

III Seminário Sul
Brasileiro de Pontes e
Estruturas

III SSBPE
2023



Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos

Sergio Hampshire C. Santos

Escola Politécnica – UFRJ e

Associação Brasileira de Pontes e Estruturas - ABPE

XIV Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas



XIV Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas



XIV Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas



www.abpe.org.br



Palestras do Congresso 2023

XIV
CBPE
2023

Jorge Dalmas Braido*
*Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPEng) - UPF/ Email: jorgebraido@gmail.com

Zacarias Martin Chamberlain Pravia*

*Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPEng) - UPF/ Email: zacarias.pravia@upf.edu.br

Fotos do Congresso 2023



Trabalhos do Congresso 2023

XIV Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas



ABPE - Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

[Home](#) | [Revista](#) | [Atividades](#) | [Parcerias](#) | [Galeria](#) | [Estatuto](#) | [Associados](#) | [Diretoria](#) | [Contato](#)

Trabalhos Apresentados CBPE 2023: ISBN 978-65-00-66224-5

Busca por Título

Busca por Autores

8	Dimensionamento de Consoles em Concreto Armado: Estudo de Caso na Ponte do Educandos em Manaus/AM	Gabriel Costa da Silva e Silva, Maria do Socorro Martins Sampaio	
10	Análise pelo MEF para Validação de Reforços Estruturais em Longarinas Metálicas de Ponte Ferroviária	Carlos Alberto Medeiros, Hudson Chagas dos Santos	
11	PSBeam - Ferramenta Computacional para Análise de Tensões em Vigas Protendidas Bi-Apoiadas em Seção "I"	João Guilherme Muniz Alvarez, Glauco José de Oliveira Rodrigues, Alex Leandro de Lima	
12	Avaliação de Desempenho de Aparelhos de Apoio Elastomérico em Pontes e Viadutos Ferroviários Utilizando Dados de Inspeção Visual	Vinicius Ippolito, Flávio Alexandre dos Reis, Rafael Leite de Queiroz, Diego Leonardo Rosa, José Fernando Rodrigues	
13	Análise Não Linear de Estruturas Especiais de Concreto Armado Dimensionadas pelo Método de Bielas e Tirantes	Rodrigo Sanguedo Baptista, Sergio Hampshire de Carvalho Santos	

Revista da ABPE

www.revistaeep.com

ENGENHARIA ESTUDO E PESQUISA

Órgão Oficial da ABPE



[APRESENTAÇÃO](#) [CORPO EDITORIAL](#) [NORMAS PARA PUBLICAÇÃO](#) [ENDEREÇO DE CONTATO](#) [EDIÇÃO ATUAL](#) [EDIÇÕES ANTERIORES](#)

Os objetivos da revista **Engenharia Estudo e Pesquisa** são:

- Divulgar os desenvolvimentos recentes e os avanços na área de Engenharia Estrutural;
- Promover o intercâmbio de conhecimentos entre projetistas e profissionais de engenharia e áreas correlatas, promovendo o desenvolvimento;
- Publicar uma revista de alto nível com artigos na área do concreto estrutural;

O acesso à revista será livre, sem qualquer custo.
Não há taxa de submissão por artigo para os autores.

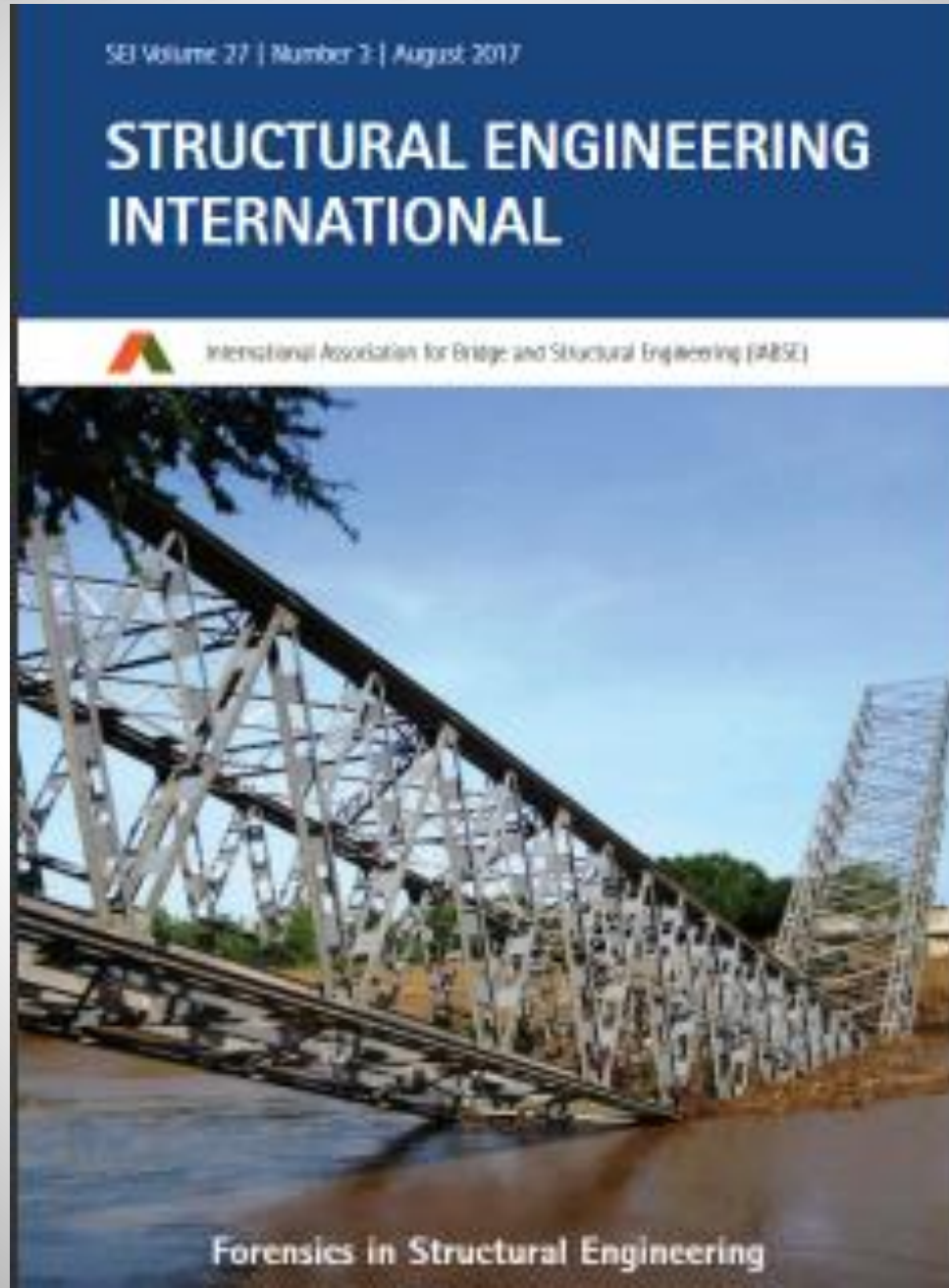
Engenharia Estudo e Pesquisa
Publicação Semestral da ABPE



Volume 23 - Nº 01
Jan./Jun. - 2023

[DOWNLOAD](#)

Orgão Brasileiro da IABSE: www.iabse.org



Parte I –Efeitos dos Sismos

São Francisco - USA- 1906



Distrito Financeiro

Sismo seguido de
incêndio



São Francisco - USA - 1906



Distrito de Chinatown

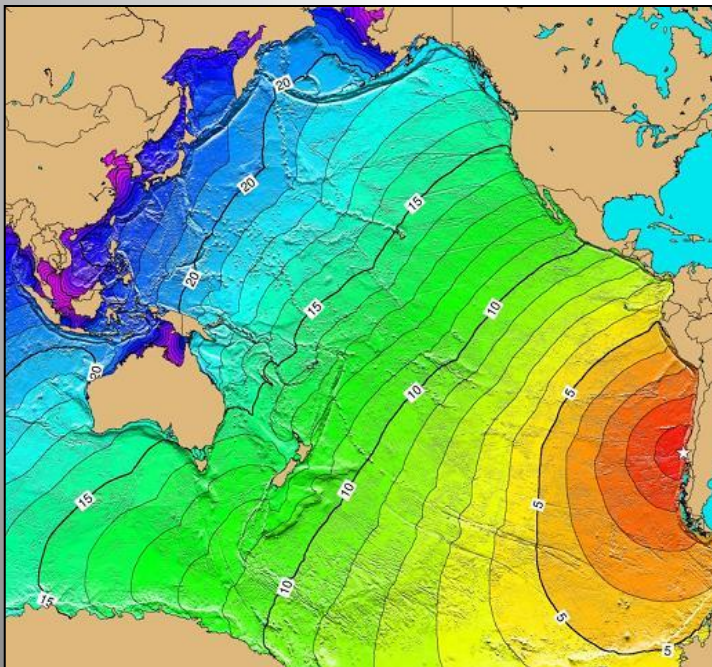


“Grande Kanto” – Japão (1923)



Chile – 1960 Terremoto de Valdivia

Maior terremoto já
registrado
Magnitude de 9,5



← Tsunami gerado – as linhas mostram
o tempo de viagem, em horas, da
frente de onda.

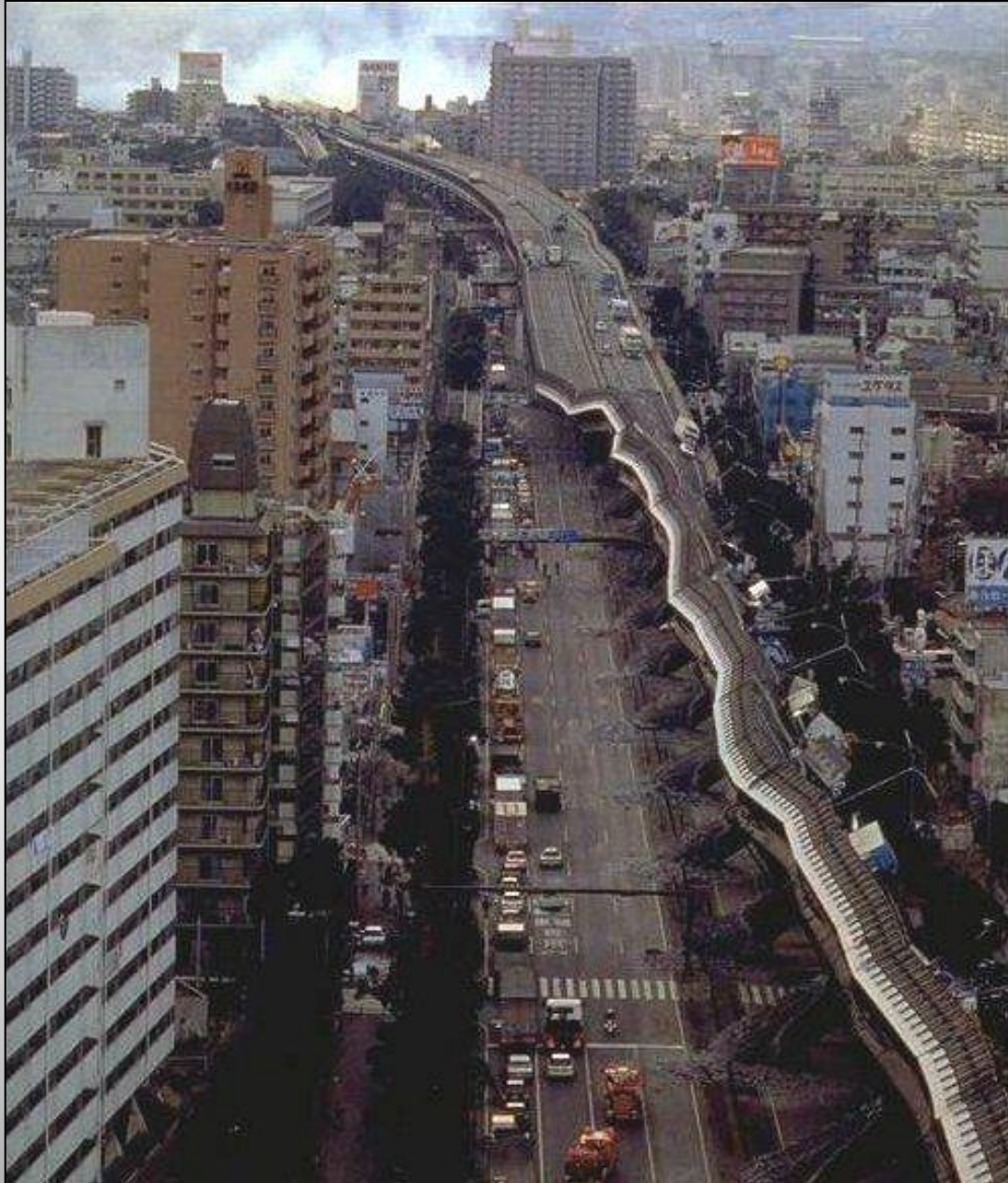
México - 1985



- 2.831 prédios danificados (880 ruíram)
- 13 hospitais destruídos
- 50.000 desabrigados
- 10.000 mortos



Kobe – Japão - 1995



Kobe – Japão - 1995

Liquefação



Kobe – Japão - 1995



“Soft first floor”

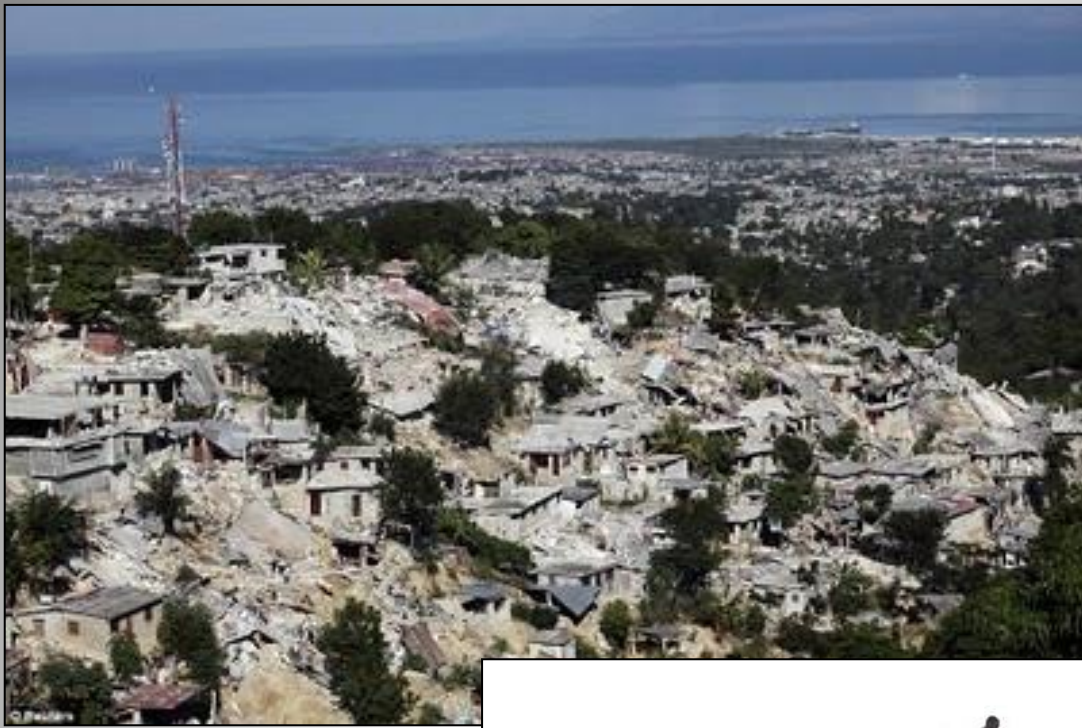
Izmit – Turquia - 1999





Liquefação





Haiti - 2010



Haiti - 2010

Catedral de Porto Príncipe



Antes

Depois



Haiti - 2010



Sede da ONU

Marrocos, 2023



Efeitos do sismo na zona rural

Marrocos, 2023



Efeitos do sismo em zona urbana

EARTHQUAKE

Strongest quakes in and around Morocco

The magnitude 6.8 earthquake that hit the Atlas Mountains region on September 8 was Morocco's deadliest in more than 60 years.

Marrocos, 2023

- | | |
|-------------------------------------|--|
| MAR 1954 1
MAGNITUDE 7.8 | JAN 2016 6
MAGNITUDE 6.3 |
| SEP 2023 2
MAGNITUDE 6.8 | APR 2010 7
MAGNITUDE 6.3 |
| MAR 1964 3
MAGNITUDE 6.6 | MAY 1994 8
MAGNITUDE 6.0 |
| FEB 2004 4
MAGNITUDE 6.4 | FEB 1960 9
MAGNITUDE 5.8
Morocco's deadliest quake that killed about 12,000 people. |
| JUNE 1910 5
MAGNITUDE 6.4 | |



Source: USGS | September 10, 2023

EURASIAN PLATE
AFRICAN PLATE

SPAIN

RABAT

MOROCCO

Marrakesh

September 8, Epicentre



@AJLabs ALJAZEERA

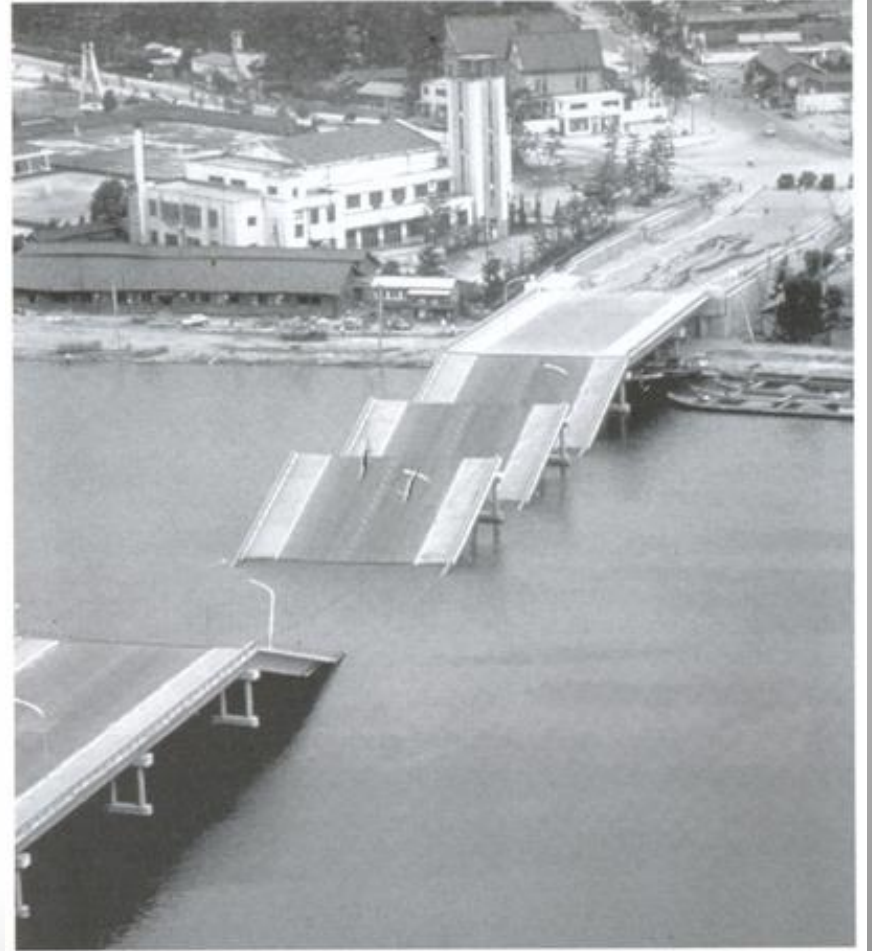
Sismo de João Câmara (RN)
30/11/1986, Magnitude 5,1





Efeitos do sismo na zona rural

Efeitos de Liquefação do Solo





Ruína de andar intermediário.



Flambagem na base do tanque (elephant foot failure)





Falta de apoio, provavelmente por falta de dispositivo para restringir o deslocamento do apoio e/ou comprimento inadequado do berço dos apoios.



Ruína do primeiro andar devido a existência do “andar fraco” (soft storey).

Parte II – Sismologia

- Os terremotos são os mais destrutivos desastres naturais, em perdas humanas e materiais.
- No século XX uma média de 17.000 vidas foram perdidas por ano, como consequência de terremotos.
- Isso coloca para a Engenharia Civil o desafio de projetar estruturas suficientemente resistentes, mas economicamente viáveis.

O que é um Terremoto ?

É a liberação súbita de energia na crosta terrestre provocando movimentos das camadas de solo que se propagam em todas as direções.

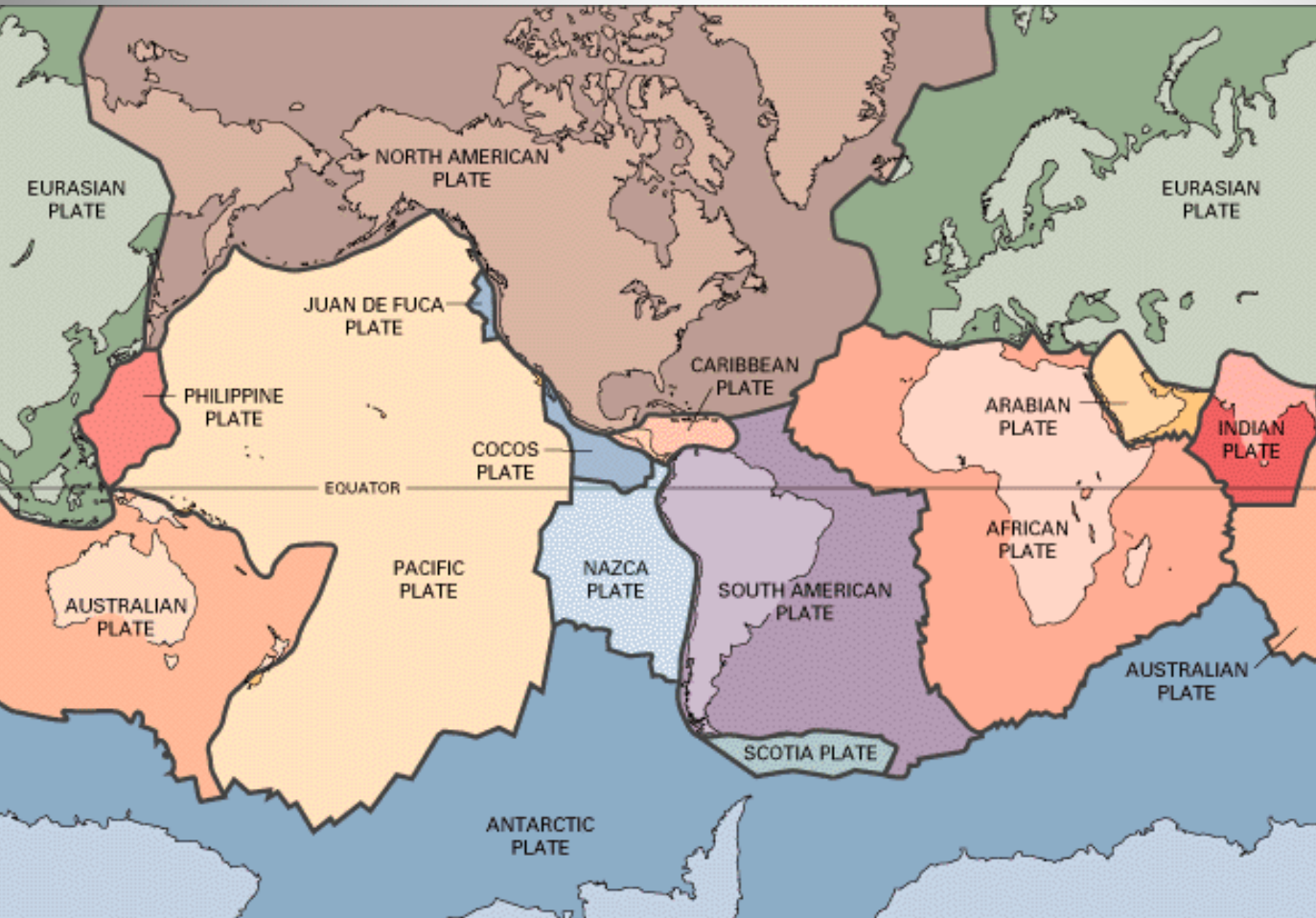
O que origina um Terremoto ?

