

#### **12.1.2.4. Instabilidade de Encostas**

Segundo a Carta Geotécnica do Estado de São Paulo (IPT, 1994), a Área de Influência Direta abrange, predominantemente, terrenos de alta suscetibilidade a escorregamentos naturais e induzidos, associados a faixas de terrenos com alta suscetibilidade a erosão em subsuperfície, induzida por movimentos de terra. Há, também, nas áreas com alta suscetibilidade a escorregamentos, intercalações de terrenos altamente suscetíveis a desenvolvimento de processos cársticos.

##### a) Estabilidade de Taludes

Para realizar os estudos de avaliação da estabilidade de taludes foi necessário proceder à caracterização dos maciços afetados, ou seja, determinar sua geometria, as características e propriedades dos materiais envolvidos, as características de percolação de água, a identificação de possíveis mecanismos de ruptura e uma avaliação dos níveis de segurança atuais.

A identificação dos condicionantes litológicos, estruturais, geomorfológicos e hidrogeológicos foi procedida com base em interpretações de fotos aéreas em escala 1:20.000, de dezembro de 2004, com sobrevôo executado pela Aerosul, inspeções de campo e consulta a outros elementos disponíveis. Foram analisados os resultados das investigações de subsuperfície desenvolvidas para o projeto e realizadas inspeções às galerias de exploração na região do eixo da barragem.

- Caracterização dos Maciços

Os estudos desenvolvidos permitiram concluir pela existência de dois universos básicos relevantes para as análises de estabilidade. O primeiro refere-se ao conjunto constituído por materiais de origem granítica e o segundo, àquele constituído por materiais oriundos de metamorfitos de baixo grau, predominantemente calcários, conforme descrito no item 12.1.2.1 deste relatório, referente à Geologia.

Estas duas unidades foram analisadas quanto aos seguintes aspectos:

- ✓ condições de geometria (declividades e espessuras de mantos terrosos);
- ✓ materiais constituintes;
- ✓ condições de fluxo de água (percolação);
- ✓ mecanismos de ruptura;
- ✓ níveis de segurança.

As análises quanto às condições da subsuperfície foram realizadas com base em informações obtidas nas investigações geotécnicas, efetuadas em vários locais onde possam se localizar as estruturas da barragem e de inspeções de campo.

Em ambos os casos, não foram visualizadas pela Empresa Latina, executora dos estudos específicos para o presente EIA, condições de ruptura através do maciço rochoso subjacente ao manto de solo. Sendo assim, as considerações, a seguir apresentadas, referem-se basicamente aos materiais terrosos.

Para fins de avaliação dos níveis de segurança dos dois tipos de maciços, considerando-se avaliações quantitativas, julgou-se aplicável o modelo de talude tipo infinito. Porém, considerando-se a variabilidade da morfologia e a inexorável heterogeneidade de resistência

e permeabilidade dos materiais que os constituem, isto não significa que outros mecanismos de ruptura, de caráter mais localizado, não possam ocorrer. Assim, por exemplo, taludes de conformação superficial mais convexa terão, em razão da redução dos efeitos de borda (tridimensionais), menores níveis de segurança. Materiais que, localmente, apresentem maior suscetibilidade à perda de resistência por redução das tensões de “sucção” induzem a uma maior redução dos coeficientes de segurança, etc. Observa-se, outrossim, que essas possíveis rupturas localizadas (devido à conjugação aleatória de fatores “negativos”) não devem envolver grandes volumes de solo, portanto, não são de principal interesse para o estabelecimento dos modelos para quantificação.

A cobertura vegetal atenuante quanto à ocorrência de movimentos de massa, atualmente foi reduzida pela ocupação humana, nota-se que escorregamentos na área se dão preferencialmente em áreas antropizadas formadas por pastagens, nas vertentes íngremes.

- Maciços de origem granítica

Esses maciços caracterizam-se por apresentarem inclinações máximas aproximadas de 35° a 40° em seu trecho linear (meia encosta), abrandando-se no trecho convexo superior. As espessuras de solo, de natureza areno-silto argilosa e/ou silto arenosa, variam em torno de 5 m no trecho linear, podendo atingir 10 a 15 m no trecho convexo. É de conhecimento técnico que solos originados de granitos costumam apresentar resistência bastante variável e decrescente com o aumento do grau de saturação por água.

Por outro lado, as inspeções de campo mostraram que os maciços se encontram em situação de rastejo (“creep”). No entanto, ocorrências de picos de chuva, no final do ano de 2004 e início de 2005, foi possível registrar alguns processos recentes de instabilidade de taludes, como é ilustrado nas fotos 13, 56, 57, 58, 61.

- Maciços de origem calcária

São maciços que apresentam inclinações máximas aproximadas de 45° em seu trecho linear, abrandando-se no trecho superior. As espessuras estimadas de solo, de natureza argilosa e silo argilosa, são da ordem de 2 a 3 m nas regiões mais altas. Do mesmo modo que os materiais de origem granítica, esses solos devem exibir perda de resistência quando saturados.

Os calcários e metapelitos intensamente foliados apresentam instabilidade, predominantemente condicionada pelas descontinuidades e planos de foliação com baixo ângulo de atrito (fotos 66 e 67).

Embora tenha sido realizada intensa pesquisa bibliográfica, não se conseguiu obter dados quantitativos dos parâmetros de resistência em função das condições de densificação e saturação. Foram obtidas algumas poucas informações, não quantitativas, sobre materiais oriundos de calcários das regiões da Tailândia e Malásia (BRAND, 1984). Em razão desse fato, avaliaram-se os ângulos de atrito efetivos desses materiais em torno de 25° e os interceptos de erosão variáveis, em função das condições de densidade e saturação, entre 10 e 20 kPa. A percolação na massa terrosa foi admitida com fluxo subvertical em direção ao maciço, de onde ocorre o escoamento em direção ao talvegue do rio.

Atualmente esses maciços, tal como os de origem granítica, estão em estado de rastejo (“creep”). Para as quantificações, tendo em vista as pequenas espessuras de solo envolvidas, foi admitido também o modelo talude tipo infinito.

- Estimativa dos parâmetros de resistência dos maciços

Admitindo-se que os maciços em processo de rastejo tenham coeficientes de segurança (Fs) da ordem de 1,1 a 1,0 e fixando-se os parâmetros ângulo de atrito e peso específico, obtiveram-se os valores do intercepto de coesão mobilizados. Para os maciços graníticos admitiu-se a possibilidade de alguma flutuação do nível de água freático.

Analisando-se os dados do Quadro 12.1.2/07, pode-se verificar que os valores do intercepto de coesão necessários à obtenção de níveis de segurança compatíveis com o processo de rastejo em andamento, são coerentes com aqueles relatados na literatura (maciços graníticos) ou com a expectativa que se poderia ter para os solos com origem no calcário.

**QUADRO 12.1.2/07 - VALORES DOS PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA QUE SATISFAZEM AS CONDIÇÕES DO MODELO PROPOSTO**

Maciço	I (°)	Z (m)	NA (m)	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\Phi$ (°)	C' (kN/m <sup>2</sup> )	FS
Granito	40	5	0	18	35	7,4	1,0
						11,8	1,1
Granito	40	5	1,0	18	35	11,4	1,0
						15,8	1,1
Granito	40	5	2,0	18	35	15,6	1
						20,0	1,1
Calcário	45	3	-	17	25	13,5	1,0
						16,5	1,1

Convenções:

Características de geometria e nível do lençol freático

I = declividade do talude em relação à horizontal;

Z = espessura admitida da massa de solo;

NA = altura da lâmina d'água a partir do substrato rochoso admitido como impermeável (maciços graníticos).

Características de resistência

$\gamma_n$  = peso específico natural;

$\Phi$  = ângulo de atrito;

C' = intercepto de coesão;

FS = Fator de Segurança.

## b) Vulnerabilidade das Encostas e Movimentos de Massa

Os estudos sobre a vulnerabilidade das encostas da Área de Influência Direta e dos processos erosivos atuantes na região foi realizado através da análise integrada dos dados sobre geologia, geomorfologia, declividades, pedologia, uso do solo e clima. Para complementar as informações disponíveis, foi efetuada interpretação de fotos aéreas, visando reconhecer as feições e os processos erosivos existentes, com o apoio de reconhecimento de campo.

