

ABALOS SÍSMICOS SENTIDOS NA REGIÃO MERIDIONAL DO BRASIL EM 1982¹

A.M. BASSINI e R. ORTEGA

*Instituto Astronômico e Geofísico – USP
Caixa Postal 30627 – 01051 – São Paulo – SP – Brasil*

A.B. PEREZ e N. SEIXAS

*CNPq/Observatório Nacional – Departamento de Geofísica
Rua General Bruce, 586 – São Cristóvão – 20921 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil*

This work analyses the data of three seismic events which occurred during 1982 in southeastern Brazil, at Varginha (MG), Mendanha (RJ), Caconde (SP), and one in Paraguay near Asuncion. The event felt at Varginha, on March 19 (intensity IV Modified Mercally Scale), and the one felt at Mendanha, on March 22 (intensity IV-V MM), were not recorded by the seismographics stations operating in the region. The earthquake felt at Caconde, on May 2 (intensity V MM), was recorded by nine stations of the local seismographic network with magnitude about 3,0. The earthquake of Paraguay wich occurred on April 8, felt at Asuncion with intensity VI MM, was also felt in the neighbouring area of the Brazilian territory. Its epicenter and magnitude ($m_b = 5,0$) were determined by the International Seismological Centre (ISC) using the instrumental data from 52 stations, including some of the Brazilian network.

INTRODUÇÃO

Apesar do Brasil estar localizado numa região intraplaca e portanto ser considerado estável do ponto de vista sísmológico, um número significativo de tremores de moderada e pequena magnitude têm ocorrido em várias regiões do país, tendo sido alguns deles registrados pelas estações da rede sísmográfica internacional, e vários outros por estações localizadas relativamente próximas aos eventos. A história sísmica do Brasil (Berrocal et al., 1984) indica que a atividade sísmica no território nacional consiste de sismos tectônicos de moderada magnitude, de pequenos abalos sísmicos geralmente produzidos por fenômenos geológicos superficiais (deslizamento de encostas e abatimento de cavernas, entre outros), e sismos induzidos por reservatórios hidrelétricos de grande porte ou pela perfuração de poços artesianos. Outros tremores, sentidos principalmente na cidade de São Paulo, correspondem a efeitos causados pela passagem de ondas sísmicas de terremotos ocorridos na região andina. Uma das principais características da atividade sísmica no Brasil é que os focos da maioria dos sismos são rasos, i.e., localizados na crosta terrestre, com exceção dos sismos profundos que ocorrem na região limítrofe entre Perú e Brasil.

Existem casos recentes, e principalmente antes de 1970, em que os eventos não foram registrados instrumentalmente, e o epicentro foi determinado com levantamentos macrossísmicos realizados nas áreas atingidas pelos abalos. As intensidades desses eventos foram definidas através das informações macrossísmicas que descrevem os danos causados e a forma como as pessoas sentiram o abalo sísmico.

Esses dados permitiram também estimar a magnitude desses eventos a partir de relações empíricas entre área afetada e magnitude.

O presente trabalho analisa dados referentes a quatro eventos sísmicos ocorridos em 1982 e que foram sentidos em diferentes áreas da região meridional brasileira. As curvas isossistas foram construídas a partir de informações macrossísmicas obtidas em jornais e através de entrevistas pessoais. Esta continua sendo uma importante fonte de dados para estudos de sismicidade no Brasil, mesmo porque dois abalos sísmicos relacionados neste trabalho não foram registrados instrumentalmente.

Em 10 de fevereiro de 1982, foi sentido um tremor nos andares superiores de prédios altos de alguns bairros centrais da cidade de São Paulo. Neste caso, os efeitos observados em São Paulo correspondem à passagem de ondas sísmicas originadas num terremoto de $m_b = 5,9$ ocorrido em Jujuy, província argentina. Por tal motivo, uma análise mais ampla deste evento não é incluída no presente trabalho.

Os eventos sísmicos a serem estudados neste trabalho têm sua localização epicentral apresentada no mapa da Fig. 1. Este mapa mostra ainda a localização das estações sísmográficas brasileiras que registraram dois desses eventos: Valinhos (VAO) – SP, Brasília (BAO) – DF, São Simão (SS) – MG, Paraibuna (PAR) – SP, Emborcação (EMB) – MG, Volta Grande (VG) – MG, Carmo do Cajuru (CC) – MG e Itaipu (ITF) – PR.

SISMICIDADE DA REGIÃO MERIDIONAL DO BRASIL

Compilações recentes de eventos sísmicos ocorridos no Brasil foram efetuadas por Sadowski et al. (1978),

¹ Pesquisa financiada com o apoio da CNEN, CAPES e CNPq.

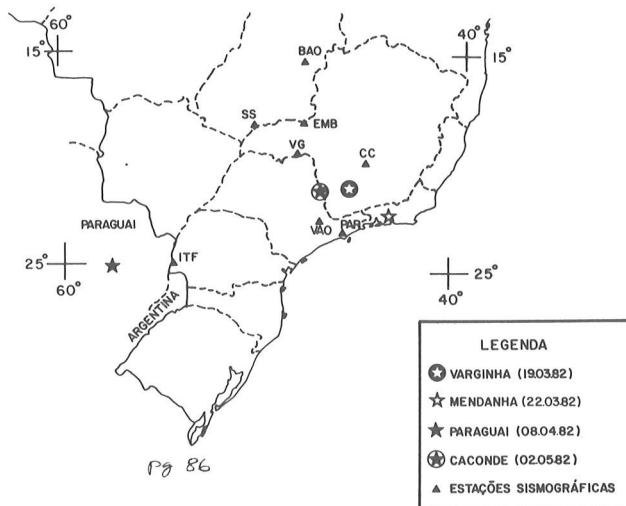


Figura 1 — Localização epicentral dos abalos sísmicos estudados e as estações brasileiras utilizadas.

