



## AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE CARREGAMENTOS DINÂMICOS PROVOCADOS PELA AÇÃO DO VENTO E PELA AÇÃO DE TERREMOTOS EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS NA ZONA SÍSMICA BRASILEIRA 1

AGUIAR, Roberto de Castro (1); CÂNDIDO, Valéria Maria Nunes (2); SILVA, Cristiane Santana da (3); OLIVEIRA, Romilde Almeida de (4)

<sup>1</sup>Universidade Católica de Pernambuco, eng.robertoaguiar@yahoo.com.br; <sup>2</sup>Centro Universitário de João Pessoa, valeria\_candido@hotmail.com; <sup>3</sup>Universidade Católica de Pernambuco, cristiane\_santana@msn.com; <sup>4</sup>Universidade Católica de Pernambuco, romidealmeida@gmail.com

### RESUMO

O crescimento dos centros urbanos e da demanda populacional tem criado a necessidade de se construir edificações da vez mais altas. Entretanto, edificações mais altas são mais suscetíveis aos efeitos das cargas dinâmicas e devem ser analisadas mais meticulosamente. O território brasileiro por estar localizado numa região intraplacas, segue sendo caracterizado por apresentar baixa atividade sísmica, porém essa aparente baixa tranquilidade sísmica não pode ser motivo de despreocupação na elaboração dos projetos estruturais brasileiros. O artigo alerta para a necessidade de proteção das edificações em relação às cargas dinâmicas provocadas por abalos sísmicos, principalmente na região do Nordeste Brasileiro, região por sua vez possui uma taxa de atividade sísmica mais elevada do que a outras regiões brasileiras. É apresentado um breve histórico das atividades sísmicas no Nordeste do Brasil e o método teórico para o cálculo das ações sísmicas de acordo com a NBR 15421:2006. Através de um exemplo prático, calculada as cargas dinâmicas de uma edificação com 38 pavimentos localizada na zona sísmica 1, onde é realizada uma comparação entre os resultados das ações do vento com as ações relativas aos sismos. Concluindo que dependendo de determinados fatores, como altura, carregamentos, geometria, disposição geográfica, as ações dinâmicas relativas aos sismos podem se sobressair e superar as ações provocadas pelo vento.

**Palavras-chave:** Cargas dinâmicas. Nordeste brasileiro. NBR15421:2006. Ações do vento. Ações dos sismos.

### ABSTRACT

*The growth of urban centers and population demand has created the need to build higher buildings. However, higher buildings are more susceptible to the effects of dynamic loads and should be analyzed more meticulously. The Brazilian territory, because it is located in an intraplate region, continues to be characterized by low seismic activity, but this apparent low seismic tranquility can not be cause for concern in the elaboration of Brazilian structural projects. The article warns of the need to protect buildings in relation to the dynamic loads caused by earthquakes, especially in the Brazilian Northeast region, which in turn has a higher seismic activity rate than other Brazilian regions. A brief history of the seismic activities in the Northeast of Brazil and the theoretical method for the calculation of the seismic actions according to NBR 15421: 2006 are presented. By means of a practical example, we calculated the dynamic loads of a building with 38 floors located in the seismic zone 1, where a comparison between the results of the actions of the wind and the actions related to the earthquakes is made. Concluding that depending on certain factors, such as height, loads, geometry, geographic disposition, the dynamic actions related to earthquakes can stand out and overcome the actions caused by the wind.*

**Keywords:** Dynamic loads. Brazilian Northeast. NBR15421: 2006. Actions of the wind. Earthquake actions.

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme Lima e Santos (2008) os abalos sísmicos não são uma preocupação constante no Brasil, por causa disso, apenas obras de grande porte ou de altíssimas exigências de segurança como barragens, usinas atômicas, pontes, túneis, etc., costumam levar em consideração os efeitos de possíveis sismos em seus projetos. Comumente edificações em gerais, incluindo edifícios altos, tendem a não serem avaliadas para a possibilidade de um possível sismo. Para enfatizar a importância da verificação da segurança estrutural dessas edificações em relação aos sismos que foi lançada a primeira norma brasileira a esse respeito, a NBR15421:2006, Norma Brasileira de Estruturas Resistentes a Sismo. Seu objetivo é estabelecer critérios aos projetistas de estruturas para salvaguardar a vida dos ocupantes e usuários de edificações durante e após essas serem atingidas por um abalo sísmico.

