

## EXCERTOS SOBRE RISCO SÍSMICO NO ESTADO DE SÃO PAULO

José Augusto MIOTO<sup>1</sup>

### Resumo

O Estado de São Paulo e áreas vizinhas possuem registros sísmicos que alcançaram, até o momento, as magnitude 5,2 (Escala Richter) e intensidade VI MM (Escala de Intensidade Mercalli Modificada). Os efeitos sísmicos associados aos fenômenos são de pequenos danos em construções comuns. Apesar desta característica, os registros sísmicos estão sendo empregados em análises de segurança de obras de médio a grande porte desde os anos 70, além de avaliações de risco sísmico. Esta resenha trata de alguns aspectos das análises de recorrência de intensidades sísmicas no Estado de São Paulo.

**Palavras-chave:** sismicidade, risco sísmico, Estado de São Paulo.

### Abstract

Some studies regarding seismic risk for the Southeastern Brazil and for the São Paulo State were carried out in the 70's and 80's. All of them still presents some limitation. In this region, large events reached maximum magnitude of 5,2 and maximum intensity of VI MM. Seismic effects related to these events are small damage in constructions with usual masonry. Despite these characteristics, these seismic events are used in hydroelectric and nuclear power plants since the middle of 70's and in discussion of seismic risk maps since 1979. This extract presents some aspects of seismic recurrence analysis prepared for the São Paulo State.

**Keywords:** seismicity, seismic risk, São Paulo State.

## 1. INTRODUÇÃO

Em 1981, uma breve menção no *Earthquake Information Bulletin* sobre risco de terremotos na porção leste dos Estados Unidos da América (região com a qual o Brasil, em termos de sismicidade, é comparado), inicia do seguinte modo: *To most residents of the United States east of the Rocky Mountains, destructive earthquakes are solely a California phenomena. This is not correct.*

Transpondo a observação para o Brasil, este é o pensamento da maioria da população brasileira quando a imprensa veicula informação de terremotos andinos. É, também, a opinião da maioria dos habitantes do centro-oeste, leste, sul e sudeste quando se noticia a ocorrência de sismos no Ceará e Rio Grande do Norte. E, por sua vez, também é o pensamento dos paulistas que residem no centro-oeste do estado ao verificar a incidência de sismos nas regiões de Caconde, vale do rio Ribeira de Iguape e Serra do Mar aos limites com o Estado do Rio de Janeiro.

Entretanto, o terremoto na Serra do Tombador (MT), em 1955, alcançou a magnitude de 6,6 e, por ser uma região desabitada na época, não foi possível reconstituir seus efeitos em área. Isto referencia a ocorrência de sismos fortes em território nacional, não sendo um fato exclusivo de zona de borda de placa tectônica. Outro aspecto a ser lembrado é o do significado do sismo para a população afetada. Recentemente, em 1980 (Pacajus, CE) e em 1986 (João Câmara, RN), a ocorrência de sismos com magnitudes em torno de 5,0 causaram severos danos em diversas construções de alvenaria; os prejuízos para a população local foram elevados, dada a condição econômica

dos proprietários. Tais fenômenos não podem e não devem ser encarados como um problema dos brasileiros nordestinos mas, de todos os brasileiros. Da mesma forma, a maior incidência de sismos na parte oriental do Estado de São Paulo, pelos habitantes da parte ocidental, que raramente se sujeitam a efeitos sísmicos.

Do mesmo modo que os norte-americanos da região centro-leste foram mudando o pensamento ante a incidência de sismos em seu território, os brasileiros também estão modificando sua postura frente a tais fenômenos, reconhecendo-se, hoje, que os mesmos têm uma distribuição generalizada por todas as regiões do país.

Historicamente, no Estado de São Paulo, os sismos de Cananéia (1789 e 1946) não foram superados em suas magnitude 4,6 e intensidade V-VI MM, assim como os de Lorena (1861, com 4,4 e V MM), Pinhal (1922, com 5,1 e VI MM) e de Cunha (1967, com 4,1 e VI MM). Estes eventos, os maiores no interior da área emersa, ocorreram em zonas de estruturas geológicas que mostram evidências de movimentos intermitentes ao longo do tempo (escala de milhões e milhares de anos). As liberações de energia sísmica demonstram, nas regiões de incidência dos fenômenos, que nelas ainda se processam ajustes da crosta terrestre.