A energia liberada pode ter como origem diferentes fontes, sendo a principal o deslocamento da crosta terrestre de origem tectônica.

Como explicar um terremoto de origem tectônica?

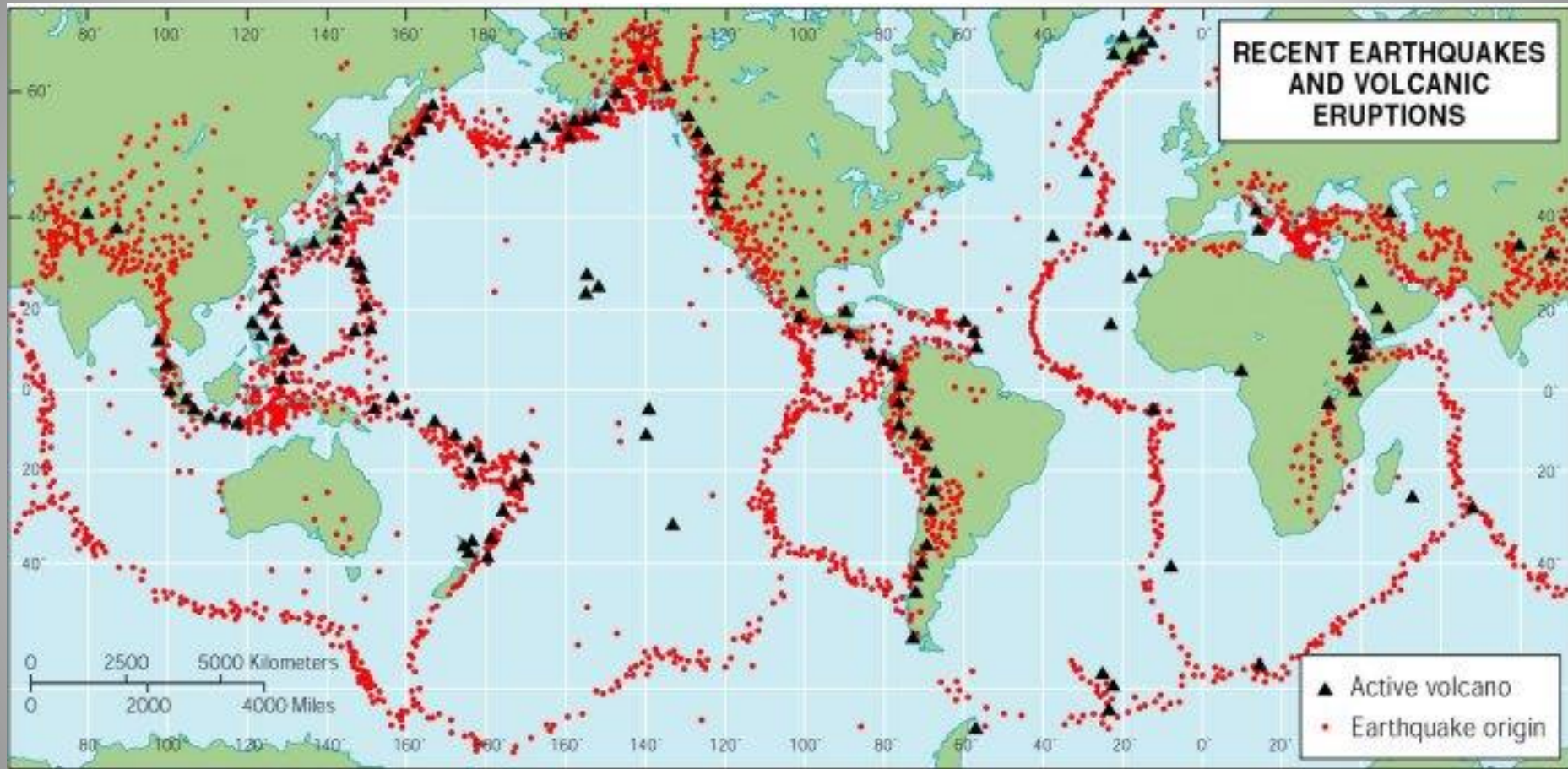
A teoria das placas tectônicas explica a ocorrência de terremotos, como decorrentes dos deslocamentos das placas, que flutuam sobre o magma. Os continentes estão à deriva.

As Placas Tectônicas

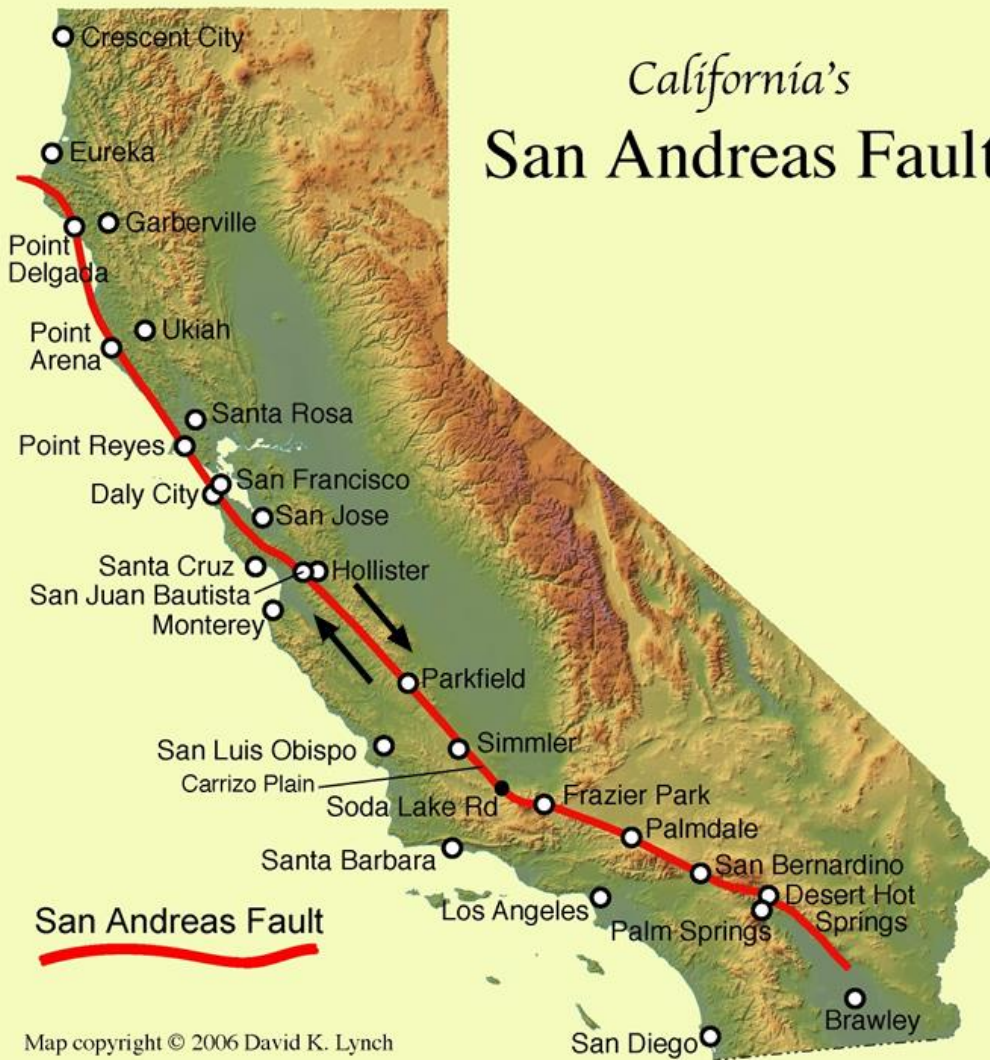


1. Placa Africana
2. Placa da Antártica
3. Placa Arábica
4. Placa Australiana
5. Placa do Caribe
6. Placa de Cocos
7. Placa Eurasiana
8. Placa Indiana
9. Placa Juan de Fuca
10. Placa de Nazca
11. Placa Norte Americana
12. Placa do Pacífico
13. Placa das Filipinas
14. Placa de Scotia
15. Placa Sul Americana

Distribuição Mundial de Terremotos e Vulcões



California's San Andreas Fault



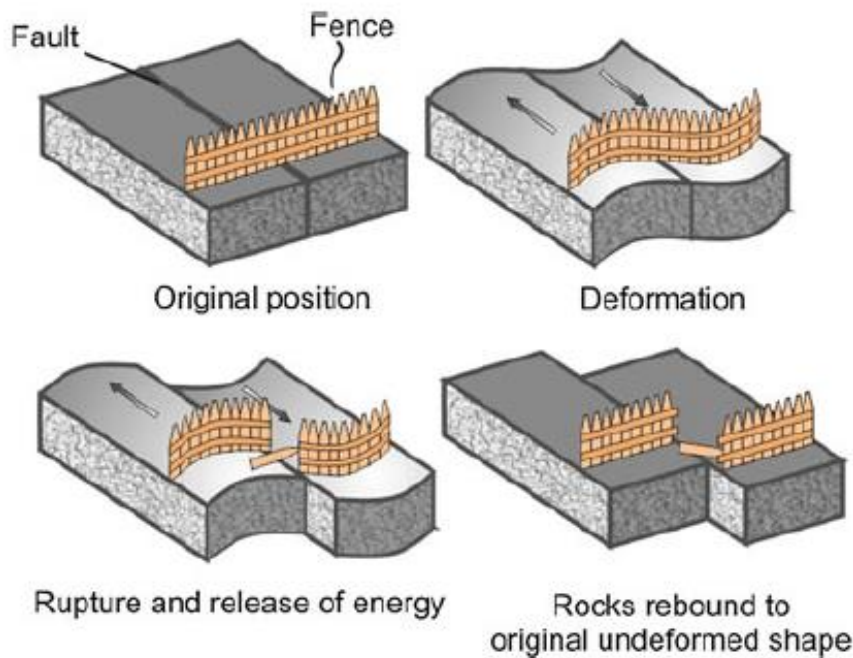
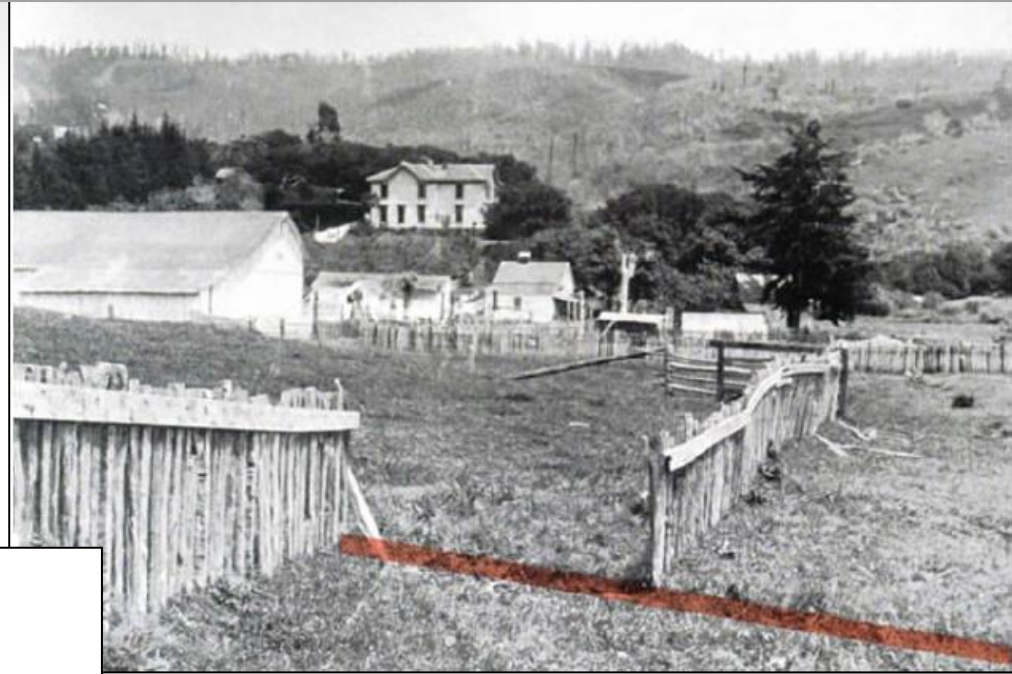
Map copyright © 2006 David K. Lynch



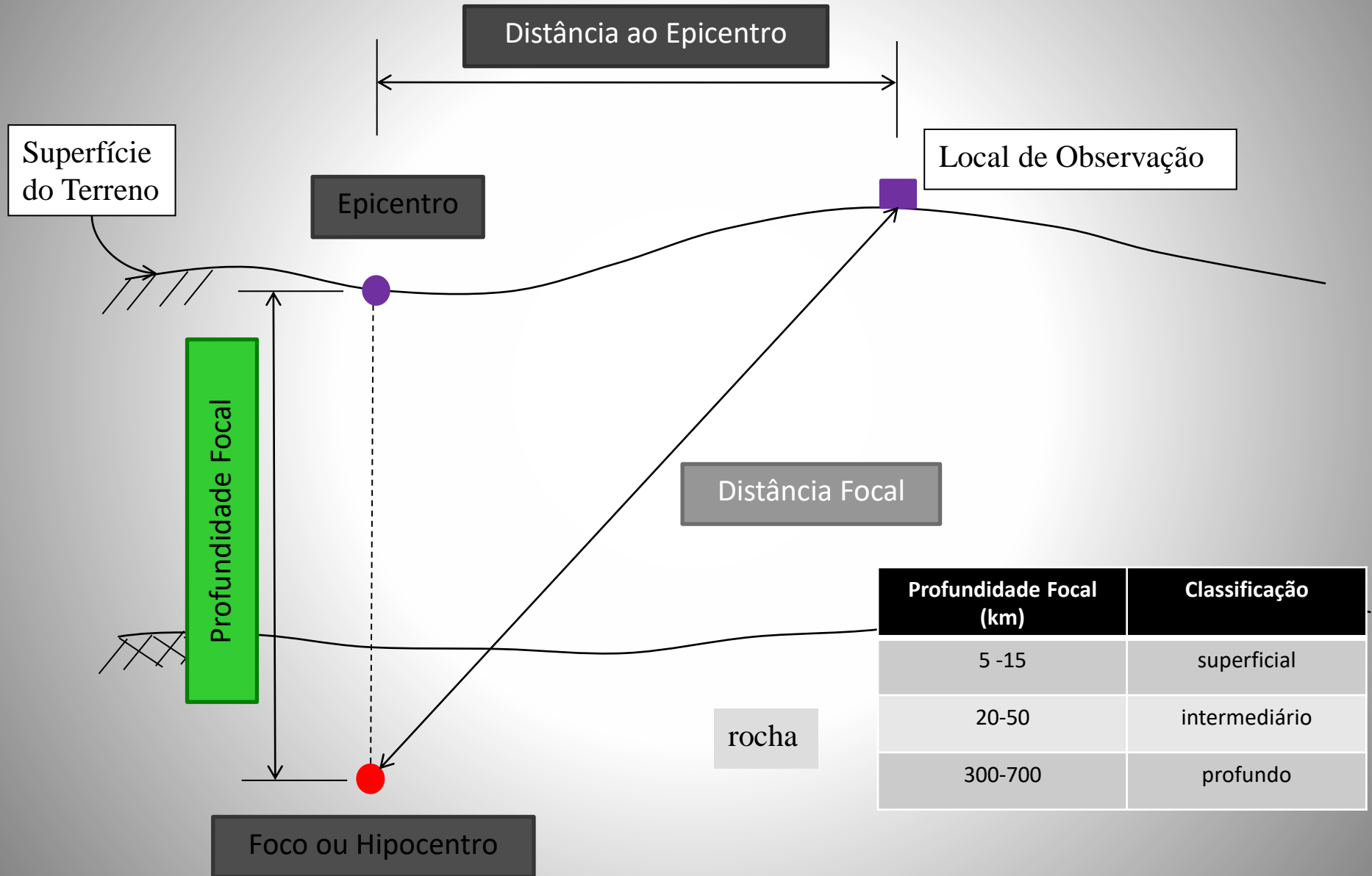
- As placas se movimentam na direção noroeste

- Nas bordas das placas podem ocorrer grandes deformações.
- Quando as tensões excedem a resistência do material da placa a energia de deformação é liberada. Esta energia é dissipada como ondas elásticas. As ondas dão origem ao terremoto (Teoria de Reid).
- Cerca de 95% dos terremotos acontecem nas bordas das placas. Entretanto, os sismos podem acontecer em qualquer lugar, com danos consideráveis.
- Exemplos de sismos no interior de placas (interplaca):
 - Newcastle (Austrália) 1988;
 - Dahsour (Egito) 1992;
 - Região de New Madrid (USA) entre 1811 e 1812.

Falha de San Andreas, Terremoto de São Francisco 1906



Epicentro e Hipocentro

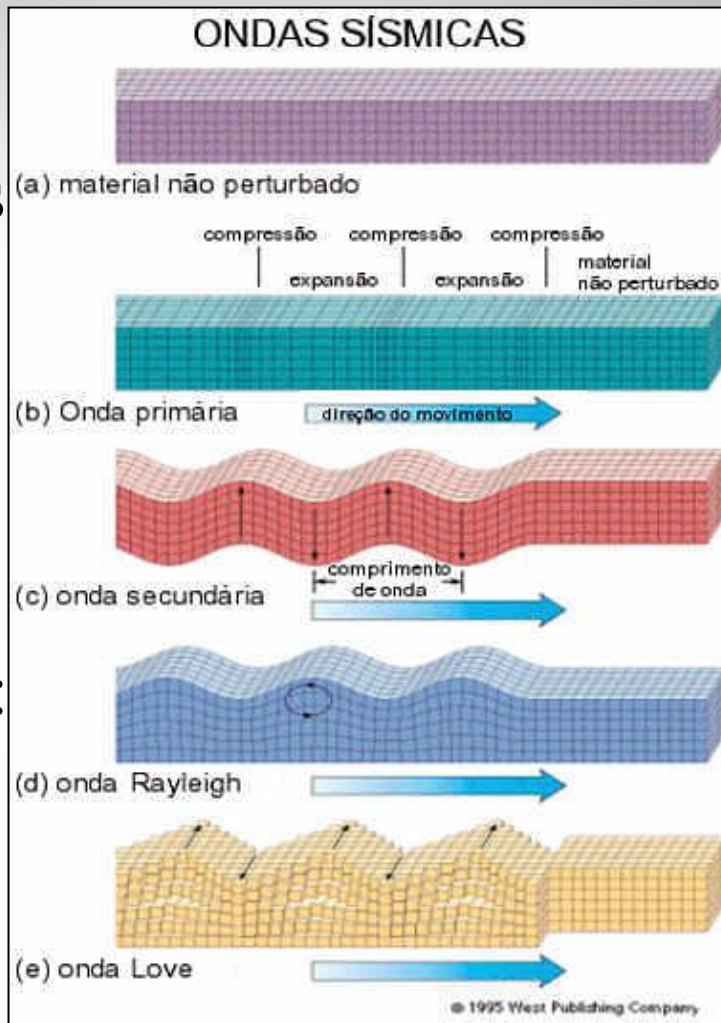


Profundidade Focal (km)	Classificação
5 -15	superficial
20-50	intermediário
300-700	profundo

Ondas Sísmicas

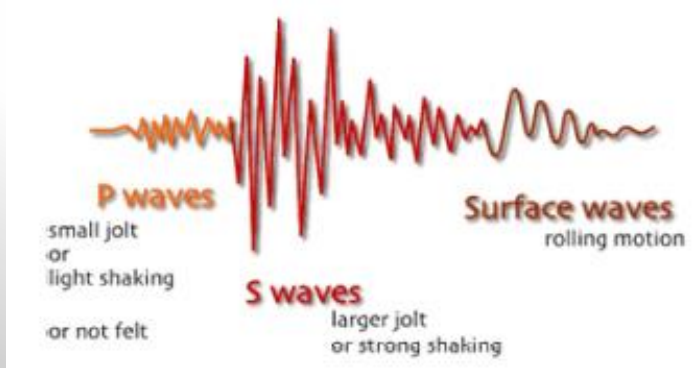
Categorias de ondas sísmicas:

- Ondas de Volume:
 - Onda Primária (P)
 - Onda Secundária (S)
- Ondas de Superfície:
 - Onda de Rayleigh (R)
 - Onda de Love (L)



ondas de volume
ou de corpo
(body waves)

ondas de
superfície



Magnitude e Intensidade

A quantificação de um terremoto pode ser feita em termos de sua *magnitude* e *intensidade*.

Magnitude



Medida instrumental quantitativa, representa a energia liberada pelo sismo.

Intensidade



Medida não instrumental qualitativa, quantifica o impacto local causado pelo sismo na população, em estruturas e no terreno.

Escalas de Magnitude

- Quantificam a energia liberada.
- Existem várias escalas de magnitude.
- A mais conhecida é a Escala de Richter (1930).

