



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Escola Politécnica

Curso de Engenharia Civil

Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas

**AVALIAÇÃO DO RISCO SÍSMICO NAS REGIÕES
NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL**

FERNANDA CRISTINA MOREIRA DA SILVA

Projeto Final de Curso apresentado ao corpo docente do Departamento de Mecânica Aplicada e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovado por:

Sérgio Hampshire de Carvalho Santos
Prof. Associado, D.Sc., EP/UFRJ (Orientador)

Sílvio de Souza Lima
Prof. Associado, D.Sc., EP/UFRJ (Co-orientador)

Augusto Cláudio Paiva e Silva
Prof. Adjunto, M.Sc., EP/UFRJ

Fernando Celso Uchôa Cavalcanti
Prof. Adjunto, M.Sc., EP/UFRJ

Abril / 2009

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Sérgio Hampshire de Carvalho Santos, pelo grande incentivo e orientação que me deu durante o desenvolvimento de cada etapa deste trabalho. Ao Prof. Sílvio de Souza Lima, pela assistência e orientação prestadas nas etapas de aplicação prática do tema.

A Deus, por ter me iluminado ao longo de toda a minha trajetória acadêmica e por ter me dado força para que eu conseguisse cumprir essa etapa tão importante em minha vida.

Aos meus pais, Rosenir e Jobel, meus maiores exemplos, pelo suporte, educação, amor e carinho que sempre me dedicaram. Amo muito vocês.

Aos meus irmãos, Renata e Rafael, eternos companheiros, pelos momentos maravilhosos e por estarem sempre comigo.

À minha avó, Maria Tosca, pelas orações que me proporcionam muita proteção e benção nos momentos mais difíceis. Obrigada pelo carinho.

Ao meu querido namorado, Rafael, pelo apoio, carinho e companheirismo que me dedica a cada dia.

Aos meus amigos, Silvia, Humberto, Crislaine, Ricardo D., Tamara e Ricardo C., que estiveram comigo durante esses cinco anos de estudo intenso, pela amizade e pelos momentos de descontração que ajudaram a tornar esse caminho mais alegre.

Aos mestres Augusto e Oswaldo, por contribuírem fortemente na minha formação como engenheira e profissional, pelos ensinamentos diários e pelo apoio e incentivo prestados para que fosse possível a conclusão do meu curso. E a todos os integrantes da “família TECTON”.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABELAS	4
LISTA DE GRÁFICOS	6
RESUMO	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 DADOS SÍSMICOS NO BRASIL E NA AMÉRICA DO SUL.....	11
3 MODELOS PARA ANÁLISE DE DADOS SÍSMICOS NO BRASIL	16
3.1 NORMA BRASILEIRA – NBR 15421	16
3.1.1 Definição e Objetivo	16
3.1.2 Zoneamento Sísmico e Critérios para Análise Sísmica.....	16
3.1.3 Análise pelo Método das Forças Horizontais Equivalentes	17
3.1.4 Combinação Básica de Cálculo.....	22
3.2 CÁLCULO DA RECORRÊNCIA SÍSMICA.....	23
3.2.1 Aplicação à Região Nordeste	24
3.2.2 Aplicação à Região Sudeste	25
4 METODOLOGIA EMPREGADA PARA ANÁLISE DE DADOS SÍSMICOS NAS REGIÕES NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL	27
4.1 ANÁLISE DE DADOS SÍSMICOS APLICADOS À REGIÃO NORDESTE	27
4.1.1 Discretização da área sísmica em estudo	27
4.1.2 Quantidade de eventos na região Nordeste	27
4.2 ANÁLISE DE DADOS SÍSMICOS APLICADOS À REGIÃO SUDESTE	29
4.2.1 Discretização da área sísmica em estudo	29
4.2.2 Quantidade de eventos na região Sudeste	30
4.3 DISTRIBUIÇÃO PROBABILÍSTICA DE ACELERAÇÕES	30
4.4 CÁLCULO DOS PERÍODOS DE RECORRÊNCIA	31
4.5 ACELERAÇÕES HORIZONTAIS CARACTERÍSTICAS	37
5 RESULTADOS - ESPECTROS DE PROJETO	47
6 EXEMPLO DE ANÁLISE SÍSMICA APLICADA A UMA ESTRUTURA.....	52
6.1 APRESENTAÇÃO DO MODELO ESPACIAL	52
6.2 ANÁLISE SÍSMICA.....	53
7 CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sismicidade da América do Sul de acordo com o USGS. Fonte: US. Geological Survey (2006)

Figura 2: Zoneamento Sísmico da Região Norte do Brasil (Falconi, 2003)

Figura 3: Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica no Brasil para terrenos de classe B (“Rocha”). Fonte: Santos e Souza Lima (2004)

Figura 4: Mapa da sismicidade no estado do Ceará. Fonte: Marza et al. (s.a.)

Figura 5 - Área de estudo delimitada por Santos e Souza Lima - Nordeste

Figura 6: Área de estudo delimitada por Santos e Souza Lima - Sudeste

Figura 7: Área de estudo discretizada (região Nordeste)

Figura 8: Área de estudo discretizada (região Sudeste)

Figura 9: Vista em perspectiva da geometria do modelo espacial

Figura 10: Vista superior das 638 estacas do modelo espacial

Figura 11: Vista superior das 48 estacas selecionadas para representação gráfica

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Listagem completa dos sismos com $m_b \geq 4,0$ ocorridos na região de análise no período de 1808 a 2000. Fonte: Marza et al. (s.a.)

Tabela 2: Zoneamento Sísmico e Categorias Sísmicas. Fonte: NBR 15421, 2006.

Tabela 3 - Fatores de amplificação sísmica no solo

Tabela 4 - Definição das categorias de utilização e dos fatores de importância

Tabela 5 - Coeficientes de projeto para os diversos sistemas básicos sísmo-resistentes

Tabela 6 - Números de eventos (região Nordeste)

Tabela 7 - Números de eventos (região Sudeste)

Tabela 8 - Coeficientes das Equações de Atenuação

Tabela 9: Períodos de Recorrência (PGA) – Região Nordeste

Tabela 10: Períodos de Recorrência (F=35Hz)

Tabela 11: Períodos de Recorrência (F=25Hz)

Tabela 12: Períodos de Recorrência (F=10Hz)

Tabela 13: Períodos de Recorrência (F=5Hz)

Tabela 14: Períodos de Recorrência (F=2,5Hz)

Tabela 15: Períodos de Recorrência (F=1Hz)

Tabela 16: Períodos de Recorrência (F=0,5Hz)

Tabela 17: Períodos de Recorrência (PGA) – Região Sudeste

Tabela 18: Períodos de Recorrência (F=35Hz)

Tabela 19: Períodos de Recorrência (F=25Hz)

Tabela 20: Períodos de Recorrência (F=10Hz)

Tabela 21: Períodos de Recorrência (F=5Hz)

Tabela 22: Períodos de Recorrência (F=2,5Hz)

Tabela 23: Períodos de Recorrência (F=1Hz)

Tabela 24: Períodos de Recorrência (F=0,5Hz)

Tabela 25: Dados de entrada para definição do gráfico de espectros de resposta (região Nordeste)

Tabela 26: Dados de entrada para definição do gráfico de espectros de resposta (região Sudeste)

Tabela 27: Reações horizontais (kN) na base das estacas (saída do programa SAP 2000)

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para PGA – Região Nordeste

Gráfico 2 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 35Hz

Gráfico 3 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 25Hz

Gráfico 4 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 10Hz

Gráfico 5 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 5Hz

Gráfico 6 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 2,5Hz

Gráfico 7 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 1Hz

Gráfico 8 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 0,5Hz

Gráfico 9 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para PGA – Região Sudeste

Gráfico 10 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 35Hz

Gráfico 11 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 25Hz

Gráfico 12 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 10Hz

Gráfico 13 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 5Hz

Gráfico 14 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 2,5Hz

Gráfico 15 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 1Hz

Gráfico 16 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 0,5Hz

Gráfico 17 – Espectros de projeto para a região Nordeste

Gráfico 18 – Espectros de projeto para a região Sudeste

Gráfico 19 – Resultados da Análise Sísmica da estrutura segundo dados da região Nordeste

Gráfico 20 – Resultados da Análise Sísmica da estrutura segundo dados da região Sudeste

RESUMO

Apesar da atividade sísmica do território brasileiro ser considerada baixa, efeitos dos sismos não podem ser simplesmente desconsiderados num projeto estrutural. Com base nesse princípio, foi feito aqui um estudo da sismicidade das regiões Nordeste e Sudeste brasileiras. O estudo da primeira região citada se deve ao fato de que a mesma está posicionada próxima à falha do Atlântico Central, o que leva o Nordeste a ter uma taxa de atividade sísmica com continuidade de ocorrência mais alta do que outras regiões brasileiras. Já a região Sudeste, apesar de ser considerada uma área de baixa sismicidade, é a região mais populosa e economicamente desenvolvida do Brasil, o que justifica a necessidade de um estudo sísmico mais cuidadoso.

No presente trabalho, foi feito um levantamento dos dados sísmicos no Brasil e na América do Sul. E em seguida, foram estudados os modelos para análise sísmica considerados pela Norma Brasileira para Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos (NBR 15421) e por autores cujos estudos focaram a sismicidade das regiões Nordeste e Sudeste brasileiras. Dentro desse contexto e partindo de um tratamento mais preciso das áreas em questão, foram calculadas as recorrências sísmicas e as distribuições probabilísticas de acelerações espectrais para cada região. Foi descrito o procedimento de cálculo utilizado para obter os períodos de recorrência e definidas as acelerações horizontais características consideradas de acordo com os critérios das normas. De posse desses valores, foi possível traçar os espectros de resposta de projeto para ambas as regiões, fazendo as devidas comparações entre os resultados obtidos em cada caso de período de recorrência. A fim de concretizar o estudo, foi feita uma aplicação prática dos espectros de projeto analisados em uma estrutura espacial de edifício, com o objetivo de obter as reações nas bases das fundações e, posteriormente, comparar e interpretar os resultados.

1 INTRODUÇÃO

Em função do Brasil localizar-se no interior de uma placa tectônica, a atividade sísmica no território brasileiro é considerada baixa, comparando-se com outros países da América do Sul tais como os localizados na região dos Andes, que ficam próximos dos limites de uma dessas placas tectônicas. No entanto, é errôneo pensar que abalos sísmicos não ocorrem no Brasil.

Por possuir um grande território e muitas áreas desabitadas ou com uma densidade demográfica pequena, por muito tempo tais fenômenos foram desconsiderados. Mas a história brasileira mais recente revela várias ocorrências de tremores de terra principalmente no Nordeste. Em 1955, ocorreram tremores em Mato Grosso e no litoral do Espírito Santo, com magnitudes na Escala Richter da ordem de 6,6 e 6,3, respectivamente. No entanto, nessas localidades não houve danos maiores, pois eram praticamente desabitadas. Posteriormente, em 1980, ocorreu outro no Ceará, de magnitude 5,3, que apesar de ser de menor intensidade chegou a provocar danos materiais e levou pânico aos habitantes. Em 1983, foi identificado outro abalo no Amazonas, de magnitude 5,5, também em área desabitada. Diversos fatos como esses têm sido documentados e algumas fontes estimam que uma faixa de 6 a 7 destes eventos ocorrem em diversos pontos do país a cada ano.

Recentemente, a Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social, o Corpo de Bombeiros e a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil, CEDEC, do Estado do Ceará, coordenados pelo Governo Estadual (GOVERNO ESTADUAL DO CEARÁ, 2008) lançaram uma cartilha, disponível em “site”, para informar à população sobre procedimentos que devem ser tomados no momento de um abalo, para sua proteção, como também orientá-los a identificar, através da observação dos danos ocorridos, o grau de intensidade do tremor. Se os abalos já ocorridos no Brasil tivessem seu epicentro próximo de uma grande cidade poderiam ter ocasionado destruição e até mortes. Por isso, é importante realizar estudos nessa área.

Os primeiros estudos científicos sobre a sismicidade no território brasileiro começaram por volta do ano de 1970, a partir do qual dados sismológicos começaram a ser coletados, mas o estudo completo ainda não foi concluído. Cabe ressaltar que mesmo em regiões de baixa intensidade sísmica, como por exemplo o Sudeste, estudos devem ser feitos principalmente se considerarmos a presença das usinas nucleares de Angra I e II e a futura Angra III.

Inicialmente, os estudos empregavam as metodologias usadas em outros países do mundo. Santos e Souza Lima (2004), considerando a continuidade geográfica entre países vizinhos do Brasil, a partir de um estudo realizado por Falconi (2003), que analisou normas de projeto sísmico de seis países sul-americanos, excluindo o Brasil, consolidaram um mapa de sismicidade da América do Sul. Esses estudos serviram de base para a proposição de uma Norma Brasileira de Sismos, a NBR 15421, para projeto de estruturas resistentes a sismos (ABNT, 2006). Esta Norma considera que a maioria do território brasileiro apresenta baixa sismicidade, mas em três regiões brasileiras, no Nordeste e em parte do Norte e do Centro-Oeste (Amazônia Ocidental), o potencial sísmico é ressaltado.

O presente trabalho tem por objetivo fazer uma análise mais detalhada das regiões Nordeste e Sudeste brasileiras e obter as acelerações horizontais características, de acordo com os períodos de recorrência dos eventos sísmicos, e os respectivos espectros de resposta de projeto para análise sísmica, a fim de compará-los com o espectro da Norma. Os dados sísmicos disponíveis e os estudos já feitos para definição das funções de distribuição probabilística de magnitudes sísmicas serão apresentados. Será analisada também uma instalação industrial, estrutura espacial modelada no programa SAP2000, aplicando os espectros da NBR 15421 e os espectros calculados nesse trabalho, para que possam ser feitas comparações das forças encontradas na base da estrutura em cada situação.

2 DADOS SÍSMICOS NO BRASIL E NA AMÉRICA DO SUL

Ainda não existe uma análise completa da sismicidade do território brasileiro. Há, porém, um estudo do risco sísmico numa escala global feito por GFZ-Potsdam e o seu resultado é apresentado em seu “Global Seismic Hazard Map” (1999). Esse estudo é considerado pelo U.S. Geological Survey em seu “Seismic Hazard Map of South America” (2006), que é reproduzido na Figura 1.

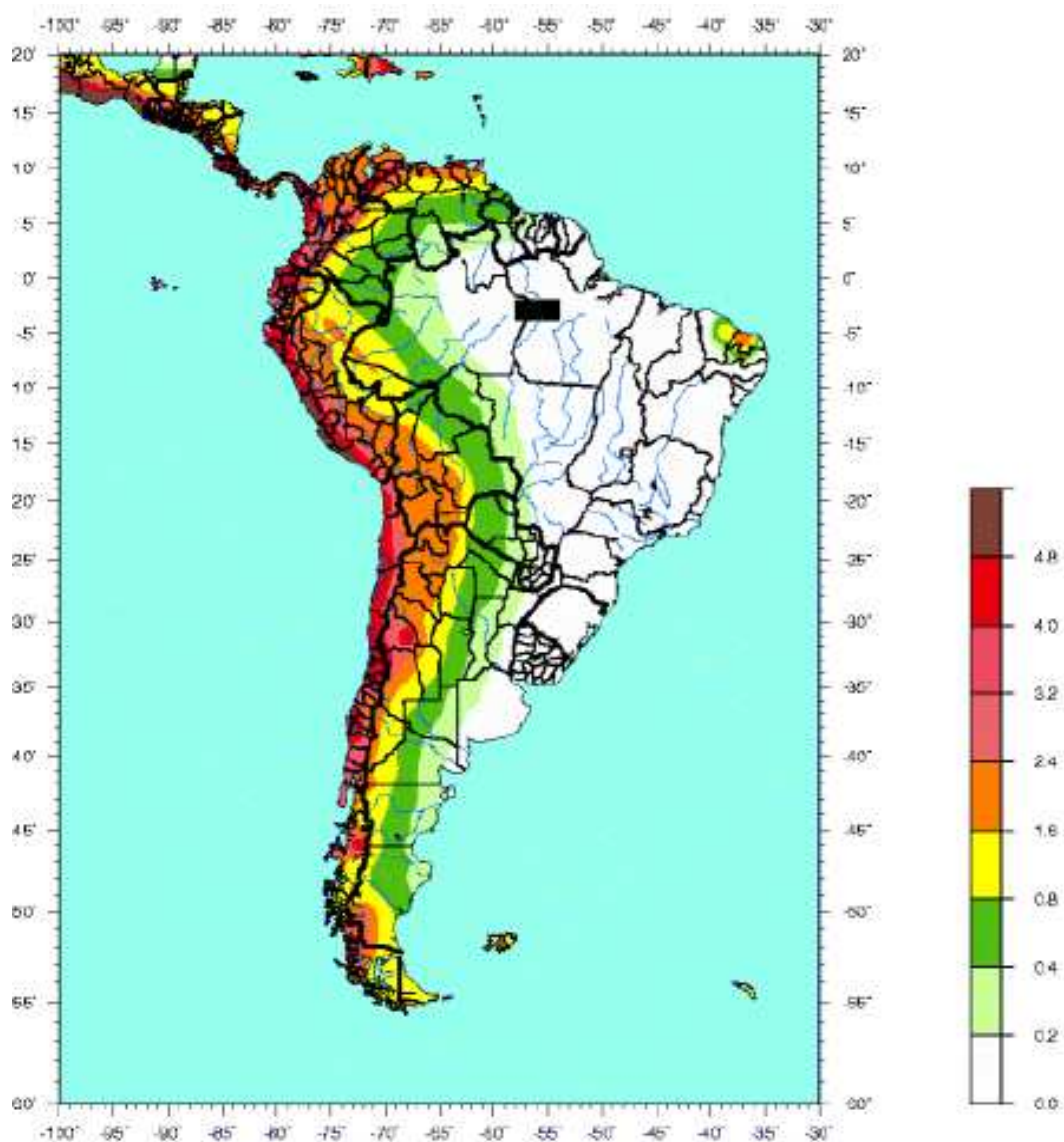


Figura 1: Sismicidade da América do Sul de acordo com o USGS

Fonte: US. Geological Survey (2006)

Unidade dos valores da legenda: m/s^2

Pode-se notar, nesse mapa, que o território brasileiro apresenta uma sismicidade muito baixa, com acelerações horizontais características normalmente inferiores a $0,4m/s^2$. Vale ressaltar também que em algumas áreas do Brasil a sismicidade não é desprezível. As regiões que apresentam sismicidade mais alta são alguns estados do Nordeste, devido à sua posição com relação à falha do Atlântico Central, e na parte oeste das Regiões Norte e Centro-Oeste, devido à sua proximidade com a Cordilheira dos Andes.

O trabalho realizado por Falconi e Báez (2000) faz um estudo da sismicidade na América do Sul. Um estudo mais recente de Falconi (2003) apresenta uma análise comparativa das normas de projeto sísmico de seis países da América do Sul. O Brasil não foi incluído nesse estudo, mas a sismicidade presente, principalmente na região Norte do país, pode ser inferida utilizando dados do zoneamento sísmico dos países vizinhos, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 2: Zoneamento Sísmico da Região Norte do Brasil (Falconi, 2003)

Considerando esses estudos e levando em conta a continuidade geográfica entre países vizinhos, o mapa de sismicidade da América do Sul foi consolidado por Santos e Souza Lima (2004). Essas mesmas análises foram usadas para definir as zonas sísmicas do Brasil apresentadas na NBR 15421. O zoneamento da sismicidade brasileira e os respectivos valores de aceleração horizontal nominal a_g são mostrados na Figura 3, sendo g a aceleração da gravidade.

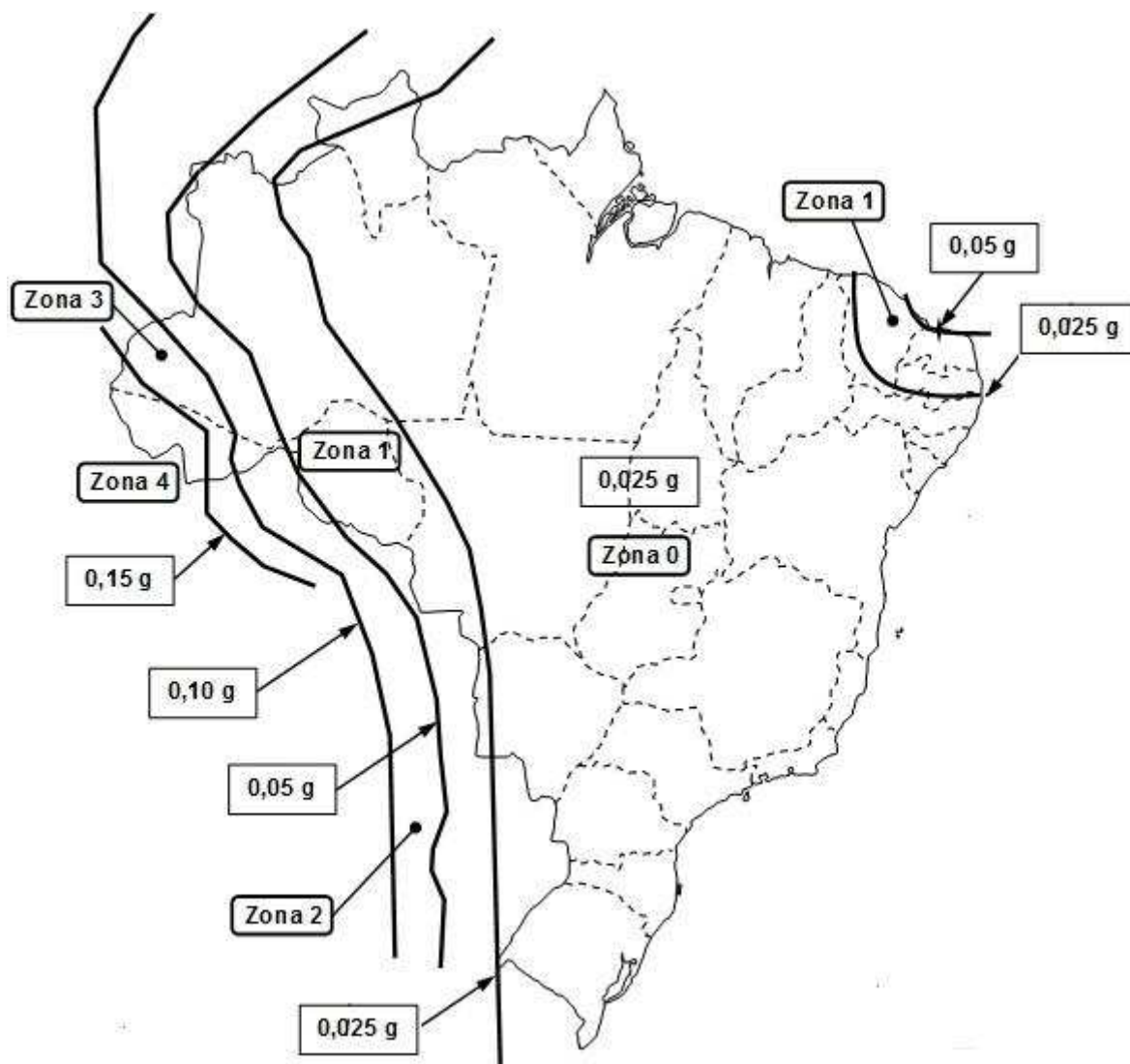


Figura 3: Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica no Brasil para terrenos de classe B ("Rocha"). Fonte: Santos e Souza Lima (2004).