O Brasil localiza-se no centro da placa tectônica sul-americana, região geologicamente mais estável e menos propensa a sismos que as regiões de contorno ou de contato entre duas placas. Mesmo assim, anualmente o Brasil é atingido por diversos pequenos abalos sísmicos e por um com potencial a atingir 3 graus de magnitude na escala Richter. Além disso, em média a cada cinco anos o Brasil também é atingido por um abalo de magnitude 4 ou maior. De acordo com Berrocal (1984) isso se deve ao fato que todas as placas tectônicas possuem pequenas fraturas internas mais conhecidas como falhas geológicas. Em todo o território brasileiro existem falhas geológicas com extensões e profundidades variadas, sendo que a maior parte dessas falhas geológicas se localiza nas Regiões Sudeste e Nordeste do país.

### 1.1 Abalos sísmicos no nordeste do Brasil

A Região Nordeste é onde se concentra a maior parte da atividade sísmica do Brasil, com magnitudes médias de 3,5 graus na escala Richter, em especial nos estados de Pernambuco, do Rio Grande do Norte e do Ceará, onde ocorrem uma combinação entre atividades sísmicas e geologias. As forças sísmicas advindas do interior da Terra além de atuarem nas várias falhas geológicas são favorecidas pela pouca profundidade média do solo da região, entre três a vinte metros de profundidade e com visíveis afloramentos de rochas em diversos locais. Duas importantes falhas geológicas são encontradas no Rio Grande do Norte, a falha de Poço Branco e a falha de João Câmara. Essa última possui 4 km de largura por 30 km de extensão e foi a responsável pelo terremoto 1986, o de maior intensidade do Brasil, onde cerca de 4 mil imóveis foram danificados ou ruíram totalmente (VELOSO, 2012). No norte do Ceará, mas precisamente na cidade de Sobral e passando por municípios vizinhos, existem mais duas falhas geológicas. Elas são as causadoras de uma frequente quantidade de pequenos sismos, tendo sido registrados mais de 700 abalos só no período entre Janeiro a Abril de 2008.

Figura 1 – Pior terremoto do Brasil, João Câmara (RN), 1986.



Fonte: Vitral, Revista Galileu (2010).

## 1.2 Abalos sísmicos em Pernambuco

Assim como no restante do Brasil os abalos sísmicos ocorridos no estado de Pernambuco são tremores intraplacas de pequenas intensidades, porém suficientes para provocar pequenos danos e assustar a população local. O tremor de maior magnitude registrado em Pernambuco foi em Maio de 2006 na cidade de São Caetano e alcançou 4 graus na escala Richter (VITRAL, 2010). Essa e as demais ocorrências de abalos ocorridos nas várias cidades do agreste do estado são provocadas pelo Lineamento Pernambuco “Figura 2”. Com cerca de 30m de profundidade e 700 km de extensão só no estado de Pernambuco, esse lineamento se inicia na cadeia de montanhas submersas da Dorsal Atlântica no meio do Oceano Atlântico, adentra o continente pela cidade do Recife e termina no Sertão do Araripe próximo à divisa com o estado do Piauí.

Figura 2 – Falha geológica: Lineamento Pernambuco.



Fonte: Portal UOL (2010).

