

Modulação semi-diurna do nível de ruído sísmico na Ilha do Fogo, Cabo Verde, e possíveis causas

Semi-diurnal modulation of the seismic tremor in Fogo Island, Cape Verde, and its possible causes

Susana I. S. Custódio⁽¹⁾, Zuleyka Bandomo⁽²⁾, Bruno V.E. Faria⁽³⁾, Nicolas d'Oreye⁽⁴⁾, Sandra Heleno⁽¹⁾ e João F. B. D. Fonseca⁽¹⁾

⁽¹⁾Núcleo de Engenharia Sísmica e Sismologia, ICIST, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001 Lisboa, susana.custodio@popsrv.ist.utl.pt, fonseca@alfa.ist.utl.pt

⁽²⁾Laboratório de Engenharia de Cabo Verde, CP114, Praia, vigil_levc@cvtelecom.cv

⁽³⁾Instituto de Engenharia e Ciências do Mar, Ribeira de Julião, São Vicente, Cabo Verde, vigil_isecmar@cvtelecom.cv

⁽⁴⁾European Center for Geodynamics and Seismology, 19, R. Josy Welter, L-7256 Walferdange, Luxembourg, ndo@ecgs.lu

SUMMARY

During the ongoing seismic monitoring of Fogo Volcano, Cape Verde, one of the seismographic stations (FMVE) displayed a nearly semi-diurnal (1.93 cycle per day) modulation of the noise level, present in all components but particularly strong on the EW component. Contradictory evidence regarding tidal effects on seismic activity near volcanoes has been presented by other authors from observations in several volcanic regions. Since Fogo Island is instrumented to control a number of environmental parameters such as air temperature and atmospheric pressure, and continuous tilt measurements are available close to the seismic sensor, it provides a good opportunity to clarify this issue. We compare the envelope of the seismic signal with recorded series of pressure, temperature and ocean tides, both in the time domain and in the frequency domain. We conclude that, contrary to previous conclusions for other volcanoes (e.g. Neuberg, 2000), variations of atmospheric parameters do not seem to be the origin of the semi-diurnal variation observed in Fogo (Figure 1), even when they also display that harmonic component. In the frequency domain, the seismic envelope amplitude spectrum displays two clear peaks at 1.93 cpd and 2.00 cpd, corresponding to the main semi-diurnal tidal components M2 and S2 (Figure 3), while air pressure and temperature show a single peak that corresponds to S2 (Figures 5 and 6). Ocean tide spectra for São Vicente harbour show a very good similarity with the seismic envelope spectra, with a clear M2 component (Figure 7). Alternative mechanisms of modulation should therefore be investigated. A tidal control on the intensity of degassing is an example of such a mechanism. Also, the ocean loading effect needs to be taken into account, since it will influence strongly the tidal deformations.

1. INTRODUÇÃO

Vários autores têm descrito observações de modulação semi-diurna do nível de actividade sísmica junto a vulcões activos, que são geralmente atribuídas ao efeito das marés (e.g., McNutt et al., 1981; Rydelek et al., 1988). Contudo, o eventual mecanismo responsável pelo efeito ainda não foi esclarecido, e outros autores atribuem a modulação a variações ambientais como oscilações de pressão e temperatura ou precipitação (e.g., Neuberg, 2000). Os registos sismográficos da estação de Monte Vermelho na Ilha do Fogo evidenciam uma clara modulação do nível do ruído sísmico, com períodos dominantes de 0.5175 dias (1.93 cpd) e 0.5 dias (2.00 cpd). A instrumentação multiparamétrica do Vulcão do Fogo permite avaliar directamente o efeito dos vários factores ambientais sobre os registos sismográficos.



Figura 1 – Três dias de registo sísmico na estação de Monte Vermelho, Fogo, EW component. Frequência de amostragem: 50 Hz (3 day-long seismic record at Monte Vermelho, EW component; sampling rate: 50Hz).

