a maior parte da ilha, há 23 000 e 19 000 anos. Sobre a Graciosa, há poucas datações radiométricas, mas pensa-se que a caldeira do estratovulcão dessa ilha ter-se-á formado há cerca de 12 200 anos. Além disso, um estudo detalhado de terreno permite afirmar que, depois da formação da caldeira, terão ocorrido na Graciosa «pelo menos 10 erupções vulcânicas» (GASPAR, 1996, p. 238). No que se refere à ilha de São Jorge, MADEIRA *et al.* (1998), baseando-se em 21 datações radiométricas, estimam que terão ocorrido uma dezena de erupções vulcânicas desde há 5600 anos B.P., não incluindo as três erupções históricas, e deduzem, tendo em conta os intervalos das erupções históricas, «um período de recorrência de 200 a 300 anos» (ob. cit., p. 148). NUNES (1999), também com base em datações radiométricas, considera que, na ilha do Pico, terão ocorrido mais de 35 erupções vulcânicas nos últimos 2000 anos, e 14 no último milénio; a análise

estatística desses dados sugere um período de retorno de 130 anos. As erupções foram do tipo estromboliano ou havaiano, com predomínio de fases efusivas. No mesmo trabalho, referindo-se à ilha do Faial, o autor considera que as datações radiométricas permitem individualizar cinco episódios explosivos na caldeira, no intervalo entre 10 000 e cerca de 1600 anos B.P.

3. As erupções vulcânicas, no tempo histórico

Numa lista elaborada por FORJAZ (1999; *in* FORJAZ *et al.*, 2000), constam 34 erupções vulcânicas ocorridas nos Açores, a seguir à ocupação humana das ilhas, incluindo tanto as erupções terrestres como as submarinas (fig. 2). Essas erupções estão muito desigualmente documentadas e estudadas. Algumas delas são contemporâneas, embora pertencendo a focos eruptivos distintos, e outras não terão passado de meras erupções freáticas. Além disso, a lista mostra um aumento das erupções submarinas nos últimos cem anos, o que denota novos meios de identificação, nomeadamente a rotura de cabos submarinos. Os factos apontados, e ainda a necessidade de determinar com precisão o contexto geofísico e geotectónico das erupções, aconselha que se tenha uma certa prudência na dedução da periodicidade das erupções históricas dos Açores. No quadro I resumem-se as características e as consequências das principais erupções ocorridas nos Açores no tempo histórico.

Assinale-se que a mais recente erupção vulcânica dos Açores ocorreu ao largo da ilha Terceira, a cerca de 9 km do Farol da Serreta. Descoberta por pescadores terceirenses no dia 18 de Maio de 1998, a actividade eruptiva só viria a cessar completamente em 2001. A erupção, intermitente, foi caracterizada por uma alternância de emissão de bolas de gases e de projecção de piroclastos finos e de lavas em almofada, que chegavam até à superfície das águas (FORJAZ *et al.*, 2000). Ao contrário das duas erupções submarinas mais recentes (a dos Capelinhos e a da Serreta), as erupções históricas que ocorreram no mar dos Açores parecem ter durado apenas algumas semanas, dando origem a ilhotas que foram rapidamente destruídas pela erosão marinha, ou se afundaram pouco depois da erupção.

