



**FAPAC - FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS PORTO LTDA
ENGENHARIA CIVIL**

**EMERSON EDUARDO AIRES NUNES
NERMIZIO ALMEIDA DA SILVA**

**EFEITOS GLOBAIS DE SEGUNDA ORDEM EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO
ARMADO**

**PORTO NACIONAL
2017**

**EMERSON EDUARDO AIRES NUNES
NERMIZIO ALMEIDA DA SILVA**

**EFEITOS GLOBAIS DE SEGUNDA ORDEM EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO
ARMADO**

Monografia submetida ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda., como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof.^o Douglas Freitas Augusto dos Santos

**PORTO NACIONAL
2017**

EMERSON EDUARDO AIRES NUNES

NERMIZIO ALMEIDA DA SILVA

**EFEITOS GLOBAIS DE SEGUNDA ORDEM EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO
ARMADO**

Monografia submetida ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda., como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Apresentado e defendido em ____/____/____ () APROVADO () REPROVADO
Banca examinadora constituída pelos professores:

Orientador (a): Prof. Me. Douglas Freitas Augusto dos Santos

Prof.^a Ma. Silvia Barroso Gomes Souto

Prof. Me. Adauto César Rosa do Nascimento

PORTO NACIONAL

2017

DEDICATÓRIA

Agradeço a Deus pelo dom da vida!

"Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo para vencer é tentar mais uma vez."

Thomas Edison

AGRADECIMENTOS

Sou primeiramente grato a Deus, por ter iluminado meu caminho até aqui permitindo o alcance dos meus objetivos. Por ter sido meu refúgio nos momentos de adversidades, me dando força e saúde para superar todos os obstáculos que apareceram nesse longo percurso.

À minha mãe Catarina, que sempre me incentivou a seguir em frente apesar das dificuldades. Nunca mediu esforços para me ajudar e sempre pude contar com o seu apoio.

À minha avó Ana, que sempre me ajudou durante essa caminhada.

À minha irmã Ana Cláudia, pelas dicas e incentivos.

Ao meu tio e padrinho Leonor, pelo apoio e amizade.

À minha namorada Luana, pela paciência e companheirismo.

Aos professores Me. Douglas Freitas Augusto dos Santos e Ma. Silvia Barroso Gomes Souto, por toda a atenção e paciência dispensada a este trabalho.

A todos os amigos, parentes, professores que diretamente e indiretamente me ajudaram, incentivaram na minha jornada.

Emerson Eduardo Aires Nunes

AGRADECIMENTOS

Sou incondicionalmente grato ao meu Deus, que em todos os momentos está comigo, fortalecendo-me nos momentos difíceis, concedendo-me saúde durante todo o meu processo de estudos e formação.

Agradeço a pessoa que, ainda no ensino fundamental, com elogios, sorrisos, simplicidade e dedicação fez de mim um apaixonado pelos estudos, minha professora Doriléia Filgueira. Aos professores da Escola Estadual Carmênia Matos Maia na pessoa do José Dias que tanto me ajudaram com sua compreensão. À professora Eriadenes por acreditar em mim e a todos os professores do ITPAC PORTO por todos esses anos de transmissão segura e paciente de conhecimento que, fosse com exigência, cobranças, palavras de apoio ou histórias de superação, me serviram de profunda inspiração. Ao professor Ângelo Balduino pelo incentivo à conclusão desse trabalho.

Aos meus irmãos, que mesmo inconscientemente me incentivaram, sendo além de irmãos amigos, a correr atrás dos meus objetivos, agradeço de coração.

Aos amigos Emerson, Valdeemi, Keliane, Railson, Rogelio, Elvis, e todos os amigos de cursos pelas ótimas histórias vividas, pela amizade e por tornar a vida acadêmica muito mais divertida.

Ao Emerson Eduardo pela parceria, companheirismo, empenho, paciência e credibilidade, muito obrigado.

Ao Gedeon Barbosa, por ter sentido junto comigo, todas as angustias e felicidades, acompanhando cada passo de perto. Pela amizade, e apoio depositados, além da companhia por todos esses anos, melhor convívio, não poderia encontrar.

Aos meus sobrinhos, filhos de coração, Diego Silvino e Diogo Silvino que são meu orgulho, minha motivação de todos os dias, que mesmo de longe sempre estiveram presentes ajudando e torcendo para a concretização desde curso. Sem vocês esse sonho não seria possível.

À minha mãe, por todos esses anos de companheirismo em todos os aspectos da minha vida, pelo apoio fosse nos maus ou bons momentos. Muito obrigado por toda a alegria, apoio incondicional em minha vida.

Ao meu pai Nemesio Lopes da Silva (in memoriam). A vida passa mas seus ensinamentos são eternos.

Aos professores Me. Douglas Freitas Augusto dos Santos e Ma. Silvia Barroso Gomes Souto, pela orientação segura e lúcida com que conduziram este trabalho e principalmente, pela amizade, confiança e apoio constantes.

Nermizio Almeida da Silva

RESUMO

Com o avanço tecnológico e a demanda crescente por espaço os edifícios de concreto armado estão se tornando cada vez mais altos e esbeltos, o que exige uma análise mais cuidadosa e refinada a respeito da estabilidade global. A análise da estrutura de um edifício tem como objetivo, assegurar funcionalidade sob condições de serviços normais e segurança em uma situação de colapso sob condições extremas. Na estrutura submetida a carregamentos horizontais e verticais surgirá efeitos adicionais denominados efeitos de segunda ordem. A NBR-6118 (2014) estabelece o procedimento para análise e quando da necessidade de consideração ou não desses efeitos. Com o objetivo de analisar os efeitos de segunda ordem em edificações de médio porte por meio do coeficiente γ_z e processo $P-\Delta$, foram considerados 6 modelos com a mesma arquitetura, variando a altura da edificação em 10, 20 e 30 pavimentos, e a estrutura de contraventamento. Para cada altura da edificação foi considerado um modelo com sistema de contraventamento formado por pórtico mais laje e outro acrescentando a presença de um núcleo rígido formado por pilar parede. Com isso, verificou-se a influência dos efeitos de segunda ordem com o aumento da altura da edificação, além da variação desses efeitos de acordo com o sistema de contraventamento adotado.

Palavras Chave: instabilidade. análise de segunda ordem. ações. deslocamento.

ABSTRACT

With technological advancement and increasing demand for space, reinforced concrete buildings are becoming increasingly tall and slender, requiring a more careful and refined analysis of global stability. The analysis of the structure of a building aims to ensure functionality under normal service conditions and safety in a situation of collapse under extreme conditions. In the structure subjected to horizontal and vertical loading, additional effects will be called second order effects. NBR-6118 (2014) establishes the procedure for analysis and when it is necessary to consider these effects. In order to analyze second-order effects in medium-sized buildings through the coefficient γ_z and $P-\Delta$ process, 6 models with the same architecture were considered, varying the height of the building in 10, 20 and 30 floors, and Bracing structure. For each height of the building was considered a model with bracing system formed by portico plus slab and another adding the presence of a rigid core formed by wall pillar. With this, it was verified the influence of second order effects with increasing height of the building, besides the variation of these effects according to the system of bracing adopted.

Keywords: instability. second-order analysis. actions. displacement.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 ANÁLISE NÃO-LINEAR.....	19
2.1.1 Não-linearidade física	19
2.1.2 Não-linearidade geométrica	20
2.2 EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM.....	22
2.3 ESTABILIDADE GLOBAL.....	23
2.3.1 Coeficiente γ_z	23
2.3.2 Método $P - \Delta$	24
2.4 PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM DIRETAMENTE NA ESTABILIDADE DO EDIFÍCIO	26
2.4.1 Ação do vento	26
2.4.1.1 Determinação da velocidade característica do vento V_k	26
2.4.1.2 Força de arrasto.....	31
2.4.1.2.1 Edificações de planta retangular	32
2.4.2 Ações verticais	34
2.4.2.1 Carga permanente	35
2.4.2.2 Carga acidental	35
2.5 COMBINAÇÕES DAS AÇÕES	36
3 OBJETIVOS.....	40
3.1 OBJETIVO GERAL	40
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	40
4 METODOLOGIA	41
4.1 PARÂMETROS DE PROJETO	44
4.2 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DOS MODELOS	44
4.3 COMBINAÇÕES.....	46

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1 Verificação da estabilidade global da estrutura	48
5.2 Análise da não linearidade geométrica pelo processo p-delta.....	51
5.3 Análise comparativa do consumo de materiais entre o modelo 1 e 2	57
6 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
APÊNDICE	63

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Barra vertical submetida a ações vertical e horizontal.	21
FIGURA 2 - Reações na barra vertical inderfomada.	21
FIGURA 3 - Reações na barra deformada.	22
FIGURA 4 - Estrutura inderfomada.	24
FIGURA 5 - Estrutura derfomada.	25
FIGURA 6 - Forças horizontais fictícias.	25
FIGURA 7 - Determinação da V_0 em m/s.	27
FIGURA 8 - Fator topográfico S_1	28
FIGURA 9 - Coeficiente de arrasto para vento de baixa turbulência.....	33
FIGURA 10 - Coeficiente de arrasto para vento de alta turbulência.....	34
FIGURA 11- Planta baixa da arquitetura modelo	41
FIGURA 12 - Modelo 1 e 2 de análises.....	42
FIGURA 13 - Modelo 3 e 4 de análises.....	42
FIGURA 14 - Modelo 5 e 6 de análises.....	43
FIGURA 15 - Fôrma pavimento tipo sem pilar parede.	45
FIGURA 16 - Fôrma pavimento tipo com pilar parede	46
FIGURA 17 - Direções do vento.....	47
FIGURA 18 - Valores do γ_z diferentes modelos.....	49
FIGURA 19 - Resultados do coeficiente γ_z para os modelos com sitema de contraventamento constituído por pórticos e lajes.	50
FIGURA 20 - Resultados do coeficiente γ_z para os modelos com sitema de contraventamento constituído por pórticos, lajes e pilar parede.....	50
FIGURA 21 - Deslocamento dos modelos analisados.	51
FIGURA 22 - Deslocamentos horizontais do modelo 1.	52
FIGURA 23 - Deslocamentos horizontais do modelo 2.	53
FIGURA 24 - Deslocamentos horizontais do modelo 3.	54
FIGURA 25 - Deslocamentos horizontais do modelo 4.	55
FIGURA 26 - Deslocamentos horizontais do modelo 5.	56
FIGURA 27 - Deslocamentos horizontais do modelo 6.	57
FIGURA 28 - Comparativo do consumo de materiais do modelo 1 e 2.....	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Definição de categorias para determinação do coeficiente S_2	29
TABELA 2 - Dimensões da edificação.	29
TABELA 3 - Parâmetros Meteorológicos para o Fator S_2	30
TABELA 4 - Fator S_2	30
TABELA 5 - Valores mínimos do fator S_3	31
TABELA 6 - Peso específico do concreto.	35
TABELA 7 - Cargas acidentais.	35
TABELA 8 - Ações permanentes diretas consideradas separadamente.	37
TABELA 9 - Ações permanentes diretas agrupadas.	38
TABELA 10 - Ações variáveis consideradas separadamente.	39
TABELA 11 - Ações variáveis agrupadas.	39
TABELA 12 - Valores dos fatores de combinação.	39
TABELA 13 - Número de pavimentos e elementos estruturais dos modelos	43
TABELA 14 - Combinações últimas.	47
TABELA 15 – Gama-Z por combinação do modelo 1.	63
TABELA 16 - Coeficiente Gama-Z modelo 1.	63
TABELA 17 - Gama-Z por combinação do modelo 2.	63
TABELA 18 - Coeficiente Gama-Z modelo 2.	64
TABELA 19 - Gama-Z por combinação do modelo 3.	64
TABELA 20 - Coeficiente Gama-Z modelo 3.	65
TABELA 21 - Gama-Z por combinação do modelo 4.	65
TABELA 22 - Coeficiente Gama-Z modelo 4.	65
TABELA 23 - Gama-Z por combinação do modelo 5.	66
TABELA 24 - Coeficiente Gama-Z modelo 5.	66
TABELA 25 - Gama-Z por combinação do modelo 6.	66
TABELA 26 - Coeficiente Gama-Z modelo 6.	67
TABELA 27 - Deslocamentos horizontais no modelo 1.	68
TABELA 28 - Deslocamentos horizontais no modelo 2.	68
TABELA 29 - Deslocamentos horizontais no modelo 3.	68
TABELA 30 - Deslocamentos horizontais no modelo 4.	69
TABELA 31 - Deslocamentos horizontais no modelo 5.	69

TABELA 32 - Deslocamentos horizontais no modelo 6.....	69
TABELA 33 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 1.....	70
TABELA 34 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 1.....	70
TABELA 35 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 1.....	71
TABELA 36 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 1.....	71
TABELA 37 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 2.....	72
TABELA 38 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 2.....	72
TABELA 39 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 2.....	73
TABELA 40 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 2.....	73
TABELA 41 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 3.....	74
TABELA 42 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 3.....	74
TABELA 43 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 3.....	75
TABELA 44 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 3.....	76
TABELA 45 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 4.....	77
TABELA 46 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 4.....	77
TABELA 47 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 4.....	78
TABELA 48 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 4.....	79
TABELA 49 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 5.....	80
TABELA 50 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 5.....	81
TABELA 51 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 5.....	82
TABELA 52 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 5.....	83
TABELA 53 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 6.....	84
TABELA 54 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 6.....	85
TABELA 55 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 6.....	86
TABELA 56 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 6.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS

Kgf – Kilograma força

KN – Kilo Newton

NBR – Norma Brasileira Registrada

NLF – Não linearidade física

NLG – Não linearidade geométrica

LISTA DE SÍMBOLOS

A_e – Área efetiva

A_s – armadura de tração

A'_s – armadura de compressão

A_s – armadura de tração

b – Parâmetro de correção da classe do edifício

C_a – Coeficiente de arrasto

E_{ci} – Módulo de elasticidade tangente inicial do concreto

$E.I$ – Rigidez

$E.I_{sec}$ – Módulo de elasticidade secante

F_a – Força de arrasto

F_H – Força horizontal

F_{Gik} - Valor característico da ações permanentes

$F_{Q1,k}$ - Valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação

F_r – Fator de rajada

H – Altura do edifício

I_c – Momento de inércia da seção bruta de concreto

I_e – Comprimento efetivo

M_1 – Momento de primeira ordem

M_2 – Momento de segunda ordem

$M_{1,TOT,d}$ – Momento de tombamento

γ_z – Coeficiente gama - z

$P-\Delta$ – Processo P – delta

p – Parâmetro meteorológico

q – Pressão dinâmica

S_1 – Fator topográfico

S_2 – Rugosidade do terreno

S_3 – Fator estatístico

u - Deslocamento

V_k – Velocidade característica do vento

V_0 – Velocidade básica do vento

z – Altura acima do terreno

γ_g - Coeficiente de ponderação das ações permanentes

γ_q – Coeficiente de ponderação das ações variáveis

γ_z – Coeficiente gama - z

ψ_0 – Fator de combinação

1 INTRODUÇÃO

Para um melhor aproveitamento da área urbana, os edifícios estão sendo executados em alturas mais elevadas. Essas construções, ao contrário das edificações antigas, estão sendo produzidas de forma mais econômicas e esbeltas. Decorrente disso as exigências técnicas são maiores, surgindo aí grandes desafios estruturais.