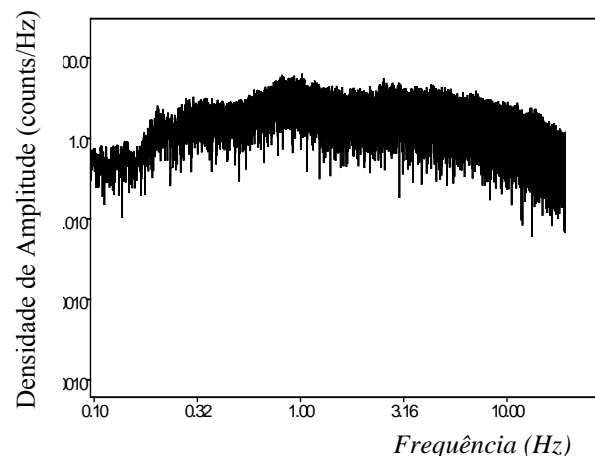


Figura 2 – Espectro de amplitude típico do sinal mostrado na Figura 1 (Typical amplitude spectrum for the signal shown in Figure 1).

2. REGISTOS SISMOGRÁFICOS EM MONTE VERMELHO

Os 3 dias de registo sismográfico que se podem ver na figura 1 ilustram o tipo de fenómeno a que nos referimos: uma clara modulação semi-diurna do nível de ruído sísmico.

A figura 2 permite excluir a hipótese de se tratar de uma modulação do ruído microsísmico oceânico associada ao nível da maré. Com efeito, esse tipo de ruído é caracterizado por frequências no intervalo 0.125 - 0.250 Hz, as quais não se encontram presentes no sinal, por se tratar de uma estação sismográfica de curto período.

Para melhor analisar a modulação, procedeu-se ao cálculo da variância do sinal sobre uma janela de 1 minuto, o que nos permitiu

obter o envelope do ruído com uma frequência de amostragem de 1 min^{-1} . Calculou-se o espectro de amplitude para a série assim obtida, tendo-se usado uma amostra com dois meses de duração a fim de poder resolver picos espectrais próximos. O resultado é mostrado na figura 3, onde se reconhecem os principais picos espectrais da modulação. O pico de maior amplitude corresponde à frequência de 1.93 cpd, seguindo-se picos correspondentes a frequências de 0.97 cpd, 1 cpd e 2 cpd.

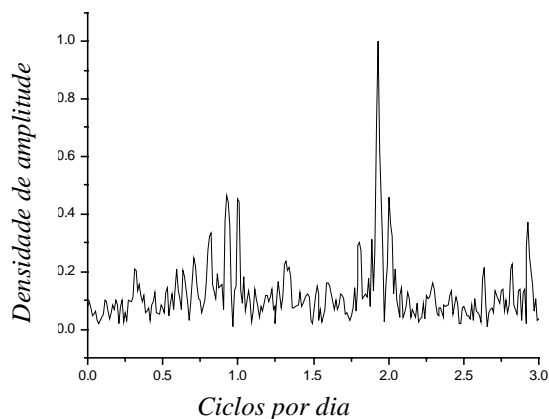


Figura 3 – Espectro de amplitude do envelope do ruído sísmico na estação de Monte Vermelho, componente EW. (Amplitude spectrum of the noise envelope from Monte Vermelho station, EW component.).

Esta modulação foi também encontrada nas restantes componentes – NS e vertical – ainda que de um modo bastante menos claro que na componente EW.

3. FACTORES AMBIENTAIS E SUA POSSÍVEL INFLUÊNCIA NO RUÍDO SÍSMICO

Dado que no vulcão do Fogo também têm sido levadas a cabo observações meteorológicas, foi possível fazer uma comparação directa entre os sinais ambientais e sísmicos, com o objectivo de testar uma relação de causalidade entre eles.

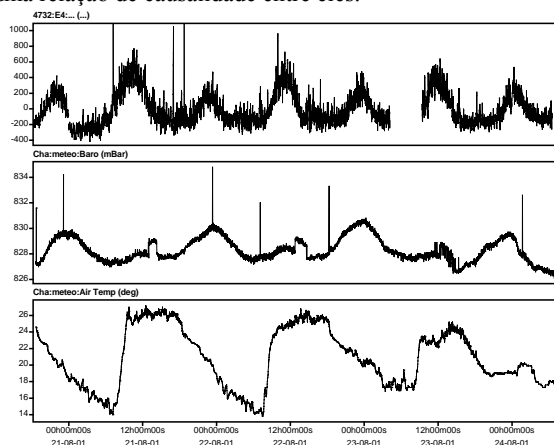


Figura 4 – Três dias de registos no Fogo: A) Variância do ruído sísmico; B) Pressão Atmosférica; C) Temperatura do Ar. Os picos e saltos são artefactos devidos a problemas instrumentais. (Three days of records in Fogo: A) variance of the seismic noise; B) atmospheric pressure; C) air temperature). Spikes and steps are artefacts due to sensor problems.

