



Seqüência Sísmica de Areado/MG, iniciada em janeiro de 2004: Resultados preliminares.

Lucas V. Barros, Daniel F. Caixeta & Darlan P. Fontenele
Observatório Sismológico, Universidade de Brasília <obsis@unb.br>

Copyright 2004, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para apresentação no I Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, São Paulo, 26-28 de setembro de 2004. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Técnico-científica do I SR-SBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Abstract

Preliminary studies results accomplished by the Seismological Observatory (SIS) of The University of Brasilia (UnB), concerning to the recent Areado/MG seismic sequence, are presented. The studies cover the period from January 28 to May 28, 2004, in which a five short period 3 component stations seismograph network, installed by SIS/UnB and FURNAS, detected 372 microearthquakes. The network was installed around a branch of Furnas Reservoir (between the cities of Areado and Alterosa) a week after 3,2 m_R mainshock has been felt in Areado and Alterosa. To perform the studies a set of 75 seismic events detected by at least four stations was select for analyses. Hipocentral locations show that the Areado/MG sequence of 2004 belongs to the same sismogenic zone delimited in previous studies carried out by SIS/UnB and IAG/USP in 2003 and SIS/UnB in 1991.

The seismogenic area of Areado/MG is located at southern of Minas Gerais State, at boundary between the Brasília belt and Ribeira belt, which is laid on the complex Varginha-Guaxupé (Fernandes e Berrocal, 2003).

The objective of this paper is to present preliminary results of the hipocentral location and focal mechanism to the Areado/MG seismic sequence of January 2004.

Introdução

Em decorrência de um sismo [$m_R = 3,2$ em 21/01/04, às 18:27h (UTC)], sentido em Areado e Alterosa, cidades do sul de Minas Gerais, localizadas às margens do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas (Fig. 1) e, também, devido à divulgação, pelos meios de comunicação local, de notícias alarmantes acerca da natureza desse fenômeno, bem como sobre a possibilidade futura de sismos de maiores magnitudes, o Observatório Sismológico (SIS) da Universidade de Brasília (UnB), a convite de FURNAS Centrais Elétricas S/A, realizou duas viagens ao local para prestar esclarecimentos à população e para instalar uma rede sismográfica em torno da região epicentral. A rede com cinco sismógrafos digitais, de período curto (1s) e três componentes, foi instalada a partir de 28 de janeiro e continua em operação até hoje.

Neste Trabalho serão apresentados, preliminarmente, os resultados de localização hipocentral e de mecanismo focal determinados para os maiores sismos da

seqüência, precedidos de um breve relato da sismicidade de Areado, anterior a janeiro de 2004.

Sismicidade anterior a janeiro de 2004

O monitoramento sismográfico do Reservatório de Furnas iniciou-se em 1982 (Velooso et al., 1987), 19 anos após o seu enchimento inicial, em 1963. A estação digital de três componentes FUR1, instalada próxima do eixo da barragem, situada à noroeste de Areado, a cerca de 72 km, é responsável pelo atual monitoramento sismográfico da área.

A Estação FUR1 e outras estações em reservatórios vizinhos, vêm, ao longo dos anos, detectando sismos próximos ao Reservatório de Furnas, com por exemplo em Formiga/MG (1980, $m_R = 2,6$ e 1993, $m_R = 3,1$ e 2,9), Alfenas/MG (1981, $m_R = 3,1$; 1983 $m_R = 2,7$ e 1990, $m_R = 2,4$ e 3,0), Varginha/MG (1982, $m_R = 3,0$), etc.

Particularmente em Areado foi detectada e estudada com redes sismográficas instaladas no local, duas seqüências sísmicas: uma em 1991 (Blum, 1993), cuja maior magnitude ($m_R = 2,8$) ocorreu em 17/09/91; e outra em 2003, estudada por Marza et al (2003 e 2004) e por Fernandes et al (2003); com o sismo de maior magnitude ($m_R = 3,4$) ocorrido em 16/03/2003, às 21:29h (UTC). Nos dois casos, as localizações hipocentrais são semelhantes às encontradas para a seqüência atual. Blum (1993) apresenta uma solução de planos nodais, obtida com um mecanismo composto, usando as polaridades das primeiras chegadas da onda P e registradas por até cinco estações analógicas. Foi determinada uma falha transcorrente dextral com componente reversa e com um strike de 190°, que, segundo o autor, concorda com a distribuição dos hipocentros. O eixo P desse mecanismo está na direção ENE-WSW. A Figura 2, extraída de Assumpção et al. (1997), é a reprodução desse mecanismo.