Com a chegada dos programas de instrumentação sísmológica no Sudeste Brasileiro nos anos 70, outros eventos menores foram sendo registrados nas mesmas regiões ou entre elas, sugerindo que tais ajustes avançam lateralmente; portanto, envolvem, quase toda extensão territorial paulista. Esta observação é a mesma feita a outros segmentos do Brasil e dos países com características de interior de placa tectônica (Miyoto & Hasui 1982, 1987).

As regiões de maior atividade sísmica foram identificadas por Hasui *et al.* (1982) como zonas sismogênicas (zonas onde são gerados os sismos, e onde as liberações de energia sísmica se vinculam a um mesmo conjunto de processos geológicos), admitidas como fundamentais aos estudos de regionalização sísmica para o Sudeste (e para o Brasil). A proposta inicial de seus limites aproximados e transitórios, vinculados diretamente à evolução do conhecimento geológico e sísmológico, teve sua mais recente atualização nos estudos de Miyoto (1993). Elas detêm os maiores eventos sísmicos, o contorno dos maiores efeitos causados pela propagação das ondas sísmicas e as características de mobilidade terciária dos seus terrenos rochosos. Tais características prestam-se a avaliações mais confiáveis de recorrência sísmica, de grande utilidade nos projetos de segurança de obras de médio a grande porte, da própria elaboração de mapa de risco sísmico e no estabelecimento de medidas de proteção comunitária.

## 2. SISMO, ABALO SÍSMICO OU TREMOR DE TERRA

Estes termos são praticamente usados como sinônimos para identificar perturbações geradas no interior da Terra (aquí restritas à dinâmica interna do planeta), que se manifestam através da produção e propagação de ondas elásticas. Preferentemente, o uso de terremoto é reservado para evento sísmico forte a muito forte (magnitude superior a 6,5).

Tais perturbações são acompanhadas por rupturas das rochas em profundidade que, às vezes, podem se estender até a superfície terrestre. Aos fenômenos sísmicos também se vinculam deformações de massas rochosas (efeitos de compressão e distensão), acomodação de grãos minerais em tipos rochosos,

concentração de tensões em contatos minerais e descontinuidades, além de deslocamento de blocos/segmentos rochosos em regiões de encostas mais íngremes.

A passagem das ondas sísmicas nas construções pode levá-las a instabilidades localizada ou total. Nos objetos, podem modificar o estado de equilíbrio em que se encontram, principalmente com deslocamentos horizontais e quedas/tombamentos. Nas pessoas, induzem desconforto físico.

As perturbações impostas aos terrenos naturais, construções, objetos, vegetais, animais e pessoas têm uma longa história de avaliação, tão importante quanto a definição da magnitude (tamanho do sismo), sendo a mais conhecida aquela indicada na Escala de Intensidade Mercalli Modificada. Nela, os efeitos mais brandos e mais graves provocados por terremotos são classificados em 12 graus, em ordem crescente, e é a usualmente empregada nas avaliações dos efeitos sísmicos no Brasil.

Exemplificando, o grau I MM significa apenas efeitos marginais e de período longo de grandes terremotos; o grau III MM é correlacionado a sismo sentido por várias pessoas dentro de casa, e à oscilação de objetos suspensos; o grau VI MM qualifica efeito sísmico sentido por todas as pessoas; algumas mostram-se em pânico, livros caem das prateleiras, quadros soltam-se das paredes, móveis saem do lugar, reboco de casa de má qualidade racha, sinos de escola e igreja tocam, árvores e arbustos agitam-se visivelmente; o grau XII MM tem associado destruição quase total, grandes massas de rocha deslocam-se, perde-se a linha de visada, observa-se ondulação da superfície do terreno e objetos são lançados ao ar.

