



P
**ARA DESENVOLVER
A TERRA**
MEMÓRIAS E NOTÍCIAS
DE GEOCIÊNCIAS
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Quinta-Ferreira, M., Barata, M. T.,
Lopes, F. C., Andrade, A. I.,
Henriques, M. H., Pena dos Reis, R.
& Ivo Alves, E.

Coordenação

PERIGOS GEOLÓGICOS NA ILHA DO FOGO (CABO VERDE):
IMPLICAÇÕES PARA O PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA

GEOLOGICAL HAZARDS IN FOGO ISLAND (CAPE VERDE):
IMPLICATIONS FOR EMERGENCY PLANNING

J. Cabral¹, T. Ferreira¹, J. L. Gaspar¹ & G. Queiroz¹

Resumo – A Ilha do Fogo é a única ilha do Arquipélago de Cabo Verde para a qual existe registo de vulcanismo histórico, contabilizando-se cerca de três dezenas de eventos desde os finais do séc. XV, na sua maioria com características havaianas e estrombolianas. As erupções vulcânicas mais recentes tiveram lugar em 1951 e 1995. A sismicidade registada na Ilha do Fogo tem sido relacionada com fenómenos de origem magmática ou tectónica, gerados na área de influência da ilha ou no eixo Fogo-Brava, e tem envolvido crises sísmicas marcadas, no geral, por eventos de baixa magnitude, e sismos sentidos com intensidade forte a muito forte. Os movimentos de massa constituem outro dos perigos geológicos que se encontra bem patente na Ilha do Fogo. Tais fenómenos podem ser desencadeados por ação sísmica ou vulcânica, mas também por chuvas intensas, refletindo-se em acidentes de dimensão variável, como o testemunham o colapso do flanco oriental do vulcão central ou as cicatrizes de deslizamentos registados na parede de caldeira, em escarpas de falha ou em vertentes mais íngremes de linhas de água ou da linha de costa. O elevado risco vulcânico que caracteriza a Ilha do Fogo, aliado à ocorrência de sismos e movimentos de massa, justifica a implementação de um programa de monitorização multidisciplinar nesta zona do Arquipélago de Cabo Verde, envolvendo a conceção, instalação, desenvolvimento e exploração de redes geofísicas, geodésicas, geoquímicas e ambientais.

Palavras-chave – Perigos geológicos; Ilha do Fogo; Erupções; Sismos; Movimentos de massa

Abstract – Fogo Island is the only island in Cape Verde Archipelago with historical volcanism, where three dozen events were recorded since the end of the XV century, mostly

¹ Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos da Universidade dos Açores, Portugal; Jeremias.A.Cabral@azores.gov.pt; Teresa.JL.Ferreira@azores.gov.pt; Joao.LR.Gaspar@azores.gov.pt; Maria.GPS.Queiroz@azores.gov.pt

of hawaiian and strombolian types. The most recent volcanic eruptions took place in 1951 and 1995. The seismicity registered in Fogo Island has been related to phenomena of magmatic or tectonic origin generated in the influence area of the island or in the Fogo-Brava axis, and it has involved marked seismic swarms, in general, by low magnitude events, and felt earthquakes with strong to very strong intensities. Mass movements are another geologic hazard that is well evident in Fogo Island. These phenomena may be triggered by seismic or volcanic activity, but also by heavy rainfall. They are reflected in accidents of varying size, as evidenced by the eastern flank collapse of the central volcano or by the scars of landslides preserved in the caldera wall, in fault scarps or in the steeper slopes of streamlines or shorelines. The high volcanic risk that characterizes the Fogo Island, coupled with the occurrence of earthquakes and mass movements, justifies the implementation of a multidisciplinary monitoring program in this area of Cape Verde Archipelago, involving the design, installation, development and operation of geophysical, geodetic, geochemical and environmental networks.

Keywords – Geological hazards; Fogo Island; Eruptions; Earthquakes; Mass movements

1 – Enquadramento geográfico e geodinâmico

O Arquipélago de Cabo Verde, localizado no Atlântico Central ao largo da costa da África Ocidental (Fig. 1), é constituído por dez ilhas de origem vulcânica, distribuídas pelos grupos Barlavento (Santo Antão, S. Vicente, St^a. Luzia, S. Nicolau, Sal e Boavista) e Sotavento (Maio, Santiago, Fogo e Brava). As ilhas representam a expressão superficial de um enorme planalto submarino que se eleva a cerca de 5 km da planície abissal, entre a plataforma continental do Senegal e a Crista Média Atlântica.