Magnitude Local ou Richter (M_L)

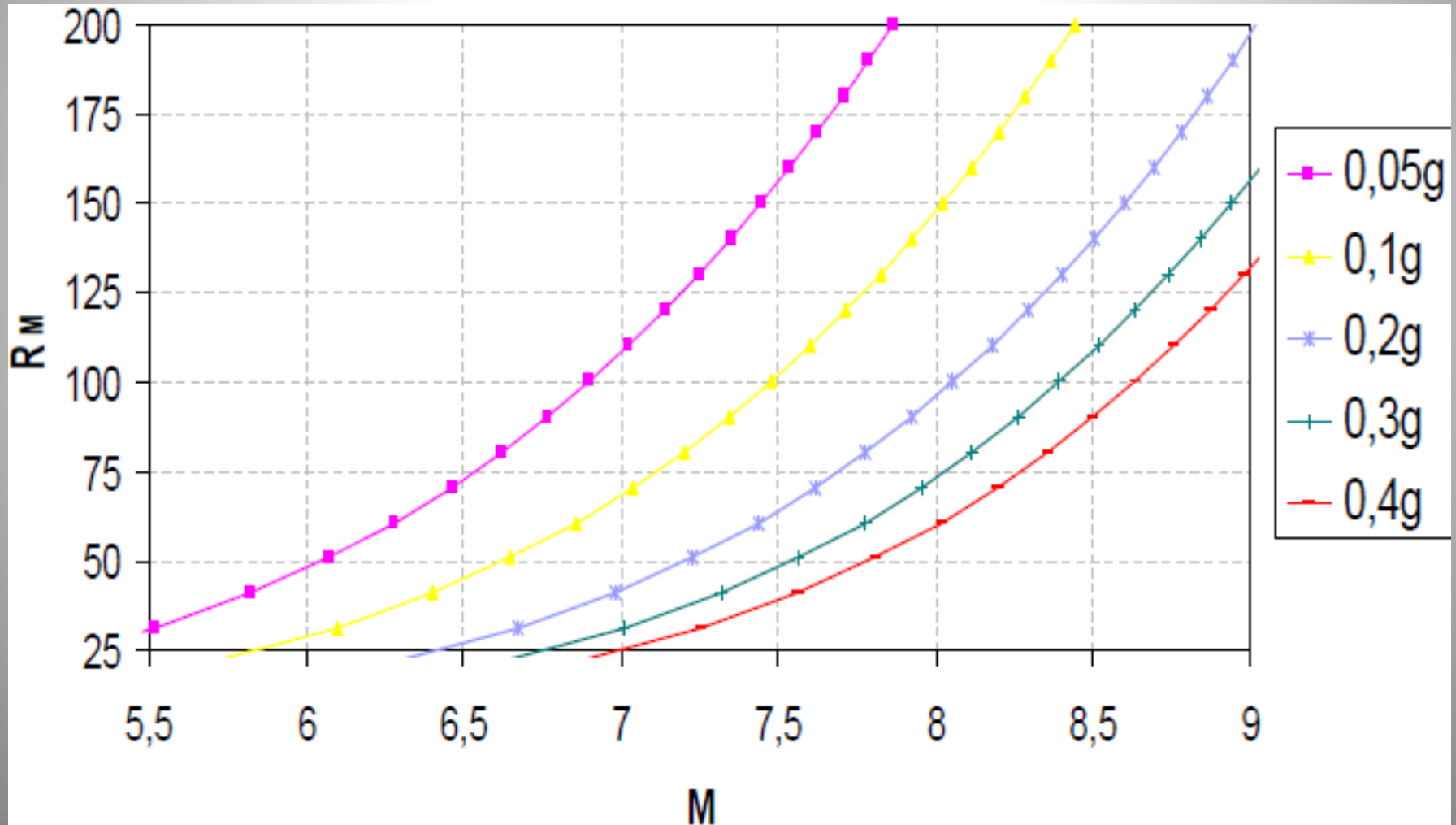
- É o logaritmo decimal da amplitude máxima do registro sísmico, em microns, a uma distância de 100 km do epicentro.
- Sismos com magnitude $M_L > 5.0$ são potencialmente muito destrutivos

Intensidade - Escala Mercalli Modificada (MM)

Intensidade	Descrição
I	Imperceptível para as pessoas. Corresponde aos efeitos secundários e de componentes de período longo de grandes terremotos.
II	Sentido por pessoas em repouso, em andares altos ou em locais muito favoráveis para isto.
III	Sentido no interior de edificações. Objetos suspensos balançam. Vibração similar ao tráfego de caminhões leves. A duração pode ser estimada. Pode ser reconhecido como um terremoto.
IV	Objetos suspensos balançam. Vibração similar ao tráfego de caminhões pesados, ou sensação de impacto similar à de uma bola pesada batendo nas paredes. Carros parados balançam. Janelas, pratos e portas vibram. Vidros estalam. Louças se entrechocam. Na faixa superior da intensidade IV, paredes de madeira e pórticos fissuram.
V	Sentido nas ruas; a direção pode ser estimada. Pessoas acordam. Líquidos são perturbados, alguns são derramados. Pequenos objetos instáveis são deslocados ou derrubados. Portas oscilam, fecham e abrem. Venezianas e quadros movem-se. Relógios de pêndulo param, voltam a funcionar ou alteram o seu ritmo.
VI	Sentido por todos. Muitos se assustam e correm para as ruas. As pessoas andam de forma instável. Janelas, pratos e objetos de vidro são quebrados. Pequenos objetos, livros, etc. caem das estantes. Quadros caem das paredes. A mobília é deslocada ou tombada. Reboco e alvenaria fracos apresentam rachaduras. Pequenos sinos (de igrejas e escolas) tocam. Árvores e arbustos movem-se visivelmente.
VII	Difícil manter-se de pé. Notado pelos motoristas. Objetos suspensos oscilam fortemente. A mobília quebra-se. Danos e rachaduras em alvenaria fraca. Queda de reboco; tijolos, pedras, telhas, cornijas, parapeitos não contraventados e ornamentos arquitetônicos soltam-se. Algumas rachaduras em alvenaria normal. Ondas em reservatórios e água turva com lama. Pequenos escorregamentos e formação de cavidades em taludes de areia ou pedregulho. Sinos grandes tocam. Canais de irrigação de concreto danificados.
VIII	Condução de veículos afetada. Danos e colapso parcial em alvenaria comum. Algum dano em alvenaria sólida e nenhum em alvenaria reforçada. Queda de estuque e de algumas paredes de alvenaria. Torção e queda de chaminés, inclusive as de fábricas, monumentos, torres e tanques elevados. Casas em pórtico movem-se em suas fundações, quando não arrancadas do solo. Pilhas de destroços derrubadas. Galhos quebram-se nas árvores. Mudanças na vazão ou temperatura de fontes. Rachaduras em chão úmido ou taludes íngremes.
IX	Pânico geral. Alvenaria fraca destruída; alvenaria comum fortemente danificada, as vezes com colapso total. Alvenaria sólida seriamente danificada. Danos gerais em fundações. Estruturas em pórtico, quando não arrancadas, deslocadas em suas fundações. Pórticos rachados. Rachaduras significativas no solo. Em áreas de aluvião, areia e lama arrastadas; criam-se minas d'água e crateras na areia.
X	A maioria das alvenarias e estruturas em pórtico destruídas com suas fundações. Algumas estruturas de madeira bem construídas e pontes destruídas. Danos sérios em barragens, diques e taludes. Grandes deslizamentos de terra. Água lançada nas margens de canais, rios, lagos, etc. e lama lançada horizontalmente em praias e terrenos planos. Trilhos ligeiramente entortados.
XI	Trilhos bastante entortados. Tubulações subterrâneas completamente fora de serviço.
XII	Destruição praticamente total. Grandes massas de rocha deslocadas. Linhas de visão e nível distorcidas. Objetos lançados no ar.

Modelos de Atenuação

São expressões dando a aceleração máxima do terreno (PGA - Peak Ground Acceleration), variando com a magnitude e a distância do local ao ponto de origem do sismo, pela perda de energia no trajeto.



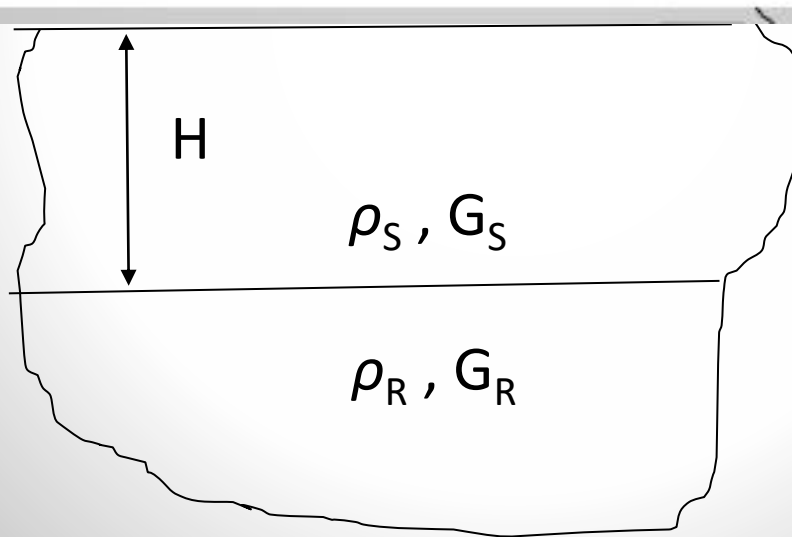
AMPLIFICAÇÃO SÍSMICA NO SOLO

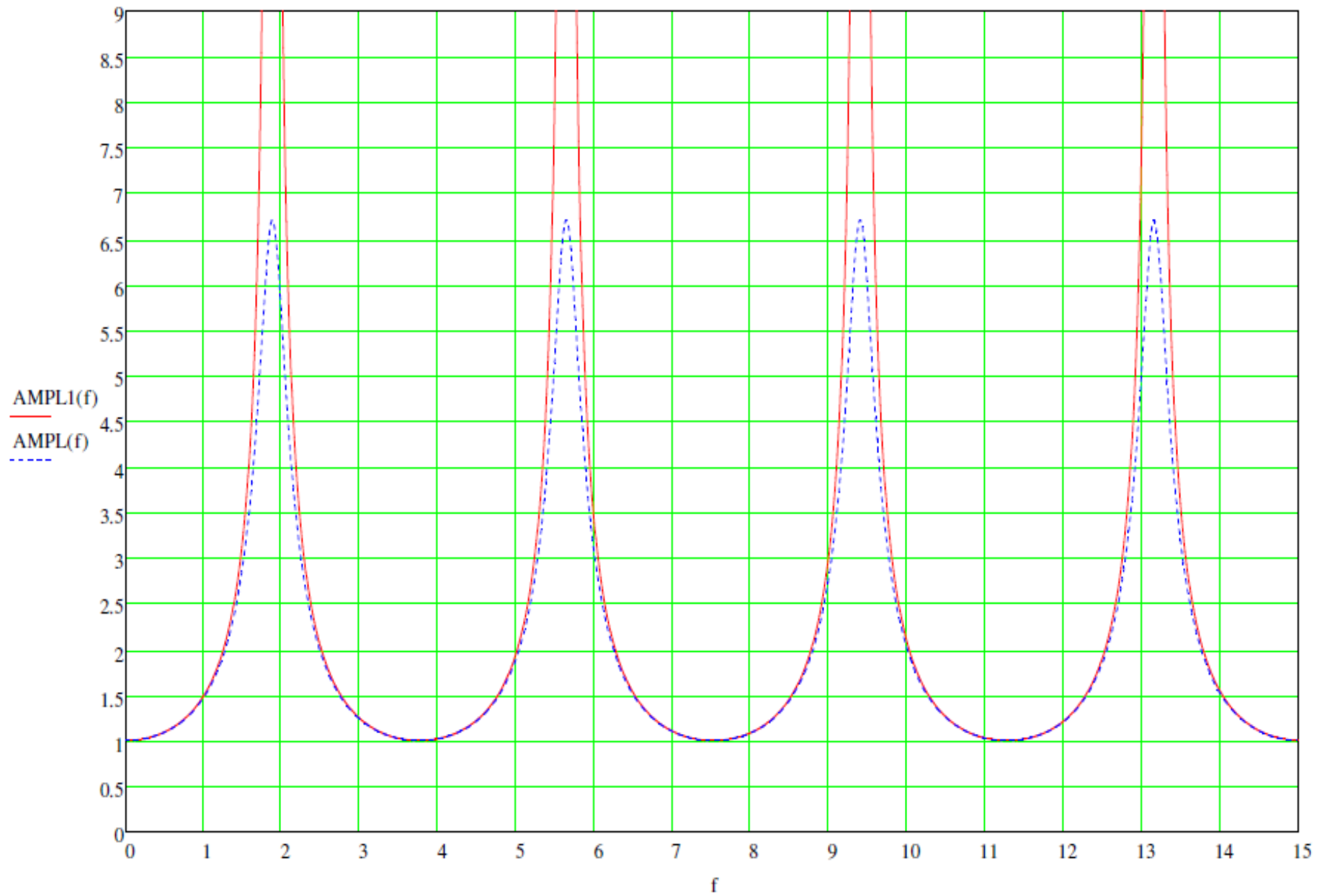
Solos mais fracos amplificam o sismo em baixas frequências

$$p(f) := 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{\frac{\rho_S}{G_S}} \quad \mu := \frac{\rho_S \cdot G_S}{\rho_R \cdot G_R} \quad f := 0, 0.01 \dots 15$$

$$AMPL(f) := \frac{1}{\sqrt{(\cos(p(f) \cdot h))^2 + \mu^2 \cdot (\sin(p(f) \cdot h))^2}}$$

$$AMPL1(f) := \frac{1}{\sqrt{(\cos(p(f) \cdot h))^2}}$$





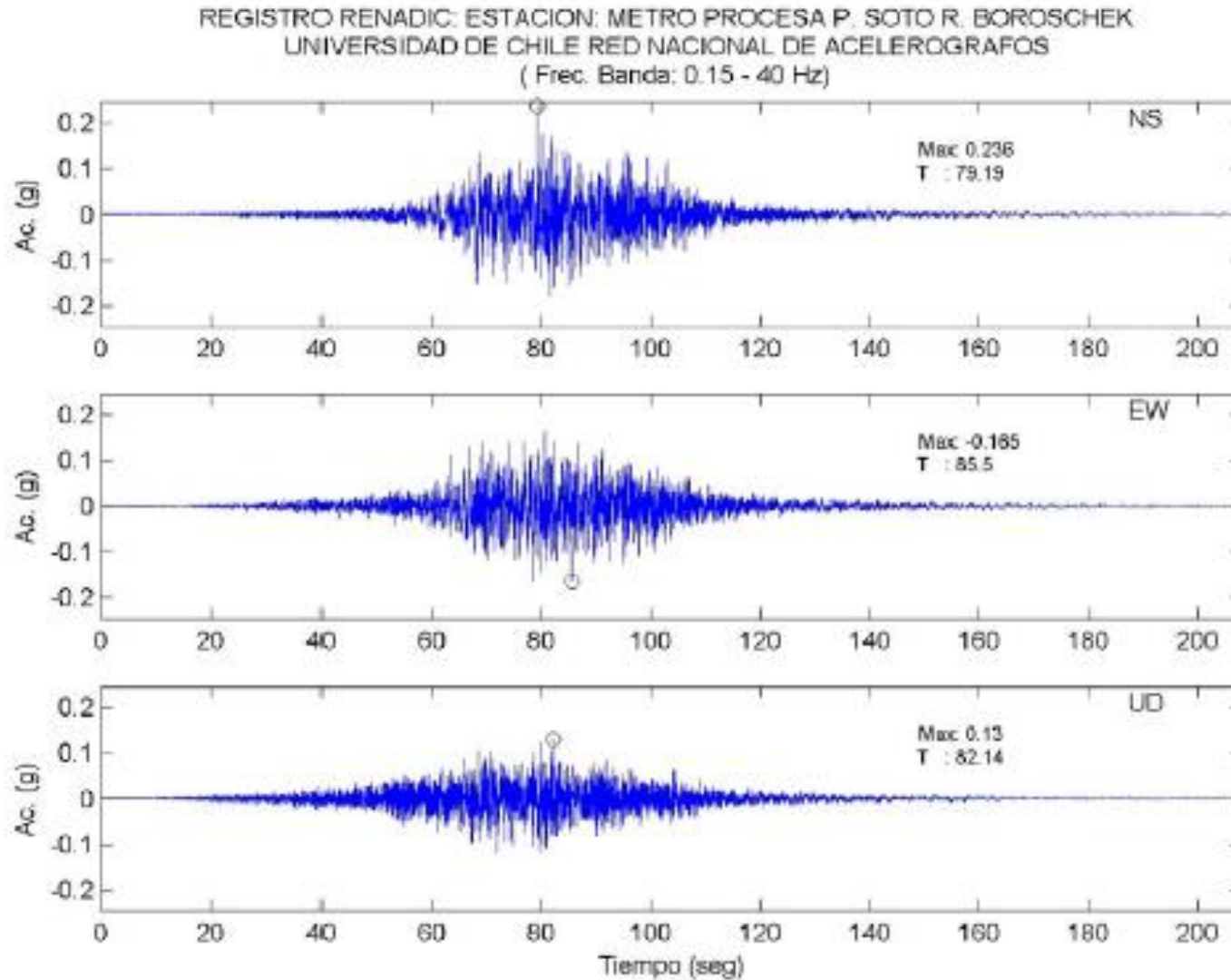
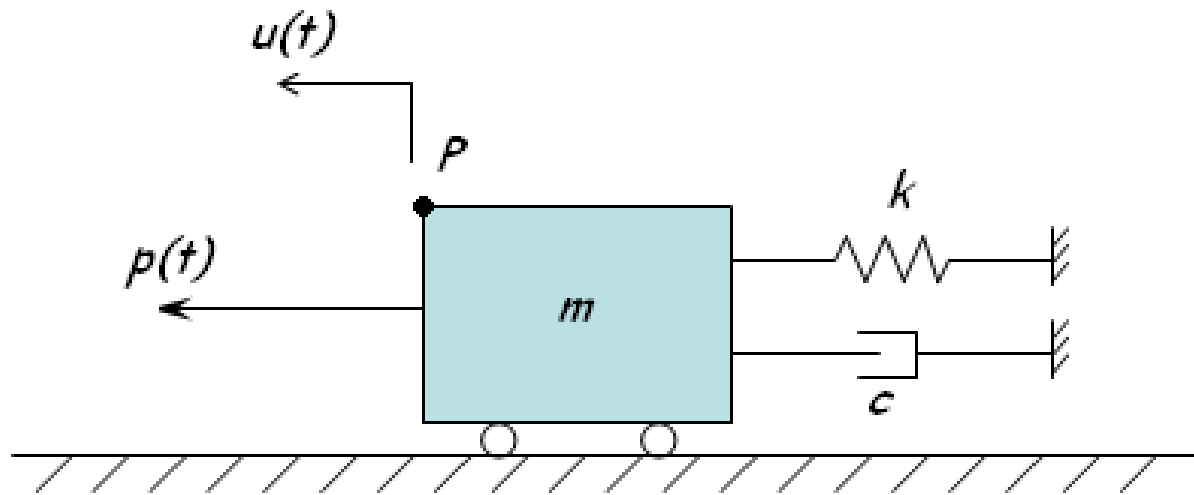
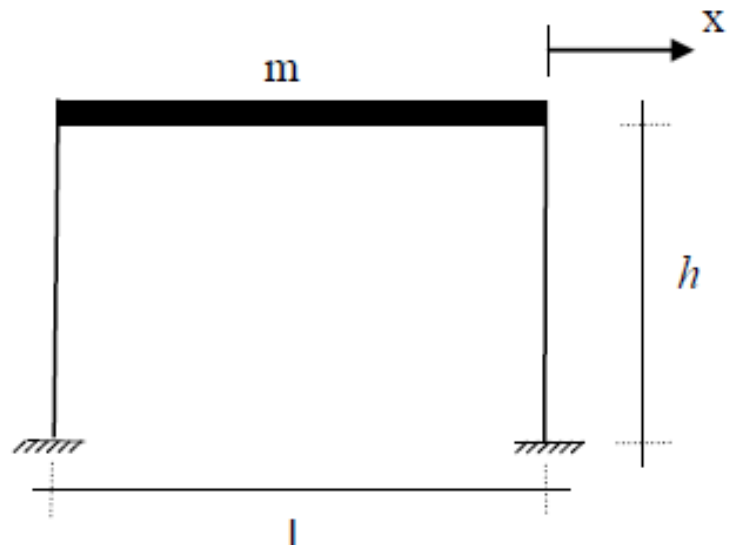


Figura 4 Registro de Aceleraciones Estación Metro Mirador Santiago.



$$w = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$f = \frac{w}{2 \times \pi} = \frac{1}{2 \times \pi} \times \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = \frac{1}{f} = 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\varepsilon = \frac{c}{2 \times m \times w} = \frac{c}{2 \times \sqrt{m \times k}}$$

$$S_a = \omega^2 \cdot S_d \quad S_v = \omega \cdot S_d$$

$$F_{s, \max} = k \cdot S_d = \omega^2 \cdot m \cdot S_d = m \cdot S_a$$

Chile - 2010

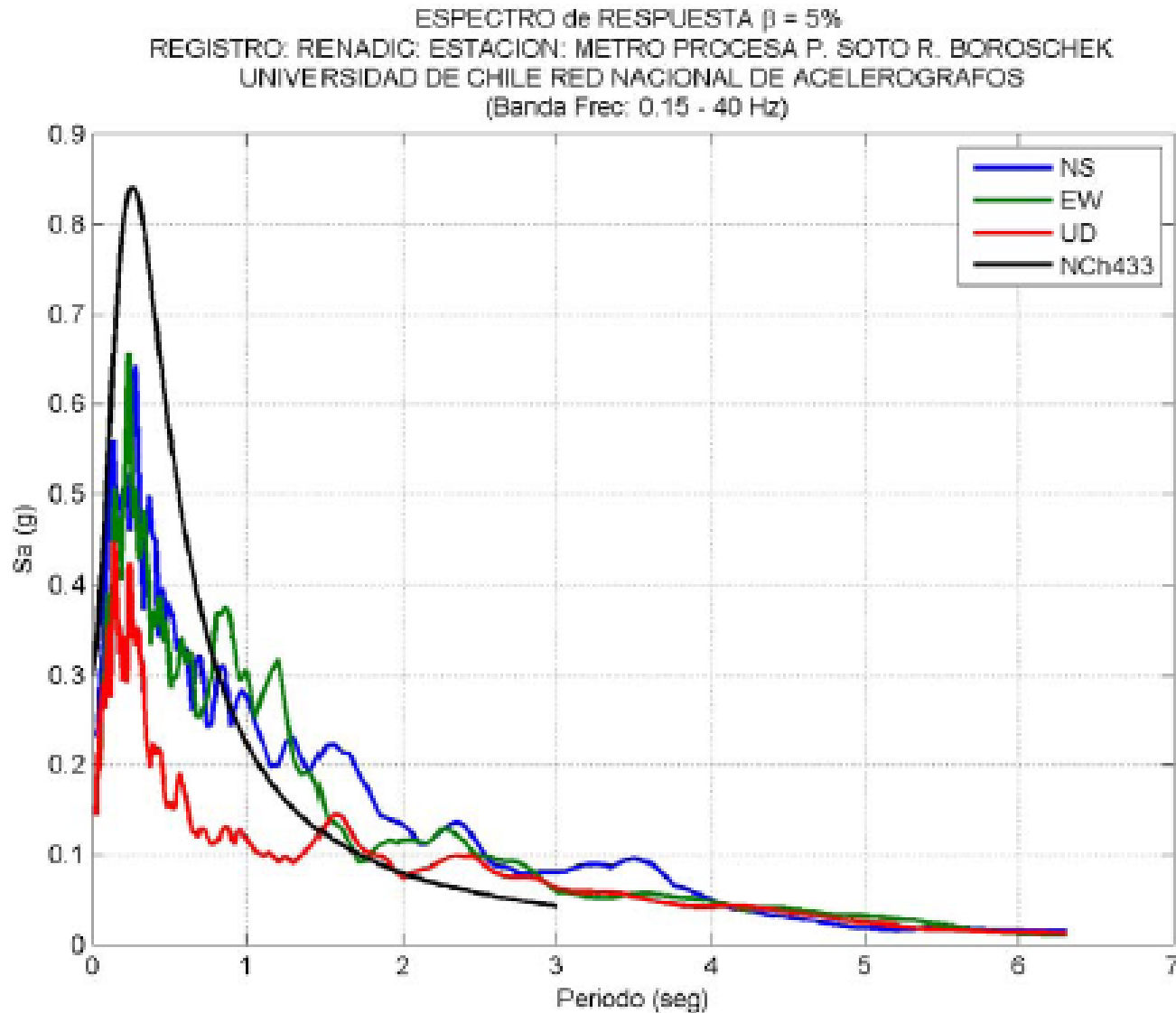


Figura 6 Comparación Espectro de Diseño Norma Chilena NCh433 – Estación Metro Mirador Santiago.

