UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL ESCOLA DE ENGENHARIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Fabrício Bagatini Cachuço

ANÁLISE DE CARGAS DINÂMICAS DE VENTOS E SISMOS: COMPARAÇÃO ATRAVÉS DAS NORMAS BRASILEIRAS

Porto Alegre dezembro 2011

FABRÍCIO BAGATINI CACHUÇO

ANÁLISE DE CARGAS DINÂMICAS DE VENTOS E SISMOS: COMPARAÇÃO ATRAVÉS DAS NORMAS BRASILEIRAS

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Marcelo Maia Rocha

Porto Alegre dezembro 2011

FABRÍCIO BAGATINI CACHUÇO

ANÁLISE DE CARGAS DINÂMICAS DE VENTOS E SISMOS: COMPARAÇÃO ATRAVÉS DAS NORMAS BRASILEIRAS

Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 19 de dezembro de 2011

Prof. Marcelo Maia Rocha Dr. Techn., Universität Innsbruck, Áustria Orientador

> Profa. Carin Maria Schmitt Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Rubem Clécio Schwingel (UFRGS)M.Sc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Roberto Domingo Rios (UFRGS)Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Marcelo Maia Rocha (UFRGS) Dr. Techn. pela Universität Innsbruck, Áustria

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares, principalmente aos meus pais João e Neusa e ao meu irmão Giovanni, pelo apoio incondicional e incentivo constante ao longo de toda a minha vida até o presente momento.

Agradeço ao Sindicato.

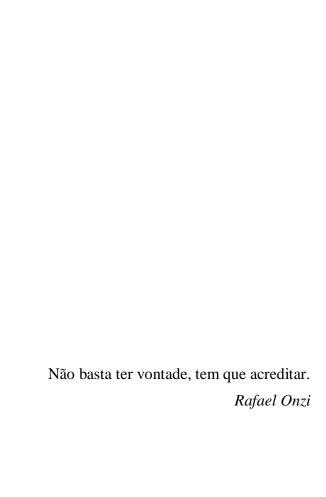
Agradeço aos meus colegas pelas dicas e auxílios ao longo deste trabalho, do curso de graduação e também pela companhia, amizade e companheirismo que tornaram os momentos na Universidade e fora os melhores possíveis.

Agradeço ao engenheiro Valnei Bolfoni, ao arquiteto Rubens Seno e aos setores de Geoengenharia e Saneamento da empresa Ecoplan por me ensinar os princípios profissionais, de ética e de convívio em equipe.

Agradeço a empresa RS Engenharia e a todo seu corpo técnico pelos ensinamentos, apoio e contextualização prática e profissional dos assuntos aqui abordados e também pelo incentivo ao meu crescimento profissional e pessoal.

Agradeço ao Prof. Marcelo Rocha por me auxiliar durante este trabalho, pela ótima contextualização dos assuntos abordados, pela ajuda em tornar este projeto consistente, bem elaborado e inteligível e pela paciência, dedicação e amizade.

Agradeço à Prof. Carin Maria Schmitt pelo empenho e dedicação que me motivaram ao longo de todo este projeto e pela ajuda fundamental na tarefa de transformar cálculos e números em um trabalho.



RESUMO

Este trabalho analisa as cargas dinâmicas oriundas de ventos e sismos especificadas pelo capítulo 9 da NBR 6123/1988 - Forças Devidas ao Vento em Edificações - e pela norma NBR 15421/2006 – Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos – respectivamente. A pesquisa compila informações sobre os efeitos desses tipos de cargas dinâmicas em edificações e trata das características das edificações frente a estas forças e os métodos propostos pelas normas brasileiras em questão. Com este embasamento, é realizado o cálculo das solicitações em termos de momentos e cortantes nas bases das estruturas, que são consideradas prismas retangulares com variadas dimensões, separadamente para cada fenômeno e sem a consideração da torção no plano horizontal. As edificações são analisadas em diferentes condições quanto às características do solo e da vizinhança para cada região. Esta é associada à zona sísmica e velocidade básica do vento em questão, sendo que a frequência natural das estruturas é considerada através do método de Ellis (1980) para edificações mais rígidas e uma adaptação do mesmo para edificações menos rígidas. Com base nestas análises, são feitos dois mapas do Brasil, para edificações de maior e menor rigidez respectivamente, expondo qual efeito tem maiores solicitações em cada região do País para cada situação de solo e vizinhança. Por fim, é feita a conclusão expondo a interpretação do mapeamento e a ponderação de diretrizes para interpretar quando um ou outro efeito indica ser mais relevante no projeto da edificação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do delineamento	18
Figura 2 – Vibração livre com amortecimento subcrítico	23
Figura 3 – Estrutura tipo <i>shear building</i>	25
Figura 4 – Influência da freqûencia na resposta dinâmica ao vento	28
Figura 5 – Forças oblíquas de sucção devidas ao desprendimento de vórtices	30
Figura 6 – Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s)	31
Figura 7 – Coeficiente de arrasto C _a para edificações paralelepipédicas em vento de alta turbulência	35
Figura 8 – Coeficiente de amplificação dinâmica ξ para terrenos de categorias II, III e IV	38
Figura 9 – Teoria do ressalto elástico gerado por terremoto: (a) antes do tensionamento; (b) tensionado (antes do terremoto); (c) depois do terremoto	40
Figura 10 – Sismicidade do Brasil	41
Figura 11 – Espectro de resposta da pseudo-aceleração normalizada para deslocamentos do solo de El Centro	44
Figura 12 – Formato do espectro de resposta elástico conforme o Eurocode 8	44
Figura 13 – Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica no Brasil para terrenos da classe B	45
Figura 14 – Exemplo de edificações prismáticas	56
Figura 15 – Modelo geométrico adotado	56
Figura 16 – Sobreposição das isopletas com as zonas sísmicas	61
Figura 17 – Regiões onde os efeitos são considerados constantes	62
Figura 18 – Modelo de cálculo das solicitações oriundas do vento	65
Figura 19 – Modelo de cálculo das solicitações oriundas de sismos em zona 1	67
Figura 20 – Modelo de cálculo das solicitações oriundas de sismos em zona 2, 3 ou 4	70
Figura 21 – Mapeamento resultante para edificações mais rígidas	73
Figura 22 – Mapeamento resultante para edificações menos rígidas	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores mínimos do fator estatístico S ₃	32
Quadro 2 – Categorias de rugosidade do terreno	34
Quadro 3 – Parâmetros para a determinação de efeitos dinâmicos	37
Quadro 4 – Expoente p e parâmetro b	37
Quadro 5 – Classe do terreno	46
Quadro 6 – Zonas sísmicas	47
Quadro 7 – Fatores de ampliação sísmica no solo	47
Quadro 8 – Coeficientes de projeto para os diversos sistemas básicos sismo-resistentes	49
Quadro 9 – Variações geométricas das edificações	57

LISTA DE SÍMBOLOS

F(t) – Força excitadora do sistema
m – Massa do sistema
c – Coeficiente de amortecimento dinâmico
k – Constante elástica da mola
x(t) – Deslocamento da massa m em função do tempo
u _i – Deslocamento máximo no ciclo i
u _{i+1} - Deslocamento máximo no ciclo i+1
ζ – Razão de amortecimento
f_1 – Frequência fundamental de vibração livre (Hz)
h – Altura da edificação (m)
d – Diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro (m)
θ – Inclinação média do talude ou encosta ou morro (°)
\overline{V}_p – Velocidade de projeto do vento (m/s)
V ₀ – Velocidade básica do vento (m/s)
S1 – Fator topográfico
S3 – Fator estatístico
$\stackrel{-}{q}_0$ – Pressão básica em função da velocidade de projeto do vento (N/m²)
q(z) – Pressão dinâmica em função da altura (N/m²)
b – Parâmetro função da categoria do terreno
z – Altitude do ponto em análise (m)

```
p – Expoente da lei potencial em função da categoria do terreno
γ – Expoente da lei potencial de expressão do modo de vibração
\xi – Coeficiente de amplificação dinâmica
\ddot{u}_{g}(t) – Aceleração do solo (m/s²)
\omega_n – Frequência natural circular n da estrutura (rad/s)
f<sub>n</sub> – Frequência natural n da estrutura (Hz)
a<sub>gs0</sub> – Aceleração espectral para o período de 0,0 s (g) ou (m/s²)
a_{gs1}-Acelerações espectrais para os períodos de 0,0 s e 1,0 s respectivamente (g) ou (m/s²)
C<sub>a</sub> – Fator de amplificação sísmica no solo, para o período de 0,0 s
C<sub>v</sub> – Fator de amplificação sísmica no solo, para o período de 1,0 s
T – Período natural associado ao devido modo de vibração da estrutura (s)
S_a(T) – Espectro de resposta de projeto (g)
F<sub>x</sub> – Força sísmica de projeto correspondente ao pavimento x (tf)
w<sub>x</sub> – Peso total da estrutura referente ao pavimento x (tf)
H – Força horizontal total na base da estrutura (tf)
C<sub>s</sub> – Coeficiente de resposta sísmica
W – Peso total da estrutura (tf)
R – Coeficiente de modificação da resposta
I – Fator de importância de utilização
Qv(z) – Força resulte da pressão do vento na altutude z(N)
```

z_r – Altitude de referência (m)

A(z) – Área da edificação na altutude $z\ (m^2)$

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	1
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	1
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	1
2.2.1 Objetivo Principal	1
2.2.2 Objetivos Secundários	1
2.3 PRESSUPOSTO	1
2.4 DELIMITAÇÕES	1
2.5 LIMITAÇÕES	1
2.6 DELINEAMENTO	1
3 ANÁLISE DINÂMICA ESTRUTURAL: ASPECTOS GERAIS	2
3.1 SISTEMAS VIBRATÓRIOS	2
3.2 CLASSIFICAÇÕES DAS VIBRAÇÕES	2
3.3 EQUAÇÃO DIFERENCIAL DO MOVIMENTO	2
3.3.1 Forças Inerciais Resistentes	2
3.3.2 Amortecimento Dinâmico	2
3.3.3 Rigidez	2
3.4 MODOS DE VIBRAÇÃO	2
4 CARGAS DEVIDAS AO VENTO	2
4.1 NATUREZA DAS CARGAS DE VENTO	2
4.2 AÇÕES DINÂMICAS DE VENTO EM EDIFICAÇÕES	2
4.2.1 Influência da Frequência Natural de Vibração da Edificação	2
4.2.2 Influência do Amortecimento da Edificação	2
4.2.3 Ações Transversais à Direção do Vento	2
4.3 CARGAS DINÂMICAS DEVIDAS AO VENTO CONFORME NBR 6123/1988 .	3
4.3.1 Velocidade Básica do Vento	3
4.3.2 Fator Estatístico de Segurança	3
4.3.3 Fator Topográfico	3
4.3.4 Rugosidade do Terreno	3
4.3.5 Coeficiente de Arrasto	3
4.3.6 Análise Dinâmica Simplificada	3

5 AÇÕES DEVIDAS A SISMOS	
5.1 NATUREZA DAS AÇÕES SÍSMICAS	
5.2 AÇÕES SÍSMICAS NO BRASIL	
5.3 AÇÕES SÍSMICAS EM EDIFICAÇÕES	
5.3.1 Amortecimento Estrutural em Ações Sísmicas	
5.3.2 Espectro de Resposta	
5.4 AÇÕES SÍSMICAS HORIZONTAIS CONFORME NBR 15421/2006	
5.4.1 Zoneamento Sísmico Brasileiro	
5.4.2 Classe do Terreno	
5.4.3 Espectro de Resposta de Projeto	
5.4.4 Caracterização da Estrutura	•••••
5.4.5 Forças Horizontais de Projeto	
5.4.5.1 Forças Horizontais nas Zonas Sísmicas 0 e 1	
5.4.5.2 Forças Horizontais nas Zonas Sísmicas 2, 3 e 4	
5.4.5.3 Direção das Forças Sísmicas	
6 EDIFICAÇÕES ANALISADAS	
6.1 CONSIDERAÇÕES GEOMÉTRICAS	
6.2 CONSIDERAÇÕES DOS LOCAIS	
6.2.1 Entorno das Edificações	
6.2.2 Tipo de Solo	
6.3 CONSIDERAÇÕES FÍSICAS E ESTRUTURAIS	
7 CÁLCULO DAS SOLICITAÇÕES	
7.1 SOLICITAÇÕES DEVIDAS AO VENTO	
7.2 SOLICITAÇÕES DEVIDAS A SISMOS	
7.2.1 Método para Zona Sísmica 1	
7.2.2 Método para Zonas Sísmicas 2, 3 e 4	
8 COMPARAÇÃO DE SOLICITAÇÕES	
8.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS REGIÕES	
8.2 MAPEAMENTO RESULTANTE	
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	
REFERÊNCIAS	
APÊNDICE A	
APÊNDICE B	

14

1 INTRODUÇÃO

Estruturas e edificações são expostas frequentemente a carregamentos dinâmicos. Entre as

ações deste tipo, as cargas de ventos e de sismos são as principais.

No Brasil, a presença de ventos fortes sempre foi observada e ponderada nos projetos de

Engenharia. Essas cargas são consideradas em projetos estruturais, pois esta ação causa

oscilações, desconforto aos usuários e, em alguns casos, pode até levar ao tombamento da

edificação. Tais efeitos são causados, principalmente, pela velocidade do vento que varia em

função do tempo e em torno de um valor médio. Por isto, para alguns casos, este fenômeno

não pode ser considerado como um processo estático, mas sim dinâmico.

Por outro lado, a atividade sísmica no Brasil historicamente foi considerada irrelevante para o

cálculo estrutural por causa da sua baixa ocorrência e intensidade. Porém, ultimamente, as

medições se tornaram mais frequentes e conclusivas e os sismos em território nacional estão

sendo relatados em quantidade e intensidade que exigem precauções quanto à estabilidade das

edificações. Assim como o vento, a carga em uma edificação devida a um sismo é dinâmica,

e, no que diz respeito à rigidez da estrutura, atinge principalmente os planos horizontais.

A meta do dimensionamento de uma obra exposta a carga de ventos é garantir a integridade

total da estrutura e o conforto dos usuários. Já o objetivo de um projeto estrutural de uma

construção exposta a sismos é fazer com que a mesma não colapse como consequência deste

evento.

Este trabalho faz a comparação entre solicitações devidas a ventos e a sismos conforme as

normas brasileiras. Os resultados serão analisados a fim de questionar a importância dessas

ações conforme as condições de contorno através de um mapeamento do território brasileiro.

A fim de descrever o método de pesquisa deste trabalho, o capítulo 2 apresenta suas diretrizes

assim como seu objetivo e sua questão de pesquisa. Já o capítulo 3 expõe as considerações e

conceitos necessários para o entendimento deste trabalho quanto ao comportamento dinâmico

das estruturas.

O capítulo 4 tem enfoque na ação devida ao vento em edificações, sua parcela dinâmica e a

forma como a norma brasileira trata deste assunto. Da mesma forma, o capítulo 5 aborda as

forças oriundas de sismos, suas características enquanto carga dinâmica e o processo de análise conforme a norma brasileira.

As edificações analisadas neste trabalho são o objeto de discussão do capítulo 6 que as descreve quanto às condições de contorno e características físicas e geométricas. Estabelecidas estas considerações, o capítulo 7 apresenta a análise das estruturas frente aos carregamentos de ventos e sismos conforme as respectivas normas.

Expostos as considerações e os cálculos executados, é feita a comparação dos efeitos e o mapeamento resultante no capítulo 8. Por fim, o capítulo 9 apresenta as considerações finais do trabalho.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

Este capítulo contempla as diretrizes adotadas para o desenvolvimento deste trabalho. O método de pesquisa está descrito conforme os itens seguintes.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: considerando as cargas devidas a ventos e a sismos, conforme as normas brasileiras, quais as regiões do Brasil onde um ou outro efeito fornece maiores solicitações?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é o mapeamento da relevância dos carregamentos de ventos e sismos quando comparados entre si.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) definição do comportamento dinâmico da estrutura baseada no método simplificado da NBR 6123/1988;
- b) elaboração de um roteiro de análise de solicitações horizontais consequentes de sismos conforme a NBR 15421/2006.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto a validade dos métodos considerados no capítulo 9 da NBR 6123/1988 – Forças Devidas ao Vento em Edificações – e na NBR 15421/2006 – Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo da resposta ao carregamento dinâmico de sismo e de vento de edificações com no mínimo 30 m de altura nas respectivas condições de contorno.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) a consideração das edificações como constantes quanto à seção dos pavimentos e quanto à distribuição de massa;
- b) a análise de solicitações horizontais na direção mais desfavorável à edificação;
- c) a verificação das respostas longitudinal apenas sem a consideração da torção;
- d) o número de edificações analisadas;
- e) as características geométricas e físicas, a capacidade geotécnica do solo, a rugosidade do terreno e a rigidez atribuídos às edificações e suas localizações;
- f) a simplificação do território nacional em regiões com uma velocidade básica do vento e uma zona sísmica características.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, representadas na figura 1, e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição das edificações padrão;
- c) aplicação da NBR 6123/1988;
- d) aplicação da NBR 15421/2006;
- e) comparação das solicitações;

- f) mapeamento resultante;
- g) considerações finais.

Pesquisa Bibliográfica

Definição das Edificações Padrão

Aplicação da NBR 6123

Aplicação da NBR 15421

Comparação das Solicitações

Mapeamento Resultante

Figura 1 – Representação esquemática do delineamento

(fonte: elaborado pelo autor)

A **pesquisa bibliográfica** ocorreu durante todo o projeto e foi direcionada ao estudo de fatores relevantes para a análise dinâmica, tanto por parte das cargas quanto por parte da resposta da estrutura. Com base nestes parâmetros foi feita a relação com as solicitações dinâmicas devidas a sismos e também devidas ao vento. Sendo que estes fenômenos naturais foram estudados quanto a sua formação e causas.

Considerações Finais

Após o início da pesquisa bibliográfica, foi feita a **definição das edificações padrão**. Nesta etapa foram definidas as variações geométricas adotadas (altura das edificações e a relação proporcional das dimensões da base com esta), os possíveis tipos de solo da fundação e de

rugosidade dos terrenos e as características do sistema estrutural resistente. Outro fator relevante estabelecido foi a classificação do Brasil em regiões onde os efeitos analisados têm intensidade considerada constante.

Estabelecidos os casos de estudo, foi possível realizar os cálculos das ações dinâmicas devidas ao vento pela **aplicação da NBR 6123/1988**. Tal análise envolveu a aplicação das características estabelecidas na etapa anterior nos modelos de cálculo da norma de referência a fim de obter valores de momentos e cortantes nas bases das respectivas edificações.

Em paralelo a verificação quanto ao vento, foi realizada a verificação quanto a sismos através da **aplicação da NBR 15421/2006**. O objetivo desta fase do projeto de pesquisa foi calcular os momentos e cortantes nas bases das estruturas em estudo através do método exposto pela norma.

Com a realização das etapas anteriormente descritas, foi executada a **comparação das solicitações** obtidas. Os momentos e cortantes resultantes de sismos e ventos foram analisados separadamente e comparados.

Seguindo com os dados obtidos, foi feito o **mapeamento resultante**. O enfoque é explicitar para cada situação qual efeito foi considerado mais intenso para cada região.

Na sequência destas etapas e em paralelo com a pesquisa bibliográfica, o trabalho foi concluído através das **considerações finais**. Elas relatam a importância dos dados obtidos, a interpretação do resultado e explicita a relevância e utilidade deste projeto em casos reais.

3 ANÁLISE DINÂMICA ESTRUTURAL: ASPECTOS GERAIS

Este capítulo discute os conceitos relevantes para a análise dinâmica estrutural. Esta análise parte do princípio que a estrutura se comporta como um sistema vibratório.

3.1 SISTEMAS VIBRATÓRIOS

Conforme Rao (2008) define, a teoria de vibração aborda movimentos de oscilação de corpos e as forças associadas aos mesmos. Segundo esta teoria, um sistema vibratório é composto de uma maneira de armazenar energia potencial (através de mola ou elasticidade), uma forma de armazenamento de energia cinética (constituído por massa ou inércia) e um meio de perder energia gradualmente (amortecedor).

Um sistema vibratório é formado pela troca de energia potencial para cinética ao longo do tempo de forma alternada. Se este movimento é amortecido, o sistema perde energia durante esta troca a fim de eliminar a oscilação.

3.2 CLASSIFICAÇÕES DAS VIBRAÇÕES

Rao (2008) divide as vibrações em quatro classificações principais quanto às características do sistema em oscilação, ou seja, vibração:

- a) livre e forçada: um sistema é considerado em movimento vibratório livre quando oscila livremente após uma perturbação inicial. Em caso de o sistema estar sujeito a uma força externa, essa vibração é considerada forçada;
- b) não amortecida e amortecida: uma vibração é não amortecida quando nenhuma forma de energia é dissipada durante a oscilação do corpo. Todavia, se o sistema perde energia, seja qual for a forma, o mesmo é considerado como amortecido;
- c) linear e não linear: quando todos os componentes básicos do sistema vibratório (a rigidez, a massa e o amortecimento) se comportam linearmente, a vibração é considerada linear. Mas se qualquer um destes elementos não tiver comportamento linear ou não poder ser classificado como tal, devido a efeitos de segunda ordem ou a variação do módulo de elasticidade por exemplo, a vibração é não linear;

d) determinística e aleatória: vibrações são consideradas como determinísticas quando a força que excita o sistema é determinística, isto é, para cada instante de tempo analisado é possível saber o carregamento sobre o sistema. Porém, se o sistema está submetido a uma vibração oriunda de um fenômeno que não pode ser medido ao longo do tempo, a vibração é do tipo aleatória.

Com estas classificações é possível abordar o assunto deste trabalho de uma forma mais concreta. Visto que os carregamentos devidos a vento e sismos em edificações são aleatórios, induzem uma vibração forçada e que as respostas a estes fenômenos são amortecidas.

3.3 EQUAÇÃO DIFERENCIAL DO MOVIMENTO

Um sistema vibratório pode ser representado como sendo uma relação do tipo massa-molaamortecedor. Segundo Clough e Penzien (1975), qualquer estrutura pode ser representada como a resposta de um sistema vibratório com um grau de liberdade se as propriedades físicas do sistema são tais que podem ser descritas como uma coordenada e nenhum outro possível deslocamento. Ao passo que a estrutura tem mais de uma possível direção de deslocamento, a análise do sistema como tendo um grau de liberdade se torna uma mera aproximação do verdadeiro comportamento dinâmico.

A equação 1 é definida como sendo a equação diferencial do movimento de um sistema vibratório amortecido com um grau de liberdade segundo Mierovitch (2001). É possível observar que, no caso da força que excita o sistema ser constante ao longo do tempo, a análise torna-se estática e pode ser descrita pela equação 2:

$$F(t) = m \ddot{x}(t) + c \dot{x}(t) + k x(t)$$
 (equação 1)

$$F(t) = k x(t)$$
 (equação 2)

Onde:

F(t) – Força excitadora do sistema;

m – Massa do sistema;

c – Coeficiente de amortecimento dinâmico;

k – Constante elástica da mola;

x(t) – Deslocamento da massa em função do tempo.

As subdivisões seguintes abordam os dados da equação 1. Os parâmetros analisados na sequência são relevantes para os sistemas vibratórios independente do tipo de força atuante sobre o sistema.

3.3.1 Forças inerciais resistentes

Conforme Clough e Penzien (1975), forças inerciais que resistem a acelerações da estrutura são a característica mais notável que distingue um problema de dinâmica estrutural de um estático. Se estas reações são significantemente pequenas, a análise estática, para qualquer instante, pode ser feita mesmo com um carregamento variando ao longo do tempo.