A Ilha do Fogo pertence ao Grupo Sotavento e fica entre os paralelos 15°03' e 14°48' de latitude norte e os meridianos 24°18' e 24°31' de longitude oeste, estando situada entre as ilhas de Santiago e Brava, a 55 km e 17 km de distância, respetivamente.

A localização geográfica do Arquipélago de Cabo Verde nesta região do Atlântico favorece a ocorrência de precipitação em regime torrencial que, por vezes, desencadeia movimentos de massa. Por outro lado, as ilhas desenvolvem-se num contexto intraplaca, possivelmente dominado pela presença de uma pluma mantélica, a que se associam as manifestações sísmicas e vulcânicas que têm marcado a história do arquipélago, em geral, e da Ilha do Fogo, em particular.



Fig. 1 – Localização geográfica do Arquipélago de Cabo Verde.

2 – Geomorfologia e geologia

A Ilha do Fogo é a quarta maior do arquipélago e apresenta uma forma cônica, com aproximadamente 25 km de diâmetro e uma altitude máxima de 2.829 m no topo do Pico do Fogo. Corresponde a um grande edifício vulcânico com centro deslocado para nordeste. As suas vertentes apresentam declives médios que variam entre 12°, nas zonas Sul e Oeste, 18° na zona Norte e 25° no flanco Este, podendo localmente, atingir 28° (BEBIANO, 1932; RIBEIRO, 1960).

O topo do edifício encontra-se truncado por uma caldeira em forma de hemiciclo, com cerca de 9 km de diâmetro máximo segundo a direção N-S e abertura para Este. Esta depressão é denominada por “Chã das Caldeiras” e situa-se a uma cota aproximada de 1.700 m. As paredes da caldeira têm um declive próximo da vertical, chegando a atingir 1.000 m de altura. No interior da Chã desenvolve-se um grande cone vulcânico denominado Pico do Fogo e localmente designado por “Vulcão”. Este apresenta um diâmetro basal de 5 km e eleva-se a cerca de 1.200 m da Chã alcançando a altitude máxima da ilha.

A forma vulcânica dominante na ilha é a que corresponde aos cones de escória distribuídos quer sobre as vertentes, quer no interior da Chã Caldeiras (Fig. 2), aos quais se associam abundantes escoadas lávicas que marcam a paisagem, principalmente na vertente leste da ilha.

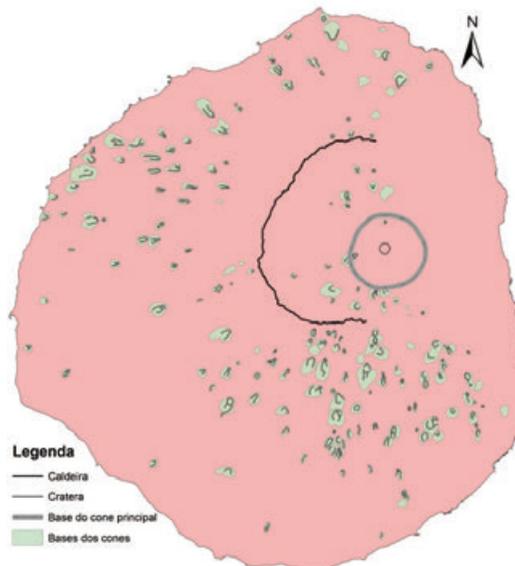


Fig. 2 - Mapa da distribuição das formas vulcânicas.

A maior parte da ilha é ocupada por rochas basálticas que estão representadas sob forma de escoadas lávicas, filões e chaminés (Fig. 3). Pontualmente observam-se rochas do tipo fonolítico. A unidade geológica mais antiga é constituída por pequenos afloramentos de carbonatitos (MACHADO & ASSUNÇÃO, 1965; DAY *et al.*, 1999).