A medida que são produzidos edifícios com maior número de pavimentos e mais esbeltos, a verificação da estabilidade e efeitos de segunda ordem se tornam indispensáveis. A análise da estrutura de um edifício tem como objetivo, assegurar funcionalidade sob condições de serviços normais e segurança em uma situação de ruína sob condições extremas.

Antes do advento do computador os projetos de edifícios de concreto armado eram feitos com muito trabalho manual. O modelo de análise consistia em subdividir a estrutura em elementos mais simples e isolados, fazendo-se uma separação virtual entre lajes, as vigas e os pilares. Essa metodologia de cálculo facilitava a obtenção dos esforços solicitantes, porém hoje em dia esse método está limitado somente para as edificações de pequeno porte. Nos modelos atuais de análise estrutural o uso do computador se tornou imprescindível, utilizando modelos de cálculos mais sofisticados e refinados.

Hoje em dia no mercado brasileiro existe diversos programas utilizados para análise estrutural de edifícios, dentre os mais populares está o software comercial AltoQi Eberick, utilizado no presente trabalho. Através desse software é possível analisar a estrutura próximo de sua condição real, considerando a estrutura como um modelo de pórtico espacial. Desse modo a influência de todos os elementos de todos os pavimentos do projeto é levada em consideração.

Quando se analisa a estrutura na sua forma deformada, surge a interação das forças existentes com os deslocamentos, o que promove o aparecimento de esforços adicionais. Esses esforços adicionais são denominados efeitos de segunda ordem.

Esses esforços são obtidos pelo Eberick através da opção de processar a estrutura utilizando o processo P-delta. Esse método, considera os efeitos da não linearidade geométrica no cálculo da estrutura, onde a idéia é simular o efeito não linear, através de cargas horizontais fictícias aplicadas a edificação. Como resultado

obtem-se os deslocamentos relativos como também os acréscimos de esforços de segunda ordem para cada pavimento da edificação.

O programa também fornece como resultado a análise da estabilidade global do edifício, classificando-o quanto a deslocabilidade de seus nós, através do coeficiente γ_z . O coeficiente é utilizado para determinar de maneira aproximada os efeitos globais de segunda ordem.

Por meio dos relatórios obtidos pelo processo $P-\Delta$ e coeficiente γ_z fornecidos pelo software AltoQi Eberick, a pesquisa objeto deste trabalho busca investigar os efeitos globais de segunda ordem em edifícios de concreto armado. Para tanto, será feita a análise comparativa de 6 modelos de edifícios, variando a altura em 10, 20 e 30, como também o sistema de contraventamento utilizado. Para cada modelo considerado, os resultados do processamento da estrutura serão analisados e discutidos a fim de verificar qual influência dos parâmetros no acréscimo dos efeitos de segunda ordem, como também contribuir para maior segurança e confiabilidade nos processos simplificados de cálculo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ANÁLISE NÃO-LINEAR

De acordo com Neto (2013), quando se trata de projeto de edifícios de concreto armado a análise da rigidez pode ser feita tanto por métodos simplificados quanto por métodos rigorosos. Dentro dos métodos simplificados estão incluídos o coeficiente γ_z e o método $P-\Delta$, e a obtenção dos esforços e deslocamentos na estrutura é feita pela análise elástica-linear. Nesta análise os efeitos não-lineares são considerados de forma também simplificada.

Ainda segundo Neto (2013), o modelo não-linear, na maioria dos casos, resume-se a duas considerações: a não-linearidade física e a não-linearidade geométrica. A norma brasileira NBR-6118 (2014) recomenda que para a consideração da não-linearidade física a rigidez da peça em análise deve ser reduzida, e que para a consideração da não-linearidade geométrica deve ser aplicado um coeficiente majorador de esforços horizontais, obtidos da análise linear.

2.1.1 Não-linearidade física

“A não linearidade física é o fenômeno correspondente à perda de proporcionalidade entre tensão aplicada e deformação sofrida pelo material” (LIMA, 2001, p.87).

A estrutura de concreto armado não possui um comportamento elástico perfeito. Isso deve-se aos efeitos da fissuração, fluência, o escoamento das armaduras, que impõem a estrutura um comportamento não-linear (PINTO, 1997).

A determinação da não-linearidade física (NLF) pode se tornar uma tarefa difícil em estruturas de concreto armado devido ao fato desse tipo de análise ser um processo iterativo, para cada nível de solicitação e disposição de armadura obtém-se um produto de rigidez (EI) diferente para cada seção (PINTO, 1997).

De acordo com a NBR-6118 (2014) o efeito da NLF deve ser sempre considerado e pode ser obtido através da construção da relação momento-curvatura para cada seção, com armadura conhecida e o valor da força normal atuante. A grande vantagem desse método é a determinação direta da rigidez EI . Entretanto, para Neto (2013) a elaboração do diagrama momento-curvatura é muito trabalhosa,

tornando o cálculo de um edifício sem ajuda computacional inviável. Em vista disto NBR-6118 (2014) permite o uso aproximado da rigidez dos elementos estruturais na análise dos esforços globais de 2ª ordem, válidos para estruturas reticuladas com no mínimo quatro andares, tomando os seguintes valores:

— lajes: $(EI)_{\text{sec}} = 0,3 E_{\text{ci}} I_{\text{c}}$

— vigas: $(EI)_{\text{sec}} = 0,4 E_{\text{ci}} I_{\text{c}}$ para $A_{\text{s}'} \neq A_{\text{s}}$ e

$(EI)_{\text{sec}} = 0,5 E_{\text{ci}} I_{\text{c}}$ para $A_{\text{s}'} = A_{\text{s}}$

— pilares: $(EI)_{\text{sec}} = 0,8 E_{\text{ci}} I_{\text{c}}$

onde:

E_{ci} – módulo de elasticidade tangente inicial do concreto

I_{c} – momento de inércia da seção bruta de concreto

$A_{\text{s}'}$ – armadura de compressão, no caso de vigas com armadura dupla

A_{s} – armadura de tração

2.1.2 Não-linearidade geométrica

A não-linearidade geométrica (NLG) é aquela causada pela deformação dos elementos da estrutura. Os efeitos oriundos da mudança de posição da estrutura no espaço são determinados através de uma análise que leva em consideração a sua configuração final de equilíbrio (PINTO, 1997).

Para exemplificar a NLG utilizaremos como exemplo a barra vertical submetida a esforços vertical e horizontal, conforme apresentado na Figura 1.

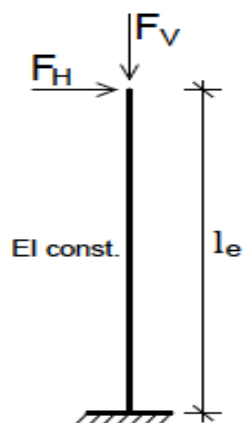


FIGURA 1 – Barra vertical submetida a ações vertical e horizontal.
Fonte: Moncayo(2011).

Fazendo um análise em primeira ordem da estrutura (posição inderformada), para que ela esteja em equilíbrio surge reações na base, Figura 2, dentre elas o momento fletor de primeira ordem M_1 .

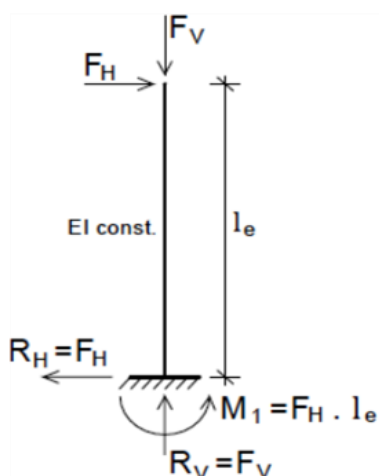


FIGURA 2 - Reações na barra vertical inderfomada.
Fonte: Moncayo (2011).

Agora partindo para uma análise em segunda ordem (posição deformada), Figura 3, percebe-se que devido a um deslocamento u gerado pela força horizontal, será gerado um acréscimo de momento na base igual a $\Delta M = F_V \cdot u$, que será somado a M_1 , formando o momento M_2 .

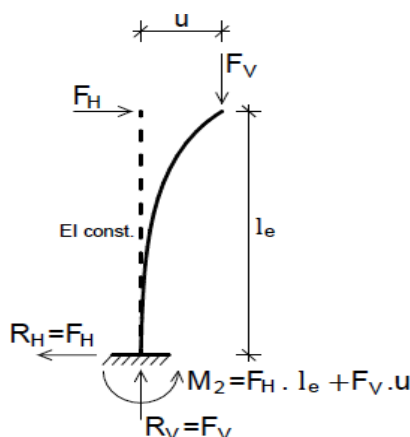


FIGURA 3 - Reações na barra deformada.
Fonte: Moncayo (2011).

Segundo Moncayo (2011) esse acréscimo de momento que surgiu após a configuração deformada da estrutura é chamado de efeito de segunda ordem. A não linearidade geométrica só vai estar sendo levada em consideração se esse esforço adicional for considerado.

2.2 EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM

Quando se analisar uma estrutura e esta for considerada em equilíbrio na sua posição deformada, surgirão efeitos adicionais, denominados “efeitos de segunda ordem”. Esses efeitos somam-se com os de primeira ordem originários da análise da estrutura na posição indeformada (SCADELAI, 2004).

O cálculo dos efeitos de segunda ordem é um processo iterativo. A cada interação surgirá novos deslocamentos, com esses deslocamentos haverá novo acréscimo de forças (efeitos de segunda ordem) e assim sucessivamente até que se encontre o equilíbrio da estrutura. Os efeitos de segunda ordem estão presentes em qualquer estrutura e podem ou não ser considerados de acordo com sua magnitude (FUSCO, 1981).

Segundo Scadelai (2004), quando as estruturas são submetidas a ações verticais e horizontais, seus nós se deslocam horizontalmente. Os esforços gerados a partir desses deslocamentos são classificados como efeitos globais de 2ª ordem. A NBR-6118 (2014) diz que esses efeitos podem ser desprezados desde que o acréscimo de esforços não seja maior que 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem. Os efeitos de 2ª ordem locais e localizados devem ser sempre considerados.

2.3 ESTABILIDADE GLOBAL

2.3.1 Coeficiente γ_z

O coeficiente γ_z foi criado por Franco e Vasconcelos (1991) , com a função de analisar de forma simples e eficiente a estabilidade global de um edifício com estrutura de concreto armado. Através desse coeficiente também é possível estimar os efeitos de segunda ordem simplesmente majorando os esforços de primeira ordem (MONCAYO, 2011).

A NBR-6118 (2014) atribui ao coeficiente γ_z a consideração ou não dos efeitos globais de segunda ordem para estruturas reticuladas com no mínimo quatro pavimentos. Para a obtenção do coeficiente utiliza-se a Equação 1.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{TOT,d}}{M_{1,TOT,d}}} \quad (1)$$

Onde:

$M_{1,TOT,d}$: momento de tombamento. É a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com valores de cálculo, em relação à base da estrutura.

$\Delta M_{TOT,d}$: é a soma da multiplicação das forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada e com valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação.

O coeficiente γ_z é utilizado para classificar a estrutura em função da sua mobilidade. Para estruturas com o valor de $\gamma_z \leq 1,1$, a estrutura é considerada de nós fixos e a consideração dos efeitos de segunda ordem global poderá ser desprezado, considerando cada elemento comprimido isoladamente. Por outro lado, quando o valor de $\gamma_z > 1,1$ a estrutura será classificada como de nós móveis e os efeitos de segunda ordem global deverá ser obrigatoriamente considerados.

Quando o valor de γ_z estiver entre $1,1 < \gamma_z \leq 1,3$ os esforços de segunda ordem podem ser considerados de maneira aproximada simplesmente majorando os esforços horizontais da combinação de carregamento pelo produto $0,95\gamma_z$. Já para

valor de $\gamma_z > 1,3$ os valores dos efeitos de segunda ordem deverá ser obtidos por uma análise mais refinada, como o processo $P - \Delta$.

2.3.2 Método $P - \Delta$

Através do processo $P - \Delta$ os esforços de primeira e de segunda ordem global podem ser obtidos. Porém ele não é um parâmetro de estabilidade, a avaliação da estabilidade global é feita depois da análise. O $P - \Delta$ é um processo de análise não-linear geométrica onde o efeito dos deslocamentos sucessivos é transformado em forças horizontais equivalentes (MONCAYO, 2011; NETO, 2013).

Inicialmente faz-se a análise da estrutura inderformada (primeira ordem), submetida às ações horizontais (FIGURA 4). Feita essa análise obtém-se os deslocamentos resultantes que a partir deste determinará os deslocamentos relativos entre pavimentos (LIMA, 2001).

De acordo com Lima (2001), as forças verticais em cada pavimento geram momentos proporcionais aos deslocamentos relativos. Esses momentos poderão ser substituído por binários equivalentes constituídos de forças horizontais (FIGURA 5), em que as resultantes, em cada pavimento, são denominadas forças horizontais fictícias (FIGURA 6), dadas pela Equação 2.

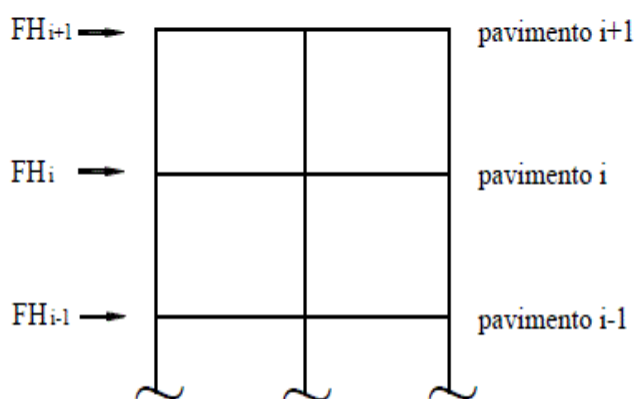


FIGURA 4 - Estrutura inderformada.
Fonte: Lima (2001).

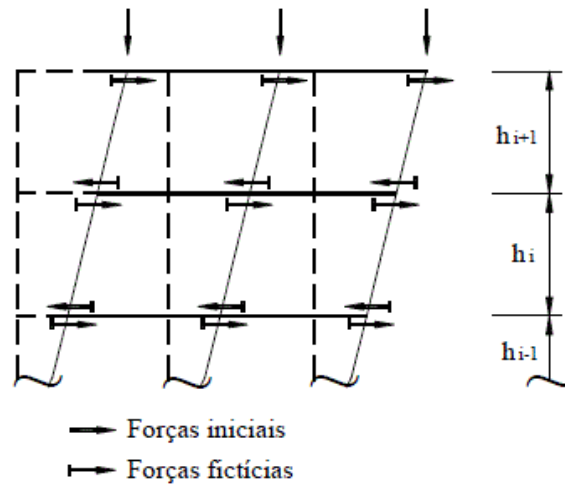


FIGURA 5 - Estrutura deformada.
Fonte: Lima (2001).

