



**Frank Christopher Perez Collantes**

**Comportamento Dinâmico de  
uma Barragem de Rejeitos com  
considerações de Ameaça Sísmica**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil do Departamento de  
Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Celso Romanel

Rio de Janeiro  
Março de 2013



**Frank Christopher Perez Collantes**

**Comportamento Dinâmico de  
uma Barragem de Rejeitos com  
considerações de Ameaça Sísmica**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre pelo Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro  
Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela  
Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Celso Romanel**

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Profa. Andréia Abreu Diniz de Almeida**

Universidade Federal Fluminense

**Profa. Maria Cascão Ferreira de Almeida**

Escola Politécnica / Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial

Centro Técnico Científico PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de março de 2013

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Frank Christopher Perez Collantes**

Graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade Nacional de Engenharia – UNI de Lima, Peru, em 2005. Principais áreas de interesse: dinâmica de solos, geotecnia computacional e mineração.

### Ficha Catalográfica

Collantes, Frank Christopher Perez

Comportamento dinâmico de uma barragem de rejeitos com considerações de ameaça sísmica / Frank Christopher Perez Collantes; orientador: Celso Romanel. – 2013.

146 f. il; 29,7 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2013.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Ameaça sísmica. 3. Resposta dinâmica. 4. Barragem de rejeitos. 5. Análise numérica. I. Romanel, Celso. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD 624

*A minha amada esposa Paola*

## Agradecimentos

A Deus que sempre iluminou o meu caminho.

A minha linda esposa, por me fazer sentir sempre em casa com as suas repetidas viagens à “Cidade Maravilhosa”.

Aos meus pais, irmãos e a toda minha família que, com muito carinho, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao professor Celso Romanel, por o conhecimento compartilhado e a amizade.

Ao professor Lyndon Brown, por a colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da Banca Examinadora, Maria Cascão Ferreira de Almeida, Andréia Abreu Diniz de Almeida e Celso Romanel, por as valiosas contribuições buscando o aperfeiçoamento deste trabalho.

Um agradecimento especial aos meus colegas por a amizade e confiança, Denys Parra, Rocio Pérez, Américo Bustamante, Leonardo Salas, Martín Rodríguez, Pedro Mendoza. Da mesma forma para Jackeline Castañeda, Niltonson Noreña, Tania Bustamante e Jorge López.

Aos meus amigos e colegas da PUC-Rio.

Ao Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio.

Às pessoas que ajudaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro.

## Resumo

Collantes, Frank Christopher Perez; Romanel, Celso (orientador)  
**Comportamento dinâmico de uma barragem de rejeitos com considerações de ameaça sísmica.** Rio de Janeiro, 2013. 146 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Sismos são considerados um dos desastres naturais mais catastróficos devido ao seu imenso potencial destrutivo, à extensão dos seus efeitos e pela sua súbita e inesperada ocorrência, podendo desencadear sérias consequências como deslizamentos de encostas, liquefação de solos, corrida de detritos, etc. O estudo da estimativa da ameaça sísmica é de grande importância na engenharia geotécnica, principalmente em obras especiais como barragens, dos pontos de vista sócio econômico, ambiental e de segurança. Análises sísmicas destas geoestruturas mesmo em zonas de baixa sismicidade, como no Brasil, devem ser consideradas como consequência natural de uma boa prática de projeto, pois tais instalações precisam manter-se seguras e em funcionamento durante a sua vida útil, visando à segurança e bem estar da população em geral. A motivação principal da presente dissertação é reunir informações e apresentar métodos de estudo de ameaça sísmica e da resposta dinâmica de obras de terra. Um sistema de contenção de rejeitos de bauxita localizado na Jamaica, em zona de alta atividade sísmica, é analisado procurando-se estabelecer as características fundamentais do terremoto de projeto a partir de uma análise probabilística de ameaça sísmica regional. A estabilidade dos taludes do dique de contenção, bem como os deslocamentos permanentes provocados pelo sismo, são estimados por metodologias simples (método de estabilidade pseudo-estático, método de Newmark) e soluções mais complexas baseadas no método dos elementos finitos.

## Palavras-chave

Ameaça sísmica; resposta dinâmica; barragem de rejeitos; análise numérica.