Sinteticamente, pode-se afirmar que a forma atual das encostas é o resultado de um processo erosivo-deposicional atuante ao longo de milhares de anos. A evolução das encostas se dá pela atuação de um conjunto de fatores intervenientes no meio, que inclui, de um lado, o processo de meteorização (transformação das rochas em solo sob a ação dos fenômenos climáticos e biológicos), o qual leva à formação do manto de intemperismo; e por outro lado, os processos erosivos e de movimentos de massa que tendem a reduzir a espessura desse manto, através do transporte de materiais das porções altas para as mais baixas.

A tendência desse processo é buscar o equilíbrio entre a erosão e a deposição. No entanto, pode-se afirmar que até o alcance desse equilíbrio, ocorrem duas situações:

- ✓ predomínio do processo erosivo sobre o de geração de solos, resultando em mantos de alteração rasos;
- ✓ predomínio do processo de geração de solos sobre o erosivo, resultando em espessos mantos de alteração.

Dependendo das características topográficas e de pluviosidade da área, bem como dos materiais constituintes e da cobertura vegetal, os mantos de alteração podem apresentar diferentes características de estabilidade e serem mais ou menos sujeitos a processos de movimentos de massa.

Na área do empreendimento, os processos erosivos são causados, basicamente, pela ação das águas pluviais, as quais promovem o deslocamento dos materiais. A água da chuva forma um lençol ou lâmina superficial de água que se desloca sobre a superfície do terreno, denominado escoamento laminar. Fatores como velocidade da água, suscetibilidade dos solos, condições topográficas particulares ou, ainda situações específicas, como caminhos, limites de propriedades, etc, podem favorecer o desenvolvimento de ravinas, sulcos e caudais pela concentração do fluxo de forma linear. Dessa forma, o impacto das gotas de chuva produz a desagregação e a dispersão das partículas, enquanto que o escoamento superficial transporta essas partículas, acelerando a erosão do solo. Acrescenta-se, ainda, que o processo erosivo é favorecido pela forte declividade do terreno.

A erosão na região é favorecida pelo regime de precipitação atmosférica média de 1.655 mm anuais e em condições de clima sem estação seca definida, com as chuvas distribuídas de modo eqüitativo durante boa parte do ano. Sua efetividade é acentuada em razão da retirada da cobertura vegetal original da Mata Atlântica e substituição por áreas de agricultura, pastagens e “capoeiras”.

É importante observar que a vegetação exerce um importante papel de proteção dos solos, reduzindo o processo erosivo, pois atua de forma a:

- ✓ diminuir as perdas de solo, causadas pelo impacto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial;
- ✓ aumentar a capacidade de infiltração do solo devido à redução do escoamento superficial;
- ✓ armar o solo com as raízes, de maneira a lhe conferir maior estabilidade.

O escoamento nas vertentes, freqüentemente, inicia-se em dolinas em áreas calcárias, ou em anfiteatros oriundos de antigos movimentos de talude (embaciamento) nas áreas graníticas, cujas formas côncavas concentram água e favorecem a erosão já no início do processo. Para um entendimento melhor é apresentada a figura 12.1.2/07 mostrando a exagerada declividade do terreno nas bordas dessas feições, antes do escoamento linear propriamente dito se implantar.

A erosividade da água pode ser inferida a partir do diagrama de Hjulstrom, modificado por RICE (1979), ilustrado na figura 12.1.2/08. Esse diagrama se aplica particularmente bem à área em estudo, devido às características físicas marcantes que apresenta, tais como relevo forte, pequena espessura de solo etc. O diagrama mostra que a erosão produzida pela água corrente já se inicia em velocidade da ordem de 0,30 m/s, nas areias finas e siltes. Velocidades ligeiramente maiores poderão mobilizar tanto partículas menores ou maiores das acima mencionadas, de acordo com o que mostra o diagrama.

**INSERIR FIGURA 12.1.2/07**

**INSERIR FIGURA 12.1.2/08**

Conclui-se que, já nos primeiros metros de escoamento, em terrenos descobertos, seja por pisoteamento de gado ou pelo uso do solo para a agricultura, quaisquer tipos de solos existentes na região são erodíveis, dada a sua composição argilo-siltosa (no caso de calcários), ou areno-silto argilosa (no caso de granitos e gnaisses). Por outro lado, o volume de chuvas que cai durante o ano todo satura o solo e reduz a coesão, baixando substancialmente sua resistência ao cisalhamento, sob ação da infiltração e do escoamento (LUEDER, 1959).

Os movimentos de massa são caracterizados tanto por movimentos lentos, tipo rastejo, por escorregamentos rápidos (“landslides”), ou instantâneos, como os fluxos úmidos e as liquefações. Os principais condicionantes que favorecem esses fenômenos na AID são os fatores climáticos, aliados à alta declividade.

O Desenho MA136.00-15-DE.07 apresenta o zoneamento das áreas mais suscetíveis a escorregamentos nas margens do reservatório, através da classificação da possibilidade de instabilização em três classes:

- ✓ A – eventual;
- ✓ B – pequena;
- ✓ C – praticamente nula.

Na região, os escorregamentos são fenômenos esporádicos e espacialmente localizados. Por outro lado, o movimento de rastejo é um processo de movimento de massa que ocorre de forma mais freqüente e está distribuído espacialmente por toda a área. Essa constatação é verificada em campo pela presença de árvores e arbustos inclinados, sobretudo nas vertentes mais íngremes das regiões calcárias e também nas áreas graníticas.

Os movimentos de rastejo (“creep”) representam um processo lento de movimentação de solos em encostas e são condicionados, basicamente, pela gravidade. No entanto, outros fatores intervêm nesse processo, como o intemperismo físico e o químico, a erosão regressiva, etc. Em locais onde predominam solos espessos, a tendência é a ocorrência de movimentos tipo “landslide”. Esse processo é favorecido pela presença de descontinuidades no solo, materiais menos resistentes, taludes mais íngremes ou convexos, água, etc.

Por ocasião de grandes chuvas, costumam se formar fluxos úmidos, especialmente na porção alta dos anfiteatros (cicatrices de antigas rupturas ou de colapso e dolinas). Em regiões de delgadas espessuras de solos e vertentes bastante íngremes, como é o caso da AID, a tendência é do fenômeno de rastejo acelerar-se e transformar-se em rupturas planas paralelas às encostas.

Perfurações realizadas na área da barragem forneceram dados de profundidades de solos nas áreas de litologia calcária. As espessuras estão distribuídas estatisticamente de forma bimodal, sendo uma moda ao redor de 13,0 m e a outra em torno de 2,0 m. Aparentemente, as maiores espessuras são correlacionáveis às zonas de contato entre camadas de diferentes solubilidades, ou a camadas mais solúveis, e os solos menos espessos a zonas menos solúveis, em que a rocha sã está próxima da superfície. A figura 12.1.2/09 mostra essa condição de maneira esquemática.

**INSERIR FIGURA 12.1.2/09**

Nas áreas graníticas, a influência da alterabilidade e o grau de fraturamento são os fatores de maior destaque na espessura do solo, sendo ela controlada predominantemente pela erosão e, secundariamente, pelos movimentos de massa. Embora a topografia não seja tão acidentada quanto nas áreas calcárias, a espessura dos solos sobre essas litologias é relativamente pequena. Neste caso, os blocos ficam à mostra na superfície do terreno, quando o solo é retirado à sua volta.

#### **12.1.2.5. Sismicidade Natural e Induzida**

Os estudos de sismicidade indicam a ocorrência de, pelo menos, três fases tectônicas que atuaram na região do Empreendimento, quais sejam:

- ✓ A primeira e mais antiga, proterozóica, corresponde ao desenvolvimento de falhas transcorrentes;
- ✓ A segunda, intermediária, refere-se à fase de reativação mesozóica, que sob regime distensivo da crosta, condicionou a formação de falhas normais e introdução dos numerosos diques de diabásio ao longo da direção NW;
- ✓ A terceira e última, que durou do fim do Mesozóico até o Terciário, quando surgiram falhamentos normais e arqueamentos. O alívio geo-estático provocado pelo aprofundamento erosivo do rio Ribeira deu margem a sistema de fraturamento distensivo subhorizontal.