Estas forças são o resultado da multiplicação da massa do sistema pela aceleração que este sofre conforme explicita a equação 1. Clough e Penzien (1975) consideram que o procedimento mais simples para definir a distribuição de massa do sistema é concentrá-la nos pontos nos quais os deslocamentos ocorrem.

3.3.2 Amortecimento dinâmico

Segundo Trein (2005), o amortecimento estrutural de uma edificação é muito difícil de ser estimado. Os principais métodos para determinar este parâmetro são através de vibrações forçadas, a fim de gerar os espectros de resposta da estrutura, e testes de impacto que induzem uma vibração livre. Chopra (1995) expõe o método de obter a razão de amortecimento através da equação 3:

$$\frac{\mathbf{u}_{i}}{\mathbf{u}_{i+1}} = \exp\left(2\pi\zeta\right) \tag{equação 3}$$

Onde:

u_i - Deslocamento máximo no ciclo i;

 u_{i+1} – Deslocamento máximo no ciclo i+1;

 ζ – Razão de amortecimento.

A figura 2 exibe as oscilações de um sistema estrutural amortecido sob uma vibração livre.

 u_1 u_2 u_3 u_4

Figura 2 – Vibração livre com amortecimento subcrítico

(fonte: CHOPRA, 1995)

3.3.3 Rigidez

Os coeficientes de rigidez de um sistema estrutural representam forças desenvolvidas na estrutura quando um deslocamento unitário é introduzido e nenhum outro deslocamento pontual é permitido. Cada caso de deslocamento unitário permitido corresponde a um respectivo grau de liberdade (CLOUGH; PENZIEN, 1975).

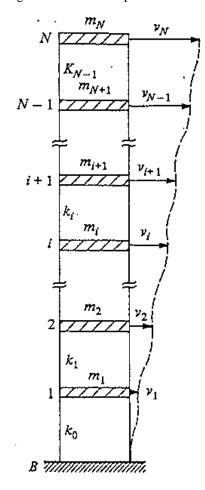
A rigidez lateral de um sistema é representada em força/deslocamento. Essa relação é assumida como linear e, por isso, é válida para pequenos deslocamentos (CHOPRA, 1995).

3.4 MODOS DE VIBRAÇÃO

Os modos de vibração de uma estrutura são as formas deformadas do sistema para cada respectiva frequência de vibração associada ao modo. Conforme Chopra (1995), os modos normais de vibração são obtidos através da resolução de um problema de autovalores e autovetores, envolvendo a massa e a rigidez do sistema, que fornece também as frequências naturais relativas a cada modo de vibração.

Uma consideração típica para a análise dinâmica de edificações é a consideração das estruturas como sendo do tipo *shear building*. Em tais estruturas, é considerado que as lajes dos pavimentos são rígidas, então a deflexão lateral é resultado da flexão dos pilares e as rotações são desconsideradas nas juntas. Também é considerado que toda a massa está combinada com as lajes dos pavimentos e que o movimento acontece no plano conforme a figura 3 demonstra (CLOUGH; PENZIEN, 1975).

Figura 3 – Estrutura tipo *shear building*



(fonte: CLOUGH; PENZIEN, 1975)

26

4 CARGAS DEVIDAS AO VENTO

O presente capítulo analisa os carregamentos de vento em edificações e a forma como este fenômeno afeta a estrutura e seu comportamento.

4.1 NATUREZA DAS CARGAS DE VENTO

A definição básica de vento é que este é o fluxo de ar em relação à Terra. Tal deslocamento pode ser causado por diferentes tipos de forças. A diferença entre as pressões atmosféricas, causadas pelo aquecimento solar e as forças geradas pela rotação da Terra são os principais formadores deste fenômeno (HOLMES, 2007).

Trein (2005) também considera que o vento escoa de forma laminar em pequenos espaços de tempo acima da superfície terrestre. Mas ressalta que este fluxo é interrompido quando encontra a superfície terrestre, devido a forças de atrito. Assim, esta interação faz surgir uma camada limite atmosférica turbulenta na qual as características do escoamento são alteradas. As edificações, em geral, por estarem instaladas na superfície terrestre, estão sujeitas a tais ações. Então, o vento as atinge de forma turbulenta.

4.2 AÇÕES DINÂMICAS DE VENTO EM EDIFICAÇÕES

Blessmann (2001) alega que o vento começou a ser um problema conforme as construções, que eram baixas e pesadas, passaram a ser mais esbeltas e cada vez com menos quantidade de material utilizado. Sartori (2010) explica que até a década de 1960, as forças devidas ao vento eram consideradas apenas como ponderação de fatores meteorológicos, climatológicos e aerodinâmicos estáticos em projetos estruturais, isto é, sem nenhuma relevância aplicada à distribuição de massas, fator de amortecimento e a rigidez das edificações. Estas considerações, mesmo sendo impraticáveis atualmente, eram convenientes na época devido às características das edificações que tinham uma rigidez elevada e não eram estruturas alteadas.

O vento na camada limite é de difícil caracterização para projetos estruturais. Porém, conforme Trein (2005), simplificações são adotadas a fim de considerar separadamente as componentes devidas a velocidade média do vento e as causadas pelas flutuações.

Isyumov (1982) destaca que, em edifícios altos e esbeltos, a excitação devida ao vento pode gerar uma resposta dinâmica ressonante da estrutura. Em tais situações a componente dinâmica representa valores entre um meio e dois terços da resposta total da estrutura.

Os próximos assuntos tratam da importância das características das edificações perante os problemas de ordem dinâmica causados pelo vento.

4.2.1 Influência da frequência natural de vibração da edificação

Holmes (2007) ressalta a importância da frequência natural de vibração das edificações para a resposta dinâmica da estrutura. Então, uma edificação com a sua frequência natural muito baixa gera resposta ressonante com a ação do vento. É sabido que a frequência natural de vibração menor que 1 Hz é considerada baixa para uma construção frente à ação do vento e verificada esta condição o carregamento deve ser abordado como dinâmico e não estático.

Normalmente, a frequência fundamental de vibração da edificação é associada a sua altura. Ellis (1980) faz da equação 4 uma forma aproximada de associar estas características da estrutura:

$$f_1 = \frac{46}{h}$$
 (equação 4)

Onde:

f₁ – Frequência fundamental de vibração livre (Hz);

h – Altura da edificação (m).

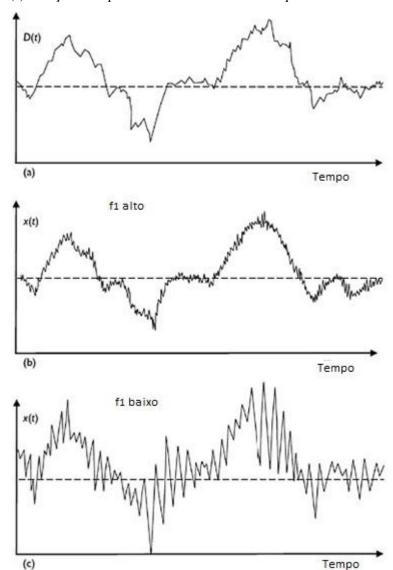
A figura 4 expõe a importância da frequência natural na resposta das edificações. A imagem está dividida em três partes evidenciando a variação da (HOLMES, 2007):

a) força do vento ao longo do tempo;

- b) resposta de uma estrutura com a frequência natural alta;
- c) resposta de uma estrutura com a frequência natural baixa.

Figura 4 – Influência da freqûencia na resposta dinâmica ao vento: (a) variação da força do vento ao longo do tempo;

- (b) variação da resposta de uma estrutura coma a frequência natural alta;
- (c) variação da resposta de uma estrutura com a frequência natural baixa



(fonte: HOLMES, 2007)

4.2.2 Influência do amortecimento da edificação

Conforme foi descrito no capítulo 3, o amortecimento de uma edificação é a forma como a estrutura dissipa energia em meio a uma vibração. Para a análise de cargas de vento em edificações, o amortecimento pode ser dividido em duas parcelas, o estrutural e o aerodinâmico.

Segundo Trein (2005), o amortecimento estrutural está relacionado às características dos materiais da edificação, a energia dissipada nas juntas e no contato com o solo através das fundações. Já o amortecimento aerodinâmico corresponde a forças aerodinâmicas causadas pelo deslocamento relativo da estrutura em relação à massa de ar circundante.

O mesmo autor também cita que é possível concluir que o amortecimento aerodinâmico é formado pela interação entre a estrutura e a ação vento. Esta interação pode reduzir ou amplificar os deslocamentos.

4.2.3 Ações transversais à direção do vento

O carregamento dinâmico do vento em uma estrutura causa, além das solicitações longitudinais a sua direção de fluxo, forças transversais. Estes fenômenos juntos causam solicitações oblíquas e torções à estrutura.

Sartori (2010) cita que é conveniente separar a resposta do vento conforme as direções analisadas de acordo com os modos de vibração flexionais e de torção da estrutura. Em edificações alteadas, as solicitações transversais ao carregamento do vento têm uma parcela significativa, porém este comportamento é bem mais complexo quando comparado as solicitações longitudinais.

Uma das causas de ações transversais ao escoamento do vento é o desprendimento de vórtices. Segundo Miguel (2003), este fenômeno origina forças oblíquas à direção da velocidade do vento conforme exposto na figura 5.

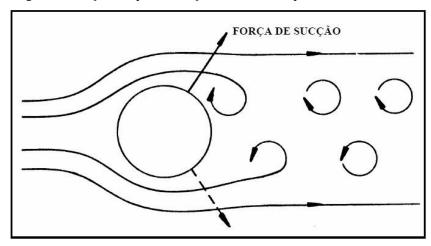


Figura 5 – Forças oblíquas de sucção devidas ao desprendimento de vórtices

(fonte: MACDONALD, 1975)

4.3 CARGAS DINÂMICAS DEVIDAS AO VENTO CONFORME NBR 6123/1988

Este tópico aborda a análise de cargas dinâmicas de vento segundo o método simplificado da NBR 6123/1988. As considerações e os parâmetros atribuídos a este método estão apresentados a seguir.

4.3.1 Velocidade básica do vento

O capítulo 5 da NBR 6123/1988 apresenta a velocidade básica do vento V_0 que representa uma rajada de 3 s com um tempo de retorno de 50 anos. Esta carga deve ser considerada em qualquer direção horizontal e o seu valor é expresso através da figura 6 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

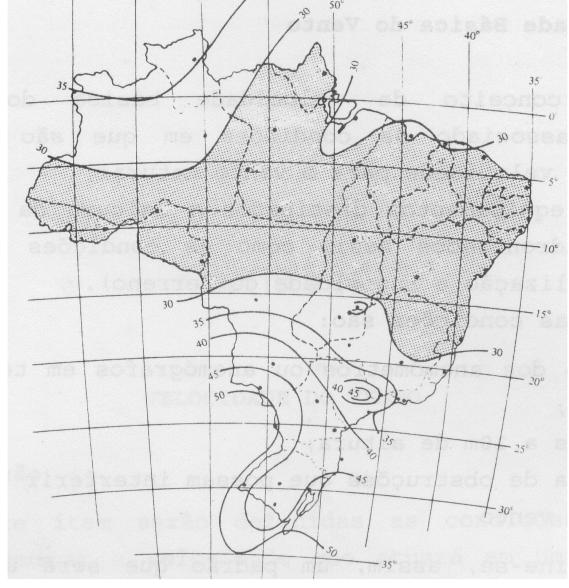


Figura 6 – Isopletas da velocidade básica V₀ (m/s)

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988)

4.3.2 Fator estatístico de segurança

O fator S₃ leva em consideração o grau de segurança e a vida útil a serem considerados no projeto. Em caso de não haver uma norma específica para a segurança da edificação em questão, o quadro 1 apresenta os valores mínimos deste índice (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

Quadro 1 – Valores mínimos do fator estatístico S₃

Grupo	Descrição	S_3
	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a	
1	segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após	
	uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de	1,1
	bombeiros e de forças de segurança, centrais de	
	comunicação, etc.)	
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para	1
2	comércio e indústria com alto fator de ocupação	1
2	Edificações e instalações industriais com baixo fator de	0.05
3	ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3	0.92
5	durante a construção	0,83

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988)

4.3.3 Fator topográfico

O item 5.2 da NBR 6123/1988 estabelece o valor do fator topográfico S₁. Este é obtido considerando a localização da edificação no relevo. O parâmetro é considerado 0,9 em vales protegidos de ventos ou 1 em terrenos planos nos quais o talude ou encosta decrescente mais próximo está a uma distância maior ou igual a quatro vezes a altura do declive em questão. Para qualquer caso que não se enquadre nestes citados acima, as equações 5 a 7 demonstram como obter este fator para uma localização em taludes ou encostas, sendo que em caso de a estrutura estar na faixa de distância do topo da encosta menor do que quatro vezes a altura da mesma, o valor deve ser interpolado entre 1 e o valor obtido com as equações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988):

$$\theta \le 3^{\circ}: S_1(z) = 1$$
 (equação 5)

$$6^{\circ} \le \theta \le 17^{\circ}$$
: S_1 € = 1+ 2,5 - $\frac{z}{d}$ tg € - 3° ≥ 1 (equação 6)

$$\theta \le 45^{\circ}: S_1(z) = 1 + \left[2.5 - \frac{z}{d} \right] 0.34 \ge 1$$
 (equação 7)

Onde:

- z Altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado (m);
- d Diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro (m);
- θ Inclinação média do talude ou encosta ou morro (°).

Para valores de inclinação média entre 3° e 6° ou entre 17° e 45°, o fator S1 deve ser calculado com interpolação linear (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

4.3.4 Rugosidade do terreno

O item 5.3 da NBR 6123/1988 aborda o efeito combinado da rugosidade do terreno com a variação da velocidade do vento em função da altura da edificação ou parte da mesma e suas dimensões. O quadro 2 exibe as categorias da rugosidade do terreno (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

Quadro 2 – Categorias de rugosidade do terreno

	- mar calmo;
Categoria 1	- lagos e rios;
	- pântanos sem vegetação.
	- zonas costeiras planas;
Categoria 2:	- pântanos com vegetação rala;
a cota média dos obstáculos é inferior ou	- campos de aviação;
igual a 1 m.	- pradarias e charnecas;
	- fazendas sem sebes ou muros.
Categoria 3: a cota média dos obstáculos é considerada igual a 3 m.	- granjas e casas de campo, com exceção das partes
	com matos;
	- fazendas com sebes e/ou muros;
	- subúrbios a considerável distância do centro, com
	casas baixas e esparsas.
Categoria 4: a cota média dos obstáculos é considerada igual a 10 m.	- zonas de parques e bosques com muitas árvores;
	- cidades pequenas e seus arredores;
	- subúrbios densamente construídos de grandes cidades;
	- áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.
Categoria 5: a cota média dos obstáculos é considerada superior ou igual a 25 m.	- florestas com árvores altas, de copas isoladas;
	- centros de grandes cidades;
	- complexos industriais bem desenvolvidos.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988)

4.3.5 Coeficiente de arrasto

Conforme o item 6.5.2 da NBR 6123/1988 cita, as edificações paralelepipédicas que estão expostas a vento de alta turbulência devem ser consideradas com algumas ponderações. A figura 7 explicita a forma de obtenção do coeficiente de arrasto para tais estruturas nesta situação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

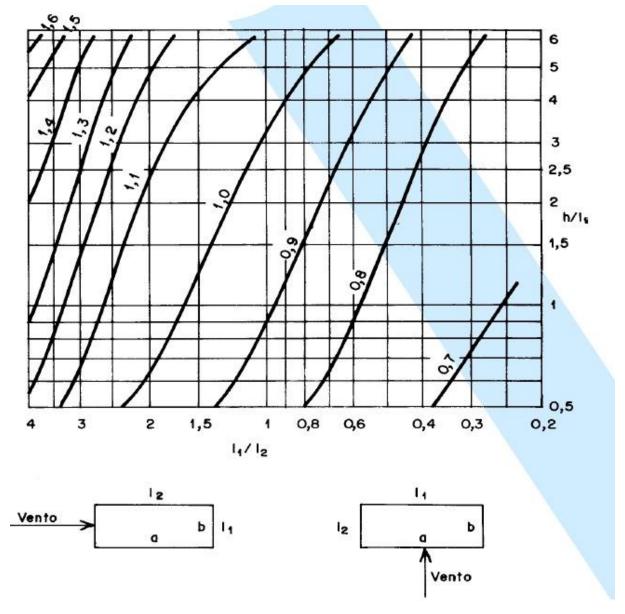


Figura 7 – Coeficiente de arrasto C_a para edificações paralelepipédicas em vento de alta turbulência

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988)

4.3.6 Análise dinâmica simplificada

As edificações com altura inferior a 150 metros, apoiadas exclusivamente nas suas bases e com massa distribuída uniformemente, podem ser consideradas contínuas. Para estas estruturas a NBR 6123/1988 apresenta um modelo simplificado a ser adotado.

Neste modelo, a velocidade de projeto para a determinação da resposta dinâmica corresponde à média sobre 10 minutos a 10 metros de elevação ao terreno de categoria II (que considera a

camada limite com 300 metros de altura). Esta grandeza é obtida através da equação 8 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988):

$$\overline{V}_p = 0.69 V_0 S_1 S_3$$
 (equação 8)

Onde:

 \overline{V}_p – Velocidade de projeto do vento (m/s);

 V_0 – Velocidade básica do vento (m/s);

 S_1 – Fator topográfico;

 S_3 – Fator estatístico.

A pressão dinâmica varia com a altura e é expressa pela equação 10. Para calcular este parâmetro é necessário o coeficiente de ampliação dinâmica que está demonstrado nos gráficos da figura 8 conforme a categoria do terreno. Os quadros 3 e 4 apresentam os valores dos parâmetros necessários e a equação 9 apresenta a resposta média (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988):

$$\overline{q}_0 = 0.613\overline{V}_p$$
 (equação 9)

$$q(z) = \overline{q}_o b^2 \left[\left(\frac{z}{z_r} \right)^{2p} + \left(\frac{h}{z_r} \right)^p \left(\frac{z}{h} \right)^{\gamma} \frac{1 + 2\gamma}{1 + \gamma + p} \xi \right]$$
 (equação 10)

Onde:

q(z) – Pressão dinâmica em função da altura (N/m²);

 \overline{V}_{p} – Velocidade de projeto do vento (m/s);

 q_0 – Pressão básica em função da velocidade de projeto do vento (N/m²);

b – Parâmetro função da categoria do terreno;

z – Altitude do ponto em análise (m);

- z_r Altitude de referência 10 m;
- h Altura total da edificação (m);
- p Expoente da lei potencial em função da categoria do terreno;
- γ Expoente da lei potencial de expressão do modo de vibração;
- ξ Coeficiente de amplificação dinâmica.

Quadro 3 – Parâmetros para a determinação de efeitos dinâmicos

Tipo de edificação	γ	ζ	$T_1 = 1 / f_1$
Edifícios com estrutura aporticada de concreto, sem cortinas	1,2	0,02	0,05 + 0,015h
Edifícios com estrutura de concreto, com cortinas para a absorção de forças horizontais	1,6	0,015	0,05 + 0,012h
Torres e chaminés de concreto, seção variável	2,7	0,015	0,02h
Torres, mastros e chaminés de concreto, seção uniforme	1,7	0,01	0,015h
Edifícios com estrutura de aço soldada	1,2	0,01	0,29h ^{0,5} - 0,4
Torres e chaminés de aço, seção uniforme	1,7	0,008	
Estruturas de madeira	-	0,03	

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988)

Quadro 4 – Expoente p e parâmetro b

Categoria de rugosidade	I	II	III	IV	V
p	0,095	0,15	0,185	0,23	0,31
b	1,23	1	0,86	0,71	0,5

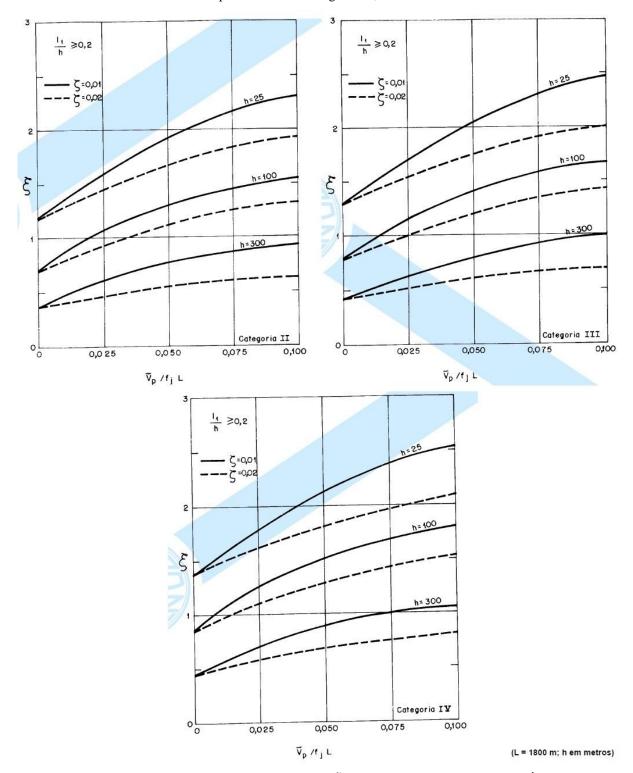


Figura 8 – Coeficiente de amplificação dinâmica ξ para terrenos de categorias II, III e IV

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988)

A força atribuída a esta pressão dinâmica pode ser obtida através da multiplicação da mesma pela área em análise e pelo coeficiente de arrasto analisado na figura 7. Por outro lado, o item 9.4 da Norma estabelece as considerações para o cálculo da resposta dinâmica transversal a

direção do vento. As solicitações ortogonais ao fluxo podem ser calculadas considerando-se estas como um terço das forças efetivas na direção do vento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

5 AÇÕES DEVIDAS A SISMOS

Neste capítulo, são abordados os efeitos dos sismos para as estruturas. Este fenômeno natural e a forma como atinge as edificações estão descritos a seguir.

5.1 NATUREZA DAS AÇÕES SÍSMICAS

Conforme Clough e Penzien (1975) explicam, os terremotos são gerados por mecanismos que não são completamente compreendidos. Porém, é válida a consideração de que os sismos estão relacionados com o processo tectônico global e com a movimentação das placas que formam continuamente cordilheiras e fossas oceânicas.

Estabelecidas estas considerações, a teoria do ressalto elástico fornece uma explicação satisfatória como forma de descrever como a movimentação tectônica gera os terremotos. Esta teoria considera que a fonte específica da energia de vibração dos abalos sísmicos é a liberação de tensão acumulada na crosta terrestre. Este desprendimento é o resultado de uma ruptura cisalhante repentina e seus efeitos na superfície terrestre podem ser observados na figura 9.

DIREÇÕES DOS DESLOCAMENTOS

ESTRADA

ESTRADA

BSTRADA

ESTRADA

C)

Figura 9 – Teoria do ressalto elástico gerado por terremoto: (a) antes do tensionamento (b) tensionado (antes do terremoto) (c) depois do terremoto

(fonte: CLOUGH; PENZIEN, 1975)

5.2 AÇÕES SÍSMICAS NO BRASIL

Compreendido o método como os terremotos estão ligados às falhas tectônicas, é possível estimar a localização destas e assim considerar o grau de atividade sísmica de uma região. A figura 10 exibe os epicentros dos sismos relatados em Território Nacional até o ano de 2010. O tamanho dos círculos é proporcional a magnitude dos terremotos observados.

Clough e Penzien (1975) alegam que a magnitude por si só não é suficiente para indicar se danos estruturais podem ser esperados. Esta é uma medida da grandeza do terremoto na sua fonte, mas a distância da estrutura para o foco tem um efeito de igual importância nas amplitudes da resposta da estrutura.