Parte III - Sismicidade no Brasil

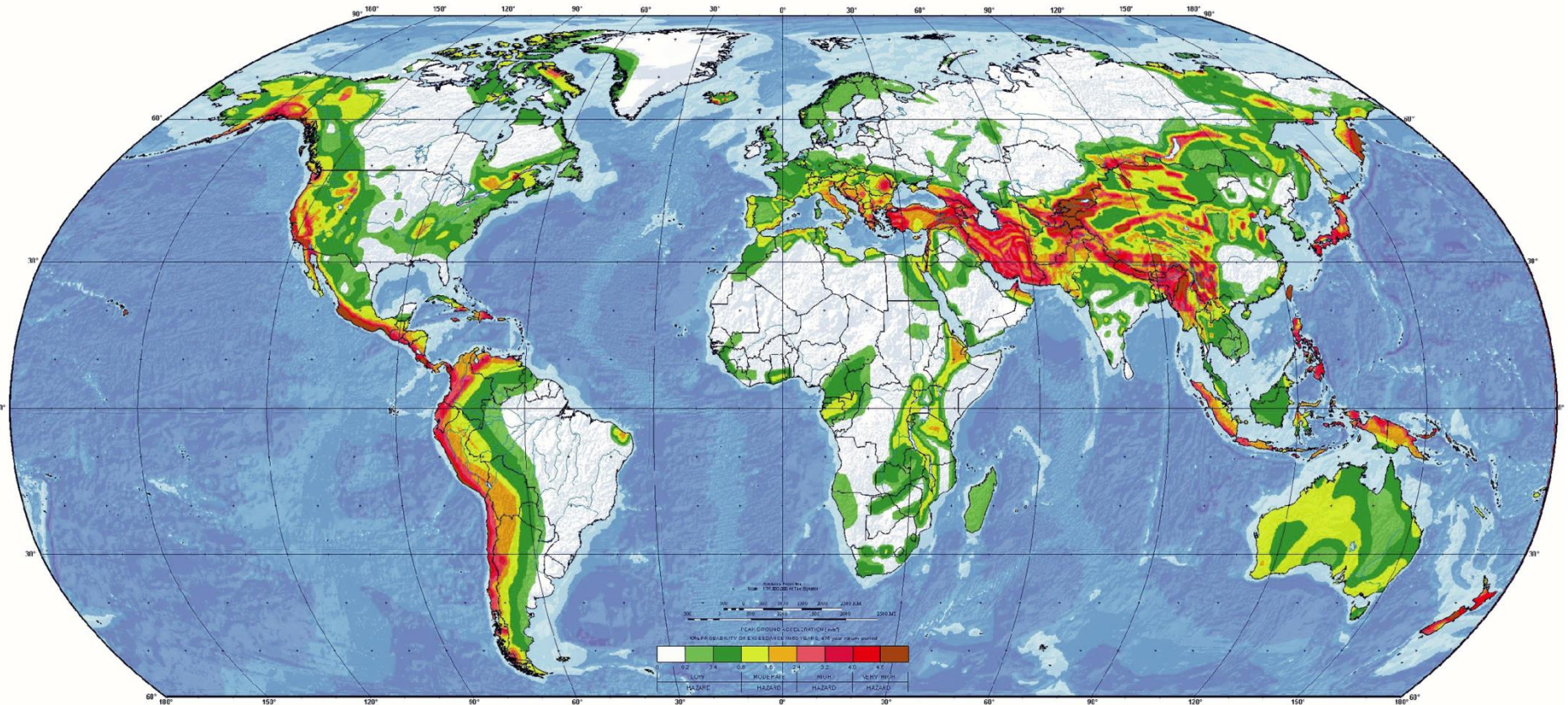
- O estudo da sismicidade no Brasil começou nos anos 70. Dados sismológicos são coletados em uma rede em operação contínua. Este estudo da sismicidade no Brasil não foi ainda concluído.
- Um estudo sísmico mundial foi feito (1999) pelo GFZ-POTSDAM, e considerado pelo U.S. Geological Survey (“Seismic Hazard Map of South America”).
- O Brasil apresenta sismicidade muito baixa (região intra-placas tectônicas), com acelerações horizontais em geral inferiores a $0,25 \text{ m/s}^2$.
- Exceções são alguns estados do Nordeste, próximos à falha do Atlântico Central, e a Amazônia Ocidental, próxima à Cordilheira dos Andes.

Sismicidade no Mundo

GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP

Produced by the Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP),
a demonstration project of the UN/International Decade of Natural Disaster Reduction, conducted by the International Lithosphere Program.

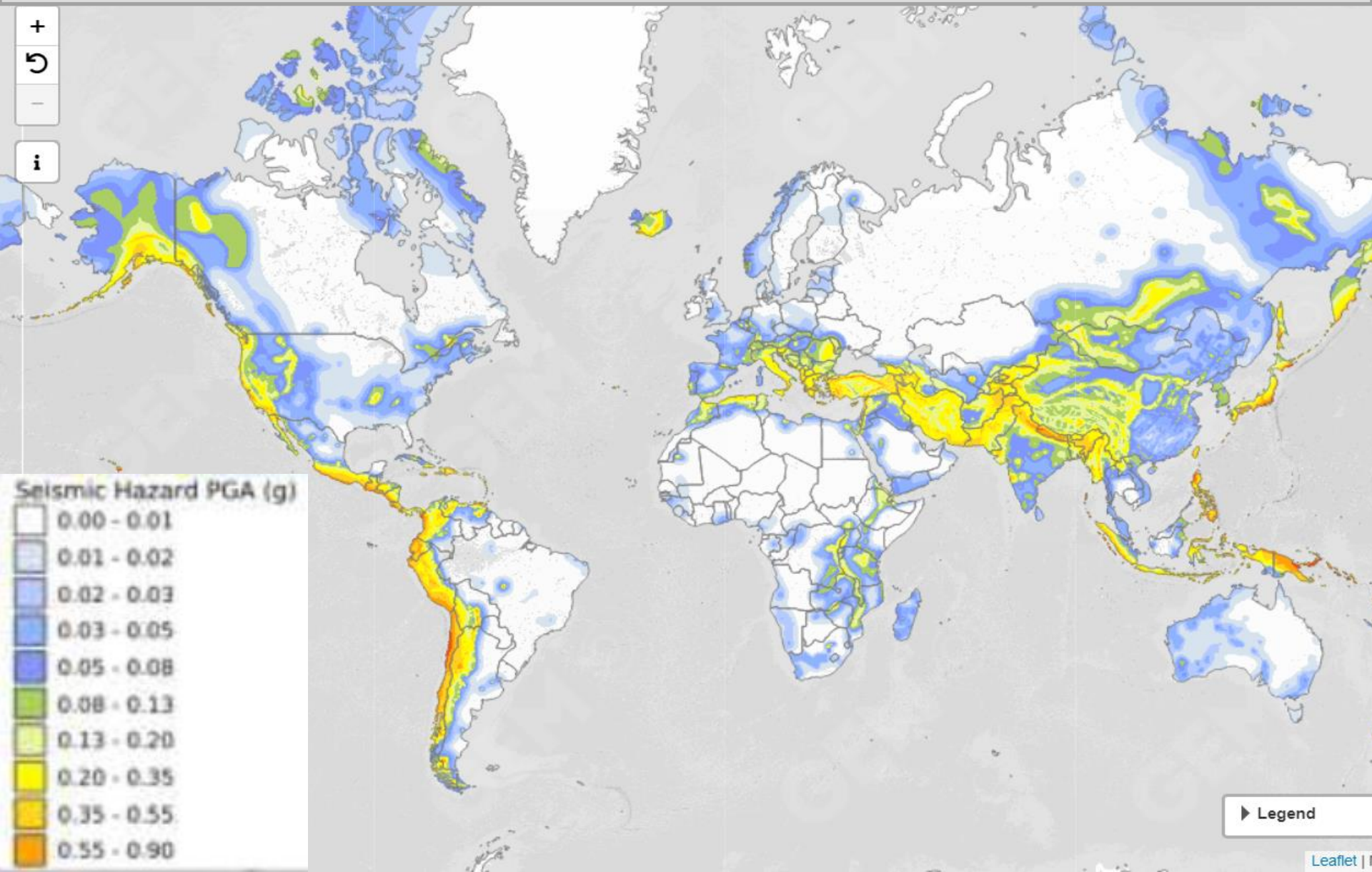
Global map assembled by D. Giardini, G. Grünthal, K. Shedlock, and P. Zhang
1999

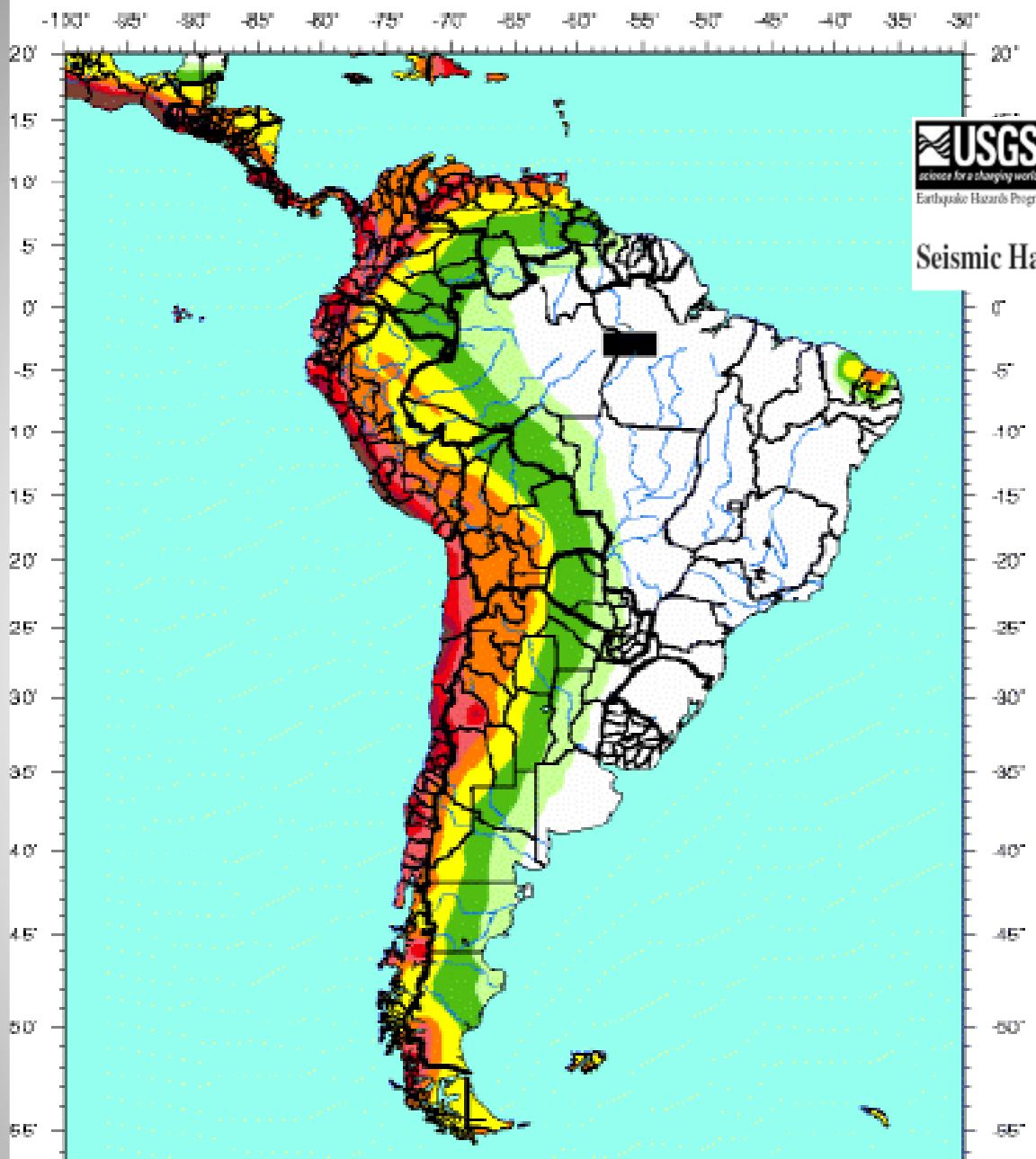


<https://media.gfz-potsdam.de/gfz/wv/pic/globalseismichazardmap.png>

Sismicidade no Mundo

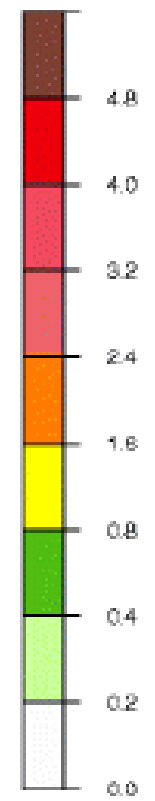
<https://maps.openquake.org/map/global-seismic-hazard-map/#2/35.6/16.5>





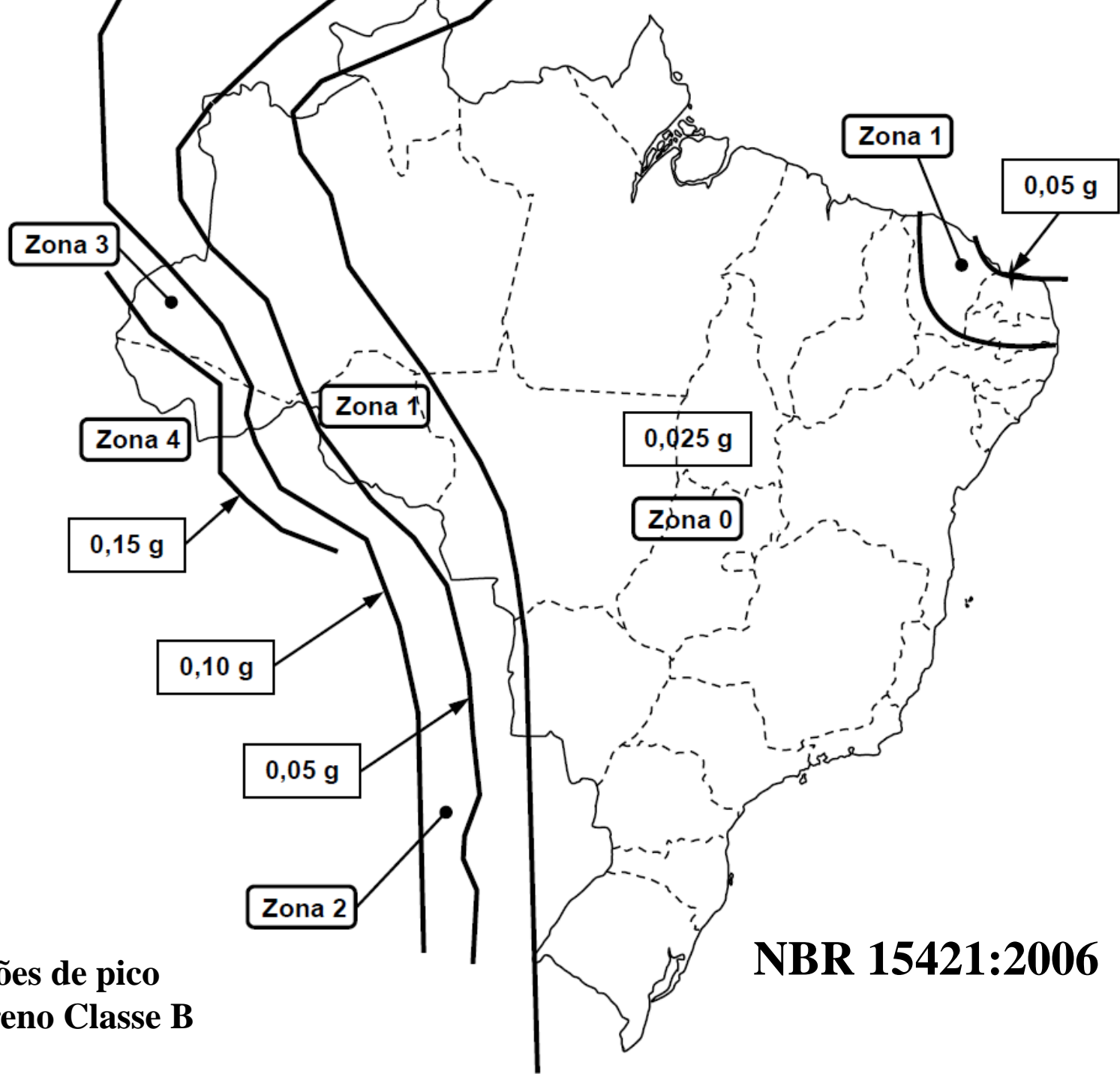
Seismic Hazard Map of South America

[USGS Home](#)
[Contact USGS](#)
[Search USGS](#)



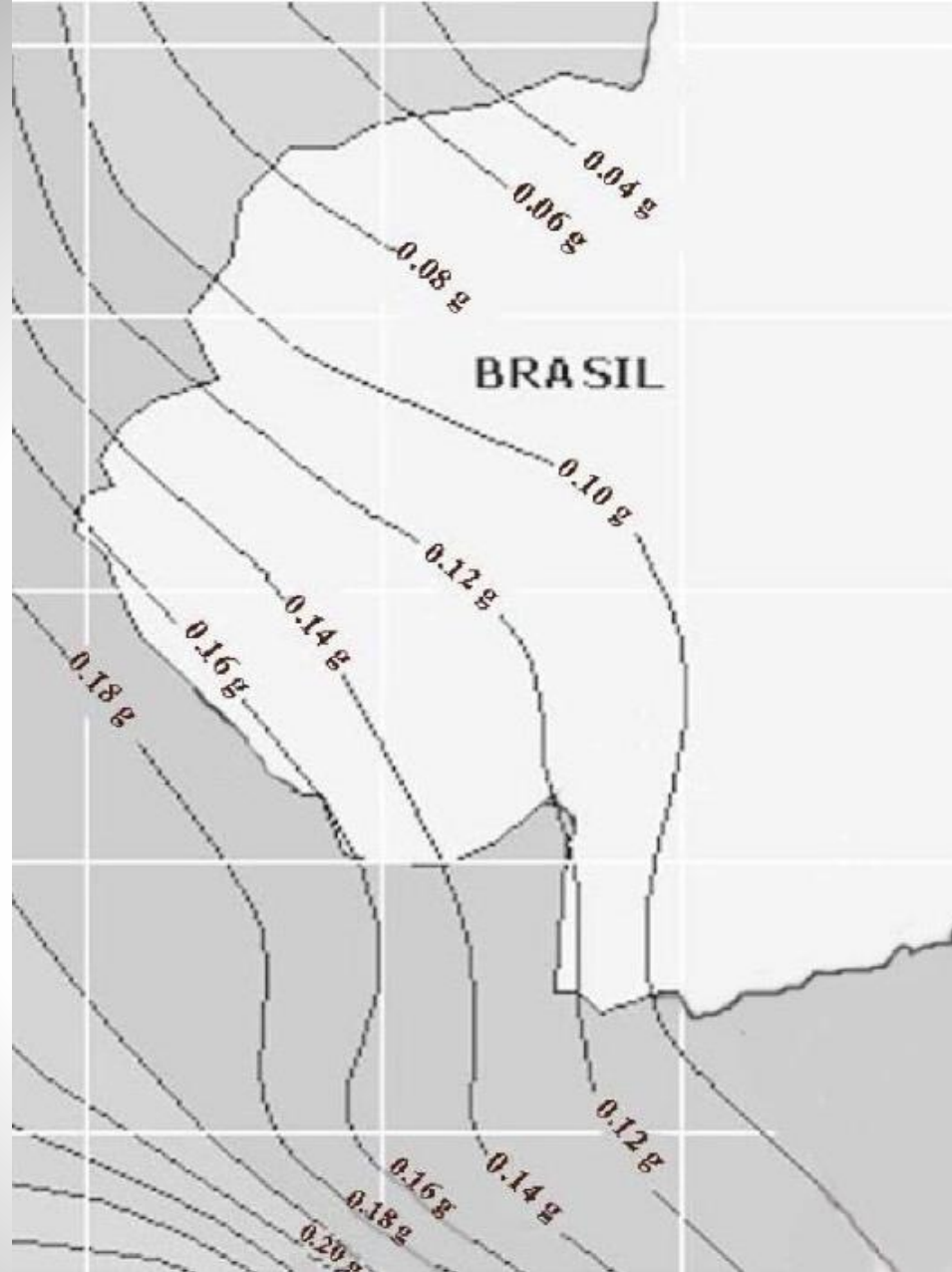
Risco sísmico na América do Sul



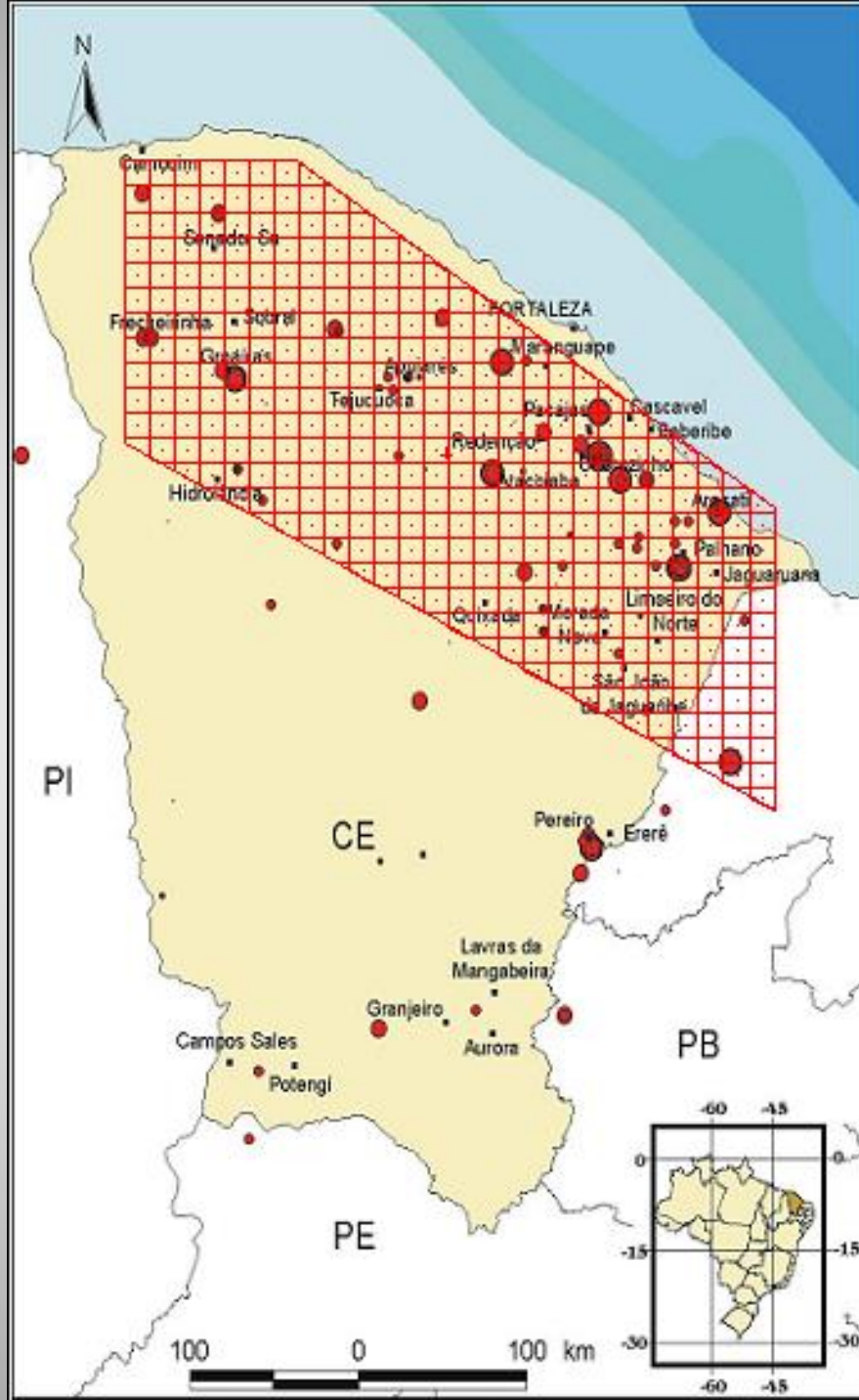


**Acelerações de pico
para terreno Classe B**

NBR 15421:2006



Sismicidade na Amazônia (Monroy et al. 2005)



Estudo da sismicidade no Ceará (Marza et al.)