Na maior parte do território brasileiro, verifica-se um a_g de 0,025g, região onde praticamente não ocorrem eventos sísmicos. No entanto, é possível observar também, na Figura 3, que há duas regiões brasileiras, já descritas anteriormente, que refletem as mais altas sismicidades do território nacional. As acelerações definidas nesta figura correspondem à

probabilidade nominal de 10% de serem ultrapassadas em 50 anos, o que corresponde a um período de recorrência de 475 anos.

Conforme observado, a sismicidade do estado do Ceará é notável. Segundo um estudo desenvolvido por Marza et al. (s.a.), esse fato se dá devido ao Ceará ser a região brasileira mais ativa em termos de taxa de atividade sísmica (número de eventos por unidade de tempo) e de continuidade de ocorrência.

A Figura 4 apresenta sismos históricos e instrumentais catalogados pelo Observatório Sismológico da Universidade de Brasília (SIS/UnB), no intervalo de tempo de 1808 até 2000. São apresentados apenas os sismos mais expressivos, sendo que o número total de eventos detectados na região ultrapassa a casa das dezenas de milhares.

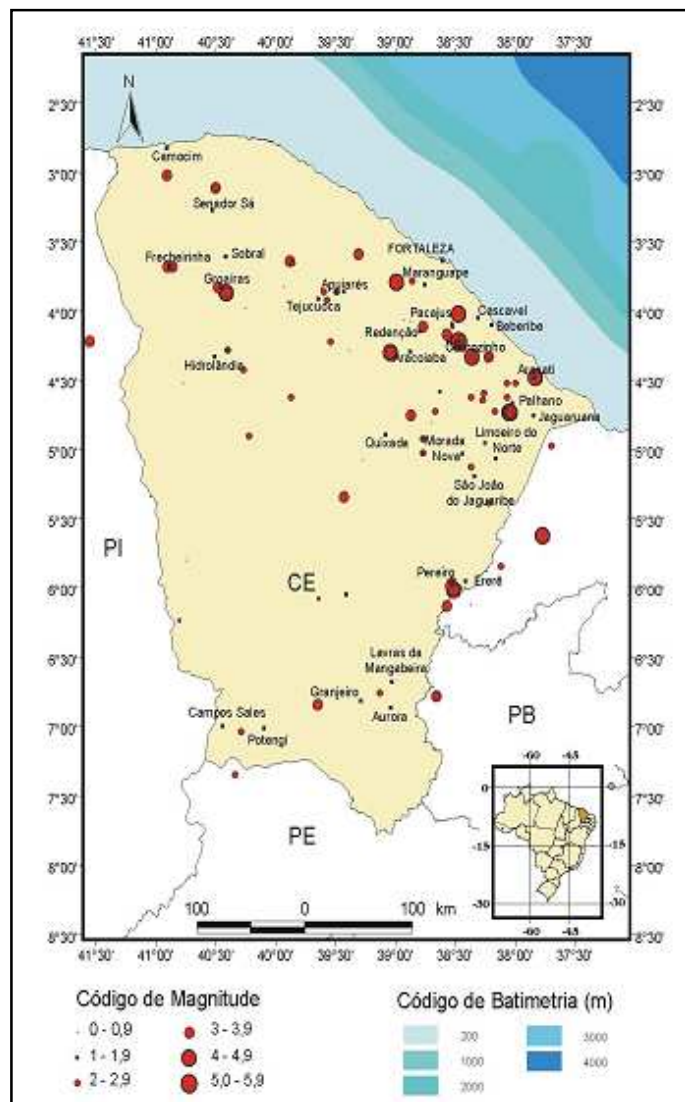


Figura 4: Mapa da sismicidade no estado do Ceará

Fonte: Marza et al. (s.a.)

Nota: Valores de Magnitude na Escala Richter

Nota-se que a sismicidade do Ceará concentra-se na parte norte e costeira do estado e não se estende para a Plataforma Continental, como acontece em outras regiões do Brasil.

Pode-se observar, num trabalho desenvolvido por Marza et al. (s.a.), que a cobertura temporal do catálogo sísmico do estado do Ceará é extremamente não uniforme, assim como a maioria dos catálogos sísmicos. O lapso temporal do catálogo é dividido em duas partes, cada uma com 96 anos. A primeira parte, intervalo entre 1808 e 1904, abrange somente 14 eventos, enquanto que a segunda parte, intervalo entre 1905 e 2000, abrange 348 eventos. Isso se dá pelo fato do monitoramento sismográfico ter melhorado especialmente nos últimos 20 anos. De acordo com a Tabela 1, pode-se observar que o catálogo sísmico cearense engloba 20 eventos de magnitude maior ou igual a 4,0, comprovando a alta sismicidade da região.

Tabela 1: Listagem completa dos sismos com $m_b \geq 4,0$ ocorridos na região de análise no período de 1808 a 2000
Fonte: Marza et al. (s.a.)

N°	Data	Hora de Origem	Lat.	Long.	Erro	Localidade	UF	I_0	Cat.	Área em	Mag.
	AAAA/MM/DD		(°)	(°)	(km)			(MM)		10^3 km^2	m_b
1	1808/08/08	08	-05,70	-37,70	100	Açú	RN	VI	B	230	4,8
2	1903/02/14		-04,38	-38,97	30	Baturité	CE	VI	C	12	4,1
3	1903/02/15		-04,38	-38,97	30	Baturité	CE	VI	C	12	4,1
4	1903/02/16		-04,38	-38,97	30	Baturité	CE	VI	C	12	4,1
5	1919/11/24	03	-03,87	-38,92	50	Maranguape	CE	IV	B	70	4,5
6	1928/04/14	21:59	-04,56	-37,76		Arcati	CE	VI	C	10	4,0
7	1968/02/15	10:20:48	-06,09	-38,44	10	Pereiro	CE	VI	B	11	4,1
8	1968/02/23	11:23:02	-06,09	-38,44	5	Pereiro	CE	VII	A	84	4,6
9	1980/11/20	00:29:42	-04,30	-38,40	10	Pacajús	CE	VII	A	1000	5,2
10	1988/03/30	21:36:34	-03,95	-40,34	2	Groaíras	CE	VI-VII	I		4,1
11	1988/10/18	23:15:50	-04,81	-37,98	2	Palhano	CE	VI	I		4,2
12	1988/10/29	00:24:28	-04,81	-37,97	2	Palhano	CE	VI	I		4,1
13	1989/03/25	12:29:21	-04,81	-37,97	5	Palhano	CE		I		4,1
14	1989/03/26	10:25:34	-04,81	-37,97	5	Palhano	CE		I		4,5
15	1989/05/26	19:55:23	-04,81	-37,97	5	Palhano	CE		I		4,1
16	1989/08/28	05:06:23	-04,81	-37,97	5	Palhano	CE		I		4,3
17	1989/10/17	12:02:48	-04,81	-37,97	5	Palhano	CE		I		4,2
18	1991/04/19		-03,90	-39,90	20	Taperuaba	CE	VI-VII	I	196	4,8
19	1998/09/04	00:40:46	-04,41	-38,29	2	Cascavel	CE		I		4,0
20	2000/07/04	04:54:47	-04,10	-38,40		Pitombeiras	CE		I		4,1

Nota: A categoria A a C denotam os sismos quantificados através de dados macrossísmicos; a categoria I representa sismos com dados instrumentais. I_0 é a intensidade na Escala Mercalli Modificada.

3 MODELOS PARA ANÁLISE DE DADOS SÍSMICOS NO BRASIL

3.1 NORMA BRASILEIRA – NBR 15421

3.1.1 Definição e Objetivo

A Norma Brasileira para Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos, a NBR 15421 (ABNT, 2006), procura atender à necessidade de modernização das normas brasileiras para projeto estrutural e atenta para o fato de que os efeitos sísmicos não podem ser desconsiderados no Brasil.

Um dos objetivos dessa norma é fixar os requisitos exigíveis para verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil relativamente às ações de sismos e os critérios de quantificação dessas ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações, relativamente a estas ações, quaisquer que sejam sua classe e destino, salvo os casos previstos em Normas Brasileiras específicas.

3.1.2 Zoneamento Sísmico e Critérios para Análise Sísmica

De acordo com a NBR 15421, os valores a serem definidos como característicos nominais para as ações sísmicas (ações decorrentes da resposta de uma estrutura aos deslocamentos sísmicos no solo, que provocam esforços e deformações na estrutura) são aqueles que têm 10% de probabilidade de serem ultrapassados no sentido desfavorável, durante um período de 50 anos, o que corresponde a um período de retorno de 475 anos. Segundo a Norma Brasileira, deve ser considerado o zoneamento sísmico da Figura 3, já apresentada anteriormente, para definição das ações sísmicas de projeto. Nessa figura, são definidas cinco zonas sísmicas e três categorias sísmicas, considerando a variação de a_g , aceleração sísmica horizontal característica normalizada para terrenos de classe B (“Rocha”), nas faixas estabelecidas na Tabela 2.

Tabela 2: Zoneamento Sísmico e Categorias Sísmicas
 Fonte: NBR 15421, 2006.

Zona Sísmica	Categoria Sísmica	Valores de a_g
0	A	$a_g = 0,025g$
1		$0,025g \leq a_g \leq 0,05g$
2	B	$0,05g \leq a_g \leq 0,10g$
3	C	$0,10g \leq a_g \leq 0,15g$
4		$a_g = 0,15g$

Para estruturas na Zona Sísmica 0 (Categoria Sísmica A), não é exigida nenhuma verificação quanto à resistência sísmica. Para estruturas na Zona Sísmica 1 (Categoria Sísmica A), o efeito sísmico é considerado através da aplicação simultânea em todos os andares dos prédios, em cada uma das direções ortogonais, de cargas horizontais iguais a 1% da carga permanente de peso próprio dos pisos. Para estruturas nas Zonas Sísmicas 2, 3 e 4 (Categoria Sísmica B ou C), são permitidas análises sísmicas de acordo com o processo aproximado das Forças Horizontais Equivalentes ou por processos mais rigorosos como o Método Espectral ou a Análise de Históricos de Acelerações no Tempo.

3.1.3 Análise pelo Método das Forças Horizontais Equivalentes

Segundo o Método das Forças Horizontais Equivalentes, a força horizontal total na base da estrutura, em uma dada direção, é determinada de acordo com a seguinte expressão:

$$H = C_s W \quad (3.1)$$

Nesta expressão, C_s é o coeficiente de resposta sísmica e W é o peso total da estrutura, considerando somente as cargas permanentes (incluindo o peso operacional de todos os equipamentos fixados à estrutura). O coeficiente de resposta sísmica é definido como:

$$C_s = \frac{2,5(a_{gs0}/g)}{(R/I)} \quad (3.2)$$

Sendo que o mesmo não precisa ser maior que o valor definido na equação (3.3) e o seu valor mínimo é de 0,01.

$$C_s = \frac{(a_{gs1}/g)}{T(R/I)} \quad (3.3)$$

Nas duas equações anteriores, g é a aceleração da gravidade, T é o período natural, em segundos, associado a cada um dos modos de vibração da estrutura. As grandezas a_{gs0} e a_{gs1} são as acelerações espectrais para os períodos de 0,0s e 1,0s, respectivamente, já considerando o efeito da amplificação sísmica no solo, conforme definido a seguir:

$$a_{gs0} = C_a a_g \quad (3.4)$$

$$a_{gs1} = C_v a_g \quad (3.5)$$

onde C_a e C_v são os fatores de amplificação sísmica do solo para os períodos de 0,0s e 1,0s, respectivamente, conforme a Tabela 3, em função da aceleração característica de projeto a_g e da classe do terreno (ver as definições das diversas classes de terreno na NBR 15421).

Tabela 3: Fatores de amplificação sísmica no solo

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

O parâmetro I corresponde ao fator de importância de utilização, que é definido na Tabela 4, e R corresponde ao coeficiente de modificação de resposta, que é definido na Tabela 5.

Tabela 4: Definição das categorias de utilização e dos fatores de importância

Categoria de utilização	Natureza da ocupação	Fator <i>I</i>
I	Todas as estruturas não classificadas como de categoria II ou III	1,0
II	<p>Estruturas de importância substancial para a preservação da vida humana no caso de ruptura, incluindo, mas não estando limitadas às seguintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Estruturas em que haja reunião de mais de 300 pessoas em uma única área – Estruturas para educação pré-escolar com capacidade superior a 150 ocupantes – Estruturas para escolas primárias ou secundárias com mais de 250 ocupantes – Estruturas para escolas superiores ou para educação de adultos com mais de 500 ocupantes – Instituições de saúde para mais de 50 pacientes, mas sem instalações de tratamento de emergência ou para cirurgias – Instituições penitenciárias – Quaisquer outras estruturas com mais de 5 000 ocupantes – Instalações de geração de energia, de tratamento de água potável, de tratamento de esgotos e outras instalações de utilidade pública não classificadas como de categoria III – Instalações contendo substâncias químicas ou tóxicas cujo extravasamento possa ser perigoso para a população, não classificadas como de categoria III 	1,25
III	<p>Estruturas definidas como essenciais, incluindo, mas não estando limitadas, às seguintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Instituições de saúde com instalações de tratamento de emergência ou para cirurgias – Prédios de bombeiros, de instituições de salvamento e policiais e garagens para veículos de emergência, Defesa Civil – Centros de coordenação, comunicação e operação de emergência e outras instalações necessárias para a resposta em emergência – Instalações de geração de energia e outras instalações necessárias para a manutenção em funcionamento das estruturas classificadas como de categoria III – Torres de controle de aeroportos, centros de controle de tráfego aéreo e hangares de aviões de emergência – Estações de tratamento de água necessárias para a manutenção de fornecimento de água para o combate ao fogo – Estruturas com funções críticas para a Defesa Nacional – Instalações contendo substâncias químicas ou tóxicas consideradas altamente perigosas, conforme classificação de autoridade governamental designada para tal 	1,50

Tabela 5: Coeficientes de projeto para os diversos sistemas básicos sismo-resistentes

Sistema básico sismo-resistente	Coeficiente de modificação da resposta R	Coeficiente de sobre-resistência Ω_0	Coeficiente de amplificação de deslocamentos C_d
Pilares-parede de concreto com detalhamento especial	5	2,5	5
Pilares-parede de concreto com detalhamento usual	4	2,5	4
Pórticos de concreto com detalhamento especial	8	3	5,5
Pórticos de concreto com detalhamento intermediário	5	3	4,5
Pórticos de concreto com detalhamento usual	3	3	2,5
Pórticos de aço momento-resistentes com detalhamento especial	8	3	5,5
Pórticos de aço momento-resistentes com detalhamento intermediário	4,5	3	4
Pórticos de aço momento-resistentes com detalhamento usual	3,5	3	3
Pórticos de aço contraventados em treliça, com detalhamento especial	6	2	5
Pórticos de aço contraventados em treliça, com detalhamento usual	3,25	2	3,25
Sistema dual, composto de pórticos com detalhamento especial e pilares-parede de concreto com detalhamento especial	7	2,5	5,5
Sistema dual, composto de pórticos com detalhamento especial e pilares-parede de concreto com detalhamento usual	6	2,5	5
Sistema dual, composto de pórticos com detalhamento especial e pórticos de aço contraventados em treliça com detalhamento especial	7	2,5	5,5
Sistema dual, composto de pórticos com detalhamento intermediário e pilares-parede de concreto com detalhamento especial	6,5	2,5	5
Sistema dual, composto de pórticos com detalhamento intermediário e pilares-parede de concreto com detalhamento usual	5,5	2,5	4,5
Sistema dual, composto de pórticos com detalhamento usual e pilares-parede de concreto com detalhamento usual	4,5	2,5	4
Estruturas do tipo pêndulo invertido e sistemas de colunas em balanço	2,5	2	2,5

O período natural da estrutura (T), em segundos, pode ser obtido por uma expressão aproximada que leva em conta as características dos sistemas estruturais sísmo-resistentes e a altura da edificação:

$$T = C_T h_n^x \quad (3.6)$$

Na equação acima, h_n é a altura total, em metros, do edifício acima da base e os coeficientes C_T (coeficiente de período da estrutura) e x são definidos por:

$C_T = 0,0724$ e $x = 0,8$ para estruturas em que as forças sísmicas horizontais são 100% resistidas por pórticos de aço momento-resistentes, não sendo estes ligados a sistemas mais rígidos que impeçam sua livre deformação quando submetidos à ação sísmica;

$C_T = 0,0466$ e $x = 0,9$ para estruturas em que as forças sísmicas horizontais são 100% resistidas por pórticos de concreto, não sendo estes ligados a sistemas mais rígidos que impeçam sua livre deformação quando submetidos à ação sísmica;

$C_T = 0,0731$ e $x = 0,75$ para estruturas em que as forças sísmicas horizontais são resistidas em parte por pórticos de aço contraventados com treliças;

$C_T = 0,0488$ e $x = 0,75$ para todas as outras estruturas.

A força horizontal total na base H é distribuída verticalmente entre as várias elevações da estrutura, de modo que, em cada elevação x , seja aplicada uma força F_x , definida de acordo com a expressão a seguir:

$$F_x = C_{vx} H \quad (3.7)$$

onde C_{vx} é o coeficiente de distribuição vertical dado por:

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.8)$$

onde:

w_i e w_x são as parcelas de peso efetivo total que correspondem às elevações i ou x , respectivamente;

h_i e h_x são as alturas entre a base e as elevações i ou x , respectivamente;

k é o expoente de distribuição, relacionado ao período natural da estrutura T , com os seguintes valores:

- para estruturas com período inferior a 0,5s, $k = 1$;
- para estruturas com períodos entre 0,5s e 2,5s, $k = (T + 1,5) / 2$;
- para estruturas com período superior a 2,5s, $k = 2$.

3.1.4 Combinação Básica de Cálculo

A base fundamental considerada como referência de norma para elaboração da NBR 15421 é a Norma Brasileira de Ações e Segurança nas Estruturas, NBR 8681 (ABNT, 2003). Nos aspectos relacionados à resistência sísmica, foi tomada como base a Norma Americana ASCE/SEI 7-05 (ASCE, 2005).

De acordo com a NBR 8681, as ações sísmicas devem ser consideradas ações excepcionais. Nas combinações últimas excepcionais de carga, os coeficientes de ponderação a considerar são:

$\gamma_g = 1,2$ (coeficiente para ações permanentes na combinação última excepcional)

$\gamma_q = 1,0$ (coeficiente para ações variáveis na combinação última excepcional)

$\gamma_{exc} = 1,0$ (coeficiente para ações excepcionais na combinação última excepcional)

A ação de cálculo requerida sob condições sísmicas é definida pela NBR 8681 considerando os efeitos dos fatores de cargas conforme explicitado abaixo:

$$E_d = 1,2 E_g + 1,0 E_q + 1,0 E_{exc} \quad (3.9)$$

Nesta combinação, E_d , E_g , E_q e E_{exc} são, respectivamente, o valor numérico de uma determinada solicitação de cálculo e as parcelas devidas às cargas permanente, acidental e sísmica.

3.2 CÁLCULO DA RECORRÊNCIA SÍSMICA

Gutenberg e Richter (1944) realizaram estudos de recorrência sísmica relacionando frequência anual acumulada e magnitude. A expressão de Gutenberg e Richter pode ser apresentada como:

$$\log_{10}(\sum N) = a - b \cdot M \quad (3.10)$$

Nessa expressão, a e b são coeficientes que dependem da sismicidade local, M é a magnitude e $\sum N$ é o número total de terremotos com magnitude equivalente ou superior a M num período de um ano. A magnitude de um sismo indica a quantidade de energia libertada por esse evento sísmico. Ela é baseada em medições precisas da amplitude das ondas sísmicas nos sismogramas, para distâncias conhecidas entre o epicentro e a estação sísmica. É no epicentro do terremoto que normalmente o grau de intensidade é mais elevado e seus efeitos vão diminuindo à medida que se afasta dessa área. Intensidade sísmica é uma medida qualitativa que mede os danos causados pelo sismo.

A expressão anterior também pode ser escrita como:

$$\sum N = \frac{1}{T_M} = c \cdot e^{(-d \cdot M)} \quad (3.11)$$

onde $c = 10^a = 831,8$ e $d = -b \log_e 10 = 2,326$; T_M é o período de recorrência de um terremoto com magnitude, no mínimo, equivalente a M , sendo:

$$T_M(M) = \frac{1}{\sum N(M)} \quad (3.12)$$

onde $\sum N(M)$ é o número total de terremotos associados à magnitude equivalente ou superior a M num período de um ano.

Vale salientar que adotar essa fórmula para a caracterização sísmica implica em considerar a “sismicidade difusa”, conforme definido por McGuire (2004). Isso significa que para esse tipo de região intra-placas tectônicas inativas, a sismicidade futura é assumida como tendo distribuições de propriedades e pontos de liberação de energia que não variam no tempo e no espaço. O risco sísmico não é avaliado levando em conta falhas ativas que apresentem

um dado potencial sísmico, mas das fontes difusas distribuídas na província tectônica considerada.

3.2.1 Aplicação à Região Nordeste

3.2.1.1 Sismicidade do Ceará segundo Marza

Marza et al. (s.a.) desenvolveram um estudo de caracterização da sismicidade do Ceará que pode ser considerado representativo e conservador o bastante para a região em questão.