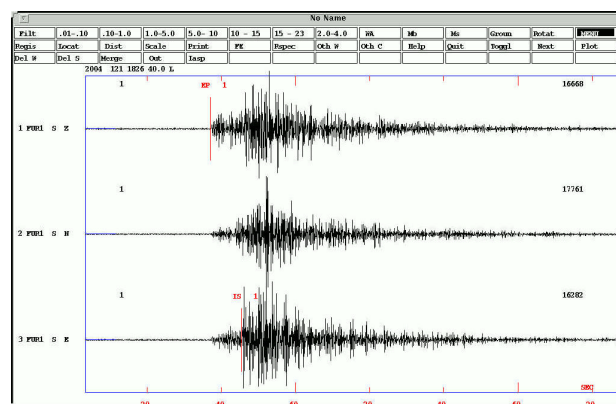


Figura 1 - Registro do sismo principal da seqüência de Areado de 2004, pela Estação FUR1 ($\Delta = 72$ km, Backazimute = 169°), com chegada emergente.

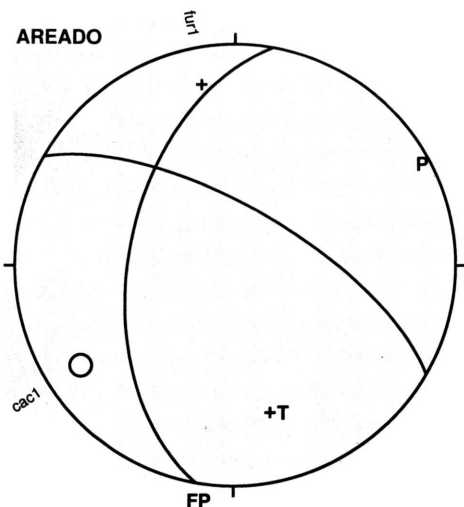


Figura 2 - Mecanismo focal para a sequência sísmica de Areado (MG), ocorrida em 1991 e estudada por Blum (1993). Extraída de Assumpção et. al (1997).

Método de análise

Do total de 372 microtremores registrados no período de 28 de janeiro a 28 de maio de 2004, selecionou-se para análise um conjunto de 71 eventos, com as seguintes características: magnitude (m_D) maior que zero, detectados por um mínimo de quatro estações e um gap azimutal entre 92° e 150° .

Apesar de os sismos ocorridos apresentarem baixas magnitudes (a maior determinada foi de $1,8 m_D$), foi possível identificar as fases P e S em quase todos os eventos analisados, pois os cinco sismógrafos utilizados (Datalogger Orion da Nanometrics, acoplados a sismômetros triaxiais de período curto (1s) S3000Eq, da Sprengneter) tem uma ampla faixa dinâmica (140 dB) e todos foram instalados sobre afloramento rochoso.

Determinou-se a melhor razão entre as velocidades das ondas P e S, independentemente do modelo crustal usado posteriormente, tomando-se o conjunto de 75 eventos. O resultado obtido é $V_p/V_s = 1.673 \pm 0.006$ e está apresentado no diagrama Wadati da Figura 3.

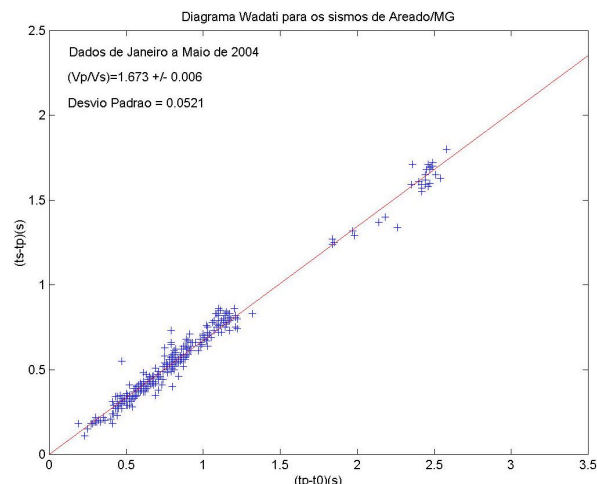


Figura 3 - Diagrama Wadati do conjunto de 75 sismos.