Modelos de Atenuação

Função para o centro e leste americano (Toro e outros - 1997):

GERAL

$$\log(PGA) = C_2 + C_2(M_w - 6)^2 - C_3(\log R_M) + C_4 \max(\log \frac{R_M}{100}, 0) - C_5 R_M$$

PGA

$$\log(PGA) = 2,07 + 1,20(M_w - 6)^2 - 1,28(\log R_M) + 0,05 \max(\log \frac{R_M}{100}, 0) - 0,0018 R_M$$

em g's

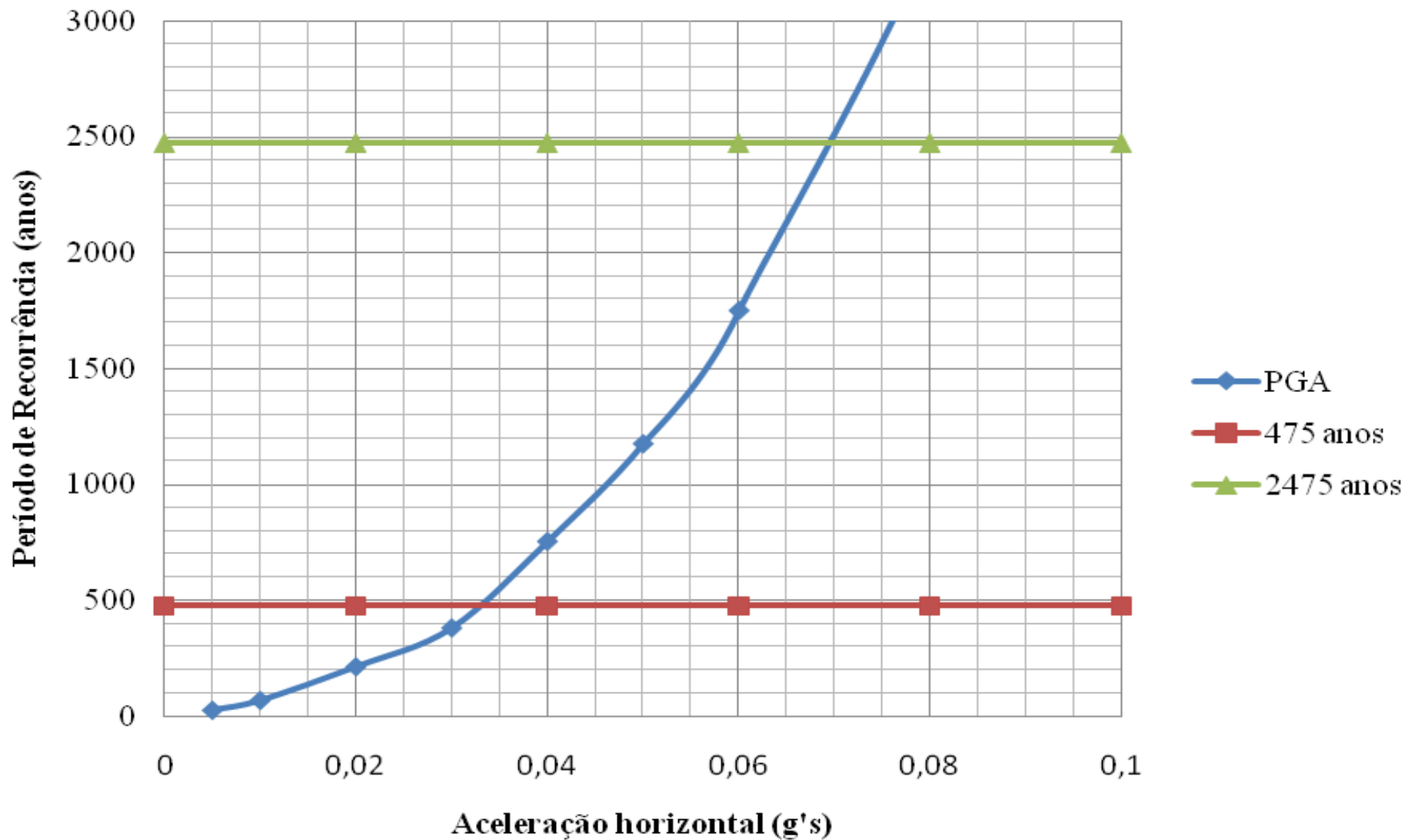
$$R_M = \sqrt{d^2 + 9,3^2}$$

distância ao
epicentro (km)

Expressão de Gutenberg-Richter para o Ceará:

$$\log_{10}(\sum N) = 2,92 - 1,01 \cdot M$$

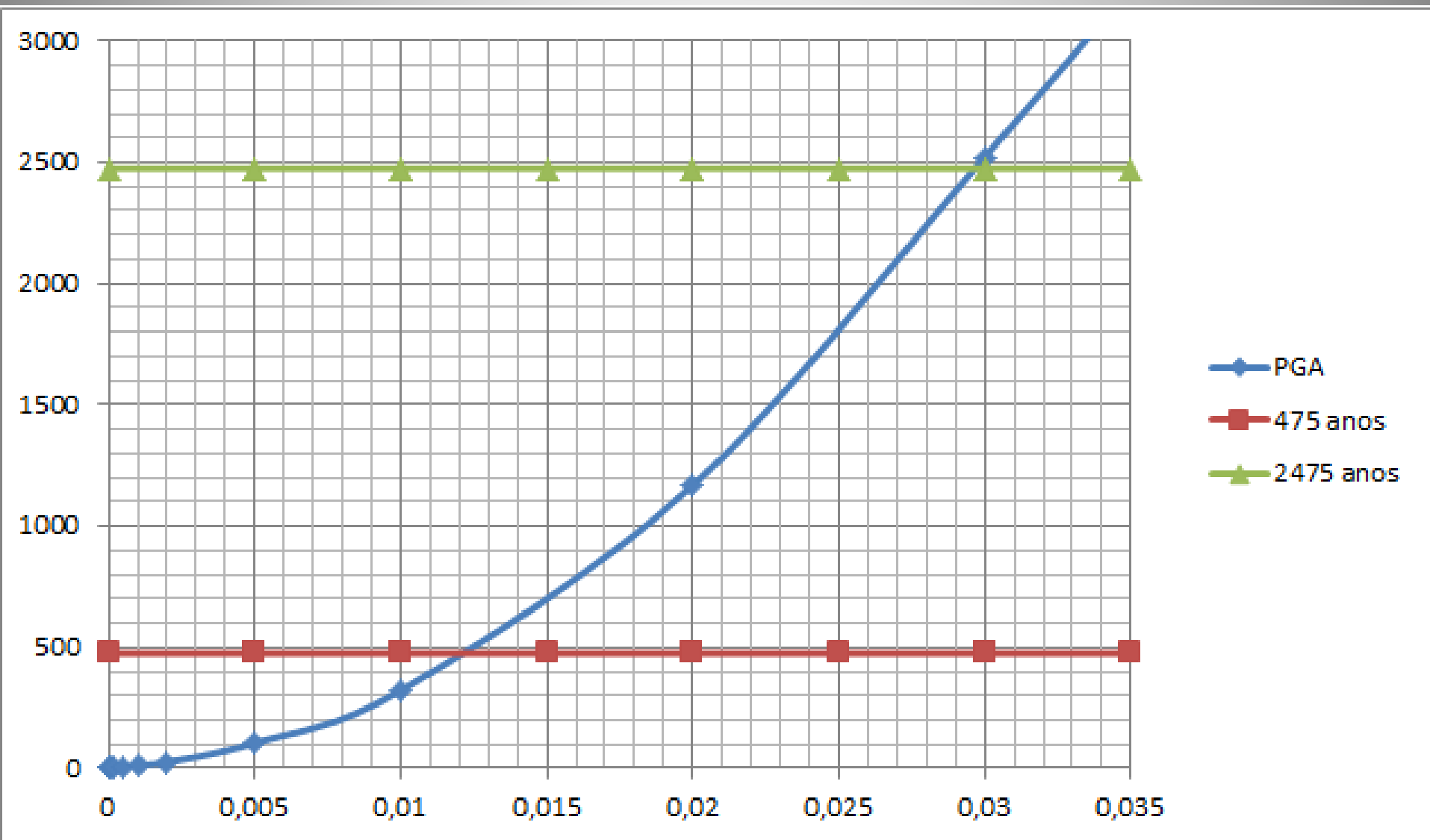
Região Nordeste - PGA



REGIÃO SUDESTE



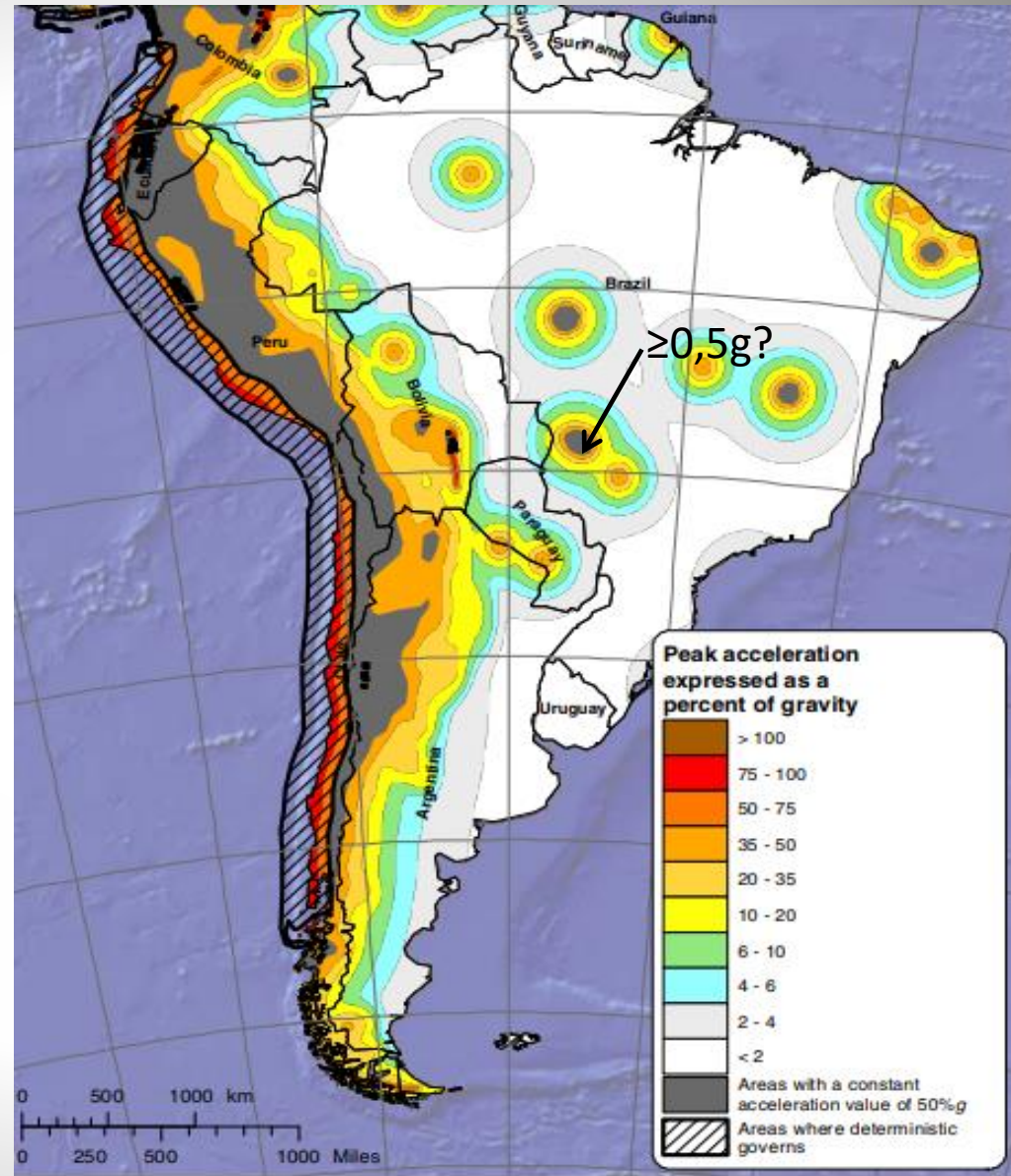
REGIÃO SUDESTE - PGA



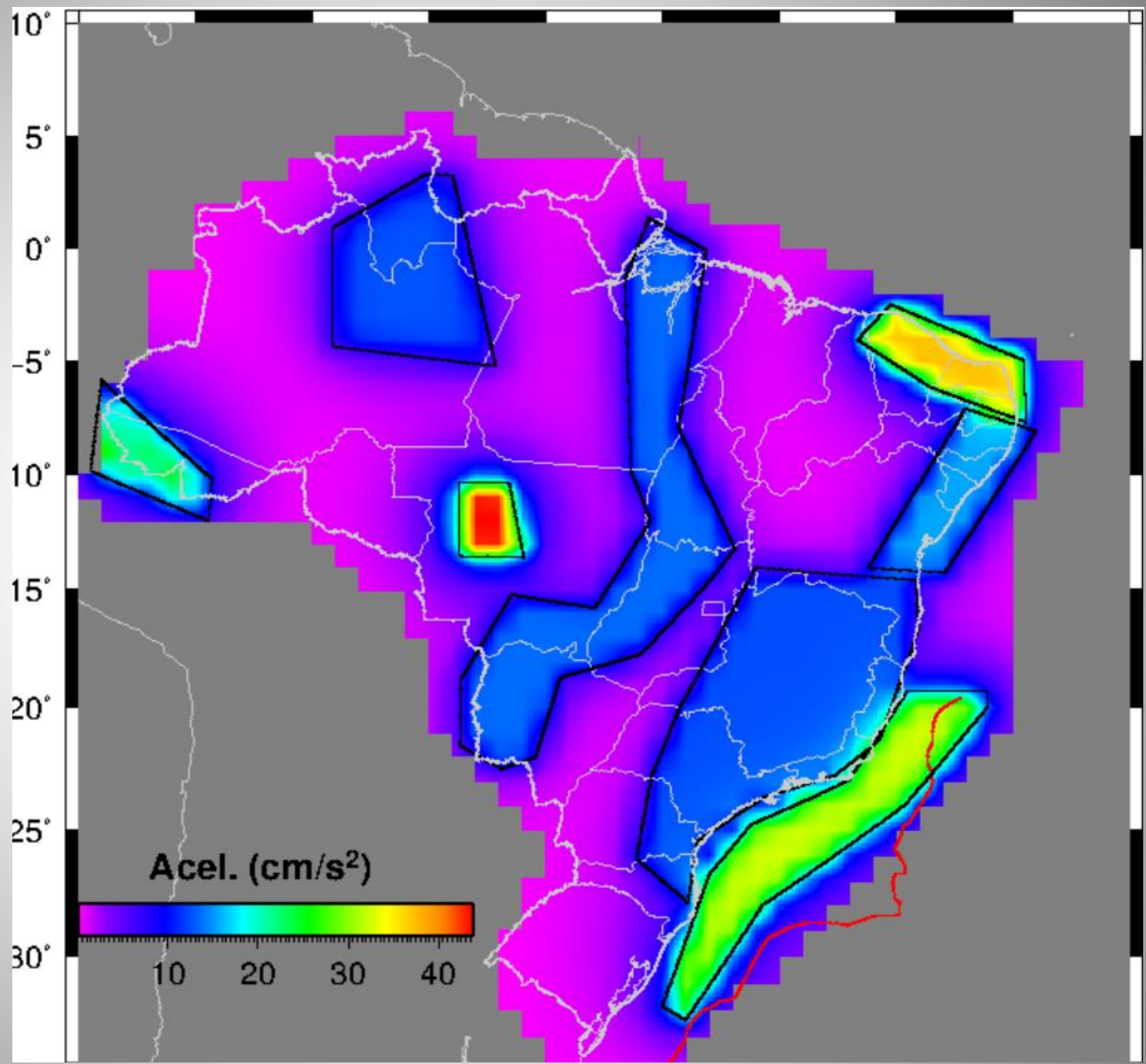
Parte IV – Novos Estudos Sísmicos

Novos estudos para a sismicidade brasileira

PETERSEN M.D., HARMSEN S.C., JAISWAL K.S., RUSKTALES K.S., LUCO N., HALLER K.M., MUELLER C.S., SHUMWAY A.M. *Seismic Hazard, Risk, and Design for South America*. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 108, pp. 781–800, 2018



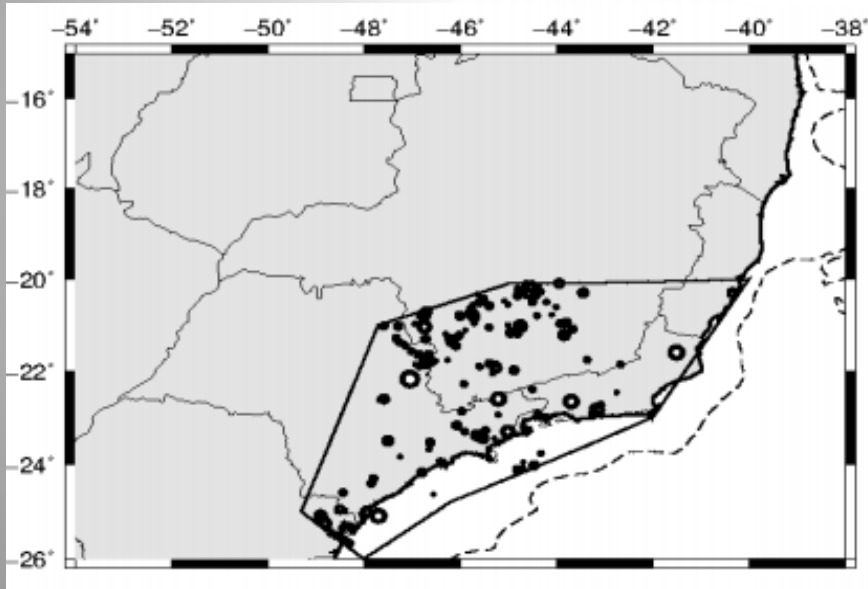
- Dourado (2014)



- Novos dados para o Sudeste (Dourado, 2013)