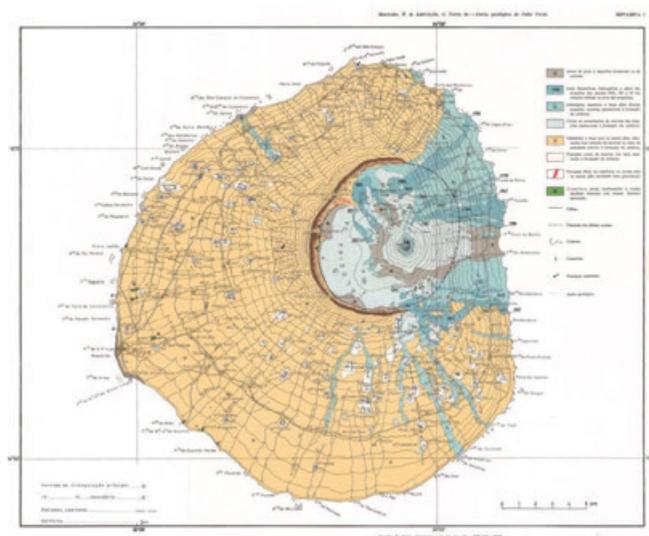


Fig. 3 - Carta geológica da Ilha do Fogo (MACHADO & ASSUNÇÃO, 1965).

3 – Perigos geológicos

A análise dos riscos geológicos que podem afetar o Arquipélago de Cabo Verde e em particular a Ilha Fogo passa pela determinação do perigo inerente à ocorrência dos diferentes tipos de fenómenos passíveis de ocorrerem. Segundo diversos autores (e.g. CRUZ-REYNA, 1996; QUEIROZ, 1997; GASPAR *et al.*, 1997), a **perigosidade** (*hazard*) é determinada pela probabilidade de um dado evento potencialmente destruidor afetar uma determinada área num certo intervalo de tempo. O registo geológico na Ilha do Fogo apresenta evidências de perigosidade geológica associada a sismos, erupções vulcânicas e movimentos de massa, fenómenos que, por sua vez, podem estar na origem de *tsunamis*.

3.1 – Perigos vulcânicos

A Ilha do Fogo é a única do Arquipélago de Cabo Verde para a qual existe registo de vulcanismo histórico, contabilizando-se cerca de três dezenas de eventos desde os finais do séc. XV (TORRES *et al.*, 1997). Neste período, a frequência eruptiva variou entre um máximo de 10 erupções registadas no séc. XVII e um mínimo de 2 erupções no séc. XX. As últimas erupções ocorreram em 1951 e 1995 (Fig. 4) e localizaram-se em Chã das Caldeiras, na base do Pico do Fogo, envolvendo a edificação de cones de escórias e o desenvolvimento de escoadas lávicas.

Até ao final do séc. XVIII, a atividade eruptiva centrou-se essencialmente no Pico do Fogo, localizando-se os centros eruptivos das erupções posteriores na sua base ou na superfície da Chã. A atividade eruptiva recente, pré-histórica, localizou-se principalmente ao nível da Chã das Caldeiras e do Pico do Fogo, situando-se alguns dos centros eruptivos

fora da caldeira, nomeadamente nos flancos norte e sul. A atividade vulcânica no interior da Chã tem contribuído para o preenchimento da depressão por escoadas lávicas e piroclastos, verificando-se que muitas das escoadas se desenvolveram sobre a vertente leste da ilha, atingindo, por vezes, o mar.

Como referido, a forma vulcânica dominante são os cones de escória, aspeto que indica que a maioria das erupções que têm marcado a história eruptiva mais recente da ilha tem sido do tipo havaiano a estromboliano, de natureza basáltica (*s.l.*), envolvendo a produção de piroclastos de queda e de escoadas lávicas (Fig. 5). A identificação de outros estilos eruptivos faz parte dos trabalhos que se encontram em curso e que têm por objetivo identificar e caracterizar os depósitos vulcânicos presentes na ilha para uma melhor caracterização do perigo vulcânico.

Em resultado da atividade eruptiva histórica não há registo da perda de vidas humanas. Contudo algumas erupções de maior intensidade, como a de 1675, provocaram o abandono da ilha por parte de alguma população. Contudo, é assinalável a área que tem sido coberta por escoadas lávicas, levando à destruição de terrenos de cultivo e habitações. As erupções de 1951 e 1995 obrigaram à evacuação da população das zonas afetadas e das zonas consideradas de maior risco. Foram destruídas algumas habitações e registaram-se cortes na rede viária (Fig. 5a). Parte dos terrenos de cultivo mais férteis da ilha foram destruídos durante tais episódios. No caso da erupção de 1995, foi destruída a cooperativa vinícola de Boca Fonte (Fig. 5b), facto que provocou uma importante perda económica para a ilha.