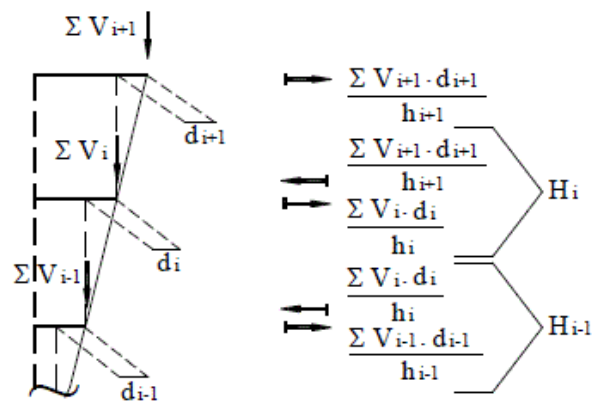


FIGURA 6 - Forças horizontais fictícias.
Fonte: Lima (2001).

$$H_i = \frac{\Sigma v_i \cdot d_i}{h_i} - \frac{\Sigma V_{i+1} \cdot d_{i+1}}{h_{i+1}} \quad (2)$$

Onde:

V_i e V_{i+1} - forças verticais acumuladas até os pavimentos i e $i+1$, respectivamente;

h_i e h_{i+1} - pés-direitos dos pavimentos i e $i+1$, respectivamente;

d_i e d_{i+1} - deslocamentos horizontais relativos do pavimento i em relação ao pavimento $i-1$ e do pavimento $i+1$ em relação ao pavimento i , respectivamente.

Segundo França (1985) as forças horizontais fictícias deverão ser somadas as forças horizontais iniciais e faz-se nova análise de primeira ordem. Para

cada interação, novas forças horizontais fictícias são encontradas e isto se sucede até que os valores fiquem constantes.

Ainda segundo França (1985) os resultados desse método apresentam como os efeitos de segunda ordem se manifestam para cada elemento da estrutura, ou seja, as barras correspondentes a cada viga e pilar terão um valor de $P-\Delta$ correspondente, que será capaz de apresentar os efeitos individuais para os elementos através de uma análise global.

2.4 PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM DIRETAMENTE NA ESTABILIDADE DO EDIFÍCIO

2.4.1 Ação do vento

A ação do vento em edificações depende de dois aspectos: meteorológicos e aerodinâmicos. Os aspectos meteorológicos serão responsáveis pela velocidade do vento a considerar no projeto da estrutura de um edifício. Ela é avaliada a partir de considerações como: local da edificação, tipo de terreno, altura da edificação, rugosidade do terreno e tipo de ocupação.

Os aspectos aerodinâmicos estão relacionados com a análise do vento levando em conta a forma da edificação, pois sabe-se que o vento, ao incidir sobre uma edificação, terá um comportamento diferente em função da sua forma (GONÇALVES, 2007).

2.4.1.1 Determinação da velocidade característica do vento V_k

A velocidade do vento é diferente para cada região do planeta. A NBR - 6123 (1988) define uma velocidade básica do vento, V_0 , que varia de acordo com a região do Brasil que está sendo considerada, conforme Figura 7. A velocidade básica do vento é a velocidade de uma rajada de três segundos, probabilidade de 63% de ser excedida pelo menos uma vez em 50 anos, à altura de 10m acima do terreno, em campo aberto e sem obstruções. A partir da velocidade básica do vento, é possível determinar a velocidade com que ele incidirá numa determinada edificação, chamada de velocidade característica V_k .

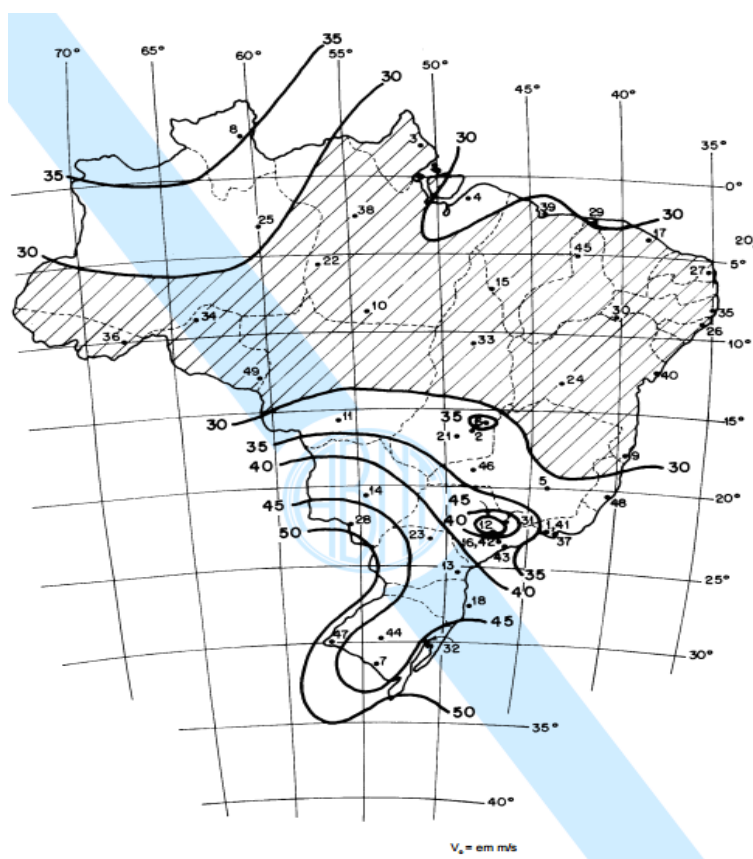


FIGURA 7 - Determinação da V_0 em m/s.
Fonte: NBR 6123:1988.

Essa velocidade característica deverá considerar os aspectos particulares, entre os quais: topografia do local, rugosidade do terreno, altura da edificação, suas dimensões, tipo de ocupação e risco de vida. Assim, a velocidade característica pode ser obtida pela seguinte equação:

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (3)$$

Onde:

V_0 é a velocidade básica do vento;

S_1 é um fator topográfico;

S_2 é um fator relativo à rugosidade do terreno e às dimensões da edificação;

S_3 é um fator estatístico.

A seguir será mostrado como podem ser obtidos os fatores S_1 , S_2 e S_3 .

- **Fator S₁**

O fator topográfico considera a variação do relevo do terreno onde será construída a edificação. A Norma Brasileira NBR-6123 (1988) considera basicamente as três situações indicadas a seguir.

- Terreno plano ou pouco ondulado: $S_1 = 1,0$.
- Para talude e morros, o valor de S_1 é obtido a partir do ângulo de inclinação θ , como mostrado na Figura 8. No ponto B, valem as seguintes equações para determinação de S_1 :

$$\theta \leq 3^\circ \rightarrow S_1(z) = 1,0$$

$$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ \rightarrow S_1(z) = 1,0 + (2,5 - zd) \cdot \operatorname{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1$$

$$\theta \geq 45^\circ \rightarrow S_1(z) = 1,0 + (2,5 - zd) \cdot 0,31 \geq 1$$

- Vales profundos protegidos de ventos de qualquer direção: $S_1 = 0,9$.

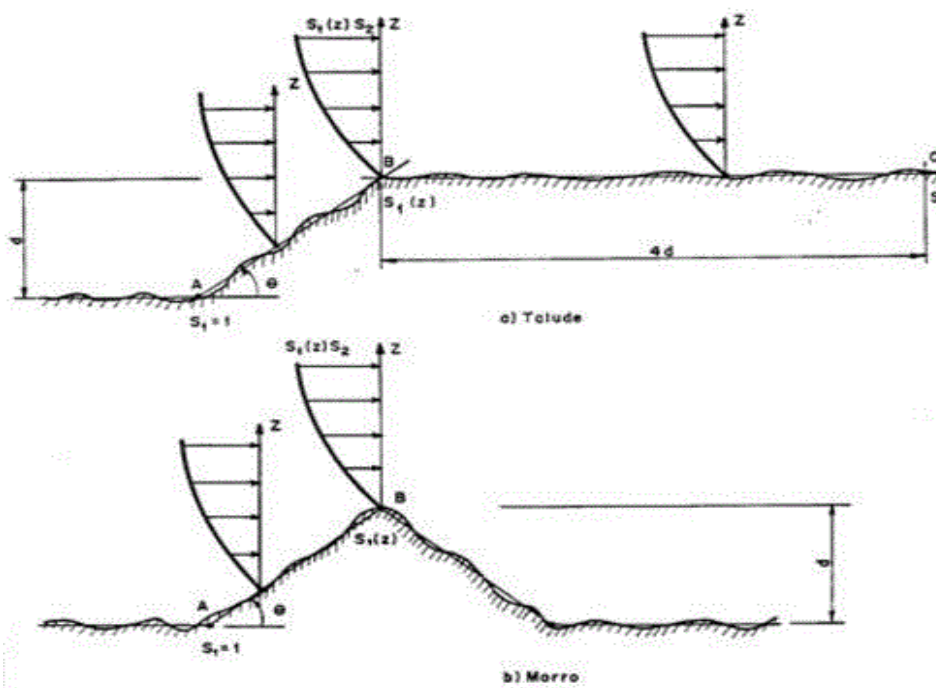


FIGURA 8 - Fator topográfico S_1 .
Fonte: NBR 6123:1988.

- **Fator S₂**

O fator S_2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade com a altura do terreno e das dimensões da edificação. A rugosidade do terreno está diretamente associada à velocidade do vento quando há presença de obstáculos naturais ou artificiais. A NBR-6123 (1988) estabelece cinco categorias de terreno (TABELA 1), em função de sua rugosidade:

TABELA 1- Definição de categorias para determinação do coeficiente S_2 .

Categoria	Descrição do ambiente
I	Mar calmo, lagos, rios, pântanos.
II	Campos de aviação, fazendas.
III	Casas de campo, fazendas com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 3,0 m.
IV	Cidades pequenas, subúrbios densamente construídos, áreas industriais desenvolvidas, com muros, subúrbios, com altura média dos obstáculos de 10,0 m.
V	Florestas com árvores altas, centros de grandes cidades, com altura média igual ou superior a 25,0 m.

Fonte: NBR 6123:1988.

Em função das suas dimensões as edificações são classificadas conforme a Tabela 2.

TABELA 2 - Dimensões da edificação.

Classe	Descrição
A	Maior dimensão da superfície frontal menor ou igual a 20 metros
B	Maior dimensão da superfície frontal entre 20 e 50 metros
C	Maior dimensão da superfície frontal que 50 metros

Fonte: Adaptada da NBR 6123:1988.

Portanto, calcula-se o valor de S_2 com a seguinte expressão:

$$S_2 = b \times Fr \times \left(\frac{z}{10} \right)^p \quad (4)$$

Onde:

z é a altura acima do terreno;

Fr é o fator de rajada correspondente à categoria II;

b é o parâmetro de correção da classe da edificação;

p é o parâmetro meteorológico.

A expressão para o cálculo de S_2 é aplicável até a altura z limite, a qual define o contorno superior da camada atmosférica para cada categoria, mostrada na

segunda coluna da Tabela 3. Os parâmetros F_r , b e p adotados pela Norma Brasileira NBR-6123 (1988) estão apresentados também na Tabela 3.

TABELA 3 - Parâmetros Meteorológicos para o Fator S_2 .

Categoria	z(m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	B	1,10	1,11	1,12
		P	0,06	0,065	0,07
II	300	B	1,00	1,00	1,00
		F_r	1,00	0,98	0,95
		P	0,085	0,09	0,10
III	350	B	0,94	0,94	0,93
		P	0,10	0,105	0,115
IV	420	B	0,86	0,85	0,84
		P	0,12	0,125	0,135
V	500	B	0,74	0,73	0,71
		P	0,15	0,16	0,175

Fonte: NBR 6123:1988.

Em vez de se utilizar a expressão para o cálculo de S_2 , pode-se também utilizar os valores de S_2 para as diversas categorias de rugosidade do terreno e classes de dimensões das edificações, mostrados na Tabela 4.

TABELA 4 - Fator S_2 .

Z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,86	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92

TABELA 4 – (Continuação) Fator S_2 .

Z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		

	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: NBR 6123:1988.

• Fator S_3

O fator estatístico S_3 , considerando conceitos probabilísticos e o tipo de ocupação, está relacionado com a segurança da edificação. A Norma Brasileira NBR -6123 (1988) estabelece como vida útil da edificação o período de 50 anos e uma probabilidade de 63% de a velocidade básica ser excedida pelo menos uma vez nesse período. Apresentam-se na Tabela 5 os valores mínimos do fator S_3 .

TABELA 5 - Valores mínimos do fator S_3 .

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residenciais. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção.	0,83

Fonte: Adaptada da NBR 6123:1988.

2.4.1.2 Força de arrasto

A consideração de vento em edificações altas recebe um tratamento, dentro de uma análise global, em que a superposição de efeitos externos (forma) com efeitos internos (aberturas) é obtida por meio de um comportamento global da edificação, e representada por um único coeficiente, C_a , denominado coeficiente de arrasto (GONÇALVES, 2007).

A força de arrasto F_a é a componente da força global do vento sobre uma edificação, e tal força global pode ser obtida pela soma vetorial das forças de arrasto que atuam na edificação.

Essa força de arrasto pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$F_a = C_a \times q \times A_e \quad (5)$$

Onde:

C_a é o coeficiente de arrasto;

q é a pressão dinâmica ou pressão de obstrução;

A_e é a área efetiva, que é a área da projeção ortogonal da edificação, sobre um plano perpendicular à direção do vento (“área da sombra”).

Segundo a NBR 6123:1988, a pressão dinâmica pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$q = 0,613 \times V_k^2 \quad (6)$$

sendo q em N/m^2 e V_k em m/s .

2.4.1.2.1 Edificações de planta retangular

Segundo a NBR 6123:1988, para se determinar o coeficiente de arrasto (C_a) em edificações de múltiplos andares com planta retangular, devem-se considerar, principalmente, as condições de vento de baixa ou alta turbulência.

O vento de baixa turbulência, caracterizado pela ausência de obstruções como, por exemplo, em campo aberto e plano, foi o utilizado para a determinação do

C_a nos ensaios de túnel de vento. No gráfico da Figura 9 podem-se observar os valores do C_a (curvas variando de 0,7 a 2,2) em função da largura, comprimento e altura. Para se retirar o valor do C_a do gráfico dividem-se os comprimentos da edificação em planta L_1 por L_2 , valores esses que dependem do ângulo de incidência do vento, ou seja, da direção em que se está realizando a análise, como indicado na Figura 9.

A razão desses dois comprimentos está representada no eixo das abscissas (horizontal). O eixo das ordenadas (vertical) é representado pela divisão da altura da edificação H pelo comprimento L_1 .

No caso de vento de alta turbulência, os valores de C_a devem levar em conta este efeito e variam de 0,7 a 1,6, como mostrado na Figura 10. Para se obter o valor do C_a , o processo é análogo ao de vento de baixa turbulência, descrito anteriormente.

Segundo a NBR 6123:1988, uma edificação é considerada em zona de alta turbulência quando a sua altura não excede o dobro da altura média das edificações vizinhas, ou seja, se a altura da edificação for maior que o dobro da altura média das edificações vizinhas, ela estará em zona de baixa turbulência, caso contrário, estará em zona de alta turbulência.

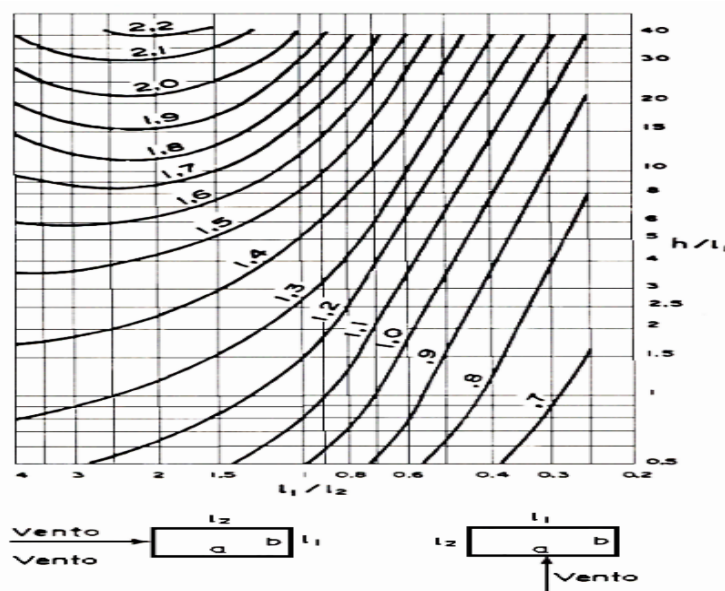


FIGURA 9 - Coeficiente de arrasto para vento de baixa turbulência
Fonte: NBR 6123:1988.