Haberlehner (1978) e Berrocal et al. (1984), incluindo, este último trabalho, eventos ocorridos até 1981. Tentativas de correlacionar esta atividade com as principais estruturas tectônicas do Brasil foram feitas por Sadowski et al. (1978), Haberlehner (1978), Hasui & Ponçano (1978) e Berrocal et al. (1984) e a nível regional por Hasui et al. (1978) para a região das Serras do Mar e Mantiqueira e por Sykes (1978) para o litoral e plataforma continental do Brasil. Assumpção et al. (1980) apresentam um estudo detalhado dos principais sismos ocorridos, desde julho/1861 até março/1979 na região sudeste do Brasil, com determinação de intensidades, epicentros e magnitudes.

Com base nos trabalhos mencionados acima, poder-se-ia afirmar que a região sudeste brasileira apresenta um nível de atividade sísmica relativamente elevado em relação às demais regiões do território nacional. Entretanto, esta situação pode ser devida à maior concentração populacional e ao maior número de estações sismográficas instaladas na região, que abrange os Estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná e São Paulo. Os outros estados da região meridional do país, apresentam um nível menor de atividade sísmica, como mostrado no mapa da Fig. 2.

Entre os sismos mais significativos ocorridos na região meridional do território nacional, ao sul do paralelo 20°S e compilados no trabalho de Berrocal et al. (1984), destacam-se os seguintes:

- O sismo de 31.01.1920, ocorrido em Bom Sucesso, $m_b = 4,0$ e área afetada da ordem de 9500 km^2 , chegando a provocar pequenas fendas e trincas em algumas paredes de casas. Foi o mais forte de uma série de eventos que ocorreram em Bom Sucesso, em 1901, 1920 e 1935.
- O sismo de Mogi-Guaçu — SP (22,17°S — 47,04°W), em 27.01.1922, com intensidade VI MM, $m_b = 5,1$ e área afetada da ordem de 250.000 km^2 , foi um dos mais fortes sentidos na região, provocando queda de

objetos de prateleiras, deslocamento de móveis, rachaduras e trincas nas paredes de vários prédios em algumas cidades próximas do epicentro.

- O sismo de Tubarão — SC (29,00°S — 49,00°W), em 28.06.1939, com $m_b = 5,5$, intensidade epicentral inferida de VII MM e área afetada da ordem de $1.100.000 \text{ km}^2$, foi o maior evento sísmico da região. Provocou a queda de objetos de prateleiras, deslocamento de móveis, rachaduras e trincas nas paredes de vários prédios, principalmente em Tubarão — SC.
- O sismo de Cunha — SP (23,30°S — 45,00°W), em 22.03.1967, com $m_b = 4,1$, intensidade VI-VII MM e área afetada da ordem de 30.000 km^2 , causou danos materiais em algumas edificações e queda de objetos de prateleiras, principalmente entre São Luís do Paraitinga — SP e Angra dos Reis — RJ. Existem informações de que o sismo teria sido sentido em veículos em movimento.
- O sismo de Campos — RJ (21,72°S — 40,53°W), em 24.10.1974, com $m_b = 4,8$, intensidade epicentral inferida de VI MM e área afetada da ordem de 210.000 km^2 , provocou o deslocamento de móveis e queda de objetos de prateleiras em algumas cidades dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo.

Outros sismos menos significativos ocorreram em áreas próximas às dos eventos estudados neste trabalho, como se observa no mapa da Fig. 2, destacando-se a área próxima à cidade do Rio de Janeiro — RJ, onde alguns eventos chegaram a alcançar intensidade V-VI MM e magnitude 4,3, o sul do Estado de Minas Gerais, onde vários eventos foram sentidos, porém com intensidades e magnitudes moderadas, e a porção limítrofe dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, onde além do sismo de Mogi-Guaçu já descrito, ocorreram outros eventos que alcançaram intensidade até 4,4.

SISMO DE VARGINHA — MG

Análise dos Dados Sismológicos

Em 19 de março de 1982, entre 7h 15min e 7h 30min, hora local, ocorreu um forte estrondo acompanhado de vibrações de janelas, portas e paredes nas cidades de Varginha e Elói Mendes. O estrondo também foi ouvido na cidade de Três Corações, porém, mais fraco. A intensidade máxima observada foi IV MM, nas proximidades de Varginha, onde, de acordo com a maioria das informações colhidas em entrevistas, toda a população da cidade teria percebido o forte estrondo, na direção sul-norte, tendo uma duração de apenas alguns segundos e a população ficando, em geral, assustada. Estes dados, incluindo a determinação epicentral, são resultados do levantamento macrossísmico realizado pelo Observatório Nacional (ON) na área atingida pelo evento, uma vez que o mesmo não foi registrado instrumentalmente (Estação mais próxima, PAR, distante 225 km).