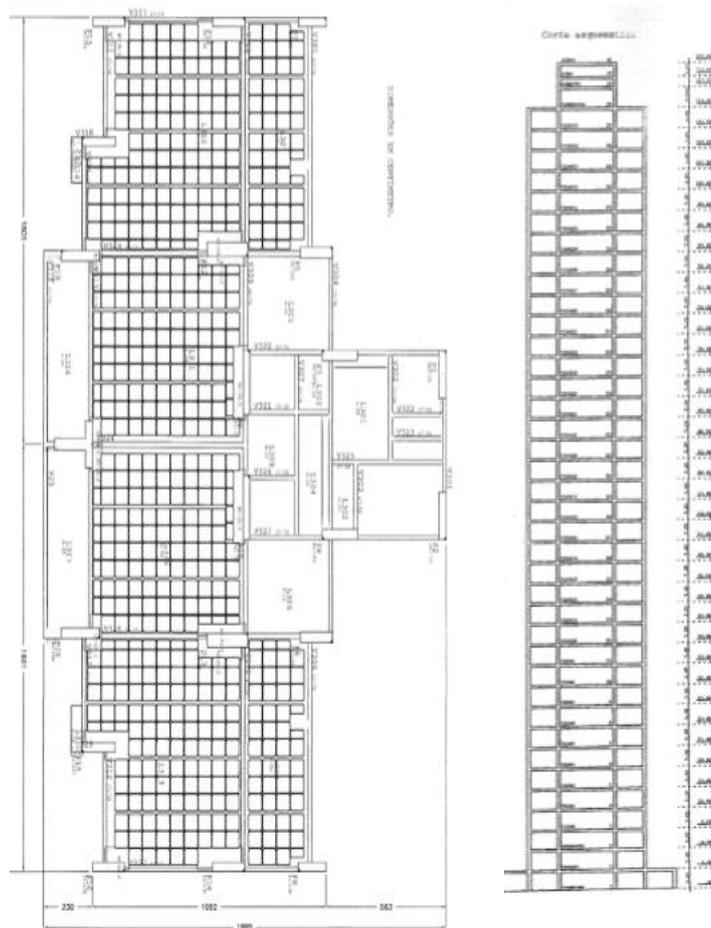
## 2 APLICAÇÃO PRÁTICA

### 2.1 Avaliação do comportamento estrutural de um edifício submetido ao efeito de sismos de acordo com a NBR 15421:2006.

#### 2.1.1 Descrição do objeto da análise

Trata-se de um Edifício hipotético de 38 pavimentos conforme detalhes da Figura 3 e com características estruturais semelhantes aos que são atualmente construídos em outras grandes cidades do país.

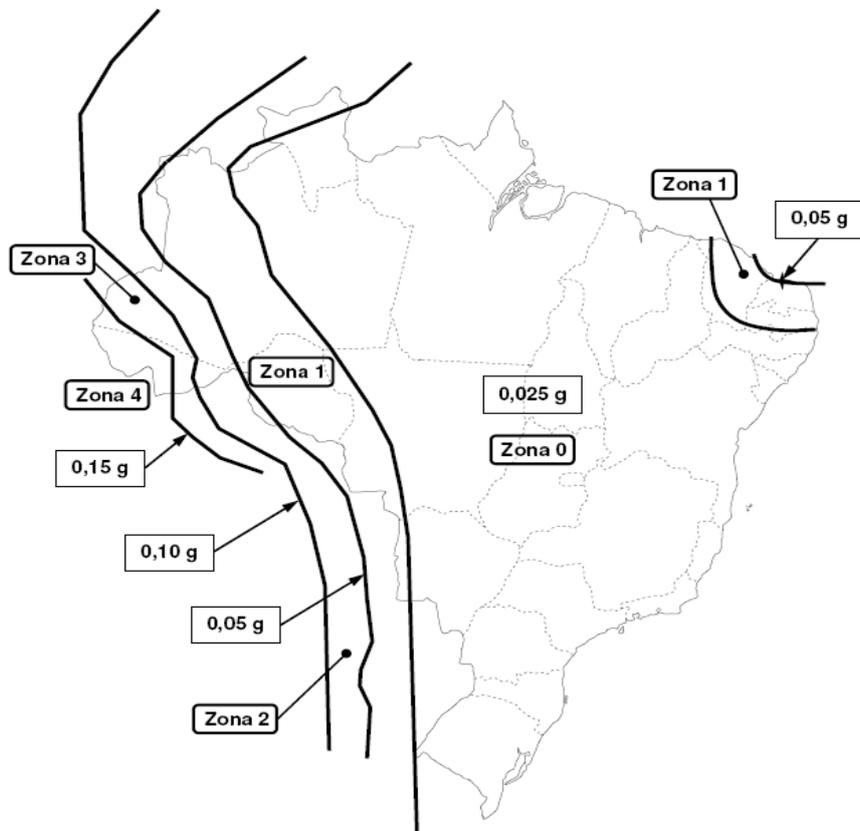
Figura 3 – Detalhe do Edifício em Planta e Corte.