Todas as estruturas desenvolvidas nessas três fases acham-se reativadas tectonicamente, conforme indicado pela presença de estrias de atrito nos materiais de preenchimento dos planos de falha, e sua alteração recente.

Objetivando analisar a sismicidade do local destinado à construção do eixo da barragem e da área do reservatório, foi utilizada a correlação entre comprimento das macro-descontinuidades, rejeitos e magnitudes (BONILLA, 1970), tomando como base o mapeamento de macro-lineamentos de imagem de satélite (TM-4, cena 220/77 de 25/07/86). (figura 12.1.2/10).

Nas investigações efetuadas nos túneis junto à obra, foi verificado que os rejeitos mais freqüentes nos planos cisalhantes reativados variam de 5 cm a 10 cm, sendo a expressão que relaciona rejeitos e magnitudes, de acordo com Bonilla (1970), indicada a seguir:

$$Y = 3.1046 + 0.7952 \times \ln X_c, \text{ onde}$$

Y = magnitude (escala Richter)

X<sub>c</sub> = rejeito em centímetros

Foram obtidas magnitudes respectivamente de 4.38 e 4.93, as quais, convertidas em acelerações (g) (SHERARD, 1963), forneceram respectivamente valores de 0.028 e 0.049 g (figura. 12.1.2/11). Esses dados correspondem ao intervalo de valores a serem esperados no caso de ocorrência de sismos na área, podendo inclusive servir como elementos para o estabelecimento do sismo de projeto. Deve-se ressaltar, entretanto, que eles poderão sofrer modificações dependendo do avanço das investigações realizadas na obra para implantação do projeto.

**INSERIR FIGURA 12.1.2/10**

**INSERIR FIGURA 12.1.2/11**

a) Sismos Históricos

Segundo BERROCAL *et al* (1984), a atividade sísmica do território brasileiro, até algum tempo atrás, era considerada de nível desprezível, pelo fato do Brasil estar situado na Plataforma Sul-americana, considerada estável do ponto de vista sismológico, inexistindo registro de sismos catastróficos no país. Por outro lado, após a análise de resultados anteriores e compilações sísmicas mais recentes, verifica-se que o nível de atividade sísmica existente no território brasileiro é bastante significativo.

Os sismos que ocorrem no Brasil, embora não existam determinações hipocentrais muito precisas, devem ser em sua grande maioria de profundidade focal rasa ( $h < 33$  km), geralmente localizados na crosta terrestre, acima da descontinuidade de Mohorovic, característica essa que corresponde à dos sismos de regiões intraplaca (BERROCAL, 1984).

No Quadro 12.1.2/08 a seguir, atualizado até o ano de 2004, são apresentados os sismos históricos dos estados de São Paulo e Paraná, com grande interesse para o estudo sísmico do local previsto para a barragem de Tijuco Alto, cujas coordenadas são 49°W e 24°40"S.