A altura média das edificações vizinhas deve ser obtida com a altura de todas as edificações até certa distância na direção do vento incidente.

Essa distância depende da altura da edificação em análise, como mostrado a seguir:

- 500 metros, para uma edificação de até 40 metros de altura;
- 1000 metros, para uma edificação de até 55 metros de altura;
- 2000 metros, para uma edificação de até 70 metros de altura;
- 3000 metros, para uma edificação de até 80 metros de altura.

De acordo com Moncayo (2011), a força global do vento que se obtém em zona de baixa turbulência é maior que aquela que se obtém em zona de alta turbulência, embora o nome baixa e alta possa induzir ao pensamento contrário.

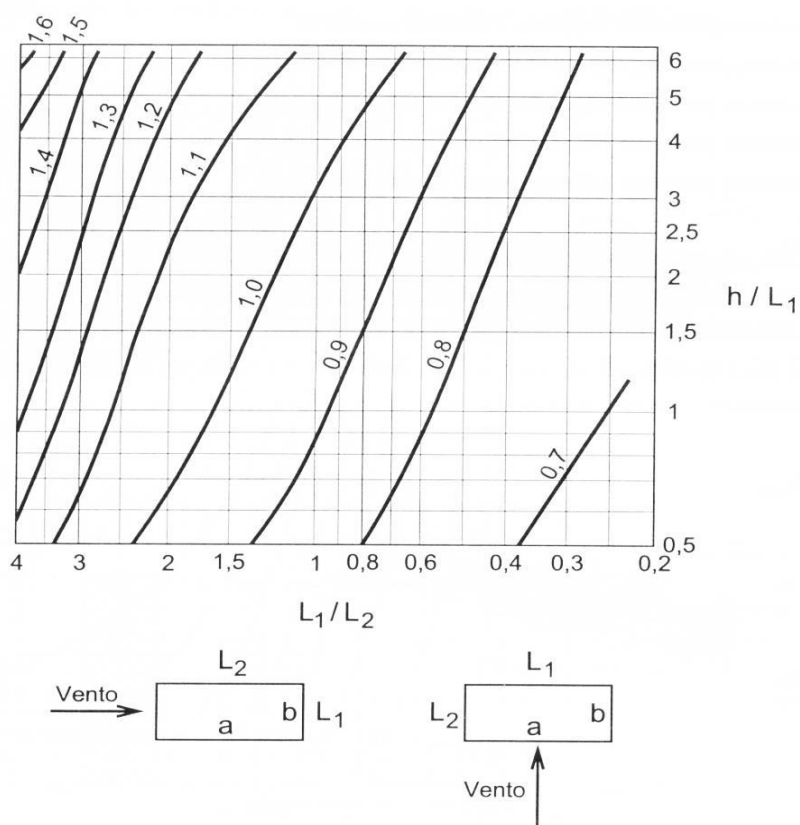


FIGURA 10 - Coeficiente de arrasto para vento de alta turbulência.
Fonte: NBR 6123:1988.

2.4.2 Ações verticais

2.4.2.1 Carga permanente

Segundo a NBR 6120:1980, o carregamento permanente de uma estrutura é determinado pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes, sendo adotado para o concreto os valores descrito na Tabela 6. A norma também diz que quando forem previstas paredes divisórias, cuja posição não esteja definida no projeto, o cálculo de pisos com suficiente capacidade de distribuição de carga, quando não for feito por processo exato, pode ser feito admitindo, além dos demais carregamentos, uma carga uniformemente distribuída por metro quadrado de piso não menor que um terço do peso por metro linear de parede pronta, observado o valor mínimo de 1 kN/m².

TABELA 6 - Peso específico do concreto.

Concreto	Peso específico aparente (KN/m ³)
Simples	24
Armado	25

Fonte: Adaptada da NBR 6120:1980.

2.4.2.2 Carga accidental

De acordo com a NBR 6120:1980, é o carregamento que pode atuar na estrutura da edificação decorrente do seu uso. Esta carga accidental se refere a pessoas, móveis, utensílios e veículos, e são supostamente distribuídas. Na Tabela 7, estão relacionados os valores mais comuns em edifícios, para outros locais consultar a referida norma.

TABELA 7 - Cargas accidentais.

Tipo	Local	Valores mínimos Kgf/m ²
Edifícios Residenciais	Dormitórios, sala, cozinha, banheiro	150
	Despensa, área de serviço e Lavanderia	200

TABELA 7 – (Continuação) Cargas accidentais.

Tipo	Local	Valores mínimos Kgf/m ²
------	-------	------------------------------------

Escadas	Com acesso ao público	300
	Sem acesso ao público	250
Escritórios	Salas de uso geral e banheiros	200
Lojas	Galeria de lojas	300
	Lojas com mezaninos	500
Restaurantes		300
Garagens e Estacionamentos	Veículos de passageiros	300
Escolas	Salas de aulas, corredores	300
	Outras salas	200
Bibliotecas	Com acesso ao público	250
	Sem acesso ao público	400
Terraços	Com acesso ao público	200
	Sem acesso ao público	300
Forros	Sem acesso a pessoas	50

Fonte: NBR 6120:1980.

2.5 COMBINAÇÕES DAS AÇÕES

Segundo a NBR 6118:2014, um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido.

A combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura; a verificação da segurança em relação aos estados-limites últimos e aos estados-limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e de combinações de serviço, respectivamente.

As ações últimas normais são dadas pela seguinte equação:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right] \quad (7)$$

Onde:

$F_{Gi,k}$ - é o valor característico das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$ - é o valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação;

$\Psi_{0j}F_{Qj,k}$ - é o valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis.

Sobre os coeficientes das ações permanentes, a norma faz as seguintes considerações:

Os coeficientes de ponderação γ_g das ações permanentes majoram os valores representativos das ações permanentes que provocam efeitos desfavoráveis e minoram os valores representativos daquelas que provocam efeitos favoráveis para a segurança da estrutura. Para uma dada ação permanente, todas as suas parcelas são ponderadas pelo mesmo coeficiente γ_g , não se admitindo que algumas de suas partes possam ser majoradas e outras minoradas (NBR 8681, 2003, p. 8).

Os coeficientes de ponderação γ_g relativos às combinações normais das ações permanentes que figuram nas combinações últimas, salvo indicação em contrário, expressa em norma relativa ao tipo de construção e de material considerados, devem ser tomados com os valores básicos indicados na Tabela 8 se as ações forem consideradas separadamente, e Tabela 9 se as ações forem consideradas agrupadas. O projetista deve escolher uma dessas duas tabelas.

TABELA 8 - Ações permanentes diretas consideradas separadamente.

Combinação	Tipo de ação	Efeito	
		Desfavorável	Favorável
Normal	Peso próprio de estruturas metálicas	1.25	1.0
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1.30	1.0
	Peso próprio de estruturas moldadas no local	1.35	1.0

TABELA 8 – (Continuação) Ações permanentes diretas consideradas separadamente.

Combinação	Tipo de ação	Efeito	
		Desfavorável	Favorável
Normal	Elementos construtivos industrializados com adições in loco	1.40	1.0
	Elementos construtivos em geral e	1.50	1.0

	equipamentos		
--	--------------	--	--

Fonte: Adaptada da NBR 8681:2003.

TABELA 9 - Ações permanentes diretas agrupadas.

Combinação	Tipo de ação	Efeito	
		Desfavorável	Desfavorável
Normal	Grandes pontes ¹⁾	1.30	1.0
	Edificações tipo 1 e pontes em geral ²⁾	1.35	1.0
	Edificações tipo 2 ³⁾	1.40	1.0

¹⁾Grandes pontes são aquelas em que o peso próprio da estrutura supera 75% da totalidade das ações permanentes.

²⁾ Edificações tipo 1 são aquelas onde as cargas acidentais superam 5 kN/m².

³⁾ Edificações tipo 2 são aquelas onde as cargas acidentais não superam 5 kN/m².

Fonte: Adaptada da NBR 8681:2003.

Sobre o coeficientes das ações variáveis, a norma faz as seguintes considerações:

Os coeficientes de ponderação γ_q das ações variáveis majoram os valores representativos das ações variáveis que provocam efeitos desfavoráveis para a segurança da estrutura. As ações favoráveis que provocam efeitos favoráveis não são consideradas nas combinações de ações, admitindo-se que sobre a estrutura atuem apenas as parcelas de ações variáveis que produzam efeitos desfavoráveis. As ações variáveis que tenham parcelas favoráveis e desfavoráveis, que fisicamente não possam atuar separadamente, devem ser consideradas conjuntamente como uma ação única (NBR 8681, 2003, p. 10).

Os coeficientes de ponderação γ_q relativos às combinações normais das ações variáveis que figuram nas combinações últimas, salvo indicação em contrário, expressa em norma relativa ao tipo de construção e de material considerados, devem ser tomados com os valores básicos indicados na Tabela 10 para cada uma das ações consideradas separadamente ou na Tabela 11 se essas ações forem consideradas conjuntamente. O projetista deve escolher uma dessas duas tabelas.

TABELA 10 - Ações variáveis consideradas separadamente.

Combinação	Tipo de ação	Coefficiente de ponderação
Normal	Ações truncadas ¹⁾	1.2
	Efeito de temperatura	1.2
	Ação do vento	1.4
	Ações variáveis em geral	1.5

¹⁾ Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico de modo que o valor dessa ação não pode superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado na tabela 4 se aplica a esse valor limite.

Fonte: Adaptada da NBR 8681:2003.

TABELA 11 - Ações variáveis agrupadas.

Combinação	Tipo de ação	Coefficiente de ponderação
Normal	Pontes e edificações tipo 1	1.5
	Edificações tipo 2	1.4

Fonte: Adaptada da NBR 8681:2003.

Para os valores dos fatores de combinação ψ_0 , salvo indicação em contrário, expressa em norma relativa ao tipo de construção e de material considerados, estão indicados na Tabela 12.

TABELA 12 - Valores dos fatores de combinação.

Ações	ψ_0
Cargas acidentais de edifícios	
Locais que não há predominância de pesos e equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas.	0.5
Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas.	0.7
Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens.	0.8
Vento	
Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0.6

Fonte: Adaptada da NBR 8681:2003.

3 OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho estão classificados em geral e específicos e serão apresentados nos itens seguintes.

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho consiste em analisar os efeitos de segunda ordem em edifício de concreto armado, a fim de verificar a influência de cada parâmetro que poderá proporcionar efeitos maiores, contribuindo ao projetista de estruturas maior segurança e confiabilidade nos processos simplificados que são empregados para a consideração dos efeitos de segunda ordem.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Verificar a influência da altura da edificação no dimensionamento estrutural;
- Verificar a influência da consideração da não linearidade física e geométrica nos cálculos de estabilidade global;
- Analisar a influência da rigidez de lajes, vigas e pilares na estabilidade global de um edifício;
- Verificar os efeitos de segunda ordem na estrutura da edificação, utilizando diferentes sistemas estruturais.
- Comparar os resultados obtidos da análise da estabilidade global, através do coeficiente Gama – z (γ_z) e processo P - delta ($P-\Delta$).

4 METODOLOGIA

Para fazer a investigação dos efeitos globais de segunda ordem, foi utilizado o programa comercial *AltoQi Eberick*, onde a análise estrutural consistiu na simulação de 6 modelos de um edifício de concreto armado variando a altura em 10, 20 e 30 andares, a planta baixa modelo utilizado para as análises é apresentada na Figura 11. A planta citada trata-se de um edifício residencial com quatro apartamentos por pavimento, onde os acessos são constituídos por escada e dois elevadores, totalizando uma área construída por pavimento tipo de 257m².

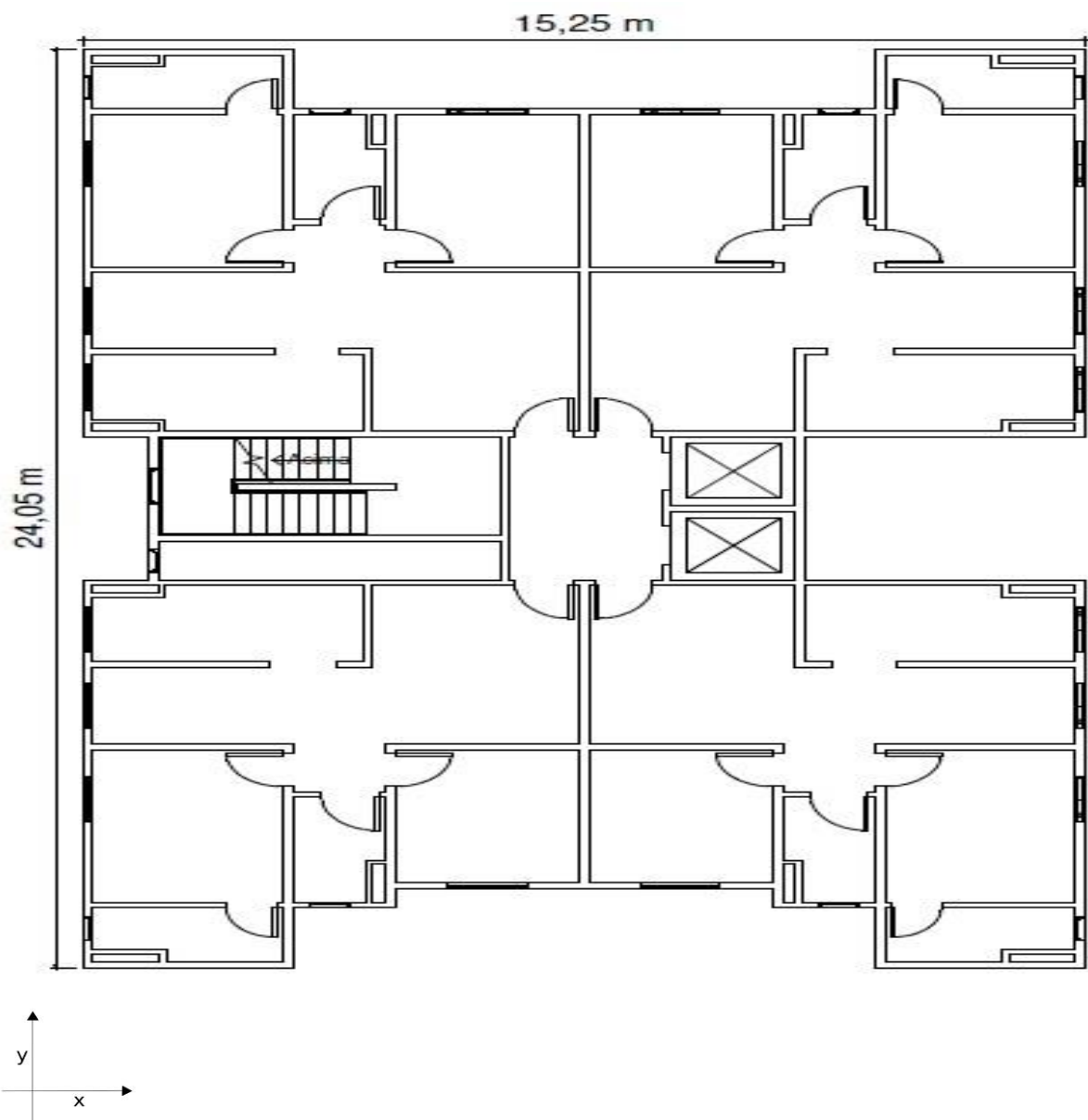


FIGURA 11- Planta baixa da arquitetura modelo
Fonte: Elaboração Própria (2017).