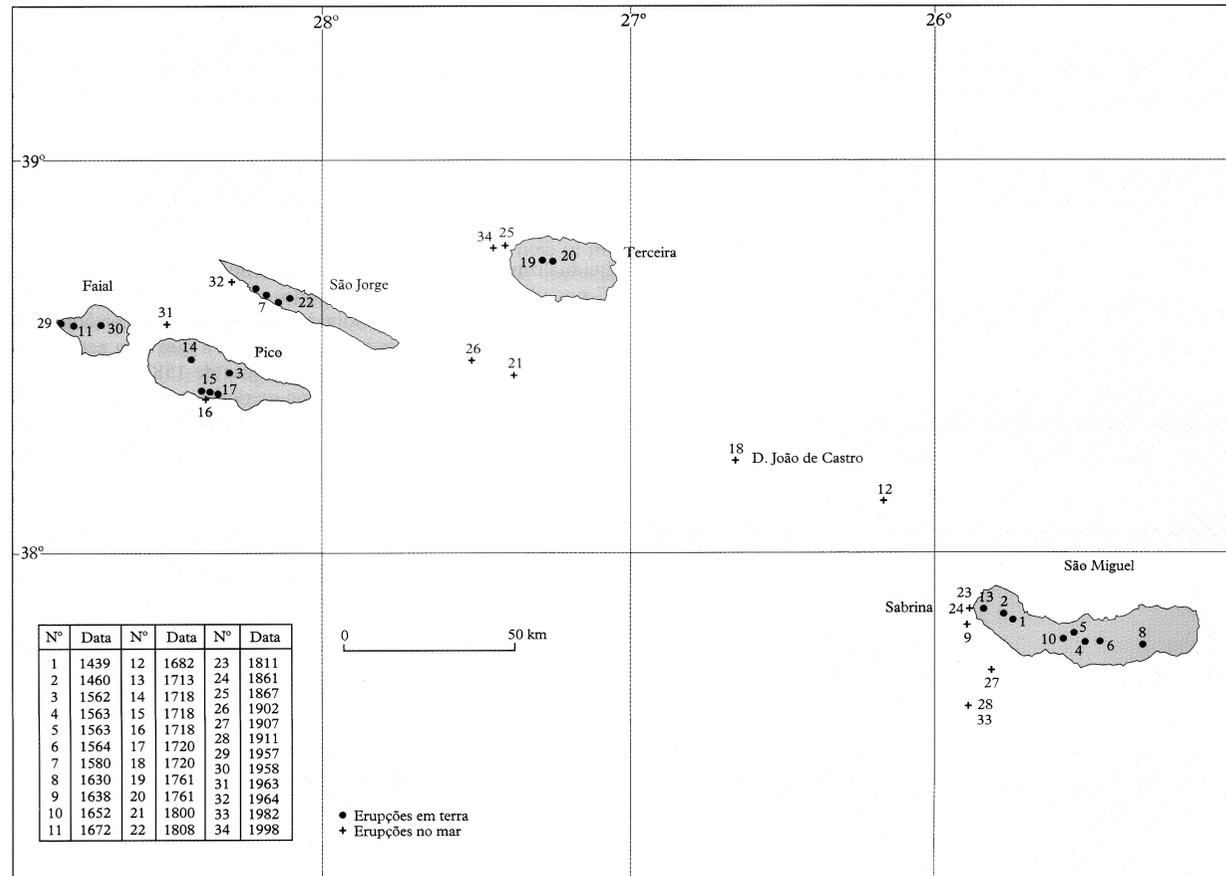


Fig. 2 – Erupções históricas nos Açores (segundo FORJAZ, in FORJAZ et al., 2000).
 Fig. 2 – Historical volcanic eruptions in Azores (after FORJAZ, in FORJAZ et al., 2000)

Quadro I – Principais erupções vulcânicas históricas dos Açores
e suas consequências

*Table I – Principal historical volcanic eruptions in the Azores
and their consequences*

Ano	Local	Características	Consequências
1563	São Miguel (caldeira do vulcão do Fogo e Pico do Sapateiro)	Actividade explosiva (subpliniana) na caldeira, seguida de actividade efusiva no Pico do Sapateiro	Uma escoada lávica oriunda do Pico do Sapateiro soterrou parte da povoação da Ribeira Seca (GASPAR FRUTUOSO)
1630	São Miguel (caldeira do vulcão das Furnas)	Actividade magmática e freatomagmática (esta última, de magnitude subpliniana)	Formação de escoadas piroclásticas que terão vitimado uma centena de pessoas em Ponta Garça. No total, terão perecido 195 pessoas em São Miguel, durante esta fase vulcânica (COLE <i>et al.</i> , 1995)
1672	Faial (Cabeço do Fogo)	Actividade explosiva, seguida de actividade efusiva prolongada	Escoadas de lava destruíram quase total- mente as povoações de Praia do Norte e do Capelo (MACHADO, 1959)
1808	São Jorge	Actividade essencialmente estromboliana	Uma escoada lávica destruiu parcialmente a povoação da Urzelina. Segundo MACHADO (1965) uma nuvem ardente terá causado a morte de 8 pessoas
1957/58	Faial (Capelinhos)	Erupção surtseyana, de Setembro de 1957 a Maio de 1958. De Maio a Outubro de 1958, actividade estromboliana	Prejuízos materiais devido à forte queda de cinzas, com danificação de habitações e cul- turas agrícolas na freguesia do Capelo. Cerca de 700 pessoas desalojadas (RIBEIRO e Brito, 1958; CAMPOS <i>et al.</i> , 1962)

III. A SISMICIDADE

A actividade sísmica nos Açores pode considerar-se alta, devido não só à grande frequência de ocorrência dos tremores de terra mas também à elevada magnitude que alguns sismos atingem. Quanto às condições de estudo dessa sismicidade, a maior parte dos elementos baseia-se na documentação histórica. Apenas a partir de 1980, na sequência dos grandes prejuízos causados pelo sismo ocorrido em 1 de Janeiro desse ano, se pode falar verdadeiramente de sismologia instrumental nos Açores, embora antes disso haja recurso aos dados da sismologia internacional. No que se refere à paleossismicidade, com base na análise dos deslocamentos nas falhas activas, o seu estudo está limitado pela fraca extensão observável em terra, que não cobre o comprimento total das falhas sismogénicas, nomeadamente no caso de sismos de grande magnitude (MADEIRA, 1998).

Podemos distinguir dois tipos de sismos nos Açores: uns, muito numerosos, contando-se às centenas por crise, precedem e anunciam as erupções vulcânicas, por isso mesmo designados por «tremor vulcânico»; outros têm um carácter puramente tectónico, incluindo-se nesta categoria os sismos de maior

magnitude ocorridos na região. Tanto num caso como noutra, os sismos são pouco profundos (a litosfera sismogénica não costuma ultrapassar 10 km de espessura), o que pode aumentar grandemente a perigosidade sísmica, sobretudo quando a distância epicentral aos lugares habitados não é muito grande. De acordo com MACHADO (1959), alguns sismos que anunciaram a fase estromboliana da erupção dos Capelinhos atingiram a intensidade epicentral de 10 graus Mercalli, devido ao facto de a profundidade do foco não ter excedido 1 km. No quadro II, resumiram-se as consequências dos principais sismos que afectaram os Açores, no período histórico.