Na Fig. 3, apresenta-se o mapa com as curvas isossis-

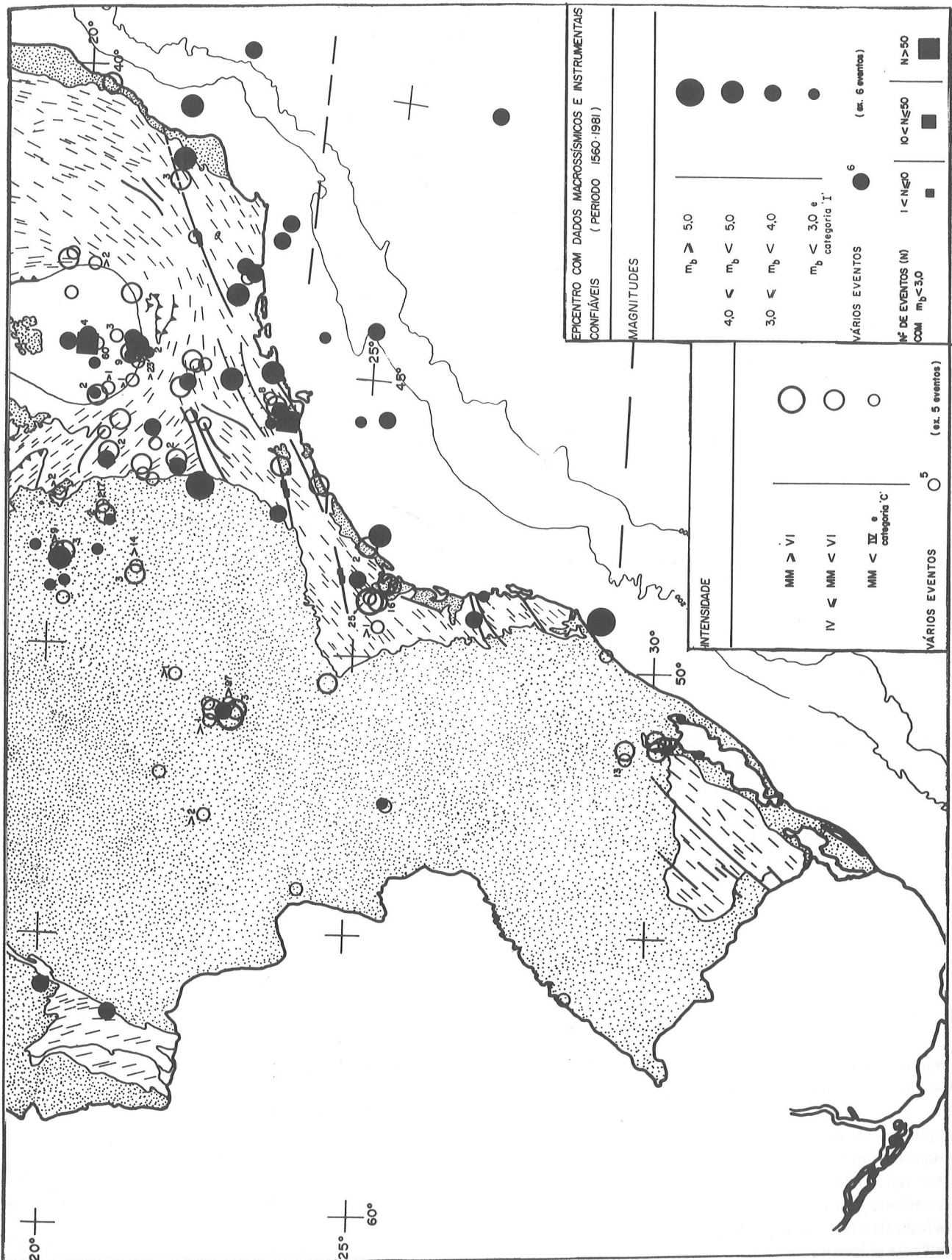


Figura 2 — Sismicidade da Região Meridional do Brasil (Ref.: Berrocal et al., 1984).

tas e as localidades pesquisadas com indicação da intensidade observada. A parte tracejada da curva indica uma maior incerteza dos dados utilizados. O epicentro inferido a partir dos dados macrossísmicos está localizado em 21,6°S e 45,4°W.

A partir das curvas isossistas da Fig. 3 e das equações que relacionam empiricamente magnitude e área afetada (Ferreira & Assumpção, 1983, e Berrocal et al., 1984),

$$m_b = 1,63 + 0,60 \log A_{II} \quad (1a)$$

ou

$$m_b = 2,29 + 0,55 \log A_{IV} \quad (1b)$$

onde:

m_b = magnitude do sismo

A_{II} e A_{IV} = área afetada com intensidade II MM e IV MM, respectivamente,

é possível estimar o valor da magnitude para o evento. Neste caso, a área atingida com II MM foi de aproximadamente 2200 km², resultando num valor de $m_b = 3,6$, e a área atingida com IV MM foi de aproximadamente 140 km², resultando em $m_b = 3,5$.

Embora estes valores de magnitude sejam relativamente altos, nenhuma estação sismográfica registrou o evento. Entretanto, como pode ser observado na Fig. 3, o tracejado da isossista passando por Alfenas indica a incerteza dos dados nesta localidade, onde parece ter havido certa confusão por parte dos entrevistados, com relação a outro evento ocorrido no ano anterior. Se este fato for levado em consideração, ou seja, excluindo-se Alfenas daquelas cidades onde foi sentido o abalo de 19.03.82, a curva isossista de intensidade II MM fechar-se-ia entre a cidade de Paraguaçu e a isossista III MM. Isto resultaria numa área atingida com II MM de aproximadamente 1100 km² que, por sua vez, fornece $m_b = 3,5$, igual ao valor obtido com a área de IV MM.

A amplitude (A), com que um determinado sismo chegaria a estações próximas, a partir do valor de magnitude, pode ser obtida da seguinte equação (Assumpção, 1983):

$$m_R = \log V + 2,3 \log D - 2,28 \quad (2)$$

onde

m_R = magnitude regional compatível com m_b ,

$V = \pi A / TK$ = velocidade das partículas do chão, em μ/s ,

A = amplitude máxima de pico a pico da onda P no sismograma, em mm,

K = fator de amplificação do sismógrafo, que depende do período do sinal,

T = período da onda em segundos,

D = distância epicentral em km.

Portanto, a partir da equação (2), com $m_b = 3,5$ e considerando-se para PAR, $D = 225$ km e com o período esperado do sinal sísmico na estação entre 0,1 s ($K = 80$) e 0,2 s ($K = 97$), obtém-se um valor teórico de amplitude média (A) de 18 mm. Esta amplitude seria perfeitamente observada nos sismogramas de PAR.

Por outro lado, considerando-se que a amplitude do nível de ruído sísmico em PAR no dia em que ocorreu o evento, foi de no máximo ≈ 1 mm, pode-se determinar a magnitude que teria o sismo para que fosse totalmente mascarado pelo ruído local. Fazendo-se $A \leq 1$ mm, $D = 225$ km e T entre 0,1 e 0,2 s, obtém-se um valor médio de $m_R \leq 2,2$.