Fonte: Autores.

Localizado na cidade de João Pessoa, estado da Paraíba, o edifício tem sistema estrutural formado por conjunto de pórticos planos dispostos segundo duas direções ortogonais. Tal cidade foi a escolhida para exemplificar a análise por se localizar na Zona Sísmica brasileira 1 e por apresentar uma tendência de construção de edifícios acima de 30 pavimentos e em alguns casos superando aos 50 pavimentos.

Figura 4 – Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica no Brasil para terrenos da classe B.



Fonte: NBR 15421:2006.

Cada Zona possui uma aceleração Sísmica Específica.

Tabela 1 – Zona sísmica

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

Fonte: NBR 15421:2006.

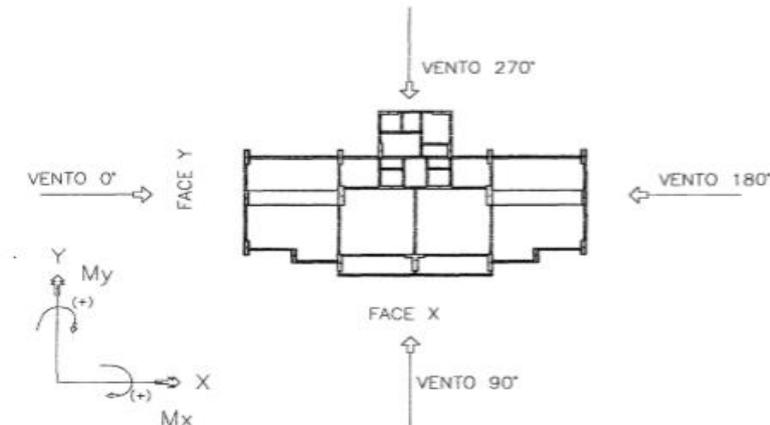
O conjunto estrutural do edifício é admitido trabalhando como pórtico espacial contraventado pelas lajes em cada pavimento. Na discretização as lajes são admitidas como diafragmas. Parte da rigidez da laje à flexão é incorporada à análise através da consideração de seções tipo T para as vigas. São ainda considerados elementos rígidos com links na ligação das vigas aos pilares e são considerados os seguintes casos de carregamento:

- Carga permanente,  $g$ ;
- Carregamento variável: sobrecarga vertical,  $q$ ;
- Carregamento variável ação do vento;
- Carregamento excepcional: ação de sismo.

### 2.1.2 Metodologia da análise

Os cálculos das ações horizontais relativas a efeito do vento e ao efeito de sismo foram realizados usando o sistema computacional Edifício, um software de modelagem de pórticos (FONTE, 1994). A ação do vento foi calculada a partir das especificações da NBR6123:1987. Na figura 5 é ilustrado a direção da incidência dos ventos no referido edifício.

Figura 5 – Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica no Brasil para terrenos da classe B.



Fonte: Autores.

Os dados de entrada do Software são apresentados na “Tabela 2”.

Tabela 2 – Dados gerais de entrada da estrutura

Dados	Valores
Altura total acima do terreno	144,0 m
Distância, nível do terreno ao nível da fundação	1,0 m
Comprimento característico	18,85 m
Velocidade básica	30,0 m/s
Fator topográfico	1,0
Fator estatístico	1,0
Coefficiente de arrasto	1,1
Número de andares	38
Distância da resultante à origem	-9,34
Parâmetro meteorológico B	0,930
Parâmetro meteorológico P	0,115
Fator da rajada Fr	0,950