O sismo registado em 22 de Outubro de 1522, na ilha de São Miguel, está ligado à segunda maior catástrofe ocorrida em território nacional, no período histórico, logo a seguir ao terramoto de Lisboa, de 1755. Esse sismo esteve na origem da destruição de Vila Franca de Campo, a capital da ilha nessa altura, e na morte da quase totalidade dos seus habitantes, que alguns cronistas estimam ter sido 5000, mas que deveriam ser em número bastante menor; segundo GASPFR FRUTUOSO. De acordo com MACHADO (1970, p. 143), o sismo terá tido as seguintes características: intensidade epicentral (I_0), 10 graus Mercalli; magnitude (M), 6,8; profundidade focal (h), 12 km. Todavia, a grande mortandade verificada não se deveu directamente ao sismo, mas a um movimento de terreno induzido por ele, como veremos no ponto seguinte.

Quadro II – Principais sismos históricos dos Açores e suas consequências

Table II – Principal historical earthquakes in Azores and their consequences

Data	Ilhas atingidas	Principais consequências
1522 22 Out.	São Miguel	Destruição de Vila Franca, tendo perecido quase todos os seus habitantes (alguns milhares), em resultado de um movimento de terreno, induzido pelo sismo (GASPFR FRUTUOSO)
1614 9 Abril	Terceira	Afectou sobretudo a Praia da Vitória. Destruídas 1600 habitações. Mais de 200 mortos (FARRICA, 1980; MOREIRA, 1991)
1757 9 Julho	São Jorge Pico Terceira	Grande destruição na ilha de São Jorge. Um milhar de mortos. Importantes estragos na parte oriental do Pico e na Terceira, sobretudo em Angra do Heroísmo (MACHADO, 1970; FARRICA, 1980)
1841 15 Junho	Terceira	Praia da Vitória e Fontainhas quase totalmente destruídas. Grandes estragos também em São Sebastião e Fonte do Bastardo (FARRICA, 1980)
1926 31 Ago.	Faial Pico	Grandes destruições na cidade da Horta. Uma dezena de mortos. Importantes estragos no Pico (MACHADO, 1970)
1980 1 Jan.	Terceira, Graciosa São Jorge	Grandes estragos, sobretudo na Terceira, com 4700 casas destruídas e 5700 inabitáveis. 60 mortos (FARRICA, 1980)
1998 9 Julho	Faial Pico	Grande destruição na parte nordeste do Faial: 8 mortos e 150 feridos. Centenas de casas destruídas ou danificadas no Pico (Valverde – Madalena) (FRANÇA, 2002)

Particularmente catastrófico foi também o sismo ocorrido em 9 de Julho de 1757 na ilha de São Jorge, tendo causado um milhar de mortes, numa população com pouco mais de 5000 habitantes. Segundo MACHADO (1970, p. 143), as características do sismo terão sido as seguintes: $I_0 = 11$; $M = 7,4$; $h = 11$ km. De acordo com o mesmo autor, esse terramoto provocou «muitas derrocadas nas arribas e ruína quase total dos edifícios da metade oriental da ilha». O terramoto causou também importantes estragos na parte oriental da ilha do Pico, e na Terceira, nomeadamente em Angra do Heroísmo. MADEIRA (1998) refere que na ilha de São Jorge «nenhuma falha apresenta rotura superficial compatível com este episódio tectónico». Como o terramoto originou um *tsunami*, pode afirmar-se que o epicentro ocorreu no mar; por outro lado, a «enorme destruição registada em S. Jorge sugere que a rotura ocorreu próximo da costa, provavelmente ao largo do litoral norte uma vez que o *tsunami* apresentou maior amplitude na Terceira e Graciosa que no Faial» (ob. cit., p. 367). Descrições coevas mencionam importantes movimentos de terreno na vertente norte da ilha de São Jorge, provavelmente desabamentos e deslizamentos rotacionais.

Antes do sismo de 1 de Janeiro de 1980, a ilha Terceira tinha sido atingida, no período histórico, por dois importantes tremores de terra, que afectaram sobretudo a parte oriental da ilha: um ocorreu no dia 9 de Abril de 1614 e outro em 15 de Junho de 1841. O primeiro destes sismos foi o mais catastrófico, pois em consequência dele terão perecido duas centenas de pessoas na Praia da Vitória, Cabo da Praia e Fontainhas (MOREIRA, 1991), para além da destruição de «1600 fogos, 34 igrejas, 3 mosteiros e 15 ermidas» (cf. FARRICA, 1980, p. 254). Durante o sismo de 1 de Janeiro de 1980, foi a parte ocidental da ilha que sofreu a maior destruição: segundo dados oficiais citados por FARRICA (1980, p. 250-251), das 19 000 habitações da ilha, 4700 ficaram destruídas e 5700 inabitáveis; só em Angra do Heroísmo ficaram destruídas cerca de 1800 habitações, das 4600 existentes na cidade. Quanto às consequências humanas, há a registar 60 mortos. O número de vítimas poderia ter sido muito maior, se o sismo não tivesse ocorrido numa tarde festiva, com bom tempo atmosférico, encontrando-se muita gente fora das suas residências. A magnitude do sismo terá atingido 7,2 na escala de Richter, com epicentro localizado no sector sudoeste da fossa submarina oriental da Graciosa (MADEIRA, 1998, p. 375).