Conseqüentemente, existe dúvida com relação ao valor da magnitude do evento: ou $m_b = 3,5$ obtida com dados macrossísmicos através da Eq. (1b) ou $m_R \leq 2,2$ obtida através da Eq. (2) e considerando o fato do evento não ter sido registrado em PAR.

Existe a possibilidade de que o evento de Varginha possa ter sido causado pela quebra da barreira do som por aviões. Entretanto, de acordo com os moradores da região, este tipo de fenômeno é corriqueiro e distinguível, além do que não atingiria uma área tão extensa quanto aquela indicada pelas isossistas da Fig. 3, mesmo excluindo Alfenas dos locais atingidos pelo evento.

Como o evento não foi registrado em nenhuma estação sismográfica, podem ser consideradas duas hipóteses: a) o sismo foi natural, com magnitude $m_R \leq 2,2$, neste caso, a magnitude calculada com dados macrossísmicos não seria correta, com valores significativamente maiores; b) o evento foi um fenômeno artificial (quebra da barreira do som) percebido somente na área próxima a Varginha e sem energia suficiente para ser registrado em PAR.

Correlação com Dados Geológicos

A Fig. 4 mostra um esboço simplificado da geologia correspondente à área de Varginha. A área é tectonicamente complexa, com diversas falhas de empurrão inferidas,

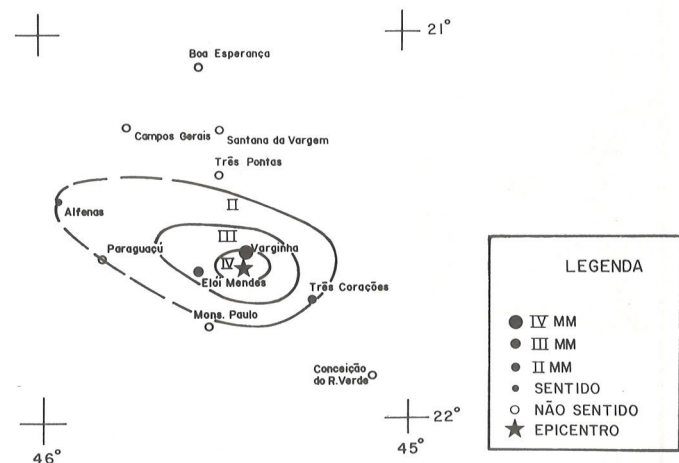
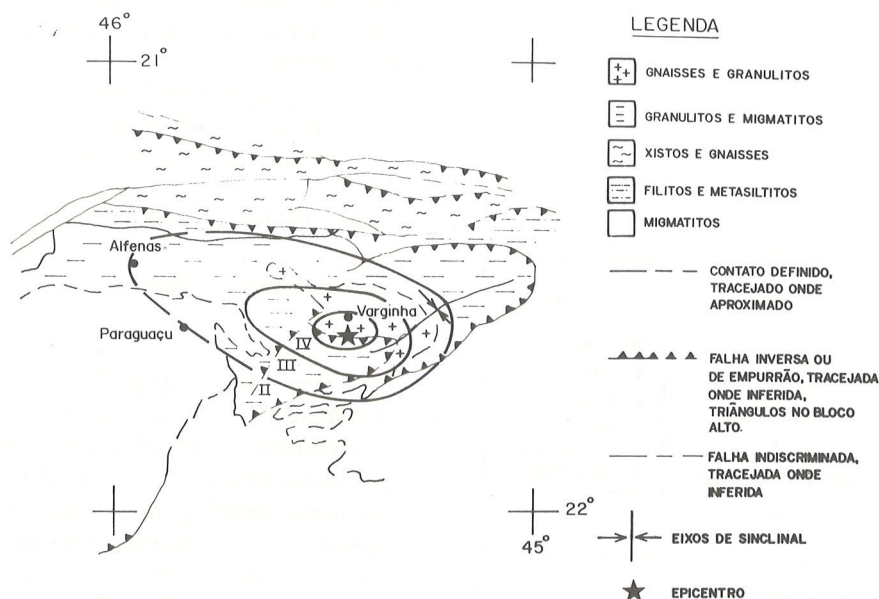


Figura 3 — Curvas isossistas do evento de Varginha de 19.03.82.



sendo a litologia totalmente constituída por rochas metamórficas dos mais variados graus de metamorfismo. Em Varginha, a geologia apresenta gnaisses e granulitos, circundados por granulitos e migmatitos até a cidade de Alfenas.

Sobrepondo-se as isossistas (Fig. 3) no mapa geológico (Fig. 4), pode-se observar, em primeiro lugar, que o prolongamento das isossistas para oeste, em direção a Alfenas, é provavelmente devido à pequena variação da litologia nessa direção e pela orientação predominantemente E-W das feições tectônicas nessa área, ou seja, aparentemente não existem fatores atenuantes nessa direção. Em contrapartida, deve-se notar que a cidade de Paraguaçu encontra-se em outra unidade litológica, diferente daquela de Alfenas, constituída de migmatitos, o que poderia explicar o fato de não ter sido sentido o abalo sísmico nessa localidade. Por último, há que se ressaltar que o epicentro adotado está localizado próximo a uma falha de empurrão inferida, embora essa proximidade não signifique necessariamente uma correlação entre o sismo e a provável falha.

A correlação entre os dados macrossísmicos e geológicos sugere que o evento de Varginha pode ter sido um sismo natural.

SISMO DE MENDANHA – RJ

As localidades de Mendanha, Senador Camará e Campo Grande, situadas em média 40 km a noroeste da cidade do Rio de Janeiro, foram abaladas no dia 22.03.82, às 19h 26min, hora local, por um forte estrondo produzindo estremecimento das paredes de casas de construção modesta, movimento de móveis, vibrações de janelas e portas. Este evento não foi registrado pelas estações sismográficas da região, nem pela Estação Sismográfica do Rio de Janeiro

(RDJ), provavelmente devido às características dos sismógrafos em operação (período longo e ganho de 1500 vezes) em RDJ, de modo que não foi possível o cálculo de magnitude, nem a determinação epicentral com dados instrumentais. O ON realizou um levantamento de dados macrossísmicos na área afetada, que permitiu estimar uma intensidade máxima próxima à Mendanha, de IV-V MM, com coordenadas 22,8°S e 43,5°W aproximadamente.