As vibrações correspondentes a III MM são equivalentes às provocadas pela passagem de um caminhão leve, sem frear, em uma valeta; é, também, a intensidade máxima observada até hoje nos edifícios do espigão da avenida Paulista (cidade de São Paulo), correspondente à passagem das ondas sísmicas dos grandes sismos da região andina, noticiadas pela imprensa desde a década de 40. Vibrações associadas a VII MM, dos sismos de Pacajus e João Câmara levaram muitas construções comuns de alvenaria à ruína quase total.

## 3. REGIONALIZAÇÃO SÍSMICA DO TERRITÓRIO PAULISTA

As idéias de regionalização sísmica do Estado de São Paulo ocorreram ao mesmo tempo daquelas sugeridas para o Sudeste Brasileiro, a partir da segunda metade dos anos 70, para aplicação em projetos de obras de centrais nucleares e usinas hidrelétricas (UnB 1979, Hasui *et al.* 1982, Miyoto & Hasui 1982, Miyoto 1984, IPT 1984, 1989, Miyoto 1993, Nakazawa *et al.* 1994).

Destas contribuições, destacam-se aquelas da UnB (Universidade de Brasília) e do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A.), por incluírem análise dos efeitos sísmicos em área e, dentre as duas, a do IPT de 1989, por conter uma base geoestrutural mais avançada.

A sugestão da UnB pode ser verificada na Figura 1, com o traçado de isossistas (linha de mesma intensidade sísmica) envolvendo as 3 zonas geradoras de sismos do norte-nordeste, leste e sul. As zonas sismogênicas indicadas pelo IPT encontram-se na Figura 2. Em ambas as regionalizações, as áreas de maior atividade têm a intensidade máxima associada de VI MM.

A observação das duas ilustrações mostra que ocorrem diversas áreas de maior atividade sísmica separadas por extensões aparentemente assísmicas, às quais se atribuem o

grau III MM nas avaliações de recorrência. Isto significa considerar um *background sísmico* mínimo a todos os recantos do território paulista que não experimentaram efeitos de ondas sísmicas (área em pontilhado na Figura 2).

O controle dos registros sísmicos mais recentes mostra que a incidência dos fenômenos acontece nas mesmas áreas de atividade sísmica histórica, excetuando-se aquela do oeste paulista. As condicionantes desta instabilidade são relacionadas à presença de estruturas geológicas antigas em profundidade, que controlaram diversos processos da evolução geológica, incluindo os eventos mais modernos.

Contribuíram na configuração deste quadro de instabilidade, os avanços do conhecimento geológico e sísmológico. Grande parte deste último, pelo desenvolvimento de intensas campanhas de monitoramento sísmológico de reservatórios de barragens da CESP (Companhia Energética de São Paulo) pelo IPT, além daquela temporária nas regiões dos vales do Paranapanema e Ribeira de Iguape pelo IAG (Instituto Astronômico e Geofísico da USP), entre 1984 e 1996.

#### 4. ZONAS SISMOGÊNICAS

No nordeste-leste paulista, entre Caconde e Campinas, demarca-se uma zona de atividade sísmica (com equivalente em área no lado de Minas Gerais), a de Pinhal, que detém o maior sismo paulista (1922, com 5,1 e VI MM). Nela, os sismos distribuem-se preferencialmente a norte de Águas da Prata, com destaque para os sismos de Poços de Caldas (3,9 e V MM) e Caconde (3,1 e V MM). A área dos efeitos correspondentes a IV MM (grau que identifica alguma relação com estrutura e terrenos geológicos), no estado, abrangeu Batatais, Jaboticabal, Bofete, São Paulo, São José dos Campos e São Bento do Sapucaí.

No leste, entre Santos e Bananal, identifica-se a zona geradora de Cunha que, a exemplo da anterior, tem áreas equivalentes em Minas Gerais e Rio de Janeiro. O maior sismo corresponde ao de Lorena (1861), que atingiu magnitude 4,4 e intensidade máxima epicentral V MM. Outros eventos importantes são o de Cunha (1967), com parâmetros de 4,1 e VI MM, e o de São Pedro e São Paulo (RJ), de 1886, com 4,3 e V MM. Nesta zona sísmogênica, há duas importantes incidências sísmicas relacionadas à construção de reservatórios de barragens, cuja atividade é restrita aos entornos dos empreendimentos hidráulicos. Próximo ao de Paraibuna-Paraitinga, as ocorrências têm registro desde 1977, sendo o maior evento aquele de novembro de 1977, com 3,3 e IV MM. Junto ao de Jaguari, do outro lado do vale do rio Paraíba, os sismos foram registrados a partir de 1985, tendo o maior atingido 3,0 e VI MM. No distrito de Monsuaba (Angra dos Reis, RJ), em 1988, observou-se a ocorrência de eventos nos domínios das encostas da Serra do Mar, que alcançaram 3,2 de magnitude e V MM de intensidade máxima epicentral, também com áreas de efeitos muito restritas.

