

## Ciclo de atividade sísmica em Areado-MG ocorrido em março de 2003

Fernandes\*, C., Berrocal, J. & Schramm, D., Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

A cycle of seismic activity occurred in March 2003, near Areado, a small town located in Southern portion of Minas Gerais state. That activity followed a main earthquake occurred on March 16<sup>th</sup>, 2003 with magnitude  $m_b$  3.2 and felt with intensity 5 MM. This is the largest seismic event that have occurred until now in the area surrounding the Furnas Hydroelectric Reservoir.

Small earthquakes in that area began soon after the reservoir impounding finished in the 1960s, however a seismic cycle with real characteristics of being induced by that reservoir occurred in 1991, in the same seismogenic area of the activity occurred in March 2003. The last cycle coincides with a maximum water level of Furnas reservoir.

A small network with three telemetered stations was installed around Areado, permitting to detect a little more than forty aftershocks in a five days interval. Good quality data permitted to obtain precise hypocentral determinations, which allowed to infer a probable fault plane dipping to SW,.

### Introdução

Ocorreu um ciclo de atividade sísmica em Março de 2003 na cidade de Areado-MG. Esta cidade está localizada no sul do estado de Minas Gerais, na região Sudeste do Brasil. O evento de maior magnitude ocorreu no dia 16 de março de 2003 às 18h29min (hora local, 21h29min, UT), e foi sentido com intensidade 5 MM na cidade de Areado.

Este ciclo de réplicas foi monitorado parcialmente, pelo grupo de sismologia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo a convite do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, que também monitorou parte desse ciclo sísmico além de efetuar o levantamento de dados macrosísmicos (Marza et al., 2003).

A região onde ocorreram estes eventos, apresenta um nível relativamente baixo de atividade sísmica, típico de regiões intraplaca, caracterizada por um número relativamente pequeno de sismos, raramente excedendo magnitude  $m_b$  5,0, de acordo com Berrocal et. al. (1996 e 2001).

Este trabalho tem como objetivo apresentar a atividade sísmica ocorrida em Areado, no intervalo de 22 a 26 de março de 2003, através da localização de hipocentros e da análise da distribuição espacial dos eventos.

### Aspectos geológicos

A área de estudo está localizada na região limítrofe entre a Faixa Brasília e a Faixa Ribeira. O município de Areado está localizado na borda limite entre o Complexo Varginha-Guaxupé, de idade arqueana e o grupo Araxá do Proterozóico Superior (ver Fig.1). Esta região aparentemente foi comprimida pelo movimento entre o Craton de São Francisco (porção NE do mapa da Fig. 1) e o Ma... de Paranapanema, que fica sob a Bacia de Paraná (porção SW desse mapa).

Nessa região, como também pode ser visto na Fig. 1, existem várias falhas transcorrentes sinistras, orientadas maiormente na direção EW e algumas, como a que ocorre próxima de Areado, orientada na direção SW.

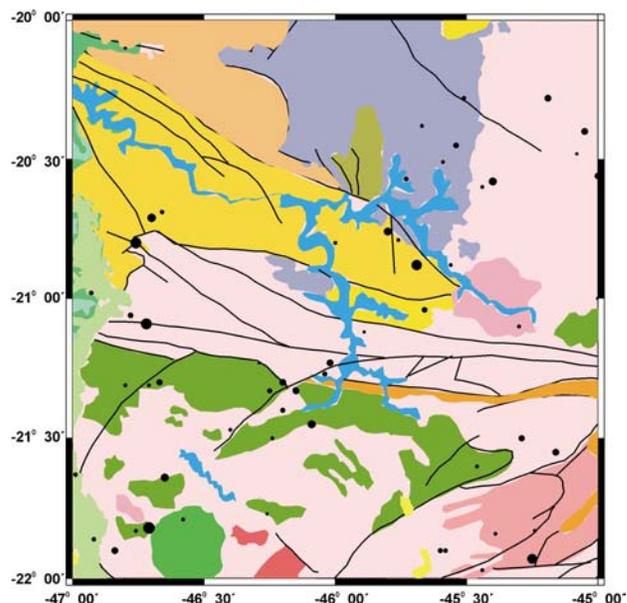
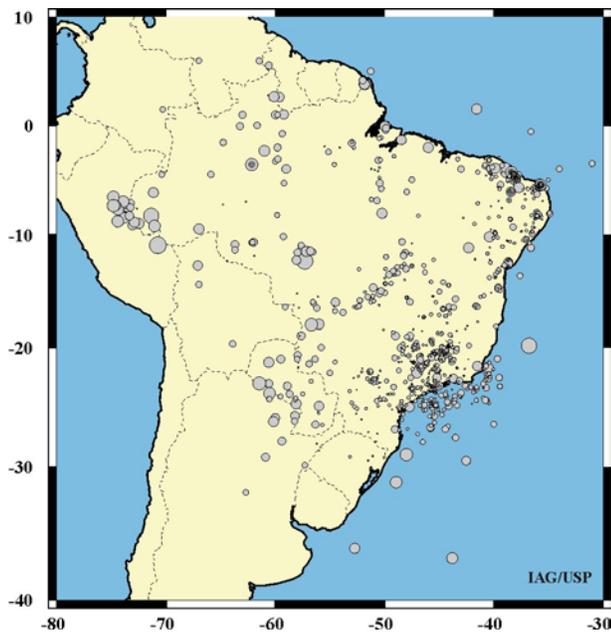