As formas de ondas dos eventos foram analisadas em ambiente SEISAN (the Earthquake Analysis Software) (Haskov & Ottmoller, 1999), dentro do qual utilizou-se o programa de localização hipocentral Hypocenter (Klein, 1978) e o programa de mecanismo focal (Focmec) [Snoke et al., 1984 & Arvidsson, 1992].

O modelo de velocidade usado foi de uma única camada, determinado experimentalmente pelo critério de menor RMS (Raiz Média Quadrática do resíduo dos tempos de percurso). A velocidade adotada corresponde a 5,8 km/seg, conforme Figura 4.

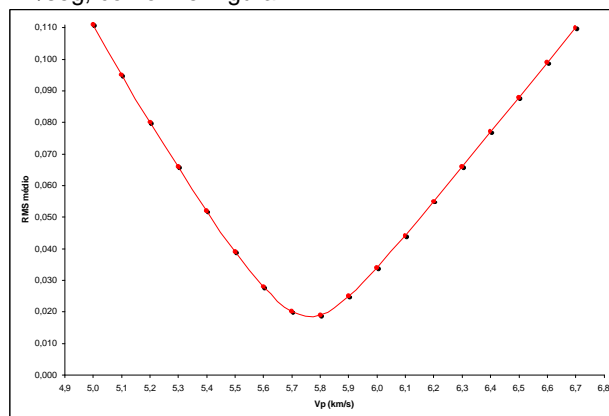


Figura 4 - Determinação da melhor velocidade para um modelo de camada única.

Resultados

No período de quatro meses de monitoramento foram detectados 372 microtremores com magnitudes $-0,4 \leq m_D \leq 1,8$, dos quais 180 foram localizados com três ou mais estações, 111 com quatro ou mais e 18 com cinco estações.

Os gráficos das figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, a evolução da sismicidade e a distribuição de magnitudes no período considerado. As magnitudes foram estimadas usando a seguinte fórmula, desenvolvida por Blum (1983):

$$m_D = 1,70 \times \log D - 1,02.$$

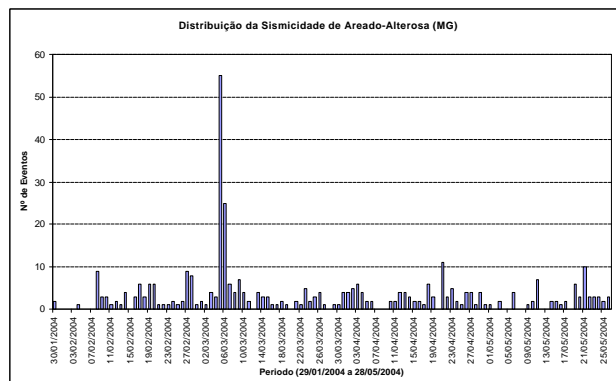


Figura 5 - Evolução temporal da sismicidade no período 28 de janeiro a 28 de maio de 2004.

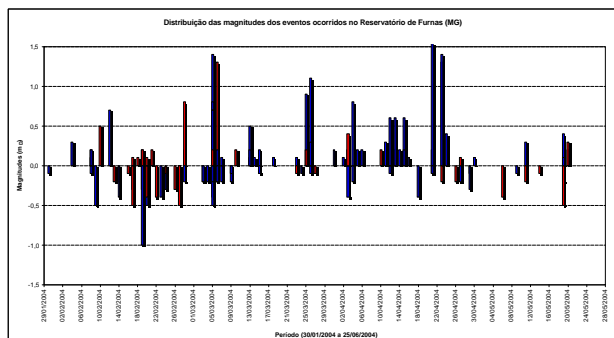


Figura 6 - Distribuição das magnitudes da seqüência sísmica de Areado/2004.

Localização hipocentral

A Figura 7 apresenta o resultado das localizações para o conjunto de 75 eventos, as quais foram determinadas com, no mínimo, quatro estações; valor RMS dos eventos entre 0,01 e 0,07 seg.; média dos RMS das localizações = 0,023 seg. e com a estatística de localização da Tabela 1. A Tabela 2 apresenta uma relação dos sismos com magnitudes ≥ 0,5.