A sul e limite com o Estado do Paraná, entre Barra do Turvo e Peruíbe, demarca-se a Zona Sísmogênica de Cananéia, cujo prolongamento ao estado vizinho alcança Bocaiuva do Sul, Morretes e Matinhos. Os maiores eventos são os de Cananéia, ocorridos em 1789 (V-VI MM) e 1946 (4,6 e V MM). Também são importantes aqueles de Paranaguá (1887, IV MM) e Rio Vermelho (1978, IV MM e 3,3). No lado paranaense, na região serrana e entre as linhas elevadas de Paranapiacaba e do Mar, vários eventos foram registrados em 1971 associados ao reservatório de Capivari-Cachoeira. As magnitudes não foram estimadas; contudo, a intensidade

máxima atingiu VI MM, e as vibrações chegaram a interferir no funcionamento dos equipamentos elétricos da usina.

A Zona Sísmogênica de Ribeirão Preto, a norte do estado, é uma proposição mais recente de zona de atividade sísmica (redefinição de parte da norte-nordeste da UnB), cujos eventos maiores encontram-se no lado de Minas Gerais. Ela se estende desde São José do Rio Preto até Ribeirão Preto e Franca, com sismos que alcançaram, no máximo, intensidade III-IV MM e magnitude 2,8. Raros sismos foram percebidos pela população, sendo a maioria identificada a partir de registros sísmográficos. Na divisa de estados, junto a Rifaina, um evento ocorrido em 1980, alcançou 2,1 e IV MM. No entanto, esta zona geradora de fraca atividade sísmica tem exemplo importante de eventos associados à ação antrópica. O primeiro refere-se à construção dos projetos hidrelétricos de Porto Colômbia e Volta Grande no rio Grande, para os quais se atribui a ocorrência dos eventos de 1973 e 1974; eles alcançaram 4,2 e VI-VII MM e seus efeitos, em fevereiro de 1974, chegaram a comprometer as estruturas de alvenaria de diversas construções próximas do reservatório de Porto Colômbia. O segundo, à exploração de água subterrânea de poços profundos em Fernando Prestes e Nuporanga. Nos anos de 1959 e 1960, em Fernando Prestes, ocorreram diversos abalos preocupando a população urbana, tendo os mesmos alcançado V MM. A atividade sísmica em Nuporanga, constatada em 1977 e 1978, e que ainda se manifesta esporadicamente, teve a intensidade máxima epicentral de IV MM. Estes dois últimos exemplos mostram efeitos em áreas muito restritas; o de 1974 teve uma área de percepção maior (Icem, Guaraci, Guaíra) mas, também seus efeitos mais severos foram restritos, não sendo possível reconstituir as isossistas de VI, V, IV e III MM.

No extremo oeste do estado, delimita-se uma quinta zona sísmogênica, a de Presidente Prudente, que se estende das margens do rio Paraná até Paraguaçu Paulista, envolvendo o médio-baixo curso do rio Paranapanema. A concentração dos eventos dá-se nas vizinhanças das cidades paranaenses de Ibiaci e Primeiro de Maio, e nas paulistas de Iepê, Paraguaçu Paulista e Presidente Prudente. O conhecimento da atividade sísmica praticamente se iniciou com duas ocorrências em Diamante do Norte (PR), relacionadas à exploração de água subterrânea de poços profundos (1975), e várias outras em Iepê e Primeiro de Maio, relacionadas à construção do reservatório da barragem de Capivara (1976). Vinte anos depois, reconhece-se a continuidade da atividade sísmica junto ao reservatório de Capivara e, desde 1983, a de Presidente Prudente (possivelmente relacionada ao mesmo conjunto de fatores da região de Diamante do Norte). Em 1986, uma ocorrência sísmica em Paraguaçu Paulista restringiu-se à sua área urbana, e alcançou a magnitude de 2,2 e intensidade máxima de IV MM. Os parâmetros dos eventos de Presidente Prudente têm os máximos de 3,8 e V MM; os de Capivara, VI MM e 3,7.