## Abstract

Collantes, Frank Christopher Perez. Romanel, Celso (advisor). **Dynamic behavior of a tailing dam with seismic hazard considerations**. Rio de Janeiro, 2013. 146 p. M.Sc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Earthquakes are considered one of the most catastrophic natural disasters due to its immense destructive potential, the extent of its effects and its sudden and unexpected occurrence, which can trigger serious consequences such as landslides, soil liquefaction, debris flow, etc. The study of seismic hazard is of great importance in geotechnical engineering, especially in cases involving special structures such as earth dams, under the socio-economic, environmental and security points of view. Seismic analysis of such special structures, even in areas of low seismicity as in Brazil, should be considered as a natural consequence of good design practice, since these facilities do need to remain safe and operational during their entire lifetime. The main motivation of this dissertation is to gather information and to present and discuss methods for the estimate of the seismic hazard and evaluation of the dynamic response of earth works. A tailings dam system located in Jamaica, within an area of high seismic activity, is analyzed in this dissertation, with the objective to establish the fundamental characteristics of the earthquake design from a probabilistic analysis of the regional seismic hazard. The slope stability of the dike and the permanent displacements caused by the earthquake are estimated by simple methods (pseudo-static stability method, Newmark method) and more complex solutions based on the finite element method.

## Keywords

Seismic hazard; dynamic response; tailings dam; numerical analysis.

## Sumário

1	Introdução	22
1.1	Motivação e objetivos	22
1.2	Estrutura da dissertação	23
2	Conceitos de Sismicidade	25
2.1	Placas tectônicas	25
2.2	Ondas planas de tensão	29
2.3	Grandezas de um sismo	32
2.3.1	Intensidade	33
2.3.2	Magnitudes	34
2.4	Parâmetros do movimento do terreno	38
2.4.1	Parâmetros de amplitude	39
2.4.2	Parâmetros de conteúdo de frequências	39
2.4.3	Parâmetros de duração	41
2.5	Relações de prognóstico	41
2.6	Tipos de acelerograma	43
2.6.1	Acelerograma real normalizado	44
2.6.2	Acelerograma sintético artificial	44
2.6.3	Acelerograma sintético simulado	45
2.6.4	Acelerograma sintético adaptado	45
2.7	Projeto do movimento do terreno	46
2.7.1	Efeitos das condições do sítio	46
2.7.2	Parâmetros do projeto	46
3	Avaliação Probabilística de Ameaça Sísmica no Sítio da Barragem de Rejeitos	48
3.1	Processo de Poisson	48
3.2	Lei de Gutenberg-Richter	51
3.3	Modelo probabilístico de Cornell	52
3.4	O sítio da barragem de rejeitos	56



3.5	Sismicidade na Jamaica	57
3.6	Curva de ameaça sísmica no sítio de interesse	58
3.6.1	Catálogos, padronização de magnitudes e depuração de eventos	58
3.6.2	Fontes sismogênicas	61
3.6.3	Lei de atenuação	62
3.6.4	Curva de ameaça sísmica	65
4	Aspectos da Modelagem da Resposta Sísmica de Geoestruturas	68
4.1	Influência do solo no movimento	68
4.2	Métodos de análise do movimento do solo	70
4.2.1	Método simplificado	70
4.2.2	Análises 1D da resposta dinâmica	71
4.2.3	Análises 2D e 3D da resposta dinâmica	76
4.3	Seleção de acelerograma	77
4.4	Métodos de análise do comportamento de taludes	78
4.4.1	Estabilidade	78
4.4.2	Deslocamentos permanentes	80
4.4.3	História da resposta (aceleração, velocidade ou deslocamento)	85
4.4.3.1	Processamento do acelerograma	85
4.4.3.2	Amortecimiento	89
4.4.3.3	Condições de contorno	93
4.4.3.4	Considerações sobre a base do modelo	96
5	Análise da Resposta Dinâmica do Sistema de CONTENÇÃO de Rejeitos	98
5.1	Descrição do sistema de contenção de rejeitos	98
5.2	Análise estática	101
5.2.1	Tensões iniciais	101
5.2.2	Fator de segurança estático	103
5.2.3	Fator de segurança pseudo-estático	104
5.3	Análise dinâmica	105
5.3.1	Tratamento do registro sísmico	105
5.3.2	Malha de elementos finitos	109
5.3.3	Aferição dos parâmetros de amortecimento de Rayleigh	113
5.3.4	Frequências predominantes da geoestrutura	116

5.3.5	Avaliação dos deslocamentos permanentes pelo método dos elementos finitos	119
5.3.6	Avaliação dos deslocamentos permanentes pelo método de Newmark (1965)	123
6	Conclusões e Sugestões	126
6.1	Conclusões	126
6.2	Sugestões	128
	Referências Bibliográficas	130
	Anexo 1	137
	Anexo 2	138
	Anexo 3	140