Da observação directa dos registos (figura 4) pode-se inferir que nem a pressão nem a temperatura serão suficientes para explicar a modulação do ruído sísmico. Por um lado a temperatura apresenta uma variação predominantemente diurna, sendo por isso insuficiente para explicar a variação semi-diurna a nível sísmico. Por outro lado, os máximos de pressão atmosférica aparecem atrasados em relação aos picos da variância do ruído sísmico, quando deveriam aparecer

antes ou simultaneamente se fossem a sua causa. Não se pode deixar de notar também que a variação semi-diurna da pressão, ainda que visível, não é tão óbvia quanto a do sinal sísmico.

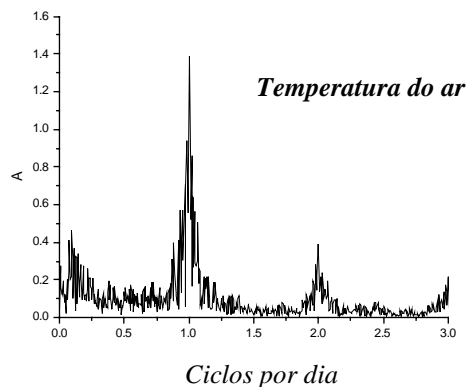


Figura 5 – A: Espectro de amplitude da temperatura do ar registada na Chã das Caldeiras, Fogo (Amplitude spectrum of the air temperature recorded at Chã das Caldeiras, Fogo)

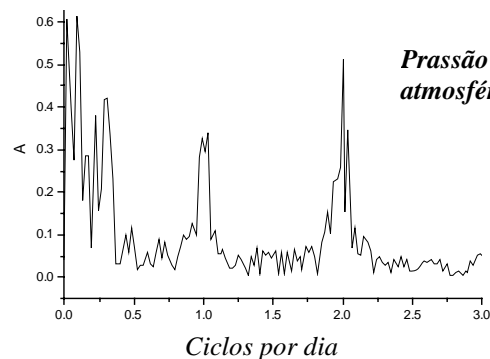


Figura 6 – Espectro de amplitude da pressão atmosférica registada na Chã das Caldeiras, Fogo (Amplitude spectrum of the atmospheric pressure recorded at Chã das Caldeiras, Fogo)

A análise espectral (figuras 5 e 6) mostra que a temperatura apresenta essencialmente uma modulação diurna (1.00 cpd), enquanto que a pressão apresenta também ciclos semi-diurnos (2.00 cpd). Ambas as frequências estão presentes no espectro da modulação de Monte Vermelho, reflectindo o efeito dos parâmetros ambientais sobre o ruído. No entanto, a harmónica que aparece com maior amplitude na modulação do ruído tem a frequência de 1.93 cpd, e continua por explicar. Deste modo, a análise espectral da temperatura e da pressão leva a concluir que nenhum destes factores ambientais é suficiente para explicar completamente o ruído sísmico observado.

4. ANÁLISE DE MARÉS.

As marés são um fenómeno bem conhecido, causado pela atracção gravítica que o Sol e a Lua exercem sobre a Terra. A sua acção sobre a crosta faz-se quer directamente, na forma de marés terrestres, quer indirectamente através da carga oceânica. As frequências das principais componentes das marés são indicadas na tabela 1. Na figura 7 apresenta-se uma série de dados registados no marégrafo do Porto Grande de São Vicente, e respectivo espectro de amplitudes. O pico espectral de maior amplitude corresponde à componente semi-diurna lunar da maré (M2), à semelhança do que se verificou no espectro de amplitude do envelope do ruído sísmico (Figura 2). A componente O1 (diurna) está também presente em ambos os espectros. Esta concordância aponta para um controle das marés sobre o nível do ruído.