Foi feita a análise estatística dos terremotos utilizando a relação frequência-magnitude com a expressão de Gutenberg e Richter já citada. A distribuição cumulativa das frequências dos sismos foi representada pela relação a seguir:

$$\log_{10}(\sum N) = 2,92 - 1,01 \cdot M \quad (3.13)$$

O resultado do trabalho de Marza comprovou que o potencial sísmico do Estado do Ceará não é desprezível e as probabilidades de ocorrência de eventos significativos (magnitude ≥ 4) são bastante altas.

Santos e Souza Lima (2004) a partir dos estudos de Marza, fizeram a avaliação da correlação entre acelerações sísmicas horizontais e período de recorrência para o Estado do Ceará. Nesse estudo, consideraram um retângulo de 64.000km² delimitando a área de análise, conforme mostrado na Figura 5. É conservador considerar que toda a sismicidade do Ceará está concentrada e uniformemente distribuída na área desse retângulo.

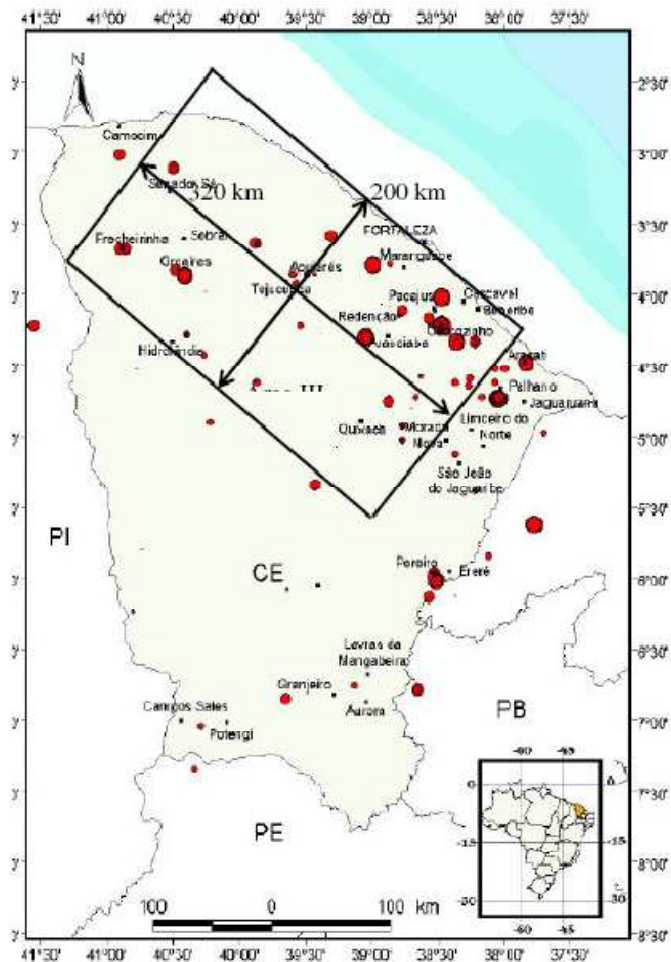


Figura 5: Área de estudo delimitada por Santos e Souza Lima - Nordeste

3.2.2 Aplicação à Região Sudeste

3.2.2.1 Estudo do Sudeste segundo Berrocal e Almeida

Berrocal (1996) desenvolveu um estudo sobre a sismicidade da região Sudeste e o mesmo foi aprimorado posteriormente por Almeida (2002), que considerou um conjunto de dados maior. Santos e Souza Lima (2004) consideraram um retângulo de 480.000km^2 delimitando a área de análise, conforme mostrado na Figura 7, que segundo Berrocal (1996) corresponde à área mais ativa sismicamente da região Sudeste. É conservador considerar que toda a sismicidade do Sudeste está concentrada e uniformemente distribuída na área desse retângulo.

Almeida (2002) fez a análise estatística dos terremotos utilizando a relação frequência-magnitude com a expressão de Gutenberg e Richter já citada. A distribuição cumulativa das frequências dos sismos foi representada pela relação a seguir:

$$\log_{10}(\sum N) = 4,44 - 1,28 \cdot M \quad (3.14)$$

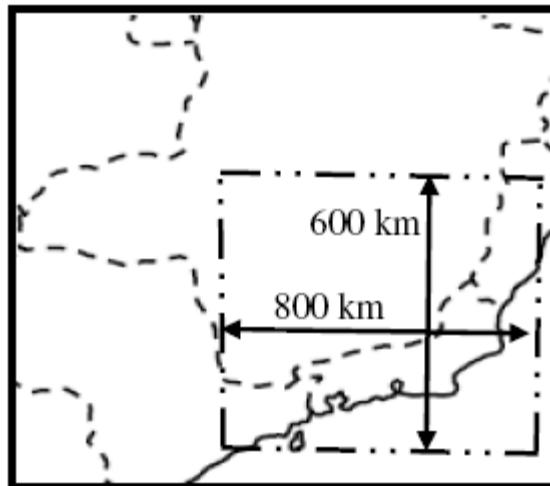


Figura 6: Área de estudo delimitada por Santos e Souza Lima - Sudeste

4 METODOLOGIA EMPREGADA PARA ANÁLISE DE DADOS SÍSMICOS NAS REGIÕES NORDESTE E SUDESTE DO BRASIL

4.1 ANÁLISE DE DADOS SÍSMICOS APLICADOS À REGIÃO NORDESTE

O estudo feito para a região Nordeste se restringe ao estado do Ceará, uma vez que o mesmo é considerado como sendo a área mais ativa em termos sísmicos, conforme já ressaltado anteriormente.

4.1.1 Discretização da área sísmica em estudo

O presente trabalho trata a região Nordeste de uma forma mais precisa. A delimitação da área, conforme pode ser observado na Figura 7, foi feita procurando envolver o maior número de pontos de ocorrência de sismos com as maiores magnitudes e regiões mais densas de pontos (no caso, acumulados na região norte do Ceará). A região discretizada corresponde a uma área de 78.729km^2 no total, a qual foi dividida em 351 sub-regiões com 225km^2 cada uma (no caso de quadrados perfeitos). Das sub-regiões posicionadas no contorno da área total, foram consideradas apenas aquelas que possuem uma área maior ou igual à metade da área de um quadrado perfeito.

4.1.2 Quantidade de eventos na região Nordeste

Para analisar a região Nordeste, foram utilizados 8 valores limites de magnitude: $M_1 \geq 3,5$; $M_2 \geq 4,0$; $M_3 \geq 4,5$; $M_4 \geq 5,0$; $M_5 \geq 5,5$; $M_6 \geq 6,0$; $M_7 \geq 6,5$; $M_8 \geq 7,0$.

Utilizando a equação (3.13), proposta por Marza, e dispondo dos valores acima, pode-se calcular o número de eventos ocorridos nos seguintes intervalos: $3,5 \leq M \leq 4,0$; $4,0 \leq M \leq 4,5$; $4,5 \leq M \leq 5,0$; $5,0 \leq M \leq 5,5$; $5,5 \leq M \leq 6,0$; $6,0 \leq M \leq 6,5$; $6,5 \leq M \leq 7,0$; e dividi-los pelo número de sub-regiões que compõem a área discretizada. Os resultados são apresentados a seguir.

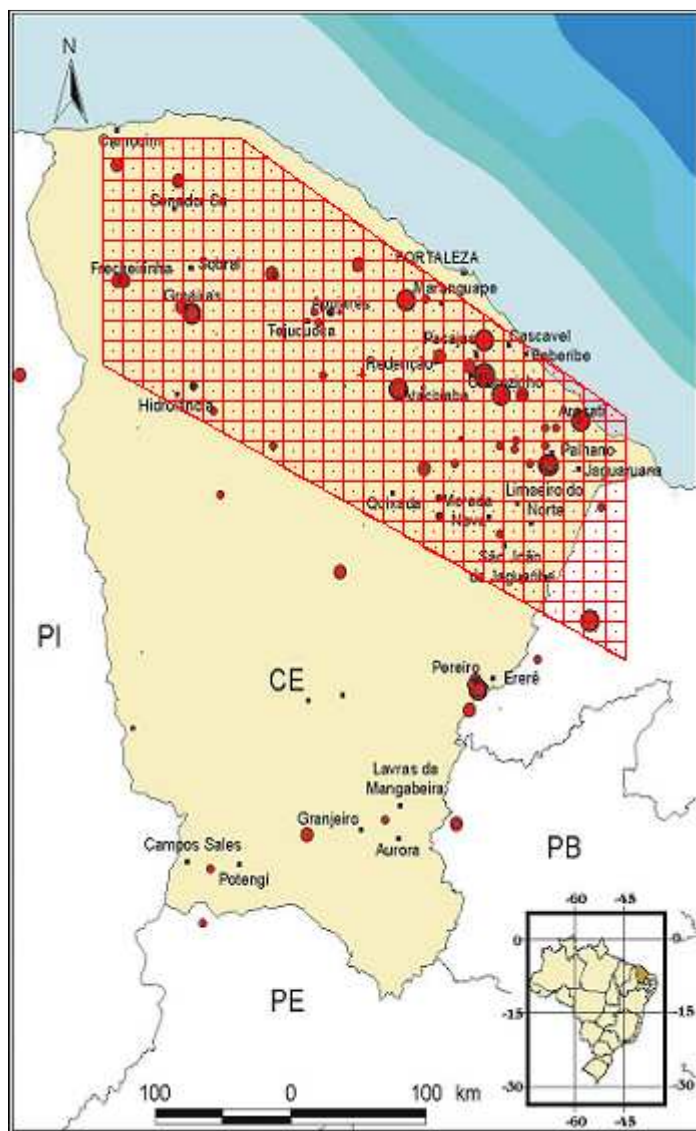


Figura 7: Área de estudo discretizada (região Nordeste)

Tabela 6: Números de eventos (região Nordeste)

	M	$\log(\Sigma N) = 2,92 - 1,01M$	ΣN (em 1 ano)	ΣN (em 1.000.000 anos)	Intervalos	ΣN (intervalos)	Cada sub-região (/351)
$M \geq 3,5$	3,5	-0,615	0,24266101	242661,0095			
					$3,5 \leq M \leq 4,0$	166803,2520	475,2229
$M \geq 4,0$	4,0	-1,12	0,075857758	75857,7575			
					$4,0 \leq M \leq 4,5$	52144,0204	148,5585
$M \geq 4,5$	4,5	-1,625	0,023713737	23713,7371			
					$4,5 \leq M \leq 5,0$	16300,6346	46,4406
$M \geq 5,0$	5,0	-2,13	0,007413102	7413,1024			
					$5,0 \leq M \leq 5,5$	5095,7078	14,5177
$M \geq 5,5$	5,5	-2,635	0,002317395	2317,3946			
					$5,5 \leq M \leq 6,0$	1592,9587	4,5383
$M \geq 6,0$	6,0	-3,14	0,000724436	724,4360			
					$6,0 \leq M \leq 6,5$	497,9715	1,4187
$M \geq 6,5$	6,5	-3,645	0,000226464	226,4644			
					$6,5 \leq M \leq 7,0$	155,6699	0,4435
$M \geq 7,0$	7,0	-4,15	7,07946E-05	70,7946			

4.2 ANÁLISE DE DADOS SÍSMICOS APLICADOS À REGIÃO SUDESTE

O estudo feito para a região Sudeste engloba os estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo. Apesar de pertencer a uma área considerada de baixa sismicidade, esta é a região mais populosa e economicamente desenvolvida do Brasil, e também é a que possui mais estudos sismológicos disponíveis.

4.2.1 Discretização da área sísmica em estudo

O presente trabalho trata a região Sudeste de uma forma mais precisa. A delimitação da área, conforme pode ser observado na Figura 8, foi feita procurando envolver todos os estados. A região discretizada corresponde a uma área de 988.263km^2 no total, a qual foi dividida em 313 sub-regiões com 3.136km^2 cada uma (no caso de quadrados perfeitos). Das sub-regiões posicionadas no contorno da área total, foram consideradas apenas aquelas que possuem uma área maior ou igual à metade da área de um quadrado perfeito.



Figura 8: Área de estudo discretizada (região Sudeste)

4.2.2 Quantidade de eventos na região Sudeste

Para analisar a região Sudeste, foram utilizados os mesmos 8 valores limites de magnitude usados para a Região Nordeste: $M_1 \geq 3,5$; $M_2 \geq 4,0$; $M_3 \geq 4,5$; $M_4 \geq 5,0$; $M_5 \geq 5,5$; $M_6 \geq 6,0$; $M_7 \geq 6,5$; $M_8 \geq 7,0$.

Utilizando-se a equação (3.14), proposta por Almeida, e dispendo dos valores acima pode-se calcular o número de eventos ocorridos nos seguintes intervalos: $3,5 \leq M \leq 4,0$; $4,0 \leq M \leq 4,5$; $4,5 \leq M \leq 5,0$; $5,0 \leq M \leq 5,5$; $5,5 \leq M \leq 6,0$; $6,0 \leq M \leq 6,5$; $6,5 \leq M \leq 7,0$; e dividí-los pelo número de sub-regiões que compõem a área discretizada. Os resultados são apresentados a seguir:

Tabela 7: Números de eventos (região Sudeste)

	M	$\log(\sum N) = 4,44 - 1,28M$	$\sum N$ (em 1 ano)	$\sum N$ (em 1.000.000 anos)	Intervalos	$\sum N$ (intervalos)	Cada sub-região (/313)
$M \geq 3,5$	3,5	-0,04	0,912010839	912010,8394			
					$3,5 \leq M \leq 4,0$	703081,2263	2246,2659
$M \geq 4,0$	4,0	-0,68	0,208929613	208929,6131			
					$4,0 \leq M \leq 4,5$	161066,6039	514,5898
$M \geq 4,5$	4,5	-1,32	0,047863009	47863,0092			
					$4,5 \leq M \leq 5,0$	36898,2273	117,8857
$M \geq 5,0$	5,0	-1,96	0,010964782	10964,7820			
					$5,0 \leq M \leq 5,5$	8452,8955	27,0061
$M \geq 5,5$	5,5	-2,6	0,002511886	2511,8864			
					$5,5 \leq M \leq 6,0$	1936,4465	6,1867
$M \geq 6,0$	6,0	-3,24	0,00057544	575,4399			
					$6,0 \leq M \leq 6,5$	443,6143	1,4173
$M \geq 6,5$	6,5	-3,88	0,000131826	131,8257			
					$6,5 \leq M \leq 7,0$	101,6262	0,3247
$M \geq 7,0$	7,0	-4,52	3,01995E-05	30,1995			

4.3 DISTRIBUIÇÃO PROBABILÍSTICA DE ACELERAÇÕES

Ainda não há nenhum estudo concluído que defina funções de atenuação sísmica para o território brasileiro. Portanto, será considerado que a função de atenuação proposta por Toro et al. (1997) para as regiões do centro e leste dos Estados Unidos, que são áreas consideradas de baixa sismicidade dentro do território americano, pode ser utilizada no caso do Brasil, já que este apresenta condições similares de baixa sismicidade. A função adotada é a seguinte:

$$\ln(a_g) = C_1 + C_2(M - 6) + C_3(M - 6)^2 - C_4(\ln R_M) - (C_5 - C_4) \max[\ln(R_M/100), 0] - C_6 R_M \quad (4.1)$$

onde:

a_g é a aceleração espectral horizontal (em g), ou seja, aceleração a ser considerada nos diversos espectros de projeto;

$$R_M = (r^2 + C_7^2)^{1/2}; \quad (4.2)$$

r é a distância do epicentro em km;

M é a magnitude do sismo;

$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ e C_7 são constantes que dependem do valor da frequência adotada, conforme mostra a Tabela 8 a seguir.

Tabela 8: Coeficientes das Equações de Atenuação

Freq. (Hz)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0,5	-0,97	2,52	-0,47	0,93	0,60	0,0012	7,0
1	-0,12	2,05	-0,34	0,90	0,59	0,0019	6,8
2,5	0,90	1,70	-0,26	0,94	0,65	0,0030	7,2
5	1,60	1,24	0,00	0,98	0,74	0,0039	7,5
10	2,36	1,23	0,00	1,12	1,05	0,0043	8,5
25	3,54	1,19	0,00	1,46	1,84	0,0010	10,5
35	3,87	1,19	0,00	1,58	1,90	0,0005	11,1
PGA	2,07	1,20	0,00	1,28	1,23	0,0018	9,3

Os cálculos para determinar as acelerações espectrais em cada elemento de área discretizado, tanto para a região Nordeste como para a região Sudeste, foram feitos com o auxílio de planilhas Excel para cada valor de frequência adotado e estas planilhas estão anexadas aos Apêndices.

4.4 CÁLCULO DOS PERÍODOS DE RECORRÊNCIA

A partir dos resultados de acelerações espectrais calculados para cada elemento de área discretizado, foi possível fazer um estudo de quantas sub-regiões (elementos discretizados) obtiveram acelerações (em g's) dentro dos intervalos pré-determinados que serão apresentados em seguida. De posse desses valores, bastou multiplicá-los pelo número de eventos que ocorrem em 1.000.000 anos em cada sub-região de acordo com a magnitude

adotada, conforme apresentado nas Tabelas 6 e 7 e fazer o somatório para cada intervalo de aceleração. Os valores de período de recorrência foram obtidos dividindo 1.000.000 pelos valores de frequência acumulada.

Os resultados dos cálculos foram listados de acordo com a magnitude adotada e com os intervalos de acelerações espectrais. As Tabelas 9 a 16 mostram os valores obtidos para a região Nordeste e as Tabelas 17 a 24 mostram os valores obtidos para a região Sudeste.

• **PARA A REGIÃO NORDESTE**

Tabela 9: Períodos de Recorrência (PGA) – Região Nordeste

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - PGA																
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)															
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0
M=4,0	29	120	92	82	19	7	1	1								
M=4,5		44	117	122	43	18	3	2	1	1						
M=5,0			62	143	88	38	9	4	3	0	4					
M=5,5			2	116	100	81	24	10	5	4	5	4				
M=6,0				19	114	99	50	25	12	7	14	7	4			
M=6,5					29	120	55	37	31	21	30	19	7	2		
M=7,0						44	71	45	33	24	65	44	21	3	1	
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - PGA																
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)															
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0
M=4,0	13781,46	57026,75	43720,51	38968,28	9029,24	3326,56	475,22	475,22								
M=4,5		6536,57	17381,34	18124,14	6388,02	2674,05	445,68	297,12	148,56	148,56						
M=5,0			2879,32	6641,01	4086,77	1764,74	417,97	185,76	139,32	0,00	185,76					
M=5,5			29,04	1684,05	1451,77	1175,93	348,42	145,18	72,59	58,07	72,59	58,07				
M=6,0				86,23	517,37	449,29	226,92	113,46	54,46	31,77	63,54	31,77	18,15			
M=6,5					41,14	170,24	78,03	52,49	43,98	29,79	42,56	26,96	9,93	2,84		
M=7,0						19,51	31,49	19,96	14,64	10,64	28,83	19,51	9,31	1,33	0,44	
Somatório	0	13781,46	63563,32	64010,20	65503,70	21514,30	9580,34	2023,72	1289,19	473,54	278,83	393,28	136,31	37,40	4,17	0,44
Resultados - PGA																
Frequência Acumulada	242590,21	242590,21	228808,75	165245,42	101235,22	35731,52	14217,22	4636,88	2613,16	1323,97	850,43	571,59	178,32	42,01	4,61	0,44
Período (anos)	4,12	4,12	4,37	6,05	9,88	27,99	70,34	215,66	382,68	755,30	1175,88	1749,50	5607,98	23804,42	216853,88	2254791,43

Nota: PGA – “peak ground acceleration” – equivalente ao período zero

Tabela 10: Períodos de Recorrência (F=35Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=35Hz																
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)															
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0
M=4,0			20	137	124	41	16	7	2	2		2				
M=4,5				36	170	85	34	12	5	2	3	2	2			
M=5,0					106	117	73	23	10	6	3	7	4	2		
M=5,5					4	122	109	46	21	14	6	15	10	4		
M=6,0						12	134	61	41	24	19	29	18	10	3	
M=6,5							23	84	53	39	24	59	41	21	5	2
M=7,0								4	35	52	35	85	82	40	11	7
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=35Hz																
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)															
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0
M=4,0		9504,46	65105,54	58927,64	19484,14	7603,57	3326,56	950,45	950,45	0,00	950,45					
M=4,5			5348,11	25254,95	12627,47	5050,99	1782,70	742,79	297,12	445,68	297,12	297,12				
M=5,0				4922,70	5433,55	3390,16	1068,13	464,41	278,64	139,32	325,08	185,76	92,88			
M=5,5				58,07	1771,16	1582,43	667,81	304,87	203,25	87,11	217,77	145,18	58,07			
M=6,0					54,46	608,13	276,84	186,07	108,92	86,23	131,61	81,69	45,38	13,61		
M=6,5						32,63	119,17	75,19	55,33	34,05	83,70	58,17	29,79	7,09	2,84	
M=7,0								1,77	15,52	23,06	15,52	37,70	36,37	17,74	4,88	3,10
Somatório	0	0,00	9504,46	70453,64	89163,36	39370,78	18267,91	7242,99	2739,30	1916,76	807,90	2043,42	804,28	243,87	25,59	5,94
Resultados - F=35Hz																
Frequência Acumulada	242590,21	242590,21	242590,21	233085,75	162632,11	73468,75	34097,97	15830,06	8587,07	5847,77	3931,00	3123,10	1079,68	275,40	31,53	5,94
Período (anos)	4,12	4,12	4,12	4,29	6,15	13,61	29,33	63,17	116,45	171,01	254,39	320,19	926,20	3631,13	31717,03	168296,34