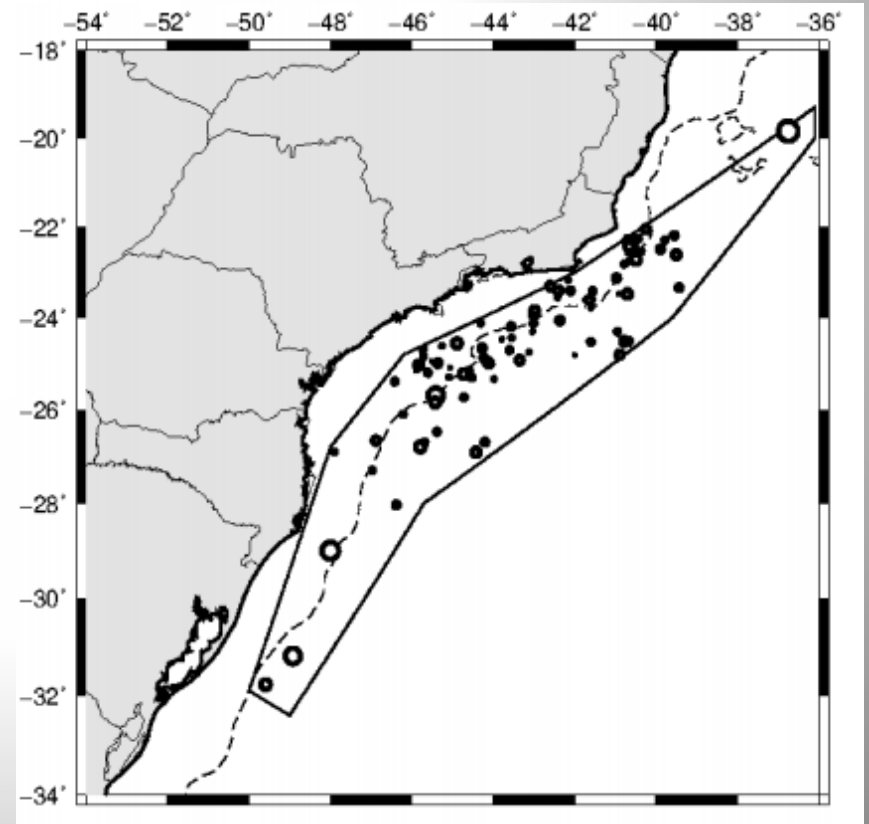
Inshore:

$$\log_{10}(\Sigma N) = 3,9969 - 1,3113 \cdot M$$

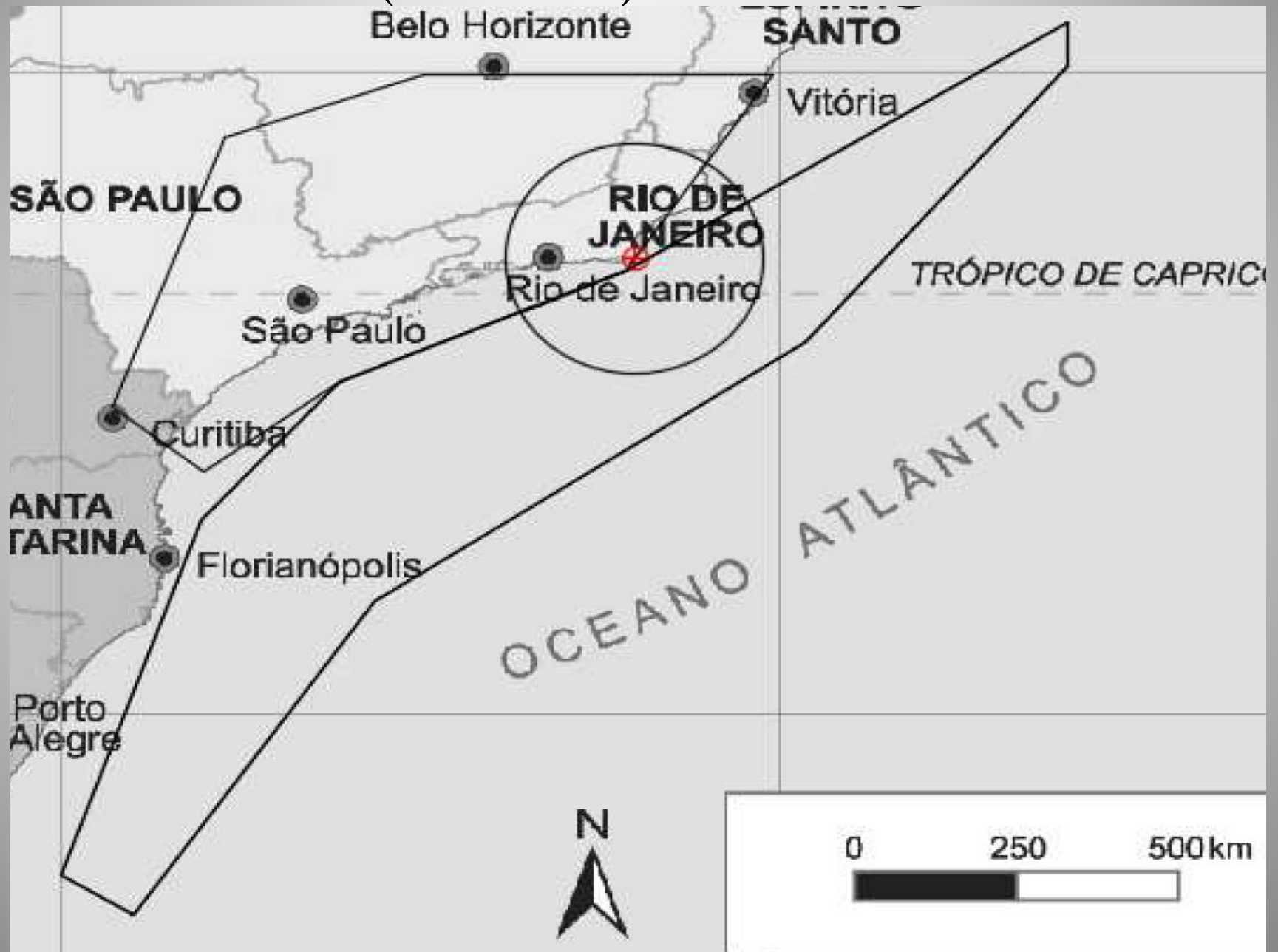


Offshore:

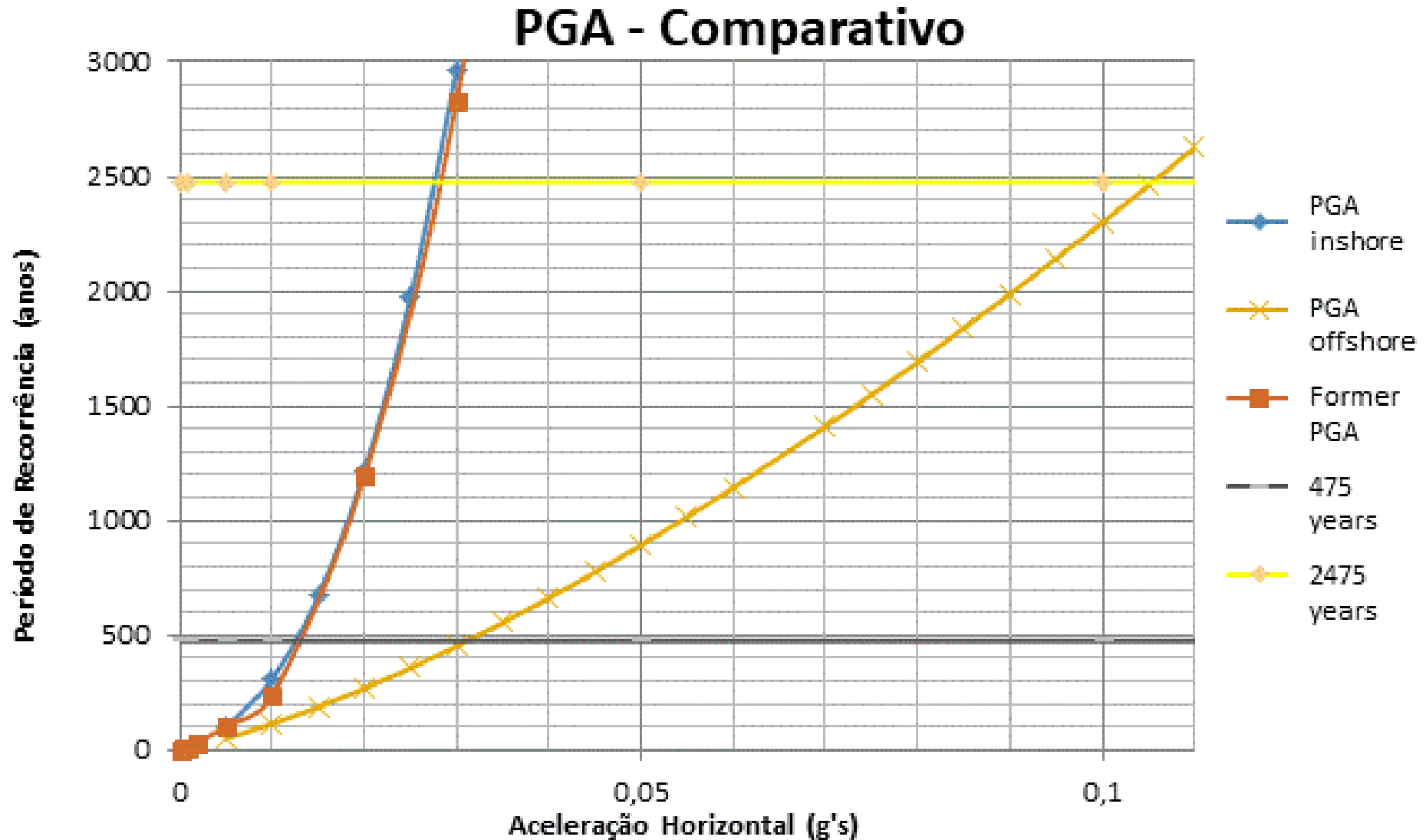
$$\log_{10}(\Sigma N) = 2,4759 - 0,7629 \cdot M$$



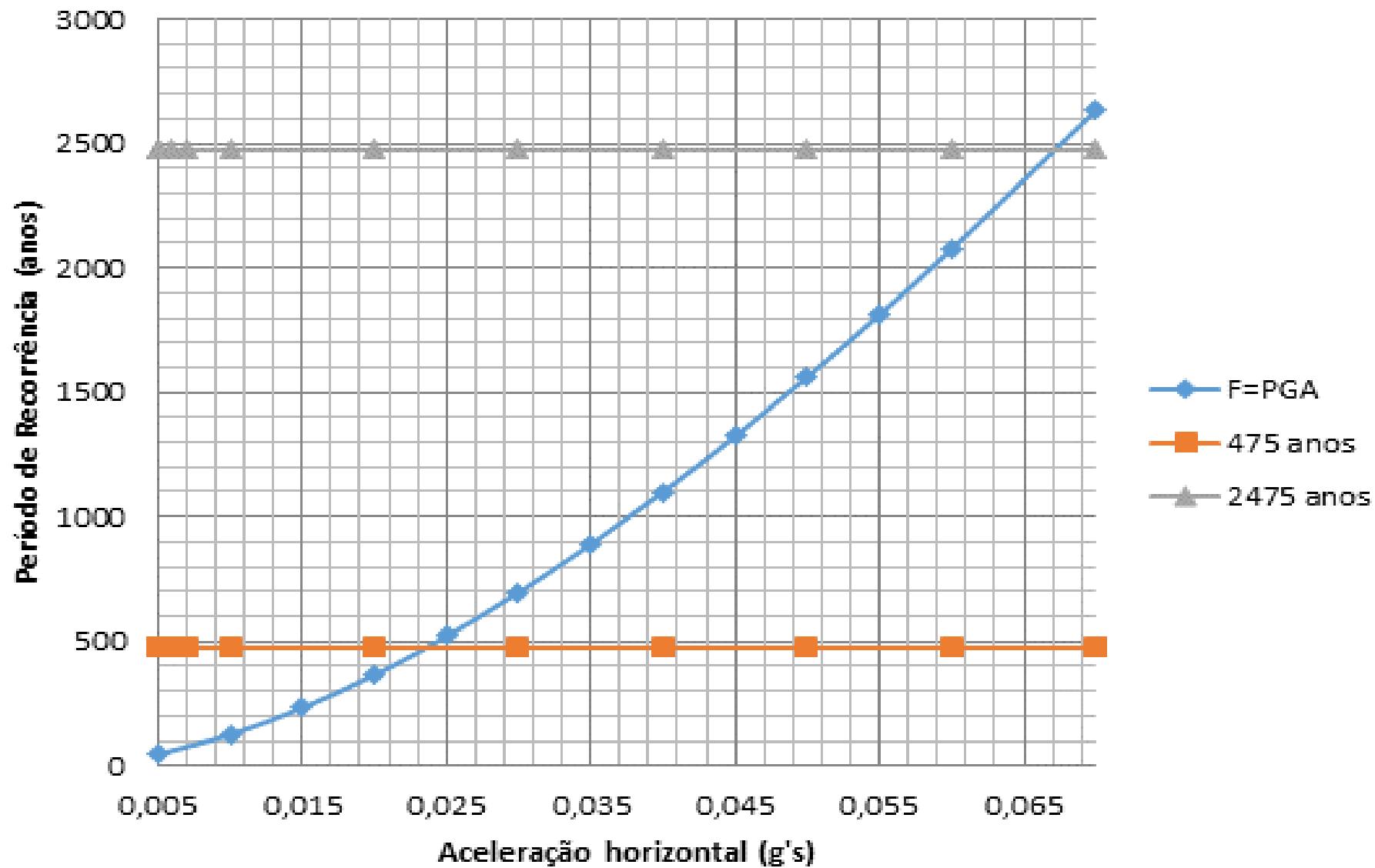
- Ponto analisado (Cabo Frio)



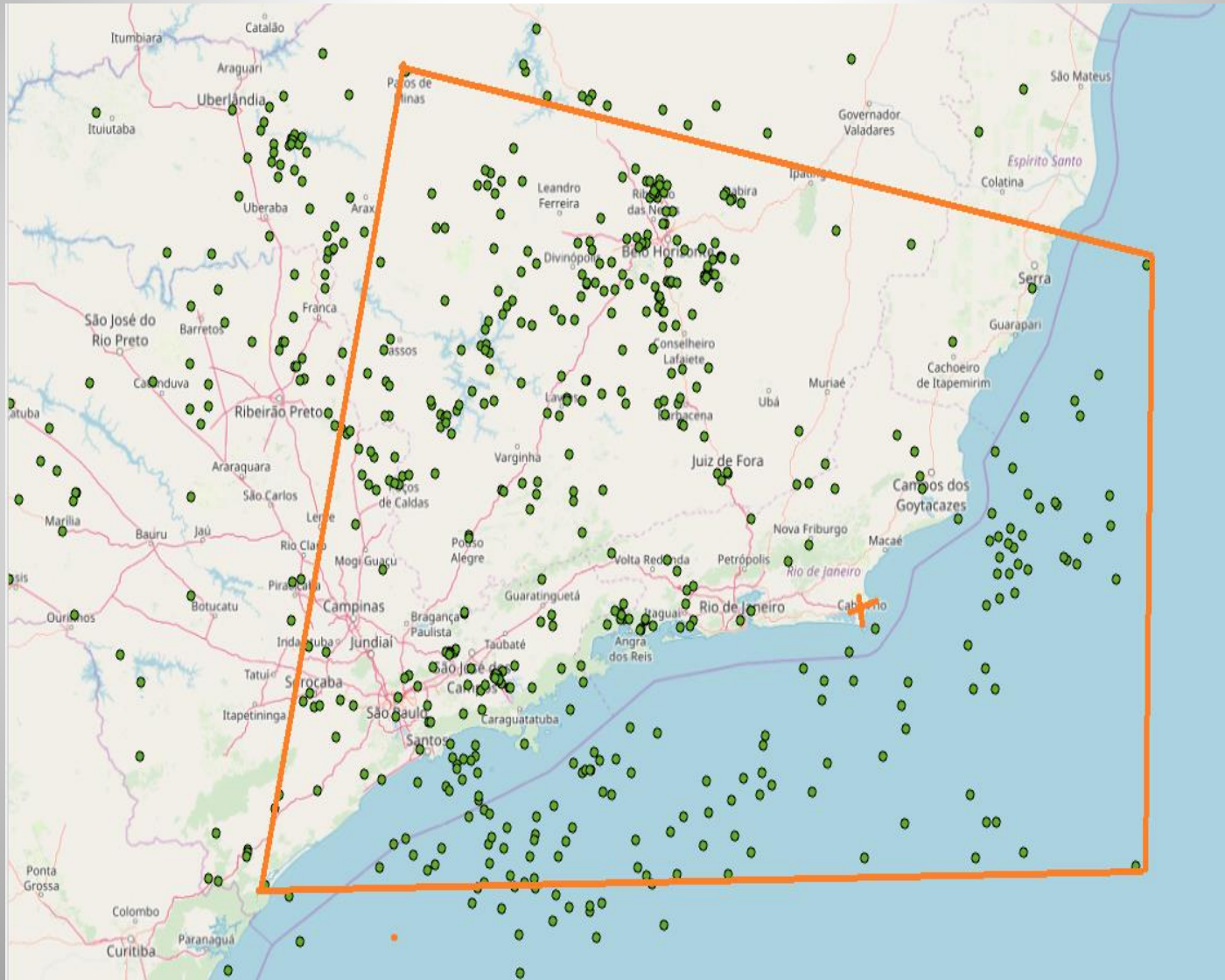
- **PGA – Comparação de resultados**



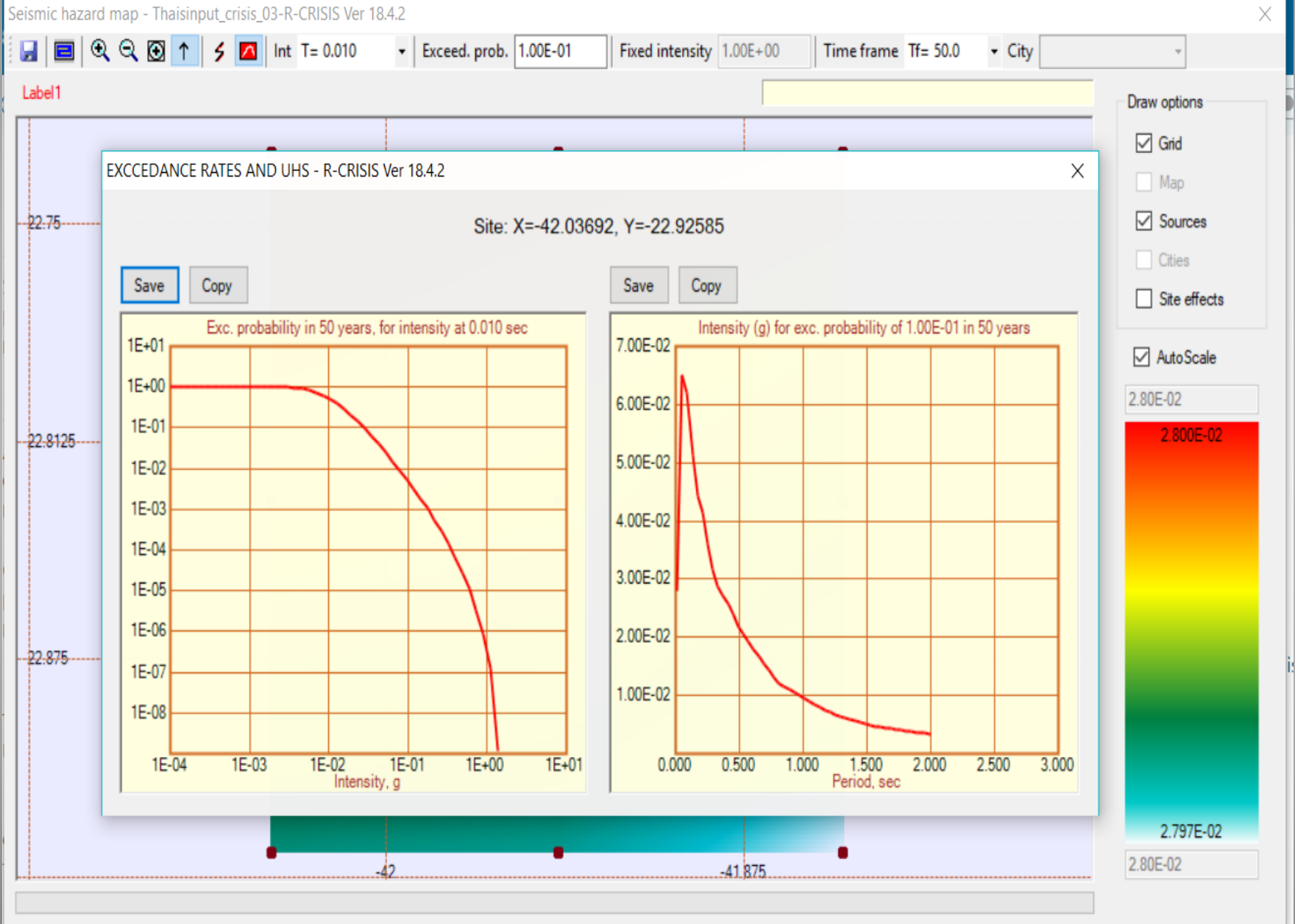
Cabo Frio - PGA



- Estudos de Thais Ventura e Ezio Faccioli no Politecnico de Milano (2019)



• Resultados do programa CRISIS



- Estudos de Felipe de Vasconcelos Alves (30/09/2019) - Programa CRISIS

SEISMICITY - R-CRISIS Ver 18.4.2

Source number: 1

Source name: **Sul-Sudeste** Nome da fonte sísmica

Change seismicity class

Draw options: Active, All

Latitude

Parâmetros editáveis da fonte sísmica

Threshold magnitude (M0): 3

Lambda(M0): 2.4425

Expected value of Beta: 3.0834

Coefficient of variation of Beta: 0.221

Number of magnitudes: 20

Parameters defining Mu:

Expected value: 6

Uncertainty range (+/-): 0.3

Map showing seismicity distribution in the Southeastern region of Brazil.