ESTAÇÃO	Nº DE FASE		RESÍDUO		DESVIO RMS	
	P	S	P	S	P	S
ARE1	69	69	0,00	0,00	0,02	0,01
ARE6	64	66	-0,02	0,00	0,02	0,03
ARE7	70	71	0,00	0,00	0,01	0,01
ARE8	24	24	0,02	0,01	0,02	0,02
ARE9	71	71	0,01	0,00	0,02	0,01

Tabela 1 - Estatística de localização dos 71 eventos da seqüência sísmica de Areado de Janeiro de 2004.

Mecanismo focal

O diagrama de mecanismo focal composto, apresentado na Figura 8, indica uma falha transcorrente sinistral, com pequena componente normal e com os seguintes parâmetros: Strike = 184, Dip= 71 e Rake= -15. Foram usados 34 eventos com 80 polaridades, das quais três erradas.

Nº	Data (dd/mm/aa)	Hora (hh:mm:ss.ss)	Latitude (°)	Longitude (°)	Prof (km)	Mag (mD)
1	14/02/2004	00:10:01.74	-21,3410	-46,1382	1,0	0,5
2	14/02/2004	06:54:43.23	-21,3407	-46,1383	0,7	0,7
3	03/03/2004	05:30:39.21	-21,3230	-46,1533	0,0	0,8
4	05/03/2004	08:30:56.95	-21,3350	-46,1520	1,0	1,4
5	05/03/2004	08:43:40.73	-21,3345	-46,1507	1,0	0,3
6	05/03/2004	08:57:29.37	-21,3350	-46,1515	0,6	0,8
7	05/03/2004	10:33:16.78	-21,3343	-46,1500	0,8	0,7
8	05/03/2004	18:42:05.47	-21,3335	-46,1508	0,9	0,7
9	06/03/2004	01:55:09.61	-21,3338	-46,1520	1,0	1,3
10	14/03/2004	12:06:16.76	-21,3338	-46,1577	0,4	0,5
11	26/03/2004	05:00:05.90	-21,3385	-46,1340	0,5	0,9
12	31/03/2004	21:36:37.95	-21,3322	-46,1497	0,6	1,1
13	06/04/2004	17:36:11.69	-21,3323	-46,1542	1,0	0,8
14	12/04/2004	21:42:18.73	-21,3330	-46,1533	0,7	0,3
15	13/04/2004	04:33:42.41	-21,3402	-46,1335	1,0	0,6
16	05/04/2004	05:02:57.71	-21,3302	-46,1400	0,7	0,6
17	17/04/2004	22:12:01.20	-21,3188	-46,1507	0,6	0,6
18	23/04/2004	12:13:49.36	-21,2868	-46,0563	2,5	1,8
19	23/04/2004	15:12:09.67	-21,2867	-46,0545	2,3	1,3
20	24/04/2004	01:38:11.30	-21,2863	-46,0567	2,5	1,4
21	23/05/2004	18:27:13.75	-21,3267	-46,1497	0,5	0,8
22	25/05/2004	01:31:00.25	-21,3257	-46,1502	0,6	0,5
23	25/05/2004	23:46:38.22	-21,3315	-46,1532	1,2	0,6

Tabela 2 - Lista dos eventos localizados na área de influência do Reservatório de Furnas/MG, próximo à

cidade de Areado/MG, com magnitudes entre 0,5 a 1,8 mD.

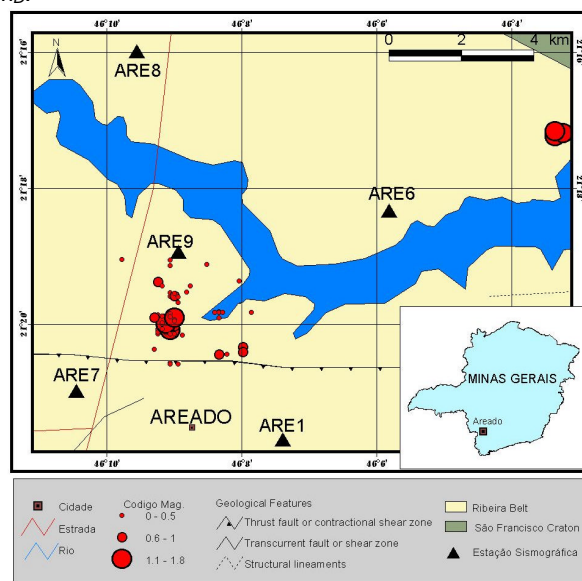


Figura 7 - Mapa de localização epicentral e das estações sísmográficas, mostrando as estações e um braço do lago de Furnas.