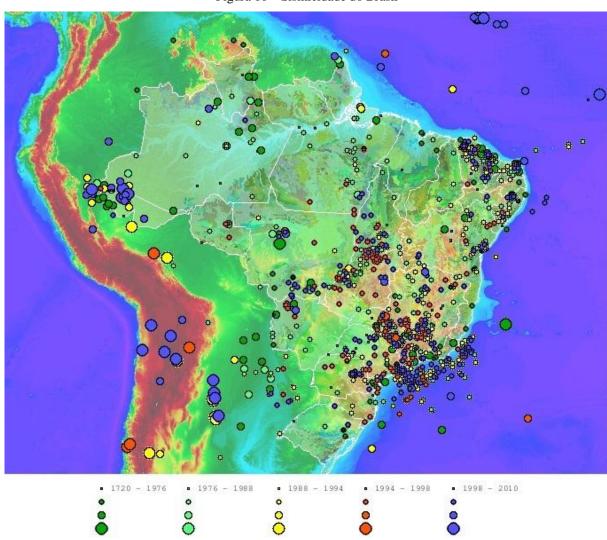


Figura 10 – Sismicidade do Brasil

(fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2011)

5.3 AÇÕES SÍSMICAS EM EDIFICAÇÕES

Para fins de Engenharia, Chopra (1995) define a aceleração do solo durante um terremoto como a melhor maneira de representar o efeito deste abalo. Adaptando então esta consideração a equação 1 (discutida no capítulo 3), a equação 11 é obtida. A equação 12 exibe a relação entre as frequências natural circular e cíclica da estrutura:

$$\ddot{x}(t) + 2\zeta \omega_n \dot{x}(t) + \omega_n^2 x(t) = -\ddot{u}_g(t)$$
 (equação 11)

$$\omega_n = 2 \pi f_n$$
 (equação 12)

Onde:

x(t) – Deslocamento da estrutura em função do tempo (m);

 ζ – Taxa de amortecimento dinâmico da estrutura;

 ω_n – Frequência natural circular n da estrutura (rad/s);

f_n – Frequência natural cíclica n da estrutura (Hz);

 $\ddot{\mathbf{u}}_{g}(t)$ – Aceleração do solo (m/s²).

Através das equações 11 e 12 é possível observar que, para ações sísmicas, as frequências naturais e a taxa de amortecimento da estrutura são de extrema importância para a análise estrutural. Também é notável que a variação da aceleração do solo ao longo do tempo é o que determina o quanto o terremoto é danoso para as edificações atingidas.

A relevância do amortecimento e da frequência natural para cargas devidas a sismos em edificações são os próximos tópicos abordados.

5.3.1 Amortecimento estrutural em ações sísmicas

Ao contrário do amortecimento devido a ação do vento, analisado no capítulo 4, o amortecimento de uma estrutura sob cargas sísmicas não envolve aspectos aerodinâmicos. Inclusive, Chopra (1995) exprime a dificuldade de estimar este parâmetro devido ao fato que poucas estruturas estão monitoradas constantemente e prontas para ter seus deslocamentos gravados durante um terremoto. Não obstante, é possível obter uma matriz de amortecimento em sistemas com n graus de liberdade através da solução de um problema matricial associando taxas de amortecimento com respectivos modos e frequências de vibração singulares.

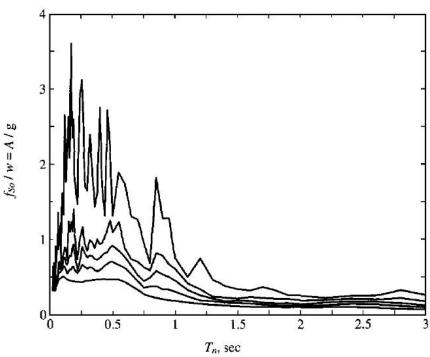
Tipicamente, a taxa de amortecimento é considerada como sendo 5% nestes casos. O Eurocode 8, por exemplo, atribui este mesmo valor para o método de cálculo de ações sísmicas e pode ser observado no item 3.2.2.2, da parte 1, que define as diretrizes gerais para a consideração dos terremotos no plano horizontal (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2004)

5.3.2 Espectro de resposta

Conforme Chopra (1995), o espectro de resposta é uma forma sucinta de descrever a resposta de estruturas quando consideradas como sistemas de um grau de liberdade a um histórico de acelerações. A forma gráfica deste objeto é uma relação entre o pico da resposta (seja em termos de aceleração, velocidade ou deslocamento) relacionado à frequência natural.

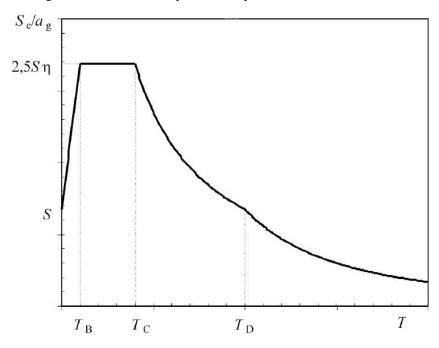
A figura 11 exibe o espectro de resposta da pseudo-aceleração normalizada (em termos de gravidade) em função do período natural de vibração para taxas de amortecimento de 0%, 2%, 5%, 10% e 20%. O caso de estudo em questão é o acelerograma do sismo de El Centro ocorrido em 1940.É possível notar a semelhança entre a forma gráfica da imagem 11, que representa um espectro extraído de um acelerograma real, com a figura 12 que é o formato padrão do espectro de resposta conforme a parte 1 do Eurocode 8 item 3.2.2.2.

Figura 11 – Espectro de resposta da pseudo-aceleração normalizada para deslocamentos do solo de El Centro



(fonte: CHOPRA, 1995)

Figura 12 – Formato do espectro de resposta elástico conforme o Eurocode 8



(fonte: EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2004)

5.4 AÇÕES SÍSMICAS HORIZONTAIS CONFORME NBR 15421/2006

O objeto de análise desta parte do capítulo é o método de cálculo de ações horizontais devidas a sismos conforme a NBR 15421/2006. Os detalhes e passos desta normativa estão descritos na sequência.

5.4.1 Zoneamento sísmico brasileiro

Conforme o item 6.1 da NBR 15421/2006 explicita, o território brasileiro está divido em cinco zonas sísmicas conforme a figura 13. Estas regiões estão separadas conforme a aceleração sísmica horizontal característica considerando o terreno como sendo rocha (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

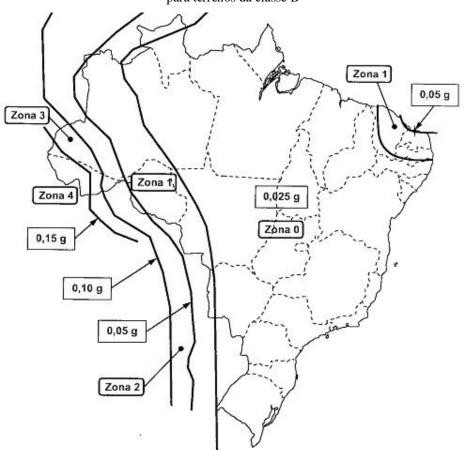


Figura 13– Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica no Brasil para terrenos da classe B

5.4.2 Classe do terreno

A NBR 15421/2006 apresenta, através do item 6.2, as classes de terrenos para ações sísmicas que estão expostos no quadro 5. Conforme a classificação do terreno, são apresentados valores de velocidade média de propagação de ondas de cisalhamento e número médio de golpes no ensaio SPT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

Quadro 5 – Classe do terreno

Classe Designação da classe do terreno		Propriedades médias para os 30m superiores do terreno					
terreno		$\overline{\mathbf{v}}_{s}$	\overline{N}				
A	Rocha sã	$\overline{v}_s \ge 1500 \text{ m/s}$	(não aplicável)				
В	Rocha	$1500 \text{ m/s} \ge v_s \ge 760 \text{ m/s}$	(não aplicável)				
С	Rocha alterada ou solo muito rígido	$760 \text{ m/s} \ge \overline{v}_s \ge 370 \text{ m/s}$	$\overline{N} \ge 50$				
D	Solo rígido	$370 \text{ m/s} \ge \overline{v}_s \ge 180 \text{ m/s}$	$50 \ge \overline{N} \ge 15$				
Е	Solo mole	$\overline{v}_s \le 180 \text{ m/s}$	$\overline{N} \le 15$				
	-	Qualquer perfil, incluindo camada	com mais de 3m de argila mole				
		1 Solo exigindo avaliaç	ão específica, como:				
F	_	2 Solos vulneráveis à ação sísmica, cor sensíveis e solos colapsíveis					
		3 Turfa ou argilas i	muito orgânicas;				
		4 Argilas muit	to plásticas;				
		5 Estratos muito espessos (> 35	śm) de argila mole ou média.				

5.4.3 Espectro de resposta de projeto

O item 6.3 da norma brasileira de Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos apresenta o método de construção do espectro de resposta de projeto. Sendo que este representa as forças horizontais aplicadas na base da estrutura considerando esta como um sistema vibratório de um grau de liberdade com uma fração de amortecimento crítico de 5% (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

Os mesmos autores contemplam a forma de obtenção dos parâmetros básicos para a montagem do espectro em questão através dos quadros e equações seguintes. Os quadros 6 e 7 demonstram os valores de aceleração sísmica horizontal característica normalizada e os valores de amplificação sísmica no solo respectivamente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

Quadro 6 – Zonas sísmicas

Zona sísmica	Valores de a _g
Zona 0	$a_{g} = 0.025g$
Zona 1	$0.025g \le a_g \le 0.05g$
Zona 2	$0.05g \le a_g \le 0.10g$
Zona 3	$0.10g \le a_g \le 0.15g$
Zona 4	$a_{g} = 0.15g$

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006)

Quadro 7 – Fatores de ampliação sísmica no solo

Classe do terreno		$C_{\mathbf{a}}$	C _v		
Classe uo terreno	$a_g \le 0.10g$	$a_{g} = 0.15g$	$a_g \leq 0,10g$	$a_{g} = 0.15g$	
A	0,8	0,8	0,8	0,8	
В	1,0	1,0	1,0	1,0	
С	1,2	1,2	1,7	1,7	
D	1,6	1,5	2,4	2,2	
Е	2,5	2,1	3,5	3,4	

As equações 13 e 14 apresentam as acelerações espectrais para períodos de 0 e 1 s respectivamente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

$$a_{gs0} = C_a a_g$$
 (equação 13)

$$a_{gs1} = C_{\nu} a_{g}$$
 (equação 14)

Onde:

 a_{gs0} e a_{gs1} – Acelerações espectrais para os períodos de 0,0 s e 1,0 s respectivamente (g); C_a e C_v – São os fatores de amplificação sísmica no solo, para os períodos de 0,0 s e 1,0 s.

Com base nestes dados é possível definir o espectro de resposta de projeto. Conforme período natural de vibração da estrutura, é designado um valor de aceleração característico através das equações 15 a 17 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006):

$$0 \le T \le 0.08C_V/C_a: S_a(T) = a_{gs0}(18,75 TC_a/C_V + 1)$$
 (equação 15)

$$0.08 \, C_{_{\rm V}} \, / \, C_{_{\rm a}} \leq T \leq 0.4 \, C_{_{\rm V}} \, / \, C_{_{\rm a}} : \quad S_{_{\rm a}}(T) = 2.5 \, a_{_{\rm gs0}}$$
 (equação 16)

$$0.4 C_V / C_a \le T : S_a(T) = a_{gs0} / T$$
 (equação 17)

Onde:

 a_{gs0} e a_{gs1} – Acelerações espectrais para os períodos de 0,0 s e 1,0 s respectivamente (g); C_a e C_v – Fatores de amplificação sísmica no solo, para os períodos de 0,0 s e 1,0 s; T – Período natural associado ao devido modo de vibração da estrutura (s);

 $S_a(T)$ – Espectro de resposta de projeto (g).

5.4.4 Caracterização da estrutura

Conforme o item 7.2 da NBR 15421/2006, as estruturas são classificadas conforme a sua ocupação. A classificação discrimina as edificações em três categorias, ou seja, estruturas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006):

- a) de importância substancial para a preservação da vida humana no caso de ruptura;
- b) definidas como essenciais;
- c) dos demais tipos.

Para este trabalho é relevante que, conforme esta definição, as estruturas classificadas conforme a alínea (c) têm um fator de importância de utilização de valor 1 de acordo com o mesmo item da norma de referência (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

Outra caracterização necessária é quanto ao sistema básico sismo-resistente atuante. O item 8.2.1 da norma brasileira de Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos estabelece os valores apresentados no quadro 8 conforme a composição da edificação em questão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

Quadro 8 – 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

continua

continuação

continuação	T	T	
Sistema básico sismo-resistente	Coeficiente de modificação da resposta R	Coeficiente de sobre-resistência Ω_0	Coeficiente de amplificação de deslocamentos C _d
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

5.4.5 Forças horizontais de projeto

Após serem considerados os parâmetros anteriores, é possível determinar as forças devidas a ações sísmicas de projeto. O método de obtenção das cargas está distinto conforme a zona sísmica em questão. Tais esforços podem ser considerados separadamente em direções ortogonais para estruturas regulares em planta (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

5.4.5.1 Forças horizontais nas zonas sísmicas 0 e 1

O item 7.3.1 da NBR 15421 explicita o método de cálculo para a zona sísmica 1 através da equação 18 para direções ortogonais. É válido lembrar que a mesma referência não exige nenhum requisito de resistência a estas cargas para edificações na zona sísmica 0 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006):

$$F_{x} = 0.01 w_{x}$$
 (equação 18)

Onde:

 F_x – Força sísmica de projeto correspondente ao pavimento x (tf);

 w_x – Peso total da estrutura referente ao pavimento x(este peso inclui o peso de todos os equipamentos operacionais, reservatórios de água e 25% da carga acidental em áreas de estacionamento) (tf).

5.4.5.2 Forças horizontais nas zonas sísmicas 2, 3 e 4

O cálculo das ações horizontais devidas a sismos nas zonas 2 a 4 tem um caráter mais complexo quando comparado com o método referente à zona 1. O método apresentado pela Norma brasileira vigente é exposto na sequência.

A equação 19 determina o esforço horizontal total na estrutura enquanto a equação 20 indica o coeficiente de resposta sísmica. O valor deste parâmetro deve ser limitado conforme a equação 21 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006):

$$H = C_s W$$
 (equação 19)

$$C_{s} = \frac{2.5 \frac{a_{gs0}/g}{g}}{R/I}$$
 (equação 20)

$$0.01 \le C_s \le \frac{a_{gs1}/g}{T(R/I)}$$
 (equação 21)

Onde:

H – Força horizontal total na base da estrutura (tf);

C_s – Coeficiente de resposta sísmica;

W – Peso total da estrutura (tf);

 a_{gs0} e a_{gs1} – Acelerações espectrais para os períodos de 0,0 s e 1,0s respectivamente (m/s²);

g – Aceleração da gravidade (m/s²);

R – Coeficiente de modificação da resposta;

I – Fator de importância de utilização;

T – Período natural associado ao devido modo de vibração da estrutura (s).

Obtido o valor do esforço horizontal total na base da estrutura, é possível distribuí-lo entre os pavimentos. A equação 22 apresenta o método proposto pela Norma que depende do coeficiente de distribuição vertical exposto na equação 23. Sendo que o expoente de distribuição vertical k é obtido através das equações 24 a 26 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006):

$$F_x = C_{vx}H$$
 (equação 22)

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$
 (equação 23)

$$T \le 0.5$$
: $k = 1$ (equação 24)

$$0.5 < T < 2.5$$
: $k = \frac{T + 1.5}{2}$ (equação 25)

$$T \ge 2.5$$
: $k = 2$ (equação 26)

Onde:

 F_x – Força sísmica de projeto correspondente ao pavimento x (tf);

 C_{vx} – Coeficiente de distribuição vertical;

w_x – Peso total da estrutura referente ao pavimento x (tf);

h_x – Altura entre a base e a elevação x (m);

w_i – Peso total da estrutura referente ao pavimento i (tf);

h_i – Altura entre a base e a elevação i (tf);

k – Expoente de distribuição;

T – Período natural associado ao devido modo de vibração da estrutura (s).

5.4.5.3 Direção das forças sísmicas

A NBR 15421 apresenta, através dos ítens 8.5 e 9.4.2, as diretrizes para a consideração do sismo em duas direções e seu efeito para fins de torção no tabuleiro da edificação respectivamente. Devido ao fato de que as estruturas analisadas neste trabalho não sofrem torção, é suficiente a consideração do ítem 8.5 que exprime a necessidade de verificação da ação sísmica com direções principais ortogonais recebendo 100% das cargas horizontais e 30% sendo solicitado na direção perpendicular. Este método é atribuído a estruturas de categoria sísmica C contendo irregularidades no sistema sismo-resistente.

6 EDIFICAÇÕES ANALISADAS

Neste capítulo, são apresentadas as edificações consideradas no presente trabalho. Os seguintes itens apresentam os detalhes e considerações relevantes para os cálculos realizados.

6.1 CONSIDERAÇÕES GEOMÉTRICAS

Este trabalho tem como objeto de análise edificações altas e esbeltas. Para tais características, que estão associadas a uma baixa rigidez horizontal, os esforços devidos a ventos e sismos se tornam fatores relevantes ao longo do projeto. Então, com o intuito de representar estas estruturas, as construções consideradas têm altura variando entre 30 e 150 m e as dimensões em planta sendo inferiores respeitando uma relação estabelecida.

O formato das edificações é do tipo prismático, isto é, com a forma horizontal constante ao longo de todos os pavimentos. A figura 14 apresenta duas edificações da cidade de São Paulo que se enquadram no modelo geométrico considerado neste projeto.

A figura 15 demonstra a forma atribuída às edificações ao longo deste trabalho. O vetor Fy demonstra a direção a ser considerada como principal para as cargas de vento e de sismo, que no caso é perpendicular a face B da estrutura que é a maior em planta.

Com base no modelo apresentado na figura 15, foram montadas 81 variações geométricas. A dimensão H das edificações varia de 30 a 150 m em um passo de 15 m resultando em nove alturas diferentes. A dimensão B tem H/3, H/4 e H/5 como valores e a dimensão D é proporcional a outra aresta horizontal sendo B/1, B/1,5 ou B/2.

Todos as variações geométricas serão verificadas em todas as hipóteses de cálculo. Isto é, essas 81 diferentes formas de edificações serão analisadas em todas as condições que serão apresentadas ao longo deste trabalho. O quadro 9 expõe todas as possibilidades de variações na forma das estruturas adotadas.



Figura 14- Exemplo de edificações prismáticas

(fonte: WIKIPEDIA, 2011)

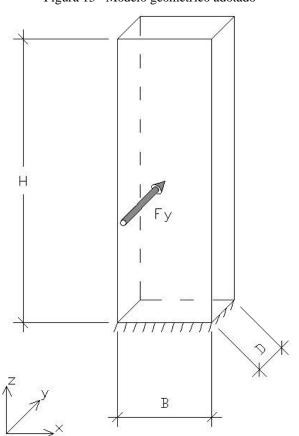


Figura 15- Modelo geométrico adotado

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 9 - Variações geométricas das edificações

H (m)	B (m)	D (m)	H (m)	B (m)	D (m)	H (m)	B (m)	D (m)
30,00	10,00	10,00	75,00	25,00	25,00	120,00	40,00	40,00
30,00	10,00	6,67	75,00	25,00	16,67	120,00	40,00	26,67
30,00	10,00	5,00	75,00	25,00	12,50	120,00	40,00	20,00
30,00	7,50	7,50	75,00	18,75	18,75	120,00	30,00	30,00
30,00	7,50	5,00	75,00	18,75	12,50	120,00	30,00	20,00
30,00	7,50	3,75	75,00	18,75	9,38	120,00	30,00	15,00
30,00	6,00	6,00	75,00	15,00	15,00	120,00	24,00	24,00
30,00	6,00	4,00	75,00	15,00	10,00	120,00	24,00	16,00
30,00	6,00	3,00	75,00	15,00	7,50	120,00	24,00	12,00
45,00	15,00	15,00	90,00	30,00	30,00	135,00	45,00	45,00
45,00	15,00	10,00	90,00	30,00	20,00	135,00	45,00	30,00
45,00	15,00	7,50	90,00	30,00	15,00	135,00	45,00	22,50
45,00	11,25	11,25	90,00	22,50	22,50	135,00	33,75	33,75
45,00	11,25	7,50	90,00	22,50	15,00	135,00	33,75	22,50
45,00	11,25	5,63	90,00	22,50	11,25	135,00	33,75	16,88
45,00	9,00	9,00	90,00	18,00	18,00	135,00	27,00	27,00
45,00	9,00	6,00	90,00	18,00	12,00	135,00	27,00	18,00
45,00	9,00	4,50	90,00	18,00	9,00	135,00	27,00	13,50
60,00	20,00	20,00	105,00	35,00	35,00	150,00	50,00	50,00
60,00	20,00	13,33	105,00	35,00	23,33	150,00	50,00	33,33
60,00	20,00	10,00	105,00	35,00	17,50	150,00	50,00	25,00
60,00	15,00	15,00	105,00	26,25	26,25	150,00	37,50	37,50
60,00	15,00	10,00	105,00	26,25	17,50	150,00	37,50	25,00
60,00	15,00	7,50	105,00	26,25	13,13	150,00	37,50	18,75
60,00	12,00	12,00	105,00	21,00	21,00	150,00	30,00	30,00
60,00	12,00	8,00	105,00	21,00	14,00	150,00	30,00	20,00
60,00	12,00	6,00	105,00	21,00	10,50	150,00	30,00	15,00

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2 CONSIDERAÇÕES DOS LOCAIS

Outros fatores necessários para efetuar o cálculo das solicitações são a determinação do entorno das edificações e o tipo de solo sob a fundação. Tais parâmetros são fundamentais para estabelecer a amplificação dos efeitos ou as suas reduções.

As atribuições que serão definidas a seguir servirão de condições de contorno para o cálculo de todas as variações de dimensões determinadas para as edificações. Sendo assim, os 81 modelos geométricos serão analisados em todas as possibilidades de combinação de solo e vizinhança para as estruturas.

58

6.2.1 Entorno das edificações

Conforme visto no item 4.3, a NBR 6123/1988 estabelece a relevância da topografia do local e da rugosidade do entorno da edificação através de coeficientes diretamente ligados a estes parâmetros. O terreno será considerado plano em todos os casos resultando em um fator topográfico unitário.

Por outro lado, a rugosidade atribuída ao terreno de entorno da edificação pode variar. O quadro 2, apresentado no item 4.3.5, expõe as possíveis categorias para a vizinhança que variam de I, terreno pouco rugoso, a V, terreno extremamente rugoso. Neste trabalho as categorias adotadas são:

- a) categoria II a fim de representar regiões costeiras;
- b) categoria III com o intuito de classificar o entorno como sem grandes construções;
- c) categoria IV para considerar a edificação em uma região com mais obstáculos para o vento.

Através da equação 10, que consta no item 4.3.6, é possível perceber a importância dos fatores p e b principalmente. Estes fatores estão ligados a rugosidade do terreno e podem causar uma variação grande nas solicitações resultantes.

6.2.2 Tipo de solo

Enquanto a vizinhança da edificação é importante para a análise das cargas oriundas do vento, o tipo de solo é um fator relevante para a intensidade das ações sísmicas. Quanto mais rígido o material sob a fundação da estrutura, mais velozes são as ondas sísmicas e menos amplificação é imposta nas forças atuantes. Isto está demonstrado no item 5.4 deste trabalho.

Para obter uma representação que abrange a maioria dos casos possíveis, o terreno sob as estruturas foi considerado sendo solo rígido ou solo mole. Esta camada foi considerada com espessura maior que 30 m com o intuito de representar uma homogeneidade no material.

O quadro 5, exposto anteriormente, exibe as características de cada tipologia de solo e sua analogia com parâmetros geotécnicos. Então os solos rígidos serão chamados de classe D e os solos moles de classe E.