Figura 1 – Mapa geológico da região que abrange o Reservatório de Furnas.

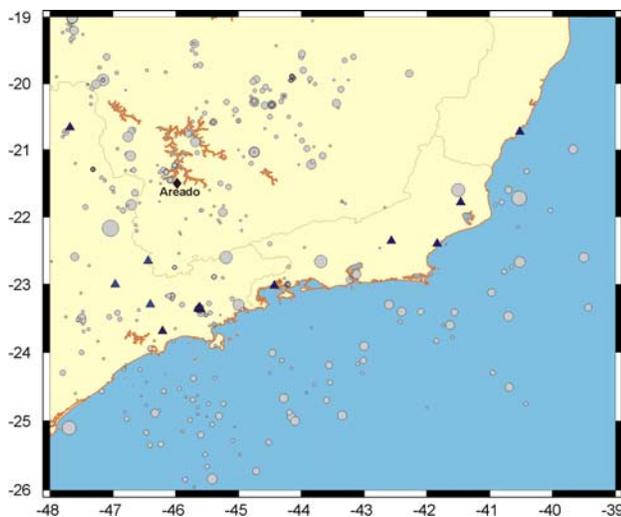
### Sismicidade regional

O nível de atividade sísmica na região Sudeste é relativamente baixo, porém significativo se comparado com outras regiões do Brasil, como pode ser visto no mapa de sismicidade do Brasil na Fig. 2.

A região Sul de Minas e sua borda com o estado de São Paulo, que circundam o município de Areado, apresentam um nível significativo de atividade sísmica dentro da região Sudeste, onde tem ocorrido o sismo de maior magnitude desta região (sismo de Pinhal-SP de 27.01.1922,  $m_b$  5,1) conforme se apresenta na Fig. 3.



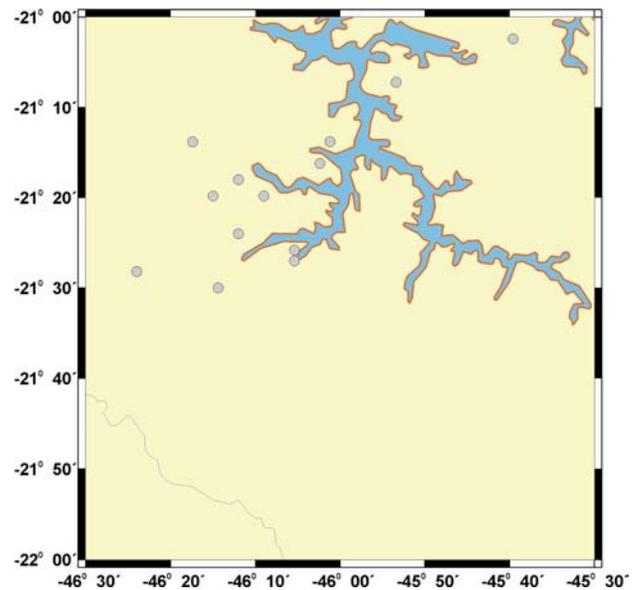
**Figura 2** – Mapa de sismicidade do Brasil, com eventos que ocorreram entre 1560 e 2002.



**Figura 3** – Mapa de sismicidade da região Sudeste do Brasil com sismos ocorridos entre 1560 e 2002, mostrando o Reservatório de Furnas e a cidade de Areado, assim como algumas estações da rede sismográfica regional (triângulos). O tamanho dos círculos são proporcionais à magnitude dos sismos entre 1 e 5,1  $m_b$ .