SISMO DO PARAGUAI

Às 02h 58min, hora local brasileira, do dia 08.04.82, uma extensa área ao redor de Assunção – Paraguai, foi atingida por um abalo sísmico de $m_b = 5,0$, que historicamente seria o de maior magnitude no Paraguai. O evento foi registrado por estações sismográficas do Brasil e de diversas outras partes da Terra.

A Fig. 5 mostra os resultados de um levantamento macrossísmico baseado em notícias jornalísticas (jornais do Paraguai) e contatos telefônicos, bastante incompleto principalmente no que concerne ao fechamento e posicionamento da isossista II MM (tracejada). De qualquer forma, a Fig. 5 possibilita uma estimativa da área total atingida, de aproximadamente 230.000 km², com II MM, e uma magnitude resultante de $m_b = 4,8$. Com IV MM, a área atingida é de 95.000 km², resultando em $m_b = 5,0$. Estes valores de magnitude são compatíveis, dentro do erro esperado, com aquele calculado pelo ISC ($m_b = 5,0$).

O epicentro macrossísmico plotado na figura está praticamente sobre a cidade de Assunção, que parece ter sido o local mais atingido pelo abalo sísmico, com intensidade máxima estimada de VI MM. Segundo o jornal ABC, de 08.04.82, em Assunção houve um grande susto, princi-

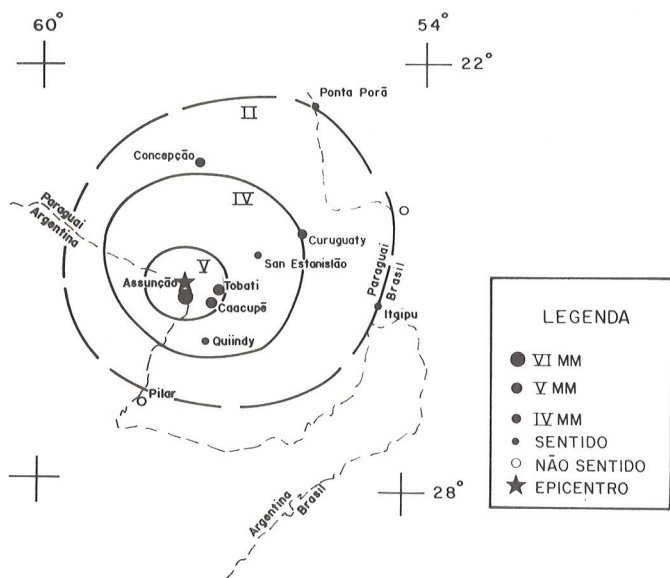


Figura 5 — Curvas isossistas do sismo do Paraguai de 08.04.82.

palmente na população da capital, com pânico, falta de energia elétrica, rachaduras nas paredes e desprendimento de rebocos. Centenas de pessoas saíram precipitadamente de suas casas em roupas menores. Em muitos bairros houve falta de energia e queda de artefatos elétricos. Pode-se ainda observar na Fig. 5 que algumas localidades brasileiras de

fronteira (Itaipu e Ponta Porã) sentiram o abalo, sendo este inclusive o motivo de se incluir este evento no rol dos eventos analisados.

O epicentro do sismo calculado pelo ISC com dados instrumentais de 52 estações, é $24,78^{\circ}\text{C}$ e $58,07^{\circ}\text{W}$ com profundidade focal de 24 ± 10 km.

SISMO DE CACONDE – SP

Análise dos Dados Sismológicos

O sismo ocorrido na área de Caconde, às 5h 30min, hora local, do dia 02.05.82, com intensidade máxima de V MM nas cidades de Caconde, São José do Rio Pardo, Divinolândia, Poços de Caldas e Botelhos, foi registrado por várias estações sismográficas brasileiras. Os dados obtidos nestas estações estão relacionados na Tabela 1, de onde obteve-se o valor da magnitude $m_R = 3,0$ (média de 9 estações). O epicentro determinado com dados instrumentais, localiza-se em $21,66^{\circ}\text{S}$ e $46,61^{\circ}\text{W}$.

Um levantamento macrossísmico bastante denso (39 cidades) foi efetuado pelo IAG/USP na área atingida pelo evento. Nas cidades mais atingidas, o evento foi descrito pela população como "um som esquisito (como um pesado caminhão ou trator passando)" com vidraças balançando de leve, móveis e objetos deslocando-se e alguns objetos caindo de móveis de cozinha. Inclusive, segundo o correspondente de O Estado de São Paulo, em Caconde

Tabela 1 — Dados Instrumentais do Sismo de Caconde.

BAO	EP = 08:31:09 S-P = 64,6 s	A = 2,1 mm T = 0,2 seg	D = 682,5 km
SS.2	EP = 08:31:14 S-P = 52 s		D = 531,5 km
PAR. 1	S-P = 28,5 s K = 80 s^2	A = 6,7 mm T = 0,1 seg	D = 213,1 km $m_R = 3,04$
PAR. 7	S-P = 29 s K = 80 s^2	A = 3,5 mm T = 0,1 seg	D = 216,1 km $m_R = 2,75$
PAR. 13	S-P = 28 s K = 70 s^2	A = 7,8 mm T = 0,07 seg	D = 211,9 km $m_R = 2,96$
EMB. 1	S-P = 38 s K = $1,46 \text{ mm}/\mu\text{s}$	A = 1,8 mm T = 0,05 seg	D = 388,4 km $m_R = 3,35$
VG. 3	P = 08:34:20		
CC. 14	S-P = 28 s K = $5,5 \text{ mm}/\mu\text{s}$	A = 13 mm T = 0,1 seg	D = 242,2 km $m_R = 3,28$
CC. 7	P = 08:30:42,5 S-P = 23,5 s	A = 27,5 mm T = 0,1 seg	D = 244,3 km $m_R = 3,15$
ITF. 6	EP = 08:32:01,5 S-P = 88,5 s		D = 902,7 km
ITF. 7A	S-P = 82 s K = 184	A = 0,3 mm T = 0,2 seg	D = 866,9 km $m_R = 2,84$
ITF. 11	S-P = 81,8 s K = 400	A = 0,4 mm T = 0,1 seg	D = 863,1 km $m_R = 2,9$
VAO	S-P = 18,4 s K = $14,32 \text{ mm}/\mu\text{s}$	A = 33,8 mm T = 0,2 seg	D = 156 km $m_R = 2,9$