6.3 CONSIDERAÇÕES FÍSICAS E ESTRUTURAIS

Neste capítulo já foram atribuídas 81 variações geométricas a ser analisadas em 6 possibilidades de combinação entre solo e vizinhança para as edificações. Isto resulta em 486 estruturas para ser analisadas para cada caso de rigidez adotado para cada região contendo uma velocidade básica do vento e uma aceleração característica de projeto para cargas sísmicas.

Para fins de caracterização das estruturas, foram adotados dois modelos estruturais. Um mais rígido considerando um sistema estrutural contendo cortinas de concreto armado e outro menos rígido com pórticos do mesmo material.

As edificações mais rígidas terão como frequência fundamental o valor obtido através da equação 4. Para a análise dinâmica de cargas devidas ao vento, será atribuído um expoente do modo de vibração igual a 1,6 com base no quadro 3 do item 4.3.6. Para cargas sísmicas, os coeficientes do quadro 8, presente em 5.4.4, são os impostos a um sistema estrutural composto por pilares-parede de concreto com detalhamento usual.

No entanto, as edificações menos rígidas terão como frequência fundamental o valor obtido através da equação 27 que é uma adaptação da equação 4:

$$f_1 = \frac{26}{h}$$
 (equação 27)

Onde:

 f_1 – Frequência fundamental de vibração livre (Hz);

h – Altura da edificação (m).

Para os carregamentos de ventos, o expoente de modo de vibração destas estruturas consideradas menos rígidas vale 1,2. Para as ações sísmicas, os coeficientes do quadro 8 são os atribuídos a uma estrutura de pórtico de concreto com detalhamento usual.

As estruturas analisadas, independentemente de serem mais ou menos rígidas, terão o sistema estrutural e uma massa específica de 330 kg/m³ constantes ao longo dos pavimentos. Isso

viabiliza utilizar o método de análise dinâmica das cargas de vento proposto no item 4.3 e também conhecer o peso total das edificações.

O amortecimento será considerado igual a 1% para todos os carregamentos oriundos de ventos, assim atendendo um estado limite de serviço. Porém, para cargas sísmicas, o amortecimento vale 5% conforme o espectro de resposta proposto pela NBR 15421 e considerando o fato de que a estrutura precisa atender a um estado limite último.

7 CÁLCULO DAS SOLICITAÇÕES

O presente capítulo expõe o método de cálculo das solicitações adotado para cada efeito em cada caso. Para a determinação das regiões onde os efeitos são considerados constantes, foi feita uma sobreposição dos mapas apresentados nas figuras 6 e 13. O mapa resultante está exposto na figura 16 e a figura 17 mostra as regiões onde os efeitos serão calculados e os valores de velocidade básica do vento e a zona sísmica adotados. É válido ressaltar que nenhuma interpolação foi feita com os valores e as regiões classificadas são uma simplificação do território nacional.

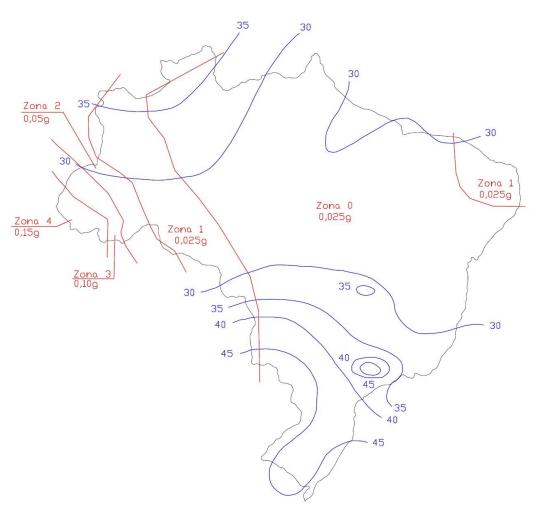


Figura 16- Sobreposição das isopletas com as zonas sísmicas

(fonte: elaborado pelo autor)

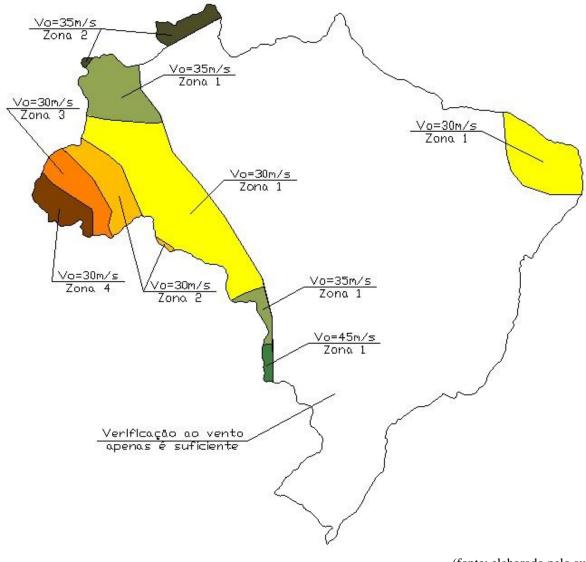


Figura 17– Regiões onde os efeitos são considerados constantes

(fonte: elaborado pelo autor)

Da figura 17, é possível verificar os seis casos de combinação entre os efeitos que serão considerados. Também é relatado que na maior parte do território nacional não é necessária a verificação da estabilidade das estruturas frente a sismos.

Os carregamentos utilizados serão aqueles no sentido y da figura 15, do capítulo anterior, apenas. Tal consideração tem duas razões. Primeiramente, porque gera maiores esforços nesse sentido, visto que atinge uma superfície maior da edificação enquanto a carga sísmica é igual para todas as direções consideradas principais. O outro motivo é fato de que a rigidez da estrutura ao longo deste eixo tende a ser mais limitada por a dimensão D ser inferior ou igual a B.

As forças transversais, no sentido x, são desconsideradas na comparação. Isso ocorre porque a resultante transversal ao eixo principal das cargas é uma proporção da parcela na direção principal. No caso de forças devidas ao vento esta grandeza é 1/3 da força na direção y e, no caso de sismos, ela representa 30% da ação principal.

Os itens seguintes descrevem os métodos de cálculo adotados para a obtenção das solicitações devidas aos ventos e sismos respectivamente. Para cada fenômeno é exposto o cálculo realizado para uma das várias edificações.

7.1 SOLICITAÇÕES DEVIDAS AO VENTO

A determinação das cargas dinâmicas devidas ao vento é feita conforme o método simplificado da NBR 6123/1988. Visto que as edificações objeto de estudo deste trabalho se encaixam nas características, o cálculo é válido e indicado.

Com o objetivo de esclarecer a análise feita, será exposto, a seguir, o roteiro de cálculo padrão utilizado para todas as edificações neste trabalho. Porém, por ser um número elevado de modelos, aqui serão exibidos os valores obtidos para uma edificação das várias verificadas.

O item 4.3 visto anteriormente expõe os quadros, equações e diagramas utilizados. O modelo adotado para expor o cálculo é uma edificação:

- a) com altura H de 90 m representando 30 pavimentos de 3 m;
- b) com a dimensão B valendo 30 m que é H/3;
- c) a dimensão D igual a 20 m que representa B/1,5;
- d) situada em uma zona costeira com categoria do terreno sendo considerada II;
- e) com sistema estrutural composto por pórticos de concreto armado;
- f) em uma região onde a velocidade básica do vento é de 35 m/s.

Estabelecidas estas condições de contorno, é possível obter o coeficiente de arrasto através da figura 7, apresentada em 4.3.5, que neste caso é de 1,08. Este valor é o mesmo para todas as edificações que atendem as proporções apresentadas em (b) e (c). Os fatores topográfico e estatístico são considerados unitários conforme relatado anteriormente.

Desta forma, é possível calcular a velocidade de projeto e consequentemente a pressão básica do vento com as equações 8 e 9 respectivamente. Os valores resultantes são 24,15 m/s e 357,52 N/m².

Outros fatores relevantes são aqueles verificados no item 6.3 do capítulo anterior. Para o sistema estrutural adotado, o expoente que representa o primeiro modo de vibração é 1,2 e a frequência do mesmo obedece a equação 27, sendo que esta resulta em valores iguais para edificações de mesma altura e com igual sistema de rigidez. Neste caso a frequência é de 0,29 Hz.

Estabelecidos esses valores, restam parâmetros os referentes à categoria do terreno. No quadro 4, são relatados os valores de p e b que, neste caso são 0,15 e 1 respectivamente. A figura 8 apresenta os gráficos necessários para a obtenção do coeficiente de amplificação dinâmica em função da categoria do terreno, da velocidade de projeto do vento e da frequência considerada. Para o exemplo exposto aqui, o valor de entrada no eixo das abscissas do gráfico é 0,046 e resulta em um coeficiente de 1,35 para a altura da edificação de 90 m.

Obtidos todos estes dados, é possível calcular a pressão dinâmica do vento através da equação 10 para cada cota da edificação em análise. As estruturas são discretizadas em 50 elementos de área ao longo do eixo z conforme a figura 15. O resultado disto são elementos com no mínimo 0,6 m de altura para edificações de 30 m e no máximo 3 m para estruturas com 150 m. A equação 28 expõe a transformação destas pressões em forças através do coeficiente de arrasto e a figura 18 apresenta os resultados dos cálculos e os parâmetros obtidos de forma visual.

$$Q_{v(z)} = C_a A_{(z)} q_{(z)} \qquad (equação 28)$$

Onde:

Qv(z) – Força resulte da pressão do vento na altitude z (N);

Ca – Coeficiente de arrasto em vento de alta turbulência;

A(z) – Área da edificação na altitude z (m^2);

q(z) – Pressão dinâmica na altitude z (N/m²).

Figura 18- Modelo de cálculo das solicitações oriundas do vento

	ζ	0.01		amortecim	ento			Ca	1,08		coeficiente	de arrasto						
	V	1,2		expoente n	modal			p	0,15		fator da ru	gosidade do	terreno					
f=x/H	x=	26		fórmula da	frequência	natural con	siderada	b	1,00	2016년 1월 1일 전 1						fator da rugosidade do terreno		
	Vo	35	m/s	velocidade básica do vento			Categoría			Categoría do terreno								
	f	0,29		frequência	natural de v	ibração (1º	modo)	S1			fator topog							
	ξ	1,35			de amplific			S3	1			stico de seg	urança					
	Vp	24,15			de projeto	•		H/B	3		relação alt		95					
	qo	357,52	N/m²	pressão di	nâmica máx	ima		B/D	1.5		relação ba							
	Н	90,00	m	altura da e	dificação			zr	10,00	m		referência						
	В	30.00	m	largura em	x da edifica	cão (perpe	ndicular ao ve	ento)										
	D	20.00	m				eção do vento											
V	p/fL	0,046					eficiente de ar		dinâmi	ca								
	-																	
	1	i	zi [m]	A(zi) [m²]	q(z) [N/m ²]	Q(z) [N]	Mf(z) [N.m]	1	. i	zi [m]	A(zi) [m²]	q(z) [N/m ²]	Q(z) [N]	Mf(z) [N.m]				
	1	1,00	1,80	54,00	222,62	12982,93	11684,64	1	26,00	46,80	54,00	1011,00	58961,64	2706339,47				
	8	2,00	3,60	54,00	283,54	16536,05	44647,34	1	27,00	48,60	54,00	1037,99	60535,74	2887554,81				
		3,00	5,40	54,00	330,36	19266,69	86700,10	1	28,00	50,40	54,00	1064,97	62109,08	3074399,47				
		4,00	7,20	54,00	370,83	21626,87	136249,29		29,00	52,20	54,00	1091,94	63681,99	3266886,00				
	3	5,00	9,00	54,00	407,65	23774,24	192571,34]	30,00	54,00	54,00	1118,91	65254,75	3465027,28				
	8	6,00	10,80	54,00	442,11	25783,72	255258,84		31,00	55,80	54,00	1145,88	66827,62	3668836,47				
	5	7,00	12,60	54,00	474,92	27697,13	324056,46		32,00	57,60	54,00	1172,85	68400,83	3878326,98				
	9	8,00	14,40	54,00	506,52	29540,28	398793,83		33,00	59,40	54,00	1199,84	69974,57	4093512,38				
	i i	9,00	16,20	54,00	537,21	31330,24	479352,72	1	34,00	61,20	54,00	1226,84	71549,03	4314406,43				
	8	10,00	18,00	54,00	567,20	33078,89	565649,10		35,00	63,00	54,00	1253,85	73124,36	4541022,98				
	3	11,00	19,80	54,00	596,62	34794,84	657622,44		36,00		54,00	1280,88	74700,72	4773375,96				
	9	12,00	21,60	54,00	625,59	36484,49	755229,04]	37,00	66,60	54,00	1307,93	76278,23	5011479,40				
		13,00	23,40	54,00	654,20	38152,78	858437,54]	38,00	68,40	54,00	1335,00	77857,00	5255347,35				
	3	14,00	25,20	54,00	682,50	39803,53	967225,86		39,00	70,20	54,00	1362,09	79437,14	5504993,88				
	3	15,00	27,00	54,00	710,56	41439,81	1081579,06		40,00	72,00	54,00	1389,21	81018,75	5760433,08				
	9	16,00	28,80	54,00	738,41	43064,08	1201487,77	1	41,00	73,80	54,00	1416,36	82601,91	6021679,05				
		17,00	30,60	54,00	766,09	44678,35	1326946,98	1	42,00	75,60	54,00	1443,53	84186,69	6288745,86				
	- 1	18,00	32,40	54,00	793,63	46284,29	1457955,22	1	43,00	77,40	54,00	1470,73	85773,17	6561647,55				
	9	19,00	34,20	54,00	821,04	47883,30	1594513,81		44,00	79,20	54,00	1497,97	87361,41	6840398,14				
		20,00	36,00	54,00	848,36	49476,54	1736626,42		45,00	81,00	54,00	1525,23	88951,46	7125011,59				
	3	21,00	37,80	54,00	875,60	51065,00	1884298,54]	46,00	82,80	54,00	1552,53	90543,37	7415501,85				
	9	22,00	39,60	54,00	902,77	52649,54	2037537,24		47,00	84,60	54,00	1579,86	92137,19	7711882,76				
	8	23,00	41,40	54,00	929,88		2196350,86			86,40	54,00	1607,22		8014168,16				
		24.00	40.00	C4.00	000.00	FF000 00	0000740.00	1	40.00	00.00	F4.00	4004.04	05000 70	0000074 70				

Qby 2882081.40 cortante na base na direção do vento y Qby* 288.21 cortante na base na direção do vento y Mby 160282120,55 N.m momento na base ao longo da direção do vento y Mby* 16028,21 momento na base ao longo da direção do vento y

956,96 55809,66 2360748,80

983.99 57386.42 2530741.34

24.00 43.20

54.00

(fonte: elaborado pelo autor)

1634,61 95330,72 8322371,78

1662.05 96930.50 8636507.31

54,00

49.00 88.20

Sendo assim, os resultados obtidos para esta edificação são um momento fletor de 16.028,21 tf.m e um cortante de 288,21 tf na base da estrutura na direção principal y. A área considerada em cada elemento ao longo da altura é aquela entre a cota do elemento inferior e o próprio elemento, sendo que o momento fletor é a força resultante da pressão do vento multiplicada pela altura do centro da área considerada.

O modelo de cálculo exposto aqui é o adotado para todas as edificações frente à ação dinâmica do vento. É possível ver o resultado dos cálculos para cada construção considerada no apêndice A.

7.2 SOLICITAÇÕES DEVIDAS A SISMOS

As solicitações devidas a abalos sísmicos são obtidas através dos métodos propostos pela NBR 15421/2006. O método deve ser adotado conforme a zona sísmica onde a edificação está situada.

7.2.1 Método para Zona Sísmica 1

O método apresentado aqui deve ser adotado para a zona sísmica 1. Isto ocorre por ele ser uma simplificação que pode ser feita apenas nesta região em que as ações sísmicas não são muito severas.

Basicamente, o método implica em considerar o carregamento horizontal como 1% do peso da estrutura, conforme a equação 18 apresentada em 5.4.5.1 indica, atuando horizontalmente. No caso das edificações que são estudadas neste trabalho, esta força é constante ao longo dos pavimentos. É válido ressaltar que estas considerações não levam em conta a forma modal da estrutura carregada dinamicamente e nem a amplificação, ou redução, das solicitações com base na rigidez e, consequentemente, na frequência fundamental da estrutura.

Outra observação válida sobre a análise de edificações em zona sísmica 1 é o fato de não haver a ponderação da influência do tipo de solo na resposta da estrutura. Portanto, para todas as edificações estudadas neste trabalho que estão nesta zona, não haverá diferenciação quanto a parâmetros de tipo de solo e rigidez. Então, a variação nas solicitações obtidas depende apenas dos parâmetros geométricos das edificações, onde maiores volumes geram maiores esforços cortantes e momentos fletores.

De forma análoga ao item anterior deste trabalho, serão expostos aqui os valores obtidos para uma das edificações analisadas para a compreensão do cálculo executado. O modelo adotado para expor o cálculo é uma edificação:

- a) com altura H de 90 m representando 30 pavimentos de 3 m;
- b) com a dimensão B valendo 30 m que é H/3;
- c) a dimensão D igual a 20 m que representa B/1,5;
- d) situada em qualquer tipo de solo;
- e) podendo ter qualquer um dos sistemas estruturais considerados neste trabalho.

Estabelecidas estas condições de contorno e sabendo a massa específica considerada, exposta no capítulo anterior, é possível fazer o cálculo das solicitações. Para este cálculo, a estrutura, que é considerada como contínua quanto à rigidez e a distribuição do peso, é dividida em 50 elementos ao longo de sua altura. A soma dos efeitos em cada elemento resulta nos esforços na base e a figura 19 apresenta o resumo dos parâmetros e os resultados.

Figura 19 – Modelo de cálculo das solicitações oriundas de sismos em zona 1

Н	90,00 m	altura da edificação
В	30,00 m	largura em x da edificação (maior dimensão da base)
D	20,00 m	largura em y da edificação (menor dimensão da base)
ρ	330 kg/m³	peso específico
H/B	3	relação altura/dimensão maior da base
B/D	1,5	relação entre as dimensões da base

1	zi [m]	W(z) [tf]	Fy(z) [tf]	Mf(z) [tf.m]
1	1,80	349,49	3,49	3,15
2	3,60	349,49	3,49	9,44
3	5,40	349,49	3,49	15,73
4	7,20	349,49	3,49	22,02
5	9,00	349,49	3,49	28,31
6	10,80	349,49	3,49	34,60
7	12,60	349,49	3,49	40,89
8	14,40	349,49	3,49	47,18
9	16,20	349,49	3,49	53,47
10	18,00	349,49	3,49	59,76
11	19,80	349,49	3,49	66,05
12	21,60	349,49	3,49	72,34
13	23,40	349,49	3,49	78,63
14	25,20	349,49	3,49	84,93
15	27,00	349,49	3,49	91,22
16	28,80	349,49	3,49	97,51
17	30,60	349,49	3,49	103,80
18	32,40	349,49	3,49	110,09
19	34,20	349,49	3,49	116,38
20	36,00	349,49	3,49	122,67
21	37,80	349,49	3,49	128,96
22	39,60	349,49	3,49	135,25
23	41,40	349,49	3,49	141,54
24	43,20	349,49	3,49	147,83
25	45,00	349,49	3,49	154,12

i.	zi [m]	W(z) [tf]	Fy(z) [tf]	Mf(z) [tf.m]		
26	46,80	349,49	3,49	160,41		
27	48,60	349,49	3,49	166,70		
28	50,40	349,49	3,49	173,00		
29	52,20	349,49	3,49	179,29		
30	54,00	349,49	3,49	185,58		
31	55,80	349,49	3,49	191,87		
32	57,60	349,49	3,49	198,16		
33	59,40	349,49	3,49	204,45		
34	61,20	349,49	3,49	210,74		
35	63,00	349,49	3,49	217,03		
36	64,80	349,49	3,49	223,32		
37	66,60	349,49	3,49	229,61		
38	68,40	349,49	3,49	235,90		
39	70,20	349,49	3,49	242,19		
40	72,00	349,49	3,49	248,48		
41	73,80	349,49	3,49	254,78		
42	75,60	349,49	3,49	261,07		
43	77,40	349,49	3,49	267,36		
44	79,20	349,49	3,49	273,65		
45	81,00	349,49	3,49	279,94		
46	82,80	349,49	3,49	286,23		
47	84,60	349,49	3,49	292,52		
48	86,40	349,49	3,49	298,81		
49	88,20	349,49	3,49	305,10		
50	90,00	349,49	3,49	311,39		

Qby 1747429,20 N cortante na base na direção principal do sismo y Qby* 174,74 tf cortante na base na direção principal do sismo y

Mby 78634314,00 N.m momento na base ao longo da direção principal do sismo y Mby* 7863,43 tf.m momento na base ao longo da direção principal do sismo y

(fonte: elaborado pelo autor)

O cálculo feito para esta edificação apresenta, então, um cortante de 174,74 tf e um momento fletor de 7.863,43 tf.m na base. As solicitações resultantes para as demais estruturas podem ser vistas no apêndice B.

7.2.2 Método para Zonas Sísmicas 2, 3 e 4

As edificações situadas em Zona Sísmica 2, 3 ou 4 devem ser analisadas conforme o método das forças horizontais equivalentes proposto na NBR 15421/2006 e apresentado no item 5.4.5.2. Tal cálculo envolve uma abordagem mais detalhada que aquela apresentada para Zona Sísmica 1 e a descrição das etapas é feita neste item.

De forma análoga aos outros procedimentos apresentados neste capítulo, as solicitações obtidas através deste método são expostas atribuindo valores de um dos casos considerados. Os parâmetros utilizados e constantes estão contemplados no item 5.4 e as características da edificação exemplificada são:

- a) altura H de 90 m representando 30 pavimentos de 3 m;
- b) dimensão B valendo 30 m que é H/3;
- c) dimensão D igual a 20 m que representa B/1,5;
- d) situada em sobre solo rígido (classe D);
- e) com sistema estrutural composto por pórticos de concreto armado;
- f) em Zona Sísmica 2 com aceleração sísmica horizontal característica de 0,05 g.

Conforme estas condições de contorno, é possível atribuir os fatores de amplificação sísmica no solo. Os parâmetros Ca e Cv podem ser observados na tabela 7 apresentada em 5.4.3 e variam drasticamente conforme a classe do terreno. No caso desta edificação aqui detalhada, os fatores de amplificação utilizados para períodos de 0 e 1 s são 1,6 e 2,4 respectivamente.

As acelerações espectrais ags0 e ags1, atribuídas aos períodos de 0 e 1 s respectivamente, são calculadas através da aceleração característica e os fatores de amplificação sísmica no solo já conhecidos. Sendo assim, e através das equações 13 e 14, que constam em 5.4.3, o valor dessas acelerações é de 0,784 e 1,177 m/s² respectivamente.

Com essas acelerações e fatores é feito o espectro de resposta de projeto que apresenta a variação da aceleração espectral em função do período natural da estrutura. O espectro pode ser montado com as equações 15, 16 e 17.

No entanto, a NBR 15421/2006 define o carregamento sísmico horizontal a ser utilizado através de outras equações. Elas levam em consideração o próprio espectro para estruturas de frequência natural baixa enquanto desconsideram a minoração que ele pode acarretar para edificações com frequência natural muito alta, isto é, período muito baixo.

Foi visto no capítulo 6 que para estruturas mais rígidas a equação 4, apresentada em 4.2.1, deve ser utilizada, mas, para estruturas menos rígidas, a equação 27, que consta no item 6.3, é a que define a frequência natural atribuída. Por conseguinte, a equação 27 é a utilizada no caso da edificação exemplificada e relata uma frequência natural de 0,29 Hz e período natural de 3.46 s.