Considerando a ocorrência de erupções com as mesmas características das de 1951 e 1995, os perigos vulcânicos espectáveis consistem na emissão de piroclastos de queda, extrusão de escoadas lávicas e libertação de gases vulcânicos. Dependendo da altura atingida pela coluna eruptiva, o tráfego aéreo na região poderá ser afetado. Em termos de saúde pública, os efeitos podem resultar da inalação de poeiras e gases tóxicos, ou envolver acidentes associados à queda de piroclastos de trajetória balística ou ao desenvolvimento de escoadas lávicas.



Fig.4 – Fotografias da erupção da Ilha do Fogo em 1995 (Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos).

Nos últimos tempos tem vindo a ser realizada, uma recolha documental sobre as erupções históricas de modo a caracterizar melhor a atividade eruptiva ocorrida e a definir

cenários eruptivos para utilização em termos de planeamento de emergência. Neste contexto, estão também a ser estudados os fatores de vulnerabilidade. A este respeito, sublinha-se, por exemplo, que alguns anos após a erupção de 1995, a população residente em Chã das Caldeiras começou a aumentar significativamente incrementando o risco vulcânico na região.

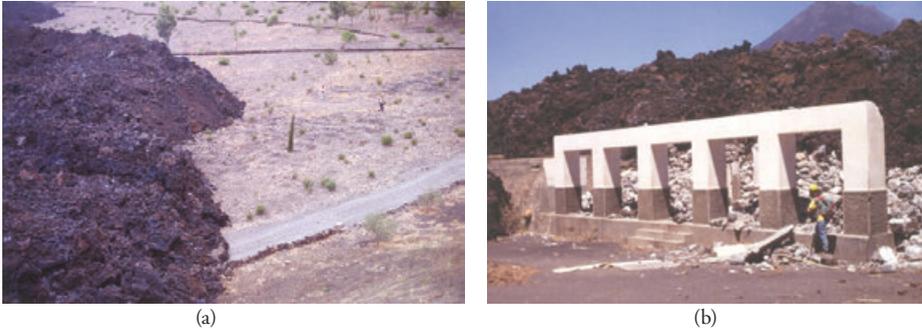


Fig. 5 – Corte da rede viária (a) e destruição da cooperativa vinícola (b) em Chã das Caldeiras na Ilha do Fogo durante a erupção de 1995 (Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos).

3.2 – Perigo sísmico

A Ilha do Fogo tem apresentado uma atividade sísmica essencialmente associada a fenómenos de origem vulcano-tectónica, estando a sismicidade à escala regional marcada por eventos de magnitude superior a 4, registados pela rede sísmica mundial, e localizados principalmente a noroeste do arquipélago. Apenas alguns destes eventos se situam nas proximidades das ilhas Brava, Fogo e Santiago.

A informação sobre a atividade sísmica na Ilha do Fogo é escassa e até à década de 80 do séc. XX resume-se principalmente à contida nas descrições históricas das erupções vulcânicas e a algumas compilações de informação macrossísmica presentes em FERREIRA (1956) e no Anuário Sismológico de Portugal para o período de 1947-1971 (INSTITUTO DE METEOROLOGIA DE PORTUGAL). As duas primeiras estações sísmicas no arquipélago foram instaladas em 1981, nas ilhas do Fogo e Brava, para fazer o acompanhamento da atividade que se vinha a fazer sentir desde finais de 1980 nas proximidades da Ilha Brava (PIRES & NEVES, 1981). Posteriormente foram instaladas redes temporárias em 1994 e 1995 (HELENO DA SILVA, 2003; MATIAS *et al*, 1997), esta última na sequência da erupção iniciada em Abril do mesmo ano. Somente em 1999 foi instalada nestas ilhas, uma rede sísmica de carácter permanente (rede VIGIL) que, no entanto, esteve operacional apenas alguns anos.

De acordo com os relatos históricos existentes, há registo de atividade sísmica associada a algumas erupções vulcânicas tais como as de 1675, 1680, 1785, 1799, 1847. Também as erupções de 1951 (RIBEIRO, 1960) e de 1995 (HELENO DA SILVA & FONSECA, 1997; MATIAS *et al*, 1997) foram precedidas e acompanhadas por importante atividade sísmica. O sismo de maior intensidade para o qual se dispõe de informação ocorreu a 12 de Junho de 1951, no início da erupção vulcânica, e foi sentido em toda ilha com a intensidade máxima de VII na Escala de *Wood Neumann*. Outros sismos sentidos na Ilha do

Fogo não relacionados com períodos de atividade eruptiva ocorreram nos anos de 1941, 1942, 1950, 1963 e 1965, alguns dos quais decorrentes de crises sísmicas na Ilha Brava. A atividade registada nos períodos que em que se operaram redes sísmicas temporárias na Ilha do Fogo, revela a existência de uma importante microssismicidade em que alguns eventos são sentidos pela população.

