



Zonagem sísmica de Angra do Heroísmo por meio de análise de vibrações ambientais

Angra do Heroísmo seismic zonation using ambient vibrations

Paula Teves Costa^(1,2) e Maria Luisa Senos⁽³⁾

⁽¹⁾Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C8, 1749 – 016 Lisboa, ptcosta@fc.ul.pt

⁽³⁾Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C8 – 6º, Lisboa

⁽²⁾Instituto de Meteorologia, Rua C do Aeroporto, 1749-077 Lisboa, luisa.senos@meteo.pt

SUMMARY

A microtremor survey was carried out in Angra do Heroísmo to characterize the seismic response of the shallower soil formations present in the town. The two main geological formations were well identified by the analysis of ambient vibrations. Using the technique developed by Nakamura (1989), the obtained peak amplitude seems to be able to correlate with the relative damage distribution.

1. INTRODUÇÃO

O sismo de 1 de Janeiro de 1980 ($M = 7.2$) foi sentido com violência no Grupo Central do Arquipélago dos Açores, provocando 56 mortos, milhares de casas destruídas, 400 feridos e um grande número de desalojados. A ilha Terceira foi a mais afectada, e os maiores danos ocorreram na cidade de Angra do Heroísmo. Na região de São Sebastião, provavelmente devido às condições locais, também se observaram danos importantes.

O parque edificado de Angra do Heroísmo era, na altura, maioritariamente constituído por edifícios construídos antes de 1950. Muitos destes edifícios sofreram danos severos ou colapso, especialmente os localizados na zona baixa da cidade e na colina do Corpo Santo. Além disso, muitas igrejas colapsaram parcialmente, tendo obrigado, em alguns casos, à sua total reconstrução.

A cobertura geológica da cidade é constituída por duas formações distintas: uma composta por materiais piroclásticos, e outra composta por rochas vulcânicas. Estas duas formações apresentam características geotécnicas diferentes que podem justificar respostas sísmicas diferentes. As tipologias construtivas eram muito semelhantes dentro da cidade, de modo que diferentes comportamentos sísmicos destas estruturas poderão ser explicados por um diferente comportamento sísmico das camadas superficiais do solo.

Com o objectivo de se identificarem diferentes tipos de solo com comportamento sísmico distinto, foi efectuado um estudo de ruído sísmico nas zonas da cidade que apresentaram maiores danos. São os principais resultados deste estudo que se apresentam seguidamente.

2. AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

O trabalho experimental consistiu na aquisição de registos de vibrações ambientais (ou ruído sísmico) em vários pontos da cidade. Foram seleccionados 230 pontos distribuídos ao longo das ruas que sofreram maior danos, com um espaçamento aproximado de 50 metro. Os dados foram recolhidos por 4 estações sísmicas equipadas com sismómetros Lennartz de 1 Hz, de 3 componentes, com uma amostragem de 100 Hz ou 62.5 Hz. A duração de cada registo foi de 10 minutos. A maior parte da aquisição dos dados foi efectuada durante o dia. Efectuaram-se medidas durante a noite, apenas em alguns pontos localizados nas ruas que apresentavam uma grande intensidade de tráfego.

O tratamento dos dados efectuou-se de acordo com a metodologia proposta por Nakamura (1989; 2000), determinando-se a razão espectral H/V, isto é, a razão entre o espectro da composição das componentes horizontais sobre o espectro da componente vertical.

O processamento dos dados foi efectuado recorrendo ao software J-SESAME (Sesame, WP03 Team, 2003), desenvolvido no âmbito do projecto SESAME. Este software permite um tratamento rápido de toda a informação, disponibilizando diferentes filtrações, alisamentos, selecção de janelas, etc. Ao longo de todo o registo, seleccionaram-se janelas de 20 segundos, com sobreposição de 2 segundos, de acordo com um algoritmo que analisa a amplitude do

registo e selecciona as janelas mais calmas. Calcula-se a razão espectral H/V para cada janela, de acordo com um conjunto de parâmetros de cálculo previamente definidos (espaçamento em frequência, tipo de filtragem e pré-tratamento do sinal, composição das componentes horizontais e alisamento espectral). A razão H/V final é a média de todas as H/V determinadas para cada janela, e apresenta-se com o respectivo desvio padrão. A figura 1 apresenta, como exemplo, os resultados obtidos em dois pontos distintos.