Ainda fazendo referência a influência da rigidez no carregamento, o coeficiente de modificação da resposta R pondera os efeitos do sismo e está no quadro 8 em 5.4.4. A edificação apresentada aqui tem o parâmetro R valendo 3 por se tratar de um pórtico de concreto com detalhamento usual.

As considerações feitas a respeito do sistema estrutural e da sua rigidez refletem em carregamentos maiores por parte de uma alta frequência natural e menores por parte de um alto coeficiente R. Visto que ambos os fatores crescem com o incremento na rigidez apenas, e sabendo que a frequência natural tem um papel mais determinante na obtenção dos carregamentos, é fato que uma estrutura mais rígida sofre carregamentos maiores que uma estrutura menos rígida frente a sismos.

Com os cálculos expostos até o momento, é possível determinar o esforço cortante total na base da estrutura. As equações 19 a 21 do item 5.4.5.2 exibem como obter tal solicitação através do coeficiente de resposta sísmica C_s que é multiplicado pelo peso da estrutura. Este parâmetro tem uma limitação mínima de 0,01 e no caso da edificação utilizada como exemplo ele vale 0,0833 indicando que 8,33 % do peso da estrutura está sendo aplicado horizontalmente.

Para obter-se momento fletor na base da edificação se faz necessário conhecer a distribuição das forças horizontais ao longo dos pavimentos. Através das equações 22 até 26 é relatado este perfil de cargas que leva em conta o período da estrutura e a altura do ponto em análise a fim de considerar a forma modal da estrutura oscilando na respectiva frequência natural.

A figura 20 exibe o modelo de cálculo utilizado relatando os parâmetros descritos anteriormente neste item e as solicitações obtidas. O método adotado, de forma análoga ao

método de análise de cargas de ventos, envolve dividir a estrutura em 50 elementos ao longo da altura da edificação.

Figura 20 – Modelo de cálculo das solicitações oriundas de sismos em zona 2, 3 ou 4

Н	90,00	m	altura da e				ρ	330	kg/m³	peso especi				
В	30,00	m				endicular a força)	ζ	0,05		amortecimento				
D	20,00	m				eção da força)	f=x/H x=	26		fórmula da frequência natural considerada				
f	0,29	Hz		natural de v			Classe	D		classe do terreno - solo rígido				
T	3,46	S	período na	tural de vibr	ação (1º m	odo)	ag	0,05	g	aceleração sísmica horizontal				
0,08 Cv/Ca	0,12		parâmetros	s para espe	ctro		Ca	1,6		fator de amplificação sísmica				
0,4 Cv/Ca	0,60		parâmetros	s para espe	ctro		Cv	2,4		fator de amplificação sísmica				
Sa	1,02	m/s²	espectro de	e projeto			ags0	0,78448	m/s ²	aceleração espectral para T=0				
Cs max	0,01		coeficiente	de resposta	a sísmica n	náximo	ags1	1,17672	m/s ²	aceleração espectral para T=1				
Cs	0,08		coeficiente	de resposta	a sísmica		Categoría	II		categoria de utilização				
W	174742920,00	N	peso total o	da estrutura			Fator I	1,25		fator de importância				
Н	2524064,40	N	forca horize	ontal na bas	e		R	3		coeficiente de modificação da resposta				
k	2,00		expoente d	le distribuiçã	ăo		Omega 0	3		coeficiente de sobre-resistência				
H/B	3			ura/dimensa		base	Cd	2,5		coeficiente de amplificação de deslocamentos				
B/D	1,5			tre as dimer				100000						
						I seen 1							1001 1	
Х	hx [m]	wx [N]	wx . hx^k	Cvx	Fx [N]	Mf [N.m]	X	hx [m]	wx [N]	wx . hx^k	Cvx	Fx [N]	Mf [N.m]	
1	1,80	3494858	11323341	2,33E-05	58,8	52,92156	26	46,80	3494858		0,015748	39750,0	1824523,7	
2	3,60	3494858		9,32E-05	235,2	635,0587	27	48,60	3494858		0,016983	42866,5	2044730,311	
3	5,40	3494858	1,02E+08	0,00021	529,2	2381,47	28	50,40	3494858		0,018264	46100,6	2281977,664	
4	7,20	3494858	1,81E+08	0,000373	940,8	5927,215	29	52,20	3494858		0,019592	49452,3	2536900,818	
5	9,00	3494858		0,000582	1470,0	11907,35	30	54,00	3494858	1,02E+10		52921,6	2810134,832	
6	10,80	3494858		0,000839	2116,9	20956,94	31	55,80	3494858		0,022388	56508,5	3102314,765	
7	12,60	3494858	5,55E+08	0,001142	2881,3	33711,03	32	57,60	3494858		0,023856	60213,0	3414075,674	
8	14,40	3494858	7,25E+08	0,001491	3763,3	50804,7	33	59,40	3494858		0,02537	64035,1	3746052,62	
9	16,20	3494858	9,17E+08	0,001887	4762,9	72872,99	34	61,20	3494858		0,026931	67974,8	4098880,66	
10	18,00	3494858	1,13E+09	0,00233	5880,2	100551	35	63,00	3494858		0,028538	72032,1	4473194,853	
11	19,80	3494858	1,37E+09	0,002819	7115,0	134473,7	36	64,80	3494858		0,030192	76207,0	4869630,259	
12	21,60	3494858	1,63E+09	0,003355	8467,4	175276,2	37	66,60	3494858		0,031893	80499,6	5288821,935	
13	23,40	3494858	1,91E+09	0,003937	9937,5	223593,6	38	68,40	3494858		0,03364	84909,7	5731404,94	
14	25,20	3494858	2,22E+09	0,004566	11525,1	280060,9	39	70,20	3494858		0,035434	89437,4	6198014,334	
15	27,00	3494858	2,55E+09	0,005242	13230,4	345313,2	40	72,00	3494858		0,037274	94082,8	6689285,175	
16	28,80	3494858	2,9E+09	0,005964	15053,2	419985,5	41	73,80	3494858		0,039161	98845,7	7205852,522	
17	30,60	3494858		0,006733	16993,7	504712,9	42	75,60	3494858		0,041095	103726,3	7748351,432	
18	32,40	3494858	3,67E+09	0,007548	19051,8	600130,5	43	77,40	3494858	2,09E+10	0,043075	108724,4	8317416,966	
19	34,20	3494858	4,09E+09	0,00841	21227,4	706873,3	44	79,20	3494858		0,045102	113840,2	8913684,182	
20	36,00	3494858	4,53E+09	0,009319	23520,7	825576,3	45	81,00	3494858	2,29E+10	0,047175	119073,5	9537788,138	
21	37,80	3494858	4,99E+09	0,010274	25931,6	956874,7	46	82,80	3494858	2,4E+10	0,049295	124424,5	10190363,89	
22	39,60	3494858	5,48E+09	0,011275	28460,0	1101404	47	84,60	3494858	2,5E+10	0,051462	129893,0	10872046,51	
23	41,40	3494858	5,99E+09	0,012324	31106,1	1259798	48	86,40	3494858	2,61E+10	0,053675	135479,2	11583471,04	
24	43,20	3494858	6,52E+09		33869,8	1432692	49	88,20	3494858		0,055935	141183,0		
25	45,00	3494858	7,08E+09	0,01456	36751,1	1620723	50	90,00	3494858	2,83E+10	0,058241	147004,3		
	AS	12	20 12				\$ S		sum	4,86E+11	1	2524064,4	169789563,8	
Qby 2524064,40 N			cortante na base na direção principal do sismo y											
Qby*	252,41	tf		cortante na	base na d	ireção principal do	sismo y							
	0'010 0000 00000 000	200		4	14		9 1 1 1 1 1 1 1 1							
Mby	169789563,76 N.m					longo da direção p								
Mby*	16978,96 tf.m			momento r	a base ao	longo da direção p	nncipal do sismo	У						

(fonte: elaborado pelo autor)

O cálculo feito para esta edificação apresenta, então, um cortante de 252,41 tf e um momento fletor de 16.978,96 tf.m na base. As solicitações resultantes para as demais estruturas podem ser vistas no apêndice B.

8 COMPARAÇÃO DE SOLICITAÇÕES

Este capítulo tem como enfoque descrever e expor o mapeamento da comparação feita entre as solicitações obtidas. Primeiro, as considerações sobre as regiões analisadas são explicadas e depois o método de quantificação e o mapeamento são expostos.

8.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS REGIÕES

Conforme explicado nos capítulos anteriores, algumas considerações foram feitas para viabilizar a comparação das solicitações devidas a ventos e a sismos ao longo deste trabalho. Este item enfatiza esses detalhes e apresenta aqueles adotados para realização do mapeamento.

Basicamente, o território nacional é considerado como dividido em regiões onde os efeitos são considerados constantes, conforme a figura 17 do capítulo anterior. É possível relatar as simplificações quanto ao valor da velocidade básica do vento, porém, as zonas sísmicas também recebem uma aceleração característica constante de:

- a) 0,05 g para Zona 2;
- b) 0,10 g para Zona 3;
- c) 0,15 g para Zona 4.

Devido ao fato de a Zona 1 receber uma análise de carregamentos diferenciada, sem a relevância da aceleração sísmica característica, esta não recebe simplificações para esta grandeza. A Zona 0 é considerada sem ações sísmicas relevantes para estruturas conforme ressaltado no item 5.4.5.1.

Quanto à velocidade básica do vento, esta tem um valor constante conforme a região que é obtido interpolando as isopletas conforme a figura 6 presente em 4.3.1. Então, os valores considerados são de 30, 35 e 45 m/s respectivamente conforme a figura 17 expõe.

8.2 MAPEAMENTO RESULTANTE

Através das velocidades básicas do vento, das acelerações sísmicas características e dos cálculos feitos com estes valores, todos os dados necessários já são suficientes para a comparação. Esta é feita, conforme as diferenciações feitas no item 6.3 no que diz respeito à rigidez das edificações, com a apresentação gráfica de dois mapas, sendo:

- a) um para estruturas mais rígidas;
- b) um para estruturas menos rígidas.

Esta diferenciação envolve a consideração de coeficientes e de formulações distintas para a obtenção das solicitações, conforme explicado no capítulo anterior. Assim, cada mapa apresenta a quantidade de edificações que têm solicitações maiores devidas a um ou outro fenômeno natural para cada região.

Porém, em cada região, existe a diferenciação ainda quanto à vizinhança da estrutura e quanto ao solo da fundação. Por isso, o número de edificações com solicitações maiores devidas ao vento, ao sismo ou aos dois carregamentos é indicado conforme cada região, caso de vizinhança e tipo de solo, de forma análoga a explicada em 6.2. Sendo que, a soma do número de edificações com solicitações maiores por parte do vento, de sismos ou dos dois efeitos sempre é igual a 81 para cada região, vizinhança e tipo de solo respectivamente.

A figura 21 demonstra o mapeamento resultante para estruturas consideradas mais rígidas e com frequência fundamental obtida pela equação 4. Não obstante, a figura 22 exibe o mapa obtido para edificações menos rígidas, que tem a frequência fundamental calculada conforme a equação 27.

Figura 21 – Mapeamento resultante para edificações mais rígidas

Verificação quanto ao sismo não é necessária - Vento maior em todos modelos. Categoria II Vo=45m/s - Vento maiori 79; Sismo maiori 0; Ambosi 2 dos 81 modelos. Categoria III Zona 1 Categoria IV - Vento majori 77; Sismo majori 2; Ambosi 2 dos 81 modelos. - Vento maiori 73; Sismo maiori 3; Ambosi 5 dos 81 modelos. Categoria II Vo=35m/s - Vento major: 67; Sismo major: 7; Ambos: 7 dos 81 modelos. Categoria III Zona 1 - Vento maior: 53; Sismo maior: 13; Ambos: 11 dos 81 modelos. Categoria IV - Vento maior: 61; Sismo maior: 13; Ambos: 7 dos 81 modelos. Categoria II Vento maior: 52; Sismo maior: 18; Ambos: 11 dos 81 modelos.
 Vento maior: 39; Sismo maior: 27; Ambos: 15 dos 81 modelos. Vo=30m/s Categoria III Zona 1 Categoria IV Cat. II Solo D - Vento maior: 28; Sismo maior: 39; Ambos: 11 dos 81 modelos. Cat. II Solo E Cat. III Solo D - Vento maior: 8; Sismo maior: 65; Ambos: 8 dos 81 modelos. - Vento maior: 20; Sismo maior: 54; Ambos: 7 dos 81 modelos. Vo=35m/s - Vento maior: 2; Sismo maior: 74; Ambos: 5 dos 81 modelos. Zona 2 Cat. III Solo E Cat. IV Solo D - Vento majori 8; Sismo majori 67 Ambosi 6 dos 81 modelos. Cat. IV Solo E - Vento maiori 0; Sismo maiori 80; Ambosi 1 dos 81 modelos. Cat. II Solo D - Vento maior: 9; Sismo maior: 61; Ambos: 11 dos 81 modelos. Cat. II Solo E - Vento maior: 0; Sismo maior: 78; Ambos: 3 dos 81 modelos. - Vento maior: 5; Sismo maior: 73; Ambos: 3 dos 81 modelos. Cat. III Solo D Vo=30m/s - Sismo maior em todos modelos. Cat. III Solo E Cat. IV Solo D Vento majori 0; Sismo majori 78 Ambosi 3 dos 81 modelos. Cat. IV Solo E - Sismo maior em todos modelos. Verificação quanto ao sismo maior em todos modelos. Verificação quanto ao sismo maior em todos modelos geométricos Edificações com maior rigidez e frequência fundamental considerada: f=46/H

Figura 22 – Mapeamento resultante para edificações menos rígidas

```
Verificação quanto ao
          slsmo não é necessária
          Categoria II
                             - Vento maior em todos modelos geométricos.
Vo=45m/s
          Categoria III
                                Vento maiori 80; Sismo maiori 0; Ambosi 1 dos 81 modelos.
 Zona 1
          Categoria IV
                             - Vento maiori 78; Sismo maiori 0; Ambosi 3 dos 81 modelos.
          Categoria II
                             - Vento majori 76; Sismo majori 3; Ambosi 2 dos 81 modelos.
Vo=35m/s
          Categoria III
                             - Vento majori 71; Sismo majori 4; Ambosi 6 dos 81 modelos.
 Zona 1
          Categoria IV
                             - Vento maior: 62; Sismo maior: 10; Ambos: 9 dos 81 modelos.
                             - Vento maior: 65; Sismo maior: 9; Ambos: 7 dos 81 modelos.
          Categoria II
Vo=30m/s
                             - Vento maior: 57; Sismo maior: 15; Ambos: 9 dos 81 modelos.
          Categoria III
 Zona 1
          Categoria IV
                             - Vento maior: 44; Sismo maior: 25; Ambos: 12 dos 81 modelos.
                             - Vento major: 52; Sismo major: 18; Ambos: 11 dos 81 modelos.
          Cat. II Solo D
          Cat. II Solo E
                             - Vento maior: 27; Sismo maior: 40; Ambos: 14 dos 81 modelos.
          Cat. III Solo D
Cat. III Solo E
                             - Vento major: 41; Sismo major: 29; Ambos: 11 dos 81 modelos.
Va=35m/s
                             - Vento maior: 18; Sismo maior: 54; Ambos: 9 dos 81 modelos.
Zona 2
                             - Vento majori 27; Sismo majori 45; Ambosi 9 dos 81 modelos.
          Cat. IV Solo D
          Cat. IV Solo E
                             - Vento major: 6; Sismo major: 66; Ambos: 9 dos 81 modelos.
          Cat. II Solo D
                             - Vento major: 31; Sismo major: 38; Ambos: 12 dos 81 modelos.
          Cat. II Solo E
                             - Vento maior: 8; SIsmo maior: 62; Ambos: 11 dos 81 modelos.
          Cat. III Solo D
                             - Vento major: 21; Sismo major: 49; Ambos: 11 dos 81 modelos.
Vo=30m/s
Zona 2
          Cat. III Solo E
                             - Vento maior: 4; Sismo maior: 72; Ambos: 5 dos 81 modelos.

    Vento maior: 8; Sismo maior: 65; Ambos: 8 dos 81 modelos.
    Vento maior: 0; Sismo maior: 78; Ambos: 3 dos 81 modelos.

          Cat. IV Solo D
          Cat. IV Solo E
          Cat. II Solo D
                             - Vento major: 0; Sismo major: 76; Ambos: 5 dos 81 modelos.
          Cat. II Solo E
                             - Sismo maior em todos modelos.
          Cat. III Solo D
                             - Sismo maior em todos modelos.
Zona 3
          Cat. III Solo E
                             - Sismo maior em todos modelos.
                             - Sismo maior em todos modelos.
          Cat. IV Solo D
          Cat. IV Solo E
                             - Sismo maior em todos modelos.
          Verificação quanto ao sismo maior
          em todos modelos geométricos
Edificações com menor rigidez
  e fréquência fundamental
    considerada: f=26/H
```

Conforme estes mapas expõe, as solicitações oriundas de ventos crescem em relação as mesmas devidas a sismos com o decréscimo da rigidez. Para estruturas menos rígidas, o vento tem solicitações maiores na maioria das edificações em Zonas Sísmicas 0, 1 e inclusive em alguns casos dentro da Zona 2. Porém, a figura 21 mostra que para edificações mais rígidas o sismo tem uma influência mais relevante.

76

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo tem como função apresentar as considerações finais deste trabalho. Tais

conclusões são feitas com base nas observações feitas ao longo do trabalho, do mapeamento

resultante e nos apêndices.

Uma das principais observações relatadas ao longo do trabalho é a semelhança de grandezas

entre as solicitações obtidas com cargas devidas a ventos e a sismos em Zonas Sísmicas 1 e 2.

Para a região do Acre e do oeste do Amazonas as solicitações oriundas de sismos são de uma

ordem de grandeza notavelmente maior quando comparadas aquelas devidas ao vento. No

entanto, para aproximadamente 79 % do território nacional, carregamentos sísmicos não são

necessários no cálculo estrutural das edificações, o que limita a eficiência deste trabalho ao

restante do país.

Outra conclusão evidenciada é a sensibilidade nos carregamentos em função do entorno da

edificação (referente ao efeito da rugosidade do terreno para cargas de vento) e do tipo de solo

na fundação (referente à velocidade propagação das ondas sísmicas). A mudança nestes

parâmetros acarreta alterações que podem até triplicar as forças atuantes.

Através das formulações da distribuição dos esforços horizontais oriundos de ventos e de

sismos pode-se relatar qual modelo atribui uma contribuição modal mais intensa para um

mesmo esforço cortante total na base. Isto ocorre para a verificação ao sismo em zonas 2, 3 e

4. Tal fato ocorre porque as cargas sísmicas apresentam uma amplitude maior no seu espectro

quando comparado com o do vento, que atinge a estrutura, principalmente, em frequências

baixas e excita a estrutura fundamentalmente no seu primeiro modo.

O modelo de cálculo de solicitações devidas a sismos em Zona Sísmica 1 propõe um

carregamento uniforme de 1 % do peso da edificação aplicado horizontalmente. Portanto, a

comparação entre as cargas de ventos com as cargas sísmicas nessa zona fornece uma noção

quanto o carregamento dinâmico de vento é maior ou menor que 1 % do peso da estrutura.

Este trabalho tem como pressuposto a validade dos métodos propostos pelas normas

brasileiras. Então, uma sugestão de trabalho futuro é a comprovação da confiabilidade dos

parâmetros probabilísticos propostos pelas normas a fim de confirmar a ordem de grandeza das forças calculadas.

Os apêndices A e B deste trabalho contêm os valores de solicitações obtidos para as todas as edificações analisadas. Isto é uma fonte de dados útil para fins de pré-dimensionamento e para uma noção de grandeza das cargas horizontais que atuam em uma estrutura que se enquadra nas considerações feitas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 13421**: projeto de estruturas resistentes a sismos: procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

BLESSMANN, J. **Acidentes Causados pelo Vento.** 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS, 2001.

CHOPRA, A. K. Dynamics of Structures. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1995.

CLOUGH, R. W.; PENZIEN, J. Dynamics of Structures. New York: McGraw-Hill, 1975.

ELLIS, B. R. An assessment of the accuracy of predicting the fundamental natural frequencies of buildings and implications concerning the dynamic analysis of structures. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, London, v. 69, n. 2, p. 763-776, Sep. 1980.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 8**: design of structures for earthquake – part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels, 2004.

HOLMES, J. Wind Loading Structures. 2nd ed. London: Taylor and Francis, 2007.

ISYUMOV, N. Wind tunnel modeling for civil engineering applications. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON WIND TUNNEL MODELING CRITERIA AND TECHNIQUES IN CIVIL ENGINEERING APPLICATIONS, 1982, Gaithersburg. **Proceedings...** New York: Cambridge University Press.

MACDONALD, A. J. Wind loading on buildings. London: Applied Science, 1975.

MIEROVITCH, L. Fundamentals of Vibrations. Boston: McGraw-Hill, 2001.

MIGUEL, L. F. F. Estudo teórico e experimental de um edifício alto submetido à ação dinâmica do vento. 2003. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RAO, S. **Vibrações Mecânicas.** Tradução de Arlete Simille Marques. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SARTORI, F. C. Uma comparação de métodos para avaliar a resposta dinâmica de edifícios altos em túnel de vento. 2010. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

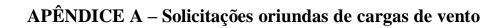
TREIN, C. A. Modelagem dinâmica equivalente de edifícios altos submetidos à ação do vento. 2005. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO Sistema geográfico de informações, 2011. Apresenta reproduções virtuais de informações sísmicas do banco de dados do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências. Disponível em:

http://moho.iag.usp.br/i3geo/aplicmap/geral.htm?2c116c752b64488abbd6d3b36bd3c2cd. Acesso em: 23 mar. 2011.

WIKIPEDIA Arranha-céus da cidade de São Paulo, 2011. Apresenta as informações e imagens sobre o edifício Grande São Paulo. Disponível em:

http://pt.wikipedia.org/wiki/Edifício_Grande_São_Paulo. Acesso em: 23 out. 2011.