A maior área de percepção dos efeitos sísmicos corresponde à do evento de Pinhal, envolvendo as cidades de Olímpia, Bauru, Guapiara e Iguape em território paulista, e outras cidades de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Isto significa que a ruptura em subsuperfície ocorreu a uma profundidade razoável (estimada em 20 km), demonstrando grande acúmulo de energia deformacional na área (domínios das rochas do embasamento e da Bacia do Paraná). Áreas restritas de percepção de efeitos de ondas sísmicas podem ser dadas pelos sismos de Primeiro de Maio e Presidente Prudente, revelando profundidades menores (calculadas em centenas de metros ou de 1 a 3,5 km). Esta limitação em área é que sugere, em análise de recorrência regional, a adoção da intensidade máxima VI MM para todo o Sudeste, mesmo reconhecendo-se a de VII

MM (em área restrita) alcançada pelo sismo de 1974 junto ao reservatório de Porto Colômbia (SP/MG).

A interpretação da extensão das áreas afetadas, notadamente os limites de IV MM, revela a diferença de atividade sísmica entre as porções ocidental e oriental paulistas, como ilustra a Figura 1. Esta mesma tendência, 15 anos após o ensaio da UnB (1979), é verificada nos estudos de Nakazawa *et al.* (1994), ilustrada na Figura 3.

Há uma tendência natural de certas regiões acumularem e liberarem energia sísmica, mesmo aquelas com exemplos de interferência da contribuição antrópica na deflagração dos sismos (por exemplo, poços e reservatórios), para as quais se admite a predisposição à ruptura e à acomodação de blocos em subsuperfície. Do ponto de vista geológico, isto significa o envolvimento do movimento de fraturas das mais diferentes idades na evolução dos terrenos rochosos. Os sismos mostram que estes movimentos ainda persistem, fraca e moderadamente, sem deixar, até hoje, nas terras paulistas e vizinhanças, evidências rupturais à superfície.

Este panorama de áreas mais e menos ativas sísmicamente sintetiza a estabilidade regional paulista, tendo servido de base aos estudos de recorrência de intensidades sísmicas. A escolha de intensidade (e não de magnitude) recaiu sobre a facilidade de sua correlação mais direta com aceleração e velocidade sísmica, parâmetros mais comumente empregados em projetos de obras de engenharia.

## 5. ESTUDOS DE RECORRÊNCIA DE INTENSIDADES SÍSMICAS

As informações de recorrência de intensidades sísmicas no Sudeste Brasileiro e no Estado de São Paulo acham-se avaliadas segundo os métodos determinístico e probabilístico.

Como exemplo de aplicação do primeiro método, tem-se os resultados dos estudos da UnB (1979). Segundo Gama (1980), “os métodos determinísticos baseiam-se na escolha de situações típicas, envolvendo parâmetros e propriedades médias dos materiais das estruturas e dos terrenos, visando ao dimensionamento que permita resistir a uma dada intensidade de sismo”. Nos estudos para todo o Sudeste, a UnB (Figura 1) “desenvolveu a primeira tentativa de fornecer noções de acelerações sísmicas na área” (Miotto 1984) mencionando que, “baseadas na intensidade máxima experimentalada na região, de VI na Escala Mercalli Modificada (MM), as acelerações equivalentes foram definidas de aproximadamente 30 cm/s<sup>2</sup>”. Um outro exemplo de aplicação é o da seleção do sismo de projeto para a edificação das unidades nucleares de Angra dos Reis (Hasui *et al.* 1982), verificando-se qual o maior terremoto que produziria os maiores efeitos na província geológica de localização das construções.