Tabela 11: Períodos de Recorrência (F=25Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=25Hz																	
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)																
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0	
M=4,0			1	112	153	52	20	6	3	1	1	2					
M=4,5				5	175	95	47	13	5	4	2	3	2				
M=5,0					51	146	88	29	10	8	5	8	4	2			
M=5,5						75	135	58	25	14	12	18	9	5			
M=6,0							98	83	44	30	21	38	23	10	4		
M=6,5								2	51	68	41	35	71	51	23	7	2
M=7,0										7	28	42	105	95	54	13	7
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=25Hz																	
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)																
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0	
M=4,0			475,22	53224,96	72709,10	24711,59	9504,46	2851,34	1425,67	475,22	475,22	950,45					
M=4,5				742,79	25997,74	14113,06	6982,25	1931,26	742,79	594,23	297,12	445,68	297,12				
M=5,0					2368,47	6780,33	4086,77	1346,78	464,41	371,52	232,20	371,52	185,76	92,88			
M=5,5						1088,83	1959,89	842,03	362,94	203,25	174,21	261,32	130,66	72,59			
M=6,0							444,75	376,68	199,69	136,15	95,30	172,46	104,38	45,38	18,15		
M=6,5								2,84	72,35	96,47	58,17	49,65	100,73	72,35	32,63	9,93	2,84
M=7,0										3,10	12,42	18,63	46,57	42,13	23,95	5,77	3,10
Somatório	0	0,00	475,22	53967,76	101075,31	46693,80	22980,96	7420,43	3295,07	1850,96	1342,34	2348,72	832,41	267,43	33,85	5,94	
Resultados - F=25Hz																	
Frequência Acumulada	242590,21	242590,21	242590,21	242114,99	188147,23	87071,92	40378,11	17397,15	9976,72	6681,65	4830,69	3488,34	1139,63	307,22	39,79	5,94	
Período (anos)	4,12	4,12	4,12	4,13	5,31	11,48	24,77	57,48	100,23	149,66	207,01	286,67	877,48	3254,96	25131,00	168296,34	

Tabela 12: Períodos de Recorrência (F=10Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=10Hz																	
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)																
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0	
M=4,0		1	50	98	119	54	20	5	2	1	1						
M=4,5			2	60	128	86	47	14	7	3	0	3	1				
M=5,0				4	103	93	85	31	12	9	1	9	4				
M=5,5					22	99	85	58	29	16	11	17	10	4			
M=6,0						29	99	54	38	29	22	43	24	11	2		
M=6,5							39	62	41	30	23	67	57	25	5	2	
M=7,0								1	18	32	34	27	70	86	63	14	6
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=10Hz																	
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)																
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0	
M=4,0		475,22	23761,15	46571,84	56551,53	25662,04	9504,46	2376,11	950,45	475,22	475,22						
M=4,5			297,12	8913,51	19015,49	12776,03	6982,25	2079,82	1039,91	445,68	0,00	445,68	148,56				
M=5,0				185,76	4783,38	4318,98	3947,45	1439,66	557,29	417,97	46,44	417,97	185,76				
M=5,5					319,39	1437,25	1234,00	842,03	421,01	232,28	159,69	246,80	145,18	58,07			
M=6,0						131,61	449,29	245,07	172,46	131,61	99,84	195,15	108,92	49,92	9,08		
M=6,5							55,33	87,96	58,17	42,56	32,63	95,05	80,87	35,47	7,09	2,84	
M=7,0							0,44	7,98	14,19	15,08	11,97	31,05	38,14	27,94	6,21	2,66	
Somatório	0	475,22	24058,26	55671,12	80669,78	44325,91	22173,23	7078,63	3213,47	1760,40	825,81	1431,69	707,42	171,40	22,38	5,50	
Resultados - F=10Hz																	
Frequência Acumulada	242590,21	242590,21	242114,99	218056,73	162385,61	81715,82	37389,92	15216,69	8138,06	4924,59	3164,19	2338,39	906,70	199,28	27,88	5,50	
Período (anos)	4,12	4,12	4,13	4,59	6,16	12,24	26,75	65,72	122,88	203,06	316,04	427,64	1102,90	5018,13	35871,22	181871,09	

Tabela 13: Períodos de Recorrência (F=5Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=5Hz																	
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)																
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0	
M=4,0		2	60	99	125	46	15	2	1	1							
M=4,5			4	71	126	92	41	10	3	1	1	2					
M=5,0				7	111	89	92	25	13	4	3	5	2				
M=5,5					29	99	92	56	28	16	9	13	7	2			
M=6,0						37	102	54	36	35	22	37	21	7			
M=6,5							1	43	64	41	31	21	71	54	21	4	
M=7,0								2	19	37	35	28	63	98	55	10	4
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=5Hz																	
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)																
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0	
M=4,0		950,45	28513,37	47047,07	59402,86	21860,25	7128,34	950,45	475,22	475,22							
M=4,5			594,23	10547,65	18718,37	13667,38	6090,90	1485,59	445,68	148,56	148,56	297,12					
M=5,0				325,08	5154,91	4133,21	4272,54	1161,02	603,73	185,76	139,32	232,20	92,88				
M=5,5					421,01	1437,25	1335,63	812,99	406,50	232,28	130,66	188,73	101,62	29,04			
M=6,0						167,92	462,91	245,07	163,38	158,84	99,84	167,92	95,30	31,77			
M=6,5							1,42	61,00	90,80	58,17	43,98	29,79	100,73	76,61	29,79	5,67	
M=7,0								0,89	8,43	16,41	15,52	12,42	27,94	43,46	24,39	4,44	1,77
Somatório	0	950,45	29107,61	57919,80	83697,15	41267,44	19352,20	4754,33	2169,08	1260,17	560,59	1014,64	409,88	114,99	10,11	1,77	
Resultados - F=5Hz																	
Frequência Acumulada	242590,21	242590,21	241639,76	212532,16	154612,35	70915,20	29647,76	10295,56	5541,23	3372,15	2111,98	1551,39	536,75	126,87	11,88	1,77	
Período (anos)	4,12	4,12	4,14	4,71	6,47	14,10	33,73	97,13	180,47	296,55	473,49	644,58	1863,05	7881,93	84148,17	563697,86	

Tabela 14: Períodos de Recorrência (F=2,5Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=2,5Hz																
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)															
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0
M=4,0	172	126	39	10	4											
M=4,5	2	111	96	95	40	5	2									
M=5,0			36	113	130	53	15	2	2							
M=5,5				5	121	97	90	20	8	4	2	3	1			
M=6,0					5	87	103	59	39	20	10	18	8	2		
M=6,5						2	75	65	40	25	30	66	35	11	2	
M=7,0							4	32	47	38	28	66	92	37	6	
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=2,5Hz																
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)															
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0
M=4,0	81738,34	59878,09	18533,69	4752,23	1900,89											
M=4,5	297,12	16489,99	14261,62	14113,06	5942,34	742,79	297,12									
M=5,0			1671,86	5247,79	6037,28	2461,35	696,61	92,88	92,88							
M=5,5				72,59	1756,64	1408,22	1306,59	290,35	116,14	58,07	29,04	43,55	14,52			
M=6,0					22,69	394,83	467,44	267,76	176,99	90,77	45,38	81,69	36,31	9,08		
M=6,5						2,84	106,40	92,22	56,75	35,47	42,56	93,63	49,65	15,61	2,84	
M=7,0							1,77	14,19	20,84	16,85	12,42	29,27	40,80	16,41	2,66	
Somatório	82035,46	76368,08	34467,17	24185,66	15659,84	5010,03	2875,94	757,40	463,61	201,16	129,40	248,15	141,28	41,09	5,50	
Resultados - F=2,5Hz																
Frequência Acumulada	242590,21	160554,75	84186,68	49719,50	25533,84	9874,00	4863,97	1988,03	1230,63	767,02	565,86	436,46	188,31	47,03	5,94	
Período (anos)	4,12	6,23	11,88	20,11	39,16	101,28	205,59	503,01	812,59	1303,75	1767,22	2291,15	5310,27	21261,35	168296,34	2254791,43

Tabela 15: Períodos de Recorrência (F=1Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=1Hz																
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)															
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0
M=4,0	344	7														
M=4,5	183	133	27	6	2											
M=5,0		98	107	105	36	4	1									
M=5,5			7	109	152	63	16	2	2							
M=6,0					80	117	105	28	8	6	3	3	1			
M=6,5						35	122	63	50	29	17	22	11	2		
M=7,0							25	72	52	33	23	88	44	12	2	
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=1Hz																
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)															
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0
M=4,0	163476,68	3326,56														
M=4,5	27186,21	19758,28	4011,08	891,35	297,12											
M=5,0		4551,18	4969,14	4876,26	1671,86	185,76	46,44									
M=5,5			101,62	1582,43	2206,69	914,62	232,28	29,04	29,04							
M=6,0					363,06	530,98	476,52	127,07	36,31	27,23	13,61	13,61	4,54			
M=6,5						49,65	173,08	89,38	70,94	41,14	24,12	31,21	15,61	2,84		
M=7,0							11,09	31,93	23,06	14,64	10,20	39,03	19,51	5,32	0,89	
Somatório	190662,88	27636,02	9081,85	7350,04	4538,73	1681,01	939,41	277,42	159,34	83,01	47,93	83,85	39,66	8,16	0,89	
Resultados - F=1Hz																
Frequência Acumulada	242590,21	51927,33	24291,31	15209,46	7859,42	3320,68	1639,67	700,26	422,84	263,50	180,49	132,56	48,70	9,05	0,89	
Período (anos)	4,12	19,26	41,17	65,75	127,24	301,14	609,88	1428,05	2364,97	3795,07	5540,41	7543,83	20532,03	110541,21	1127395,72	-

Tabela 16: Períodos de Recorrência (F=0,5Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=0,5Hz																
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)															
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0
M=4,0	351															
M=4,5	347	4														
M=5,0	196	126	22	6	1											
M=5,5		75	121	106	42	6	1									
M=6,0				77	156	89	22	4	2	1						
M=6,5					31	130	114	44	14	5	6	5	2			
M=7,0						7	119	65	44	41	25	33	13	4		
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=0,5Hz																
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)															
	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	≥1,0
M=4,0	166803,24	1900,89														
M=4,5	51549,80	18718,37	3268,29													
M=5,0	9102,36	3483,05	5619,31	278,64	46,44											
M=5,5		1088,83	1756,64	1538,88	609,74	87,11	14,52									
M=6,0				349,45	707,97	403,91	99,84	18,15	9,08	4,54						
M=6,5					43,98	184,43	161,73	62,42	19,86	7,09	8,51	7,09	2,84	0,00		
M=7,0						3,10	52,78	28,83	19,51	18,18	11,09	14,64	5,77	1,77		
Somatório	227455,40	25191,14	10644,24	2166,97	1408,14	678,55	328,87	109,40	48,45	29,82	19,60	21,73	8,60	1,77	0,00	
Resultados - F=0,5Hz																
Frequência Acumulada	268112,67	40657,28	15466,14	4821,90	2654,93	1246,80	568,25	239,38	129,97	81,52	51,71	32,11	10,38	1,77	0,00	
Período (anos)	3,73	24,60	64,66	207,39	376,66	802,06	1759,80	4177,51	7693,89	12266,79	19340,26	31146,92	96367,89	563697,86	-	-

• PARA A REGIÃO SUDESTE

Tabela 17: Períodos de Recorrência (PGA) – Região Sudeste

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - PGA																			
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g)																		
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	
M=4,0		12	80	97	81	24	12	5	1	1									
M=4,5			18	93	122	49	24	12	3	1									
M=5,0				28	123	85	41	26	6	3			0,75	0,25					
M=5,5					65	99	78	47	14	6	2	1	0,25	0,5	0,25	0,25			
M=6,0					7	72	101	84	27	13	4	2	1	0,5	0,5	1			
M=6,5						12	80	124	54	23	10	3	1,5	1,5	2	1	1		
M=7,0							18	118	87	49	17	7	4	3	5	3	1	1	
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - PGA																			
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g)																		
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	
M=4,0	26955,19	179701,27	217887,79	181947,54	53910,38	26955,19	11231,33	2246,27	2246,27										
M=4,5		9262,62	62779,96	25214,90	12350,16	6175,08	1543,77	514,59	385,94	128,65									
M=5,0			3300,80	14499,94	10020,28	4833,31	3065,03	707,31	353,66	0,00	0,00	58,94	58,94						
M=5,5				1755,40	2673,60	2106,48	1269,29	378,09	162,04	54,01	27,01	6,75	6,75	6,75	6,75				
M=6,0					43,31	445,44	624,86	519,68	167,04	80,43	24,75	12,37	6,19	3,09	3,09	6,19			
M=6,5						17,01	113,38	175,75	76,63	33,60	14,17	4,25	2,13	2,13	2,83	1,42			1,42
M=7,0							5,84	38,31	29,25	15,91	5,52	2,27	1,30	0,97	1,62	0,97	0,32		0,32
Somatório	0	26955,19	188963,89	263899,55	261026,14	92281,62	46899,22	22474,46	5147,26	3405,48	484,39	174,55	75,31	71,89	14,30	15,33	1,74		0,32
Resultados - PGA																			
Frequência Acumulada	911980,65	911980,65	885025,46	696061,57	432162,03	171135,89	78854,27	31865,05	9390,58	4243,32	837,84	353,44	178,89	103,59	31,70	17,40	2,07		0,32
Período (anos)	1,10	1,10	1,13	1,44	2,31	5,84	12,68	31,38	106,49	235,66	1193,55	2829,30	5589,94	9653,71	31546,44	47843,41	483863,16	3079765,94	

Tabela 18: Períodos de Recorrência (F=35Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=35Hz																			
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g)																		
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	
M=4,0				8	172	85	30	12	4	1	0,5	0,25	0,25						
M=4,5					59	136	77	31	6	2	1			0,5	0,5				
M=5,0						79	132	77	15	6	2	1				1			
M=5,5						2	95	151	42	15	2	3	1		1		1		
M=6,0							4	160	94	34	11	3		3	2	1	1	1	
M=6,5								43	140	82	23	8	7	1	4	3	1	1	
M=7,0									63	139	46	24	10	8	13	6	3	1	
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=35Hz																			
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g)																		
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	
M=4,0	17970,13	386357,73	190932,60	67387,98	26955,19	8985,06	2246,27	1123,13	561,57	561,57									
M=4,5		30360,80	69684,21	39623,41	15952,18	3087,54	1029,18	514,59	0,00	0,00	257,29	257,29							
M=5,0			9312,97	15560,91	9077,20	1768,29	707,31	235,77	117,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	117,89				
M=5,5				54,01	2565,58	4077,92	1134,26	405,09	54,01	81,02	27,01	0,00	27,01	0,00	27,00	27,00			
M=6,0					24,75	989,87	581,55	210,35	68,05	18,56	0,00	18,56	12,37	6,19	6,18	6,18			
M=6,5						60,94	198,42	116,22	32,60	11,34	9,92	1,42	5,67	4,25	1,42	1,42			1,42
M=7,0							20,46	45,13	14,94	7,79	3,25	2,60	4,22	1,95	0,97	0,32			
Somatório	0	0,00	0,00	17970,13	416718,53	270283,80	125162,63	57113,41	15775,57	4759,55	2043,09	798,16	601,74	279,87	306,56	130,27	35,58		1,74
Resultados - F=35Hz																			
Frequência Acumulada	911980,65	911980,65	911980,65	911980,65	894010,52	477291,99	207008,19	81845,56	24732,15	8956,58	4197,03	2153,94	1355,77	754,03	474,16	167,60	37,33		1,74
Período (anos)	1,10	1,10	1,10	1,10	1,12	2,10	4,83	12,22	40,43	111,65	238,26	464,27	737,59	1326,20	2108,98	5966,63	26790,83	574052,81	

Tabela 19: Períodos de Recorrência (F=25Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=25Hz																			
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g)																		
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	
M=4,0				1	123	116	49	17	5	1	0,25	0,5	0,25						
M=4,5					18	126	104	49	9	5	1			0,5	0,5				
M=5,0						32	132	108	30	6	3		1		1				
M=5,5							49	169	62	23	3	2		1	1	1			
M=6,0								111	122	53	12	6	2	5	1	1			
M=6,5									11	118	114	30	16	7	3	5	1	1	
M=7,0										19	132	69	31	22	9	17	8	6	1
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=25Hz																			
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g)																		
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	
M=4,0				2246,27	276290,71	260566,84	110067,03	38186,52	11231,33	2246,27	561,57	1123,13	561,57						
M=4,5					9262,62	64838,31	53517,34	25214,90	4631,31	2572,95	514,59	0,00	0,00	257,29	257,29				
M=5,0						3772,34	15560,91	12731,66	3536,57	707,31	353,66	0,00	117,89	0,00	0,00	117,89			
M=5,5							1323,30	4564,03	1674,38	621,14	81,02	81,02	54,01	0,00	27,01	0,00	27,01		
M=6,0								686,72	754,78	327,90	74,24	37,12	12,37	0,00	30,93	6,19	6,19		
M=6,5									15,59	167,24	161,57	42,52	22,68	9,92	9,92	4,25	2,09	1,42	1,42
M=7,0										5,84	42,86	22,40	10,07	7,14	2,92	5,52	2,60	1,95	0,32
Somatório	0	0,00	0,00	2246,27	285553,32	329177,50	180468,58	81399,42	22001,45	6680,00	1650,00	1274,01	762,90	270,14	325,01	133,76	36,56		1,74
Resultados - F=25Hz																			
Frequência Acumulada	911980,65	911980,65	911980,65	911980,65	909734,38	624181,06	295003,56	114534,98	33135,56	11134,11	4454,11	2804,12	1530,10	767,20	497,06	172,06	38,30		1,74
Período (anos)	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,60	3,39	8,73	30,18	89,81	224,51	356,62	653,55	1303,44	2011,82	5812,03	26109,46	574052,81	

Tabela 20: Períodos de Recorrência (F=10Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=10Hz																		
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g ²)																	
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0
M=4,0	2	33	62	67	76	32	22	12	5	1	0,75	0,25						
M=4,5		5	37	57	94	53	31	23	6	5	1	0,5	0,25	0,25				
M=5,0			7	43	80	73	45	41	14	5	3	1	2	1	1			
M=5,5				11	63	64	71	56	24	14	3	2	2			1	1	
M=6,0					24	55	70	80	40	22	7	5	3	5	1	1	1	
M=6,5					3	27	55	95	36	15	5	3	6	5	1	1	1	
M=7,0						4	31	78	73	54	24	8	9	8	9	8	6	
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=10Hz																		
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g ²)																	
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0
M=4,0	4492,53	74126,77	139268,49	150499,82	170716,21	71880,51	49417,85	26955,19	11231,33	2246,27	1684,70	561,57						
M=4,5		2572,95	19039,82	29331,62	48371,44	27273,26	15952,28	11835,57	3087,54	2572,95	514,59	0,00	257,29	128,65	128,65			
M=5,0			825,20	5069,09	9430,86	8605,66	5304,86	4833,31	1650,40	589,43	353,66	117,89	0,00	0,00	0,00	117,89		
M=5,5				297,07	1701,38	1728,39	1917,43	1512,34	648,15	378,09	81,02	54,01	0,00	27,01	0,00	27,01	27,01	
M=6,0					148,48	340,27	433,07	494,94	247,47	136,11	43,31	30,93	18,56	0,00	30,93	6,19	6,19	
M=6,5					4,25	38,27	77,95	154,64	79,37	51,02	21,26	7,09	4,25	8,50	7,09	1,42	1,42	
M=7,0						1,30	10,07	25,33	23,70	17,53	7,79	2,60	2,60	2,92	2,92	1,95	0,32	
Somatório	4492,53	76699,72	159133,51	185197,59	230372,62	109867,65	73113,51	45791,32	16967,95	5991,39	2706,32	801,09	339,88	135,50	198,01	133,76	36,56	
Resultados - F=10Hz																		
Frequência Acumulada	911980,65	907488,12	830788,40	671654,89	486457,30	256084,68	146217,03	73103,52	27312,20	10344,25	4352,85	1646,53	845,44	505,57	370,07	172,06	38,30	1,74
Período (anos)	1,10	1,10	1,20	1,49	2,06	3,90	6,84	13,68	36,61	96,67	229,73	607,34	1182,81	1977,98	2702,19	6812,08	26109,46	574052,81

Tabela 21: Períodos de Recorrência (F=5Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=5Hz																		
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g ²)																	
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0
M=4,0	1	32	64	69	80	31	19	12	4	0,5	0,5							
M=4,5		4	35	60	96	53	32	23	6	3	0,5	0,5						
M=5,0			5	39	86	75	45	39	14	6	2	1	1	1				
M=5,5				7	64	66	72	59	22	13	3	4	1	1	1			
M=6,0					18	61	70	85	38	20	8	4	2	2	3	1	1	
M=6,5					2	22	59	97	57	35	17	5	4	5	3	5	1	
M=7,0						2	28	82	74	57	22	10	8	6	10	9	4	
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=5Hz																		
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g ²)																	
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0
M=4,0	2246,27	71880,51	143761,02	154992,35	179701,27	69634,24	42679,05	26955,19	8985,06	1123,13	1123,13							
M=4,5		2058,36	18010,64	30875,39	49400,62	27273,26	16466,87	11835,57	3087,54	1543,77	0,00	257,29	257,29					
M=5,0			589,43	4597,54	10138,17	8841,43	5304,86	4597,54	1650,40	707,31	235,77	117,89	0,00			117,89		
M=5,5				189,04	1728,39	1782,40	1944,44	1593,36	594,13	351,08	81,02	108,02	27,01	27,01	0,00	27,01		
M=6,0					111,36	377,39	433,07	525,87	235,09	123,73	49,49	24,75	12,37	12,37	18,56	6,19	6,19	
M=6,5					2,83	31,18	83,62	137,48	80,79	49,61	24,09	7,09	5,67	7,09	4,25	7,09	1,42	
M=7,0						0,65	9,09	26,63	24,03	18,51	7,14	3,25	2,60	1,95	3,25	2,92	1,30	
Somatório	2246,27	73938,87	162361,09	190654,32	241082,65	107940,55	66921,00	45671,63	14657,04	3917,14	1520,65	518,29	304,94	48,41	143,94	43,20	8,90	
Resultados - F=5Hz																		
Frequência Acumulada	911980,65	909734,38	835795,52	673434,43	482780,11	241697,46	133756,91	66835,91	21164,27	6507,23	2590,09	1069,43	551,15	246,21	197,79	53,85	10,64	1,74
Período (anos)	1,10	1,10	1,20	1,48	2,07	4,14	7,48	14,96	47,25	153,68	386,09	935,08	1814,40	4061,65	5055,84	18571,34	93942,58	574052,81