foram sentidos três tremores: o primeiro, às ≈ 22 h (01.05.82) com "lâmpadas balançando e apagando" — (5 relatos); o segundo, às ≈ 04 h (02.05.82) — (2 relatos) e o terceiro, às ≈ 05 h 25 min (02.05.82) com objetos mal co-

locados, caindo de prateleiras. Os resultados desses levantamentos estão plotados no mapa de isossistas da Fig. 6. Novamente, o tracejado nas isossistas indica incerteza nos dados. Deve ser notado ainda que as curvas são regulares

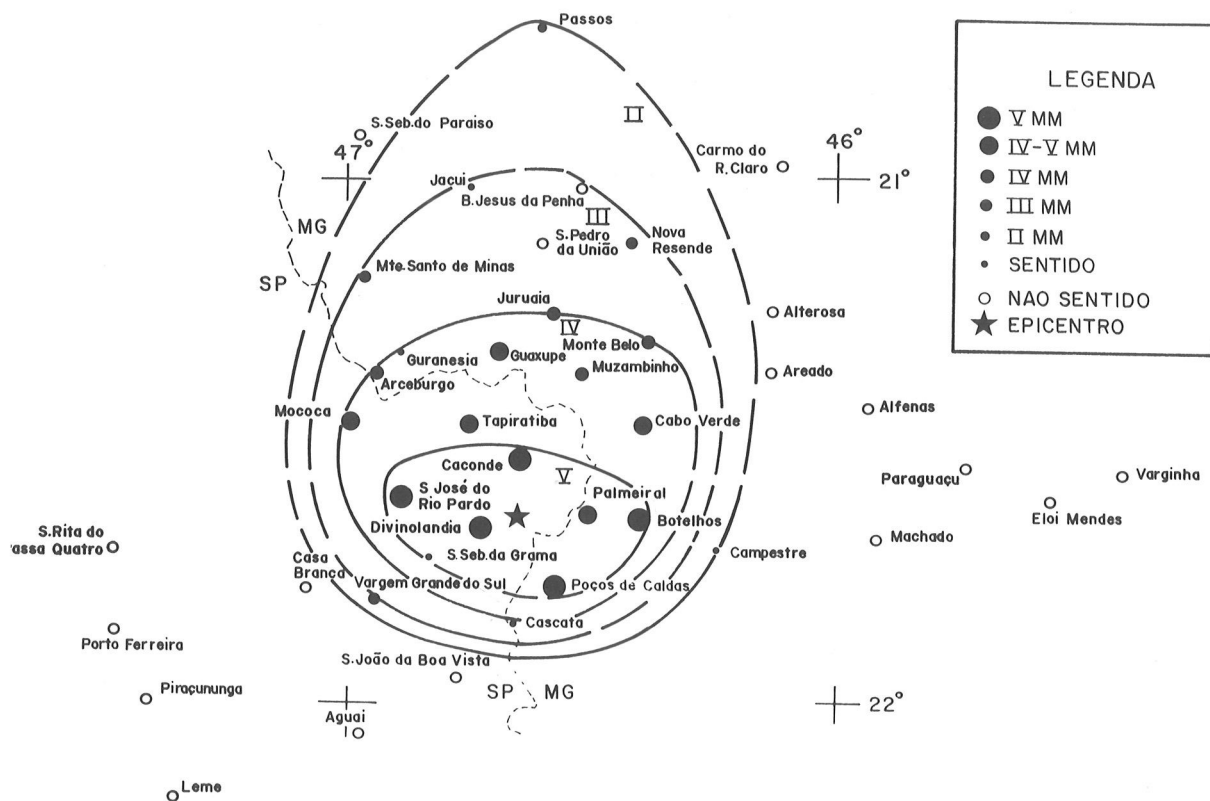


Figura 6 — Curvas isossistas referentes ao sismo de Caconde de 02.05.82.

em todos os sentidos, exceto para norte aproximadamente, para onde existe um prolongamento destas curvas. O epicentro macrossísmico está localizado em $21,6^{\circ}\text{S}$ e $46,7^{\circ}\text{W}$, que está bastante próximo (a menos de 5 km) daquele calculado instrumentalmente.

A área correspondente à isossista II MM, é de 10.000 km^2 aproximadamente, que com a Eq. (1a) obtém-se $m_B = 4,0$. Para a isossista IV MM, a área atingida é de aproximadamente 4000 km^2 , que com a Eq. (1b) fornece $m_B = 4,3$.

Comparando o valor de magnitude obtido com dados instrumentais ($m_R = 3,0$), com a magnitude obtido utilizando dados macrossísmicos (média $m_B \approx 4,1$, isossista II e IV MM), pode-se observar que a diferença entre ambos (1,1) é superior ao erro tolerável no cálculo deste parâmetro (aproximadamente 0,5 unidades). Isto vem confirmar a tendência dos resultados obtidos a partir dos dados macrossísmicos e as Eqs. (1) serem significativamente maiores que os

valores obtidos com dados instrumentais, conforme sugeriu-se na análise do sismo de Varginha.