**QUADRO 12.1.2/08 - SISMOS HISTÓRICOS DOS ESTADOS DE SÃO PAULO E PARANÁ**

ANO	DIA/MÊS	HORÁRIO	LAT	LONG	ESTADO	PROF	MAG	CAT	ÁREA	LOCALIDADE	COMENTÁRIOS
1789	9/5		-25.01	-47.94	SP	0.	3.7	C		Cananéia	Santos 1850
1845	20/4	2:00:00	-25.52	-48.51	PR	0.	0.0	C		Paranaguá	A. Vieira dos Santos, 1850
1861	31/7	4:00:00	-22.60	-45.20	SP	0.	4.4	B	52.0	Lorena	
1874	30/10	12:30:00	-23.50	-47.50	SP	0.	3.6	B	1.7	Sorocaba	
1887	27/8	11:20:00	-25.52	-48.51	PR	0.	3.0	C		Paranaguá	
1915	20/2		-24.18	-46.79	SP	0.	3.2	C		Itanhaém	
1916	--		-21.26	-48.69	SP	0.	0.0	C		Fern. Prestes	
1918	--		-23.53	-46.62	SP	0.	3.0	C		São Paulo	
1919	5/8	9:00:00	-25.01	-47.94	SP	0.	0.0	C		Cananéia	Almeida 1963
1922	27/1	6:50:40	-22.17	-47.04	SP	0.	5.1	A	250.0	Mogi Guaçu	Assumpção et al, 1979
1928			-21.82	-52.05	SP	0.	0.0	C		Pr. Epitácio	Ano Incerto
1946	18/7	7:15:00	-25.10	-47.70	SP	0.	4.6	A	60.0	Cananéia	Área IV = 25.000 Km²
1959	25/5	23:08:00	-21.26	-48.69	SP	0.	3.2	C		Fern. Prestes	Induzido
1959	27/5	17:05:00	-21.26	-48.69	SP	0.	3.2	C		Fern. Prestes	Induzido Poço Artesiano?
1959	29/5	6:55:00	-21.26	-48.69	SP	0.	3.2	C		Fern. Prestes	Induzido Poço Artesiano?
1960	27/2		-21.26	-48.69	SP	0.	0.0	C		Fern. Prestes	Vários – Induzido Poço Artesiano
1967	23/3	21:12:15	-23.30	-45.00	SP	0.	4.1	A	30.0	Cunha	Registr. Por Arequipa
1970	12/6		-22.01	-50.39	SP	0.	0.0	C		Herculândia	Induzido Poço Artesiano?
1971	11/2		-25.10	-48.90	PR	0.	3.0	C		Capiv-Cachoeira	Induzido por Reservatório
1971			-25.25	-48.80	PR	0.	3.7	C		Capiv-Cachoeira	Vários; Induz. por Reserv
1971	21/5	16:00:00	-25.10	-48.90	PR	0.	3.9	C		Capiv-Cachoeira	Induzido por Reservatório
1975	19/8		-25.30	-49.30	PR	0.	0.0	C		A. Tamandaré	Vários; Desab. Caverna
1975	1/7		-22.62	-52.84	PR	0.	0.0	C		Diam. do Norte	Induzido Poço Artesiano?
1975	11/8		-22.62	-52.84	PR	0.	0.0	C		Diam. do Norte	Vários-Induz.Poço Artesiano?
1975	8/12	8:21:26	-24.94	-44.16	SP	0.	3.4	I		Plat. Cont.	(UnB)
1976	12/6		-22.84	-51.01	PR	0.	3.7	C		Prim. de Maio	Induzido por Reservatório
1976	13/6	5:00:00	-22.84	-51.01	PR	0.	3.7	C		Prim. de Maio	Induzido por Reservatório
1976	14/6		-22.84	-51.01	PR	0.	0.0	C		Prim. de Maio	Induzido por Reservatório
1976	15/6	12:00:00	-22.84	-51.01	PR	0.	0.0	C		Prim. de Maio	4 Even. Induz. por Reserv
1976	16/6	20:00:00	-22.84	-51.01	PR	0.	3.9	C		Prim. de Maio	5 Even. Induz. por Reserv
1976	17/6		-22.84	-51.01	PR	0.	0.0	C		Prim. de Maio	18 Ev. Induz. por Reserv
1976	22/6	1:48:00	-22.84	-51.01	PR	0.	3.5	C		Prim. de Maio	24 Ev.-Induz. por Reserv
1976	22/6	15:45:00	-22.84	-51.01	PR	0.	0.0	C		Prim. de Maio	Vários-Induz. por Reserv
1976	23/6		-22.84	-51.01	PR	0.	0.0	C		Prim. de Maio	27 Ev.-Induz. por Reserv
1976	25/6		-22.84	-51.01	PR	0.	0.0	C		Prim. de Maio	3 Event.-Induz por Reserv
1976	26/6	12:13:00	-22.84	-51.01	PR	0.	0.0	C		Prim. de Maio	12 Ev.-Induz. por Reserv
1976	27/6		-22.84	-51.01	PR	0.	0.0	C		Prim. de Maio	3 Even.-Induz. por Reserv
1976			-25.62	-52.60	PR	0.	0.0	C		Sal. Santiago	(UnB / ELETROSUL)
1976	23/1		-24.52	-50.42	PR	0.	3.0	C		Tibagi	
1976	16/4		-22.73	-50.98	SP	0.	3.7	C		B. Capivara	Induzido por Reservatório
1976	24/4		-22.73	-50.98	SP	0.	0.0	C		B. Capivara	Induzido por Reservatório
1976	20/6		-22.73	-50.98	SP	0.	0.0	C		Iepê	Vários - Induz. por Reserv
1977			-22.84	-51.01	PR	0.	0.0	C		Prim. de Maio	Vários - Induz. por Reserv
1977	16/12		-20.73	-47.77	SP	0.	0.0	C		Nuporanga	Vários - Induz. por Reserv
1977	4/9	15:45:00	-20.73	-47.77	SP	0.	2.8	C		Nuporanga	Induzido
1977	2/11	12:00:00	-23.42	-45.60	SP	0.	2.8	C		Paraibuna	Induzido
1977	4/11		-23.42	-45.60	SP	0.	3.1	C		Paraibuna	Induzido por Reservatório
1977	16/11	23:20:00	-23.42	-45.60	SP	0.	3.3	C		Paraibuna	Vários, Induzido por Reservatório
1977	23/11		-23.42	-45.60	SP	0.	0.0	C		Paraibuna	Induz. por Reservatório
1978	18/3	1:30:00	-20.73	-47.77	SP	0.	3.0	C		Nuporanga	Induzido Poço Artesiano
1978	17/3	20:45:00	-20.73	-47.77	SP	0.	3.0	C		Nuporanga	Induzido Poço Artesiano
1978	19/3	5:33:27	-24.96	-48.50	SP	0.	3.3	B	2.7	Rio Vermelho	
1979	27/3	12:54:45	-22.84	-51.01	PR	0.	3.7	A	1.3	Prim. de Maio	Induzido por Reservatório
1979	19/10	15:25:00	-23.42	-45.60	SP	0.	3.0	C		Paraibuna	Induz. por Reservatório
1979	13/6	16:52:45	-24.69	-45.73	SP	0.	2.8	I		Plat. Cont.	(IAG, UnB)
1979	13/8	18:41:00	-25.20	-45.60	SP	0.	3.0	I		Plat. Cont.	(Assumpção et al, 1980b)
1979	23/3	3:28:49	-23.30	-45.90	SP	0.	2.7	I		S. J. Campos ?	(Veloso & Mendiguren, 1980a)
1981	24/3	22:10:03	-20.58	-48.34	SP	0.	2.8	I		Barretos	(IAG, UnB) N. Sentido, Expl?
1981	11/7	3:00:00	-20.80	-47.80	SP	0.	2.4	I		Orlândia	(IAG, UnB) Não Sentido
1982	17/9	12:28:41	-25.84	-45.42	SP	0.	3.8	I		Plataforma	(UnB, IAG)
1983	2/1	6:40:00	-24.30	-47.80	SP	0.	2.9	I		Juquiá	(IAG)
1984	18/1	22:44:01	-23.33	-45.58	SP	0.	2.5	I		Paraibuna	(IAG, IPT)
1984	30/6	11:32:56	-23.35	-45.66	SP	0.	2.7	I		Paraibuna	(IAG, IPT)
1984	2/12	11:43:04	-23.36	-45.64	SP	0.	1.5	I		Paraibuna	(IPT, IAG)
1984	2/5	7:18:35	-24.30	-44.50	SP	0.	2.0	I		Plat. Cont.	(UnB, IAG)
1985	17/12	12:26:00	-23.17	-46.06	SP	0.	3.0	A	.54	Igaratá	(IPT, IAG, UnB)
1986	2/7	21:25:00	-22.43	-50.58	SP	0.	2.2	A	.006	Paraguaçu P.	(IPT)
1986	4/7	21:10:00	-22.43	-50.58	SP	0.	2.2	A	.006	Paraguaçu P.	(IPT)
1986	4/7	6:00:00	-22.43	-50.58	SP	0.	0.0	C		Paraguaçu P.	(IPT)
1986	19/10	1:45:15	-23.45	-45.29	SP	0.	2.1	I		S. Luis Par.	(IAG, IPT)
1987	22/3	3:15:09	-26.70	-44.20	PR	0.	3.2	I		Plat. Contin.	(IAG, IPT, ON)
1987	27/8	13:01:22	-25.00	-44.10	SP	0.	3.6	I		Plat. Contin.	(IAG, ON, IPT)
1987	20/3	14:46:59	-24.70	-43.60	SP	0.	3.0	I		Plat. Contin.	(IAG, IPT, ON)
1988	9/11	20:38:09	-26.10	-52.10	PR	0.	2.1	I		Mangueirinha	(UnB) explosão?
1988	10/11	22:36:25	-20.31	-47.35	SP	0.	2.3	I		Franca	(UnB, IPT, IAG) explosão?
1988	30/11	7:26:05	-23.21	-46.06	SP	0.	1.6	I		Igaratá	(IPT, IAG, ON)
1988	19/7	10:30:00	-20.73	-47.75	SP	0.	3.0	C		Nuporanga	(TV Globo, Rib. Preto)
1988	5/4	3:00:51	-22.10	-51.34	SP	0.	3.8	A	5.0	P. Prudente	(UnB, IAG)
1988	30/8	12:51:24	-23.37	-45.67	SP	0.	2.7	I		Paraibuna	(IPT, IAG)
1988	6/9	7:02:54	-23.36	-45.63	SP	0.	2.0	I		Paraibuna	(IPT, IAG)
1988	2/9	17:51:07	-23.37	-45.67	SP	0.	2.6	I		Paraibuna	(IPT, IAG)
1988	3/9	1:46:30	-23.37	-45.67	SP	0.	2.4	I		Paraibuna	(IPT, IAG)
1988	3/9	3:49:19	-23.37	-45.67	SP	0.	2.0	I		Paraibuna	(IPT, IAG)
1988	19/10	6:02:35	-24.80	-42.00	SP	0.	2.1	I		Plat. Cont.	(IPT, IAG)
1988	19/9	3:05:59	-25.29	-45.09	SP	0.	2.5	I		Plataforma	(IAG, IPT, ON) corrigido
1988	9/5	16:00:00	-21.20	-47.60	SP	0.	0.0	C		Serrana	(TV Globo, Rib. Preto)
1989	7/1	11:36:39	-22.93	-51.01	PR	0.	3.7	A	0.8	Ibiaci	(IPT, IAG, UnB, ON) Provável induzido
1989	29/11	18:14:15	-24.98	-50.59	PR	0.	2.6	I		Ponta Grossa	(IPT) Explosão?
1989	1/6	21:40:00	-20.73	-48.07	SP	0.	3.0	C		Morro Agudo	(IAG)
1989	23/5	22:57:58	-20.73	-47.75	SP	0.	3.2	I	0.3	Nuporanga	(IAG, UnB, IPT)

(continua...)

**QUADRO 12.1.2/08 - SISMOS HISTÓRICOS DOS ESTADOS DE SÃO PAULO E PARANÁ**

(...continuação)