Em 31 de Agosto de 1926, ocorreu um terramoto na ilha do Faial, com epicentro próximo da cidade da Horta, onde produziu grandes estragos, além de ter causado uma dezena de mortos. De acordo com MACHADO (1970, p. 145), o sismo terá tido as seguintes características: $I_0 = 9$; $M = 6,3$; $h = 13$ km. Esse sismo provocou também importantes estragos na vizinha ilha do Pico. Durante a erupção dos Capelinhos, a ilha do Faial registou várias centenas de sismos: a actividade vulcânica foi precedida por mais de duas centenas de abalos e, a preceder a fase estromboliana, nos dias 12 e 13 de Maio de 1958, registaram-se 450 tremores de terra, alguns deles originando estragos importantes devido à fraca profundidade do foco, como foi referido atrás: em consequência, a povoação da Praia do Norte foi totalmente destruída, e só não houve uma

tragédia porque a população tinha abandonado as suas habitações, advertida pelos primeiros abalos (MACHADO, 1969). Foi também a ilha do Faial a mais atingida pelo mais recente macrossismo registado nos Açores, que ocorreu em 9 de Julho de 1998, afectando principalmente as povoações da parte nordeste da ilha, havendo a registar 8 mortos, 150 pessoas feridas e grande destruição do parque habitacional. Esse sismo afectou também a ilha do Pico, sobretudo a área de Valverde-Madalena, com centenas de casas destruídas ou danificadas (FRANÇA, 2002).

IV. OS MOVIMENTOS DE TERRENO

No início deste trabalho já se fez alusão à importância da estrutura dos estratovulcões e à acção erosiva do mar na origem de movimentos de terreno que podem atingir grande magnitude e constituir um factor de forte perigosidade. Estes movimentos de terreno são, por via de regra, desabamentos, com deslizamentos rotacionais associados, que vão mantendo o perfil abrupto de arribas por vezes majestosas, com várias centenas de metros de altura, e originam plataformas de escombrecas no sopé, conhecidas na região por «fajãs». Um dos exemplos mais impressionantes nos Açores dos efeitos dessa erosão marinha, com desabamentos associados, é o da ilha do Corvo (MEDEIROS, 1967; 2.^a ed., 1987), um estratovulcão hoje quase reduzido a metade, devido à forte erosão nos flancos ocidental e norte, sobretudo no primeiro, que atinge já as paredes internas da caldeira. A arriba resultante chega a atingir 700 m de altura.

No caso do Corvo, talvez devido à forte erosão marinha e à ausência de enseadas mais ou menos abrigadas, não existem fajãs, mas estas encontram-se com frequência noutras ilhas, nomeadamente em São Jorge e nas Flores. As fajãs dos Cubres e do Santo Cristo (também dita da Caldeira), na encosta norte da ilha de São Jorge, são de todas as mais espectaculares e, tendo em conta a forte erosão marinha local, é de supor que a sua idade não seja muito mais antiga do que a do início do povoamento da ilha. É também provável que os enormes desabamentos das arribas estejam relacionados com a ocorrência de tremores de terra, dada a elevada sismicidade de São Jorge e ao facto de a encosta norte seguir de perto uma estrutura tectónica activa. Há notícias de grandes desmoronamentos das arribas durante o sismo de 1757, tanto na encosta norte como na encosta sul de São Jorge, nomeadamente nas fajãs dos Vimes, de São João e dos Cubres (cf. MADEIRA, 1998).

As fajãs são também muito frequentes na ilha das Flores, particularmente no litoral ocidental, no sopé de vertentes que chegam a atingir cerca de 500 m de altura. Aqui não é fácil atribuir à vibração sísmica o factor desencadeante da instabilidade das vertentes, uma vez que a sismicidade é muito reduzida naquela ilha, embora se saiba que, mesmo tremores de terra de fraca magnitude, são suficientes para desencadear grandes movimentos de terreno. Um factor a ter

em conta, além da estrutura geológica propícia, à acção erosiva do mar, e aos fortes declives (que são causa e consequência dos desabamentos), são as elevadas precipitações, que aumentam o peso do maciço rochoso e diminuem a resistência efectiva dos materiais.

A conservação de fajãs no litoral ocidental da ilha das Flores, em áreas expostas à forte erosão marinha, pode entender-se como um indício da sua relativa juventude. Uma das fajãs, que se encontra na vertente noroeste, na base de uma arriba de 350 m de altura, tem a sugestiva designação de «Quebrada Nova», e não é ocupada por nenhuma habitação. De acordo com MACEDO (1871, vol. III, p. 120-121) o desabamento deu-se em 9 de Julho de 1847. A entrada brusca do grande volume de materiais no mar terá levantado água até uma altura de 60 metros. A acumulação das escomboreiras no litoral terá atingido um comprimento de 1100 m ao longo da costa e uma distância de 770 m em direcção ao mar. Segundo o mesmo autor, distinguiram-se, acima da água, duas acumulações, uma em continuidade com a costa e outra distante dela, a 220 metros, em ambos os casos «com arvoredos que desabou juntamente com a montanha e que parece ter ali mesmo nascido». Esta referência parece indicar um movimento rotacional. A fajã ocupa hoje um comprimento de 750 m ao longo da costa e atinge 300 m de largura. O último desmoronamento de grandes dimensões da ilha das Flores ocorreu no dia 22 de Maio de 1980², na encosta sul, no sítio designado por Rocha Alta. A fajã resultante desse movimento de terreno está representada no novo mapa topográfico da ilha, na escala de 1:25.000 (2.^a ed., 2002). Actualmente a fajã atinge cerca de 1000 m de comprimento, ao longo da costa, e 400 m de largura. Segundo informações obtidas no local, a dimensão original era bastante maior, tendo a erosão marinha progredido muito nos locais onde a acumulação era constituída sobretudo por materiais finos. Segundo os mesmos informadores, grande parte da vegetação deslocada ficou de pé, o que, mais uma vez, sugere um movimento rotacional. O desmoronamento verificou-se num dia de bom tempo atmosférico e de mar calmo, o que reforçou a surpresa dos pescadores que se encontravam no porto das Lajes, a 6 km de distância, onde o nível do mar, na sequência do desabamento, sofreu grandes oscilações. Tratando-se de um litoral em arriba, com 300 m de altura, sem espaço para qualquer habitação, esse grandioso movimento de terreno não causou nenhuma vítima.