Discussão e conclusões

O estudo da seqüência sísmica de Areado/MG 2004, com dados de cinco estações digitais triaxiais de período curto, permitiu identificar preliminarmente uma falha transcorrente de direção N-S, com mergulho para oeste (Figura 8). A distribuição dos hipocentros corrobora com estes resultados (Figuras 9 e 10), diferentemente do obtido por Blum (1993), embora os epicentros de ambos os estudos tenham localizações semelhantes.

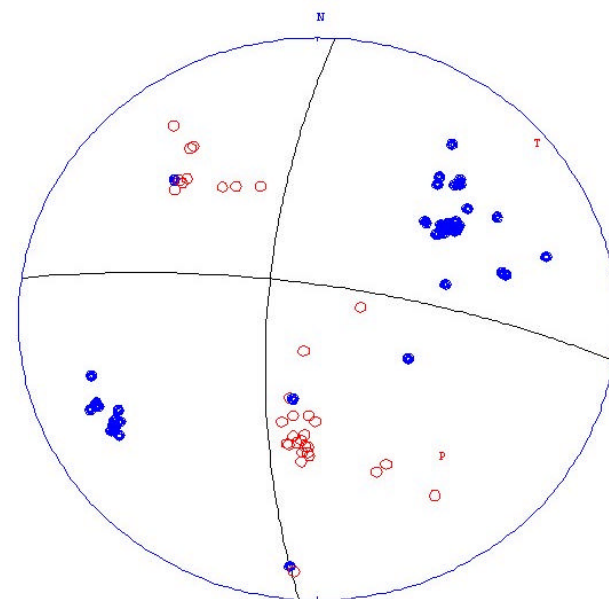


Figura 8 - Diagrama de mecanismo focal composto. Os círculos cheios indicam compressão.

Caracterizar a sísmica de Areado como do tipo SIR, com base nos estudos até hoje realizados, parece

bastante óbvio. Sismos nas margens ou dentro do lago, hipocentros rasos (menores que 2 km), correlação temporal com flutuações no nível da água do reservatório, mecanismos focais típicos de caso de SIR (falha normal ou transcorrente) parâmetro b grande em relação ao b regional [($b = 1,54$, Marza et. al (2003)]. Tudo isto pode parecer suficiente para uma conclusão óbvia de um caso de SIR comprovado.

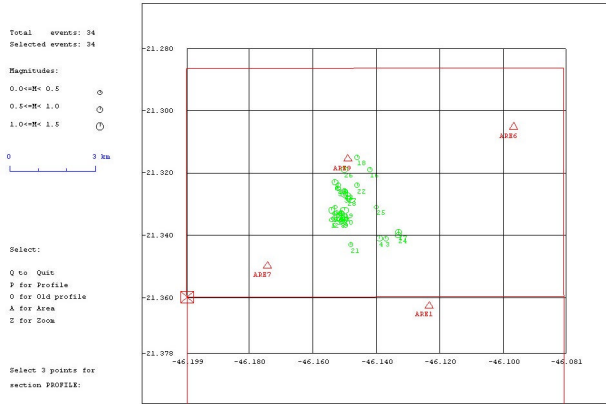


Figura 9 - Distribuição epicentral dos sismos da sequência.

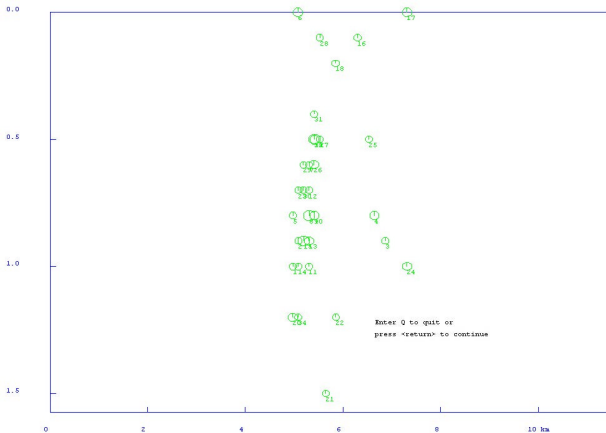


Figura 10 - Distribuição hipocentral - corte W-E.