ANO	DIA/MÊS	HORÁRIO	LAT	LONG	ESTADO	PROF	MAG	CAT	ÁREA	LOCALIDADE	COMENTÁRIOS
1989	19/10	4:17:00	-20.73	-47.75	SP	0.	2.6	C		Nuporanga	3 tremores (Pref. Mun., TVS)
1989	6/1	19:02:24	-23.37	-45.67	SP	0.	2.3	I		Paraibuna	(IPT,IAG)
1989	18/1	23:38:10	-23.37	-45.67	SP	0.	2.5	I		Paraibuna	(IPT,IAG,ON)
1989	12/12	14:50:45	-23.37	-45.67	SP	0.	2.0	I		Paraibuna	(IPT,IAG)
1989	3/2	19:32:09	-23.28	-45.47	SP	0.	2.8	I		Paraibuna	(IPT,IAG,ON)
1989	5/7	3:29:14	-23.37	-45.67	SP	0.	2.8	I		Paraibuna	(IPT,IAG)
1989	7/5	6:38:00	-24.77	-46.47	SP	0.	2.0	I		Plat. Cont.	(IPT)
1989	4/7	6:23:40	-24.87	-46.81	SP	0.	2.0	I		Plat. Cont.	(IPT)
1989	9/7	22:26:52	-24.30	-43.03	SP	0.	2.3	I		Plataforma	(IPT,ON,IAG)
1990	30/5	8:00:24	-25.73	-44.72	PR	0.	3.1	I		Margem Cont.	(IPT,IAG,UNESP)
1990	19/6	17:38:01	-25.49	-44.98	PR	0.	2.0	I		Margem Cont.	(IPT,IAG)
1990	28/7	18:05:23	-25.31	-44.52	PR	0.	2.9	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
1990	25/4	4:35:00	-24.33	-50.54	PR	0.	2.1	I		Telem. Borba	(IPT)
1990	1/9	15:46:30	-23.17	-46.06	SP	0.	2.9	I		Igaratá	(IPT,IAG) vários de 24/08 a 11/09
1990	9/12	7:56:19	-23.38	-45.63	SP	0.	2.0	I		Paraibuna	(IPT,IAG)
1990	12/7	21:01:03	-21.86	-46.92	SP	0.	2.4	I		S. J. da Boa Vista	Vista (UnB, IPT, IAG)
1990	28/3	22:29:49	-21.90	-46.84	SP	0.	2.7	I		S.J.B. Vista	(IPT,IAG)
1990	29/3	2:05:05	-21.90	-46.84	SP	0.	1.9	I		S.J.B. Vista	(IPT,IAG)
1990	14/11	8:35:38	-23.48	-47.06	SP	0.	1.8	I		São Roque	(IPT,IAG), pedreira?
1990	8/9	4:34:06	-20.90	-48.69	SP	0.	2.3	I		#nome?	(IAG, IPT, UNESP)
1991	5/12	19:04:17	-24.92	-49.58	PR	0.	2.6	I		Acungui	(IAG, IPT)
1991	3/9	20:46:53	-24.60	-48.43	SP	0.	2.8	I		Barra do Turvo	(IAG, IPT, UnB, UNESP)
1991	30/4	5:41:21	-22.97	-48.11	SP	0.	1.8	I		Conchas	(IAG) Impacto Meteorito?
1991	4/12	12:15:03	-22.67	-50.75	SP	0.	2.9	I		Cruzália	(IPT, IAG, UNESP) Induzido?
1991	20/12	13:03:00	-22.72	-50.76	SP	0.	1.5	I		Cruzália	(IPT) Induzido?
1991	19/12	21:17:00	-22.69	-50.77	SP	0.	2.7	I		Cruzália	(IPT) Induzido ?
1991	16/5	8:27:24	-24.85	-46.26	SP	0.	2.4	I		Margem Cont.	(IPT, IAG)
1991	7/10	15:46:37	-24.12	-43.01	SP	0.	3.0	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
1991	21/3	17:08:19	-22.19	-51.36	SP	0.	2.0	I		P. Prudente	(IAG, UNESP, IPT)
1991	15/12	10:20:04	-22.11	-51.26	SP	0.	1.5	I	0.005	P. Prudente	(UNESP, IAG)
1991	21/3	18:03:50	-22.19	-51.36	SP	0.	2.2	I		P. Prudente	(IAG, UNESP, IPT)
1991	22/3	18:04:43	-22.19	-51.36	SP	0.	2.4	I	0.06	P. Prudente	(IAG, UNESP, IPT)
1991	21/2	3:36:41	-23.42	-45.45	SP	0.	1.6	I		Paraibuna	(IPT, IAG)
1991	25/2	11:07:15	-23.40	-45.63	SP	0.	2.3	I		Paraibuna	(IPT, IAG)
1991	13/11	18:14:25	-22.88	-49.83	SP	0.	3.0	I		S. Pedro Turvo	(IAG, UnB, UNESP)
1991	15/11	13:16:37	-23.94	-46.41	SP	0.	2.7	I		São Vicente	(IAG)
1992	9/3	23:17:59	-24.56	-50.69	PR	0.	3.2	A	1.90	Imbau	(IAG, COPEL, IPT, UnB)
1992	1/2	17:24:30	-26.91	-44.42	PR	0.	3.7	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
1992	17/1	18:32:20	-22.72	-51.10	SP	0.	3.1	A	0.82	Iepê	(IPT, IAG, UnB) Induzido?
1992	13/4	23:31:09	-23.90	-45.37	SP	0.	2.3	I		Ilhabela	(IAG, IPT)
1992	11/2	6:11:03	-24.47	-43.79	SP	0.	2.3	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
1992	9/12	16:21:00	-24.89	-46.33	SP	0.	3.4	I		Margem Cont.	(IAG, IPT, UnB, COPEL)
1992	19/3	5:50:10	-24.59	-43.92	SP	0.	2.0	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
1992	19/3	15:34:11	-24.99	-45.77	SP	0.	2.6	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
1992	5/7	7:34:17	-22.03	-51.31	SP	0.	3.2	I		P. Prudente	(UNESP, IPT, IAG, UnB)
1992	14/8	7:08:18	-23.36	-45.64	SP	0.	2.6	A	0.33	Paraibuna	(IPT, IAG, UnB) Induzido
1992	1/10	15:05:53	-21.57	-47.01	SP	0.	2.7	I		S. J. R. Pardo	(IAG, IPT, UnB)
1992	30/10	13:42:54	-23.13	-47.51	SP	0.	2.0	I		Samambaia	(IAG, IPT) Explosão?
1993	30/12	2:41:00	-22.94	-51.01	PR	0.	2.2	I		Ibiaci	(IPT, IAG) Induz. Vários
1993	20/12	1:01:00	-22.70	-51.09	SP	0.	2.2	I		Iepê	(IPT) vários induzidos
1993	26/3	15:59:59	-24.94	-45.51	SP	0.	2.1	I		Margem Cont.	(IPT, IAG)
1993	21/5	10:32:12	-23.91	-43.00	SP	0.	3.6	I		Margem Cont.	(IPT, IAG, UnB, UNESP, COPEL)
1993	25/6	2:03:01	-24.44	-43.54	SP	0.	2.7	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
1993	21/1	16:21:06	-23.35	-45.65	SP	0.	2.5	I	0.1	Paraibuna	(IPT, IAG)
1993	24/1	15:59:31	-23.34	-45.64	SP	0.	1.9	I		Paraibuna	(IPT)
1993	24/1	16:43:05	-23.37	-45.63	SP	0.	1.9	I		Paraibuna	(IPT)
1993	7/5	21:55:05	-23.39	-45.62	SP	0.	2.0	I		Paraibuna	(IPT, IAG)
1993	10/8	15:47:35	-23.36	-45.61	SP	2.	1.3	I		Paraibuna	(IPT)
1993	1/9	10:40:05	-21.45	-47.13	SP	0.	2.2	I		Sta. Rosa Viterbo	(IAG, IPT) Explosão?
1993	1/9	10:43:24	-21.46	-47.13	SP	0.	2.3	I		Sta. Rosa Viterbo	(IAG, IPT) Explosão?
1993	17/9	9:58:40	-21.41	-47.18	SP	0.	2.5	I		Sta. Rosa Viterbo	(IAG, IPT) Explosão?
1994	7/7	22:15:59	-24.02	-49.73	PR	0.	2.3	I		Calógeras	(IPT, IAG)
1994	14/3	14:10:29	-23.59	-45.39	SP	0.	1.6	I		Caraguatatuba	(IPT, IAG)
1994	14/3	18:01:57	-23.59	-45.39	SP	0.	1.1	I		Caraguatatuba	(IPT, IAG)
1994	15/3	23:25:05	-23.59	-45.39	SP	0.	1.8	I		Caraguatatuba	(IPT, IAG)
1994	20/9	9:17:53	-23.17	-46.11	SP	0.	2.6	I		Igaratá	(IPT, IAG)
1994	11/4	8:15:33	-25.15	-45.89	SP	0.	2.2	I		Margem Cont.	(IPT, IAG)
1994	25/5	23:37:30	-25.09	-45.06	SP	0.	2.1	I		Margem Cont.	(IPT, IAG)
1994	9/6	0:26:40	-23.45	-45.51	SP	2.	2.6	I		Paraibuna	(IPT, IAG)
1994	5/11	21:46:27	-23.84	-47.24	SP	0.	2.2	I		Apiá	(IPT) Explosao?
1995	28/10	6:07:00	-23.73	-53.21	PR	0.	2.8	I		Lovat	(IPT)
1995	6/8	7:03:40	-22.69	-51.55	PR	0.	2.7	I		Maira	(IPT, IAG)
1995	18/3	2:59:31	-24.50	-49.87	PR	0.	2.5	I		Pirai do Sul	(IAG, IPT, COPEL)
1995	18/6	8:44:44	-24.00	-49.51	PR	0.	2.6	I		Reianópolis	(IPT, IAG)
1995	6/6	17:42:04	-21.02	-47.55	SP	0.	2.5	I		Altinópolis	(UnB)
1995	6/6	17:43:43	-21.03	-47.60	SP	0.	2.7	I		Altinópolis	(UnB)
1995	15/1	21:46:27	-23.84	-47.24	SP	0.	2.2	I		Apiá	(IPT)
1995	28/5	9:22:59	-20.93	-47.65	SP	0.	2.7	I		Batatais	(UnB)
1995	8/9	20:00:13	-20.86	-47.57	SP	0.	2.5	I		Batatais	(UnB)
1995	26/5	19:43:44	-20.20	-47.65	SP	0.	2.9	I		Buritizal	(UnB)
1995	6/6	0:32:22	-20.32	-48.41	SP	0.	2.8	I		Guaira	(UnB, IPT, IAG)
1995	22/5	0:56:24	-23.17	-46.15	SP	0.	2.0	I	0.015	Igaratá	(IPT, IAG)
1995	28/1	3:23:00	-23.99	-49.18	SP	0.	2.5	I		Itararé	(IPT, IAG)
1995	2/5	16:49:26	-25.68	-48.31	SP	0.	3.1	I		Margem Cont.	(IPT)
1995	20/7	23:07:49	-24.64	-46.55	SP	0.	2.1	I		Margem Cont.	(IPT)
1995	9/2	3:30:31	-24.63	-45.69	SP	0.	2.2	I		Margem Cont.	(IPT, IAG)
1995	4/5	0:50:51	-25.33	-43.98	SP	0.	2.5	I		Margem Cont.	(IPT, IAG)
1995	31/5	0:36:47	-25.15	-44.60	SP	0.	3.0	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
1995	30/5	13:01:20	-20.92	-47.63	SP	0.	2.6	I		Nuporanga	(UnB)