Por outro lado, a área onde está localizado o Reservatório de Furnas, de acordo com Berrocal et al. (1984), não apresenta um nível expressivo de atividade sísmica histórica, comparado com a região circundante. O primeiro sismo conhecido ao redor desse reservatório, ocorreu em São Pedro da União em 15.11.1966, um ano e meio depois de ter sido inaugurada a Barragem de Furnas em 12.05.1965, razão pela qual se costuma associar esse sismo com o enchimento do Reservatório de Furnas. Além deste sismo, ocorreu nessa região outro

evento um pouco depois, em 1967, em Cabo Verde. Contudo não houve mais atividade nessa região até a década de 1980. Por este motivo e considerando que essas localidades, onde aconteceram os dois sismos mencionados antes, ficam relativamente afastadas desse reservatório, não podemos considerar esses eventos, como sendo sismos induzidos pelo Reservatório de Furnas.



**Figura 4** – Epicentros de sismos ocorridos na região do Reservatório de Furnas, extraídos do Boletim Sísmico Brasileiro.

Entretanto, em 11.09.1981 ocorreu um sismo de magnitude  $m_b$  3,1 nas proximidades de Alfenas, com epicentro muito próximo ao Reservatório de Furnas. Nos anos seguintes, até 1990, ocorreram outros sete sismos com epicentro nas redondezas de Alfenas, Areado e Alterosa, com  $m_b$  variando entre 2,1 e 2,9. Esses eventos, pela sua localização, poderiam corresponder a sismos induzidos por esse reservatório, porém a frequência de ocorrência dos mesmos na corresponde a ciclos de sismicidade induzida por reservatórios.

A ocorrência de atividade sísmica na cidade de Areado, de acordo com o Boletim Sísmico Brasileiro, é relativamente recente, começou em janeiro de 1991, quando ocorreram, praticamente o ano inteiro, sismos de pequena magnitude ( $m_b \leq 2,7$ ) vários deles sentidos com intensidade de até 4 MM. Este ciclo continuou em 1992, mas com uma frequência menor de ocorrências, porém foram sentidos no mês de junho, dois abalos com intensidade 4 MM, um deles teve magnitude  $m_b$  2,9. O nível de atividade foi diminuindo nos anos seguintes até 1997 quando foi registrado um único evento nesse ano.. Depois desse evento ocorrido em 1997 só vieram ocorrer novos sismos em Areado em março de 2003.

#### Sismo principal de 16 de Março de 2003

O evento sísmico que ocorreu em Areado em 16 de Março de 2003 às 21:29:42 UT, com epicentro em  $21,31^{\circ}$  S e  $46,20^{\circ}$  W e  $m_b$  3,2 (determinados pelo Boletim Sísmico Brasileiro), é o maior sismo ocorrido nesta localidade e em toda a região próxima ao Reservatório de Furnas, até o presente. Este sismo foi sentido pela população com intensidade 5 MM, o que causou alguma apreensão por parte dos moradores de Areado. Poucos minutos após este evento, às 21:35:07 UT, ocorreu uma réplica com  $m_b$  2,7, também sentida pela população e praticamente no mesmo epicentro que o sismo principal.

### O ciclo sísmico de Areado de março 2003

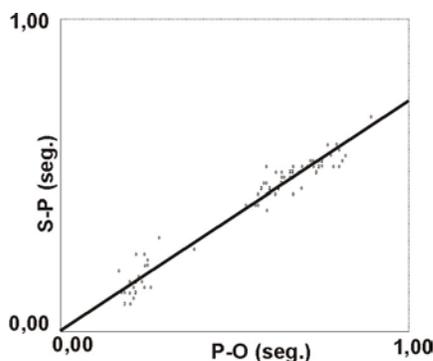
#### Rede sismográfica local

Após ter ocorrido o sismo principal em 16.03.2003, o Grupo de Sismologia do IAG/USP instalou uma rede telemétrica local em torno de Areado, com três estações de período curto ( $T_0$  0,5 s), sendo uma delas com três componentes (Z, NS e EW) e as outras duas estações somente com a componente vertical. O registrador utilizado foi modelo RRS1, da Kinematic, de seis canais, e sismômetros modelo L4C. Os sinais sísmicos das estações remotas eram transmitidos via rádio UHF da Monitron, com antenas direcionais Yagi de 12 dB, até uma estação central de registro, instalada no local da estação com três componentes.