Os exemplos de tratamento de recorrência de intensidades pelo método probabilístico nos Sudeste e Estado de São Paulo constam dos estudos de Miotto (1983) e do IPT (1984). Realizados há mais de uma década, seus resultados vêm sendo usados com freqüentes ajustes de contorno (não há novas versões dos mapas de riscos sísmicos executados). Por este método, a estabilidade de uma obra “é calculada em termos de probabilidade, sendo que a probabilidade resultante para cada solução de dimensionamento passa a figurar como risco incorporado no projeto” (Gama 1980). Este pesquisador conclui “que os métodos probabilísticos procuram quantificar a variabilidade e a incerteza inerentes aos fenômenos naturais de forma a incorporá-las nos projetos, de maneira economicamente aceitável e dentro de adequadas condições de

segurança”.

O tratamento probabilístico de intensidades realizado (valores extremos de Gumbel), pressupõe a incidência sísmica preferencial nas áreas afetadas de cada zona sismogênica. Seus principais resultados estão sintetizados no Quadro 1. Os valores aproximados de período de retorno têm sido verificados desde a elaboração inicial do tratamento estatístico em 1983-1984.

Quadro 1 - Resultados da análise probabilística.

Intensidade sísmica (MM)	Período de retorno (anos)	Probabilidade do maior sismo em 5 anos ser igual ou menor (%)
VI	6,0 - 40,0	83 - 98
V	2,5 - 05,0	58 - 80
IV	2,0 - 02,2	50 - 55
III	1,0 - 02,0	03 - 48

As acelerações e velocidades sísmicas correspondentes a tais intensidades situam-se em amplas faixas, como se observa nos parâmetros do Quadro 2. Isto decorre, em grande parte, das características dos materiais atravessados pelas ondas em sua propagação.

Quadro 2 - Correlações entre intensidades sísmicas, acelerações e velocidades.

Escala	Ref. 1	Ref. 1	Ref. 2	Ref. 2
Intensidade (MM)	Aceleração (cm/s <sup>2</sup> )	Aceleração (g)	Aceleração (g)	Velocidade (cm/s)
VI	30 - 70	0,030 - 0,070	0,060 - 0,070	5 - 8
V	13 - 30	0,013 - 0,030	0,030 - 0,040	2 - 5
IV	07 - 13	0,007 - 0,013	0,015 - 0,020	1 - 2
III	03 - 07	0,003 - 0,007	-	-

Ref. 1 - Gutenberg & Richter (1942) *apud* Derecho & Fintel (1974)

Ref. 2 - Bolt (1978)

(g) = aceleração da gravidade (980 cm/s<sup>2</sup>)

Tomando-se a intensidade VI MM para exercício de influência de efeitos sísmicos em obras durante seu período de vida útil, nas diferentes zonas sismogênicas, tem-se que:

- “há uma faixa de 71 a 99% de probabilidade de que uma obra projetada para operação durante 50 anos seja afetada, no Sudeste, por acelerações da ordem de 30 a 70 cm/s<sup>2</sup>, conforme a formulação de Gutenberg & Richter (1942);

- para 100 anos, esta probabilidade aumenta para 92 a 99%.

A Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, situa-se no domínio das intensidades IV MM. A probabilidade de obras serem afetadas no período de 50 anos por acelerações da ordem de 7 a 13 cm/s<sup>2</sup> é inferior a 70%.

Estes valores elevados de probabilidade vinculam-se às características da atividade sísmica da região, onde predominam eventos com intensidades II e III MM.

Contudo, os níveis de acelerações indicados têm efeitos moderados nas obras civis, como indica a Escala de Intensidade Mercalli Modificada e os estudos realizados em diversos países. Eles acham-se reunidos no Quadro 3.

Por outro lado, mesmo com esta aparentemente desprezível influência em construções comuns, obras civis de médio a grande porte como os projetos hidrelétricos do Estado de São Paulo, têm exigido, rotineiramente, a verificação dessa parcela de força sísmica em sua avaliação de segurança desde 1974, mesmo se localizadas no domínio das intensidades III MM.

Quadro 3 - Correlações entre intensidades sísmicas e efeitos em construções comuns.