Tal como foi referido, o movimento de terreno mais catastrófico de que há memória nos Açores aconteceu na sequência do sismo de 22 de Outubro de 1522, tendo soterrado a povoação mais importante da ilha de São Miguel, Vila Franca do Campo, causando a morte da quase totalidade dos seus habitantes, em número ainda hoje mal definido. O número de 5000 mortos avançado por testemunhos contemporâneos da catástrofe e que seria repetido depois por

² Agradeço ao Senhor Presidente da Câmara Municipal das Lajes das Flores, João António Vieira Lourenço, a informação da data exacta deste desmoronamento.

diversos cronistas (e aceite ainda por cientistas actuais), deve ter sido, segundo GASPAS FRUTUOSO, bastante menor, pois aquele número deve incluir outras mortes, ocorridas noutros locais da ilha na sequência do sismo (algumas delas devidas também a outros movimentos de terreno, como aconteceu por exemplo na Maia, na encosta norte), e ainda vítimas da peste que grassou na ilha, no ano seguinte ao da catástrofe. O tremor de terra foi responsável pela destruição dos principais edifícios da vila, mas foi a escoada de lama, em que se misturaram solos, cinzas vulcânicas, vegetação e grandes blocos, que, soterrando a vila, vitimou a população. O rigor do relato deixado por GASPAS FRUTUOSO (cf. *Saudades da Terra*, Livro IV, ed. 1998), permitiu a reconstituição das características do movimento de terreno (quadro III) e da sua trajectória (fig. 3).

Quadro III – Características da escoada de 22 de Outubro de 1522, em Vila Franca do Campo (segundo FERREIRA *et al.*, 2002)

Table III – Characteristics of the Vila Franca do Campo earthflow, 22 October 1522 (after FERREIRA et al., 2002)

Substrato	Lavas traquíticas
Material afectado	Solo, cinzas e escórias vulcânicas, vegetação
Declive da vertente	20°, na cabeceira; 5°, na área de acumulação
Tipo de Movimento	Escoada de terras (<i>earthflow</i>)
Velocidade	1-3 m/s
Comprimento máximo	2,5 km
Largura máxima	0,5 km
Profundidade máxima	5-7 m
Área afectada	650 000 m ²

Para além dos sismos de origem tectónica, também os abalos que antecedem ou acompanham as erupções vulcânicas, nomeadamente os devidos a explosões magmáticas ou freatomagmáticas, podem ser a causa próxima de movimentos de terreno de grande amplitude, provocando, além do desabamento de cornijas, verdadeiros colapsos dos flancos dos estratovulcões. Entre outros exemplos, pode citar-se o grande deslizamento do sítio do Castelo, na Ribeira Quente, onde a cicatriz e parte do corpo do deslizamento se individualizam ainda claramente. Segundo COLE *et al.* (1995), esse deslizamento terá ocorrido na sequência de abalos que antecederam, de poucas horas, o começo da erupção subpliniana de 1630, no vulcão das Furnas (sobre o deslizamento encontram-se cinzas vulcânicas oriundas dessa erupção). Tratando-se de um local desabitado na altura, não ocorreu ali nenhuma catástrofe. Recordemos que, em Ponta Garça, situada cerca de 6 km a sudoeste da caldeira do vulcão das Furnas, pereceram 80 a 115 pessoas, devido a uma escoada piroclástica, logo em consequência directa da erupção, segundo COLE *et al.* (1995), mas que

MACHADO (1965) considera um resultado dos sismos que precederam a actividade eruptiva.

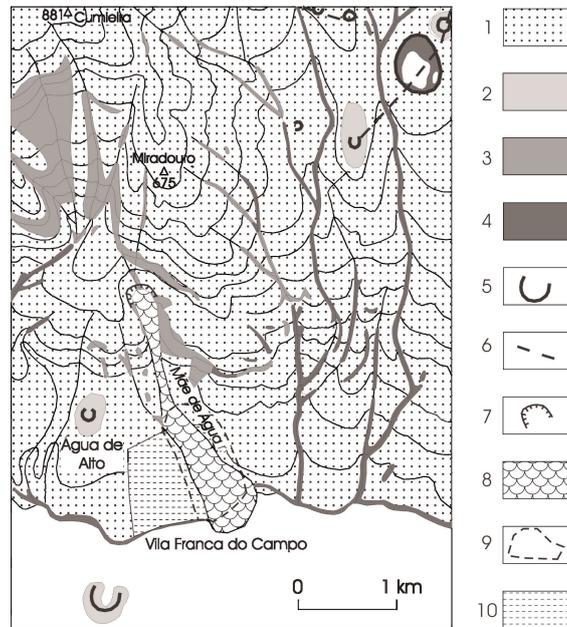


Fig. 3 – Enquadramento litológico da escoada catastrófica de 22 de Outubro de 1522, em Vila Franca do Campo (segundo Zêzere, in FERREIRA *et al.*, 2002)

1 – Materiais piroclásticos; 2 – cones de escórias; 3 – lavas traquíticas; 4 – lavas andesíticas; 5 – cratera vulcânica; 6 – falha provável; 7 – cabeceira provável da escoada; 8 – área e trajectória prováveis da escoada; 9 – limites da antiga vila; 10 – área correspondente à actual povoação (dados geológicos com basena Carta Geológica de Portugal, Ilha de S. Miguel, Serviços Geológicos de Portugal, 1958).