Tabela 22: Períodos de Recorrência (F=2,5Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=2,5Hz																		
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g ²)																	
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0
M=4,0	148	92	38	19	12	3	1											
M=4,5	14	85	84	63	43	14	7	2	1									
M=5,0		4	46	75	100	47	21	13	6	0,75	0,25							
M=5,5				18	94	81	56	41	14	7	1				1			
M=6,0					18	66	86	79	34	18	5	3	2	1	1	1		
M=6,5						13	62	108	63	35	11	6	5	3	4	2	1	
M=7,0							14	85	87	62	24	9	8	4	10	8	1	
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=2,5Hz																		
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g ²)																	
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0
M=4,0	332447,35	206656,46	85358,10	42679,05	26955,19	6738,80	2246,27											
M=4,5		7204,26	43225,54	32419,16	22127,36	7204,26	3602,13	1029,18	514,59									
M=5,0			471,54	5422,74	8841,43	11788,57	5540,63	2475,60	1532,51	707,31	88,41	29,47						
M=5,5				486,11	2538,57	2187,49	1512,34	1107,25	378,09	189,04	27,01				27,01			
M=6,0					111,36	408,32	532,06	488,75	210,25	111,36	30,93	18,56	12,37		6,19	6,19		
M=6,5						18,42	87,87	153,07	89,29	49,61	15,59	8,50	7,09	4,25	5,67	2,83	1,42	
M=7,0							4,55	27,60	28,25	20,13	7,79	2,92	2,60	1,30	3,25	2,60	0,32	
Somatório	339651,61	250868,14	134006,39	84425,75	63521,06	22097,92	10460,81	4338,36	1927,88	458,55	110,79	29,99	22,06	5,55	42,11	11,62	1,74	
Resultados - F=2,5Hz																		
Frequência Acumulada	911980,65	572329,04	321460,90	187454,51	103028,77	39507,71	17409,79	6948,97	2610,61	682,74	224,18	113,39	83,40	61,35	55,79	13,69	2,07	0,32
Período (anos)	1,10	1,75	3,11	5,33	9,71	25,31	57,44	143,91	383,05	1464,69	4460,64	8819,20	11990,01	16301,17	17922,88	73069,50	483863,16	3079765,94

Tabela 23: Períodos de Recorrência (F=1Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=1Hz																		
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)																	
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0
M=4,0	278	25	8	1	1													
M=4,5	112	122	44	21	12	1	1											
M=5,0		39	94	92	61	17	8	1	1									
M=5,5			2	50	131	71	35	17	6		1							
M=6,0					28	93	96	64	21	8	2							
M=6,5						7	77	132	56	23	8	3	3	2	1	1		
M=7,0							5	100	102	58	21	7	5	5	6	3	1	
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=1Hz																		
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)																	
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0
M=4,0	624461,92	56156,65	17970,13	2246,27	2246,27													
M=4,5	57634,06	62779,96	22641,95	10806,39	6175,08	514,59	514,59											
M=5,0		4597,54	11081,26	10845,48	7191,03	2004,06	943,09	117,89										
M=5,5			54,01	1350,31	3537,80	1917,43	945,21	459,10	162,04		27,01							
M=6,0					173,23	575,36	593,92	395,95	129,92	49,49	12,37				6,19			
M=6,5						9,92	109,13	187,08	79,37	32,60	11,34	4,25	4,25	2,83	1,42	1,42		
M=7,0							1,62	32,47	33,12	18,83	6,82	2,27	1,62	1,62	1,95	0,97	0,32	
Somatório	682095,98	123534,15	51747,35	25248,44	19323,40	5021,36	3107,57	1192,49	523,33	100,92	57,54	6,52	5,88	4,46	9,55	2,39	0,32	0,00
Resultados - F=1Hz																		
Frequência Acumulada	911980,65	229884,67	106350,53	54603,18	29354,74	10031,34	5009,98	1902,41	709,92	187,59	86,66	29,13	22,60	16,73	12,27	2,72	0,32	0,00
Período (anos)	1,10	4,35	9,40	18,31	34,07	99,69	199,60	525,65	1408,61	5330,85	11538,92	34332,88	44244,26	59785,73	81510,89	368174,96	3079765,94	-

Tabela 24: Períodos de Recorrência (F=0,5Hz)

Número de sub-regiões com acelerações espectrais dentro dos intervalos definidos e para cada magnitude adotada - F=0,5Hz																		
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)																	
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0
M=4,0	312	17	6		1													
M=4,5	289	17	6		1													
M=5,0	95	138	47	21	10	1	1											
M=5,5		5	88	113	74	21	9	2	1									
M=6,0				5	125	104	47	23	7	1	1							
M=6,5						56	116	98	26	10	5	1			1			
M=7,0							27	146	81	36	10	5	1	3	3			
Produto do número de sub-regiões com acelerações espectrais delimitadas acima pelo número de eventos de cada sub-região em 1.000.000 anos de acordo com a magnitude - F=0,5Hz																		
Valores de Magnitude	Intervalos de acelerações espectrais (em g's)																	
	0,00001-0,00002	0,00002-0,00005	0,00005-0,0001	0,0001-0,0002	0,0002-0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0
M=4,0	700834,96	2246,27																
M=4,5	148716,45	8748,03	3087,54	0,00	514,59													
M=5,0	11159,14	16268,23	5540,63	2475,60	1178,86	117,89	117,89											
M=5,5		135,03	2376,54	3051,69	1998,45	567,13	243,05	54,01	27,01									
M=6,0				30,93	773,34	649,42	290,77	142,39	43,31	6,19	6,19							
M=6,5						79,37	164,41	138,90	36,85	14,17	7,09	1,42						
M=7,0							8,77	47,41	26,30	11,69	3,25	1,62	0,32	0,97	0,97			
Somatório	860750,55	27397,55	11004,70	5558,22	4465,24	1407,80	824,89	382,61	133,46	32,05	16,52	3,04	0,32	0,97	2,39	0,00	0,32	0,00
Resultados - F=0,5Hz																		
Frequência Acumulada	911980,65	51230,10	23832,55	12827,84	7269,62	2804,38	1396,59	571,70	189,09	55,62	23,58	7,06	4,01	3,69	2,72	0,32	0,32	0,00
Período (anos)	1,10	19,52	41,96	77,96	137,56	356,58	716,03	1749,18	5288,53	17977,59	42416,20	141729,38	249072,21	270988,02	368174,96	3079765,94	3079765,94	-

4.5 ACELERAÇÕES HORIZONTAIS CARACTERÍSTICAS

De acordo com a NBR 15421 (2006), o período de recorrência estabelecido como critério básico para definição dos valores característicos de acelerações horizontais é de 475 anos. Já a ASCE/SEI (2005) assume como critério que os valores característicos de acelerações horizontais são tidos como 2/3 dos valores correspondentes ao período de recorrência de 2475 anos.

A seguir, são apresentados os gráficos de aceleração horizontal (g's) x período de recorrência (anos) calculados tanto para a região Nordeste (Gráficos 1 a 8) como para a região Sudeste (Gráficos 9 a 16), conforme apresentado no item 4.4. Nesses gráficos, a curva azul corresponde aos valores de período de recorrência obtidos para diferentes acelerações

espectrais segundo as diversas frequências analisadas. Também foram plotadas as curvas correspondentes ao período de recorrência de 475 anos e de 2475 anos para que seja possível fazer as devidas comparações de acordo com as normas tomadas como referência.

- **REGIÃO NORDESTE**

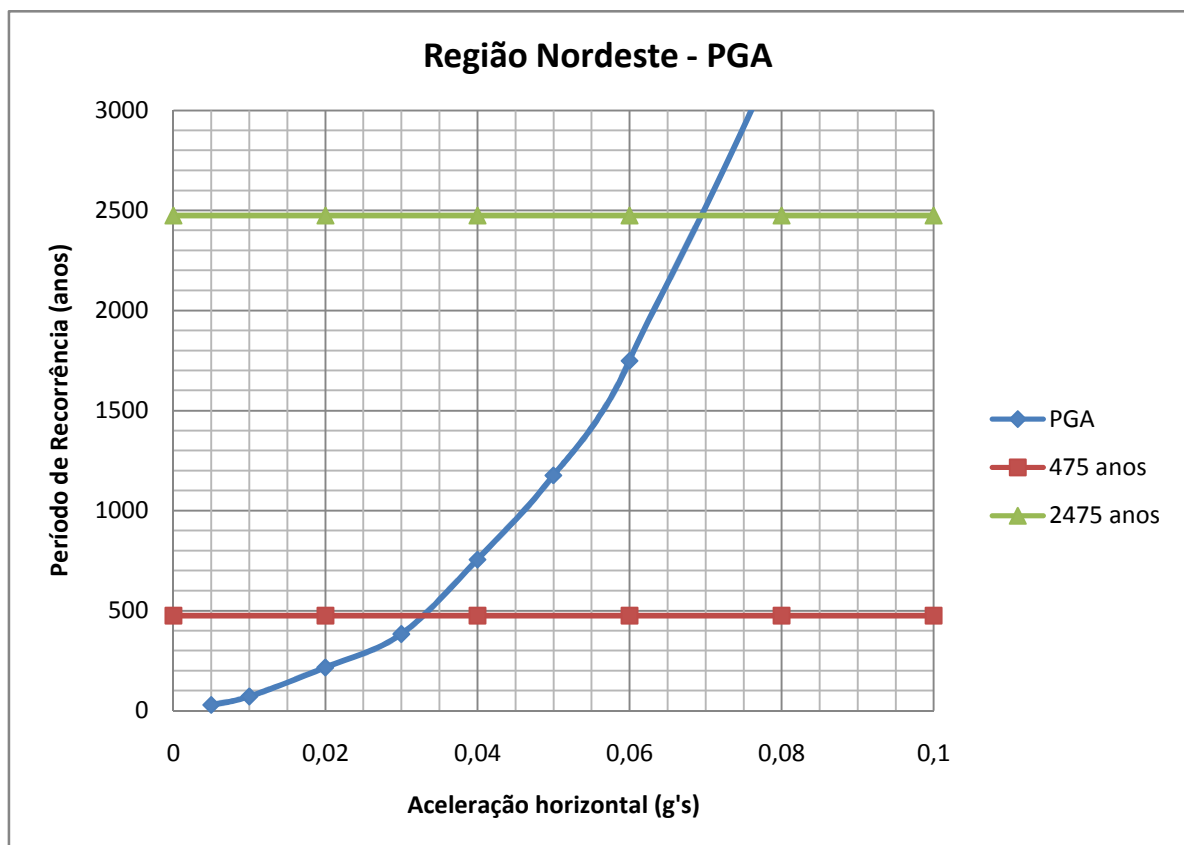


Gráfico 1 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para PGA – Região Nordeste