TFrame	M rate (dyne cm/yr)	S rate (mm/yr)
50.0	1.47E+22	4.59E-05

Compute Moment rate

Gráfico da relação de Gutenberg-Richter truncada

Exit

- CRISIS Natal

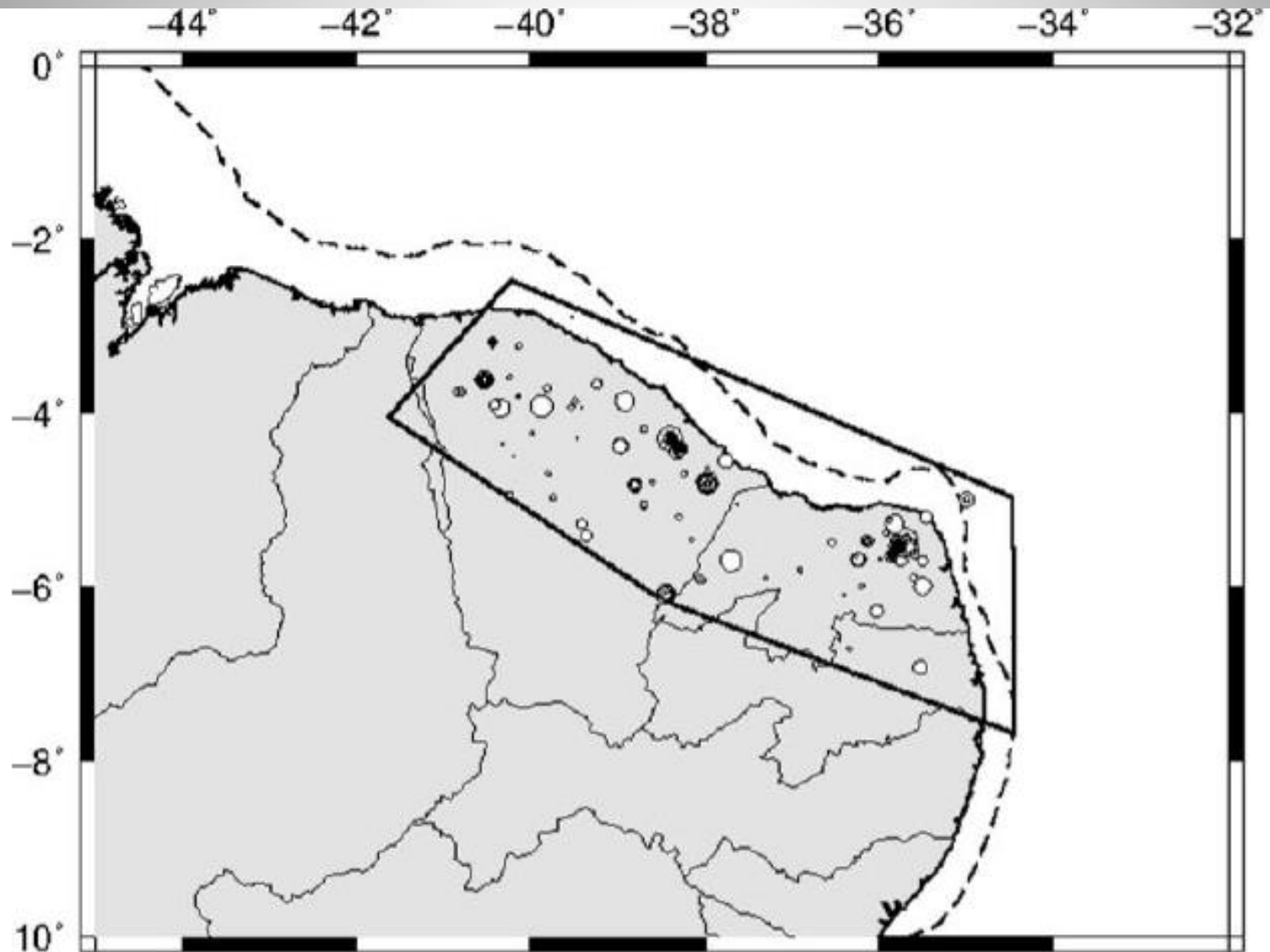
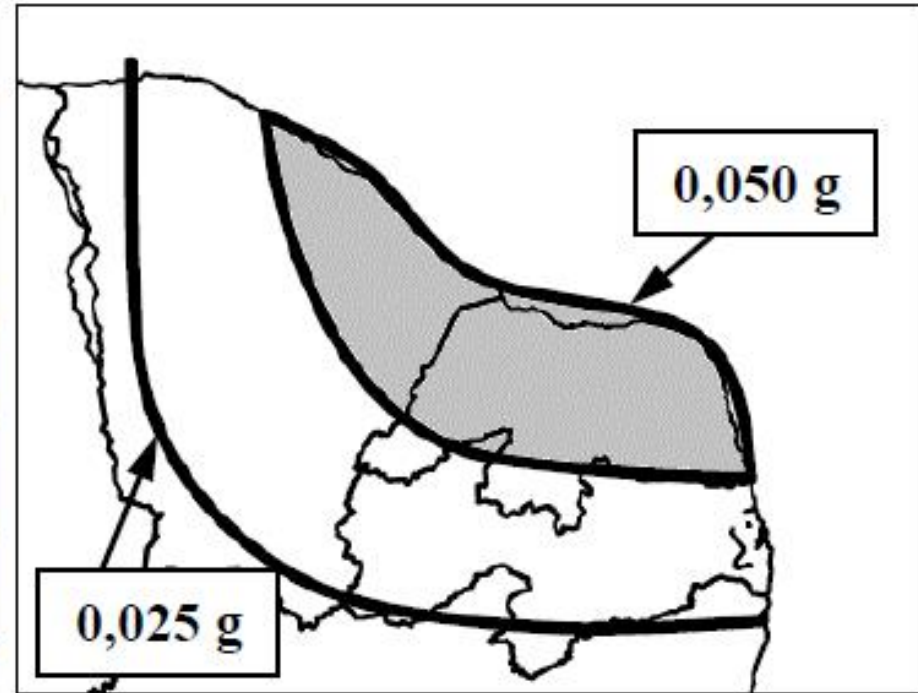
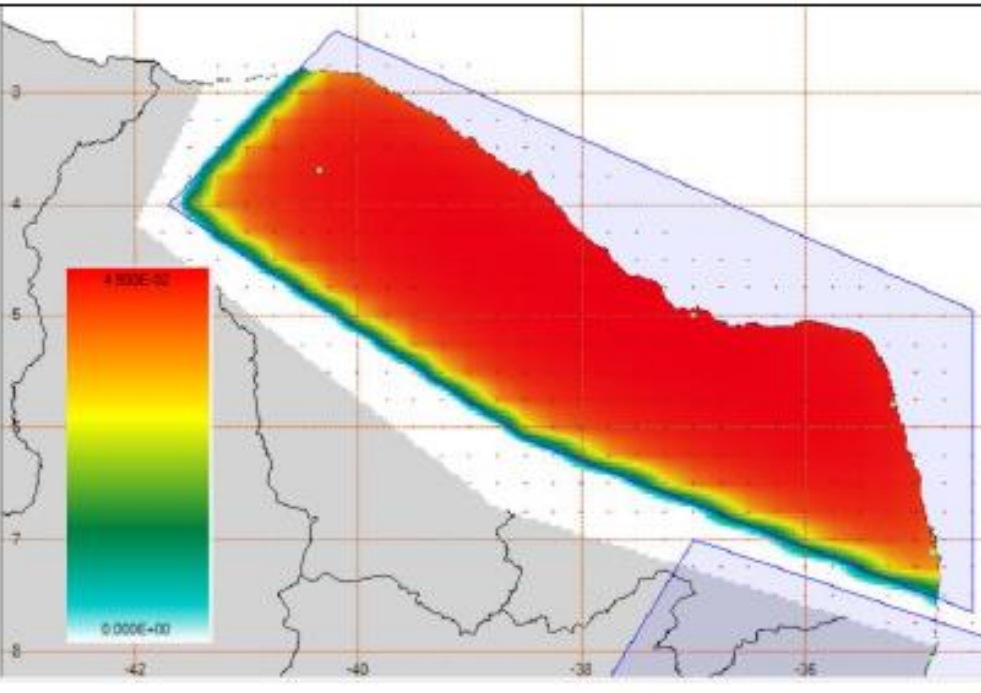
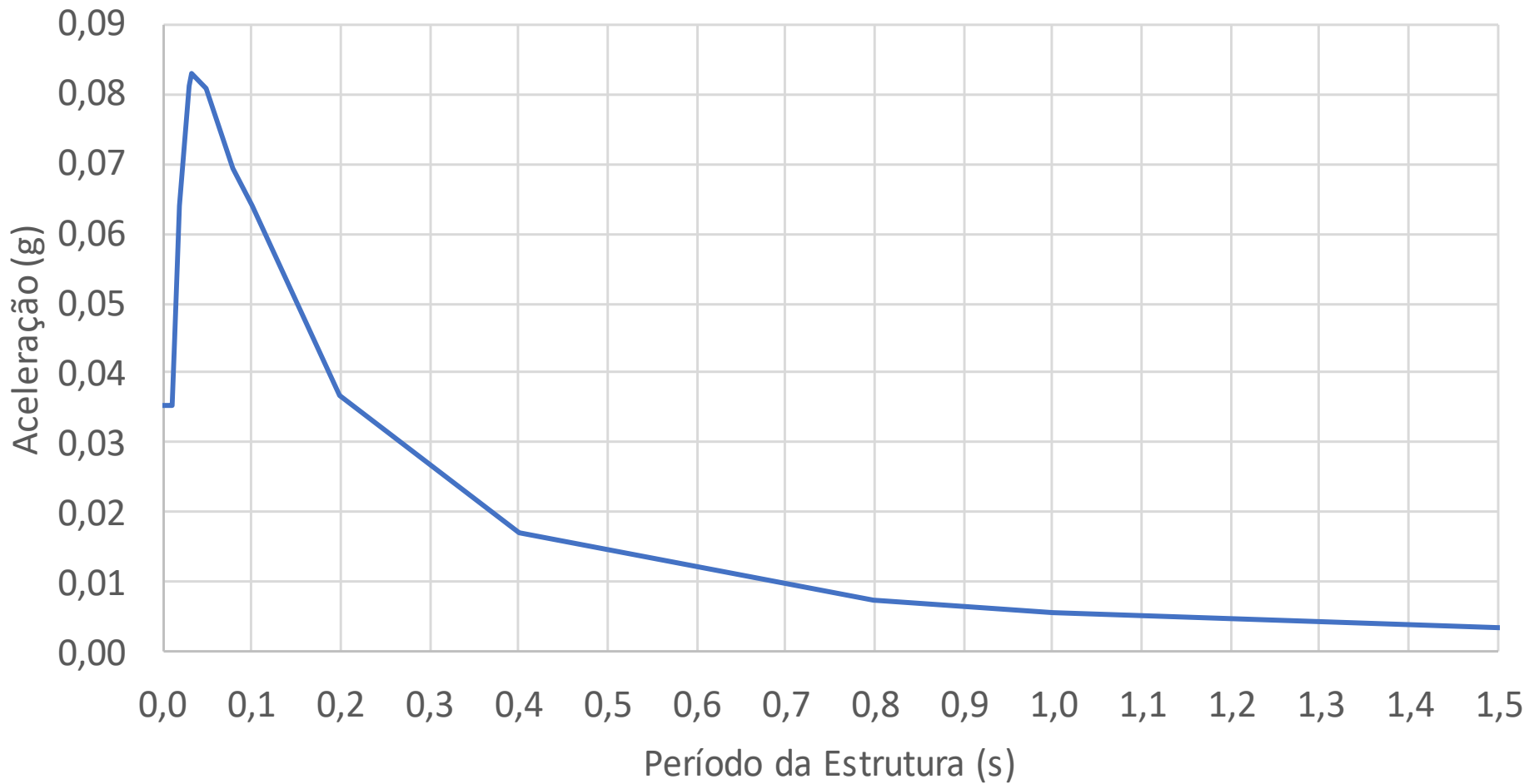


Figura 7-4 - Detalhe da área-fonte Nordeste 1. Fonte: DOURADO (2014).

- CRISIS Natal

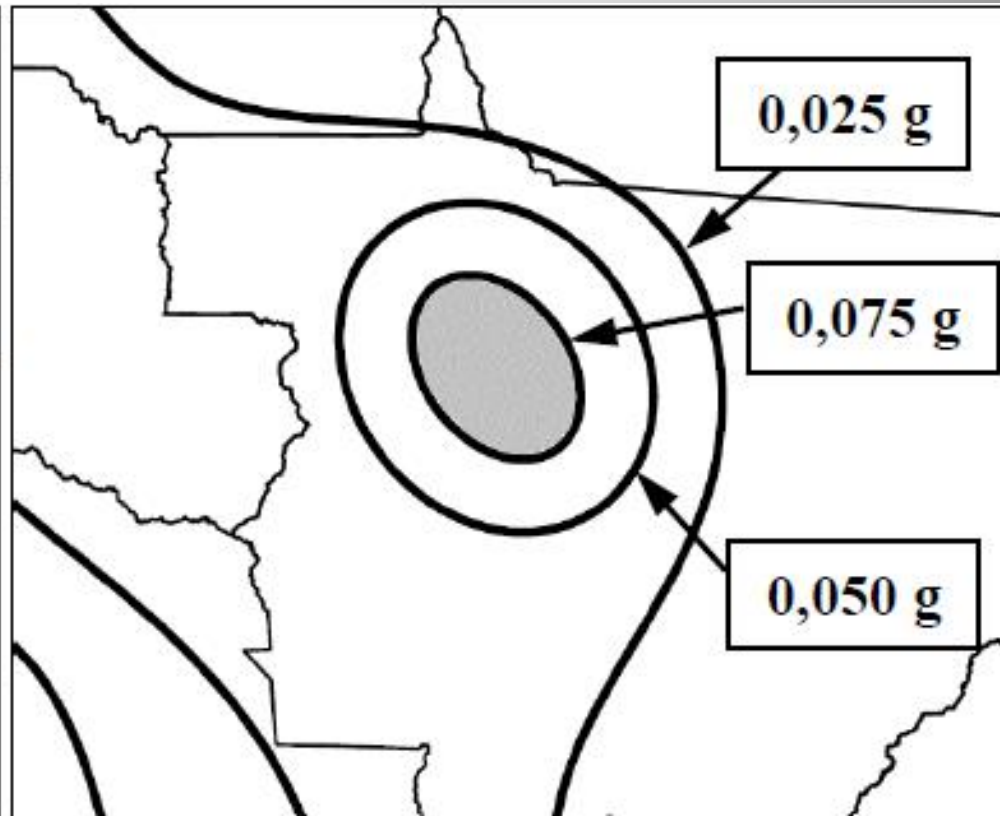
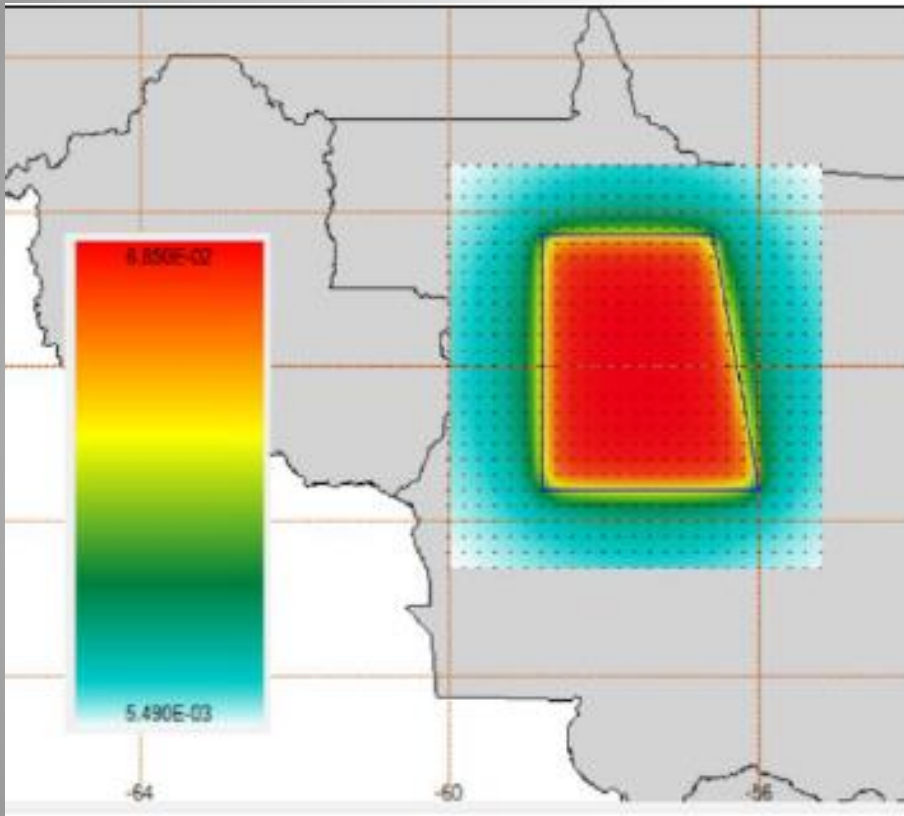


Natal

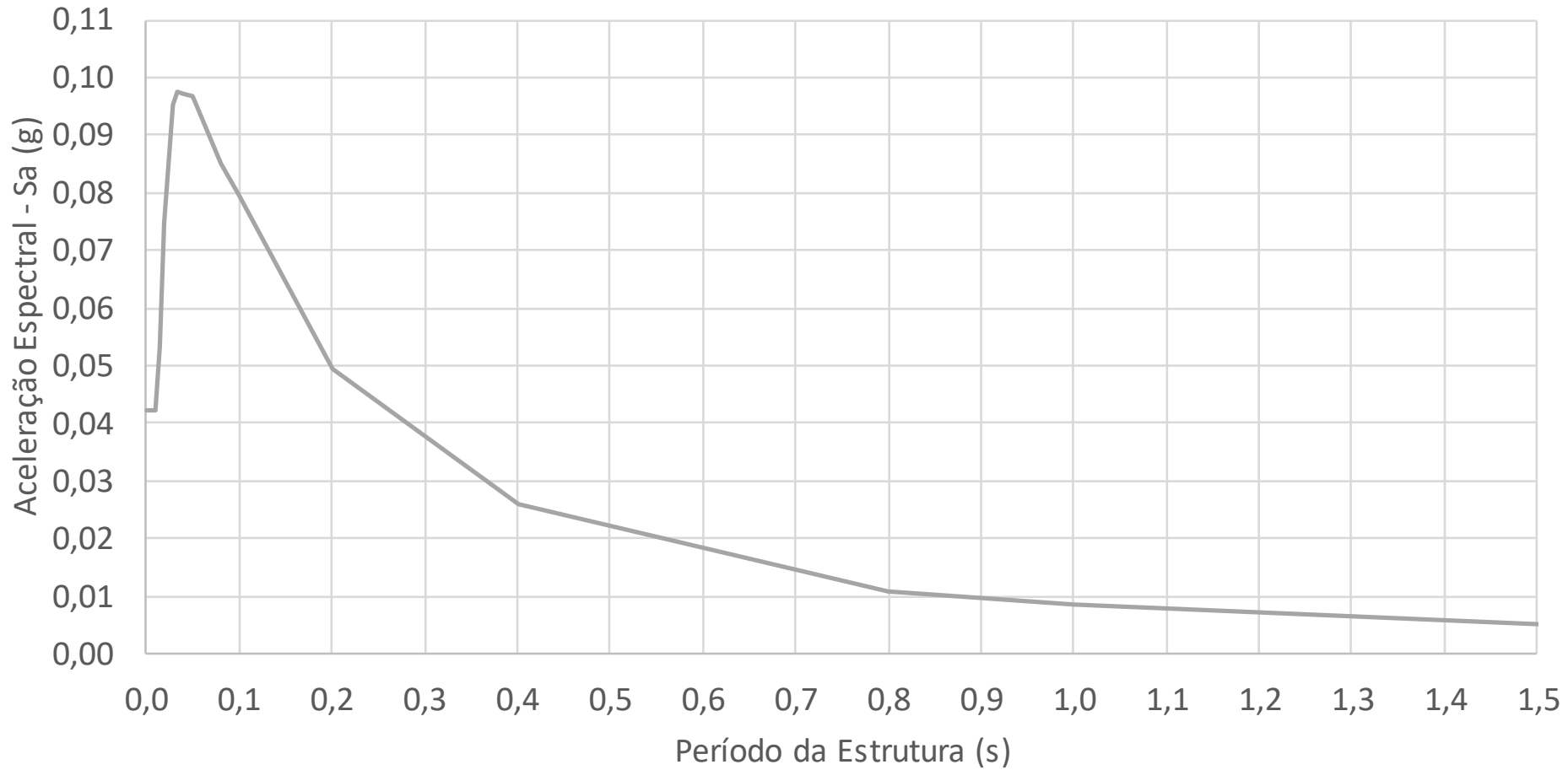


— 475 anos

- CRISIS Mato Grosso

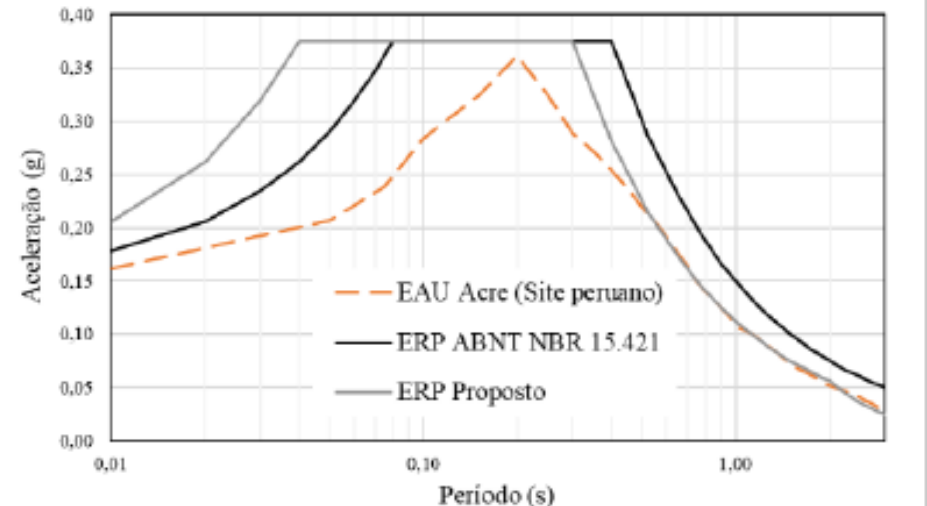
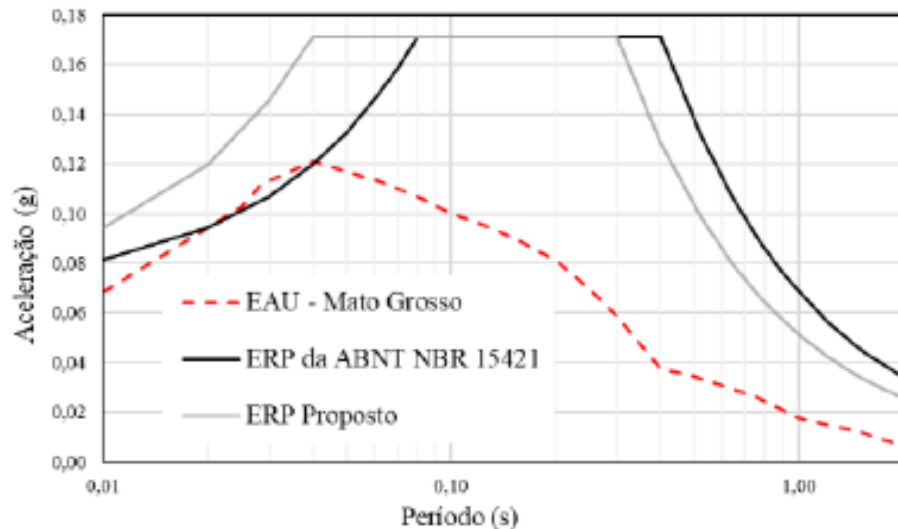
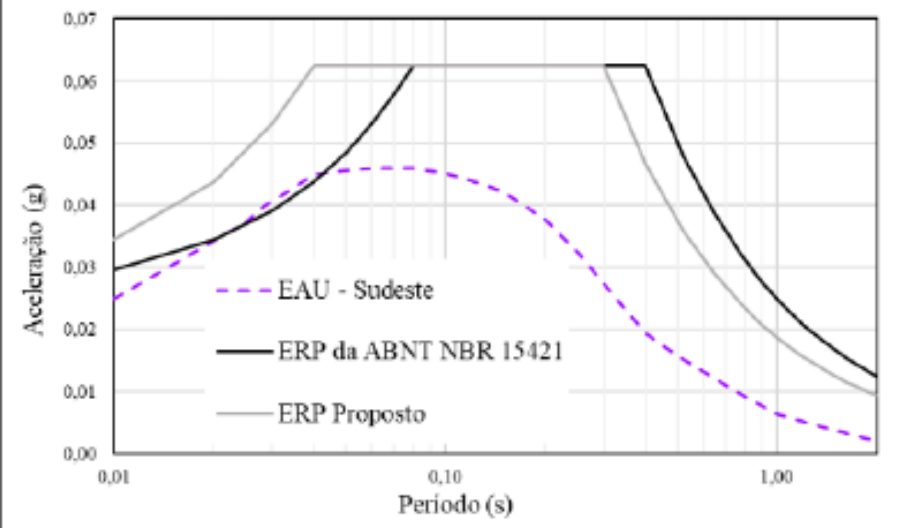
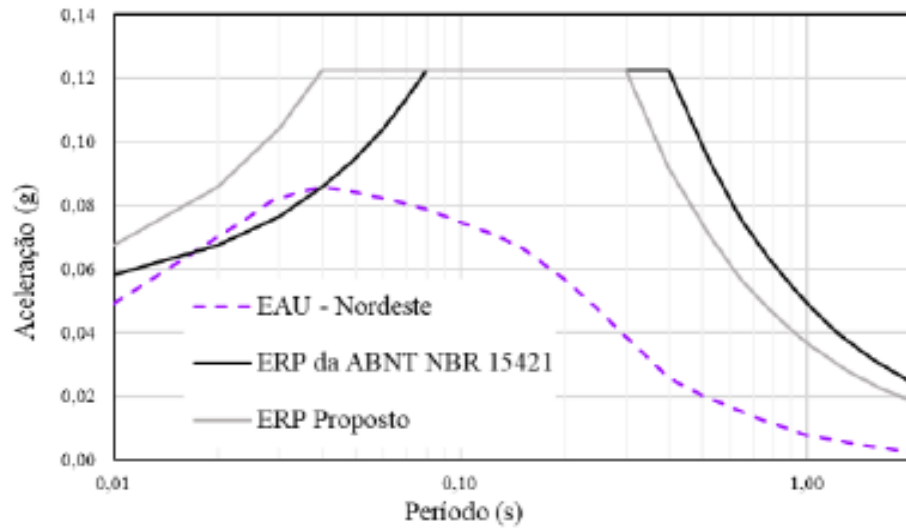