Tabela 1 – Principais frequências diurnas e semi-diurnas das marés terrestres (Main diurnal and semi-diurnal tidal components)

Componente	Frequência (cpd)
Q1	0.893
O ₁	0.929
M ₁	0.966
P ₁	0.997
S ₁	1
K _{1M/S}	1.003
N2	1.896
Ψ ₁	1.005
Φ ₁	1.008
M ₂	1.932
S ₂	2
K _{2M/S}	2.005

Marés Oceânicas registadas em São Vicente, Cabo Verde

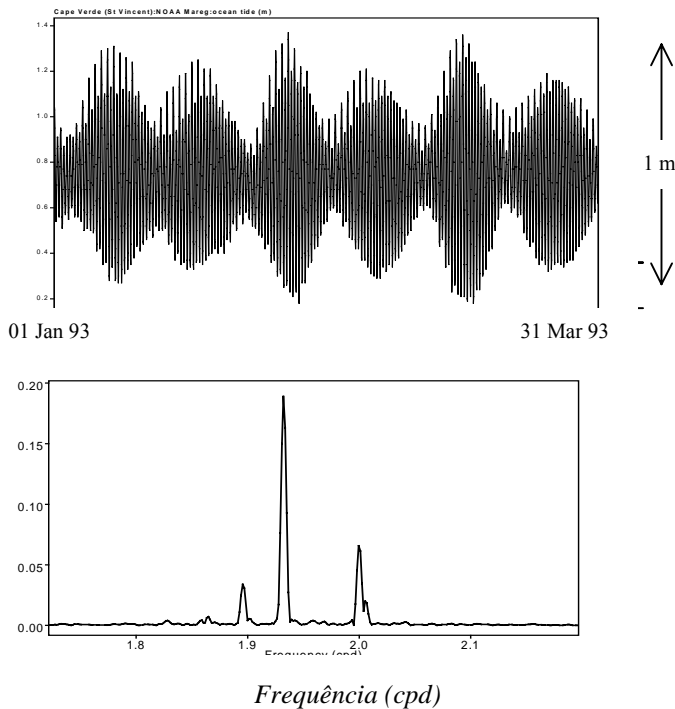


Figura 7 - Maré oceânica (em metros) registada em São Vicente, Cabo Verde, e respectivo espectro de amplitude (Ocean tide record (in meters) from São Vicente, Cabo Verde, and amplitude spectrum).

5. CONCLUSÕES

A análise no domínio da frequência permite eliminar uma relação causal entre as variações de pressão e temperatura e a modulação do ruído sísmico em Monte Vermelho, Fogo. Ainda que a pressão atmosférica apresente uma variação semi-diurna, esta deve-se ao efeito da posição do Sol (2.00 cpd), enquanto que a modulação do ruído está sintonizada com a componente lunar M₂ das marés. As amplitudes relativas das componentes harmónicas M₂ e S₂ na modulação do ruído estão em boa concordância com as amplitudes relativas observadas no espectro de amplitude das marés oceânicas registadas em São Vicente, Cabo Verde (Figura 7). Assim, pode concluir-se que o efeito observado não se deve a variações

ambientais, e que se deverá encontrar uma explicação alternativa. Um candidato será o efeito da maré sobre a emissão de gases, que se poderá reflectir por sua vez no nível de ruído. Contudo, o efeito da carga oceânica deverá ser tomado em conta na modelação, visto ser mais importante do que o efeito directo da maré sobre a crosta.

6. AGRADECIMENTOS

O Projecto de Vigilância do Vulcão do Fogo foi apoiado pelo Programa PRAXIS da FCT, pelo Instituto da Cooperação Portuguesa, pelo Fundo FACIL do ICCTI, pela Fundação Gulbenkian e pelo Centro Europeu de Geodinâmica e Sismologia (ECGS). Ocean tide gauge data were provided by the Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) and the University of Hawaii Sea Level Center.

7. REFERÊNCIAS

- Faria, B.V.E., Heleno,S.I.N., Barros, I.J.M., Lima,J.N., d'Oreye, N. e Fonseca, J.F.B.D. (2001): "Monitoring Fogo Island, Cape Verde Archipelago, for volcanic hazard mitigation", *Eos Transactions*,
 McNutt, S.R. and Beavan, R.J. (1981): "Volcanic earthquakes at Pavlof Volcano correlated with the solid earth tide". *Nature*, **294**, 615-618.
 Neuberg, J. (2000): "External modulation of volcanic activity". *Geophys. J. Int.*, **142**, 232-240.
 Rydelek, P.A, Davis, P.M. and Koyanagi, R.Y. (1988): "Tidal Triggering of Earthquake Swarms at Kilauea Volcano, Hawaii". *Journal of Geophys. Research*, **93**, B5, 4401-4411.