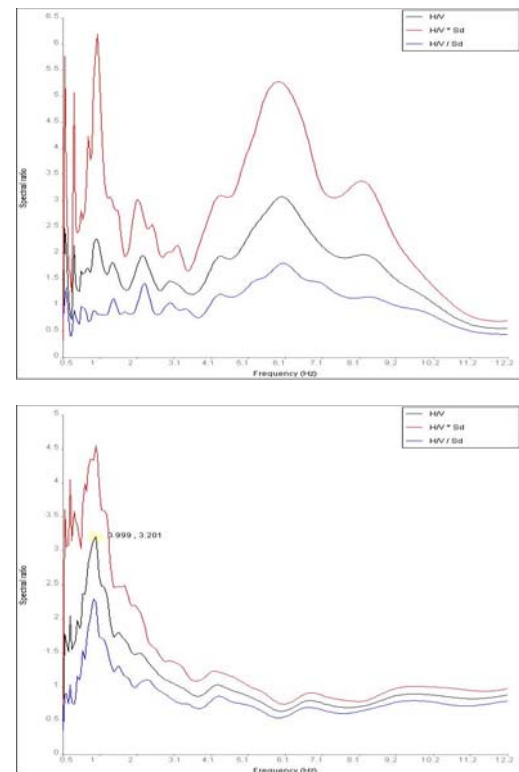


Figura 1 – Razão H/V obtida em dois pontos distintos (valor médio e média a dividir e a multiplicar pelo desvio padrão). (H/V for two different points: mean and mean divided and multiplied by the standard deviation.)

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Depois de determinadas todas as razões H/V foram obtidos, automaticamente os picos de frequência e respectivas amplitudes. Em princípio, estes picos de frequência correspondem à frequência própria das camadas superficiais, pelo que é de esperar uma boa correlação entre a geologia superficial e a frequência destes picos. Na figura 1, os dois pontos apresentados estão localizados sobre formações geológicas diferentes, isto é, o de cima está localizado sobre a formação constituída por rochas vulcânicas e, o de baixo está localizado sobre a formação constituída por materiais piroclásticos. Observa-se que as frequências dos dois picos são distintas: o



primeiro apresenta uma frequência de 6.6 Hz, enquanto o segundo apresenta uma frequência de 1.5 Hz.

Seguidamente elaboraram-se dois mapas, um correspondente às frequências de pico (seleccionadas numa janela entre 0.5 Hz e 12 Hz), e outro com as respectivas amplitudes, projectando, em ambos, a localização dos pontos de medida. As figuras 2 e 3 apresentam estes mapas.

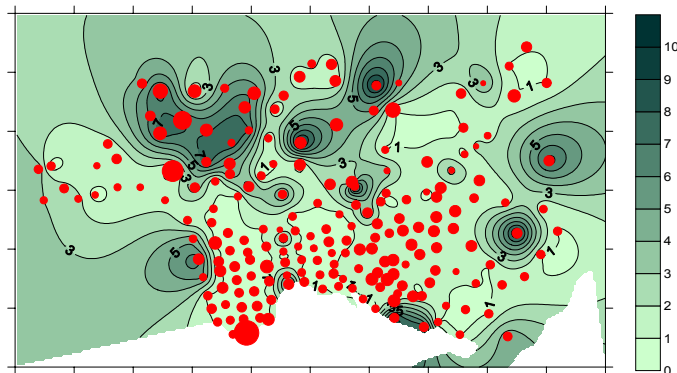


Figura 2 – Mapa de frequências máximas (a área dos pontos é proporcional à amplitude do pico). (Frequency contour map. The area of the points is proportional to the amplitude of the peak.)