(continua...)

**QUADRO 12.1.2/08 - SISMOS HISTÓRICOS DOS ESTADOS DE SÃO PAULO E PARANÁ**

(...continuação)

ANO	DIA/MÊS	HORÁRIO	LAT	LONG	ESTADO	PROF	MAG	CAT	ÁREA	LOCALIDADE	COMENTÁRIOS
1995	25/6	16:57:00	-23.45	-45.52	SP	0.	2.0	I		Paraibuna	(IPT, IAG)
1995	2/4	11:17:37	-24.98	-48.41	SP	0.	2.5	I		Rio Vermelho	(IPT)
1995	2/6	9:32:11	-20.54	-47.66	SP	0.	2.9	I		São Jose	(UnB)
1996	7/3	5:46:42	-25.41	-45.44	PR	0.	1.9	I		Margem Cont.	(IPT)
1996	26/2	14:43:00	-23.43	-50.49	PR	0.	1.1	I		Nova Fátima	(IPT)
1996	11/6	20:38:38	-22.63	-48.66	SP	0.	3.3	I		Areiópolis	(UnB)
1996	23/2	23:27:08	-21.94	-48.68	SP	0.	2.9	I		Bariri	(IPT, UnB, IAG, COPEL)
1996	3/4	3:25:01	-23.38	-46.59	SP	0.	1.3	I		Bonsucesso	(IAG, IPT)
1996	8/5	19:02:13	-21.29	-47.32	SP	0.	2.0	I		Cajuru	(IAG, IPT)
1996	10/5	15:11:00	-21.29	-47.32	SP	0.	1.6	I		Cajuru	(IPT)
1996	18/5	21:34:00	-21.29	-47.32	SP	0.	1.0	I		Cajuru	(IPT)
1996	6/6	20:32:59	-21.29	-47.32	SP	0.	1.4	I		Cajuru	(IAG, IPT)
1996	22/6	18:14:52	-21.29	-47.32	SP	0.	1.0	I		Cajuru	(IAG, IPT)
1996	20/12	3:20:02	-21.29	-47.32	SP	0.	2.2	I		Cajuru	(IAG)
1996	9/4	5:17:00	-21.29	-47.32	SP	0.	2.8	I		Cajuru	(IPT)
1996	9/5	5:17:02	-21.29	-47.32	SP	0.	2.7	I		Cajuru	(IAG, IPT, UnB)
1996	12/5	16:21:00	-21.29	-47.32	SP	0.	1.1	I		Cajuru	(IPT)
1996	1/6	13:15:00	-21.29	-47.32	SP	0.	1.1	I		Cajuru	(IPT)
1996	6/6	20:37:00	-21.29	-47.32	SP	0.	1.9	I		Cajuru	(IAG, IPT)
1996	22/6	18:20:32	-21.29	-47.32	SP	0.	1.3	I		Cajuru	(IAG, IPT)
1996	24/6	17:50:23	-21.29	-47.32	SP	0.	1.0	I		Cajuru	(IAG, IPT)
1996	28/6	14:20:00	-21.29	-47.32	SP	0.	1.4	I		Cajuru	(IPT)
1996	28/10	22:02:48	-21.29	-47.32	SP	0.	2.6	I		Cajuru	(IAG, IPT)
1996	1/3	8:35:00	-22.70	-51.09	SP	0.	1.4	I		Iepê	(IPT)
1996	7/10	8:00:00	-23.18	-46.11	SP	0.	1.8	I		Igaratá	(IPT) 2 eventos
1996	9/3	3:09:00	-23.17	-46.11	SP	0.	1.1	I		Igaratá	(IPT)
1996	30/1	7:52:49	-24.24	-46.83	SP	0.	1.7	I		Margem Cont.	(IPT)
1996	28/3	15:05:55	-24.90	-44.16	SP	0.	3.1	I		Margem Cont.	(IPT, IAG, UnB)
1996	21/4	2:56:03	-24.38	-45.72	SP	0.	1.9	I		Margem Cont.	(IPT, IAG)
1996	30/4	13:11:06	-24.15	-46.88	SP	0.	2.0	I		Margem Cont.	(IPT)
1996	9/11	15:38:01	-24.41	-47.84	SP	0.	2.8	I		Registro	(IAG, IPT)
1996	28/6	2:46:34	-22.90	-45.25	SP	0.	2.4	I		Roseira	(IAG, IPT)
1996	18/6	22:03:42	-23.54	-47.47	SP	0.	1.7	I		Sorocaba	(IPT, IAG) Explosão?
1996	1/9	18:20:00	-23.49	-45.28	SP	0.	1.6	I		Ubatuba	(IPT) vários eventos
1997	21/3	7:36:15	-26.03	-46.22	PR	0.	2.0	I		Marg.Cont.	(IAG, IPT)
1997	17/7	16:45:45	-20.82	-47.17	SP	0.	2.9	I		Antas	(UnB)
1997	12/1	5:32:37	-21.29	-47.32	SP	0.	2.3	I		Cajuru	(IAG)
1997	4/4	11:15:00	-21.29	-47.32	SP	0.	0.0	C		Cajuru	(IAG) série de eventos
1997	16/1	3:46:47	-23.17	-46.11	SP	0.	1.9	I		Igaratá	(IPT, IAG)
1997	25/11	23:39:22	-22.60	-47.58	SP	0.	3.3	I	4	Limeira	(IAG, UnB, IPT)
1997	17/3	1:27:25	-24.10	-44.71	SP	0.	2.7	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
1997	4/10	21:42:06	-22.75	-46.02	SP	0.	1.0	I		S.F. Xavier	(IAG, IPT)
1997	18/10		-22.75	-46.02	SP	0.	1.5	I		S.F. Xavier	(IAG)
1997	22/8	1:28:35	-22.87	-45.96	SP	0.	2.8	I		S.F. Xavier	(UnB, IAG, IPT)
1997	23/8	7:06:31	-22.86	-45.96	SP	0.	1.9	I		S.F. Xavier	(IAG, UnB, IPT)
1997	23/8	14:29:06	-22.86	-45.96	SP	0.	2.6	I		S.F. Xavier	(IAG, UnB, IPT)
1998	20/3	0:32:47	-23.64	-52.54	PR	0.	2.1	I		Maringá	(CESP, IAG)
1998	5/11	8:11:33	-23.15	-46.05	SP	0.	2.6	I	45	Igaratá	(IAG, IPT)
1998	1/7	21:25:09	-24.02	-44.46	SP	0.	3.2	I		Margem Cont.	(IAG)
1998	18/4	2:32:18	-24.66	-44.27	SP	0.	3.4	I		Margem Cont.	(IAG, IPT, UNESP)
1998	18/9	18:34:57	-24.96	-45.27	SP	0.	3.2	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
1998	18/9	18:40:44	-25.02	-45.47	SP	0.	3.1	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
1998	6/5	22:27:59	-22.62	-47.67	SP	0.	2.4	I		Tanquinho	(IAG)
1999	8/10	17:21:19	-24.18	-50.47	PR	0.	2.0	I		Antas	(IPT, IAG)
1999	27/2	2:03:59	-24.42	-50.07	PR	0.	2.7	I	NW	Pirai do Sul	(IPT, IAG)
1999	2/1	8:33:55	-23.41	-49.17	SP	0.	3.4	I		Itaí	(IPT, IAG)
1999	4/6	3:41:14	-23.77	-44.32	SP	0.	2.5	I		Margem Cont.	(IAG)
1999	17/8	21:26:53	-23.68	-46.64	SP	0.	2.0	I		Santo Amaro	(IAG)
2000	28/9	16:04:08	-20.93	-49.05	SP	0.	3.4	I		Catiguá	(IAG, UnB)
2000	6/12	17:47:11	-24.12	-44.80	SP	0.	3.2	I		Margem Cont.	(IAG)
2001	4/6	4:03:09	-23.37	-44.42	SP	0.	2.0	I		Margem Cont.	(IAG)
2001	5/7	7:12:41	-24.39	-44.53	SP	0.	2.1	I		Margem Cont.	(IAG) deve ser maior/ reg. Fraco
2001	5/8	17:19:05	-24.61	-45.26	SP	0.	2.3	I		Margem Cont.	(IAG)
2002	30/7	3:28:51	-25.67	-42.99	PR	0.	2.3	I		Margem Cont.	(IAG)
2002	7/12	14:33:57	-25.71	-48.88	PR	0.	2.7	I		Matinhos	(IAG)
2002	22/4	22:19:10	-23.39	-48.47	SP	0.	2.0	I		Angatuba	(IAG)
2002	6/3	1:00:29	-23.48	-46.99	SP	0.	2.0	I		Araçariquama	(IPT, IAG)
2002	17/3	16:11:19	-23.16	-46.10	SP	0.	2.6	I		Igaratá	(IPT, IAG)
2002	4/6	23:27:12	-25.03	-45.83	SP	0.	3.7	I		Margem Cont.	(IAG)
2002	3/10	14:07:44	-21.96	-46.67	SP	0.	2.7	I		S. João da B. Vista	(IAG)
2002	30/7	22:14:28	-22.88	-47.44	SP	0.	1.7	I		Sumaré	(IAG) Explosão?
2003	17/5	6:40:03	-26.09	-46.21	PR	0.	2.9	I		Margem Cont.	(IAG)
2003	23/5	11:28:11	-25.39	-46.42	PR	0.	3.1	I		Margem Cont.	(IAG)
2003	25/11	5:03:58	-22.48	-46.07	SP	0.	2.4	I		Estiva	(IAG, UNESP-RC, IPT)
2003	9/1	3:19:32	-23.83	-42.98	SP	0.	3.5	I		Margem Cont.	(IAG, IPT)
2003	12/4	14:57:06	-24.75	-43.12	SP	0.	2.5	I		Margem Cont.	(IAG)
2003	21/5	0:35:44	-23.34	-41.78	SP	0.	2.4	I		Margem Cont.	(IAG)
2003	26/7	0:51:21	-24.05	-42.36	SP	0.	3.4	I		Margem Cont.	(IAG)
2004	16/5	14:29:46	-24.64	-44.37	SP	0.	3.8	I		Margem Cont.	(IAG, IPT, UNESP-RC)