## Lista de figuras

Figura 1.1 – Mapa global de ameaça sísmica global (USGS – U.S. Geological Survey) ( <a href="http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/">http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/</a> ).	22
Figura 2.1 – Esquema da estrutura da Terra ( <a href="http://www.ige.unicamp.br/site/aulas/109/Terra-tempo_geo-aula1.pdf">www.ige.unicamp.br/site/aulas/109/Terra-tempo_geo-aula1.pdf</a> ).	27
Figura 2.2 – Tipos de movimento entre placas ( <a href="http://geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/guiaio_tectonica_placas/texto.htm">http://geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/guiaio_tectonica_placas/texto.htm</a> ).	27
Figura 2.3 – Placas tectônicas principais ( <a href="http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/slabs.html">http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/slabs.html</a> ).	28
Figura 2.4 – Notação geométrica para a descrição do plano de falha ( <a href="http://w3.ualg.pt/~jdias/GEOLAMB/GA2_SistTerra/202Tectonica/Fracturas.html">http://w3.ualg.pt/~jdias/GEOLAMB/GA2_SistTerra/202Tectonica/Fracturas.html</a> ).	28
Figura 2.5 – Movimentos de partícula produzidos pelos diferentes tipos de ondas planas de tensão (Teixeira <i>et al.</i> , 2003).	31
Figura 2.6 – Ondas sísmicas registradas a 10.000 km do epicentro: a) sismo de foco profundo; b) sismo de foco superficial. Modificado de Sauter (1989) <i>apud</i> Arias (1996).	32
Figura 2.7 – Elementos para descrição da localização de um sismo (adaptado de Kramer, 1996).	33
Figura 2.8 – Relação das magnitudes $M_L$ , $m_b$ e $M_S$ com a magnitude de momento $M_W$ (Boore e Joyner, 1994).	37
Figura 3.1 – Localização do sítio da barragem de rejeitos de mineração ( <a href="http://www.alcoa.com/jamaica/en/home.asp">http://www.alcoa.com/jamaica/en/home.asp</a> ).	56
Figura 3.2 – Sismotectônica da Jamaica (ERN, 2009).	58
Figura 3.3 – Localização geográfica da barragem de rejeitos (círculo amarelo), fontes sismogênicas delimitadas pelas linhas claras e eventos sísmicos indicados pelos círculos, após depuração dos catálogos sísmicos.	62
Figura 3.4 – Curva de ameaça sísmica para a zona do projeto em função da taxa de excedência das acelerações.	66
Figura 3.5 – Curva de ameaça sísmica para a zona do projeto em função da	

probabilidade de excedência das acelerações em 50 anos.	66
Figura 3.6 – Espectro uniformemente provável de resposta das acelerações para um período de retorno de 475 anos e vida útil de 50 anos.	67
Figura 4.1 – Variação da aceleração horizontal de pico em depósitos de solo mole (Adaptado de Idriss, 1990).	71
Figura 4.2 – Curvas de variação do módulo de cisalhamento para diferentes índices de plasticidade – Vucetic e Dobry (1991).	73
Figura 4.3 – Curvas de variação da razão de amortecimento para diferentes índices de plasticidade – Vucetic e Dobry (1991).	73
Figura 4.4 – Determinação do deslocamento permanente do bloco rígido (Adaptado de Hynes-Griffin e Franklin, 1984).	82
Figura 4.5 – Procedimento da dupla integração no tempo no método de Newmark - Smith (1995).	83
Figura 4.6 – Efeitos da frequência no movimento induzido em taludes. a) baixa frequência, longo comprimento de onda; b) alta frequência, curto comprimento de onda (Kramer e Smith, 1997).	84
Figura 4.7 – Erros introduzidos nas velocidades e deslocamentos pela falta da correção da linha base no acelerograma (modificado de Hudson, 1979).	86
Figura 4.8 – À esquerda, efeito dos ruídos de alta frequência, à direita efeitos dos ruídos de baixa frequência (modificado de Hudson, 1979).	87
Figura 4.9 – Contornos silenciosos no caso de carregamento dinâmico no interior da malha de elementos finitos (Loayza, 2009).	94
Figura 4.10 – Comparação entre os sinais prescrito e calculado na base da malha de elementos finitos (Quispe, 2008).	95
Figura 4.11 – Condições de contorno de campo livre (Adaptado de <i>New Plaxis Developments</i> , Plaxis v.2011).	96
Figura 5.1 – Planta do sistema de contenção de rejeitos.	99
Figura 5.2 – Geometria da seção transversal A-A (medidas em metros).	100
Figura 5.3 – Distribuição dos materiais na seção A - A	102
Figura 5.4 – Escala de cores ilustrando a variação da resistência ao cisalhamento não drenada $S_u$ em função da profundidade.	103
Figura 5.5 – Distribuição das tensões horizontais (acima) e verticais (abaixo) na análise estática.	103