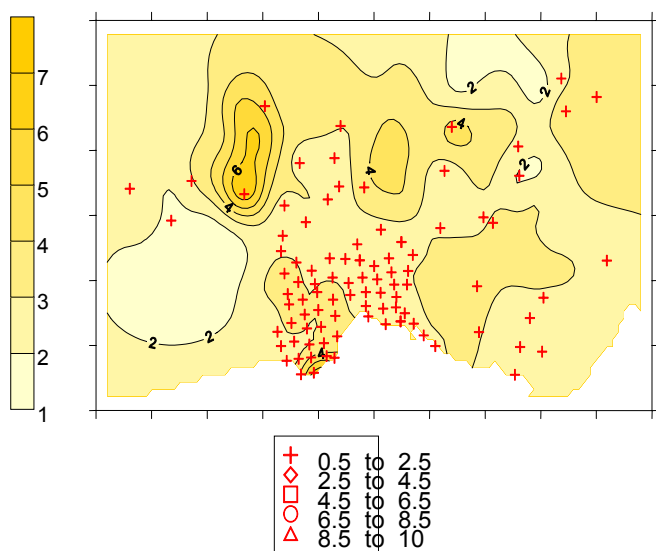


Figura 3 – Mapa de amplitudes. Cada símbolo corresponde a um intervalo de frequências. (Amplitude contour map. Different symbols correspond to different frequency intervals.)

Na análise da figura 2 pode observar-se uma boa correlação entre a geologia superficial e a frequência de pico: a parte sul da cidade encontra-se coberta pelos depósitos piroclásticos e verifica-se que a frequência de pico, nessa área, varia entre 1 Hz e 2 Hz. Na parte norte da cidade encontram-se as formações rochosas (compostas por traquitos e traqui-andesitos) e observam-se frequências de pico entre 3 Hz e 7 Hz. Os valores anómalos podem estar relacionados ou, com heterogeneidades locais, ou com a topografia da cidade, que apresenta colinas a ladearem a parte baixa (central) da cidade.

A análise da figura 3 permite-nos observar maiores amplitudes na zona norte da cidade que podem corresponder a amplificações do movimento sísmico nas frequências apresentadas na figura 2. Na parte baixa da cidade (centro, sul) temos amplitudes de 3 e 4. Parece-nos importante salientar que, apesar dos danos observados em 1 de Janeiro de 1980 terem sido bastante severos em toda a parte baixa da cidade, a zona que apresenta amplitude 4 sofreu danos ligeiramente superiores aos da zona de amplitude 3 (Lucas et al., 1992).

4. CONCLUSÕES

O diferente comportamento sísmico das formações geológicas que cobrem a cidade de Angra do Heroísmo foi observado através da identificação da frequência de pico obtida pela análise de vibrações ambientais medidas em vários pontos da cidade. A formação constituída por depósitos piroclásticos apresenta uma frequência de pico entre 1 Hz e 2 Hz, enquanto que a formação rochosa apresenta frequências de pico entre 3 Hz e 7 Hz. Por outro lado, as amplitudes destes picos parece poderem-se correlacionar com a distribuição relativa dos danos observados durante o sismo de 1 de janeiro de 1980.

5. AGRADECIMENTOS

Agradece-se a colaboração de Maria Escuer, Francisco Santos, Luis Carlos (do IM) e Catarina Paz (da FCUL) na aquisição dos dados de campo. Agradece-se também a Alberto Tinto, Bladimir Moreno, Pedro Roquette e Pierre-Yves Bard, membros da equipa do WP03 do projecto Sesame, que desenvolveram o software utilizado no processamento dos dados.

Este trabalho foi parcialmente subsidiado pela Comunidade Europeia, projecto SESAME: EVG1-CT-2000-00026.

6. REFERÊNCIAS

- Lucas, A., C.S. Oliveira and J.H.C. Guedes (1992). "Quantificação dos danos observados no parque habitacional e do processo de reconstrução". In: Oliveira, C.S., Lucas, A.R.A. and Guedes, J.H.C. (Ed.): Monografia *10 Anos Após o sismo dos Açores de 1 de Janeiro de 1980*, SRHOP, LNEC, 667-742.
- Nakamura, Y. (1989): "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", *RTRI*, **30-1**, 25-33.
- Nakamura, Y. (2000): "Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications", *12th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Sesame, WP03 Team (2003): "Multiplatform H/V processing software J-SESAME". Deliverable D09.03, June 2003.