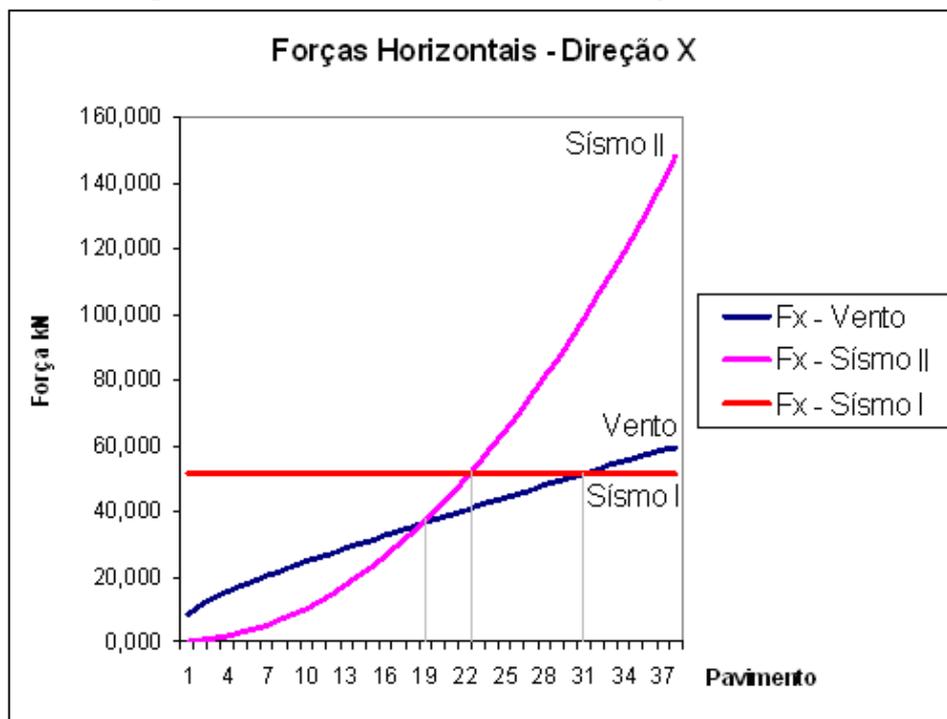
Fonte: Autores.

Em relação às ações de sismo, dois métodos foram adotados. O primeiro, através de método direto recomendado para a zona sísmica A. O segundo foi a aplicação do método das forças horizontais equivalentes, ambos de acordo com a NBR 15421:2006. As ações sísmicas dos dois métodos são comparadas com as ações do vento, incidentes no referido edifício em duas direções ortogonais e apresentadas nas figuras 6, 7, 8 e 9.

### 2.1.3 Resultados obtidos

A figura 6 mostra os valores característicos das forças horizontais segundo a direção X, relativas à ação do vento e as ações dos sismos. Observa-se que até o 18º andar a ação do vento apresenta valores superiores as ações do sismo calculado pelo método II. Em comparação com o método I a ação do vento apresenta valores inferiores até o 31º andar. Quanto aos métodos para cálculo das ações do sismo o método I apresenta valores superiores até o 22º pavimento e o método II a partir deste até o 38º pavimento. Como era de se esperar ambos os métodos apresentaram a mesma resultante na base. A ação do vento segundo X apresenta resultado na base igual a 1.382,55 kN e o efeito do sismo 1.951,60 kN.

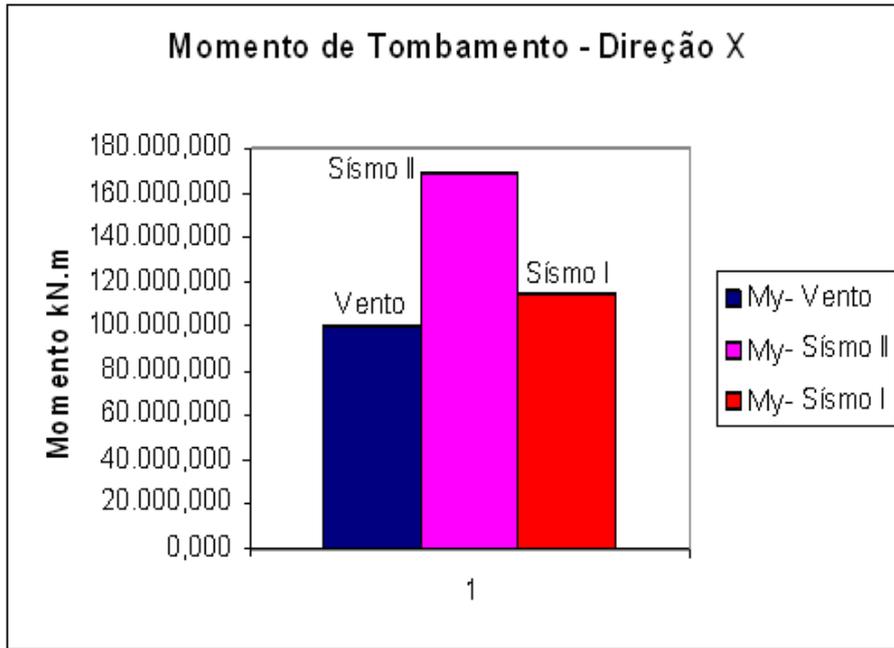
Figura 6 –Valores característicos das forças horizontais



Fonte: Autores.