O primeiro e segundo modelo possui 10 pavimentos com altura de pé direito de 3 metros, mudando apenas o contraventamento, em que no primeiro modelo a estrutura é constituída apenas por pórtico e laje, e no segundo a o acréscimo do núcleo rígido, “ver Figura 12a e 21b”, respectivamente. O modelo três e quatro possuem a mesma ideal no contraventamento, porém uma maior quantidade de pavimentos, totalizando 20 andares, “ver Figura 13a e 13b”, respectivamente. E por fim, o quinto e sexto modelo, a quantidade de pavimentos passa a ser 30, “ver Figura 14a e 14b”, respectivamente.

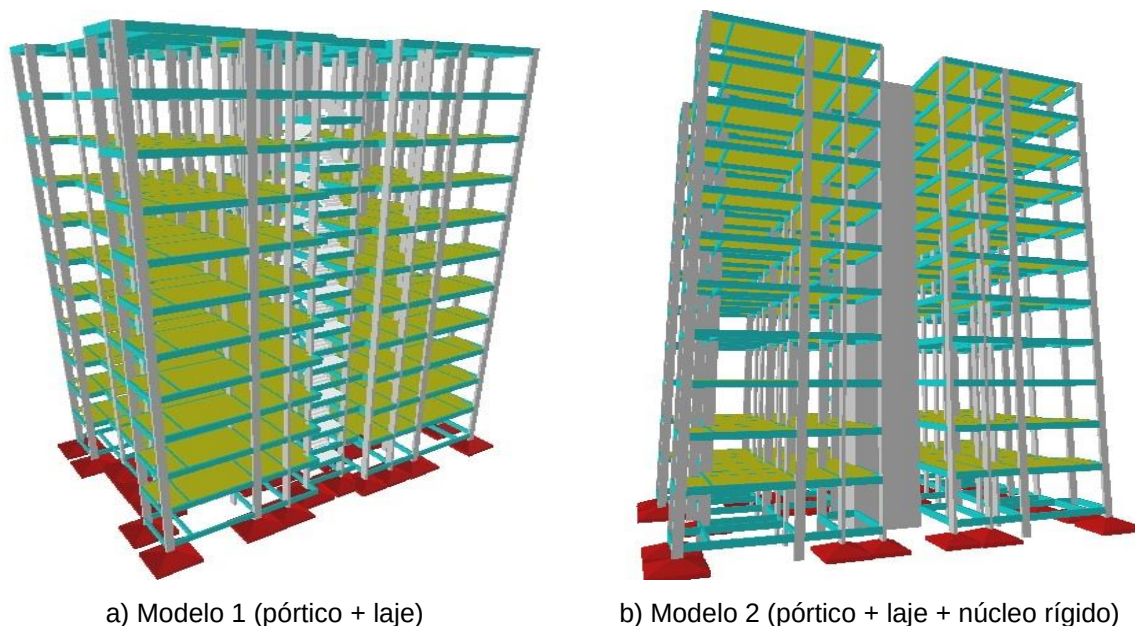


FIGURA 12 - Modelo 1 e 2 de análises.
Fonte: Elaboração Própria (2017).

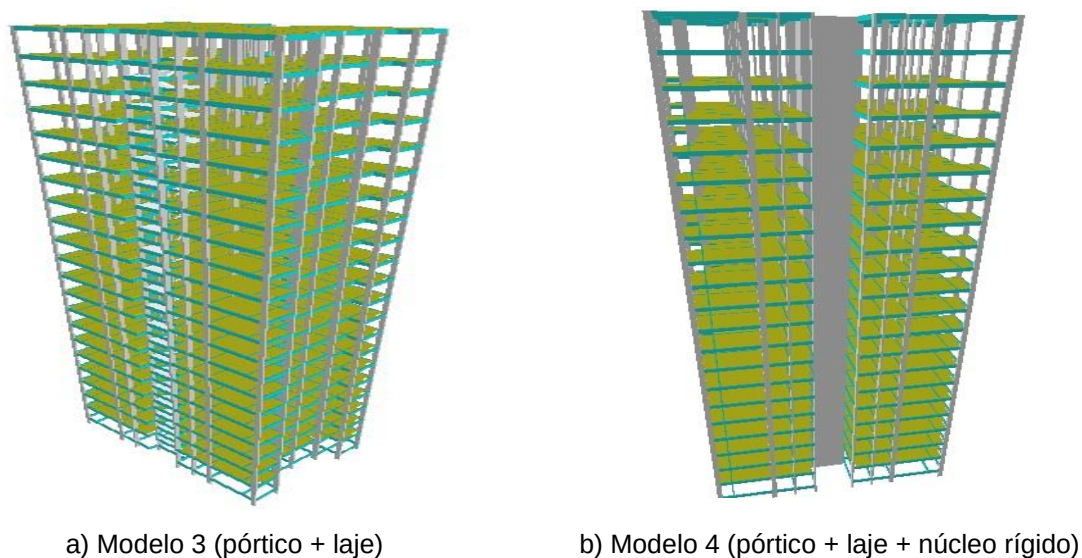
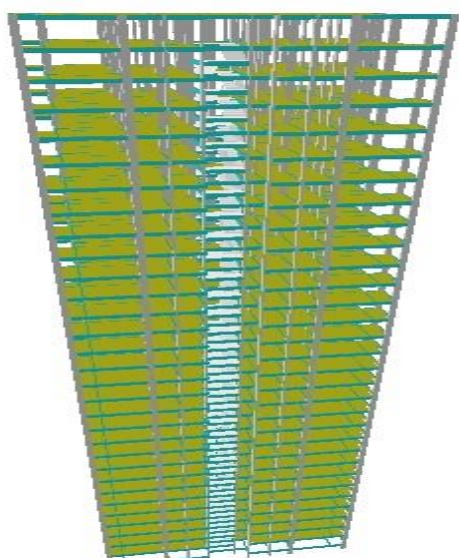
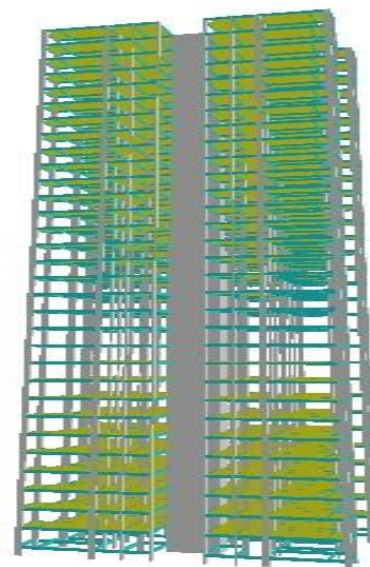


FIGURA 13 - Modelo 3 e 4 de análises.
Fonte: Elaboração Própria (2017).



a) Modelo 5 (pórtico + laje)



b) Modelo 6 (pórtico + laje + núcleo rígido)

FIGURA 14 - Modelo 5 e 6 de análises.
Fonte: Elaboração Própria (2017).

Para cada altura do edifício foi confeccionado 2 modelos estruturais, variando entre si o sistema de contraventamento, conforme especificado na Tabela 13. Sendo assim, a investigação consistiu em comparar os diferentes modelos estruturais verificando os seus deslocamentos e os respectivos efeitos de segunda ordem, através do processo $P-\Delta$ e coeficiente γ_z .

TABELA 13 - Número de pavimentos e elementos estruturais dos modelos

Modelo	Nº de pavimentos	Elementos estruturais
1	10	Pórtico + Laje
2	10	Pórtico + Laje + Pilar parede
3	10	Pórtico + Laje
4	20	Pórtico + Laje + Pilar parede
5	20	Pórtico + Laje
6	20	Pórtico + Laje + Pilar parede

Fonte: Elaboração Própria (2017).

Os resultados gerados da análise da não linearidade geométrica pelo processo P-delta, são disposto em forma de tabela onde podemos verificar os deslocamento relativos para cada pavimento, os respectivos esforços gerados como também a variação no deslocamento no topo da edificação, sempre levando em consideração as quatro direções do vento especificada mais adiante.

Dispostos também em forma de tabela, os resultados gerados pela verificação da estabilidade global da estrutura especifica o valores do coeficientes γ_z na direção x e y para cada combinação considerada.

4.1 PARÂMETROS DE PROJETO

Para a construção dos modelos foi utilizado para a resistência do concreto um fck de 25 MPa, agressividade ambiental II, diâmetro do agregado 19 mm, 3 cm de cobrimento para as vigas e pilares e 2,5 cm para as lajes. O edifício apresenta uma dimensão de 24 x 15 m e um pé direito de 3m. O carregamento vertical considerado no pavimento foi de 150 Kgf/m² para a carga acidental, 150 kgf/m² para a carga permanente e uma carga de 585 Kgf/m relativo a carga de parede lançada nas vigas exceto na cobertura.

A não linearidade física foi considerada de maneira aproximada, adotando-se 0,8 E_{ci}/I_c para pilares, 0,4 E_{ci}/I_c para vigas e 0,5 E_{ci}/I_c para lajes.

Em relação ao carregamento horizontal, foi adotado a ação do vento conforme a norma NBR-6123 (1988). A velocidade básica do vento considerada é de 30 m/s, tendo como referência a cidade de Palmas/TO, o fator topográfico (S1) igual a 1,0, terreno plano com poucos obstáculos, categoria de rugosidade do terreno II, classe da edificação B (S2) e fator estatístico igual a 1,0.

4.2 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DOS MODELOS

Os modelos que apresentam sistema de contraventamento formado por pórtico e laje, possui seus elementos estruturais disposto como mostra a Figura 15. No total são 51 pilares com seção retangular, sendo 49 com dimensão 19 x 50cm e 2 com dimensão 19 x 65cm (P47 e P49), e 2 pilares com seção em forma de “T” com as seguintes dimensões 45 x 45 x 15 x 15cm (P26 e P27). Já as vigas totalizam 61 unidades com dimensões 14 x 45 cm e as lajes somam 26 unidades com espessura de 10 cm.

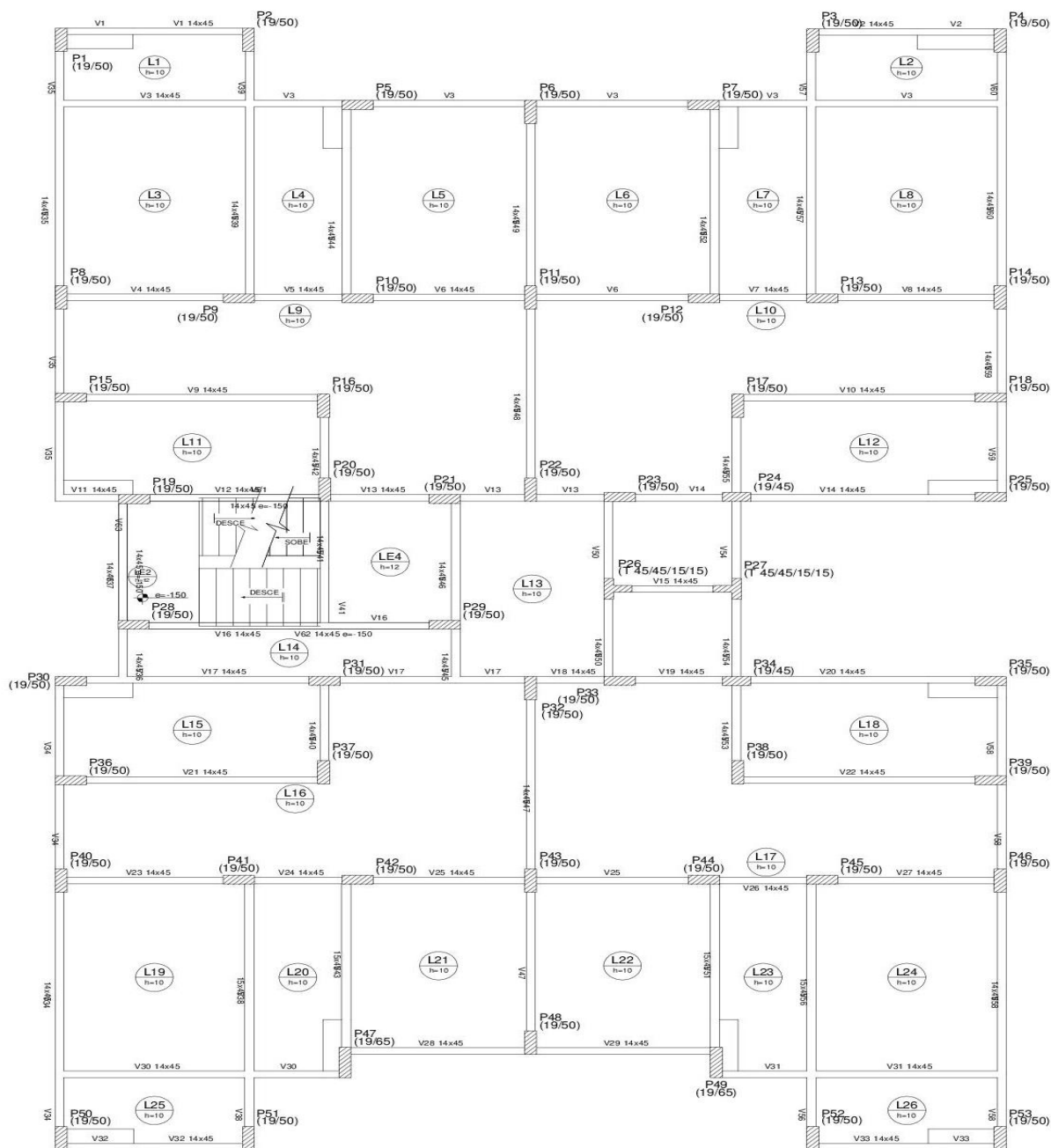


FIGURA 15 - Fôrma pavimento tipo sem pilar parede.

Fonte: Elaboração Própria (2017).

Nos modelos que apresentam sistema de contraventamento constituído por pórtico, laje e núcleo rígido, os elementos estruturais são dispostos como mostra a Figura 16. No total são 47 pilares com seção retangular, sendo 45 com dimensão 19 x 50cm e 2 com dimensão 19 x 65cm (P42 e P44), e 1 pilar parede com seção em forma de “U” com as seguintes dimensões 220 x 405 x 15 x 15cm (P23). Já as vigas totalizam 63 unidades por pavimento com dimensões 14 x 45 cm e as lajes somam 26 unidades por pavimento com espessura de 10 cm.