Entretanto, deve ser notado que o Reservatório de Furnas (grande em profundidade, volume e área coberta) encontra-se em uma área de sismicidade natural relativamente alta (vide os casos de Alfenas/MG, Formiga/MG e outros), tornando difícil a discriminação entre as componentes natural e artificial da sismicidade. Outro fato extremamente relevante na comprovação de casos de SIR é a existência de monitoramento sismográfico prévio e contínuo após o enchimento do lago, o que não ocorreu relativamente ao Reservatório de Furnas. Esse monitoramento possibilita o conhecimento da atividade natural da área, anteriormente ao enchimento do lago e detectar eventuais mudanças no nível dessa sismicidade pela ação do reservatório sobre o ambiente geotectônico presente em sua área de influência. Conclusivamente, a caracterização da sismicidade de Areado é um caso complexo, que carece de mais estudos e discussões.

Marza et al. (2003 e 2004), estudando a seqüência sísmica de 2003, encontraram cinco evidências irrefutáveis. Entretanto, os autores Fernandes et al. (2003), ao estudarem a mesma seqüência de 2003, preferiram a classificação de caso duvidoso. Outros autores que estudaram sismos anteriores (Blum, 1991; Berrocal et al., 1984 e Veloso et al., 1987), também preferiram classificar o Reservatório de Furnas como um caso duvidoso de SIR.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Empresa Furnas Centrais Elétricas S/A pela ampla colaboração no estudo da sismicidade de Areado, particularmente o Eng. Emílio Piantino e o técnico Ricardo Ajei.

Referências bibliográficas

ARVIDISON, R. Focmec - Programa para determinação de mecanismo focal composto.

ASSUMPTÃO, M.; BARBOSA, J. R.; BERROCAL, J.; BASSINI, A. M.; VELOSO J. A. V.; MARZA, V. I.; HUELSEN, M. G. & RIBOTTA, L. C. (1997). Seismicity Patterns and Focal Mechanisms in Southeastern Brazil. Rev. Bras. Geofísica, V. 15, p. 119-132.

BERROCAL, J.; ASSUMPTÃO, M; ANTEZANA, R; DIAS Neto, C. M.; ORTEGA, R.; FRANÇA & VELOSO, J.A.V. Sismicidade do Brasil, Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (USP) e Comissão Nacional de Energia Nuclear, 1984.

BLUM M. L. B. Cálculo de magnitudes, estimativa do parâmetro b e considerações sobre a atividade sísmica de Areado, MG, outubro de 1993, Proc. III Int. Congr. Brazilian Geophys. Soc., Rio de Janeiro, 1993 1, 694-699.

FERNANDES, C.; BERROCAL, J. & SCHRAMM, D., (2003). Ciclo de atividade sísmica em Areado-MG ocorrido em março de 2003. 9th Int. Congress of The Braz. Geoph. Soc., Rio de Janeiro/RJ.

MARZA V. I.; BARROS L. V.; CHIMPLICANOND C. N; FONTENELE D. P. (2004). Síntese da sismicidade nas áreas de influência dos reservatórios das UHEs de Furnas Centrais Elétricas - Rel. Especial, 45 pp. Observatório sismológico da Universidade de Brasília.

MARZA, V I; CHIMPLICANOND, C. N.; BARROS, L. V.; CAIXETA, D. F. & NAKAYOSHI, T. (2003) - Areado/MG March, 2003 Earthquake Sequence: reservoir Triggered or not? 8th Int. Cong. Braz. Geop. Soc. 14-18 Sep. 2003, Rio de Janeiro/RJ 5pp.

HAVSKOV, J. & OTTEMÖLLER, L. (1999) SEISAN. An. Earthquake Analysis Software. Seismological Research Letters, 70, 5.

KLEIN, F. W. (1978). Hypocenter location program HYPOINVERSE. U.S.G.S. Open-File Rep. 78-694.

SNOKE, J. A., J. W. MUNSEY, A. G. TEAGUE & G. A. BOLLINGER (1984). A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data. Earthquake notes, 55, p15

VELOSO, J.A.V., ASSUMPTÃO, M., DUARTE, V.M., MOTA, C.G.B., GONÇALVES, E.P. E RÉIS, J.C. (1987) Registro de sismicidade induzida em reservatórios da CEMIG e FURNAS. 5.º Congr. Brás. Geologia de Engenharia, ABGE, 1, 135-146.