Só recentemente têm sido desenvolvidos estudos com vista à caracterização da tectónica da Ilha do Fogo, os quais permitiram identificar a presença de três sistemas de falhas principais, com direções NW-SE a WNW-ESSE, N-S e NNE-SSW (BRUM DA SILVEIRA *et al.*, 1997) (Fig. 6).

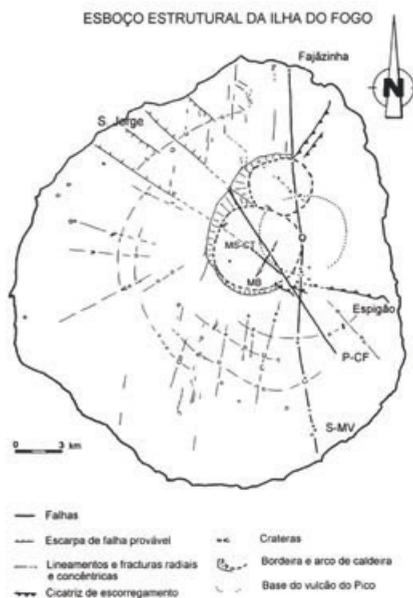


Fig. 6 - Estrutura da Ilha do Fogo (Brum da Silveira *et al.*, 1997).

A ausência de uma rede sísmica permanente não tem permitido obter o conhecimento necessário acerca da localização das principais áreas sismogénicas na Ilha do Fogo e região envolvente e a caracterização das fontes sísmicas, bem como da sua relação com os sistemas tectónicos identificados. Verifica-se, assim, a necessidade de se proceder à instalação e manutenção de uma rede sísmica permanente, que permita a criação de dispositivos de deteção e de alarme, fundamentais para a mitigação não só do risco sísmico como vulcânico.

3.3 – Movimentos de massa

Os movimentos de massa podem ser desencadeados na sequência de condições meteorológicas extremas e/ou de episódios de origem sísmica ou vulcânica. De um modo geral, trata-se de um fenómeno para o qual podem contribuir inúmeros fatores, individualmente ou em conjunto, de ordem natural ou resultantes da ação do homem.

A Ilha do Fogo está sujeita à ocorrência de movimentos de massa de origem e tipologias diversas, acentuada pelas suas características geomorfológicas. Os flancos do Pico do Fogo, as paredes da caldeira, as vertentes declivosas da ilha, os taludes das linhas de água encaixadas e as arribas litorais são as zonas que oferecem maior susceptibilidade ao desenvolvimento de movimentos de vertente (Fig. 7 e 8).



Fig. 7 - Instabilidade de taludes.



Fig. 8 - Depósitos de enxurradas.

A outra escala, a Ilha do Fogo apresenta cicatrizes de episódios de grandes colapsos laterais que envolveram o deslocamento de volumes de material na ordem de 150 a 200 km³ e que tiveram, certamente, influência na evolução da caldeira (DAY *et al.*, 1999). A entrada de um volume tão significativo de material no mar deve, por sua vez, ter dado origem a *tsunamis* tal como é atribuído por PARIS *et al.* (2011) aos depósitos de natureza conglomerática identificados na Ilha de Santiago.

4 – Conclusões (considerações finais)

Os perigos geológicos abordados (sismos, erupções vulcânicas e movimentos de massa) ocorrem frequentemente associados no tempo e no espaço, podendo uns atuar como mecanismos desencadeantes dos outros.

Vários fatores permitem atribuir a esta ilha uma elevada probabilidade de ocorrência de catástrofes naturais de natureza geológica, tais como: (1) a elevada frequência eruptiva histórica, (2) a intensa atividade sísmica associada aos episódios eruptivos e a evidência de roturas superficiais no terreno; (3) a ocorrência de movimentos de vertentes potenciais pela precipitação intensa, pela atividade sísmica local e regional e pela deformação de terrenos associada a intrusões magmáticas.

O elevado risco vulcânico que caracteriza a Ilha do Fogo, aliado à ocorrência de sismos e movimentos de massa, justifica a implementação de um programa de monitorização multidisciplinar nesta zona do Arquipélago de Cabo Verde, envolvendo a conceção, instalação, desenvolvimento e exploração de redes geofísicas, geodésicas, geoquímicas e ambientais, conforme já sugerido anteriormente por GASPAS *et al.*, 1997.