A figura 7 mostra os valores dos momentos de tombamentos segundo a direção X relativa à ação do vento e as ações dos sismos. No que se refere ao tombamento na base o efeito do vento apresenta valor  $M_y$  igual a 100.380,83 kN.m, o efeito do sismo pelo método I apresenta  $M_y$  igual 114.162,608 kN.m e o efeito do sismo pelo método II apresenta  $M_y$  169.025,888 kN.m. Conclui-se portanto, que o efeito do sismo é preponderante em relação ao vento para a direção X.

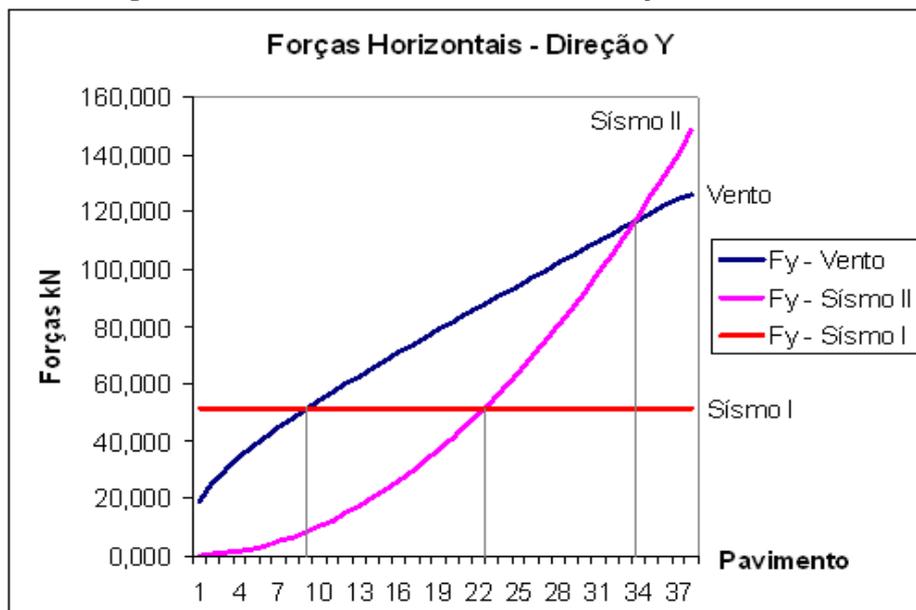
Figura 7 – Momento de tombamento relativo às ações características



Fonte: Autores.

A figura 8 mostra os valores das forças horizontais, segundo a direção Y relativas à ação do vento e as ações dos sismos. Comparando-se a ação do vento com as ações do sismo pelo método I, até o 9º andar o sismo é superior e a partir daí predomina o vento. Comparando o efeito do vento com o sismo pelo método II até o 33º andar o vento é superior e a partir daí prevalece o sismo. Quanto à resultante na base, o vento apresenta (Fx) base igual 2.985,25 kN, os sismos pelos métodos I e II, (FxI) base e (FxII) base são iguais a 1.951,566 kN.