Quadro A1 – Solicitações obtidas para carregamento de vento considerando $V_0=30\ m/s$ e categoria de rugosidade II

Vo=30m/s Vento Categoria II(pouca rugosidade) f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
	2000	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	16,95	13,09	10,68	
45	41,06	31,72	25,87	
60	77,98	60,24	49,13	
75	130,54	100,84	82,24	
90	189,43	146,34	119,34	
105	267,34	206,52	168,43	
120	360,34	278,36	227,02	
135	468,93	362,25	295,43	
150	593,56	458,53	373,94	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	18,30	13,98	11,49	
45	44,34	33,87	27,84	
60	84,22	64,33	52,87	
75	140,98	107,69	88,50	
90	204,59	156,28	128,44	
105	288,73	220,56	181,26	
120	389,17	297,28	244,31	
135	506,45	386,87	317,94	
150	641,05	489,69	402,43	

	B/D=2				
CAST INC		H/B	24.000		
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	19,32	14,87	12,20		
45	46,80	36,03	29,56		
60	88,90	68,43	56,15		
75	148,81	114,55	93,99		
90	215,95	166,23	136,39		
105	304,77	234,59	192,49		
120	410,79	316,20	259,45		
135	534,58	411,49	337,63		
150	676,66	520,85	427,36		

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/I	D=1	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	316,75	244,69	199,55
45	1145,37	884,80	721,58
60	2894,42	2235,94	1823,48
75	6057,78	4679,63	3816,40
90	10495,34	8107,65	6612,06
105	17261,06	13334,17	10874,47
120	26563,41	20520,23	16734,95
135	38855,83	30016,13	24479,17
150	54605,53	42182,77	34401,49

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	342,09	261,32	214,75	
45	1237,00	944,93	776,56	
60	3125,97	2387,90	1962,42	
75	6542,40	4997,66	4107,17	
90	11334,96	8658,65	7115,84	
105	18641,95	14240,38	11703,00	
120	28688,48	21914,81	18009,99	
135	41964,30	32056,06	26344,25	
150	58973,98	45049,57	37022,55	

	B/D=2				
		H/B	ve.		
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	361,09	277,94	228,06		
45	1305,72	1005,06	824,66		
60	3299,64	2539,85	2083,98		
75	6905,86	5315,70	4361,60		
90	11964,68	9209,66	7556,64		
105	19677,61	15146,58	12427,97		
120	30282,28	23309,39	19125,65		
135	44295,65	34095,99	27976,20		
150	62250,31	47916,36	39315,98		

Vo=30m/s Vento Categoria II(pouca rugosidade) f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	15,80	12,20	9,95	
45	38,38	29,65	24,18	
60	71,77	55,45	45,22	
75	118,27	91,36	74,51	
90	174,94	135,14	110,21	
105	243,01	187,73	153,10	
120	327,92	253,32	206,59	
135	427,16	329,98	269,11	
150	532,26	411,17	335,33	

		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	17,06	13,03	10,71
45	41,45	31,67	26,02
60	77,52	59,21	48,66
75	127,73	97,57	80,19
90	188,93	144,32	118,61
105	262,45	200,48	164,76
120	354,15	270,53	222,33
135	461,34	352,41	289,62
150	574,84	439,12	360,87

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	18,01	13,86	11,37	
45	43,76	33,68	27,64	
60	81,82	62,98	51,68	
75	134,83	103,78	85,16	
90	199,43	153,51	125,95	
105	277,03	213,24	174,97	
120	373,83	287,75	236,10	
135	486,97	374,84	307,56	
150	606.78	467,06	383,23	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	300,78	232,35	189,49	
45	1089,43	841,58	686,34	
60	2702,34	2087,55	1702,47	
75	5554,91	4291,17	3499,60	
90	9818,10	7584,48	6185,40	
105	15847,80	12242,42	9984,11	
120	24411,13	18857,60	15379,01	
135	35736,74	27606,63	22514,14	
150	49297,06	38081,98	31057,15	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	324,85	248,15	203,93	
45	1176,58	898,78	738,63	
60	2918,52	2229,43	1832,18	
75	5999,31	4582,80	3766,23	
90	10603,55	8099,93	6656,67	
105	17115,62	13074,43	10744,81	
120	26364,02	20139,18	16550,74	
135	38595,67	29482,81	24229,51	
150	53240,83	40670,08	33423,41	

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	342,89	263,94	216,56	
45	1241,95	955,97	784,39	
60	3080,66	2371,30	1945,68	
75	6332,60	4874,44	3999,54	
90	11192,63	8615,38	7069,03	
105	18066,49	13906,44	11410,41	
120	27828,68	21420,76	17576,01	
135	40739,88	31358,99	25730,45	
150	56198,65	43258,17	35493,89	

Quadro A2 — Solicitações obtidas para carregamento de vento considerando $V_0=30\ \text{m/s}$ e categoria de rugosidade III

Vo=30m/s Vento Categoria III

f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
a Careta Care II con	0	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	13,56	10,47	8,54	
45	34,11	26,35	21,49	
60	64,60	49,91	40,70	
75	107,49	83,04	67,72	
90	162,99	125,91	102,69	
105	228,15	176,25	143,74	
120	304,78	235,44	192,01	
135	399,15	308,35	251,47	
150	500.18	386,39	315,11	

		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	14,64	11,19	9,19
45	36,83	28,14	23,12
60	69,77	53,30	43,80
75	116,09	88,68	72,88
90	176,03	134,47	110,51
105	246,41	188,23	154,69
120	329,16	251,44	206,64
135	431,09	329,30	270,63
150	540,19	412,65	339,12

B/D=2				
		H/B	100 March 100 Ma	
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	15,46	11,90	9,76	
45	38,88	29,93	24,56	
60	73,65	56,69	46,51	
75	122,54	94,32	77,39	
90	185,81	143,03	117,35	
105	260,10	200,21	164,27	
120	347,45	267,44	219,44	
135	455,03	350,26	287,39	
150	570,20	438.91	360,13	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/I	D=1	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	257,12	198,63	161,99
45	966,97	746,98	609,19
60	2432,94	1879,44	1532,75
75	5050,96	3901,87	3182,11
90	9177,36	7089,51	5781,74
105	14946,04	11545,82	9416,01
120	22757,29	17580,01	14337,09
135	33498,22	25877,37	21103,88
150	46525,87	35941,23	29311,30

	B/D	=1,5	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	277,69	212,12	174,33
45	1044,32	797,75	655,60
60	2627,57	2007,17	1649,53
75	5455,04	4167,04	3424,55
90	9911,55	7571,32	6222,25
105	16141,72	12330,48	10133,42
120	24577,87	18774,76	15429,44
135	36178,07	27636,03	22711,79
150	50247,93	38383,84	31544,54

	B/D=2				
		H/B	07		
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	293,12	225,62	185,13		
45	1102,34	848,51	696,22		
60	2773,55	2134,90	1751,72		
75	5758,10	4432,22	3636,69		
90	10462,19	8053,14	6607,70		
105	17038,49	13115,15	10761,15		
120	25943,31	19969,52	16385,25		
135	38187,97	29394,68	24118,72		
150	53039,49	40826,45	33498,62		

Vo=30m/s Vento Categoria III f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
	20	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	12,63	9,75	7,96	
45	31,33	24,20	19,74	
60	59,51	45,97	37,49	
75	96,05	74,20	60,51	
90	145,95	112,75	91,95	
105	204,66	158,10	128,94	
120	278,22	214,92	175,28	
135	359,11	277,42	226,24	
150	457,74	353,60	288,37	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	13,64	10,42	8,56	
45	33,84	25,85	21,24	
60	64,27	49,10	40,35	
75	103,73	79,24	65,12	
90	157,63	120,41	98,96	
105	221,04	168,85	138,76	
120	300,47	229,53	188,63	
135	387,84	296,27	243,48	
150	494,35	377,63	310,34	

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	14,40	11,08	9,09	
45	35,72	27,49	22,56	
60	67,84	52,22	42,85	
75	109,50	84,28	69,16	
90	166,39	128,08	105,09	
105	233,32	179,59	147,36	
120	317,17	244,14	200,32	
135	409,39	315,12	258,56	
150	521,82	401,66	329,57	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	244,48	188,86	154,02	
45	904,30	698,57	569,71	
60	2278,71	1760,30	1435,59	
75	4567,23	3528,19	2877,36	
90	8312,80	6421,64	5237,07	
105	13547,95	10465,79	8535,21	
120	21019,71	16237,73	13242,42	
135	30417,66	23497,64	19163,12	
150	43034,33	33244,02	27111,63	

B/D=1,5				
	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	264,04	201,70	165,76	
45	976,64	746,05	613,11	
60	2461,01	1879,94	1544,97	
75	4932,61	3767,97	3096,58	
90	8977,83	6858,06	5636,08	
105	14631,79	11177,06	9185,51	
120	22701,29	17341,26	14251,37	
135	32851,07	25094,57	20623,17	
150	46477,07	35503,32	29177,27	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	278,71	214,53	176,03		
45	1030,90	793,52	651,10		
60	2597,73	1999,57	1640,67		
75	5206,65	4007,75	3288,41		
90	9476,60	7294,49	5985,22		
105	15444,66	11888,33	9754,52		
120	23962,47	18444,80	15134,19		
135	34676,13	26691,50	21900,71		
150	49059,13	37762,62	30984,71		

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro A3 — Solicitações obtidas para carregamento de vento considerando $V_0=30\ m/s$ e categoria de rugosidade IV

Vo=30m/s Vento Categoria IV f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

	B/I	D=1	, , , , , , , , , , , , , , , , ,
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	9,56	7,38	6,02
45	24,71	19,09	15,57
60	48,54	37,50	30,58
75	82,02	63,36	51,67
90	125,97	97,31	79,36
105	181,12	139,91	114,10
120	248,13	191,68	156,32
135	327,60	253,07	206,39
150	420,10	324,53	264,66

	B/D=1,5				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	10,32	7,88	6,48		
45	26,69	20,39	16,75		
60	52,43	40,05	32,91		
75	88,58	67,67	55,61		
90	136,05	103,93	85,41		
105	195,61	149,42	122,80		
120	267,98	204,70	168,23		
135	353,81	270,27	222,11		
150	453,71	346,58	284,83		

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	10,90	8,39	6,88	
45	28,17	21,68	17,79	
60	55,34	42,60	34,95	
75	93,51	71,97	59,06	
90	143,61	110,54	90,70	
105	206,48	158,93	130,41	
120	282,86	217,73	178,65	
135	373,46	287,47	235,87	
150	478,92	368,64	302,47	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/I	D=1	
Seattle att		H/B	170 Table 2 and 2
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	183,28	141,59	115,47
45	708,35	547,20	446,26
60	1850,91	1429,83	1166,07
75	3901,84	3014,17	2458,16
90	7179,84	5546,43	4523,30
105	12027,82	9291,49	7577,53
120	18810,38	14531,01	11850,54
135	27911,81	21561,87	17584,44
150	39734,65	30695,02	25032,83

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	197,95	151,21	124,27	
45	765,02	584,39	480,26	
60	1998,98	1527,00	1254,92	
75	4213,99	3219,02	2645,45	
90	7754,23	5923,37	4867,93	
105	12990,05	9922,95	8154,86	
120	20315,21	15518,56	12753,43	
135	30144,76	23027,24	18924,21	
150	42913,43	32781,09	26940,09	

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	208,94	160,83	131,97	
45	807,52	621,58	510,01	
60	2110,04	1624,17	1332,66	
75	4448,10	3423,87	2809,33	
90	8185,02	6300,31	5169,49	
105	13711,72	10554,42	8660,03	
120	21443,83	16506,10	13543,47	
135	31819,47	24492,61	20096,50	
150	45297.50	34867.16	28608.95	

Vo=30m/s Vento Categoria IV f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

	D/1	D=1	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	8,91	6,89	5,62
45	23,12	17,86	14,57
60	45,53	35,17	28,68
75	77,06	59,53	48,55
90	116,78	90,22	73,57
105	165,72	128,02	104,40
120	224,09	173,11	141,17
135	292,05	225,61	183,99
150	353,45	273,04	222,67

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	9,63	7,35	6,04	
45	24,97	19,08	15,68	
60	49,17	37,56	30,87	
75	83,23	63,57	52,25	
90	126,13	96,35	79,18	
105	178,97	136,72	112,36	
120	242,01	184,87	151,93	
135	315,42	240,94	198,01	
150	381,73	291,60	239,64	

B/D=2				
1		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	10,16	7,82	6,42	
45	26,36	20,29	16,65	
60	51,90	39,95	32,78	
75	87,85	67,62	55,48	
90	133,13	102,48	84,08	
105	188,92	145,42	119,32	
120	255,46	196,64	161,34	
135	332,94	256,27	210,28	
150	402,93	310,15	254,48	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/I	D=1		
	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	174,65	134,92	110,03	
45	676,36	522,49	426,11	
60	1769,89	1367,24	1115,03	
75	3735,27	2885,50	2353,22	
90	6767,32	5227,75	4263,41	
105	11164,24	8624,37	7033,47	
120	17196,52	13284,31	10833,81	
135	25134,57	19416,45	15834,78	
150	33491,32	25872,04	21099,53	

B/D=1,5				
	į.	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	188,62	144,09	118,41	
45	730,47	558,00	458,57	
60	1911,48	1460,16	1199,99	
75	4034,09	3081,60	2532,51	
90	7308,70	5583,04	4588,24	
105	12057,37	9210,49	7569,35	
120	18572,24	14187,13	11659,24	
135	27145,33	20736,02	17041,24	
150	36170,62	27630,34	22707,11	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	199,10	153,26	125,75		
45	771,05	593,50	486,98		
60	2017,68	1553,08	1274,32		
75	4258,21	3277,70	2689,40		
90	7714,74	5938,32	4872,47		
105	12727,23	9796,62	8038,25		
120	19604,03	15089,95	12381,49		
135	28653,40	22055,58	18096,89		
150	38180,10	29388,63	24113,75		

Quadro A4 – Solicitações obtidas para carregamento de vento considerando $V_0=35\ \text{m/s}$ e categoria de rugosidade II

Vo=35m/s Vento Categoria II f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	23,49	18,15	14,80	
45	57,92	44,74	36,49	
60	111,80	86,36	70,43	
75	180,72	139,61	113,86	
90	266,86	206,15	168,12	
105	370,17	285,95	233,20	
120	498,84	385,35	314,27	
135	649,05	501,39	408,90	
150	821,43	634,55	517,50	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	25,37	19,38	15,93	
45	62,55	47,78	39,27	
60	120,74	92,23	75,80	
75	195,18	149,10	122,53	
90	288,21	220,16	180,93	
105	399,78	305,39	250,97	
120	538,75	411,54	338,21	
135	700,98	535,47	440,06	
150	887,14	677,68	556,93	

	B/D=2					
	H/B					
H [m]	3,00	4,00	5,00			
30	26,78	20,62	16,92			
45	66,02	50,82	41,70			
60	127,45	98,10	80,49			
75	206,02	158,58	130,12			
90	304,22	234,17	192,14			
105	421,99	324,82	266,52			
120	568,68	437,73	359,16			
135	739,92	569,54	467,32			
150	936,43	720,80	591,43			

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	439,85	339,79	277,11	
45	1621,57	1252,66	1021,59	
60	4172,00	3222,87	2628,36	
75	8401,74	6490,34	5293,09	
90	14840,94	11464,62	9349,79	
105	23945,69	18498,05	15085,79	
120	36843,29	28461,45	23211,28	
135	53883,51	41625,01	33946,61	
150	75712,78	58488,12	47699,05	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	475,04	362,88	298,22	
45	1751,29	1337,79	1099,42	
60	4505,76	3441,90	2828,61	
75	9073,88	6931,43	5696,38	
90	16028,21	12243,77	10062,10	
105	25861,35	19755,20	16235,18	
120	39790,76	30395,72	24979,75	
135	58194,19	44453,89	36533,02	
150	81769,80	62463,04	51333,26	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	501,43	385,97	316,69		
45	1848,58	1422,92	1167,53		
60	4756,08	3660,93	3003,84		
75	9577,98	7372,52	6049,25		
90	16918,67	13022,92	10685,47		
105	27298,09	21012,35	17240,90		
120	42001,36	32329,99	26527,17		
135	61427,20	47282,78	38796,12		
150	86312,57	66437,96	54513,20		

Vo=35m/s Vento Categoria II(pouca rugosidade) f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
	3	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	21,50	16,61	13,55	
45	52,24	40,36	32,91	
60	99,38	76,77	62,61	
75	160,98	124,36	101,42	
90	242,15	187,06	152,56	
105	342,03	264,22	215,48	
120	453,84	350,59	285,92	
135	591,09	456,62	372,39	
150	748,73	578,39	471,70	

B/D=1,5				
		H/B	v Western	
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	23,22	17,74	14,58	
45	56,42	43,10	35,42	
60	107,34	81,99	67,38	
75	173,86	132,81	109,14	
90	261,52	199,78	164,18	
105	369,40	282,18	231,90	
120	490,15	374,42	307,71	
135	638,38	487,65	400,76	
150	808,63	617,70	507,64	

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	24,51	18,87	15,48	
45	59,56	45,84	37,62	
60	113,30	87,21	71,56	
75	183,52	141,26	115,91	
90	276,05	212,49	174,35	
105	389,92	300,13	246,26	
120	517,38	398,25	326,77	
135	673,84	518,68	425,58	
150	853,55	657,01	539,09	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B	ea'	
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	409,40	316,26	257,92	
45	1482,84	1145,49	934,19	
60	3751,20	2897,80	2363,25	
75	7560,85	5840,76	4763,34	
90	13625,41	10525,63	8584,01	
105	22421,81	17320,85	14125,74	
120	33874,40	26167,98	21340,87	
135	49580,97	38301,30	31236,01	
150	69716,79	53856,22	43921,57	

	B/D	=1,5	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	442,15	337,75	277,57
45	1601,46	1223,34	1005,36
60	4051,29	3094,74	2543,31
75	8165,72	6237,70	5126,26
90	14715,45	11240,97	9238,03
105	24215,55	18497,99	15201,99
120	36584,35	27946,38	22966,85
135	53547,44	40904,30	33615,90
150	75294,13	57516,35	47267,98

B/D=2					
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	466,71	359,25	294,77		
45	1690,43	1301,19	1067,64		
60	4276,36	3291,68	2700,86		
75	8619,37	6634,65	5443,81		
90	15532,97	11956,30	9810,30		
105	25560,86	19675,14	16143,70		
120	38616,82	29724,79	24389,57		
135	56522,30	43507,30	35698,30		
150	79477,14	61176,48	50196,09		

Quadro A5 — Solicitações obtidas para carregamento de vento considerando $V_0=35\ m/s$ e categoria de rugosidade III

Vo=35m/s Vento Categoria III f=

f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	18,46	14,26	11,63	
45	46,42	35,86	29,25	
60	90,86	70,19	57,24	
75	148,69	114,86	93,67	
90	218,30	168,64	137,53	
105	310,54	239,90	195,64	
120	428,15	330,74	269,73	
135	560,51	432,99	353,12	
150	713,31	551,03	449,39	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	19,93	15,23	12,51	
45	50,13	38,30	31,47	
60	98,13	74,96	61,60	
75	160,58	122,67	100,81	
90	235,76	180,10	148,01	
105	335,39	256,20	210,55	
120	462,40	353,22	290,28	
135	605,35	462,42	380,03	
150	770,37	588,48	483,62	

	B/I	D=2	
		H/B	eta.
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	21,04	16,19	13,29
45	52,92	40,73	33,42
60	103,58	79,73	65,42
75	169,50	130,47	107,06
90	248,86	191,56	157,18
105	354,02	272,50	223,59
120	488,09	375,70	308,27
135	638,98	491,85	403,57
150	813.17	625.93	513.58

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	349,97	270,35	220,48	
45	1316,15	1016,73	829,17	
60	3431,70	2650,99	2161,97	
75	6997,25	5405,38	4408,27	
90	12272,78	9480,72	7731,85	
105	20343,22	15715,14	12816,23	
120	32068,35	24772,80	20203,06	
135	47185,55	36450,83	29726,89	
150	66664,45	51498,29	41998,60	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	377,97	288,73	237,28	
45	1421,44	1085,82	892,35	
60	3706,23	2831,15	2326,69	
75	7557,03	5772,73	4744,14	
90	13254,60	10125,04	8320,94	
105	21970,68	16783,16	13792,7	
120	34633,82	26456,39	21742,34	
135	50960,39	38928,07	31991,80	
150	71997,60	54998,17	45198,50	

	B/D=2				
	H/B				
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	398,97	307,10	251,98		
45	1500,41	1154,92	947,63		
60	3912,14	3011,32	2470,82		
75	7976,87	6140,09	5038,02		
90	13990,96	10769,36	8836,40		
105	23191,27	17851,18	14647,12		
120	36557,92	28139,98	23089,22		
135	53791,52	41405,32	33973,59		
150	75997,47	58498,05	47998,40		

Vo=35m/s Vento Categoria III f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
	5	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	16,90	13,05	10,65	
45	43,35	33,49	27,31	
60	82,32	63,59	51,86	
75	135,02	104,30	85,06	
90	201,85	155,93	127,17	
105	283,04	218,65	178,31	
120	384,67	297,15	242,34	
135	504,27	389,55	317,69	
150	642,51	496,34	404,78	

B/D=1,5				
	0	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	18,25	13,94	11,46	
45	46,81	35,76	29,39	
60	88,90	67,91	55,81	
75	145,82	111,39	91,54	
90	218,00	166,53	136,85	
105	305,68	233,51	191,90	
120	415,44	317,35	260,80	
135	544,61	416,02	341,89	
150	693,91	530,07	435,62	

	B/I	D=2	
2		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	19,26	14,83	12,17
45	49,42	38,04	31,21
60	93,84	72,23	59,27
75	153,92	118,48	97,21
90	230,11	177,12	145,33
105	322,66	248,37	203,79
120	438,52	337,54	276,96
135	574,86	442,49	363,07
150	732,46	563,80	462,61

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/I	D=1	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	326,52	252,24	205,71
45	1253,56	968,38	789,74
60	3158,36	2439,83	1989,76
75	6447,64	4980,80	4062,02
90	11521,20	8900,13	7258,35
105	18777,74	14505,81	11829,98
120	29126,52	22500,24	18349,71
135	42904,61	33143,81	27029,90
150	60676,52	46872.61	38226,21

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	352,64	269,38	221,38	
45	1353,85	1034,19	849,92	
60	3411,02	2605,64	2141,37	
75	6963,46	5319,31	4371,50	
90	12442,89	9504,99	7811,37	
105	20279,96	15491,64	12731,31	
120	31456,64	24029,38	19747,78	
135	46336,98	35396,30	29089,32	
150	65530,64	50058,13	41138,68	

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	372,24	286,52	235,10	
45	1429,06	1100,00	902,56	
60	3600,53	2771,46	2274,02	
75	7350,31	5657,81	4642,30	
90	13134,17	10109,85	8295,26	
105	21406,63	16477,47	13519,97	
120	33204,24	25558,52	20971,10	
135	48911,25	37648,79	30891,32	
150	69171,24	53243,65	43687,10	

Quadro A6 – Solicitações obtidas para carregamento de vento considerando $V_0=35\ m/s$ e categoria de rugosidade IV

Vo=35m/s Vento Categoria IV f=:

f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	13,46	10,40	8,48	
45	34,75	26,84	21,89	
60	68,20	52,68	42,96	
75	116,88	90,29	73,63	
90	174,08	134,48	109,67	
105	246,52	190,44	155,31	
120	347,69	268,59	219,04	
135	458,85	354,46	289,08	
150	579 99	448 05	365 40	

B/D=1,5				
		H/B	A 940000000	
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	14,54	11,11	9,13	
45	37,53	28,67	23,56	
60	73,65	56,26	46,24	
75	126,23	96,42	79,24	
90	188,01	143,62	118,03	
105	266,24	203,38	167,14	
120	375,50	286,84	235,73	
135	495,56	378,55	311,10	
150	626,39	478,50	393,24	

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	15,35	11,81	9,69	
45	39,62	30,49	25,02	
60	77,74	59,84	49,10	
75	133,24	102,56	84,15	
90	198,45	152,76	125,34	
105	281,04	216,32	177,50	
120	396,36	305,09	250,33	
135	523,09	402,64	330,37	
150	661,19	508.95	417.60	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/I	D=1	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	258,76	199,89	163,02
45	998,56	771,39	629,09
60	2606,46	2013,49	1642,07
75	5579,64	4310,27	3515,18
90	9934,02	7674,03	6258,43
105	16371,21	12646,76	10313,86
120	26420,81	20410,08	16645,11
135	39187,46	30272,31	24688,10
150	54923,97	42428,76	34602,10

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	279,46	213,48	175,44	
45	1078,44	823,81	677,02	
60	2814,97	2150,33	1767,18	
75	6026,02	4603,21	3783,00	
90	10728,74	8195,57	6735,27	
105	17680,90	13506,24	11099,68	
120	28534,47	21797,17	17913,31	
135	42322,45	32329,65	26569,10	
150	59317,88	45312,27	37238,45	

B/D=2				
		H/B	0.:	
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	294,99	227,06	186,31	
45	1138,36	876,24	718,96	
60	2971,36	2287,17	1876,65	
75	6360,79	4896,14	4017,34	
90	11324,79	8717,10	7152,50	
105	18663,17	14365,73	11787,27	
120	30119,72	23184,26	19022,98	
135	44673,70	34386,99	28214,97	
150	62613,32	48195,78	39545.26	