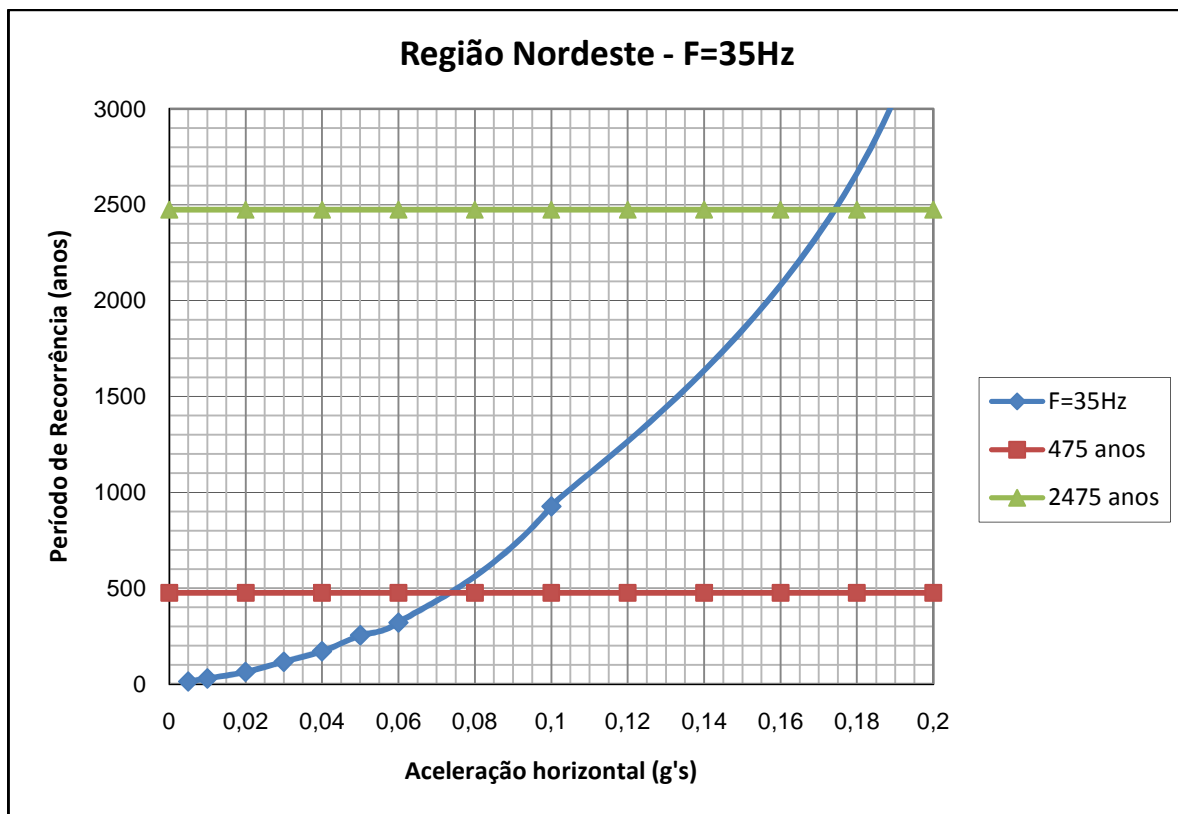


Gráfico 2 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 35Hz

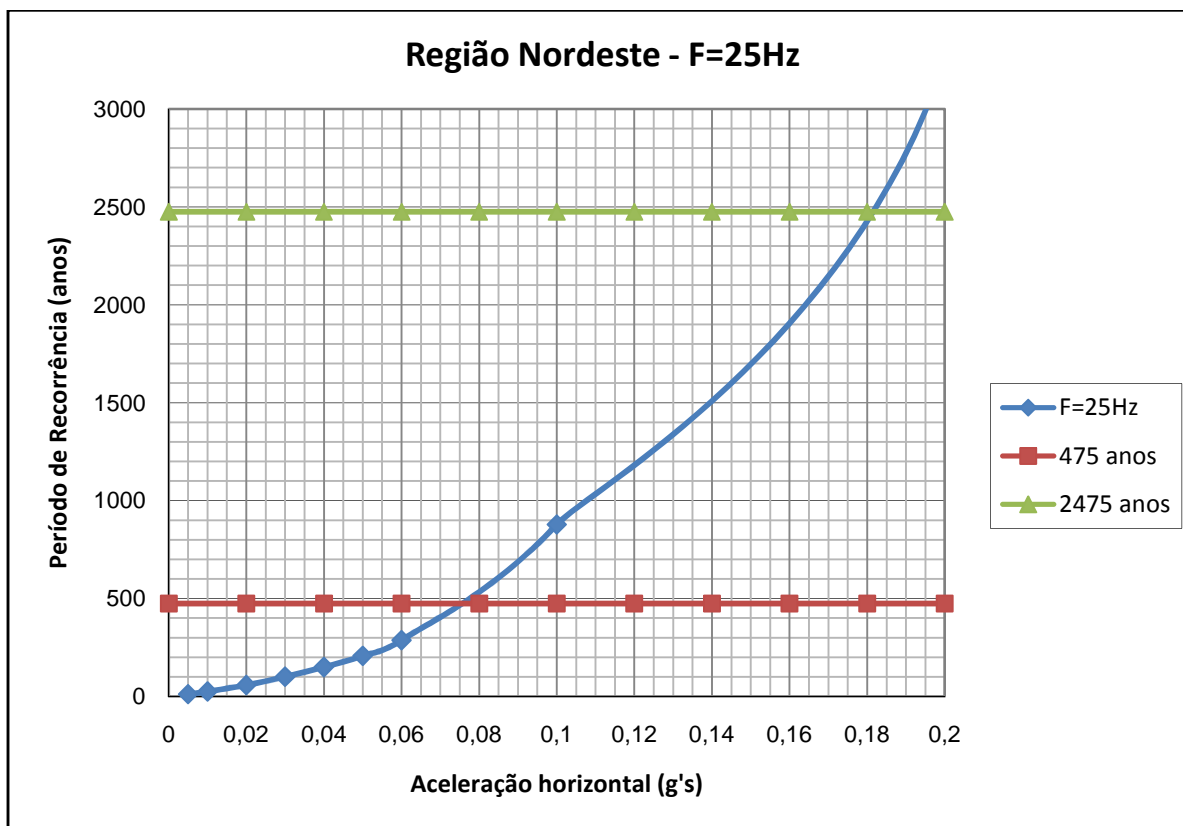


Gráfico 3 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 25Hz

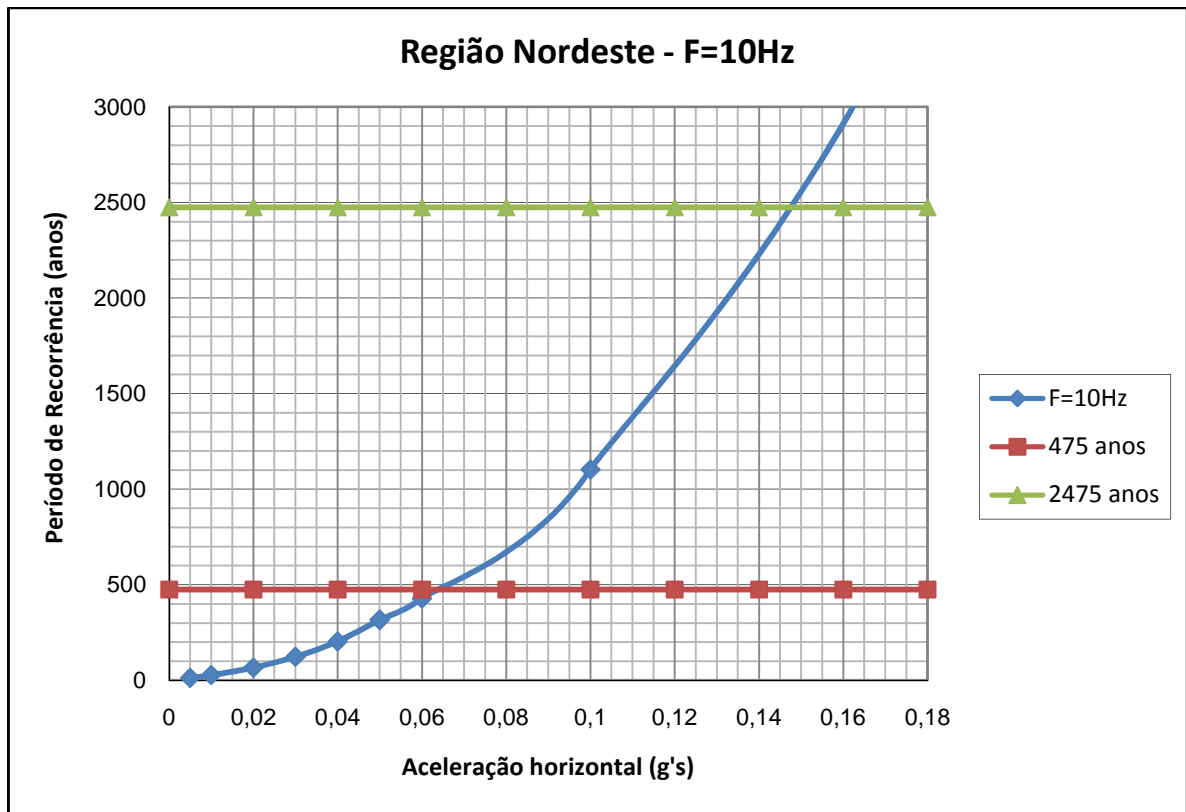


Gráfico 4 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 10Hz

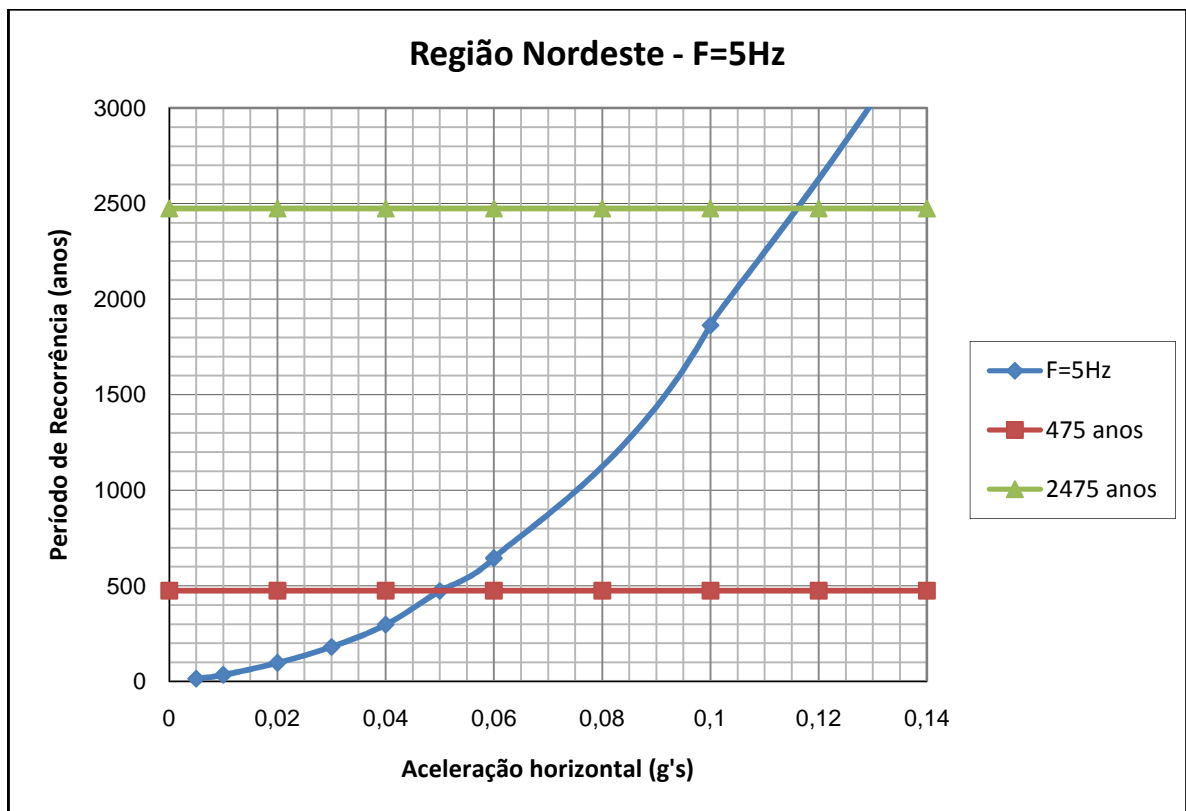


Gráfico 5 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 5Hz

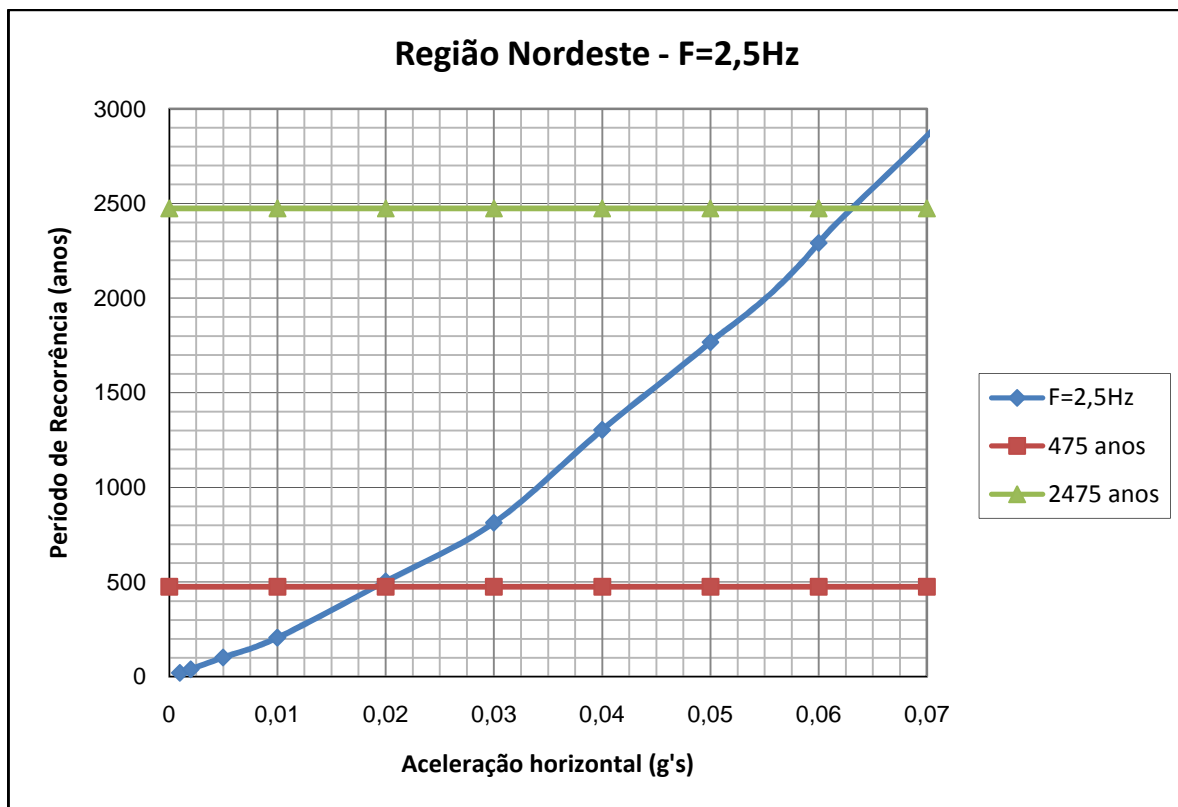


Gráfico 6 - Acetração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 2,5Hz

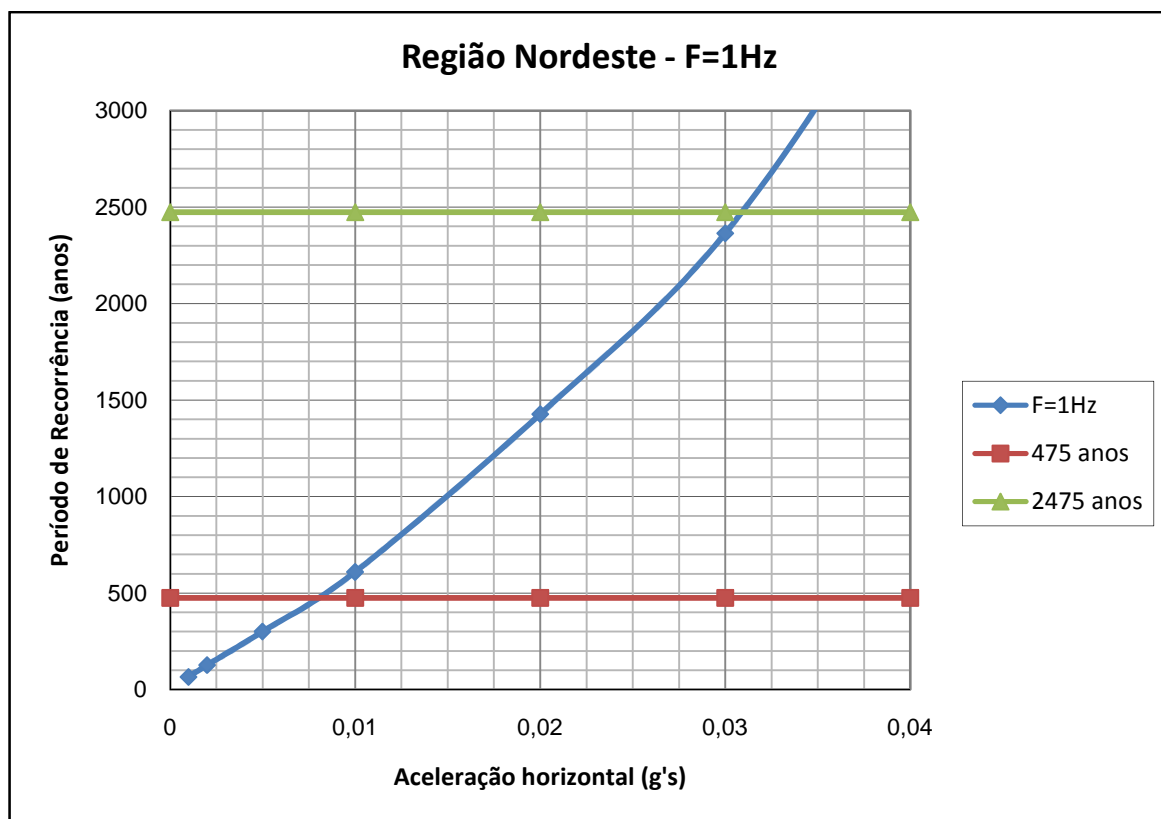


Gráfico 7 - Acetração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 1Hz

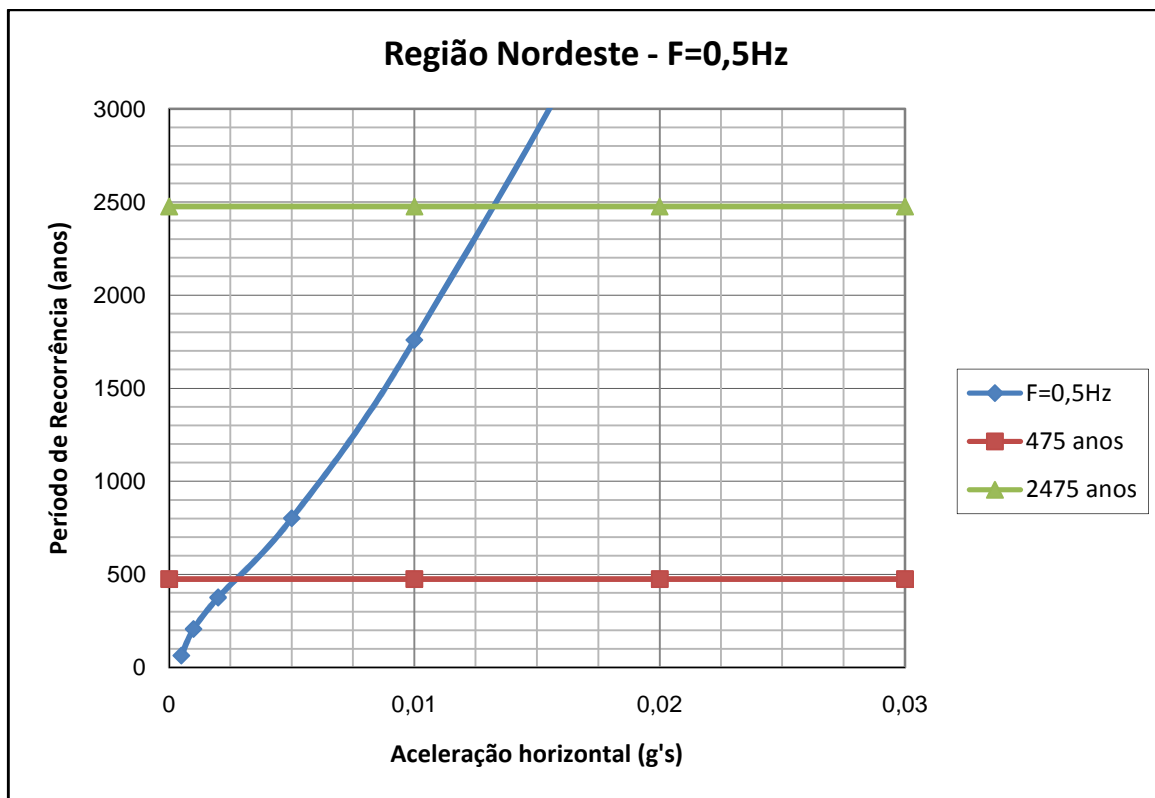


Gráfico 8 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 0,5Hz

- **REGIÃO SUDESTE**

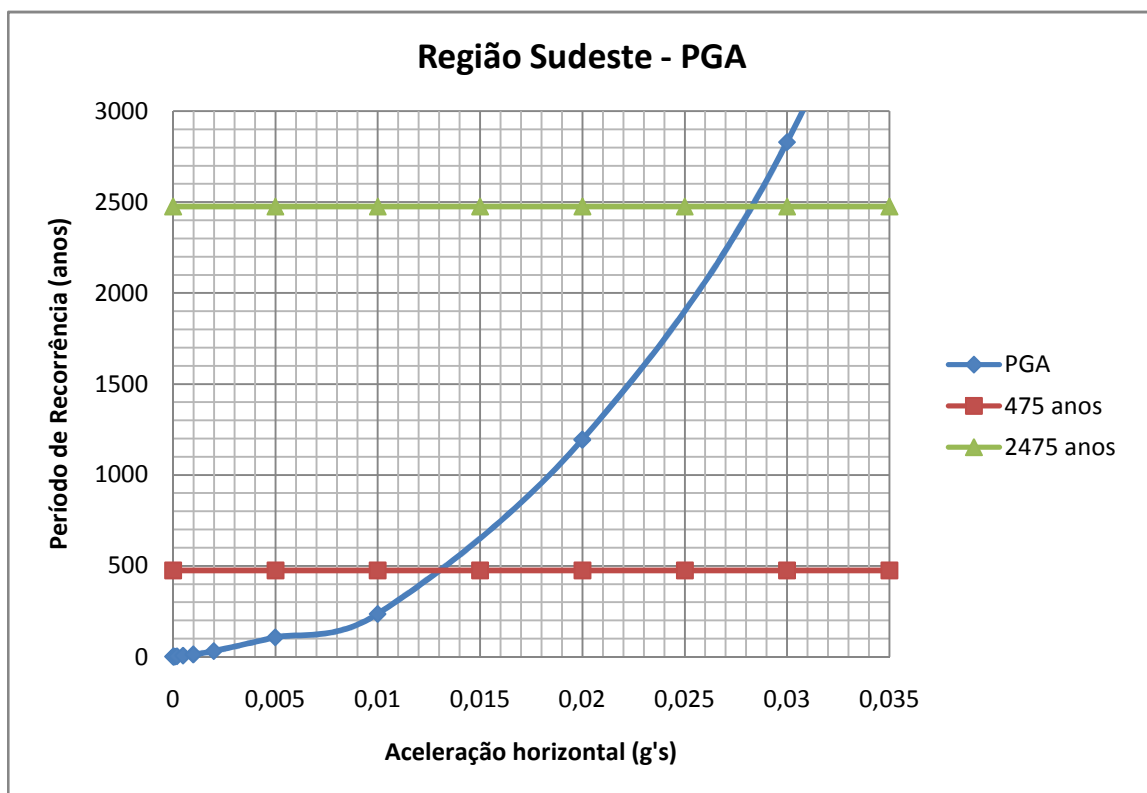


Gráfico 9 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para PGA – Região Sudeste