Figura 8 – Valores característicos das forças horizontais



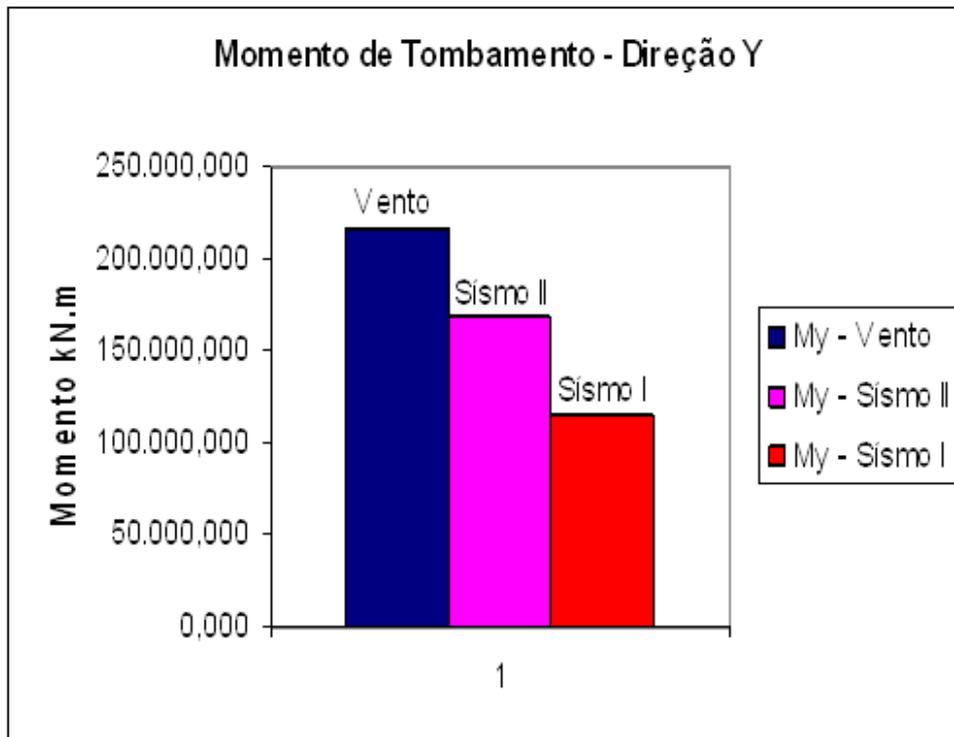
Fonte: Autores.

A figura 9 mostra os valores dos momentos de tombamentos segundo a direção Y relativas à ação do vento e as ações dos sismos. No que concerne aos momentos de tombamentos, tem-se:

- (Mx) vento igual a 215.429,61 kN.m;
- (Mx) sismo I igual a 114.166,608 kN.m;
- (Mx) sismo II igual a 169.025,888 kN.m;

O efeito do vento é pois, superior ao efeito do sismo. É importante observar que todas as observações aqui apresentadas se referem aos valores característicos da ação do vento e dos sismos.

Figura 9 – Momento de tombamento relativos ações características



Fonte: Autores.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que mesmo o Brasil usufruindo de aparente tranquilidade sísmica, nenhuma de suas regiões é imune aos efeitos sísmicos. Também pode-se verificar através do referencial teórico e da aplicação prática, a importância da norma NBR15421:2006 no que diz respeito a estabilidade de edificações. Dependendo de fatores que vão desde o peso total da estrutura, a configuração geométrica e a altura do edifício, a zona sísmica e a classe do terreno onde se localiza o prédio, as ações relativas a sismos podem sim ultrapassar os valores das ações relativas ao vento, tornando sua determinação imprescindível a segurança estrutural de edifícios.

## REFERÊNCIAS

LIMA, S. S.; SANTOS, S. H. C. **Análise Dinâmica das Estruturas**. Editora Ciência Moderna Ltda, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

BERROCAL, J. **Sismicidade no Brasil**, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15421. **Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2006.

VELOSO, J. A. V. **O Terremoto que Mexeu com o Brasil**. Thesaurus Editora. Brasília, 2012.

VITRAL, L. F. **Geologia: A terra tremeu 1.200 vezes em Caruaru**. Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Galileu/0,6993,ECT399583-1719-2,00.html>> Acesso em: 28 de Março 2010

PORTAL UOL. Disponível em: <[www2.uol.com.br/.../7maravilhas/catimbau.html](http://www2.uol.com.br/.../7maravilhas/catimbau.html)> Acesso em: 28 de Março de 2010.

FONTE, A.O.C. **Análise Estrutural de Edifícios Altos por computador – Sistema Computacional Edifício**. XV Congresso Ibero-Latino Americano de Métodos Computacionais na Engenharia, 1994, Belo Horizonte. Anais, volume 2, p. 919,927.