Vo=35m/s Vento Categoria IV f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
	5	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	12,13	9,37	7,64	
45	31,97	24,70	20,14	
60	61,97	47,87	39,04	
75	104,89	81,03	66,08	
90	158,96	122,79	100,14	
105	225,56	174,24	142,10	
120	305,01	235,62	192,15	
135	409,18	316,09	257,79	
150	532,74	411,54	335,63	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	13,10	10,01	8,23	
45	34,53	26,38	21,68	
60	66,92	51,12	42,01	
75	113,28	86,53	71,11	
90	171,67	131,14	107,77	
105	243,60	186,09	152,93	
120	329,41	251,63	206,79	
135	441,92	337,58	277,43	
150	575,36	439,51	361,20	

B/D=2				
į.		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	13,83	10,65	8,74	
45	36,45	28,06	23,02	
60	70,64	54,38	44,62	
75	119,57	92,04	75,52	
90	181,21	139,48	114,45	
105	257,14	197,93	162,40	
120	347,71	267,64	219,60	
135	466,47	359,06	294,61	
150	607,33	467,48	383,57	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	237,72	183,64	149,76	
45	936,90	723,75	590,25	
60	2409,02	1860,97	1517,68	
75	5084,12	3927,48	3203,00	
90	9211,07	7115,55	5802,97	
105	15195,77	11738,73	9573,33	
120	23406,37	18081,42	14746,02	
135	35344,18	27303,38	22266,83	
150	51159,68	39520,85	32230,60	

B/D=1,5				
	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	256,74	196,12	161,17	
45	1011,85	772,94	635,22	
60	2601,74	1987,44	1633,32	
75	5490,85	4194,40	3447,03	
90	9947,95	7599,13	6245,10	
105	16411,43	12536,51	10302,73	
120	25278,88	19310,26	15869,52	
135	38171,72	29158,95	23963,35	
150	55252,46	42206,74	34686,26	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	271,00	208,60	171,16		
45	1068,06	822,13	674,57		
60	2746,28	2113,92	1734,50		
75	5795,90	4461,32	3660,57		
90	10500,62	8082,71	6631,97		
105	17323,17	13334,28	10940,95		
120	26683,27	20539,09	16852,59		
135	40292,37	31014,52	25447,81		
150	58322,04	44892,62	36834,97		

Quadro A7 — Solicitações obtidas para carregamento de vento considerando $V_0=45\ \text{m/s}$ e categoria de rugosidade II

Vo=45m/s Vento Categoria II f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	39,54	30,54	24,91	
45	99,10	76,55	62,43	
60	187,93	145,17	118,39	
75	308,82	238,57	194,56	
90	456,05	352,30	287,31	
105	643,07	496,77	405,13	
120	866,13	669,09	545,66	
135	1126,41	870,15	709,64	
150	1402,59	1083,50	883,63	

B/D=1,5				
	0	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	42,70	32,62	26,81	
45	107,03	81,76	67,19	
60	202,96	155,04	127,42	
75	333,53	254,78	209,38	
90	492,53	376,24	309,20	
105	694,51	530,53	436,00	
120	935,42	714,56	587,24	
135	1216,52	929,29	763,71	
150	1514,80	1157,14	950,96	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	45,08	34,70	28,47		
45	112,97	86,96	71,35		
60	214,24	164,91	135,31		
75	352,06	270,99	222,35		
90	519,89	400,18	328,35		
105	733,09	564,29	463,01		
120	987,39	760,03	623,61		
135	1284,11	988,42	811,01		
150	1598,96	1230,78	1009,87		

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	741,53	572,83	467,16	
45	2784,02	2150,65	1753,93	
60	7024,61	5426,51	4425,50	
75	14405,77	11128,46	9075,63	
90	25451,45	19661,24	16034,41	
105	41822,62	32307,98	26348,25	
120	64313,90	49682,49	40517,76	
135	94014,07	72625,87	59228,86	
150	129748,66	100230,84	81741,66	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	800,85	611,76	502,76	
45	3006,74	2296,82	1887,56	
60	7586,57	5795,30	4762,68	
75	15558,23	11884,76	9767,11	
90	27487,56	20997,45	17256,0	
105	45168,43	34503,66	28355,74	
120	69459,02	53058,97	43604,8	
135	101535,20	77561,61	63741,5	
150	140128,56	107042,65	87969,5	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	845,34	650,69	533,90		
45	3173,78	2442,98	2004,49		
60	8008,05	6164,09	5057,72		
75	16422,58	12641,06	10372,15		
90	29014,65	22333,65	18325,04		
105	47677,79	36699,35	30112,29		
120	73317,85	56435,45	46306,01		
135	107176,04	82497,35	67690,13		
150	147913.48	113854,45	93419.04		

Vo=45m/s

Vento Categoria II f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	36,81	28,43	23,19	
45	90,88	70,21	57,26	
60	172,68	133,39	108,79	
75	284,18	219,53	179,04	
90	420,35	324,72	264,82	
105	584,03	451,16	367,94	
120	775,05	598,73	488,28	
135	993,10	767,17	625,65	
150	1257,75	971,61	792,38	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	39,75	30,37	24,95	
45	98,15	74,98	61,62	
60	186,49	142,46	117,08	
75	306,92	234,45	192,68	
90	453,98	346,79	285,00	
105	630,75	481,83	395,97	
120	837,06	639,42	525,49	
135	1072,54	819,30	673,32	
150	1358,37	1037,64	852,75	

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	41,96	32,30	26,50	
45	103,60	79,75	65,43	
60	196,85	151,52	124,33	
75	323,97	249,37	204,61	
90	479,20	368,86	302,65	
105	665,79	512,49	420,50	
120	883,56	680,11	558,04	
135	1132,13	871,44	715,03	
150	1433,83	1103,67	905,58	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	703,96	543,81	443,49	
45	2597,53	2006,59	1636,44	
60	6563,07	5069,97	4134,73	
75	13473,64	10408,39	8488,40	
90	23822,40	18402,80	15008,11	
105	38471,70	29719,39	24237,17	
120	58139,32	44912,62	36627,77	
135	83513,09	64513,86	52613,25	
150	117409,97	90699,21	73968,28	

B/D=1,5				
	20	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	760,27	580,76	477,28	
45	2805,33	2142,96	1761,13	
60	7088,11	5414,53	4449,76	
75	14551,54	11115,76	9135,13	
90	25728,19	19653,48	16151,59	
105	41549,43	31739,15	26083,81	
120	62790,46	47964,94	39418,46	
135	90194,14	68898,30	56621,88	
150	126802,77	96863,23	79603,96	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	802,51	617,72	506,85		
45	2961,18	2279,33	1870,22		
60	7481,90	5759,09	4725,41		
75	15359,95	11823,12	9701,02		
90	27157,53	20904,15	17152,13		
105	43857,73	33758,91	27699,62		
120	66278,82	51017,25	41860,31		
135	95204,93	73282,74	60129,43		
150	133847,37	103027,25	84535,18		

Quadro A8 — Solicitações obtidas para carregamento de vento considerando $V_0=45\ \text{m/s}$ e categoria de rugosidade III

Vo=45m/s Vento Categoria III f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1					
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	31,57	24,39	19,89		
45	80,61	62,27	50,78		
60	155,03	119,76	97,67		
75	265,49	205,09	167,26		
90	384,34	296,90	242,13		
105	538,00	415,61	338,94		
120	729,76	563,74	459,75		
135	955,02	737,75	601,66		
150	1197,06	924,73	754,15		

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	34,10	26,05	21,41	
45	87,06	66,50	54,65	
60	167,44	127,90	105,11	
75	286,73	219,03	180,00	
90	415,08	317,08	260,58	
105	581,04	443,85	364,77	
120	788,14	602,05	494,78	
135	1031,42	787,89	647,50	
150	1292,83	987,58	811,61	

	B/D=2				
		H/B	10001111		
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	35,99	27,70	22,73		
45	91,89	70,73	58,04		
60	176,74	136,04	111,62		
75	302,66	232,97	191,15		
90	438,14	337,26	276,72		
105	613,32	472,10	387,36		
120	831,92	640,36	525,43		
135	1088,72	838,03	687,61		
150	1364,65	1050,42	861,88		

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	600,37	463,79	378,23	
45	2294,90	1772,81	1445,79	
60	5871,50	4535,74	3699,05	
75	12577,97	9716,48	7924,12	
90	21733,32	16788,99	13691,9	
105	35400,16	27346,62	22302,1	
120	54818,00	42346,91	34535,3	
135	80630,20	62286,83	50797,0	
150	112039,49	86550,50	70584,8	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	648,40	495,31	407,05	
45	2478,49	1893,29	1555,94	
60	6341,22	4843,99	3980,88	
75	13584,21	10376,83	8527,86	
90	23471,99	17929,99	14735,19	
105	38232,17	29205,13	24001,31	
120	59203,45	45224,85	37166,61	
135	87080,62	66519,92	54667,28	
150	121002,64	92432,58	75962,77	

	B/D=2				
	H/B				
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	684,42	526,82	432,27		
45	2616,18	2013,77	1652,33		
60	6693,51	5152,24	4227,48		
75	14338,89	11037,17	9056,14		
90	24775,99	19070,99	15647,99		
105	40356,18	31063,64	25488,11		
120	62492,53	48102,80	39468,96		
135	91918,43	70753,00	58053,75		
150	127725,01	98314,65	80668,43		

Vo=45m/s Vento Categoria III f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	28,41	21,95	17,90	
45	70,50	54,46	44,41	
60	136,07	105,12	85,73	
75	226,74	175,15	142,84	
90	338,94	261,83	213,54	
105	475,26	367,14	299,42	
120	635,88	491,21	400,60	
135	833,58	643,94	525,16	
150	1046,00	808,04	658,98	

B/D=1,5				
		H/B	10	
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	30,69	23,44	19,26	
45	76,14	58,16	47,80	
60	146,96	112,26	92,26	
75	244,87	187,06	153,73	
90	366,06	279,63	229,80	
105	513,29	392,09	322,23	
120	686,75	524,60	431,12	
135	900,27	687,71	565,17	
150	1129,68	862,95	709,19	

B/D=2				
	5	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	32,39	24,93	20,46	
45	80,36	61,86	50,76	
60	155,12	119,40	97,97	
75	258,48	198,96	163,25	
90	386,40	297,42	244,04	
105	541,80	417,05	342,19	
120	724,90	557,98	457,83	
135	950,29	731,47	600,18	
150	1192,45	917,87	753,12	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	550,08	424,94	346,55	
45	2034,67	1571,78	1281,84	
60	5220,96	4033,19	3289,20	
75	10849,39	8381,15	6835,11	
90	19386,68	14976,21	12213,61	
105	31598,63	24409,94	19907,14	
120	48147,92	37194,27	30333,19	
135	70923,95	54788,75	44682,09	
150	98564,62	76141,17	62095,71	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	594,09	453,82	372,96	
45	2197,45	1678,60	1379,51	
60	5638,63	4307,29	3539,81	
75	11717,34	8950,74	7355,88	
90	20937,62	15994,01	13144,17	
105	34126,52	26068,87	21423,87	
120	51999,76	39722,04	32644,29	
135	76597,86	58512,26	48086,44	
150	106449,79	81315,81	66826,81	

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	627,09	482,70	396,06	
45	2319,53	1785,42	1464,96	
60	5951,89	4581,39	3759,09	
75	12368,30	9520,34	7811,56	
90	22100,82	17011,81	13958,41	
105	36022,44	27727,80	22751,01	
120	54888,63	42249,80	34666,51	
135	80853,30	62235,76	51065,24	
150	112363,67	86490,45	70966,53	

Quadro A9 — Solicitações obtidas para carregamento de vento considerando $V_0=45\ m/s$ e categoria de rugosidade IV

Vo=45m/s Vento Categoria IV f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

	B/D=1				
		H/B	10		
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	22,63	17,48	14,25		
45	60,22	46,52	37,94		
60	118,00	91,15	74,34		
75	198,98	153,71	125,36		
90	300,77	232,34	189,48		
105	431,96	333,69	272,14		
120	591,21	456,71	372,46		
135	769,21	594,22	484,60		
150	985,84	761,56	621,08		

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	24,44	18,67	15,34	
45	65,03	49,68	40,83	
60	127,44	97,35	80,00	
75	214,90	164,16	134,91	
90	324,83	248,13	203,92	
105	466,52	356,37	292,87	
120	638,51	487,75	400,84	
135	830,75	634,60	521,52	
150	1064,71	813,32	668,40	

	B/D=2				
	H/B				
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	25,79	19,85	16,29		
45	68,65	52,84	43,36		
60	134,51	103,54	84,96		
75	226,84	174,60	143,26		
90	342,88	263,92	216,55		
105	492,44	379,05	311,01		
120	673,98	518,79	425,67		
135	876,90	674,98	553,83		
150	1123,86	865,08	709,81		

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	435,42	336,37	274,32	
45	1736,02	1341,07	1093,69	
60	4524,75	3495,37	2850,60	
75	9519,72	7353,99	5997,42	
90	17222,26	13304,19	10850,02	
105	28819,12	22262,77	18156,04	
120	45027,09	34783,43	28367,07	
135	65768,11	50805,87	41433,91	
150	93572,10	72284,45	58950,43	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	470,26	359,23	295,22	
45	1874,90	1432,21	1177,02	
60	4886,73	3732,92	3067,78	
75	10281,30	7853,77	6454,37	
90	18600,04	14208,36	11676,69	
105	31124,65	23775,77	19539,36	
120	48629,25	37147,35	30528,37	
135	71029,56	54258,69	44590,78	
150	101057,87	77196,99	63441,89	

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	496,38	382,09	313,51	
45	1979,06	1523,36	1249,93	
60	5158,22	3970,47	3257,82	
75	10852,48	8353,56	6854,20	
90	19633,37	15112,53	12400,02	
105	32853,79	25288,78	20749,76	
120	51330,88	39511,27	32419,50	
135	74975,65	57711,52	47353,04	
150	106672,20	82109,52	67371,92	

Vo=45m/s Vento Categoria IV f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	20,73	16,02	13,06	
45	52,86	40,83	33,30	
60	104,02	80,35	65,53	
75	175,99	135,95	110,87	
90	266,67	206,00	168,00	
105	383,88	296,54	241,84	
120	519,03	400,95	326,99	
135	686,05	529,97	432,21	
150	892,86	689,73	562,50	

	B/D	=1,5	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	22,39	17,10	14,06
45	57,08	43,61	35,84
60	112,34	85,81	70,52
75	190,07	145,19	119,32
90	288,00	220,00	180,80
105	414,59	316,70	260,27
120	560,55	428,20	351,90
135	740,93	565,99	465,14
150	964,28	736,61	605,36

B/D=2			
	5)	H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	23,63	18,19	14,93
45	60,26	46,38	38,06
60	118,58	91,27	74,89
75	200,62	154,43	126,71
90	304,00	234,00	192,00
105	437,62	336,85	276,39
120	591,69	455,45	373,70
135	782,10	602,01	493,96
150	1017,85	783,48	642,86

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/I	D=1	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	407,51	314,80	256,73
45	1548,75	1196,41	975,71
60	4050,50	3129,01	2551,81
75	8544,66	6600,75	5383,14
90	15479,28	11957,74	9751,94
105	25951,44	20047,49	16349,41
120	39972,70	30878,91	25182,80
135	59362,76	45857,73	37398,54
150	85886,46	66347,29	54108,47

B/D=1,5					
	H/B				
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	440,11	336,19	276,29		
45	1672,65	1277,72	1050,05		
60	4374,54	3341,66	2746,24		
75	9228,23	7049,34	5793,28		
90	16717,62	12770,40	10494,95		
105	28027,56	21409,94	17595,08		
120	43170,52	32977,48	27101,49		
135	64111,78	48974,27	40247,95		
150	92757,38	70856,33	58231,02		

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	464,56	357,59	293,41		
45	1765,58	1359,03	1115,10		
60	4617,57	3554,31	2916,36		
75	9740,91	7497,94	6152,16		
90	17646,38	13583,07	11145,08		
105	29584,64	22772,39	18685,04		
120	45568,88	35076,04	28780,34		
135	67673,54	52090,82	42741,18		
150	97910,57	75365,37	61838,25		

 $\mathbf{AP\hat{E}NDICE}\ \mathbf{B} - \mathbf{Solicita}$ ções oriundas de cargas de sismos

Quadro B1 – Solicitações obtidas para carregamento de sismos considerando Zona Sísmica 1

Sismo Zona 1

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	9,71	5,46	3,49	
45	32,76	18,43	11,80	
60	77,66	43,69	27,96	
75	151,69	85,32	54,61	
90	262,11	147,44	94,36	
105	416,23	234,13	149,84	
120	621,31	349,49	223,67	
135	884,64	497,61	318,47	
150	1213,49	682,59	436,86	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	6,47	3,64	2,33	
45	21,84	12,29	7,86	
60	51,78	29,12	18,64	
75	101,12	56,88	36,40	
90	174,74	98,29	62,91	
105	277,49	156,09	99,89	
120	414,21	232,99	149,11	
135	589,76	331,74	212,31	
150	808,99	455,06	291,24	

B/D=2			
		H/B	vor
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	4,85	2,73	1,75
45	16,38	9,21	5,90
60	38,83	21,84	13,98
75	75,84	42,66	27,30
90	131,06	73,72	47,18
105	208,11	117,06	74,92
120	310,65	174,74	111,84
135	442,32	248,80	159,23
150	606,75	341,29	218,43

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	145,62	81,91	52,42	
45	737,20	414,67	265,39	
60	2329,91	1310,57	838,77	
75	5688,25	3199,64	2047,77	
90	11795,15	6634,77	4246,25	
105	21851,97	12291,73	7866,71	
120	37278,49	20969,15	13420,26	
135	59712,93	33588,52	21496,66	
150	91011,94	51194,21	32764,30	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	97,08	54,61	34,95	
45	491,46	276,45	176,93	
60	1553,27	873,71	559,18	
75	3792,16	2133,09	1365,18	
90	7863,43	4423,18	2830,84	
105	14567,98	8194,49	5244,47	
120	24852,33	13979,43	8946,84	
135	39808,62	22392,35	14331,10	
150	60674,63	34129,48	21842,87	

B/D=2				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	72,81	40,96	26,21	
45	368,60	207,34	132,70	
60	1164,95	655,29	419,38	
75	2844,12	1599,82	1023,88	
90	5897,57	3317,39	2123,13	
105	10925,98	6145,87	3933,35	
120	18639,24	10484,58	6710,13	
135	29856,47	16794,26	10748,33	
150	45505,97	25597,11	16382,15	

Quadro B2 – Solicitações obtidas para carregamento de sismos considerando Zona Sísmica 2 e solo classe D

Zona 2 ag=0,05g Sismo Solo Tipo D(solo rigido) f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
		H/B	9	
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	42,07	23,66	15,14	
45	94,65	53,24	34,07	
60	168,27	94,65	60,58	
75	262,92	147,89	94,65	
90	378,61	212,97	136,30	
105	515,33	289,87	185,52	
120	673,08	378,61	242,31	
135	851,87	479,18	306,67	
150	1051,69	591,58	378,61	

B/D=1,5				
		H/B	20	
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	28,05	15,78	10,10	
45	63,10	35,49	22,72	
60	112,18	63,10	40,39	
75	175,28	98,60	63,10	
90	252,41	141,98	90,87	
105	343,55	193,25	123,68	
120	448,72	252,41	161,54	
135	567,91	319,45	204,45	
150	701,13	394,39	252,41	

	B/D=2				
		H/B	46"		
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	21,03	11,83	7,57		
45	47,33	26,62	17,04		
60	84,14	47,33	30,29		
75	131,46	73,95	47,33		
90	189,30	106,48	68,15		
105	257,66	144,94	92,76		
120	336,54	189,30	121,16		
135	425,94	239,59	153,34		
150	525,85	295,79	189,30		

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	878,84	494,35	316,38	
45	3069,20	1726,42	1104,91	
60	7483,44	4209,44	2694,04	
75	14738,68	8290,51	5305,92	
90	25468,43	14325,99	9168,64	
105	40442,93	22749,15	14559,46	
120	60369,62	33957,91	21733,06	
135	85955,97	48350,23	30944,15	
150	117909,42	66324,05	42447,39	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	585,89	329,57	210,92	
45	2046,13	1150,95	736,61	
60	4988,96	2806,29	1796,03	
75	9825,78	5527,00	3537,28	
90	16978,96	9550,66	6112,42	
105	26961,95	15166,10	9706,30	
120	40246,42	22638,61	14488,71	
135	57303,98	32233,49	20629,43	
150	78606,28	44216,03	28298,26	

	B/D=2				
	H/B				
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	439,42	247,17	158,19		
45	1534,60	863,21	552,46		
60	3741,72	2104,72	1347,02		
75	7369,34	4145,25	2652,96		
90	12734,22	7163,00	4584,32		
105	20221,47	11374,57	7279,73		
120	30184,81	16978,96	10866,53		
135	42977,98	24175,12	15472,07		
150	58954,71	33162,02	21223,70		

Zona 2 ag=0,05g Sismo Solo Tipo D(solo rígido) f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	55,82	31,40	20,10	
45	125,60	70,65	45,21	
60	223,28	125,60	80,38	
75	348,88	196,24	125,60	
90	502,39	282,59	180,86	
105	683,80	384,64	246,17	
120	893,13	502,39	321,53	
135	1130,37	635,83	406,93	
150	1395,52	784,98	502,39	

B/D=1,5			
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	37,21	20,93	13,40
45	83,73	47,10	30,14
60	148,86	83,73	53,59
75	232,59	130,83	83,73
90	334,92	188,39	120,57
105	455,87	256,43	164,11
120	595,42	334,92	214,35
135	753,58	423,89	271,29
150	930,34	523,32	334,92

B/D=2			
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	27,91	15,70	10,05
45	62,80	35,32	22,61
60	111,64	62,80	40,19
75	174,44	98,12	62,80
90	251,19	141,30	90,43
105	341,90	192,32	123,08
120	446,57	251,19	160,76
135	565,18	317,92	203,47
150	697,76	392,49	251,19

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/I	D=1	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	1124,75	632,67	404,91
45	3889,31	2187,74	1400,15
60	9419,13	5298,26	3390,89
75	18751,76	10547,87	6750,64
90	32962,93	18541,65	11866,66
105	53158,50	29901,66	19137,06
120	80105,85	45059,54	28838,10
135	114056,96	64157,04	41060,50
150	156456,73	88006,91	56324,42

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	749,83	421,78	269,94	
45	2592,87	1458,49	933,43	
60	6279,42	3532,17	2260,59	
75	12501,18	7031,91	4500,42	
90	21975,29	12361,10	7911,10	
105	35439,00	19934,44	12758,04	
120	53403,90	30039,69	19225,40	
135	76037,97	42771,36	27373,67	
150	104304,49	58671,27	37549,62	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	562,37	316,34	202,45		
45	1944,65	1093,87	700,08		
60	4709,56	2649,13	1695,44		
75	9375,88	5273,93	3375,32		
90	16481,47	9270,82	5933,33		
105	26579,25	14950,83	9568,53		
120	40052,92	22529,77	14419,05		
135	57028,48	32078,52	20530,25		
150	78228,36	44003,46	28162,21		

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro B3 – Solicitações obtidas para carregamento de sismos considerando Zona Sísmica 2 e solo classe E

Zona 2 ag=0,05g Sismo Solo Tipo E(solo mole) f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	61,35	34,51	22,09	
45	138,03	77,64	49,69	
60	245,40	138,03	88,34	
75	383,43	215,68	138,03	
90	552,14	310,58	198,77	
105	751,52	422,73	270,55	
120	981,58	552,14	353,37	
135	1242,31	698,80	447,23	
150	1533,72	862,72	552,14	