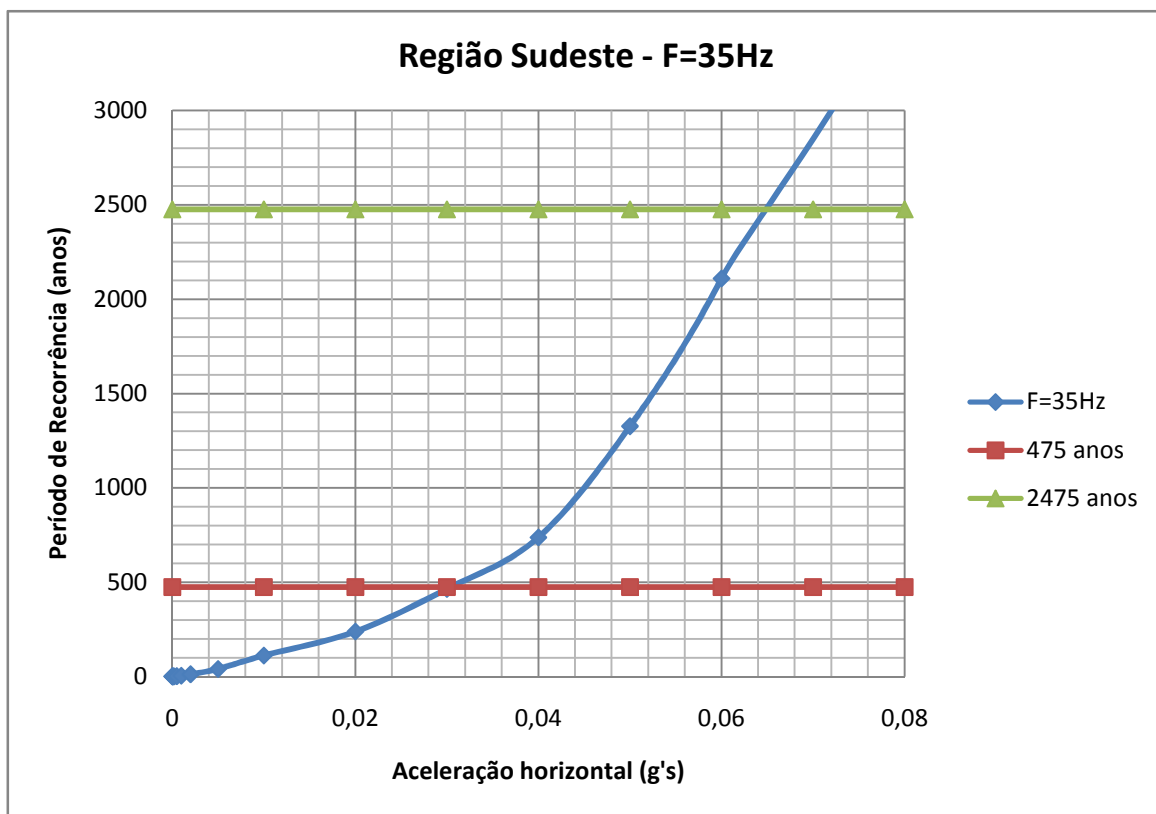


Gráfico 10 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 35Hz

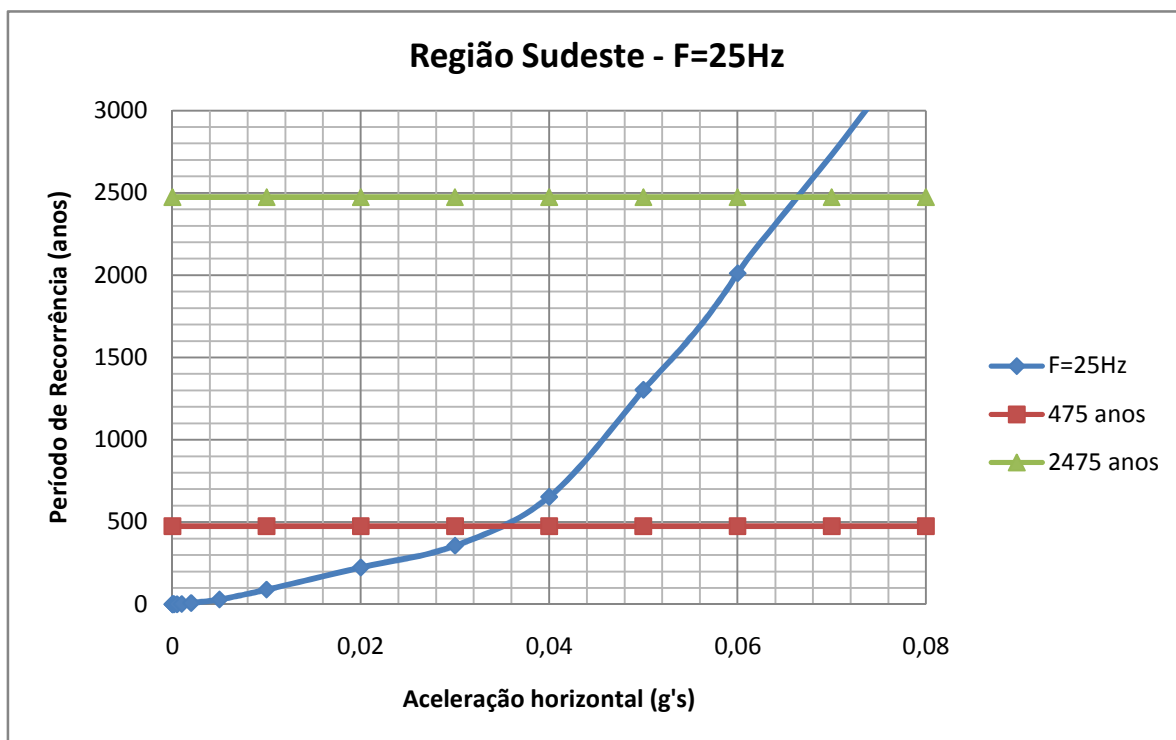


Gráfico 11 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 25Hz

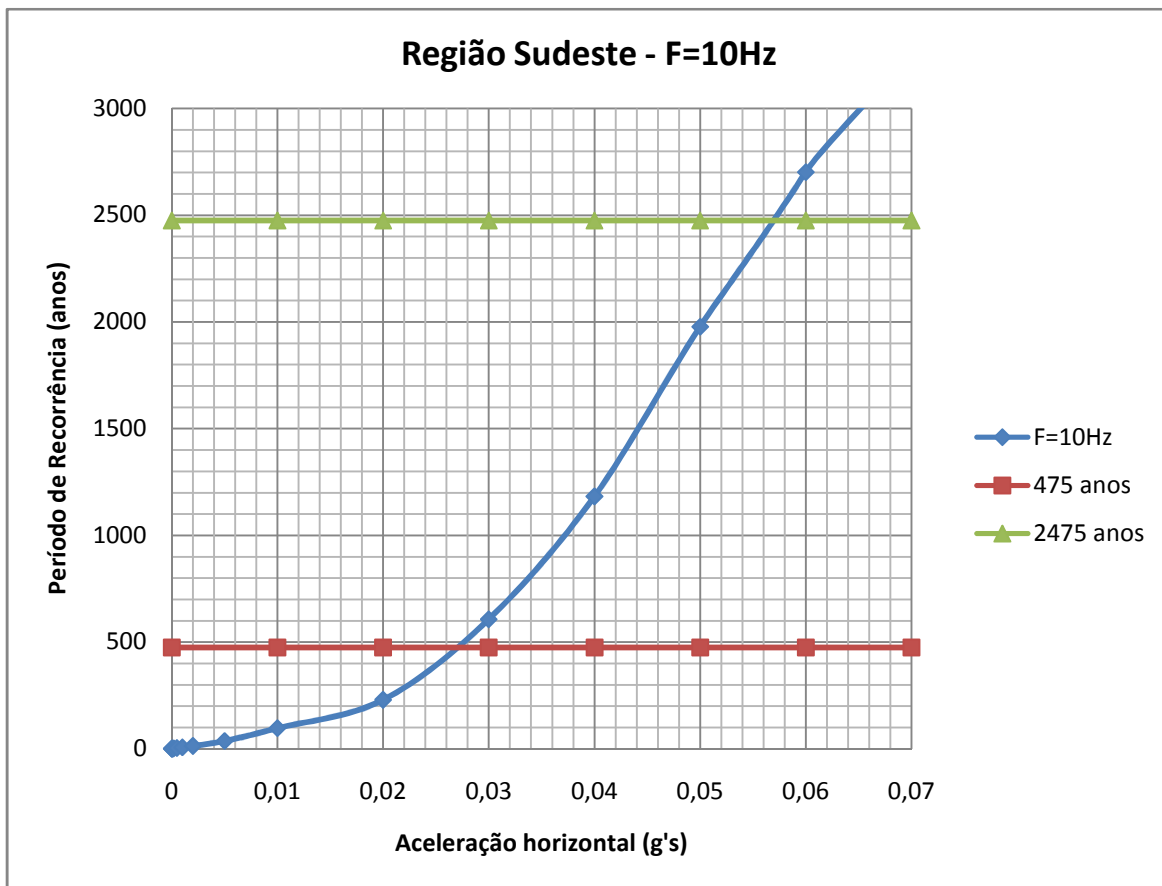


Gráfico 12 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 10Hz

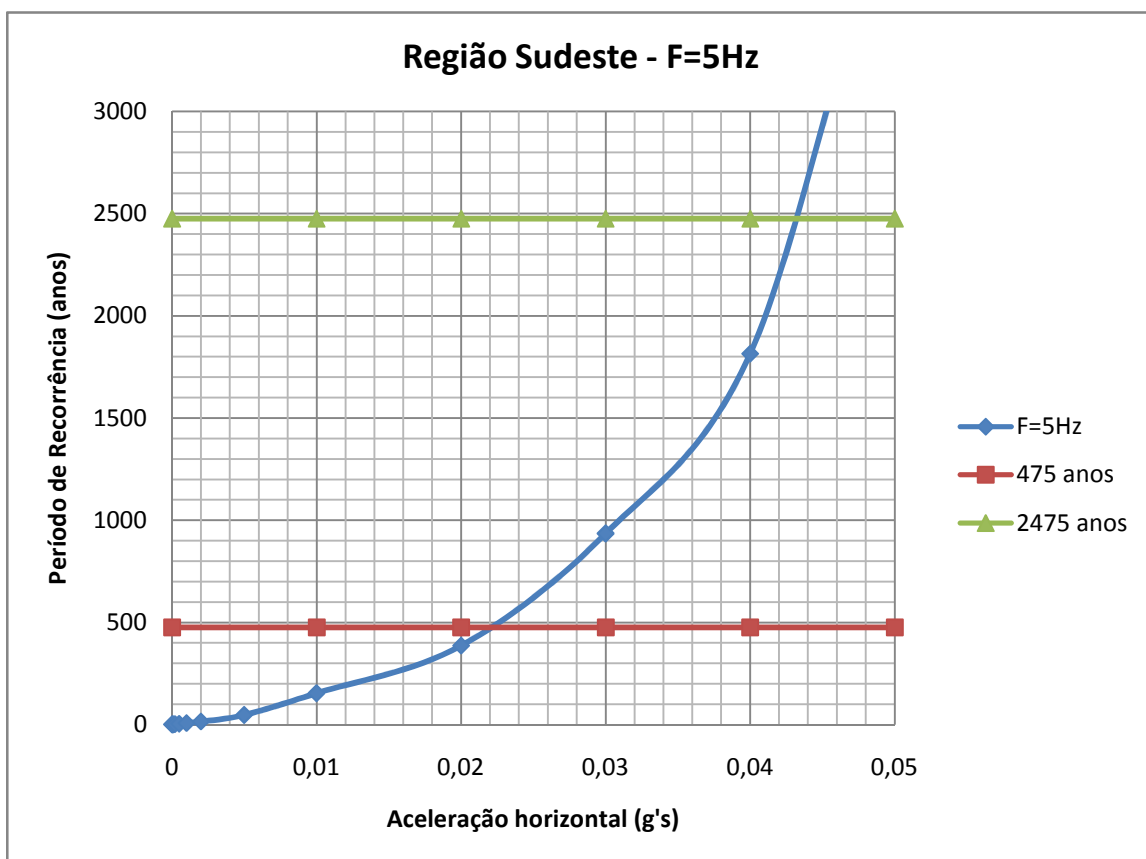


Gráfico 13 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 5Hz

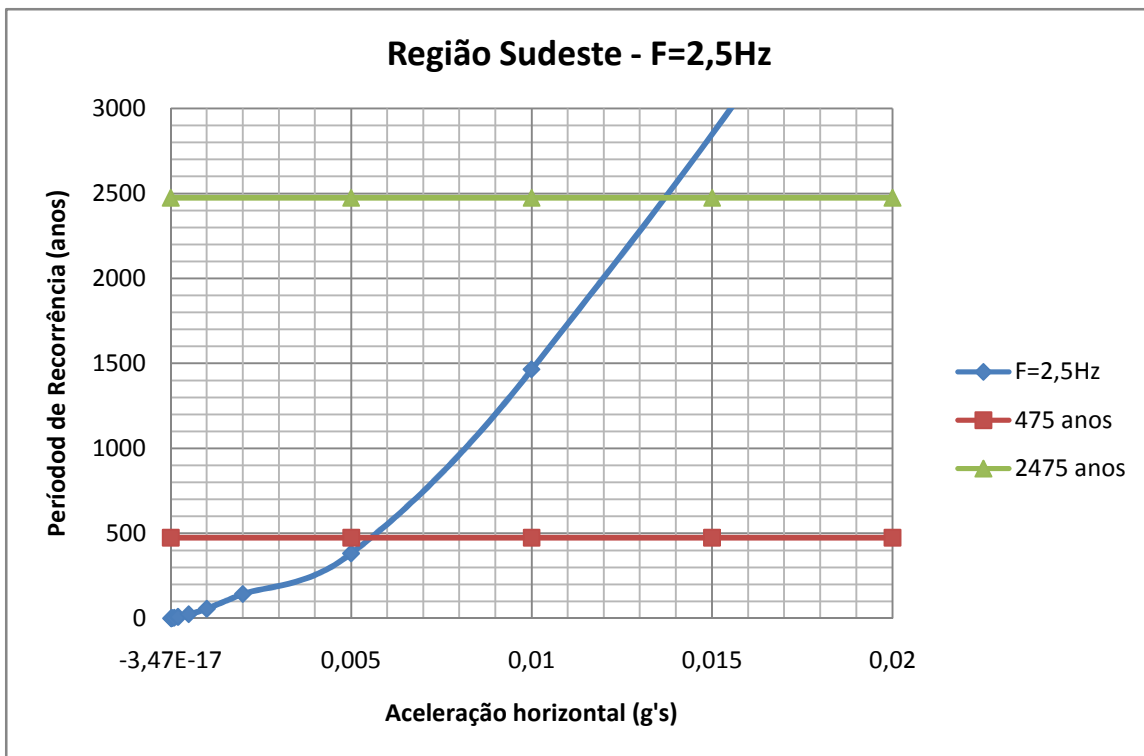


Gráfico 14 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 2,5Hz

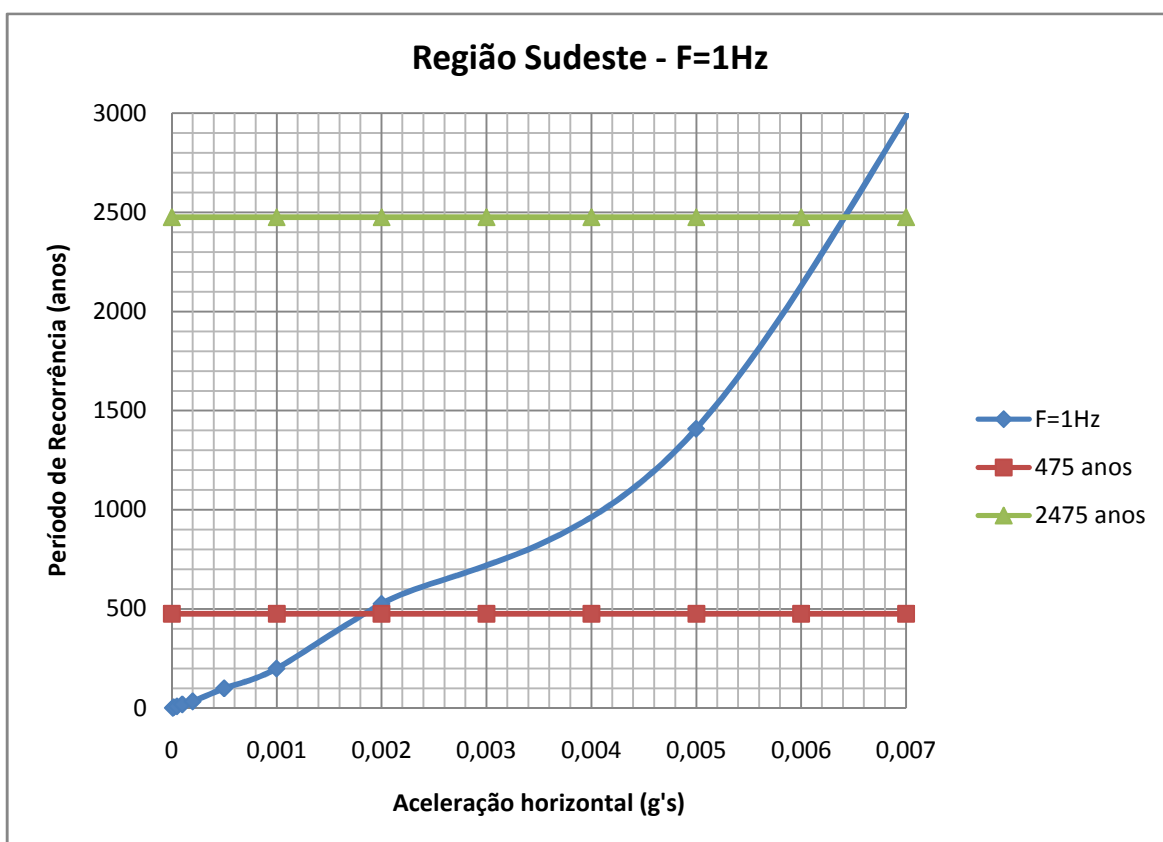


Gráfico 15 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 1Hz

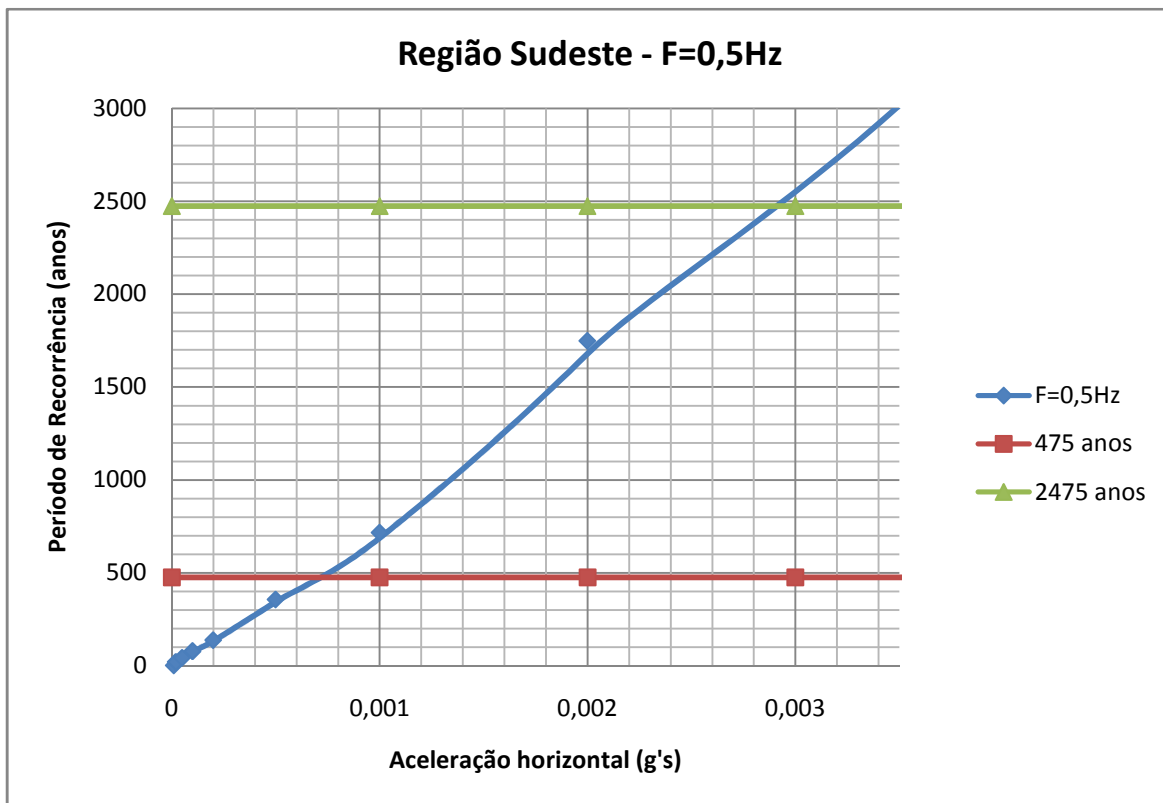


Gráfico 16 - Aceleração horizontal (g's) x Período de Recorrência (anos) para frequência de 0,5Hz

5 RESULTADOS - ESPECTROS DE PROJETO

Para introduzir este capítulo, é essencial apresentar a definição de espectro de projeto. Porém, o conceito de espectro de projeto está naturalmente ligado ao conceito de espectro de resposta.

Espectro de resposta pode ser definido como um gráfico que mostra a resposta máxima, seja em termos de deslocamentos, velocidades ou acelerações, em função do período natural para um sistema de um grau de liberdade, considerando uma determinada excitação. Espectros de resposta para aceleração na base são importantes numa análise sísmica, pois as acelerações produzidas por um terremoto são as grandezas mais diretas para caracterizar seus efeitos sobre as estruturas. É possível obter das respostas de um sistema de um grau de liberdade submetido à movimentação da sua base, as equações dos deslocamentos, das velocidades e das acelerações da massa relativos à base da estrutura. Relacionando essas equações, obtém-se uma equação diferencial do movimento relativo cuja solução dá condições para serem calculados os deslocamentos, as velocidades e, posteriormente, as acelerações absolutas. Para sistemas levemente amortecidos, a pseudo-aceleração S_a , definida na equação 5.1, é uma boa aproximação da aceleração absoluta.

$$S_a = \omega^2 S_d \quad (5.1)$$

onde:

ω é a frequência circular;

S_d é o deslocamento espectral.

Os valores máximos das acelerações absolutas são chamados de acelerações espectrais e a variação dessa grandeza em função do período natural constitui os espectros de aceleração, isto é, os espectros de resposta.

Espectros de projetos são obtidos a partir de um conjunto de espectros de resposta para sismos acontecidos no local de interesse, através de critérios estatísticos. Logo, o espectro de resposta não tem aplicação direta no projeto ou verificação de estruturas, uma vez que representa um determinado sismo ocorrido num certo local e não se pode ter garantia de que suas características se repitam em sismos futuros.

Dentro desse contexto, a partir dos gráficos apresentados no Capítulo 4, foi possível traçar os gráficos de espectros de resposta para ambas as regiões, Nordeste e Sudeste.

Os pontos em que a curva azul intercepta as curvas vermelha e verde correspondem aos valores de aceleração horizontal obtidos, para cada frequência considerada, num período

de recorrência de 475 e 2475 anos, respectivamente. Estes foram, portanto, os valores de acelerações horizontais utilizados para definir os espectros de resposta apresentados nos gráficos 17 (região Nordeste) e 18 (região Sudeste).

As Tabelas 25 e 26 apresentam os dados de entrada para a definição dos espectros de respostas para a região Nordeste e Sudeste, respectivamente. Nessas tabelas, a primeira coluna lista todas as frequências segundo as quais foram feitos os gráficos de aceleração horizontal (g 's) x período de recorrência (anos) e a segunda coluna equivale ao inverso da primeira, representando assim os períodos (em segundos) correspondentes a cada frequência estudada. A terceira coluna lista os valores de acelerações espectrais obtidos dos gráficos 1 ao 16 quando a reta vermelha cruza a curva azul, resultando no ponto equivalente à aceleração horizontal daquela região para a frequência adotada quando se admite um evento ocorrendo a cada 475 anos. A quarta coluna lista os valores de acelerações espectrais obtidos dos gráficos 1 ao 16 quando a reta verde cruza a curva azul, resultando no ponto equivalente à aceleração horizontal daquela região para a frequência adotada quando se admite um evento ocorrendo a cada 2475 anos. E finalmente, a quinta coluna lista os valores de acelerações espectrais da quarta coluna multiplicados por $2/3$ para atender ao critério de valores característicos de acelerações horizontais segundo a ASCE/SEI (2005).

- **REGIÃO NORDESTE**

Tabela 25: Dados de entrada para definição do gráfico de espectros de resposta (região Nordeste)

Frequência (Hz)	Período (s)	Aceleração Horizontal (g's)		
		475 anos	2475 anos	2/3 de 2475 anos
PGA	0	0,033	0,070	0,046
35	0,03	0,074	0,174	0,116
25	0,04	0,075	0,182	0,121
10	0,1	0,064	0,148	0,098
5	0,2	0,050	0,116	0,077
2,5	0,4	0,019	0,063	0,042
1	1	0,008	0,031	0,021
0,5	2	0,003	0,013	0,009

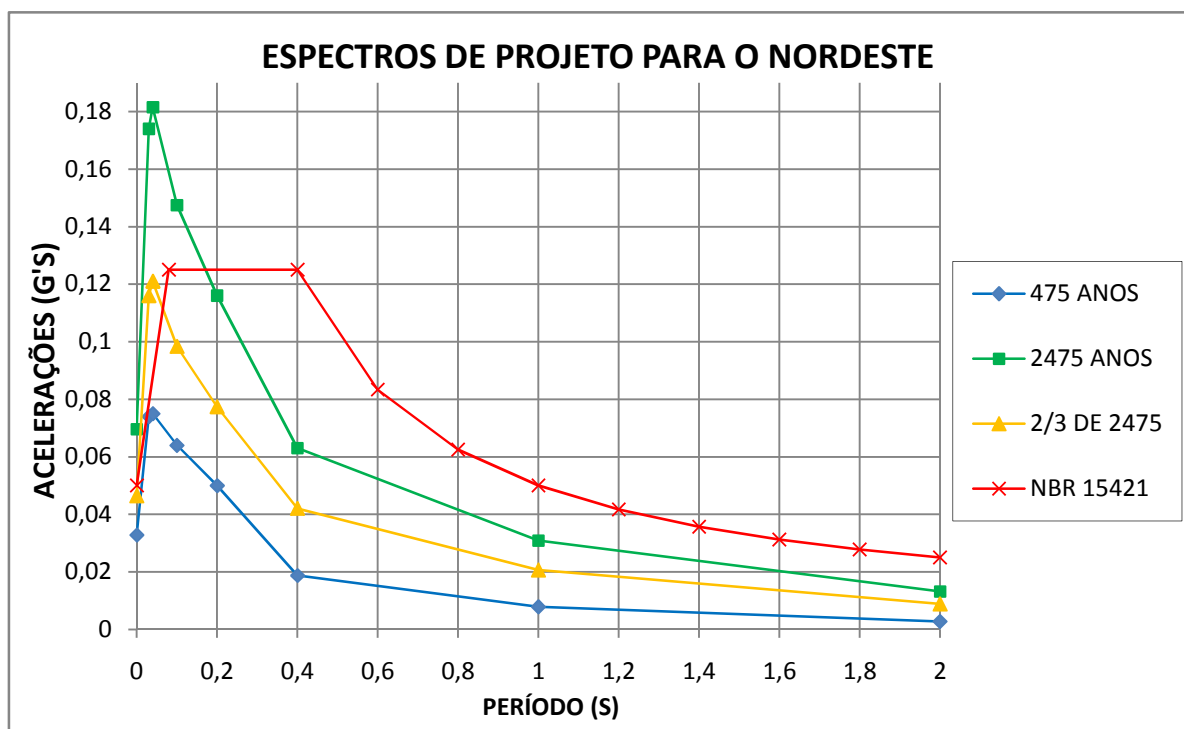


Gráfico 17 – Espectros de projeto para a região Nordeste

- **REGIÃO SUDESTE**

Tabela 26: Dados de entrada para definição do gráfico de espectros de resposta (região Sudeste)

Frequência (Hz)	Período (s)	Aceleração Horizontal (g's)		
		475 anos	2475 anos	2/3 de 2475 anos
PGA	0	0,013	0,028	0,019
35	0,03	0,030	0,065	0,043
25	0,04	0,035	0,066	0,044
10	0,1	0,027	0,057	0,038
5	0,2	0,022	0,043	0,029
2,5	0,4	0,006	0,014	0,009
1	1	0,002	0,006	0,004
0,5	2	0,001	0,003	0,002

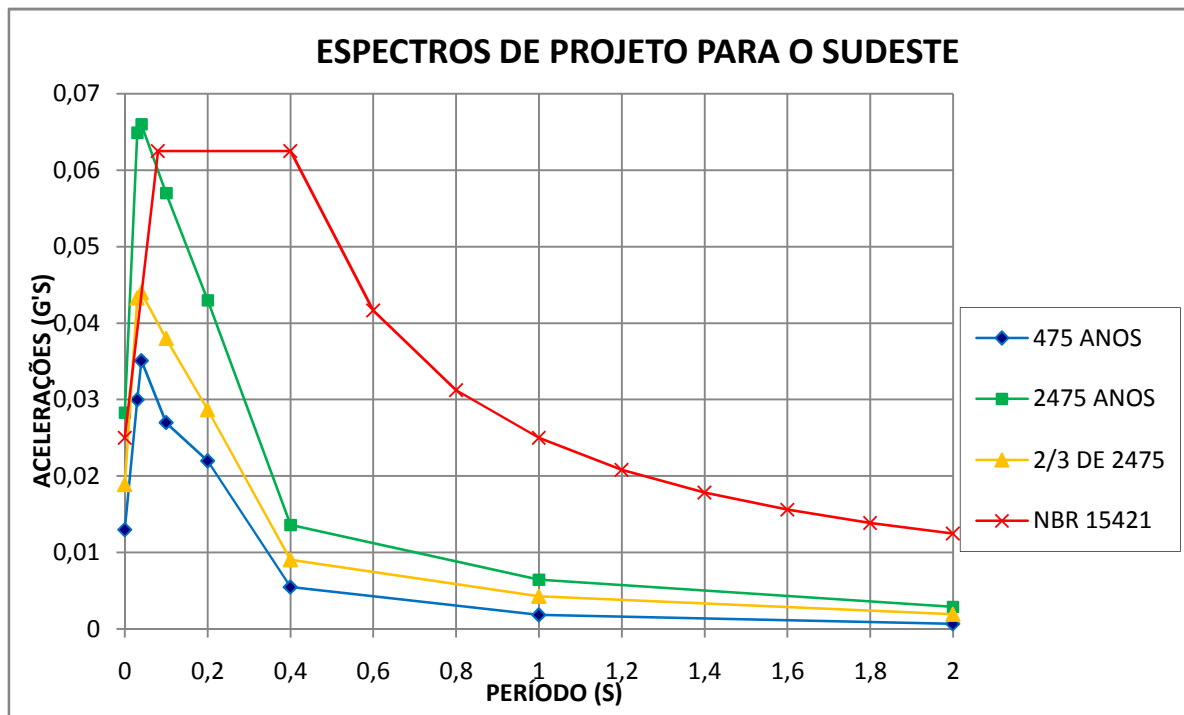


Gráfico 18 – Espectros de projeto para a região Sudeste

Os resultados apresentados nos gráficos 17 e 18 dos espectros para as regiões Nordeste e Sudeste, respectivamente, mostram que o espectro de projeto definido pela NBR 15421 (curva vermelha) é conservador em ambos os casos. Vale ressaltar, mais uma vez, que o espectro definido pela Norma Brasileira leva em consideração um período de recorrência de 475 anos estabelecido como critério básico para definição dos valores característicos de acelerações horizontais. Diante desse conceito, é possível observar nos gráficos que a curva relativa ao espectro da Norma cobre com folga a curva de espectro de resposta considerando um tempo de recorrência de 475 anos (curva azul). Observa-se também que a curva relativa ao espectro de resposta obtido segundo o critério da ASCE/SEI (curva amarela), onde é estabelecido que os valores característicos de acelerações horizontais são tidos como $2/3$ dos valores correspondentes ao tempo de recorrência de 2475 anos também fica coberta pelo espectro de projeto da NBR 15421.