*Fig. 3 – Lithological framework of the Vila Franca do Campo earthflow, 22 October 1522 (after Zêzere, in FERREIRA *et al.*, 2002)*

1 – Pyroclastic materials; 2 – cinder cones; 3 – trachyte lavas; 4 – andesite lavas; 5 – volcano crater; 6 – fault (probable); 7 – earthflow head; 8 – earthflow body; 9 – site of the former town; 10 – present-day town (geological data from Carta Geológica de Portugal, Ilha de S. Miguel, Serviços Geológicos de Portugal, 1958).

Muito numerosos são os movimentos de terreno que ocorrem nos Açores na sequência de chuvas muito intensas. A última fase importante de instabilização das vertentes, com essa origem, ocorreu na ilha de São Miguel, em Outubro de 1997, a seguir a um período prolongado de chuvas abundantes e, sobretudo, das chuvas muito intensas que caíram nos últimos dias do mês. Foi possível

recensar cerca de um milhar de deslocações, a maior parte de pequena dimensão, mas algumas delas provocando prejuízos materiais muito importantes, particularmente na Povoação e no Nordeste (cf. VALADÃO *et al.*, 2002). Este episódio de chuvas muito intensas ficou tristemente marcado por uma escoada lamacenta que vitimou 29 pessoas na povoação da Ribeira Quente (não longe do deslizamento de 1630). A velocidade e a fluidez do material transportado (uma mistura de lama, escórias vulcânicas, vegetação e blocos) estiveram na origem da invasão rápida de uma parte das casas daquela povoação, soterrando as vítimas. De acordo com dados referidos por RAPOSO (1998), vários udómetros da bacia hidrográfica da Ribeira Quente registaram mais de 200 mm de precipitação nas 24 horas que precederam a tragédia.

V. CONCLUSÃO

A actividade vulcânica dos Açores, no período histórico, mostra que as erupções têm tendência a revestir um carácter explosivo no interior das caldeiras e efusivo nos flancos dos vulcões. Esse facto é particularmente claro no caso dos vulcões activos da ilha de São Miguel, em que a presença de lagoas dá origem a erupções hidromagmáticas, com abundante produção de vapor de água, daí o carácter explosivo das mesmas. O estudo geológico mostra que a actividade do vulcão das Furnas foi predominantemente explosiva, nos últimos milhares de anos (COLE *et al.*, 1995; 1999). Os efeitos dessa actividade explosiva, particularmente perigosa num raio de 10 km em torno do centro eruptivo, são largamente influenciados pela topografia, com as escoadas piroclásticas a serem encaminhadas pelos vales. Foram muito provavelmente as escoadas piroclásticas, canalizadas pelos entalhes do flanco sudoeste do vulcão, que vitimaram uma centena de habitantes de Ponta Garça, durante a erupção de 1630. Também o vulcão do Fogo, situado 12 km a oeste do das Furnas, apresenta, na sua história geológica recente, uma actividade explosiva que pode atingir elevada magnitude, como aconteceu há 5000 anos com a erupção pliniana conhecida por «Fogo A» (WALLENSTEIN e DUNCAN, 1998). Tal como no caso do vulcão das Furnas, num cenário desses o resultado mais catastrófico poderá ser a formação de escoadas piroclásticas, canalizadas pelos entalhes do estrato-vulcão, tanto na encosta norte como na encosta sul, na parte terminal dos quais, uma vez mais, se instalaram povoações. No que se refere ao vulcão das Sete Cidades, no extremo ocidental da ilha de São Miguel, a história eruptiva dos últimos 5000 anos mostra uma elevada actividade explosiva intracaldeira, com intervalos de 180 anos. Atendendo a que o último episódio aconteceu há 700 anos, nova crise poderá estar próxima (cf. GASPAS e QUEIROZ, 1998).

No entanto, foram, de longe, os tremores de terra os fenómenos naturais mais perigosos, tornando-se por vezes catastróficos. O sismo de maior magnitude ocorrido no período histórico nos Açores parece ter sido o de 1757, na ilha de São Jorge, que causou a morte de 1000 pessoas, numa população de 5000

habitantes. Todavia, o sismo mais catastrófico foi o que ocorreu em 22 de Outubro de 1522 em São Miguel, que vitimou a quase totalidade dos habitantes de Vila Franca do Campo, a povoação mais importante de então, ao desencadear um movimento de terreno, que foi o principal causador da catástrofe. Os danos materiais e humanos dos sismos dos Açores têm sido muito elevados, não só em consequência da alta magnitude de alguns deles, mas também devido às técnicas tradicionais de construção, que são muito vulneráveis à vibração sísmica. Neste sentido, há a sublinhar uma melhoria da qualidade do parque habitacional mais recente, incluindo as obras de reconstrução das áreas afectadas pelos sismos.