Figura 5.6 – Superfície crítica de deslizamento na avaliação da estabilidade estática do dique projetado, determinada com base nos acréscimos de deformação cisalhante ( $\Delta\gamma_{xy}$ ).	104
Figura 5.7 – Fator de segurança pseudo-estático obtido por método de equilíbrio limite com $k = 0,105$ .	104
Figura 5.8 – Localização do evento sísmico selecionado na fonte sísmica JS2, localização da estação acelerográfica SMAD e a distância entre ambos (modificado de <a href="http://earthquake.usgs.gov">http://earthquake.usgs.gov</a> ).	106
Figura 5.9 – Erros nas acelerações, velocidades e deslocamentos decorrentes da não correção da linha base ( $a_0 = 0,0065g$ ).	106
Figura 5.10 – Acelerogramas corrigido e não corrigido do sismo de projeto no intervalo de tempo entre 5s e 35s.	107
Figura 5.11 – Ajuste espectral no domínio do tempo com auxílio do programa SeismoMatch.	108
Figura 5.12 – Acelerograma de projeto ajustado no domínio do tempo.	108
Figura 5.13 – Espectro de potência para determinação da frequência de corte $f_c$ .	109
Figura 5.14 – Malha de elementos finitos triangulares com o acelerograma de projeto aplicado na base do modelo. Condições de contorno laterais especificadas como de campo livre.	111
Figura 5.15 – Propagação 1D de ondas S geradas pelo acelerograma de projeto aplicado no substrato rochoso.	112
Figura 5.16 – Registro de acelerações na base do rejeito existente, coincidente com a base do modelo de elementos finitos (figura 5.14).	112
Figura 5.17– Modelos para comparação entre os amortecimentos de Rayleigh (PLAXIS) e histerético (SHAKE2000).	114
Figura 5.18– Distribuição da aceleração máxima com a profundidade obtida com os programas SHAKE2000 e PLAXIS 2D v.2011.	115
Figura 5.19 – Distribuição da tensão cisalhante máxima com a profundidade obtida com os programas SHAKE2000 e PLAXIS 2D v.2011.	115
Figura 5.20 - Resultados da aferição considerando os espectros de aceleração de Fourier.	116
Figura 5.21 - Pontos de controle utilizados para determinação das frequências	

predominantes da geoestrutura, conforme tabela 5.5.	117
Figura 5.22– Acelerações horizontais não amortecidas registradas no rejeito a ser lançado (ponto I da figura 5.21).	118
Figura 5.23 – Espectros de potência dos pontos A, I e D obtidos das acelerações da análise elástica não amortecida.	118
Figura 5.24 – Pontos de controle utilizados na avaliação na resposta sísmica.	120
Figura 5.25 – Distribuição dos deslocamentos horizontais permanentes na geoestrutura.	121
Figura 5.26 – Distribuição dos deslocamentos verticais permanentes na geoestrutura.	121
Figura 5.27 – Evolução no tempo dos deslocamentos horizontais permanentes nos pontos B, C, D e E.	121
Figura 5.28 – Evolução no tempo dos deslocamentos verticais permanentes nos pontos B, C, D e E.	122
Figura 5.29 – Comparação dos espectros de resposta obtidos no ponto H.	123
Figura 5.30 – Determinação da aceleração de escoamento pelo método das fatias de Spencer (1967).	123
Figura 5.31 – Seções consideradas na avaliação de deslocamentos permanentes pelo método de Newmark (1965).	124
Figura 5.32 – Acelerogramas para as análises 1 e 2 da seção 3.	125