Intensidade sísmica (MM)	Danos em construções comuns de alvenaria
VI	Pequenos danos
V	Eventuais danos
IV	Raros prejuízos
III	Não ocorrem danos

## 6. IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS

A prática em se verificar a parcela sísmica na segurança de obras hidrelétricas é a mais difundida na comunidade técnica brasileira, tendo merecido, no início dos anos 70-80, destaque em algumas pesquisas iniciais (Gama 1979, Valenzuela 1979, Viotti 1980, Mioto 1983).

As avaliações de recorrência de intensidades sísmicas pelo método probabilístico têm adquirido espaço na indicação de parâmetros para verificação da segurança de obras civis sem ter, até o momento, constituído impedimento à sua execução.

Regionalmente, os sismos indicam movimentação diferenciada da crosta, maior nos entornos das zonas sísmogênicas e menor nos domínios situados entre elas. Nestes, o *background sísmico*, admitido para avaliação de recorrência, é equivalente à intensidade III MM e as acelerações correspondentes também são usadas na verificação de segurança de obras.

Os estudos de recorrência consideram a participação dos eventos naturais e daqueles induzidos como consequência da ação antrópica (exploração de água subterrânea de poços profundos e reservatórios de barragens), embora estes tenham, na quase totalidade dos casos, efeitos muito restritos.

Desde as primeiras incursões a risco sísmico no Sudeste Brasileiro e no Estado de São Paulo, não foi necessário estabelecer medidas de proteção comunitária em áreas urbanas e rurais. As intervenções, até o momento, foram de esclarecimentos mais pontuais ante efeitos sísmicos. Contudo, seus resultados já constam de estudos de meio ambiente e de cartografia para subsidiar questões geotécnicas aplicadas ao planejamento.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOLT, B. A. 1978. *Earthquakes: a primer*. San Francisco, W. H. Freeman and Co. 241 p.
- DERECHO, A. T. & FINTEL, M. 1974. Earthquake-resistant structures. In: FINTEL, M. (Ed.) *Handbook of Concrete Engineering*. New York, Van Nostrand Reinold Company. p. 357-432.
- GAMA, C. D. 1979. Tratamento matemático de dados sísmológicos. In: SIMPÓSIO SOBRE SISMICIDADE NATURAL E INDUZIDA, São Paulo, 1979. *Atas...* São Paulo, ABGE/CESP. p. 151-176.
- GAMA, C. D. 1980. Desenvolvimento de mapas de risco sísmico. In: MESA REDONDA SOBRE RISCO SÍSMICO, I, São Paulo, 1979. *Atas...* São Paulo, ABGE. v.1, p. 40-53.
- GUTENBERG, B. & RICHTER, C. F. 1942. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **32** (3): 163-191.

HASUI, Y.; ALMEIDA, F. F. M.; MIOTO, J. A.; MELO, M. S. 1982. *Geologia, tectônica, geomorfologia e sismologia regionais de interesse às usinas nucleares da praia de Itaorna*. São Paulo. 149 p. (IPT. Publicação, 1225).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S. A. 1984. *Análise de risco sísmico do Estado de São Paulo e regiões vizinhas. Estabelecimento de medidas de proteção comunitária*. São Paulo. 110 p. (IPT. Relatório, 20573).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S. A. 1989. *Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo*. São Paulo. 289 p. (IPT. Relatório, 23794).

MIOTO, J. A. 1983. *Mapa de Risco Sísmico do Sudeste Brasileiro*. São Carlos. 66 p. (Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo) (inédito).

MIOTO, J. A. 1984. *Mapa de Risco Sísmico do Sudeste Brasileiro*. São Paulo. 49 p. (IPT. Publicação, 1563).

MIOTO, J. A. 1993. *Sismicidade e Zonas Sísmogênicas do Brasil*. Rio Claro, 2 v. 558 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP - Rio Claro) (inédito).

MIOTO, J. A. & HASUI, Y. 1982. Aspectos da estabilidade sismotectônica do Sudeste Brasileiro de interesse à Geologia de Engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXXII, Salvador, 1982. *Anais...* Salvador, SBG. v. 4, p. 1652 - 1659.

MIOTO, J. A. & HASUI, Y. 1987. O movimento das terras. *Ciência Hoje*, **5** (30): 42-48.