Esta rede operou entre os dias 22 e 26 de Março de 2003, e registrou 16 eventos na estação de três componentes e 27 eventos com a rede completa com as três estações.

#### Determinação de hipocentros

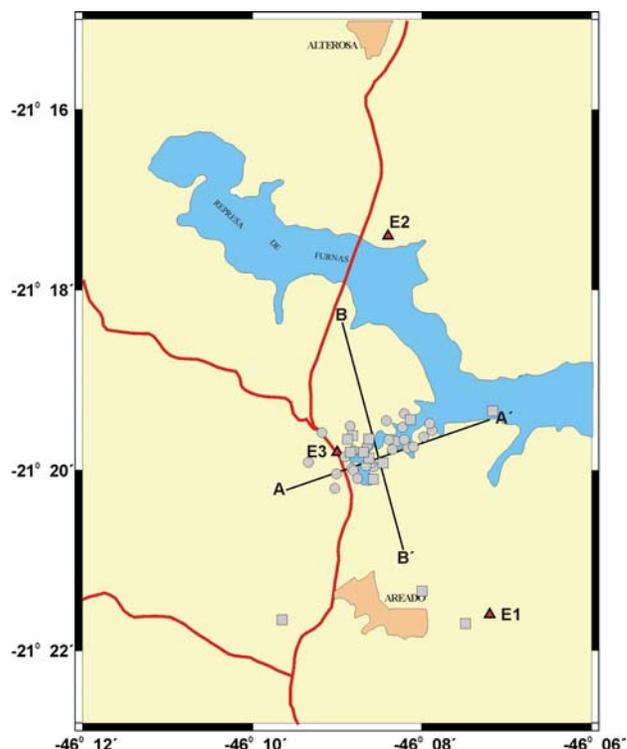
Inicialmente foi determinada a melhor razão entre as velocidades das ondas P e S, independente do modelo de velocidades a ser utilizado. Para isto foram utilizados 27 eventos com sinais muito claros nas três estações, o que permitiu calcular o valor de  $V_P/V_S = 1,735 \pm 0,022$ , conforme se mostra no diagrama de Wadati da Fig. 5. Para determinar os hipocentros foi utilizado o programa HYPO71 (Lee & Lahr, 1975). O modelo utilizado considerou as primeiras camadas conforme o sugerido por Perosi & Berrocal (2003) para a porção SE da província Tocantins.



**Figura 5** – Diagrama de Wadatti para determinar a razão  $V_P/V_S$  na região de Areado.

Os 27 sismos registrados nas três estações da rede tiveram seus hipocentros localizados com o programa HYPO71 com resultados de boa qualidade: valores de RMS menores que 0,03 s e ERH menor que 0,5 km e ERZ menor que 1,5 km.

Os 16 sismos registrados na estação com três componentes, próxima de Areado, tiveram seus epicentros determinados utilizando o azimute de chegada da frente de onda sísmica na estação e a distância epicentral determinada pela diferença de tempo de chegada S-P. Esta distância foi calibrada utilizando as distâncias epicentrais determinadas com o programa HYPO71, resultando numa constante de 8,31 que multiplica pela diferença de tempo S-P. Os epicentros determinados com estes dois conjuntos de eventos são apresentados na Fig. 6.



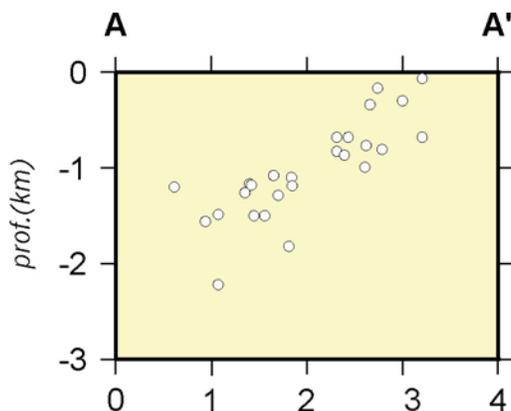
**Figura 6** – Mapa de epicentros do ciclo sísmico de Areado de algumas réplicas ocorridas em março de 2003.