A mitigação do risco passa, também, pela existência de planos de emergência atualizados, com a devida caracterização dos diferentes perigos a que a ilha está sujeita, para uma melhor resposta por parte das autoridades de proteção civil.

Agradecimentos – Este trabalho foi apoiado pelo Governo Regional dos Açores através do projecto de doutoramento “M3.1.2/CV/003/2008” financiado pela Direção Regional da Ciência e Tecnologia e PROEMPREGO, ao abrigo do protocolo entre o Governo Regional dos Açores e o Governo de Cabo Verde.

139

Referências Bibliográficas

- BEBIANO, J. B. (1932) – A geologia do Arquipélago de Cabo Verde. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, 18, 275 p.
- BRUM DA SILVEIRA, A., MADEIRA, J., SERRALHEIRO, A., TORRES, P. C., SILVA, L. C. & MENDES, M. H. (1997) – O controlo estrutural de Abril de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde, IICT, p. 51-61.
- CRUZ-REYNA, S. (1996) – Long-term probabilistic analysis of future explosive eruptions. In: Scarpa, R. e Tilling, R. (eds.). *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*, p. 599-629.
- DAY, S. J., HELENO, S. I. N. & FONSECA, J. F. B. D. (1999) - A past giant collapse and present-day flank instability of Fogo, Cape Verde Islands. *J. Volcanol. Geothermal. Res.*, 94, p. 191-218.
- FERREIRA, H. (1956) – Macrossismos sentidos em Portugal no período de 1901-1954. Simpósio sobre a acção de sismos e sua consideração no cálculo das construções. Comunicação nº16. Boletim da Ordem dos Engenheiros, Memória nº 128, V.1, 1-10.
- GASPAR, J. L., QUEIROZ, G., FERREIRA, T. & COUTINHO, R. (1997) - A monitorização geoquímica no quadro geral da vigilância sismovulcânica da ilha do Fogo. In: A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde, Lisboa, p. 93-101.
- HELENO DA SILVA, S. (2003) - O vulcão do Fogo - estudo sismológico. Teses. IPAD, 463 p.
- HELENO DA SILVA, S. & FONSECA, J. (1997) – A estrutura interna do Vulcão do Fogo: contributo para a monitorização da erupção de Abril de 1995. In: A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde, Lisboa, p. 93-101.
- INSTITUTO DE METEOROLOGIA DE PORTUGAL - Anuário sismológico de Portugal. Vol. I – nºs 1-27.
- MACHADO, F. e ASSUNÇÃO, C.T. (1965) – Carta Geológica de Cabo Verde (na escala 1/100.000). Notícia explicativa da folha da Ilha do Fogo – estuós petrográficos. *Garcia da Orta*, 13 (4), 59-604.
- MATIAS, L., CRUZ, J., PENA, J. A., MARTINS, I & SENOS, M. L. (1997) – A sismicidade registada na ilha do Fogo durante os primeiros dias de actividade do vulcão na erupção de Abril de 1995. In: “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”, Lisboa, p. 13-32.
- PARIS, R., GIACHETTI, T., CHEVALIER, J., GUILLOU, H. & FRANK, N. (2011) - Tsunami deposits in Santiago Island (Cape Verde archipelago) as possible evidence of a massive flank failure of Fogo volcano. *Sedimentary Geology* V., 239 (3-4), p.129-145.
- PIRES, J. C. A. C. & NEVES, J. V. (1981) - Relatório preliminar da Missão Geofísica a Cabo Verde no período de 10 de Abril a 11 de Maio de 1981. Relatório Interno, INMG, Lisboa, 17 p.
- QUEIROZ, G. (1997) – Vulcão das Sete Cidades (S. Miguel, Açores). História eruptiva e avaliação do hazard. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 226 p.
- RIBEIRO, O. (1960) – A ilha do Fogo e as suas Erupções; Memórias Série Geográfica I, Junta de Investigações do Ultramar, Lisboa, 319 p.
- TORRES, P.C., MADEIRA, J., SILVA, L. C., SILVEIRA, A. B., SERRALHEIRO, A. & GOMES, A. M. (1997) - Carta geológica das erupções históricas da ilha do Fogo: revisão e actualização. *Simp. Int. “A erupção vulcânica de 1995 na ilha do Fogo, Cabo Verde”* IICT, 119-132.