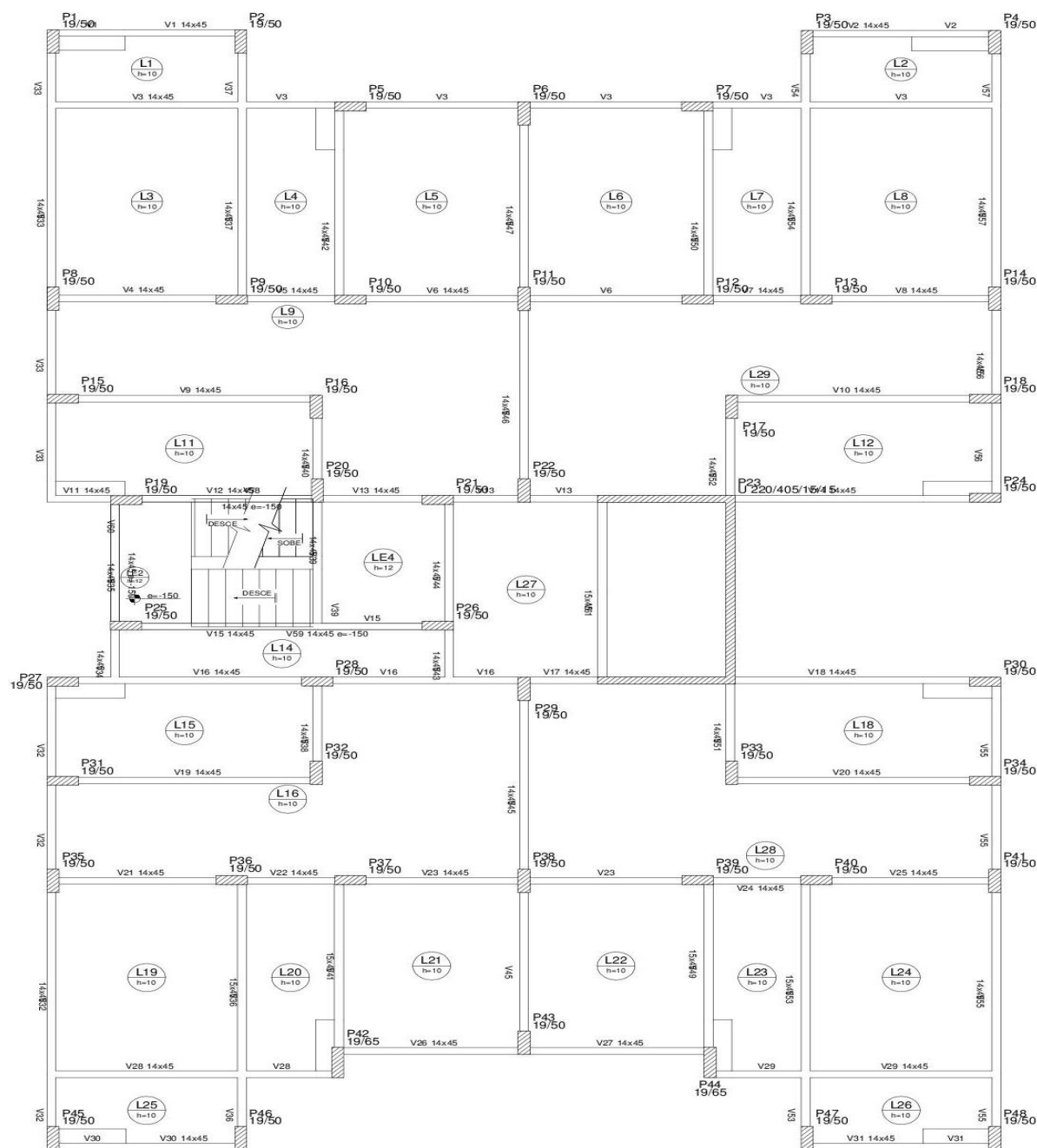


FIGURA 16 - Fôrma pavimento tipo com pilar parede
Fonte: Elaboração Própria (2017).

4.3 COMBINAÇÕES

Na verificação da estabilidade global foi utilizada oito combinações últimas diferentes conforme a mostra a Tabela 14 , e o vento incidindo nas quatro direções (FIGURA 17). Nas combinações utilizadas leva-se em consideração as ações permanentes devido ao peso próprio e carga adicional (G1 e G2), a ação variável decorrente da carga acidental (Q) e da ação vento (V1, V2, V3 e V4).

TABELA 14 - Combinações últimas.

Direção do vento	Combinações últimas
Eixo X (+)	$1.4G1 + 1.4G2 + 0,7 \times 1,4Q + 1.4V1$
Eixo X (-)	$1.4G1 + 1.4G2 + 0,7 \times 1,4Q + 1.4V2$
Eixo Y (+)	$1.4G1 + 1.4G2 + 0,7 \times 1,4Q + 1.4V3$
Eixo Y (-)	$1.4G1 + 1.4G2 + 0,7 \times 1,4Q + 1.4V4$
Eixo X (+)	$1.4G1 + 1.4G2 + 1.4Q + 1,4 \times 0,6V1$
Eixo X (-)	$1.4G1 + 1.4G2 + 1.4Q + 1,4 \times 0,6V2$
Eixo Y (+)	$1.4G1 + 1.4G2 + 1.4Q + 1,4 \times 0,6V3$
Eixo Y (-)	$1.4G1 + 1.4G2 + 1.4Q + 1,4 \times 0,6V4$

Fonte: Elaboração Própria (2017).

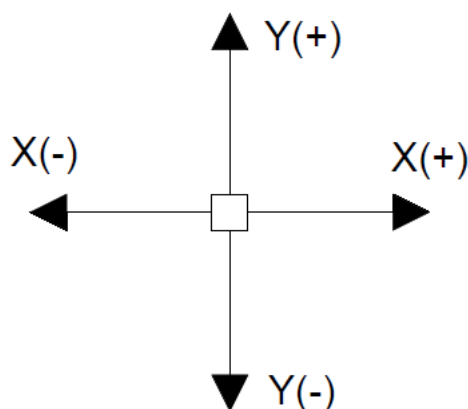


FIGURA 17 - Direções do vento.
Fonte: Elaboração Própria (2017).

Os coeficientes de ponderações e fatores de combinação, foram utilizados nas combinações mostradas acima (TABELA 14), de acordo com o que diz a NBR-8681 (2003). Para a majoração das ações permanentes foi utilizado o valor 1,4, valor esse que é utilizado para elementos construtivos industrializados com adições in loco. Para ações variáveis o valor de majoração utilizado foi 1,4, tanto para carga acidental quanto para ação do vento. Já os fatores de combinação foram utilizados os valores de 0,7 para a carga acidental considerando um ambiente com elevada concentração de pessoas, e o valor de 0,6 para a pressão dinâmica do vento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL DA ESTRUTURA

Na Figura 18 pode-se verificar os resultados obtidos dos modelos com a análise do coeficiente γ_z , os resultados com mais detalhes das análises de estabilidade global gerados pelo Eberick, se encontra no Apêndice A.

Percebe-se que na direção x, o coeficiente γ_z é praticamente constante. Isso deve-se à disposição da seção transversal do núcleo rígido, que no caso dos modelos considerados, possui seu eixo de maior inércia contido no eixo y, o que explica um valor acentuado de queda do valor nessa direção.

Os modelos com 10 pavimentos possui na direção x $\gamma_z \leq 1,1$, o que corresponde a efeitos de segunda ordem menor ou igual a 10% dos efeitos de primeira ordem. Segundo a NBR-6118 (2014), esses acréscimos de esforços é pequeno o suficiente para serem desprezados. Diferente do que acontece na direção y do modelo 1 que possui $\gamma_z > 1,1$, classificando a estrutura como de nós móveis, devendo se considerar os esforços de segunda ordem de maneira aproximada majorando as ações horizontais em $0,95\gamma_z$.

Na direção x dos modelos com 20 pavimentos, tanto para o modelo sem pilar parede quanto para o com pilar parede, resultaram em um acréscimo de esforços de segunda ordem de 23% em relação aos de primeira ordem. Já na direção y o valor do γ_z do modelo 3 foi 9% maior que o do modelo 4, diferença essa que mostra a eficiência do núcleo rígido nessa direção. Os resultados do γ_z obtidos em ambas as direções, $1,1 < \gamma_z \leq 1,3$, classificam os modelos 3 e 4 em uma estrutura de nós móveis, devendo se levar em consideração os efeitos de segunda ordem de forma estimada majorando as ações horizontais em $0,95\gamma_z$.

Já nos modelos de edifícios com 30 pavimentos os valores obtidos do coeficiente γ_z foram maiores que 1,3 em ambas as direções. Na direção x a análise dos modelos 5 e 6 resultaram em um esforço adicional de 45% em relação aos esforços de primeira ordem, na direção y esse acréscimo de esforço chega a 58% no modelo 5 (sem pilar parede). Nesses casos os efeitos de segunda ordem devem ser obtidos de forma não estimada, passando por uma análise mais rigorosa, como o processo $P - \Delta$.

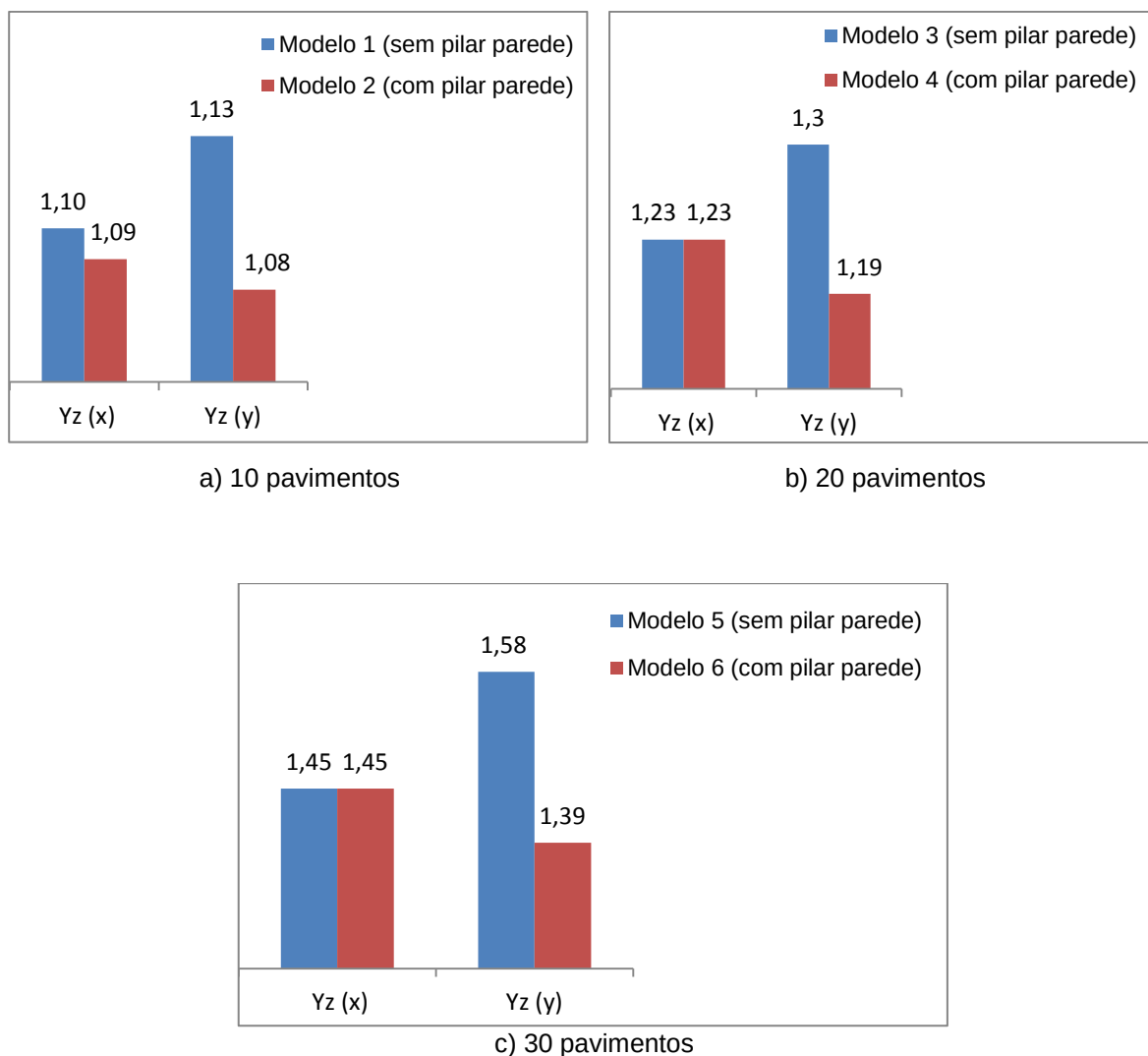


FIGURA 18 - Valores do γ_z diferentes modelos.
 Fonte: Elaboração Própria (2017).

A análise comparativa mostrada nas Figura 19 e 20, verifica-se que a altura tem parcela significativa na influência do coeficiente γ_z e que o núcleo rígido, praticamente não influenciou na redução dos efeitos de segunda ordem na direção do seu eixo com menor inércia.

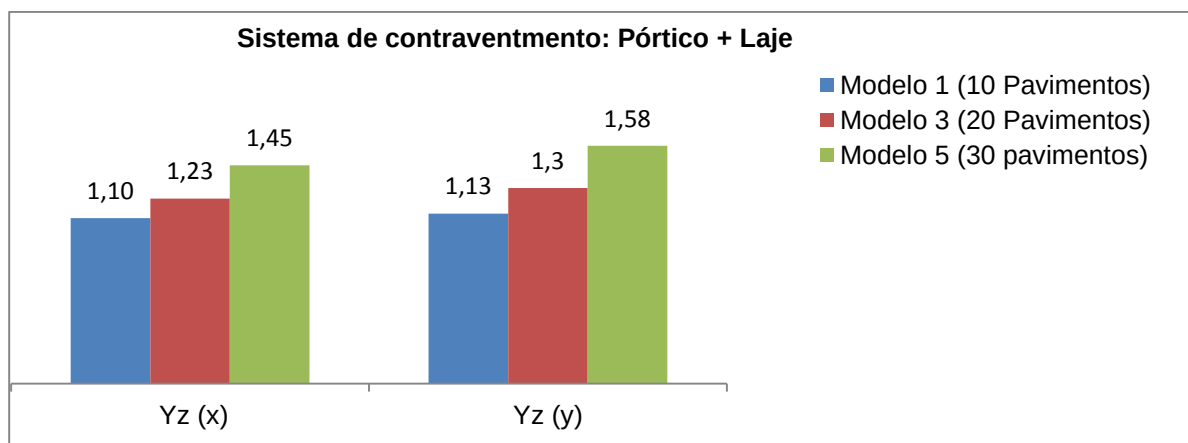


FIGURA 19 - Resultados do coeficiente yz para os modelos com sistema de contraventamento constituído por pórticos e lajes.

Fonte: Elaboração Própria (2017).