Fonte: IAG atualizado (Marcelo Assumpção, via e-mail: Março 2005)

PROF: Profundidade do Epicentro  
 MAG: Magnitude do Sismo  
 ÁREA: Área Afetada  
 CAT: Categoria

No Quadro 12.1.2/09 relacionam-se alguns sismos registrados até 1984, com as respectivas intensidades e magnitudes, de acordo com BERROCAL *et al* (1984), bem como as distâncias focais obtidas a partir de base cartográfica na escala de 1:250.000, graficamente apresentados na figura 12.1.2/12.

**QUADRO 12.1.2/09 - SISMOS HISTÓRICOS DA REGIÃO SISMOTECTÔNICA DO SUDESTE**

Nº	Local	I (MM)	M	DF (km)	AHM (cm/s <sup>2</sup> )
1	Cananéia	-	-	-	-
2	Cananéia	V-VI	4,33-5,00	115	6,42
3	Paranaguá	-	-	-	-
4	Sorocaba	V	3,60	200	0,91
5	Paranaguá	IV	3,67	110	2,38
6	Cananéia	-	-	-	-
7	Blumenau	-	3,90	250	0,82
8	Itanhaém	IV-V	3,67-4,33	230	1,32
9	São Paulo	IV	3,67	260	0,64
10	Cananéia	IV-V	3,67-4,33	115	3,75
11	Mogi Guaçu	VI	5,10	330	1,42
12	Tubarão	VII	5,50	420	1,35
13	Cananéia	IV-V	4,60	115	4,63
14	F. Prestes	IV-V	3,67-4,33	370	0,64
15	F. Prestes	IV-V	3,67-4,33	370	0,64
16	F. Prestes	IV-V	3,67-4,33	370	0,64
17	Capiv.-Cachoeira	IV	3,67	50	7,56
18	Capiv.-Cachoeira	VI	5,00	50	2,23
19	Alm. Tamandaré	-	-	-	-
20	Tibagi	IV	3,67	150	1,49
21	Barr. Capivara	V-VI	4,33-5,00	320	1,37
22	Primeiro de Maio	V-VI	4,33-5,00	290	1,59
23	Primeiro de Maio	V-VI	4,33-5,00	290	1,59
24	Primeiro de Maio-1	VI	5,00	290	1,59
25	Primeiro de Maio-2	V	4,33	290	0,93
26	Rio Vermelho	IV	3,30	55	4,96
27	Primeiro de Maio	V-VI	3,70	290	0,55
28	Baln. Camboriú	V	2,50	260	0,25
29	Iguape	-	-	-	-
30	Peruíbe	-	-	-	-
31	Iguape	-	-	-	-
32	Piraju	IV	3,67	180	1,13
33	P. Paulista	IV	3,67	290	0,55
34	Araçoiaba da Serra	-	-	-	-
35	Ibiaci	VI	5,00	273	1,75

I = Intensidade (Escala Mercalli Modificada)

M = Magnitude

DF = Distância Focal

AHM = Acelerações Horizontais Máximas

**INSERIR FIGURA 12.1.2/12**

## Estimativas de Acelerações Horizontais Máximas na Região

Para a obtenção de acelerações horizontais máximas ou de pico de um determinado local ou sítio de barragem, é necessário aplicar uma lei de atenuação que é função da distância do sítio ao epicentro, ao foco ou à falha potencial que pode ser responsável pelo sismo.

Na literatura internacional, várias leis foram propostas, mas existe ainda uma dissensão considerável. A dispersão dos dados pode ser minimizada, se se dispuser de observações suficientes para estabelecer uma lei de atenuação que leve em conta a escala de grandeza da região de interesse, e se for considerada somente a aceleração do maciço rochoso, eliminando-se assim a influência amplificadora e variável dos terrenos da superfície. Essas últimas, por sua vez, podem ser avaliadas a partir das características topográficas e dinâmicas (módulo de cisalhamento, coeficiente de Poisson, taxa de amortecimento, etc.).

Considerando que os dados históricos disponíveis da região de interesse não revelam nenhuma atividade sísmica intensa e nem intensidades e/ou magnitudes que tenham provocado riscos ou danos importantes, admitiu-se que um sismo de magnitude 5,0, situado a 50 km do local da barragem de Tijuco Alto, é o mais importante para o desenvolvimento do presente estudo (Quadro 12.1.2/09). Assim sendo, buscou-se na bibliografia existente uma formulação que mais se adaptasse e refletisse a realidade do local de interesse.