Mesmo as ilhas que não conheceram, no período histórico, actividade vulcânica e sísmica não estão livres de uma certa perigosidade geomorfológica, derivada essencialmente dos desmoronamentos do litoral, por influência da estrutura geológica, dos grandes declives e da acção erosiva do mar. Foram referidos os exemplos das ilhas do Corvo e das Flores. Embora no Corvo os desabamentos sejam particularmente activos no flanco ocidental do vulcão, eles não constituem uma verdadeira ameaça para a sua única povoação, estabelecida numa pequena plataforma da vertente meridional, mas podem ser perigosos para a navegação costeira. No caso das Flores, para além de eventuais acidentes no mar, junto à costa, há a considerar uma maior dispersão do povoamento, que não evitou totalmente o sopé (Ponta da Fajã) ou o topo (Cedros) de grandes arribas. Obviamente, essas considerações são ainda mais pertinentes no caso de ilhas sujeitas a instabilidade sísmica, nomeadamente no caso da ilha de São Jorge, onde as fajãs habitadas, sobretudo na vertente norte, no sopé de arribas impressionantes, estão longe de se poderem considerar locais seguros.

BIBLIOGRAFIA

- BONATTI, E. (1998) – Le manteau de la Terre et l'ouverture des océans. In *Les Humeurs de l'Océan*, Paris, Dossier Pour la Science, Scientific American: 12-20.
- CAMPOS, V.; MACHADO, E.; GARCIA, J. A. S. (1962) – Relatório da missão técnica do Ministério das Obras Públicas para remediar as primeiras consequências da erupção vulcânica da Ilha do Faial. In *Le Volcanisme de l'Île de Faial et l'Éruption du Volcan de Capelinhos (Deuxième Partie)*, Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, Memória n.º 9 (Nova Série): 35-50.
- COLE, P. D.; QUEIROZ, G.; WALLENSTEIN, N.; GASPAS, J. L.; DUNCAN, A. M.; 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: 117-135.
- COLE, P. D.; GUEST, J. E.; QUEIROZ, G.; WALLENSTEIN, N.; PACHECO, J.-M.; GASPAS, J. L.; FERREIRA, T.; DUNCAN, A.M. (1999) – Styles of volcanism and volcanic hazards on Furnas Volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92: 39-53.
- FARRICA, J. G. F. (1980) – O sismo de 1 de Janeiro de 1980 nos Açores. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XV(30): 247-261.
- FERNANDES, J. G. C. (1985) – *Terceira (Açores), Estudo Geográfico*. Ponta Delgada, Tese de Doutoramento em Geografia, Universidade dos Açores: 434p.

- FERREIRA, A. B.; ZÉZERE, J.L.; RODRIGUES, M. L. (2002) – Historical seismicity and landslides in Portugal. Examples from the 16th Century. In DELAHAYE, D. LEVOY and MAQUAIRE, O. (eds), *Geomorphology: from Expert Opinion to Modelling, a Tribute to Professor Jean-Claude Flageollet*, Strasbourg, European Centre on Geomorphological Hazards: 105-114.
- FORJAZ, V. H. (1988) – *Azores study tour. Field trip guide: Seminar on the prediction of earthquakes*. European Commission for Europe, Universidade Nova de Lisboa: 26p.
- FORJAZ, V. H.; FERNANDES, N. S. M. (1975) – *Carta Geológica de Portugal, na escala de 1/50 000, Notícia Explicativa das Folhas «A» e «B» da Ilha de S. Jorge (Açores)*. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal: 32p.
- FORJAZ, V. H.; ROCHA, F. M.; MEDEIROS, J. M.; MENESES, L. F.; SOUSA, C. (2000) – *Notícias sobre o vulcão oceânico da Serreta, Ilha Terceira dos Açores*. Ponta Delgada, Observatório Vulcanológico e Geotérmico dos Açores, 10: 40p.
- FRANÇA, Z. T. T. M. (2002) – *Origem e Evolução Petrológica e Geoquímica do Vulcanismo da Ilha do Pico, Açores*. Ponta Delgada, Ed. Câmara Municipal de São Roque do Pico: 391p.
- GASPAR, J. L. (1996) – *Ilha Graciosa (Açores): história vulcanológica e avaliação do hazard*. Ponta Delgada, Tese de Doutoramento no Ramo de Geologia, Especialidade de Vulcanologia, Universidade dos Açores, Departamento de Geociências: 361p.
- GASPAR, J. L.; QUEIROZ, G. (1998) – Vulnerability and Risk at Sete Cidades Volcano, S. Miguel Island, Azores. In J. L. GASPAR, J-L. CHEMINÉ, F. FERRUCCI, J. E. GUEST and G. SIGVALDASON (eds), *EC Advanced Study Course 1998, Volcanic Hazard Assessment, Monitoring and Risk Mitigation, Abstracts Book*. Ponta Delgada, Universidade dos Açores, 1998: 36.
- GASPAR FRUTUOSO, DOUTOR (1522-1591) – *Saudades da Terra, Livros I-VI*. Ponta Delgada, Instituto Cultural de Ponta Delgada, 1998.
- GUEST, J. E.; GASPAR, J. L.; COLE, P. D.; QUEIROZ, G.; DUNCAN, A. M.; WALLENSTEIN, N.; FERREIRA, T.; PACHECO, J-M. (1999) – Volcanic geology of Furnas Volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 92: 1-29.
- MACEDO, A. L. S. (1871) – *História das Quatro Ilhas que formam o Distrito da Horta*. Região Autónoma dos Açores, Secretaria Regional da Educação e Cultura, Direcção Regional dos Assuntos Culturais, 1981, Vol. I, II e III (reimpressão fac-similada).
- MACHADO, F. (1958) – Actividade vulcânica da Ilha do Faial. Notícia preliminar relativa aos meses de Setembro a Dezembro de 1957. *Atlântida*, Angra do Heroísmo, Instituto Açoriano de Cultura, vol. II: 225-236.
- MACHADO, F. (1959) – Actividade vulcânica da Ilha do Faial. Notícia preliminar relativa aos meses de Maio a Agosto de 1958. *Atlântida*, vol. III, Angra do Heroísmo, Instituto Açoriano de Cultura: 40-55.
- MACHADO, F. (1965) – *Vulcanismo das ilhas de Cabo Verde e das outras ilhas Atlântidas*. Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar, col. «Estudos, Ensaios e Documentos», n.º 117: 83 p.
- MACHADO, F. (1970) – *Curso de Sismologia*. Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar, col. «Estudos, Ensaios e Documentos», n.º 125: 156p.
- MADEIRA, J. E. O. (1998) – *Estudos de Neotectónica nas Ilhas do Faial, Pico e S. Jorge: uma contribuição para o conhecimento geodinâmico da junção tripla dos Açores*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa: 428p.
- MADEIRA, J.; RIBEIRO, A. (1990) – Geodynamic models for the Azores triple junction: a contribution from tectonics. *Tectonophysics*, 184: 405-415.
- MADEIRA, J.; SILVEIRA, A. B.; SERRALHEIRO, A.; SOARES, A. M.; RODRIGUES, C. F. (1998) – Radiocarbon ages of recent events from the Island of S. Jorge (Azores). *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, tomo 84, fascículo 1, Lisboa, Instituto Geológico e Mineiro: A-189-196.