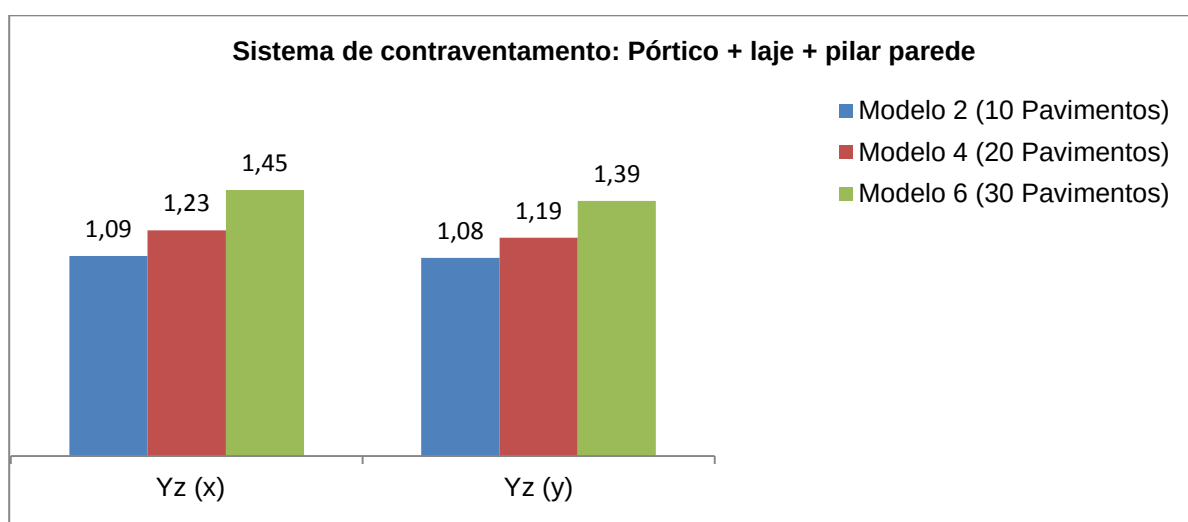


FIGURA 20 - Resultados do coeficiente yz para os modelos com sistema de contraventamento constituído por pórticos, lajes e pilar parede.

Fonte: Elaboração Própria (2017).

Quanto aos deslocamentos mostrados na Figura 21, fica claro a influência do núcleo rígido na redução do deslocamento em ambas as direções que é consequência da rigidez conferida ao edifício.

Segundo o item 13.3 da NBR-6118 (2014), o movimento lateral de edifícios para que os efeitos em elementos não estruturais atenda a verificação em serviço do estado limite de deformações, não deve ultrapassar o valor limite de $H/1700$, onde H é a altura da edificação. Para os modelos analisados, somente o modelo 1 e 2 atende o requisito exigido pela norma em ambas as direções, conforme pode ser visto nos resultados (APÊNDICE B). Em se tratando dos elementos estruturais, se o deslocamento for relevante para a estrutura, seus efeitos devem ser considerados no modelo estrutural adotado.

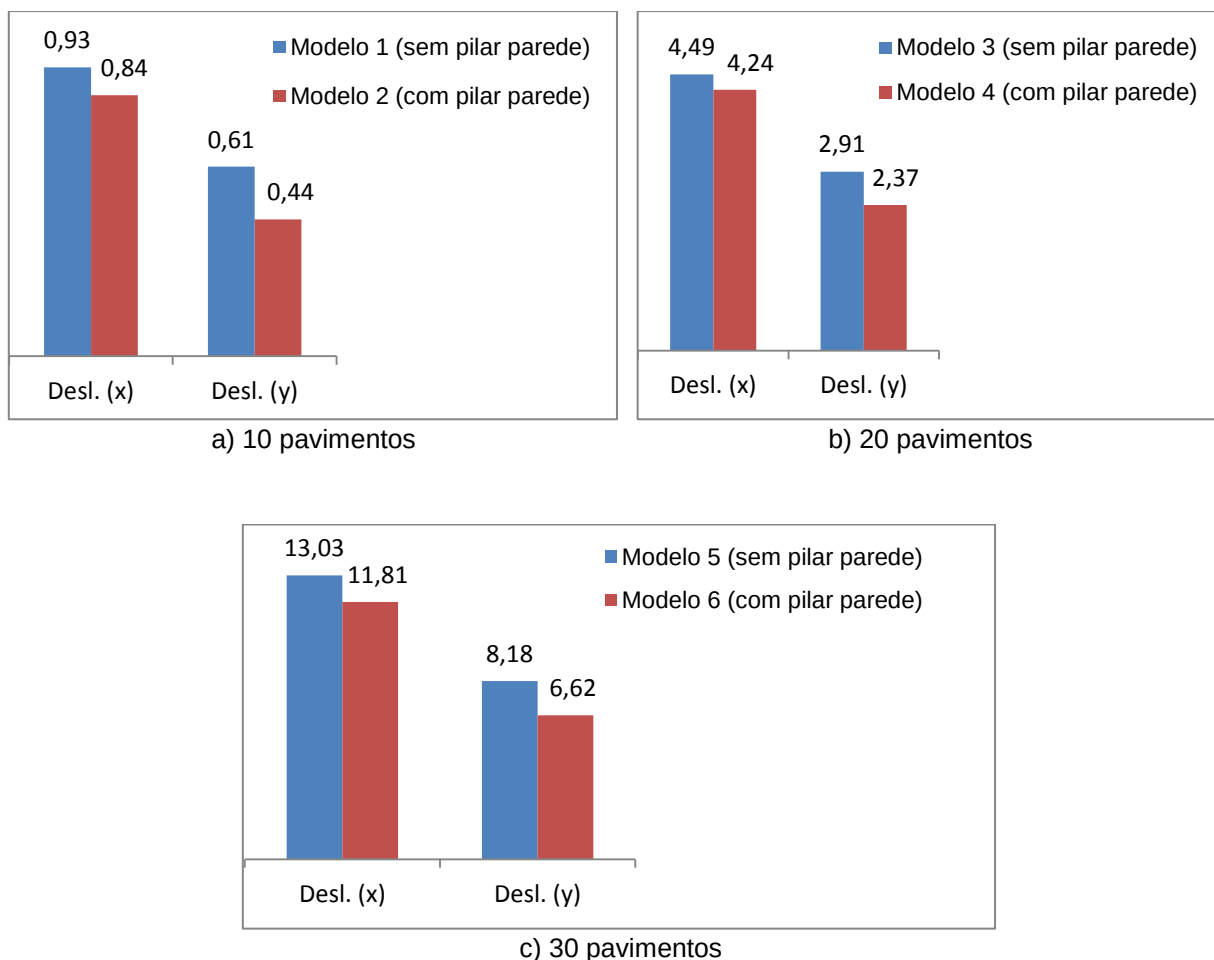


FIGURA 21 - Deslocamento dos modelos analisados.

Fonte: Elaboração Própria (2017).

Nos casos em que o deslocamento horizontal ultrapassou o limite estabelecido, como aconteceu com os modelos de edifícios de 20 e 30 andares, deve ser feito o enrijecimento da estrutura através do aumento da seção dos pilares e vigas, giro dos pilares para que sua maior inércia fique na direção de menor inércia do edifício, utilização de contraventamentos ou qualquer outra forma que venha a minimizar esses deslocamentos.

5.2 ANÁLISE DA NÃO LINEARIDADE GEOMÉTRICA PELO PROCESSO P-DELTA

Ao realizar-se as análises dos modelos considerados pelo processo $P - \Delta$, foram obtidos os valores dos deslocamentos relativos de cada pavimento, a variação no deslocamento do topo da edificação e o acréscimo dos esforços de segunda ordem por pavimento. Os resultados foram gerados para cada uma das quatro direções do

vento (FIGURA 17) , mas como os valores em módulo obtidos na mesma direção foram idênticos, foi levado em consideração para a discussão apenas os valores obtidos dos ventos X+ e Y+. Os resultados detalhados das análises da não linearidade geométrica pelo processo gerados pelo eberick estão contidos no Apêndice C.

Através da Figura 22 podemos verificar os resultados dos deslocamentos de 1ª ordem somados aos de 2ª ordem do modelo 1. Os deslocamentos na direção y é menor que na direção x como se era esperado, decorrente de que a maior inércia do edifício está localizada naquele eixo. A medida que vai aumentando a altura da edificação essa diferença fica mais visível. A variação no deslocamento no topo da edificação para o vento X+ foi de 9,13% e para o vento Y+ 12,19%.

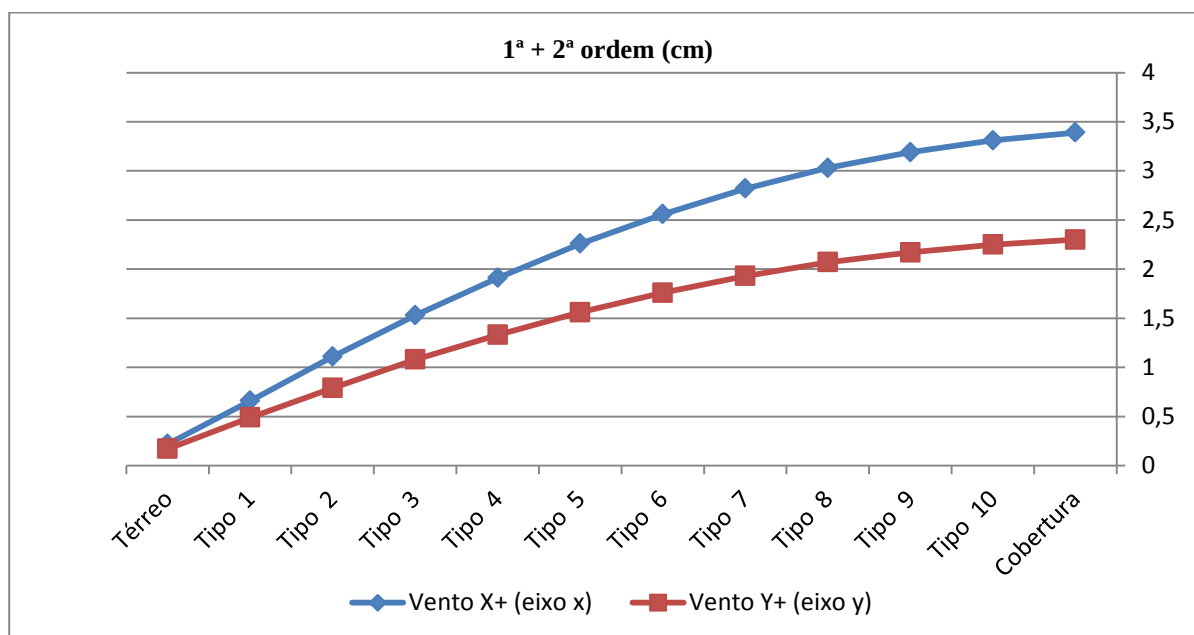


FIGURA 22 - Deslocamentos horizontais do modelo 1.
Fonte: Elaboração Própria (2017).

Na Figura 23 temos os resultados dos deslocamentos do modelo 2 que difere do modelo 1 pelo acréscimo do núcleo rígido. Podemos verificar pelo gráfico a diferença maior entre o deslocamento x e y em relação ao modelo 1. Sob a ação do vento Y+ o deslocamento no térreo do modelo 2 corresponde a uma redução de 43% em relação ao modelo 1, da mesma forma que há uma redução no deslocamento da cobertura em 28%. A variação no deslocamento no topo do modelo 2 para o vento X+ é igual a 7,11% e para o vento Y+ 6,71%. Há uma

notável redução dos deslocamentos relativos nos pavimentos em função do carregamento do vento Y+, em comparação com o modelo anterior.

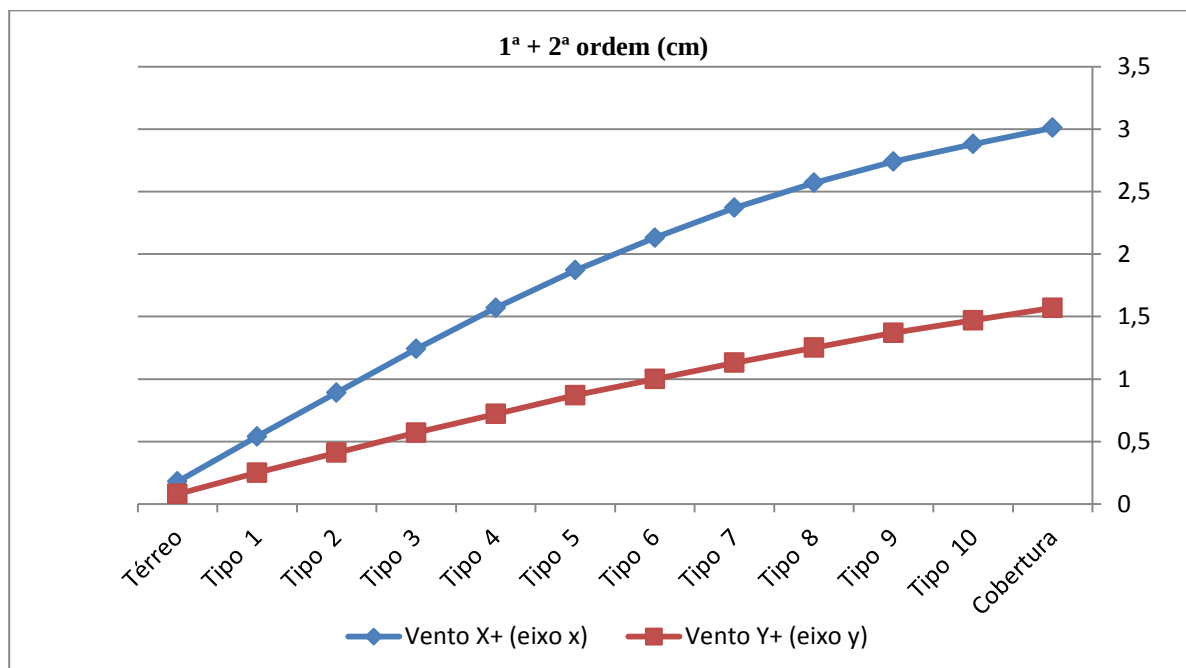


FIGURA 23 - Deslocamentos horizontais do modelo 2.
Fonte: Elaboração Própria (2017).

O modelo 3 possui o dobro de pavimentos em relação aos modelos anteriores, sofrendo um maior efeito de carregamento horizontal oriundo do vento, refletindo em maiores valores de deslocamentos horizontais como pode ser visto na Figura 24. O sistema de contraventamento é o mesmo do modelo 1, porém com 10 pavimentos a mais, o que sob a ação do vento X+ resulta em um deslocamento na cobertura de 18,14cm, correspondendo a 441% a mais que o deslocamento no modelo 1. Já no pavimento térreo o valor obtido é de 0,57cm, 61% maior.

Na direção do vento X+ a variação no deslocamento no topo é de 21,17% e na direção do vento Y+ 28,19%. O acréscimo do deslocamento de segunda ordem em relação ao de primeira ordem se mostra mais acentuado na base da edificação, diminuindo a medida que aumenta os pavimentos. Esses decréscimo explica uma maior variação dos efeitos de segunda ordem em relação aos de primeira ordem na base da edificação.

Na direção x os deslocamentos são bem acentuados em relação ao deslocamento na direção y, podendo chegar a um acréscimo de até 46%. Em relação ao deslocamento frequente na direção x, o seu valor ultrapassa o valor limite (APÊNDICE B, TABELA 29), podendo trazer um mau funcionamento para os

elementos não estruturais. Neste caso deve ser feita uma readequação no sistema estrutural deste modelo, de forma a minimizar os deslocamentos excessivos na direção x.