Mato Grosso



— 475 anos

Novos espectros de projeto (Felipe de Vasconcelos Alves, 2020)

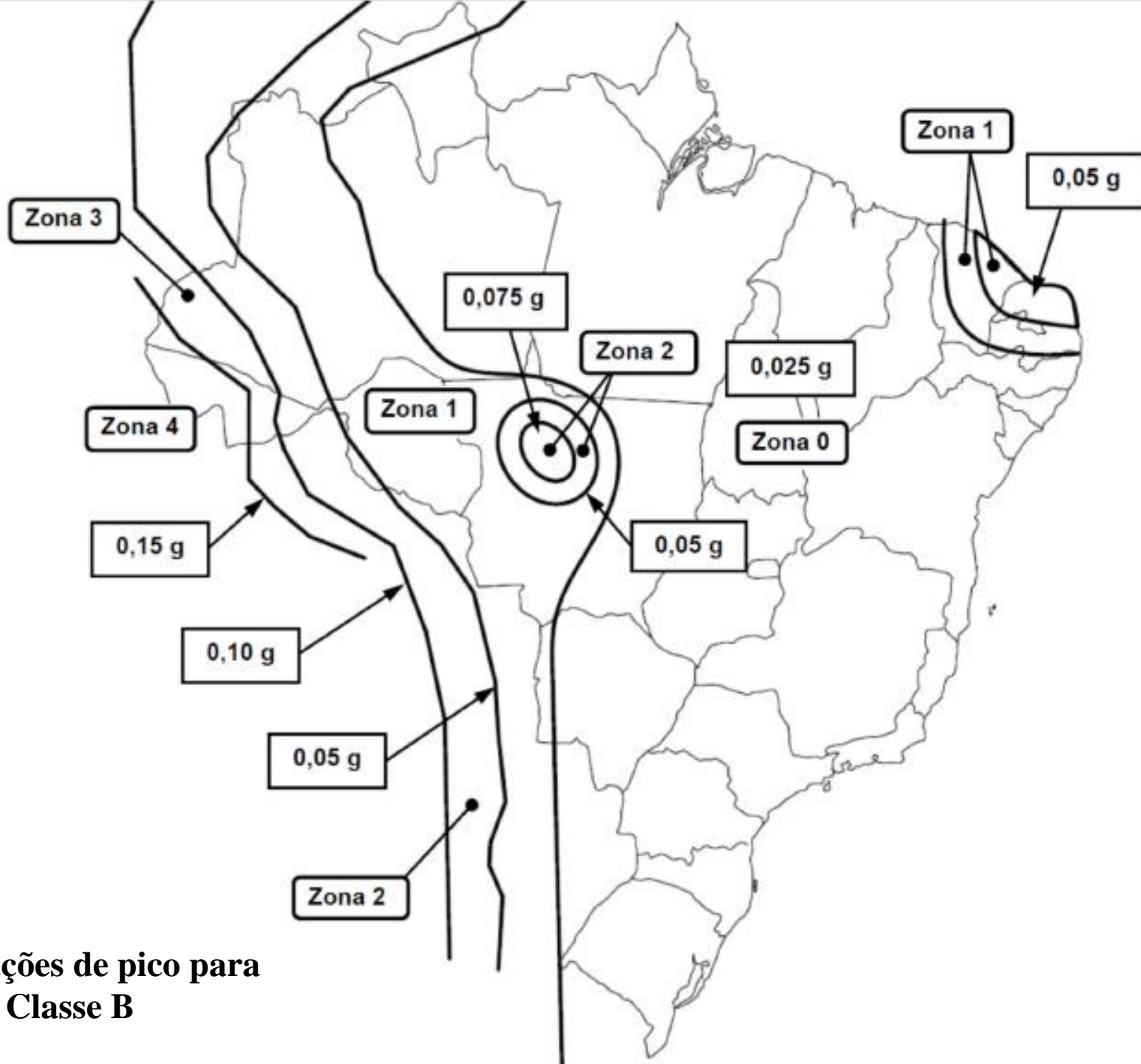


**Parte V- A Norma Brasileira de
Sismos – ABNT NBR 15421**

- Considera-se como base normativa a NBR 8681 (Norma de Ações e Segurança nas Estruturas).
- A combinação básica de cálculo é dada por:

$$E_d = 1,2E_g + 1,0E_q + 1,0E_{exc}$$

- E_d , E_g , E_q e E_{exc} são os valores de uma solicitação de cálculo e as respectivas parcelas das cargas permanente, accidental e sísmica.
- São definidas cinco Zonas Sísmicas e três Categorias Sísmicas, relacionadas com as acelerações horizontais características a_g .



Acelerações de pico para terreno Classe B

CRITÉRIOS PARA A ANÁLISE SÍSMICA

- Para a Zona Sísmica 0, nenhuma verificação é exigida.
- Para a Zona Sísmica 1, pode ser feita uma verificação simplificada:
 - São aplicadas aos pisos, nas direções horizontais, cargas iguais a 1% dos pesos permanentes.
- Para as estruturas de Categoria Sísmica B ou C (Zonas 2, 3 e 4), pode ser usado o método das forças horizontais equivalentes, a análise espectral ou a análise por históricos de aceleração no tempo.

Zona sísmica	Valores de a_g
Zona 0	$a_g = 0,025g$
Zona 1	$0,025g \leq a_g \leq 0,05g$
Zona 2	$0,05g \leq a_g \leq 0,10g$
Zona 3	$0,10g \leq a_g \leq 0,15g$
Zona 4	$a_g = 0,15g$

Zona sísmica	Categoria sísmica
Zonas 0 e 1	A
Zona 2	B
Zonas 3 e 4	C

MÉTODO DAS FORÇAS HORIZONTAIS EQUIVALENTES

- Força horizontal total na base da estrutura:

$$H = C_s W$$

W é o peso total permanente da estrutura.

- C_s é o menor entre os valores:

$$C_s = \frac{2,5 \cdot (a_{gs0} / g)}{(R / I)} \quad C_s = \frac{(a_{gs1} / g)}{T(R / I)}$$

- a_{gs0} e a_{gs1} são as acelerações espectrais para 0,0s e 1,0s:

$$a_{gs0} = C_a \cdot a_g \text{ e } a_{gs1} = C_v \cdot a_g$$

- C_v e C_a dependem do subsolo local e de a_g .

Classe do terreno	C_a		C_v	
	$a_g \leq 0,10g$	$a_g = 0,15g$	$a_g \leq 0,10g$	$a_g = 0,15g$
A	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,7	1,7
D	1,6	1,5	2,4	2,2
E	2,5	2,1	3,5	3,4

Classes de terreno

Classe do terreno	Designação da Classe do terreno	Propriedades médias para os 30 m superiores do terreno	
		$\overline{V_s}$	\overline{N}
A	Rocha sã	$\overline{V_s} \geq 1500 \text{ m/s}$	(não aplicável)
B	Rocha	$1500 \text{ m/s} \geq \overline{V_s} \geq 760 \text{ m/s}$	(não aplicável)
C	Rocha alterada ou solo muito rígido	$760 \text{ m/s} \geq \overline{V_s} \geq 370 \text{ m/s}$	$\overline{N} \geq 50$
D	Solo rígido	$370 \text{ m/s} \geq \overline{V_s} \geq 180 \text{ m/s}$	$50 \geq \overline{N} \geq 15$
E	Solo mole	$\overline{V_s} \leq 180 \text{ m/s}$	$\overline{N} \leq 15$
	-	Qualquer perfil incluindo camada com mais de 3 m de argila mole	
F	-	Solo exigindo avaliação específica, como: 1. Solos vulneráveis à ação sísmica, como solos liquefazíveis, argilas muito sensíveis e solos colapsíveis fracamente cimentados; 2. Turfa ou argilas muito orgânicas; 3. Argilas muito plásticas; 4. Estratos muito espessos ($\geq 35 \text{ m}$) de argila mole ou média.	

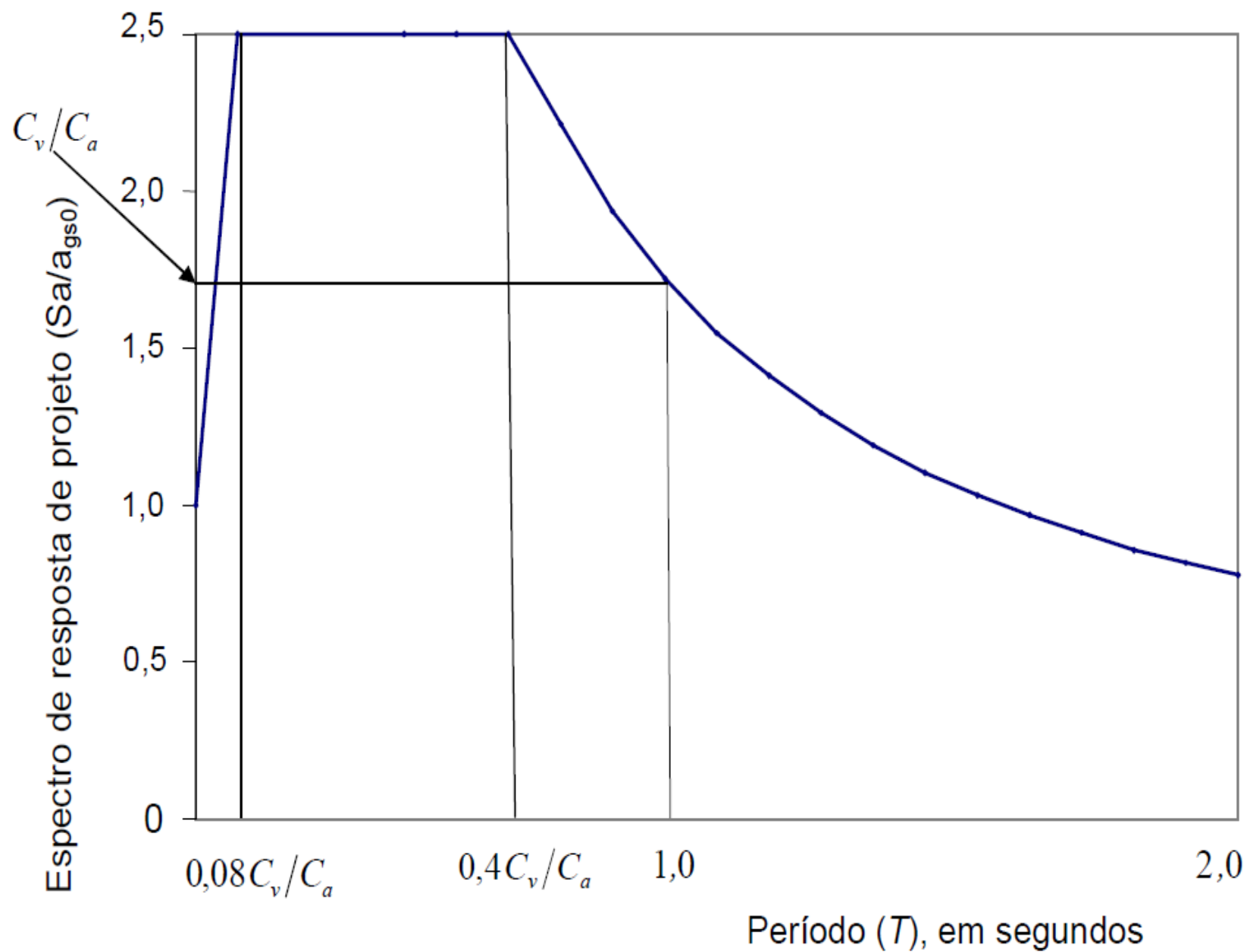
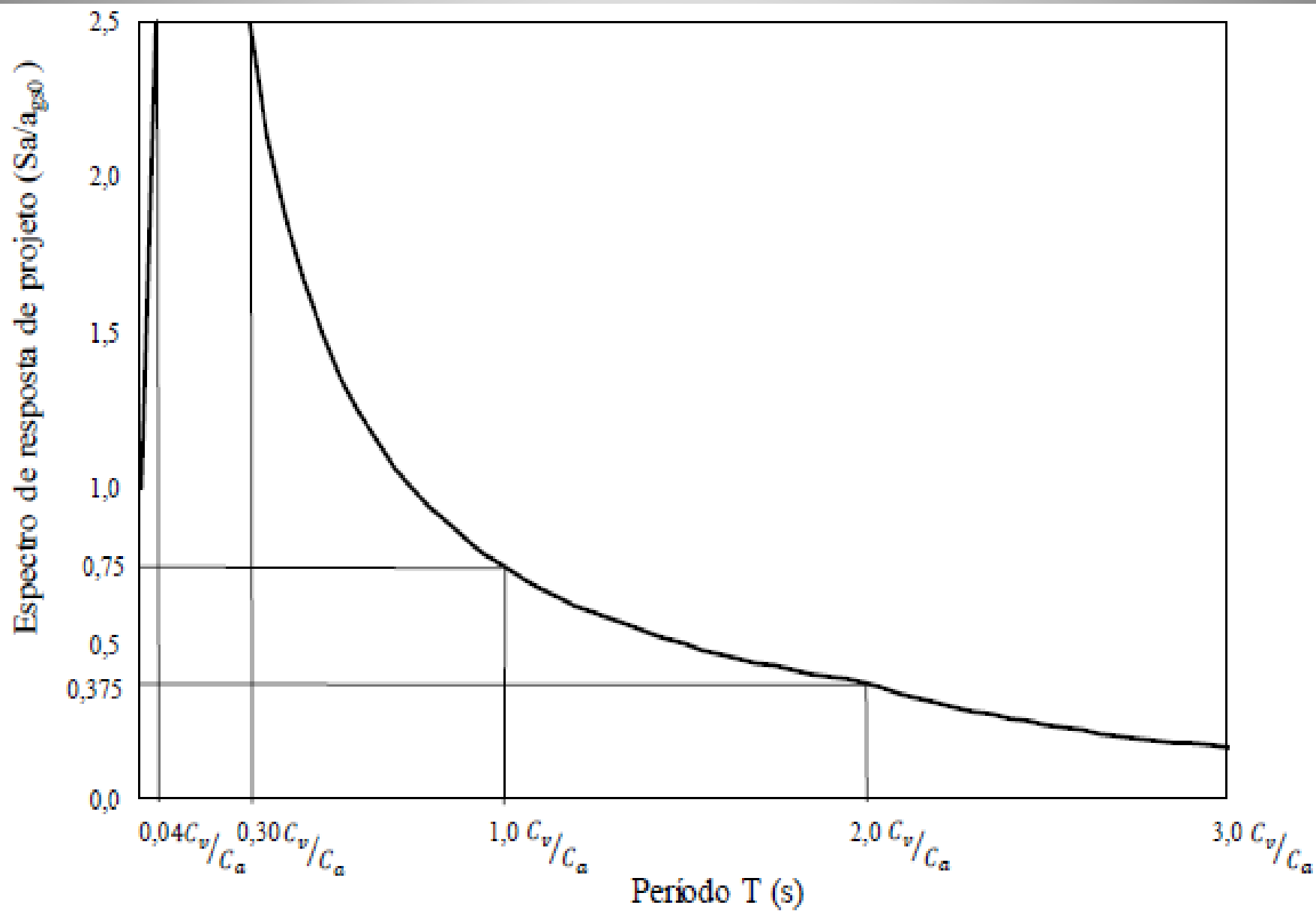
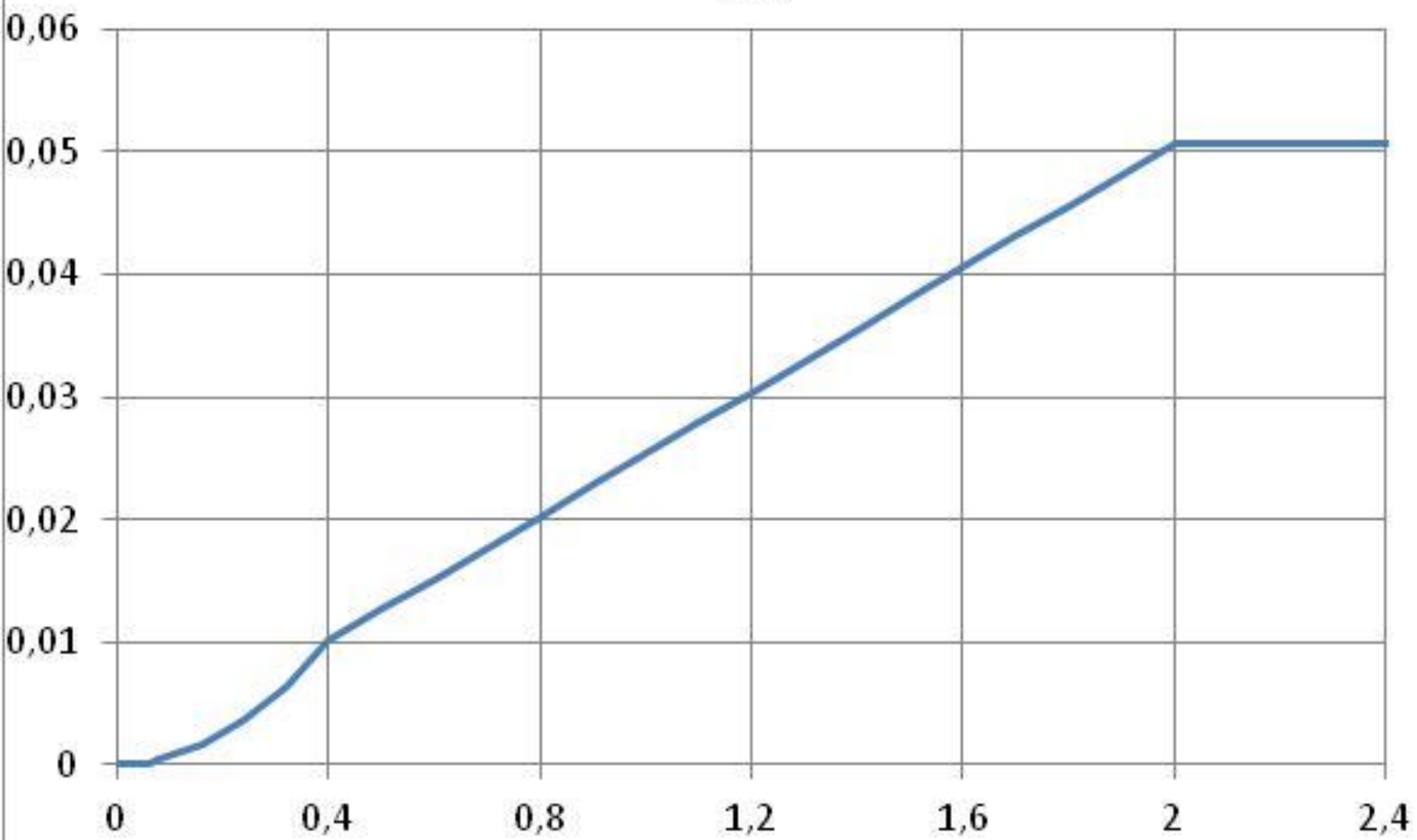


Figura 2 – Variação do espectro de resposta de projeto (S_a/a_{gs0}) em função do período (T)



Sd



**Parte VI- Sismos na Norma Brasileira
de Projeto de Pontes
ABNT NBR 7187**

• **Ações Sísmicas**

– **Escopo**

- São definidos requisitos para a verificação da segurança de pontes de concreto armado e protendido relativamente aos sismos, adicionais aos da NBR 15421,
- Aplicam-se a pontes em que pilares verticais suportam o tráfego aplicado no tabuleiro.

• Categorização das pontes

Para cada ponte deve ser definida uma categoria sísmica, uma categoria de utilização e um fator de importância de utilização (*I*)

Categoria de utilização	Natureza da utilização	Fator <i>I</i>
I	Pontes usuais, todas aquelas não classificadas como de categoria II ou III	1,0
II	Pontes essenciais, aquelas que devem estar operacionais após a ocorrência do sismo de projeto, para os veículos necessários às atividades ligadas a emergência, segurança e Defesa Nacional.	1,25
III	Pontes críticas, aquelas que devem estar operacionais para todo o tráfego após a ocorrência do sismo de projeto	1,50

• Requisitos sísmicos para as estruturas de pontes

- Pontes de categoria sísmica A
- Zona sísmica 0: requisito de resistência sísmica é exigido.
- Zona sísmica 1: devem resistir a cargas horizontais aplicadas simultaneamente à toda a estrutura nas duas direções ortogonais, com valor numérico igual a:
$$F_x = 0,01 w_x$$

F_x - força sísmica de projeto em uma dada direção.
 w_x - peso efetivo para a análise.
- Zonas sísmicas 2 a 4: poderão ser analisadas pelo método espectral ou por históricos de acelerações no tempo.

- **Coeficientes de modificação de resposta (R)**

Sistemas sismo-resistentes	Pontes com detalhamento usual	Pontes com detalhamento especial
Estruturas em geral	1,5	2,5
Estruturas rigidamente ligadas ao solo, como encontros e pontes com tabuleiro rigidamente ligado aos encontros	1,0	1,0
Pontes em arco	1,2	2,0
Fundações	1,0	1,0

- **Variabilidade espacial da ação sísmica**

- A variabilidade espacial da ação sísmica deverá ser considerada se, em um trecho da ponte entre juntas:

- as propriedades do solo variarem em mais de uma classe de terreno;

- o comprimento entre juntas exceder o valor L_{lim} :

$$L_{lim} = L_g / 1,5$$

Classe de terreno	A	B	C	D	E
L_g (m)	600	600	500	400	300

- os efeitos inerciais considerarão a envoltória dos espectros de projeto, para as diferentes classes de terreno presentes no trecho considerado.

- a variabilidade espacial pode ser considerada pela aplicação pseudo-estática de deslocamentos horizontais nos apoios dos pilares.
- os deslocamentos relativos serão

$$\Delta d_i = \sqrt{2} d_g \beta \frac{L_i}{L_g}$$

d_g = deslocamento máximo do solo = S_d

$\beta = 0,5$ ou $1,0$ se os dois apoios estão na mesma classe ou em classes diferentes de terreno

L_i é a distância entre os dois apoios, medida perpendicularmente à direção dos deslocamentos

- Os deslocamentos relativos entre dois pontos estão limitados a:

$$\Delta d_{i,max} = \sqrt{2} d_g$$

- Os efeitos finais são obtidos pela raiz quadrada da soma dos quadrados, dos efeitos sísmicos inerciais com os da aplicação dos deslocamentos horizontais.