- MEDEIROS, C. A. (1967) – *A Ilha do Corvo*. Lisboa, Centro de Estudos Geográficos: 252p. 2.^a ed., Livros Horizonte, 1987: 144p.
- MOORE, R. B. (1990) – Volcanic geology and eruption frequency, São Miguel, Azores. *Bulletin of Volcanology*, 52: 602-614.
- MOREIRA, V. S. (1991) – Historical seismicity and seismotectonics of the area situated between the Iberian Peninsula, Morocco, Selvagens and Azores Islands. In J. MEZCUA and A. UDÍAS (eds), *Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Maghrebian Region*, Madrid, Instituto Geográfico Nacional, Monografía, n.º 8: 213-225.
- NUNES, J. C. C. (1999) – *A Actividade Vulcânica na Ilha do Pico do Plistocénico Superior ao Holocénico: Mecanismo Eruptivo e Hazard Vulcânico*. Tese de Doutoramento no Ramo de Geologia, Especialidade de Vulcanologia, Universidade dos Açores, Departamento de Geociências: 357 p.
- QUEIROZ, G.; GASPAR, J. L. (1998) – The Geology of Sete Cidades Volcano, S. Miguel Island, Azores. In J. L. GASPAR, J-L. CHEMINÉ, F. FERRUCCI, J. E. GUEST and G. SIGVALDASON (eds), *EC Advanced Study Course 1998, Volcanic Hazard Assessment, Monitoring and Risk Mitigation, Abstracts Book*, Ponta Delgada, Universidade dos Açores: 38-39.
- RAPOSO, A. G. B. (1998) – Breve nota sobre a tragédia da Ribeira Quente (S. Miguel, Açores) ocorrida na madrugada de 31 de Outubro de 1997. *Territorium*, 5: 73-74.
- RIBEIRO, A. (2002) – *Soft Plate and Impact Tectonics*. Berlim, Springer-Verlag: 324p.
- RIBEIRO, O.; BRITO, R.S. (1958) – *Primeira Notícia da Erupção dos Capelinhos na Ilha do Faial*. Separata de *Naturalia*, vol. VII, fasc. I-I, 33p.
- SEARLE, R. (1980) – Tectonic pattern of the Azores spreading centre and triple junction. *Earth and Planetary Science Letters*, 51: 415-434.
- SELF, S. (1982) – Excursion guide for field trip V2 Island of Terceira. *Arquipélago*, Ciências da Natureza, Ponta Delgada, Universidade dos Açores, 3: 329-341.
- SIEBERT, L.; SIMKIN, T. (2002) – *Volcanoes of the World: an Illustrated Catalogue of Holocene Volcanoes and their Eruptions*. Smithsonian Institution. Global Volcanism Program Digital Information Series, GVP-3 (<http://www.volcano.si.edu/gvp/world/>).
- VALADÃO, P.; GASPAR, J.L.; QUEIROZ, P.; FERREIRA, T. (2002) – Landslides density map of S. Miguel Island, Azores archipelago. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, European Geophysical Society: 51-56.
- WALLENSTEIN, N.; DUNCAN, N. (1998) – The geology of Fogo volcano, S. Miguel Island, Azores. In J. L. GASPAR, J-L. CHEMINÉ, F. FERRUCCI, J. E. GUEST and G. SIGVALDASON (eds), *EC Advanced Study Course 1998, Volcanic Hazard Assessment, Monitoring and Risk Mitigation, Abstracts Book*, Ponta Delgada, Universidade dos Açores: 40.