## Lista de tabelas

Tabela 3.1 – Probabilidade de excedência e períodos de retorno para diversos tipos de sismo (Bertero, 1997).	50
Tabela 3.2 – Resumo de metodologias e resultados de análises de ameaça sísmica na Jamaica.	57
Tabela 3.3 – Terremotos de grande intensidade na Jamaica ( <a href="http://www.mona.uwi.edu/earthquake/equakedata.php">http://www.mona.uwi.edu/earthquake/equakedata.php</a> ).	59
Tabela 3.4 – Relações de conversão de magnitude usadas neste estudo.	60
Tabela 3.5 – Fontes sismogênicas e seus parâmetros sísmicos.	61
Tabela 3.6 – Parâmetros de crosta para a Califórnia (Atkinson, 2001; Boore e Joyner, 1997) e para Jamaica (Wiggins-Grandison e Havskov, 2004).	64
Tabela 3.7 – Classificação de solos e correspondentes valores de $V_{30}$ de acordo com o NEHRP (adaptado de Bozorgnia e Campbell, 2004).	64
Tabela 3.8 – Parâmetros da lei de atenuação proposta por Boore, Joyner e Fumal (1997).	64
Tabela 3.9 – Acelerações espectrais e de pico no embasamento rochoso determinados para um período de retorno de 475 anos e vida útil de 50 anos.	67
Tabela 4.1 – Classificação do depósito de solo (Borcherdt, 1994).	70
Tabela 4.2 – Valores típicos da razão de amortecimento crítico.	90
Tabela 5.1 – Propriedades geotécnicas dos materiais	98
Tabela 5.2 – Variação da resistência ao cisalhamento não drenada com a profundidade.	99
Tabela 5.3 – Parâmetros utilizados na correção da linha base e filtros.	105
Tabela 5.4 – Tamanho máximo do elemento para assegurar propagação da onda S.	109
Tabela 5.5 – Frequências predominantes obtidas em diferentes pontos da geoestrutura.	118
Tabela 5.6 – Máximos deslocamentos permanentes horizontais e verticais nos pontos de controle.	119
Tabela 5.7 – Resultados da avaliação de deslocamentos permanentes.	125

## Lista de Símbolos

### Romanos

$A$	Amplitude do movimento de terreno
$A_0, A_1, A_2, A_3$	Constantes
$A(f)$	Espectro da amplitude de Fourier
$a$	Parâmetro de atividade sísmica
$a(t)$	Acelerograma sem corrigir
$a_y$	Aceleração de escoamento
$B_{1ALL}, B_2, B_3, B_5$	Constantes
$C_1, C_2, \dots, C_8$	Constantes
$b$	Parâmetro relacionado com a distribuição de sismos pelas diversas magnitudes
$[C]$	Matriz de amortecimento viscoso
$c$	Coesão
$C_1$	Coefficientes de relaxamento normal
$C_2$	Coefficientes de relaxamento tangencial
$c_n$	Amplitude do $n$ -ésimo harmônico das séries de Fourier
$d_e$	Distância epicentral
$E$	Modulo de Young
$E$	Quantidade de energia emitida por um sismo
$E_j$	Evento sísmico ocorrido na região sismogênica $j$
$f_{\Delta e}$	Diferença de energia liberada entre dois terremotos
$f_c$	Frequência de corte
$f_{max}$	Frequência máxima
$f_{(M)}$	Função densidade de probabilidade de magnitude $m$
$f_n$	Frequencia de ressonância
$F(M)$	Probabilidade de ocorrerem sismos com magnitude não superior a $M$
$FS$	Fator de segurança
$g$	Aceleração gravitacional ou gravidade



$G$	Módulo de cisalhamento
$G_{max}$	Módulo de cisalhamento máximo
$G_{(\omega)}$	Espectro de potência ou função densidade espectro de potência
$h$	Profundidade focal
$j$	Índice de fontes sismogênicas
$[K]$	Matriz de rigidez não-linear
$k_y$	Coefficiente sísmico de escoamento
$L$	Onda Love
$L(M)$	Faixa de distância considerada na depuração do catálogo sísmico
$[M]$	Matriz de massa
$M$	Magnitude sísmica
$M_0$	Limite inferior da magnitude sísmica
$m_b$	Magnitude das ondas de corpo
$M_c$	Magnitude de duracao do terremoto
$M_E$	Magnitude com base em energia irradiada por um terremoto
$M_l$	Magnitude local
$M_s$	Magnitude das ondas de superfície
$M_o$	Momento sísmico
$m_o$	Magnitude mínima
$M_S$	Magnitude de ondas superficiais
$M_U$	Magnitude do sismo máximo provável
$M_w$	Magnitude de momento
$N$	Número de sismos ocorridos de magnitudes iguais ou maiores que $M$
$n$	Número total de zonas sismogênicas consideradas
$N_T$	Número total de sismos
$P$	Onda primária
$P_a$	Pressão atmosférica
$P_{(n)}$	Função do modelo de Poisson
$Q_{(\Delta,h)}$	Fator de correção
$Q_{(f)}$	Fator dependente da qualidade da frequência
$R$	Onda Rayleigh