#### Distribuição espacial dos hipocentros

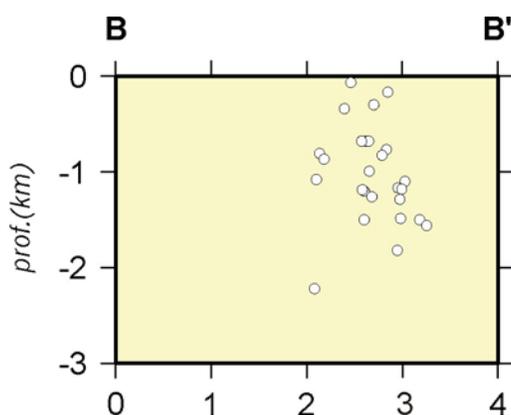
Na Fig. 6 pode se observar uma distribuição epicentral, na maioria dos sismos, coincidindo com um dos meandros do reservatório orientado na direção SW, que poderia sugerir um plano de falha nessa direção. Entretanto a projeção desses hipocentros nos planos verticais A-A' e B-B' mostrada nas Figs. 7a e 7b, respectivamente, mostram uma distribuição espacial dos hipocentros mais complicada.

A secção A-A' segue a orientação SW determinada pela distribuição dos epicentros e do suposto plano de falha. No entanto, como se vê na Fig. 7a os hipocentros parecem mergulhar na direção SW e na secção B-B', da Fig. 7b, que é perpendicular ao plano anterior, os

hipocentros não mostram nenhum mergulho. Esta distribuição espacial dos hipocentros sugere uma falha mergulhando para SW e com orientação para NW.



**Figura 7a** – Secção A-A' longitudinal ao comprimento da zona epicentral.



**Figura 7b** – Secção B-B' perpendicular a secção A-A'.

As polaridades do primeiro impulso da onda P, dos eventos registrados nas três estações, não permitiram determinar a solução composta do mecanismo focal, provavelmente pelas pequenas distâncias epicentrais e por estar uma das estações em da zona epicentral.

#### Discussão e conclusão

O ciclo de atividade sísmica ocorrida em Areado em março de 2003, parece corresponder a um ciclo de sismos induzidos pelo Reservatório de Furnas, com uma zona epicentral semelhante a do ciclo ocorrido em 1991 (Blum, 1993).

A atividade de março de 2003 coincidiu com um enchimento máximo do reservatório como não ocorria nestes últimos anos desde o início da década de 1990.

Embora não tenha sido possível determinar o mecanismo focal associado ao ciclo de atividade em estudo, a distribuição espacial dos hipocentros sugere uma orientação da provável falha diferente a encontrada por Blum (1993) para o ciclo de sismos ocorridos em 1991.

#### Agradecimentos

Agradecemos a população de Areado, em especial aos donos do Hotel Areado, pelas informações sobre a sismicidade dessa cidade e pela colaboração prestada ao Grupo de Sismologia do IAG/USP e aos donos das fazendas que nos permitiram instalar as estações sismográficas. Somos gratos também ao Eng. Luis Galhardo e ao técnico Dennis de Assis Schramm, pela colaboração na preparação e instalação dos equipamentos sismográficos.

#### Referência

- Berrocal, J., Assumpção, M., Antezana, R., Dias Neto, C.M., Ortega, R., França, H. & Veloso, J.A.V., 1984. Sismicidade do Brasil. Inst. Astronôm. e Geofis., 320p. São Paulo.
- Berrocal, J., Fernandes, C., Bassini, A. & Barbosa, J., 1996. Earthquake hazard assessment in the Southeastern Brazil. *Geofísica Internacional*, **35**: 257-272.
- Berrocal, J., Fernandes, C., Diniz de Almeida, A. A., & Roehl, J.L.P., 2001. Avaliação de ameaça sísmica na região SE do Brasil através do método probabilístico. Proc. 7<sup>th</sup> Int. Cong. Brazilian. Geophys. Soc., p 1264-1267 (em CD-ROM)
- Blum, M., Ide L. B., 1993, Cálculo de Magnitudes, Estimativa do parâmetro "b" e considerações sobre a atividade Sísmica de Areado, MG, outubro de 1991, Proc. 3<sup>o</sup> Cong. Bras. Geof. 694-699, em CD-ROM.
- Lee, W. H. K. & Larh, J. C., 1975, HYPO71 (revised): a computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, U.S. Geol. Survey, Open-File, 75-311.
- Perosi, F. & Berrocal, J., 2003. Modelo estrutural dos setores Central e Sudeste da Província Tocantins utilizando dados de refração sísmica profunda. 8<sup>o</sup> ICBGS, Rio 2003.