Correlação com Dados Geológicos

A área atingida pelo sismo é tectonicamente complexa, recortada por inúmeros falhamentos e constituída em sua maioria, por rochas metamórficas dos mais variados graus de metamorfismo. Além disso, ressalta-se ainda ao sul da área, a existência do corpo intrusivo alcalino de Poços de Caldas e a oeste, o contato entre a Bacia do Paraná, com arenitos e siltitos, e as rochas metamórficas do Grupo Canastra e dos Complexos Varginha-Guaxupé e Campos Gerais, com gnaisse, xistos, micaxistos, granulitos e migmatitos, conforme aparece na Fig. 7. Nesta figura foram projetadas as isossistas do sismo de Caconde, sendo possível destacar os seguintes aspectos:

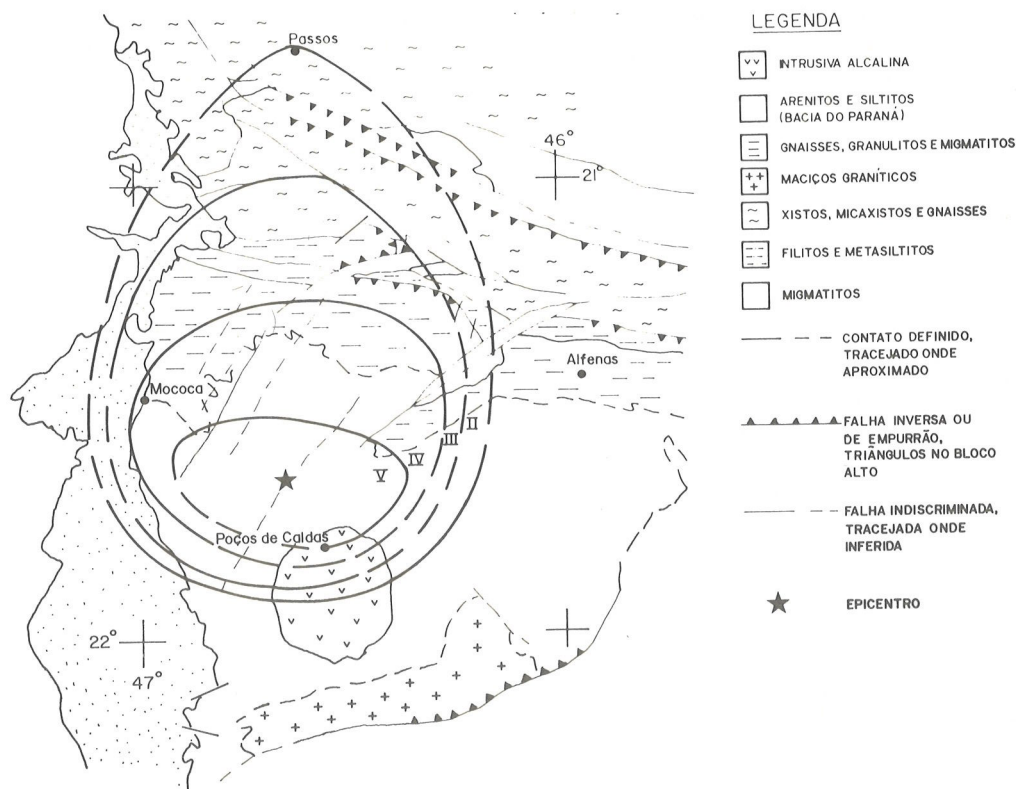


Figura 7 — Mapa geológico simplificado da área atingida pelo sismo de Caconde.

- para oeste, as isossistas aparentemente terminam sobre o contato Bacia do Paraná e o embasamento (rochas metamórficas);
- para sul, de maneira semelhante, as intensidades são atenuadas rapidamente. Nesta direção, a existência do corpo alcalino intrusivo poderia explicar a atenuação observada;
- para leste, as curvas foram traçadas aproximadamente simétricas às da porção oeste, por falta de maiores informações nessa direção. Entretanto, nesta direção existem informações, sem confirmação, de que em Areado, Alfenas e Varginha, talvez o sismo tenha sido sentido. Conseqüentemente, existe a possibilidade de um alongamento das isossistas para leste;
- para norte, a atenuação das intensidades é marcadamente menor, resultando num alongamento das isossistas, o que poderia dever-se ao fato de que nesta direção, as rochas são todas metamórficas variando apenas quanto ao grau de metamorfismo. Aparentemente, nesta direção não há variação acentuada de litologia que pudesse ocasionar uma atenuação das intensidades;
- o epicentro macrossísmico inferido está localizado muito próximo a uma falha (inferida), embora nada de concreto possa ser dito sobre a relação sismo-falha.

CONCLUSÕES

Este trabalho evidencia a atividade sísmica, de pequena a moderada magnitude, existente na região meridional brasileira, conforme já foi apontado em levantamentos de sismicidade anteriores. Os parâmetros sugeridos e calculados para os eventos analisados encontram-se resumidos na Tabela 2.

Existe a possibilidade de que os eventos de Varginha e Mendanha não tenham sido sismos naturais, mas sim, que os efeitos observados tenham sido causados simplesmente pela quebra da barreira do som por aviões. Esta hipótese parece pouco provável pelo fato deste fenômeno ser corriqueiro e identificável pela população dessas localidades e porque normalmente os seus efeitos são bem localizados, não atingindo áreas tão extensas quanto as afetadas pelos eventos em estudo. Contudo, estudos mais apurados, com o auxílio de algumas estações sismográficas da região, deverão ser realizados no futuro, para efetuar-se identificações realmente conclusivas desse tipo de fenômeno.

Por outro lado, existe também a possibilidade de que o evento de Varginha tenha sido realmente sismo natural, e que não foi registrado pelas estações sismográficas da região, provavelmente porque sua magnitude foi menor que a calculada com a Eq. (1b) e portanto não teve energia su-

Tabela 2 – Parâmetros dos Eventos Sísmicos Analisados.