Na figura 12.1.2/13, obtida de TRIUNFAC & BRADY (1976) in POST & FLORENTIN (1981), estão plotadas formulações de vários autores. Para o caso da barragem de Tijuco Alto, para uma distância de 50 km do sismo com magnitude 5,0, tem-se uma aceleração horizontal máxima igual a 0,057 g.

Algumas fórmulas de atenuação que normalmente são utilizadas na determinação da aceleração horizontal máxima, tais como as de LOMNITZ (1974), ESTEVA (1974) e AMBRASEYS (1978), in POST & FLORENTIN (1981, DONOVAM & BERNSTEIN (1978) e IDRIS (1978), não parecem ser adequadas às condições brasileiras, pois se limitam à Califórnia e Europa.

Para as condições brasileiras é utilizada a fórmula de IDRIS (1977), in MORIGAT & SHAH (1978), que é indicada abaixo:

$$A^h = 190,67 e^{0,823M} / (R+CI) e_{1,561} \text{ (cm/s}^2\text{)}$$

Sendo  $CI = 0.864 e^{0,463M}$  onde

R = distância focal em km

M = magnitude

e = 2,718

Para Tijuco Alto, considerando o sismo máximo de magnitude igual a 5,0 a uma distância focal de 50 km, tem-se, pela fórmula de IDRIS (1977),  $a^h$  máximo (g) = 0,020 cm/s<sup>2</sup>.

Considerando que essa última fórmula é a mais adequada aos sismos pouco profundos (que é justamente o caso da região de interesse para a barragem de Tijuco Alto), adotou-se para o estudo estatístico dos sismos históricos valores de aceleração máxima horizontal calculados a partir dela, que são apresentados na última coluna do Quadro 12.1.2/09.

Com base nesses valores foi executado um estudo estatístico, adotando-se os parâmetros da região da barragem de Tijuco Alto, por meio da utilização das distribuições a seguir: Normal, Pearson III, EV's, Log Normal, Log Pearson, Log EV's e Gumbel. Com os resultados desses cálculos foi montado o Quadro 12.1.2/10 levando-se em conta os períodos de retorno.

ENTRA FIGURA 12.1.2/13

**QUADRO 12.1.2/10 - ACELERAÇÃO HORIZONTAL MÁXIMA X TEMPO DE RETORNO (TR = TEMPO DE RETORNO EM ANOS)**

TR	Aceleração Horizontal Máxima (g)						
	Normal	Pearson III	EV's	Log Normal	Log Pearson III	Log EV's	Gumbel
5	0,004	0,002	0,005	0,002	0,002	0,002	0,004
10	0,005	0,004	0,007	0,003	0,003	0,003	0,006
20	0,007	0,006	0,010	0,004	0,005	0,004	0,008
50	0,008	0,010	0,016	0,006	0,008	0,007	0,010
100	0,009	0,014	0,020	0,008	0,012	0,010	0,012
500	0,010	0,025	0,030	0,012	0,027	0,022	0,017
1000	0,011	0,030	0,040	0,015	0,038	0,30	0,018
5000	0,012	0,040	0,067	0,021	0,078	0,57	0,023
10000	0,013	0,050	0,080	0,025	0,10	0,74	0,024

Na Figura 12.1.2/14 são apresentados os resultados das acelerações horizontais máximas contra os períodos de retorno para as distribuições a seguir: Log Normal, Log Pearson III e Log EV's. O Quadro 12.1.2/11 e a Figura 12.1.2/15 mostram a probabilidade de os valores extremos de acelerações horizontais serem ultrapassados em um evento qualquer.

**QUADRO 12.1.2/11 - PROBABILIDADES DE ULTRAPASSAR (PU) X ACELERAÇÃO HORIZONTAL MÁXIMA (AHM)**

AHM (g)	TR (anos)	PA (%)	PU (%)
0,002	5	0,20	100
0,003	10	0,10	100
0,004	20	0,05	99,3
0,007	50	0,02	86,4
0,010	100	0,01	63,2
0,012	144	0,007	50,0
0,022	500	0,002	18,1
0,030	1.000	0,001	9,5
0,057	5.000	0,0002	1,98
0,074	10.000	0,0001	1,00

TR = Tempo de Retorno  
PA = Probabilidade Anual

## b) Implicações da Sismicidade Regional em Termos de Projeto

A existência de uma sismicidade potencial na região exige que o Projeto adote alguns critérios para fazer frente a esse fato. Portanto, e como não há terminologia universalmente aceita em termos desses critérios, adotou-se as recomendações da USCOLD (Comissão de Grandes Barragens dos Estados Unidos) de 1985. Essas recomendações definem o Sismo Máximo de Projeto (SMP), o Sismo de Exploração do Projeto (SEP) e o Sismo Induzido pelo Reservatório (SIR).

O SMP é aquele que provocará o deslocamento máximo para o qual se deve calcular ou analisar a barragem. No caso de barragens nas quais as avarias possam ameaçar vidas humanas, o SMP é normalmente caracterizado por um nível de deslocamento igual ao de um sismo cujas repercussões sobre uma barragem seriam as mais graves, exigindo-se que, nessas condições, a capacidade de retenção de água do reservatório seja mantida.

Para o caso da barragem de Tijuco Alto, o SMP foi definido, como os demais, a partir do Quadro 12.1.3/10 e Figura 12.1.3/13, como o sismo capaz de induzir na fundação rochosa do sítio da barragem, uma aceleração horizontal máxima calculada para uma probabilidade de ser ultrapassado de 1,0%, para uma duração de vida de projeto de 100 anos, e equivalente a um período de retorno de 10.000 anos. A isto corresponde, na Figura 12.1.3/15, um valor de aceleração igual a 0,074g.

ENTRA FIGURA 12.1.2/14

ENTRA FIGURA 12.1.2/15

O Sismo de Exploração de Projeto (SEP) é definido como o que apresenta um nível de deslocamento do solo sobre um determinado sítio de barragem, cuja probabilidade de não ser superado em 100 anos é de 50%. Por sua própria definição, o SEP é determinado mais facilmente em serviço, devendo os danos sofridos serem facilmente reparados quando a estrutura é submetida a um movimento sísmico que não ultrapassa este mesmo SEP.

Verifica-se que, em zonas de alta sismicidade, o SEP não é muito diferente do SMP, mas, em zonas de baixa sismicidade, o SEP é geralmente muito menos importante que o SMP.

Para o caso de Tijuco Alto, o SMP pode ser definido como o sismo capaz de induzir uma aceleração horizontal máxima igual a 0,012 g, que corresponde, segundo a figura 12.1.3/15, a uma probabilidade dessa aceleração não ser ultrapassada de 50%, para uma duração de vida do projeto de 100 anos e período de retorno igual a 144 anos.

O Sismo Induzido pelo Reservatório (SIR) representa o nível máximo de deslocamento do solo capaz de ser gerado sobre o sítio da barragem pelo enchimento do reservatório.

Embora o SIR seja objeto de debates consideráveis, visto que as opiniões divergem quanto às condições que podem provocá-lo, é consenso entre os profissionais envolvidos nesse tipo de estudo, que o SIR deve ser levado em consideração na definição dos carregamentos sísmicos para barragens de grandes alturas, sobretudo se falhas ativas são conhecidas no interior da zona do projeto ou do reservatório.

Considerando-se que o SIR deve ser menor que o SEP e que seu epicentro se situa a baixa profundidade e a pequenas distâncias do reservatório, é recomendada no projeto de engenharia a adoção de um SIR de magnitude 4,0, a uma distância focal de 10 km, o que induz, no maciço rochoso da barragem, uma aceleração horizontal máxima de 0,07 g.

A título de comparação dos valores envolvidos, MIOTO (1974) classifica a zona da barragem de Tijuco Alto dentro da linha de contorno de intensidade sísmica, como tendo um valor igual a III MM, tipo D, com as seguintes características:

- ✓ aceleração variando de 0,003 a 0,007 g;
- ✓ período de retorno de 1,0 a 1,9 anos;
- ✓ probabilidade de recorrência em 5 anos de 2,5 a 47,5%.