$r_{jb}$	Distância Joyner-Boore, 1981
$r(t)$	Ruído do sinal sísmico
$Sa(T)$	Aceleração espectral no período T
s	Unidade de tempo em segundos
S	Onda secundária ou de cisalhamento
S	Área de ruptura da falha
SH	Onda cisalhante horizontal
$s(t)$	Sinal sísmico corrigido
SV	Onda cisalhante vertical
Su	Resistencia ao cisalhamento não drenado
t	Tempo
T	Período do sistema
$T_d$	Duração do sismo
$T_R$	Periodo de retorno em anos
$T(M)$	Faixa de tempo considerada na depuração do catálogo sísmico
$\ddot{u}_b(t)$	Aceleração da base na profundidade da massa de solo instável
$\ddot{u}_g(t)$	Aceleração do sismo
$v_p$	Velocidade da onda primária
$v_R$	Velocidade da onda Rayleigh
$v_s$	Velocidade da onda de cisalhamento
$V_{30}$	$v_s$ nos 30m superficiais do solo ou rocha
Y	Parâmetro do movimento do terreno
Z	Profundidade

## Gregos

$\alpha_R$	Coeficiente de amortecimento Rayleigh
$\alpha$	Parâmetro de atividade sísmica
$\alpha_N$	Parametro do tempo de integração
$\beta$	Parâmetro relacionado com a distribuição de sismos pelas diversas magnitudes
$\beta$	Coeficiente de amortecimento Rayleigh
$\beta_N$	Parametro do tempo de integração
$\Delta$	Distância epicentral em graus
$\Delta l$	Tamanho do elemento
$\Delta M$	Incremento de magnitude sísmica
$\Delta t$	Incremento de tempo
$\phi$	Ângulo de atrito
$\Delta \gamma_{xy}$	Acréscimo de deformações cisalhante
$\lambda$	Taxa média de ocorrência de eventos sísmicos
$\lambda$	Comprimento de onda
$\lambda$	Constante de Lamé
$\lambda_m$	Taxa anual média de ultrapassagem da magnitude do sismo m
$\rho$	Massa específica
$\sigma_n$	Tensão normal
$\sigma_\tau$	Tensão cisalhante
$\sigma'_{h,o}$	Tensão efetiva horizontal inicial
$\sigma'_{v,o}$	Tensão efetiva vertical inicial
$\tau_{max}$	Tensão de cisalhamento máxima
$\nu$	Coeficiente de Poisson
$\omega$	Frequência natural do sistema
$\xi$	Razão de amortecimento

## Lista de Abreviaturas

APAS	Análise de ameaça sísmica probabilística
BJF97	Lei de atenuação proposta por Boore, Joyner e Fumal em 1997
CSC	<i>Cayman Spreading Center</i>
CSP	<i>Cumulative spectrum power</i>
EFZ	Zona de falha Enriquillo
EMS-98	Escala macrosísmica europeia de intensidade de sismo
ERN	Avaliação de riscos naturais – América Latina
FFT	Transformada rápida de Fourier
FLAC	<i>Finite Lagrangian Analysis of Continua</i>
IBC	<i>International Building Code</i>
IRIS	<i>Incorporated Research Institutions for Seismology</i>
IP	Índice de plasticidade
JSN	<i>Jamaica Seismograph Network</i>
JAMALCO	<i>Jamaica Aluminum Company</i>
MCE	Sismo máximo a ser considerado
MEF	Método de elementos finitos
MMI	Escala de Intensidade de sismo de Mercalli modificada
NEHRP	<i>National Earthquake Hazards Reduction Program</i>
OBE	Sismo base de operação
OCR	Razão de pré-adensamento
OZF	<i>Oriente fault zone</i>
PHA	Aceleração horizontal de pico
PGA	<i>Peak ground acceleration</i>
PHV	Velocidade horizontal de pico
PSHA	<i>Probabilistic seismic hazard analysis</i>
PSFD	Função densidade espectro de potência
SDB	<i>Santiago deformed belt</i>
SDOF	Sistema de um grau de liberdade
SPT	Ensaio de penetração padrão

SSE	Sismo de desligamento seguro
USAID	<i>United States Agency for International Development</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
WFZ	Zona de falha Walton