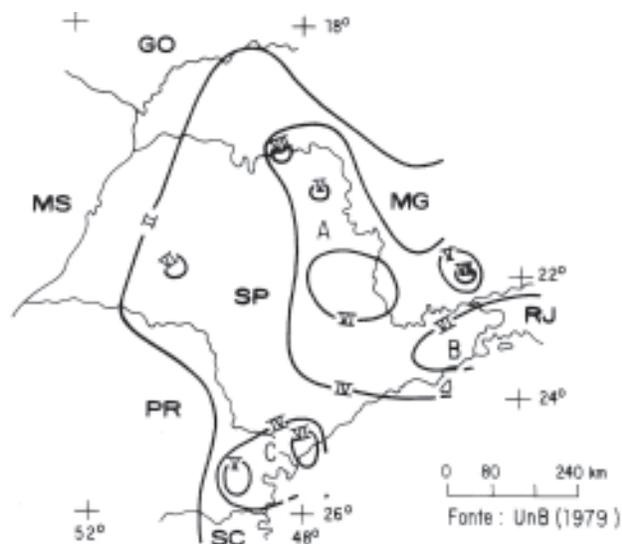
NAKAZAWA, V. A.; FREITAS, C. G. L.; DINIZ, N. C. 1994. *Carta Geotécnica do Estado de São Paulo, Escala 1:500.000*. São Paulo. (DCET/IPT. Publicação, 2089).

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. 1979. *Relatório n. 13 do Convênio FUB/CESP*. Brasília. 15 p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. 1981. Assessing the risk of earthquakes in the Eastern United States. *Earthquake Information Bulletin*, **13** (5): 175-178.

VALENZUELA, L. 1979. Considerações sísmicas de barragens de terra e enrocamento. In: SIMPÓSIO SOBRE SISMICIDADE NATURAL E INDUZIDA, São Paulo, 1979. *Atas...* São Paulo, ABGE/CESP. v.1, p. 191-231.

VIOTTI, C. B. 1980. Sismicidade induzida por reservatórios: barragens de terra e a sismicidade brasileira. *Revista Construção Pesada*, (118): 100-110.



REGIÕES SISMOTECTÔNICAS

- A - Região norte-nordeste
- B - Região leste
- C - Região sul



Isossista de intensidade VI MM

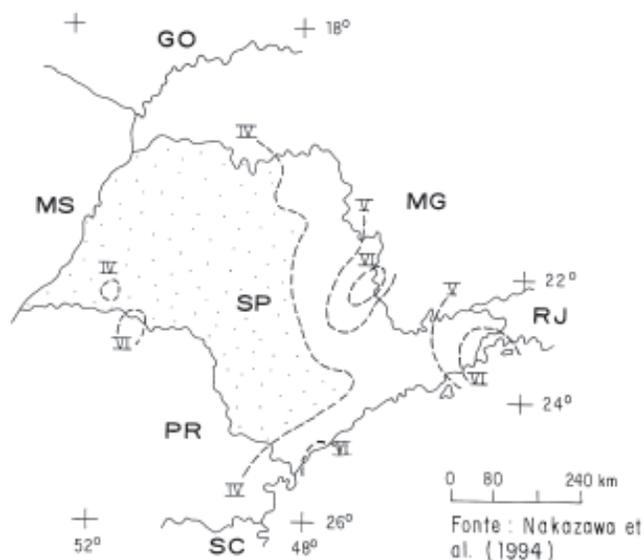


ZONAS SISMOGÊNICAS

- 1 - Pinhal
- 2 - Cunha
- 3 - Cananéia
- 4 - Ribeirão Preto
- 5 - Presidente Prudente

Figura 1 - Mapa de isossistas (isossista VI MM pertence à mesma região sísmica).

Figura 2 - Mapa das zonas sísmogênicas do Estado de São Paulo.



--- Limite do domínio de recorrência de intensidade

- OBS.: a) intensidade máxima verificada de VI MM  
 b) intensidades maiores na porção oriental  
 c) área em pontilhado com III MM (background sísmico regional)

Figura 3 - Mapa dos domínios de recorrência de intensidades sísmicas.