Sismo	Varginha – MG	Mendanha – RJ	Paraguai	Caconde – SP
Data	19.03.82	22.03.82	08.04.82	02.05.82
Hora local	7:30	19:26	02:58	05:30
Magnitude instrumental	$(m_R \leq 2,2?)^*$		$m_b = 5,1$	$m_R = 3,0$
Área afetada (II/IV) ($\times 10^3 \text{ km}^2$)	2,2/0,14		230/95	10/4
m_b com A_{II}/A_{IV}	3,6/3,5		4,8/5,0	4,0/4,3
Máxima intensidade (MM) observada	IV	IV-V	VI	V
Epicentro macrossísmico ($^{\circ}S, ^{\circ}W$)	$\left. \begin{matrix} 21,6 \\ 45,4 \end{matrix} \right\} \pm 50 \text{ km}$	$\left. \begin{matrix} 22,8 \\ 43,5 \end{matrix} \right\} \pm 50 \text{ km}$	$\left. \begin{matrix} 25,1 \\ 57,6 \end{matrix} \right\} \pm 70 \text{ km}$	$\left. \begin{matrix} 21,6 \\ 46,7 \end{matrix} \right\} \pm 20 \text{ km}$
Epicentro instrumental ($^{\circ}S, ^{\circ}W$)	—	—	24,78 58,07	21,66 46,61

* Valores de m_R inferidos, correspondentes ao sinal desses eventos menor que o ruído sísmico da estação PAR.

ficiente para ser registrado pelas estações sismográficas da região. Este argumento é reforçado pelos resultados obtidos na análise do sismo de Caconde, quando se observa uma diferença de 1,1 entre as magnitudes instrumental e macrossísmica. Aplicando essa diferença ao valor de magnitude macrossísmica do sismo de Varginha, obtém-se um valor compatível com aquele calculado teoricamente na suposição de que o evento tenha sido mascarado pelo ruído da estação mais próxima (Tabela 2).

Se esta última hipótese for verdadeira, ou seja, se o evento de Varginha foi realmente sismo natural, as Eqs. (1) estariam fornecendo valores elevados de magnitude da ordem de uma unidade. Isto poderia ser explicado talvez, pela provável profundidade focal muito superficial desse evento, para o qual não seria aplicável o cálculo de magnitude com dados macrossísmicos através das Eqs. (1) e sim para eventos com profundidade normal, como foi o caso do sismo do Paraguai. Esta possibilidade é reforçada pelos resultados conseguidos com o sismo de Caconde, entretanto para confirmar-se esta discrepância entre os valores de magnitude com dados instrumentais e macrossísmicos, será necessário

futuramente o estudo de outros eventos sísmicos que forneçam os dois tipos de dados.

A correlação entre os dados macrossísmicos e geológicos para os sismos de Varginha e Caconde, parece mostrar uma certa influência das unidades litológicas na propagação da energia sísmica. Não existem informações suficientes para correlacionar os epicentros desses eventos com falhas existentes ou inferidas, principalmente pela pouca precisão na determinação dos parâmetros epicentrais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e à CNEN pelo apoio financeiro dado para a realização dos levantamentos macrossísmicos; à CAPES pela bolsa concedida a um dos autores; ao Dr. M. Assumpção (Estação Sismológica da Universidade de Brasília) por fornecer alguns dados instrumentais; ao Dr. S. Knize, pela colaboração e em particular, ao Prof. Dr. J. Berrocal, pelo apoio, sugestões e pela leitura crítica deste manuscrito.

REFERÊNCIAS

ASSUMPÇÃO, M., DIAS NETO, C.M., BERROCAL, J., ANTEZANA, R., FRANÇA, H. & ORTEGA, R. — 1980 — Sismicidade do Sudeste do Brasil. Anais XXXI Congr. Bras. Geol., Camboriú, SC, 2: 1075-1092.

ASSUMPÇÃO, M. — 1983 — A regional magnitude scale for Brazil. Bull. Seism. Soc. Am., 73: 237-246.

ASSUMPÇÃO, M. & FERREIRA, J.M. — 1983 — Sismicidade do Nordeste do Brasil. Rev. Bras. Geofísica, 1: 67-88.

- BERROÇAL, J., ASSUMPÇÃO, M., ANTEZANA, R., DIAS NETO, C.M., ORTEGA, R. & FRANÇA, H. — 1979 — Regionalização sísmica do Brasil. Relatório do IAG-USP para a CNEN, 65 pp.
- BERROÇAL, J., ASSUMPÇÃO, M., ANTEZANA, R., DIAS NETO, C.M., ORTEGA, R., FRANÇA, H. & VELOSO, J.A.V. — 1984 — Sismicidade do Brasil. IAG-USP, no prelo.
- HABERLEHNER, H. — 1978 — Análise sismotectônica do Brasil, notas explicativas sobre o mapa sismotectônico do Brasil e regiões correlacionadas. Anais do 2º Congr. Bras. Geol. Eng. São Paulo, 1: 297-329.
- HASUI, Y. & PONÇANO, W.P. — 1978 — Geossuturas e sismicidade no Brasil. Anais do 2º Congr. Bras. Geol. Eng. São Paulo, 1: 331-338.
- HASUI, Y., PONÇANO, W.P., BISTRICHI, C.A. & STEIN, D.P. — 1978 — Os falhamentos e a sismicidade natural das Serras da Mantiqueira e do Mar. Anais do 2º Congr. Bras. Geol. Eng. São Paulo, 1: 353-357.
- SADOWSKI, G.R., CSORDAS, S.M. & KANJI, M.A. — 1978 — Sismicidade da Plataforma Brasileira, An. XXX Congr. Bras. Geol., Recife, 5: 2347-2361.
- SYKES, L.R. — 1978 — Intraplate seismicity, reactivation of pre-existing zones of weakness, alkaline magmatism, and other tectonism postdating continental fragmentation. Rev. Geophys. Space Phys., 16(4): 621-688.

Versão original recebida em Jun./84;
Versão final, em Dez./84.