B/D=1,5				
	100	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	40,90	23,01	14,72	
45	92,02	51,76	33,13	
60	163,60	92,02	58,89	
75	255,62	143,79	92,02	
90	368,09	207,05	132,51	
105	501,02	281,82	180,37	
120	654,39	368,09	235,58	
135	828,21	465,87	298,16	
150	1022,48	575,14	368,09	

	B/D=2				
	35	H/B	97		
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	30,67	17,25	11,04		
45	69,02	38,82	24,85		
60	122,70	69,02	44,17		
75	191,71	107,84	69,02		
90	276,07	155,29	99,39		
105	375,76	211,37	135,27		
120	490,79	276,07	176,68		
135	621,16	349,40	223,62		
150	766,86	431,36	276,07		

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/I)=1	
	9	H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	1281,64	720,92	461,39
45	4475,91	2517,70	1611,33
60	10913,35	6138,76	3928,81
75	21493,90	12090,32	7737,81
90	37141,47	20892,08	13370,93
105	58979,27	33175,84	21232,54
120	88039,03	49521,96	31694,05
135	125352,45	70510,75	45126,88
150	171951,24	96722,57	61902,45

B/D=1,5				
	2	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	854,43	480,62	307,59	
45	2983,94	1678,47	1074,22	
60	7275,57	4092,51	2619,21	
75	14329,27	8060,21	5158,54	
90	24760,98	13928,05	8913,95	
105	39319,52	22117,23	14155,03	
120	58692,69	33014,64	21129,37	
135	83568,30	47007,17	30084,59	
150	114634,16	64481,71	41268,30	

	B/I	D=2	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	640,82	360,46	230,70
45	2237,96	1258,85	805,66
60	5456,68	3069,38	1964,40
75	10746,95	6045,16	3868,90
90	18570,73	10446,04	6685,46
105	29489,64	16587,92	10616,27
120	44019,52	24760,98	15847,03
135	62676,23	35255,38	22563,44
150	85975,62	48361,29	30951,22

Zona 2 ag=0,05g Sismo Solo Tipo E(solo mole) f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	81,41	45,79	29,31	
45	183,16	103,03	65,94	
60	325,62	183,16	117,22	
75	508,78	286,19	183,16	
90	732,65	412,11	263,75	
105	997,21	560,93	359,00	
120	1302,48	732,65	468,89	
135	1648,45	927,26	593,44	
150	2035,13	1144,76	732,65	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	54,27	30,53	19,54	
45	122,11	68,69	43,96	
60	217,08	122,11	78,15	
75	339,19	190,79	122,11	
90	488,43	274,74	175,84	
105	664,81	373,95	239,33	
120	868,32	488,43	312,60	
135	1098,97	618,17	395,63	
150	1356,75	763,17	488,43	

B/D=2				
	33333	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	40,70	22,90	14,65	
45	91,58	51,51	32,97	
60	162,81	91,58	58,61	
75	254,39	143,09	91,58	
90	366,32	206,06	131,88	
105	498,61	280,47	179,50	
120	651,24	366,32	234,45	
135	824,23	463,63	296,72	
150	1017,56	572,38	366,32	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/D=1				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	1640,26	922,65	590,49		
45	5671,91	3190,45	2041,89		
60	13736,23	7726,63	4945,04		
75	27346,32	15382,31	9844,68		
90	48070,94	27039,91	17305,54		
105	77522,81	43606,58	27908,21		
120	116821,02	65711,83	42055,57		
135	166333,06	93562,35	59879,90		
150	228166,06	128343,41	82139,78		

B/D=1,5				
	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	1093,51	615,10	393,66	
45	3781,27	2126,97	1361,26	
60	9157,49	5151,09	3296,70	
75	18230,88	10254,87	6563,12	
90	32047,30	18026,60	11537,03	
105	51681,88	29071,05	18605,48	
120	77880,68	43807,88	28037,05	
135	110888,71	62374,90	39919,93	
150	152110,71	85562,27	54759,86	

	B/D=2				
	H/B				
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	820,13	461,32	295,25		
45	2835,95	1595,22	1020,94		
60	6868,11	3863,31	2472,52		
75	13673,16	7691,15	4922,34		
90	24035,47	13519,95	8652,77		
105	38761,41	21803,29	13954,11		
120	58410,51	32855,91	21027,78		
135	83166,53	46781,17	29939,95		
150	114083,03	64171,71	41069,89		

Quadro B4 – Solicitações obtidas para carregamento de sismos considerando Zona Sísmica 3 e solo classe D

Zona 3 ag=0,10g Sismo Solo Tipo D(solo rigido) f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

	B/I	D=1	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	84,14	47,33	30,29
45	189,30	106,48	68,15
60	336,54	189,30	121,16
75	525,85	295,79	189,30
90	757,22	425,94	272,60
105	1030,66	579,75	371,04
120	1346,17	757,22	484,62
135	1703,74	958,36	613,35
150	2103,39	1183,16	757,22

B/D=1,5				
	100	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	56,09	31,55	20,19	
45	126,20	70,99	45,43	
60	224,36	126,20	80,77	
75	350,56	197,19	126,20	
90	504,81	283,96	181,73	
105	687,11	386,50	247,36	
120	897,45	504,81	323,08	
135	1135,83	638,90	408,90	
150	1402,26	788,77	504,81	

	B/D=2				
	H/B				
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	42,07	23,66	15,14		
45	94,65	53,24	34,07		
60	168,27	94,65	60,58		
75	262,92	147,89	94,65		
90	378,61	212,97	136,30		
105	515,33	289,87	185,52		
120	673,08	378,61	242,31		
135	851,87	479,18	306,67		
150	1051,69	591,58	378,61		

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/I	D=1	
	0	H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	1757,68	988,70	632,77
45	6138,39	3452,85	2209,82
60	14966,89	8418,87	5388,08
75	29477,35	16581,01	10611,85
90	50936,87	28651,99	18337,27
105	80885,86	45498,30	29118,91
120	120739,25	67915,83	43466,13
135	171911,93	96700,46	61888,30
150	235818,84	132648,10	84894,78

B/D=1,5				
	9	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	1171,79	659,13	421,84	
45	4092,26	2301,90	1473,21	
60	9977,92	5612,58	3592,05	
75	19651,57	11054,01	7074,57	
90	33957,91	19101,33	12224,85	
105	53923,91	30332,20	19412,61	
120	80492,83	45277,22	28977,42	
135	114607,96	64466,97	41258,86	
150	157212,56	88432,06	56596,52	

	B/I	D=2	
11 10 11		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	878,84	494,35	316,38
45	3069,20	1726,42	1104,91
60	7483,44	4209,44	2694,04
75	14738,68	8290,51	5305,92
90	25468,43	14325,99	9168,64
105	40442,93	22749,15	14559,46
120	60369,62	33957,91	21733,06
135	85955,97	48350,23	30944,15
150	117909,42	66324,05	42447,39

Zona 3 ag=0,10g Sismo Solo Tipo D(solo rígido) f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	111,64	62,80	40,19	
45	251,19	141,30	90,43	
60	446,57	251,19	160,76	
75	697,76	392,49	251,19	
90	1004,77	565,18	361,72	
105	1367,61	769,28	492,34	
120	1786,26	1004,77	643,05	
135	2260,74	1271,66	813,87	
150	2791,03	1569,96	1004,77	

B/D=1,5			
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	74,43	41,87	26,79
45	167,46	94,20	60,29
60	297,71	167,46	107,18
75	465,17	261,66	167,46
90	669,85	376,79	241,15
105	911,74	512,85	328,23
120	1190,84	669,85	428,70
135	1507,16	847,78	542,58
150	1860,69	1046,64	669,85

	B/D=2				
	H/B				
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	55,82	31,40	20,10		
45	125,60	70,65	45,21		
60	223,28	125,60	80,38		
75	348,88	196,24	125,60		
90	502,39	282,59	180,86		
105	683,80	384,64	246,17		
120	893,13	502,39	321,53		
135	1130,37	635,83	406,93		
150	1395,52	784,98	502,39		

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/D=1				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	2249,50	1265,34	809,82		
45	7778,62	4375,47	2800,30		
60	18838,26	10596,52	6781,77		
75	37503,53	21095,74	13501,27		
90	65925,86	37083,30	23733,31		
105	106317,00	59803,31	38274,12		
120	160211,69	90119,08	57676,21		
135	228113,91	128314,08	82121,01		
150	312913,46	176013,82	112648,85		

B/D=1,5				
	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	1499,66	843,56	539,88	
45	5185,74	2916,98	1866,87	
60	12558,84	7064,35	4521,18	
75	25002,35	14063,82	9000,85	
90	43950,58	24722,20	15822,21	
105	70878,00	39868,88	25516,08	
120	106807,79	60079,38	38450,81	
135	152075,94	85542,72	54747,34	
150	208608,97	117342,55	75099,23	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	1124,75	632,67	404,91		
45	3889,31	2187,74	1400,15		
60	9419,13	5298,26	3390,89		
75	18751,76	10547,87	6750,64		
90	32962,93	18541,65	11866,66		
105	53158,50	29901,66	19137,06		
120	80105,85	45059,54	28838,10		
135	114056,96	64157,04	41060,50		
150	156456,73	88006,91	56324,42		

Quadro B5 – Solicitações obtidas para carregamento de sismos considerando Zona Sísmica 3 e solo classe E

Zona 3 ag=0,10g Sismo Solo Tipo E(solo mole) f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

	B/I	D=1	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	122,70	69,02	44,17
45	276,07	155,29	99,39
60	490,79	276,07	176,68
75	766,86	431,36	276,07
90	1104,28	621,16	397,54
105	1503,05	845,46	541,10
120	1963,16	1104,28	706,74
135	2484,63	1397,60	894,47
150	3067,44	1725,43	1104,28

B/D=1,5			
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	81,80	46,01	29,45
45	184,05	103,53	66,26
60	327,19	184,05	117,79
75	511,24	287,57	184,05
90	736,19	414,10	265,03
105	1002,03	563,64	360,73
120	1308,77	736,19	471,16
135	1656,42	931,73	596,31
150	2044,96	1150,29	736,19

B/D=2			
-		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	61,35	34,51	22,09
45	138,03	77,64	49,69
60	245,40	138,03	88,34
75	383,43	215,68	138,03
90	552,14	310,58	198,77
105	751,52	422,73	270,55
120	981,58	552,14	353,37
135	1242,31	698,80	447,23
150	1533,72	862.72	552.14

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
	,	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	2563,29	1441,85	922,78	
45	8951,82	5035,40	3222,66	
60	21826,71	12277,52	7857,62	
75	42987,81	24180,64	15475,61	
90	74282,93	41784,15	26741,86	
105	117958,55	66351,68	42465,08	
120	176078,07	99043,91	63388,10	
135	250704,90	141021,51	90253,76	
150	343902,47	193445,14	123804.89	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	1708,86	961,23	615,19	
45	5967,88	3356,93	2148,44	
60	14551,14	8185,02	5238,41	
75	28658,54	16120,43	10317,07	
90	49521,96	27856,10	17827,90	
105	78639,03	44234,46	28310,05	
120	117385,38	66029,27	42258,74	
135	167136,60	94014,34	60169,18	
150	229268,32	128963,43	82536,59	

	B/I	D=2	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	1281,64	720,92	461,39
45	4475,91	2517,70	1611,33
60	10913,35	6138,76	3928,81
75	21493,90	12090,32	7737,81
90	37141,47	20892,08	13370,93
105	58979,27	33175,84	21232,54
120	88039,03	49521,96	31694,05
135	125352,45	70510,75	45126,88
150	171951,24	96722,57	61902,45

Zona 3 ag=0,10g Sismo Solo Tipo E(solo mole) f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

	B/I	D=1	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	162,81	91,58	58,61
45	366,32	206,06	131,88
60	651,24	366,32	234,45
75	1017,56	572,38	366,32
90	1465,29	824,23	527,51
105	1994,43	1121,86	717,99
120	2604,96	1465,29	937,79
135	3296,91	1854,51	1186,89
150	4070,26	2289,52	1465,29

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	108,54	61,05	39,07	
45	244,22	137,37	87,92	
60	434,16	244,22	156,30	
75	678,38	381,59	244,22	
90	976,86	549,48	351,67	
105	1329,62	747,91	478,66	
120	1736,64	976,86	625,19	
135	2197,94	1236,34	791,26	
150	2713,50	1526,35	976,86	

B/D=2				
		H/B	, in the second	
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	81,41	45,79	29,31	
45	183,16	103,03	65,94	
60	325,62	183,16	117,22	
75	508,78	286,19	183,16	
90	732,65	412,11	263,75	
105	997,21	560,93	359,00	
120	1302,48	732,65	468,89	
135	1648,45	927,26	593,44	
150	2035,13	1144,76	732,65	

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/D=1				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	3280,52	1845,29	1180,99		
45	11343,82	6380,90	4083,77		
60	27472,46	15453,26	9890,09		
75	54692,65	30764,61	19689,35		
90	96141,89	54079,81	34611,08		
105	155045,63	87213,16	55816,43		
120	233642,05	131423,65	84111,14		
135	332666,12	187124,69	119759,80		
150	456332,13	256686,82	164279,57		

B/D=1,5					
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	2187,01	1230,19	787,32		
45	7562,54	4253,93	2722,52		
60	18314,97	10302,17	6593,39		
75	36461,76	20509,74	13126,24		
90	64094,59	36053,21	23074,05		
105	103363,75	58142,11	37210,95		
120	155761,37	87615,77	56074,09		
135	221777,41	124749,80	79839,87		
150	304221,42	171124,55	109519,71		

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	1640,26	922,65	590,49		
45	5671,91	3190,45	2041,89		
60	13736,23	7726,63	4945,04		
75	27346,32	15382,31	9844,68		
90	48070,94	27039,91	17305,54		
105	77522,81	43606,58	27908,21		
120	116821,02	65711,83	42055,57		
135	166333,06	93562,35	59879,90		
150	228166,06	128343,41	82139,78		

Quadro B6 – Solicitações obtidas para carregamento de sismos considerando Zona Sísmica 4 e solo classe D

Zona 4 ag=0,15g Sismo Solo Tipo D(solo rigido) f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

	B/I	D=1	
		H/B	50
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	115,69	65,07	41,65
45	260,29	146,42	93,71
60	462,75	260,29	166,59
75	723,04	406,71	260,29
90	1041,18	585,66	374,82
105	1417,16	797,15	510,18
120	1850,98	1041,18	666,35
135	2342,65	1317,74	843,35
150	2892,16	1626,84	1041,18

B/D=1,5				
		H/B	0'	
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	77,12	43,38	27,76	
45	173,53	97,61	62,47	
60	308,50	173,53	111,06	
75	482,03	271,14	173,53	
90	694,12	390,44	249,88	
105	944,77	531,43	340,12	
120	1233,99	694,12	444,24	
135	1561,76	878,49	562,24	
150	1928,10	1084,56	694,12	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	57,84	32,54	20,82		
45	130,15	73,21	46,85		
60	231,37	130,15	83,29		
75	361,52	203,35	130,15		
90	520,59	292,83	187,41		
105	708,58	398,58	255,09		
120	925,49	520,59	333,18		
135	1171,32	658,87	421,68		
150	1446,08	813,42	520,59		

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/I	D=1	
	7	H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	2416,81	1359,46	870,05
45	8440,29	4747,66	3038,50
60	20579,47	11575,95	7408,61
75	40531,36	22798,89	14591,29
90	70038,20	39396,48	25213,75
105	111218,06	62560,16	40038,50
120	166016,46	93384,26	59765,93
135	236378,91	132963,14	85096,41
150	324250,90	182391,13	116730,33

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	1611,21	906,30	580,04	
45	5626,86	3165,11	2025,67	
60	13719,65	7717,30	4939,07	
75	27020,91	15199,26	9727,53	
90	46692,13	26264,32	16809,17	
105	74145,37	41706,77	26692,33	
120	110677,64	62256,17	39843,95	
135	157585,94	88642,09	56730,94	
150	216167,27	121594,09	77820,22	

	D/D-0				
	B/D=2 H/B				
H [m]	3,00	4,00	5.00		
30	1208,41	679,73	435,03		
45	4220,14	2373,83	1519,25		
60	10289,73	5787,98	3704,30		
75	20265,68	11399,45	7295,65		
90	35019,10	19698,24	12606,88		
105	55609,03	31280,08	20019,25		
120	83008,23	46692,13	29882,96		
135	118189,45	66481,57	42548,20		
150	162125,45	91195,57	58365,16		

Zona 4 ag=0,15g Sismo Solo Tipo D(solo rígido) f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	153,51	86,35	55,26	
45	345,39	194,28	124,34	
60	614,03	345,39	221,05	
75	959,42	539,67	345,39	
90	1381,56	777,13	497,36	
105	1880,46	1057,76	676,96	
120	2456,11	1381,56	884,20	
135	3108,51	1748,54	1119,06	
150	3837,67	2158,69	1381,56	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	102,34	57,57	36,84	
45	230,26	129,52	82,89	
60	409,35	230,26	147,37	
75	639,61	359,78	230,26	
90	921,04	518,09	331,57	
105	1253,64	705,17	451,31	
120	1637,41	921,04	589,47	
135	2072,34	1165,69	746,04	
150	2558,45	1439,13	921,04	

	B/I	D=2	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	76,75	43,17	27,63
45	172,70	97,14	62,17
60	307,01	172,70	110,52
75	479,71	269,84	172,70
90	690,78	388,56	248,68
105	940,23	528,88	338,48
120	1228,05	690,78	442,10
135	1554,26	874,27	559,53
150	1918,84	1079,34	690,78

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

	B/D=1				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	3093,06	1739,84	1113,50		
45	10695,60	6016,27	3850,42		
60	25902,60	14570,21	9324,94		
75	51567,35	29006,64	18564,25		
90	90648,06	50989,54	32633,30		
105	146185,88	82229,56	52626,92		
120	220291,08	123913,73	79304,79		
135	313656,63	176431,85	112916,39		
150	430256,01	242019,00	154892,16		

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	2062,04	1159,90	742,33	
45	7130,40	4010,85	2566,94	
60	17268,40	9713,48	6216,62	
75	34378,24	19337,76	12376,16	
90	60432,04	33993,02	21755,54	
105	97457,25	54819,70	35084,61	
120	146860,72	82609,15	52869,86	
135	209104,42	117621,24	75277,59	
150	286837,34	161346,00	103261,44	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	1546,53	869,92	556,75		
45	5347,80	3008,14	1925,21		
60	12951,30	7285,11	4662,47		
75	25783,68	14503,32	9282,12		
90	45324,03	25494,77	16316,65		
105	73092,94	41114,78	26313,46		
120	110145,54	61956,86	39652,39		
135	156828,31	88215,93	56458,19		
150	215128,00	121009,50	77446,08		

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro B7 – Solicitações obtidas para carregamento de sismos considerando Zona Sísmica 4 e solo classe E

Zona 4 ag=0,15g Sismo Solo Tipo E(solo mole) f=26/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

	B/I	D=1	
		H/B	
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	178,79	100,57	64,36
45	402,27	226,28	144,82
60	715,15	402,27	257,45
75	1117,42	628,55	402,27
90	1609,09	905,11	579,27
105	2190,15	1231,96	788,45
120	2860,61	1609,09	1029,82
135	3620,45	2036,51	1303,36
150	4469,70	2514,20	1609,09

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	119,19	67,05	42,91	
45	268,18	150,85	96,55	
60	476,77	268,18	171,64	
75	744,95	419,03	268,18	
90	1072,73	603,41	386,18	
105	1460,10	821,31	525,64	
120	1907,07	1072,73	686,55	
135	2413,64	1357,67	868,91	
150	2979,80	1676,14	1072,73	

	B/D=2				
		H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	89,39	50,28	32,18		
45	201,14	113,14	72,41		
60	357,58	201,14	128,73		
75	558,71	314,28	201,14		
90	804,55	452,56	289,64		
105	1095,08	615,98	394,23		
120	1430,30	804,55	514,91		
135	1810,23	1018,25	651,68		
150	2234,85	1257,10	804,55		

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	3735,07	2100,98	1344,63	
45	13044,08	7337,30	4695,87	
60	31804,63	17890,11	11449,67	
75	62639,38	35234,65	22550,18	
90	108240,85	60885,48	38966,70	
105	171882,46	96683,88	61877,68	
120	256570,90	144321,13	92365,52	
135	365312,86		131512,63	
150	501115,03	281877,21	180401,41	

B/D=1,5				
		H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	2490,05	1400,65	896,42	
45	8696,06	4891,53	3130,58	
60	21203,09	11926,74	7633,11	
75	41759,59	23489,77	15033,45	
90	72160,56	40590,32	25977,80	
105	114588,30	64455,92	41251,79	
120	171047,26	96214,09	61577,02	
135	243541,91	136992,32	87675,09	
150	334076,69	187918,14	120267,6	

	B/D=2				
	H/B				
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	1867,54	1050,49	672,31		
45	6522,04	3668,65	2347,93		
60	15902,32	8945,05	5724,83		
75	31319,69	17617,33	11275,09		
90	54120,42	30442,74	19483,35		
105	85941,23	48341,94	30938,84		
120	128285,45	72160,56	46182,76		
135	182656,43	102744,24	65756,31		
150	250557,52	140938,60	90200,71		

Zona 4 ag=0,15g Sismo Solo Tipo E(solo mole) f=46/H

Cortante resultante na base na direção y [tf]

B/D=1			
	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	237,24	133,45	85,41
45	533,79	300,25	192,16
60	948,95	533,79	341,62
75	1482,74	834,04	533,79
90	2135,14	1201,02	768,65
105	2906,16	1634,72	1046,22
120	3795,80	2135,14	1366,49
135	4804,07	2702,29	1729,46
150	5930,94	3336,16	2135,14

B/D=1,5			
	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	158,16	88,96	56,94
45	355,86	200,17	128,11
60	632,63	355,86	227,75
75	988,49	556,03	355,86
90	1423,43	800,68	512,43
105	1937,44	1089,81	697,48
120	2530,54	1423,43	910,99
135	3202,71	1801,52	1152,98
150	3953,96	2224,10	1423,43

B/D=2			
	H/B		
H [m]	3,00	4,00	5,00
30	118,62	66,72	42,70
45	266,89	150,13	96,08
60	474,48	266,89	170,81
75	741,37	417,02	266,89
90	1067,57	600,51	384,33
105	1453,08	817,36	523,11
120	1897,90	1067,57	683,24
135	2402,03	1351,14	864,73
150	2965,47	1668,08	1067,57

Momentos Resultantes na base na diração y [tf.m]

B/D=1				
000000000000000000000000000000000000000	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	4780,18	2688,85	1720,86	
45	16529,56	9297,88	5950,64	
60	40031,30	22517,60	14411,27	
75	79695,00	44828,44	28690,20	
90	140092,46	78802,01	50433,29	
105	225923,63	127082,04	81332,51	
120	340449,84	191503,04	122561,94	
135	484742,06	272667,41	174507,14	
150	664941,10	374029,37	239378,80	

B/D=1,5				
complete a reserved	H/B			
H [m]	3,00	4,00	5,00	
30	3186,79	1792,57	1147,24	
45	11019,71	6198,59	3967,09	
60	26687,53	15011,74	9607,51	
75	53130,00	29885,63	19126,80	
90	93394,98	52534,67	33622,19	
105	150615,75	84721,36	54221,67	
120	226966,56	127668,69	81707,96	
135	323161,37	181778,27	116338,09	
150	443294,07	249352,91	159585,86	

	B/D=2				
99407070	H/B				
H [m]	3,00	4,00	5,00		
30	2390,09	1344,43	860,43		
45	8264,78	4648,94	2975,32		
60	20015,65	11258,80	7205,63		
75	39847,50	22414,22	14345,10		
90	70046,23	39401,01	25216,64		
105	112961,81	63541,02	40666,25		
120	170224,92	95751,52	61280,97		
135	242371,03	136333,70	87253,57		
150	332470,55	187014,68	119689,40		