Para fins de interpretação dos gráficos de espectros de projeto apresentados neste capítulo, é válido comentar que para se obter a aceleração espectral necessária para ser utilizada numa análise sísmica de um sistema de um grau de liberdade, basta entrar com o valor do período natural da estrutura no eixo das abscissas e obter o valor da aceleração espectral correspondente no eixo das ordenadas.

6.2 ANÁLISE SÍSMICA

Análise sísmica de uma estrutura é a análise da resposta dessa estrutura quando a mesma é solicitada por um movimento na base representativo de uma ação sísmica.

Foram considerados 8 casos de análises sísmicas feitas através dos espectros de acelerações já apresentados. O fator de importância adotado para a construção foi de 1,0, conforme NBR 15421 (2006), uma vez que a análise tem apenas a finalidade de comparar os efeitos que cada espectro gera na estrutura.

Os casos de análise aplicados ao modelo foram os seguintes:

- Espectro segundo NBR 15421 para a região Nordeste
- Espectro segundo NBR 15421 para a região Sudeste
- Espectro calculado para a região Nordeste (475 anos)
- Espectro calculado para a região Nordeste (2475 anos)
- Espectro calculado para a região Nordeste (2/3 de 2475 anos)
- Espectro calculado para a região Sudeste (475 anos)
- Espectro calculado para a região Sudeste (2475 anos)
- Espectro calculado para a região Sudeste (2/3 de 2475 anos)

As acelerações foram aplicadas segundo uma direção horizontal, que corresponde no modelo à direção X, de forma a poder comparar as reações nas estacas nessa mesma direção (cortante nas estacas). As reações horizontais obtidas na base de seis das 638 estacas são apresentadas na Tabela 27.

De acordo com a Tabela 27, pode-se observar que os valores obtidos como reações horizontais nas estacas segundo a NBR 15421 para a região Sudeste são exatamente iguais à metade dos valores obtidos segundo a NBR 15421 para a região Nordeste, conforme é mostrado no mapeamento da aceleração sísmica horizontal da Figura 3, onde a aceleração sísmica do Sudeste é a metade da aceleração sísmica do Nordeste (0,025g e 0,05g, respectivamente). É possível observar também que as reações horizontais obtidas nos casos de análise dos espectros calculados tanto para a região Nordeste como para a região Sudeste, tomando como critério o período de recorrência de 475 anos para a definição dos valores característicos de acelerações horizontais, são menores que aquelas obtidas pela NBR 15421.

Outra observação relevante é que as reações horizontais obtidas nos casos de análise dos espectros calculados tanto para a região Nordeste como para a região Sudeste, tomando como critério que a definição dos valores característicos de acelerações horizontais são tidos como 2/3 daqueles correspondentes ao tempo de recorrência de 2475 anos, são também menores do que aquelas obtidas pela NBR 15421.

Tabela 27: Reações horizontais (kN) na base das estacas (saída do programa SAP 2000)

TABLE: Joint Reactions					TABLE: Joint Reactions				
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1
Text	Text	Text	Text	KN	Text	Text	Text	Text	KN
1603	NBR15421-NE	LinRespSpec	Max	17,833	2000	NBR15421-NE	LinRespSpec	Max	21,622
1603	NBR15421-SE	LinRespSpec	Max	8,916	2000	NBR15421-SE	LinRespSpec	Max	10,811
1603	NE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	12,631	2000	NE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	15
1603	NE-2475	LinRespSpec	Max	18,951	2000	NE-2475	LinRespSpec	Max	22,505
1603	NE-475	LinRespSpec	Max	8,195	2000	NE-475	LinRespSpec	Max	9,709
1603	SE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	4,801	2000	SE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	5,673
1603	SE-2475	LinRespSpec	Max	7,198	2000	SE-2475	LinRespSpec	Max	8,505
1603	SE-475	LinRespSpec	Max	3,516	2000	SE-475	LinRespSpec	Max	4,169
1604	NBR15421-NE	LinRespSpec	Max	16,088	2001	NBR15421-NE	LinRespSpec	Max	21,646
1604	NBR15421-SE	LinRespSpec	Max	8,044	2001	NBR15421-SE	LinRespSpec	Max	10,823
1604	NE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	11,185	2001	NE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	15,019
1604	NE-2475	LinRespSpec	Max	16,78	2001	NE-2475	LinRespSpec	Max	22,533
1604	NE-475	LinRespSpec	Max	7,237	2001	NE-475	LinRespSpec	Max	9,721
1604	SE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	4,231	2001	SE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	5,68
1604	SE-2475	LinRespSpec	Max	6,343	2001	SE-2475	LinRespSpec	Max	8,516
1604	SE-475	LinRespSpec	Max	3,103	2001	SE-475	LinRespSpec	Max	4,174
1605	NBR15421-NE	LinRespSpec	Max	17,923	2002	NBR15421-NE	LinRespSpec	Max	22,549
1605	NBR15421-SE	LinRespSpec	Max	8,961	2002	NBR15421-SE	LinRespSpec	Max	11,274
1605	NE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	12,714	2002	NE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	15,651
1605	NE-2475	LinRespSpec	Max	19,075	2002	NE-2475	LinRespSpec	Max	23,48
1605	NE-475	LinRespSpec	Max	8,251	2002	NE-475	LinRespSpec	Max	10,129
1605	SE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	4,834	2002	SE-2/3 2475	LinRespSpec	Max	5,92
1605	SE-2475	LinRespSpec	Max	7,247	2002	SE-2475	LinRespSpec	Max	8,875
1605	SE-475	LinRespSpec	Max	3,54	2002	SE-475	LinRespSpec	Max	4,349

Com o objetivo de visualizar o resultado das reações horizontais na base de algumas estacas do modelo, foram feitos dois gráficos (gráficos 19 e 20) onde as abscissas representam o número dos nós da base das estacas e as ordenadas representam as reações em kN obtidas na base das estacas na direção em que foram aplicadas as acelerações espectrais. As figuras a seguir mostram as 48 estacas selecionadas entre as 638 para serem representadas graficamente.

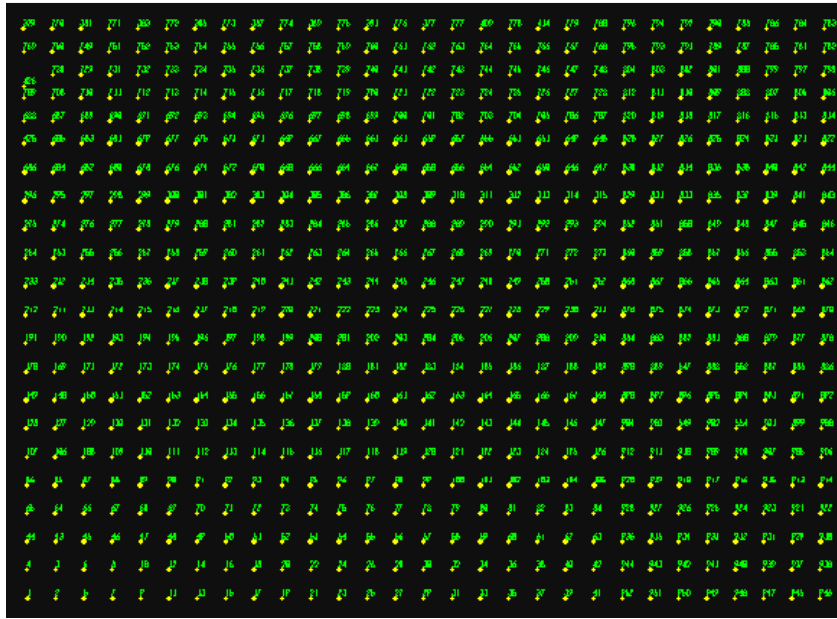


Figura 10: Vista superior das 638 estacas do modelo espacial

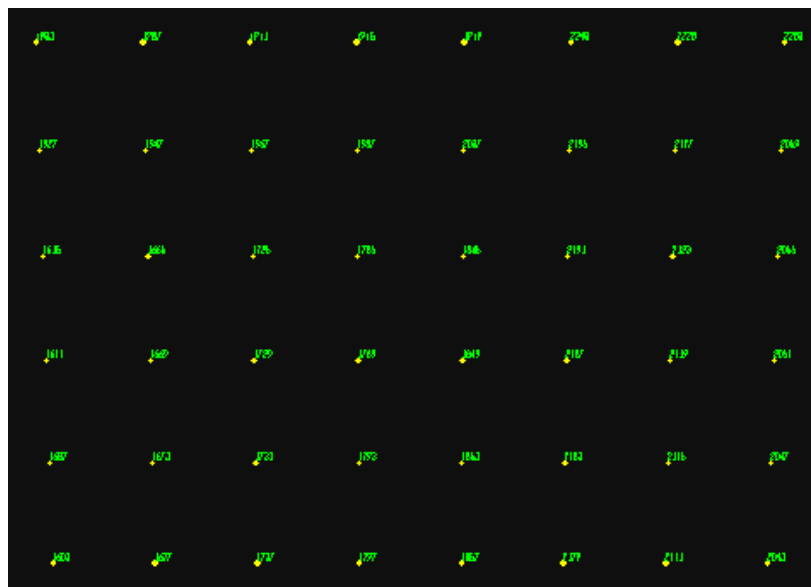


Figura 11: Vista superior das 48 estacas selecionadas para representação gráfica

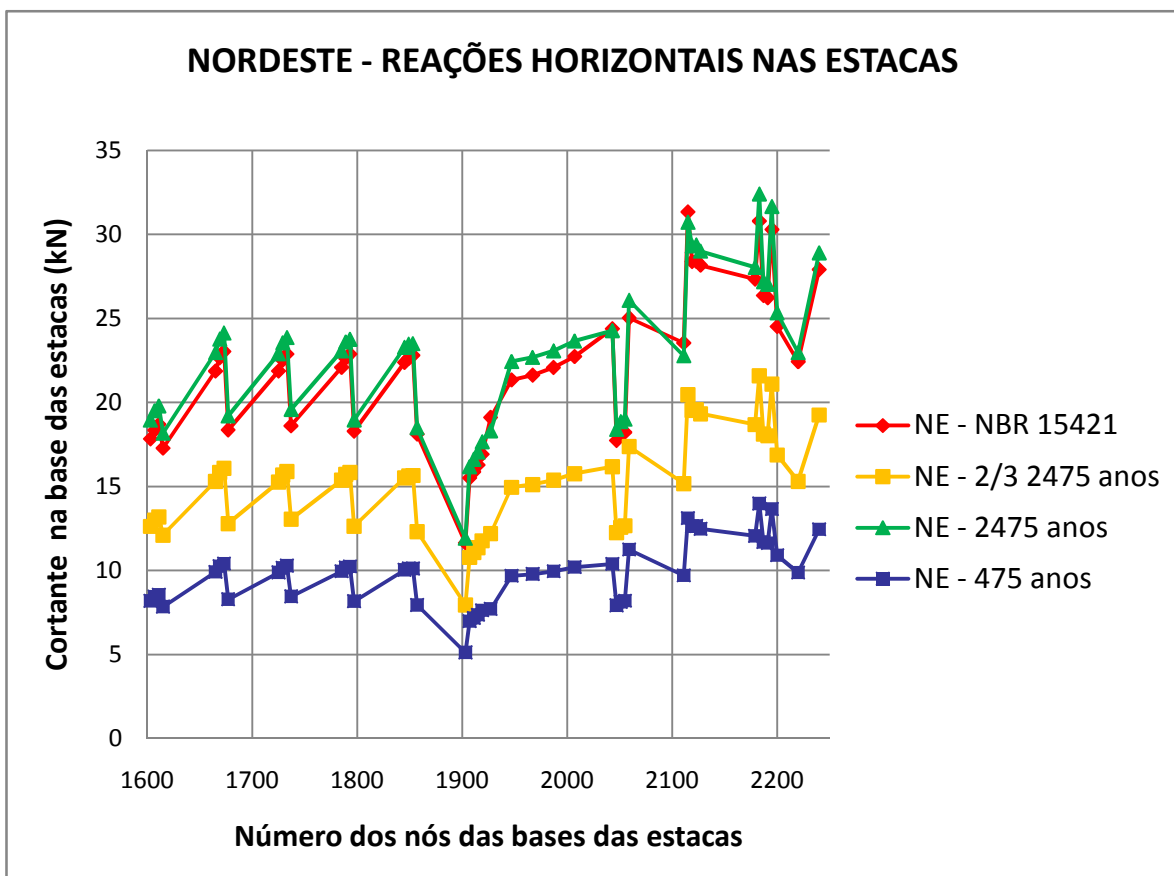


Gráfico 19 – Resultados da Análise Sísmica da estrutura segundo dados da região Nordeste

Nota-se que no caso da região Nordeste, as reações horizontais obtidas na base da estrutura foram menores quando aplicado o espectro que considera um período de recorrência de 475 anos (faixa roxa). Já as reações horizontais obtidas quando aplicado um espectro que considera um período de recorrência de 2475 anos (faixa verde) foram maiores que o dobro daquelas de 475 anos já citadas, resultado este naturalmente esperado uma vez que o período de retorno é consideravelmente maior que o primeiro. As reações horizontais obtidas quando aplicado o espectro da Norma NBR 15421 para a região Nordeste (faixa azul) foram maiores que aquelas calculadas tanto no caso de período de recorrência de 475 anos como no caso de 2/3 dos valores correspondentes ao período de recorrência de 2475 anos (faixa vermelha – critério adotado pela ASCE/SEI).

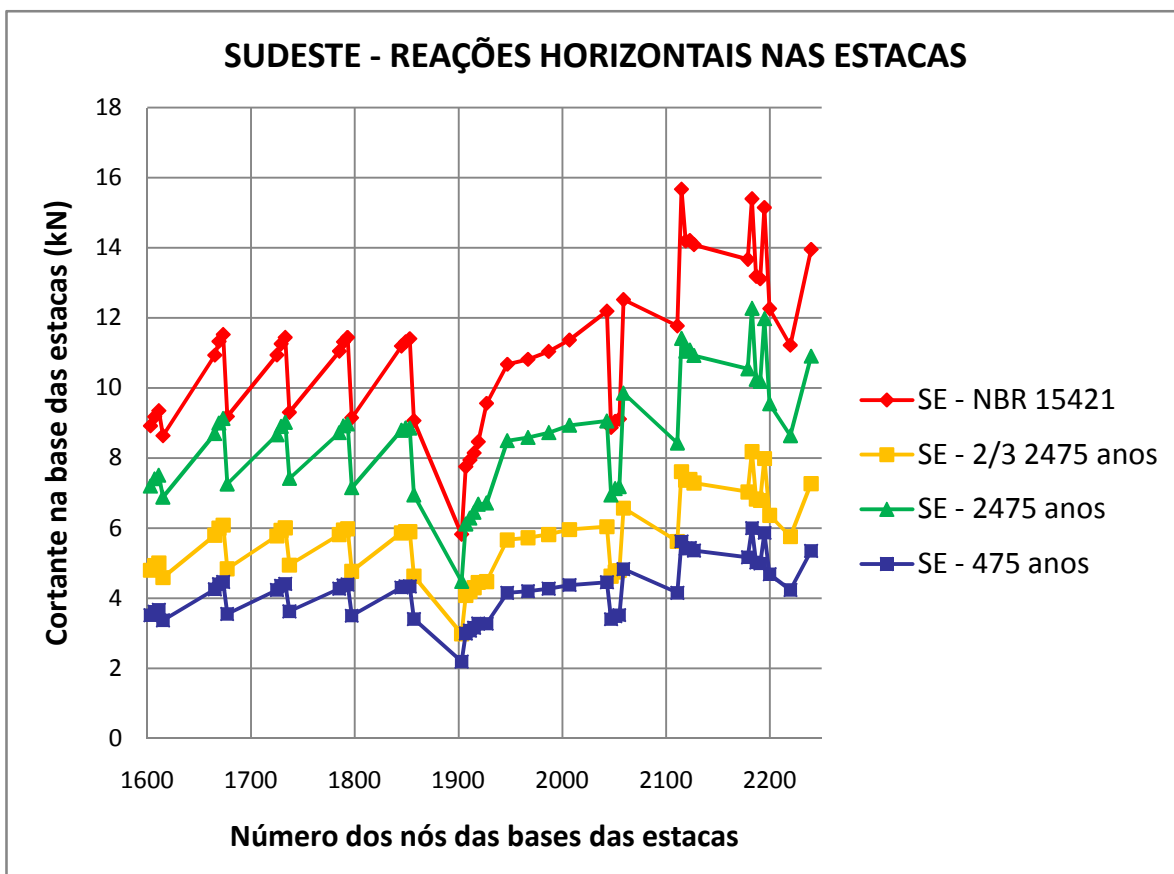


Gráfico 20 – Resultados da Análise Sísmica da estrutura segundo dados da região Sudeste

De forma análoga ao que foi avaliado para a região Nordeste, nota-se que no caso da região Sudeste, as reações horizontais obtidas na base da estrutura foram menores quando aplicado o espectro que considera um período de recorrência de 475 anos (faixa roxa). Já as reações horizontais obtidas quando aplicado um espectro que considera um período de recorrência de 2475 anos (faixa verde) foram maiores que o dobro daquelas de 475 anos já citadas, resultado este naturalmente esperado uma vez que o período de retorno é consideravelmente maior que o primeiro. As reações horizontais obtidas quando aplicado o espectro da Norma NBR 15421 para a região Sudeste (faixa azul) também foram maiores que aquelas calculadas tanto no caso de período de recorrência de 475 anos como no caso de 2/3 dos valores correspondentes ao período de recorrência de 2475 anos (faixa vermelha – critério adotado pela ASCE/SEI).

7 CONCLUSÕES

A partir do trabalho realizado, pode-se concluir que o espectro de projeto definido pela Norma Brasileira de Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos (NBR 15421) é conservador nos dois casos estudados, regiões Nordeste e Sudeste. Isto se dá pelo fato de que o espectro de projeto segundo a NBR 15421 cobre os espectros de acelerações calculados nas duas situações avaliadas: uma considerando um período de recorrência de 475 anos estabelecido como critério básico para definição dos valores característicos de acelerações horizontais e outra considerando que os valores característicos de acelerações horizontais são tidos como $2/3$ dos valores correspondentes ao período de recorrência de 2475 anos, atendendo também, dessa forma, aos critérios da ASCE/SEI.

Outro fator constatado pelas análises sísmicas feitas, utilizando um modelo 3D que simula uma instalação industrial, com o auxílio do programa SAP 2000, foi que as reações horizontais obtidas na base da fundação quando aplicado o espectro da NBR 15421 para ambas as regiões, Nordeste e Sudeste, foram maiores que aquelas calculadas tanto no caso de período de recorrência de 475 anos como no caso de $2/3$ dos valores correspondentes ao tempo de recorrência de 2475 anos. De acordo com essas análises, a NBR 15421 também se posiciona de forma conservadora.

Portanto, de acordo com o presente trabalho, não se pode simplesmente desprezar os abalos sísmicos no Brasil, pois é comprovado que os mesmos ocorrem e em alguns lugares do país já atingem proporções preocupantes. Em vista disso, a NBR 15421 pode ser adotada, com segurança, como norma de referência para obter o espectro de projeto utilizado nas análises sísmicas das estruturas de edifícios, já que se mostra conservadora para as duas regiões analisadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA AAD. Análise Probabilística de Segurança Sísmica de Sistemas e Componentes Estruturais, Tese de Doutorado. Rio de Janeiro. Pontifícia Universidade Católica, 2002.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-05). Washington, D.C.: ASCE, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento”. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15421: Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento”. Rio de Janeiro. 2006.

BERROCAL J, FERNANDES C, BASSINI A, BARBOSA J.R. Earthquake hazard assessment in Southeastern Brazil. Geofísica Internacional 1996; 35; 257-72.

GOVERNO ESTADUAL DO CEARÁ, Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social, Corpo de Bombeiros e a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil, CEDEC. Cartilha atualizada em 23/06/2008. Disponível em <http://www.defesacivil.ce.gov.br/Downloads/Cartilha%20Sismologia.pdf>. Acesso em 30 de janeiro de 2009.

FALCONI R.A., BÁEZ A.G.H. Zonificación Sísmica en Países Bolivarianos. Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Boletín Técnico 2000; 38(3); 27-41.

FALCONI, R.A. Espectros Sísmicos de Riesgo Uniforme para Verificar Desempeño Estructural em Países Latinoamericanos. Anais do XVII Seminário Iberoamericano de Ingeniería Sísmica. Mendoza. Argentina. 2003.

GeoForschungsZentrum-Potsdam (GFZ). Global Seismic Hazard Map. In: www.gfzpotdam.de/pb5/pb53/projects/en/gshap/menue_gshap_e.html, 1999.

GUTENBERG B., RICHTER C.F., Frequency of Earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America 1944, 185-188.

MARZA V.I., BARROS L.V., CHIMPLIGANOND C.N., CAIXETA D.F. Breve Caracterização da Sismicidade no Ceará. Brasília: Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, s.a.

MCGUIRE R.K., Seismic Hazard and Risk Analysis. Oakland, California: Earthquake Engineering Research Institute (EERI), 2004.

SANTOS, S.H.C., SOUZA LIMA, S. Estudos da Zonificação Sísmica Brasileira Integrada em um Contexto Sul-Americano. Anais das Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural. Buenos Aires. 2004.

SAP 2000 – NON LINEAR. Computer and Structures Inc. Version 11

SOUZA LIMA, S., SANTOS S.H.C. Análise Dinâmica das Estruturas. Editora Ciência Moderna, 2008.

TORO G.R., ABRAHAMSON N.A., SCHNEIDER J.F. Model of Strong Ground Motions from Earthquakes in Central and Eastern North America: Best Estimates and Uncertainties. Seismological Research Letters 1997; 68; 41-57.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). “Seismic Hazard Map of South America”. In: <http://earthquake.usgs.gov/research/hazmaps/index.php>; 2006.