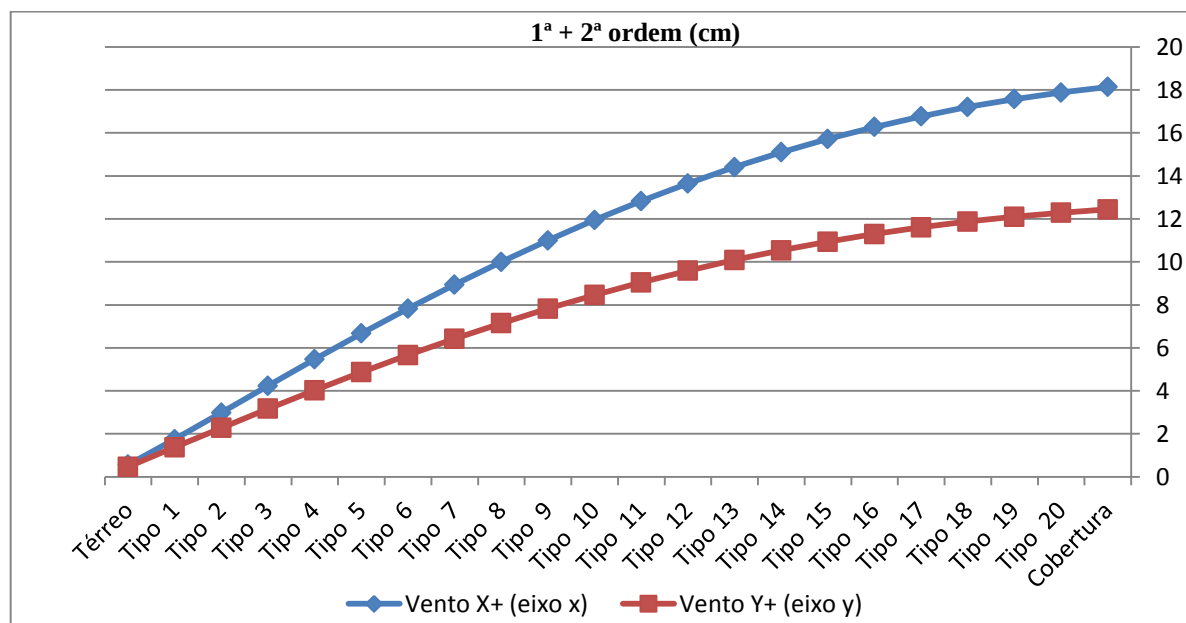


FIGURA 24 - Deslocamentos horizontais do modelo 3.

Fonte: Elaboração Própria (2017).

O modelo 4 possui a mesma quantidade de pavimentos do modelo anterior porém com o acréscimo de pilar parede. Percebe-se que há um maior afastamento do gráfico de deslocamento em relação ao modelo anterior, conforme pode ser visto na Figura 25. A presença do núcleo rígido reduz os deslocamentos nas duas direções mas age com maior eficiência na direção y, devido sua maior inércia está posicionada nessa direção.

Percebe-se ainda que os valores dos deslocamentos de segunda ordem em relação ao de primeira ordem em cada pavimento na direção y, varia pouco de pavimento pra pavimento, o que faz com que o gráfico nessa direção tenha traços de linearidade.

A variação no deslocamento no topo da edificação devido ao vento X+ é de 16,44%, valor esse menor 22% em relação ao modelo anterior sem núcleo rígido. Já o deslocamento no topo devido ao vento Y+ foi de 16,41%, menor 42% que o valor obtido do modelo sem núcleo rígido. Percebe-se também que a presença do núcleo rígido praticamente uniformizou o deslocamento no topo nas duas direções, possuindo uma diferença de apenas 0,03%. Mas a redução dos deslocamentos na direção x provocada pela presença do pilar parede não foi o suficiente para reduzir o

deslocamento frequente (APÊNDICE B, TABELA 30), que ainda está acima do valor limite de 3,79 cm, devendo-se rever o sistema estrutural do edifício.

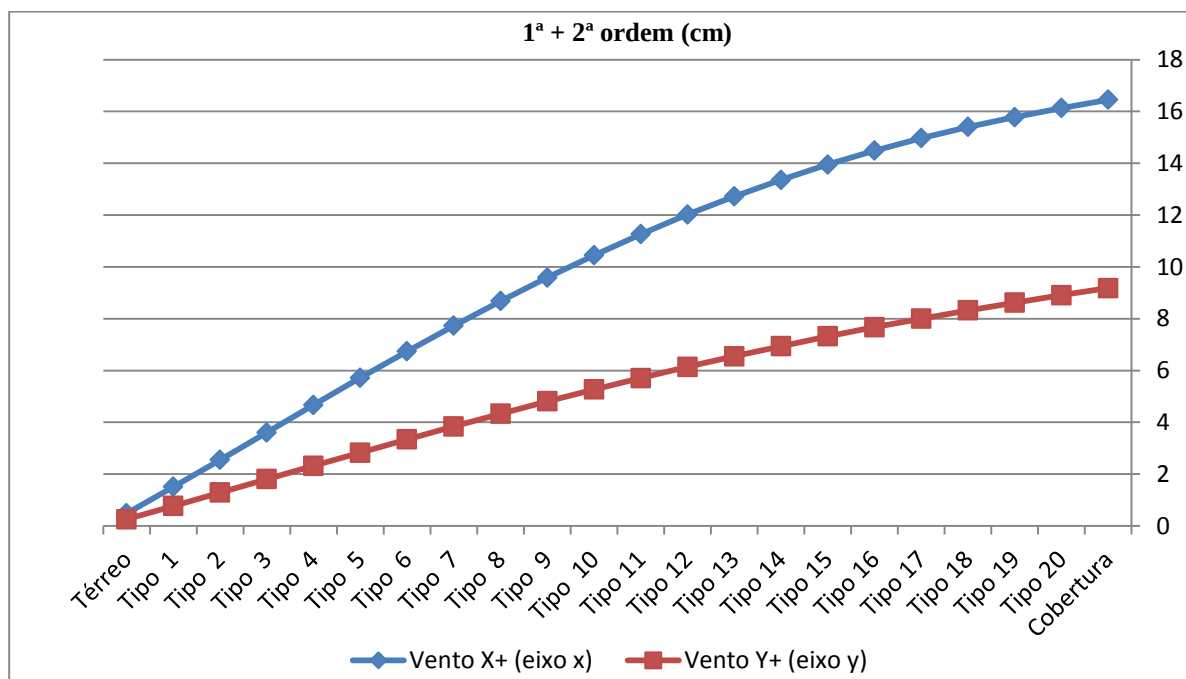


FIGURA 25 - Deslocamentos horizontais do modelo 4.
Fonte: Elaboração Própria (2017).

Na Figura 26 temos os deslocamentos de primeira ordem somado aos de segunda ordem do modelo 5. Esse modelo possui um total de 30 pavimentos tipo, totalizando uma altura de 94,5m. Por ser um edifício relativamente alto, mas com a mesma estrutura do edifício de 10 pavimentos considerado no modelo 1, os altos valores de deslocamentos mostrado no gráfico da Figura 26 era esperado.

Os valores dos deslocamentos de segunda ordem em relação aos deslocamentos de primeira considerando o vento X+ estão acima dos 40%, possuindo um valor mínimo de 40,6% na cobertura e um valor máximo no pavimento tipo 6 de 49%. Consequentemente os efeitos de segunda ordem desse edifício possui valores pecentuais altos em relação aos de primeira ordem, podendo chegar a uma acréscimo de 70% na direção x, verificado no pavimento tipo 6 e 7.

A variação no deslocamento no topo de edificação na direção do vento X+ é de 40,60% e na direção do vento Y+ de 53,86%. Comparando com o edifício do modelo 3 que possui o mesmo sistema de contraventamento só que 10 pavimentos a menos, a variação no deslocamento no topo do modelo 5 considerando o vento X+ é 87% maior e sob a ação do vento Y+ 91% maior.

Devido a sua altura, esse edifício do modelo 5 sofre uma influência maior do carregamento de vento em relação ao modelos anteriores. Os deslocamentos frequentes dessa edificação (APÊNDICE B, TABELA 31), em ambas as direções, estão fora dos limites permitidos pela NBR-6118 (2014), que no caso desse modelo é de 5,56cm para movimentos laterais de edifícios. O dimensionamento estrutural da edificação deve ser revista, de forma a absorver melhor a ação do vento, proporcionando deslocamentos menores e consequentemente diminuindo os efeitos de segunda ordem que no caso desse modelo são bastante significativos.

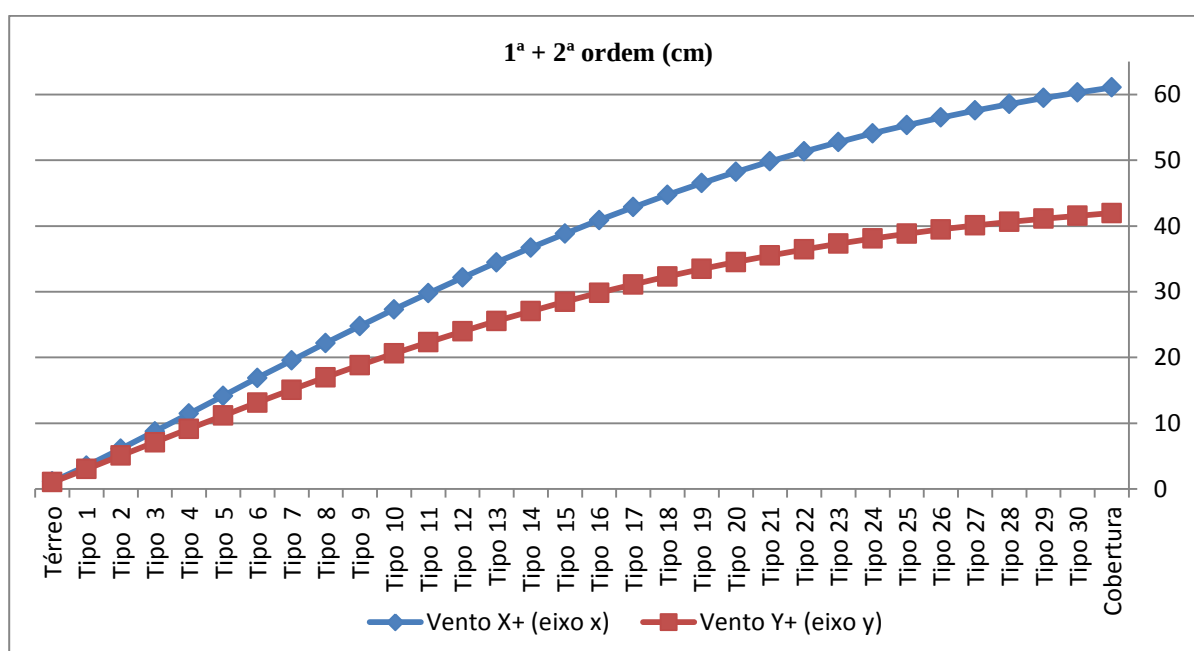


FIGURA 26 - Deslocamentos horizontais do modelo 5.
Fonte: Elaboração Própria (2017).

No modelo 6 com 30 pavimentos, agora com a presença de núcleo rígido, os deslocamentos em ambas as direções apresentaram redução, como mostra a Figura 27, mas não o suficiente para reduzi-los em níveis aceitáveis. A variação no deslocamento no topo do edifício devido ao vento X+ 30,39% e o deslocamento devido ao vento Y+ foi de 30,66%, apresentando uma redução em x de 25% e em y de 43% em relação ao modelo 5.

Uma das medidas iniciais para reduzir os deslocamentos desse modelo, seria aumentar a rigidez do pilar parede nas duas direções, mas principalmente na direção x, que devido a restrições imposta pela planta da edificação fez com que seu eixo de menor inércia coincidissem com o eixo de menor inércia do edifício.

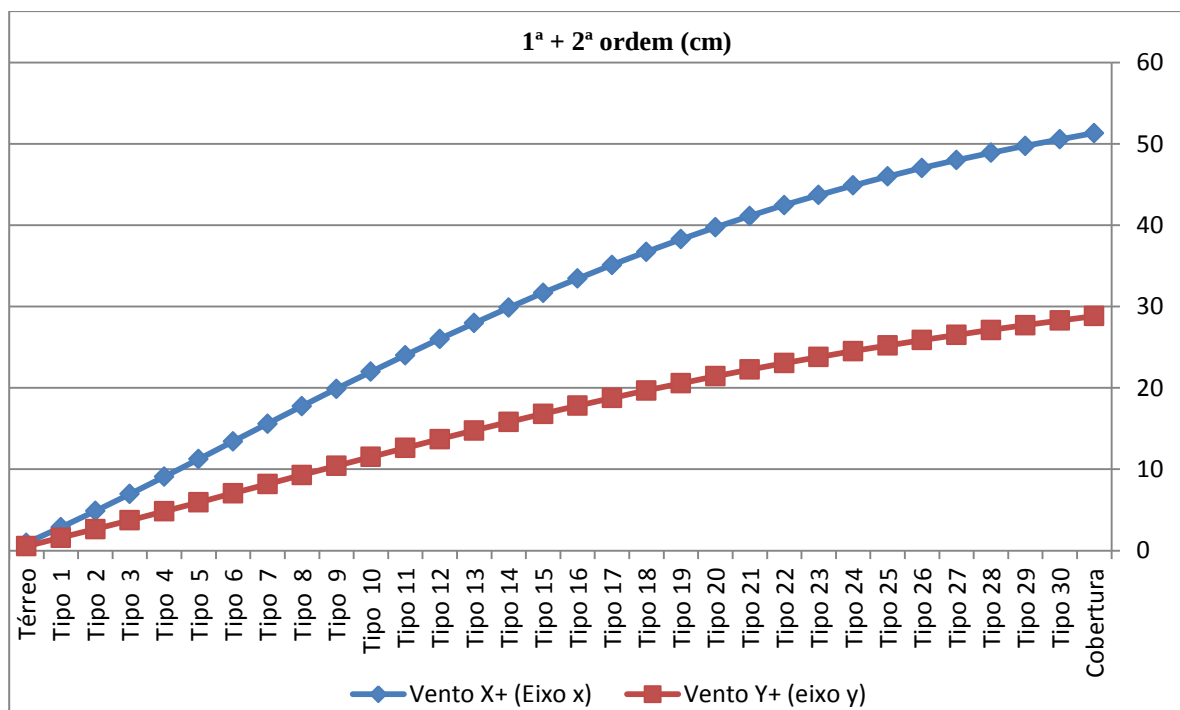


FIGURA 27 - Deslocamentos horizontais do modelo 6.
Fonte: Elaboração Própria (2017).

Através da análise não linearidade geométrica pelo processo $P - \Delta$ dos seis modelos de edifícios considerados, percebe-se que os deslocamentos de primeira ordem cresce em função da altura do edifício e que esses deslocamentos maiores ocorrem devido a maior influência do vento. Já os deslocamentos de segunda ordem tem maiores variações em relação ao momento de primeira ordem nos pavimentos inferiores.

Nos modelos que apresentaram núcleo rígido, a redução dos deslocamentos foram significativos. Mas a medida que se considera uma altura maior para o edifício seu dimensionamento deve ser revisto para atender as novas demandas de carregamento do vento, como também verificar o seu posicionamento para que atenda o eixo mais crítico do edifício, ou seja, aquela de menor inércia.

5.3 ANÁLISE COMPARATIVA DO CONSUMO DE MATERIAIS ENTRE O MODELO 1 E 2

Levando em consideração que a presença do núcleo rígido, constituído neste caso por um pilar parede, eleva significamente a rigidez do edifício, foi feito

uma análise comparativa também do consumo de materiais entre o modelo 1 e 2, considerando uma redução de 19,47 % na seção transversal dos pilares do modelo 2. Com isso obtemos resultados comparativos do consumo de materiais, como mostra na Figura 28. Em relação a análise comparativa do consumo de materiais dos modelos 1 e 2 com 10 pavimentos, fazendo uma redução de 19,47% de área da seção transversal dos pilares do modelo 2, podemos observar uma redução de 3,67% no consumo de concreto, 1,17% no consumo de forma e um aumento de 12,43% no consumo de aço.

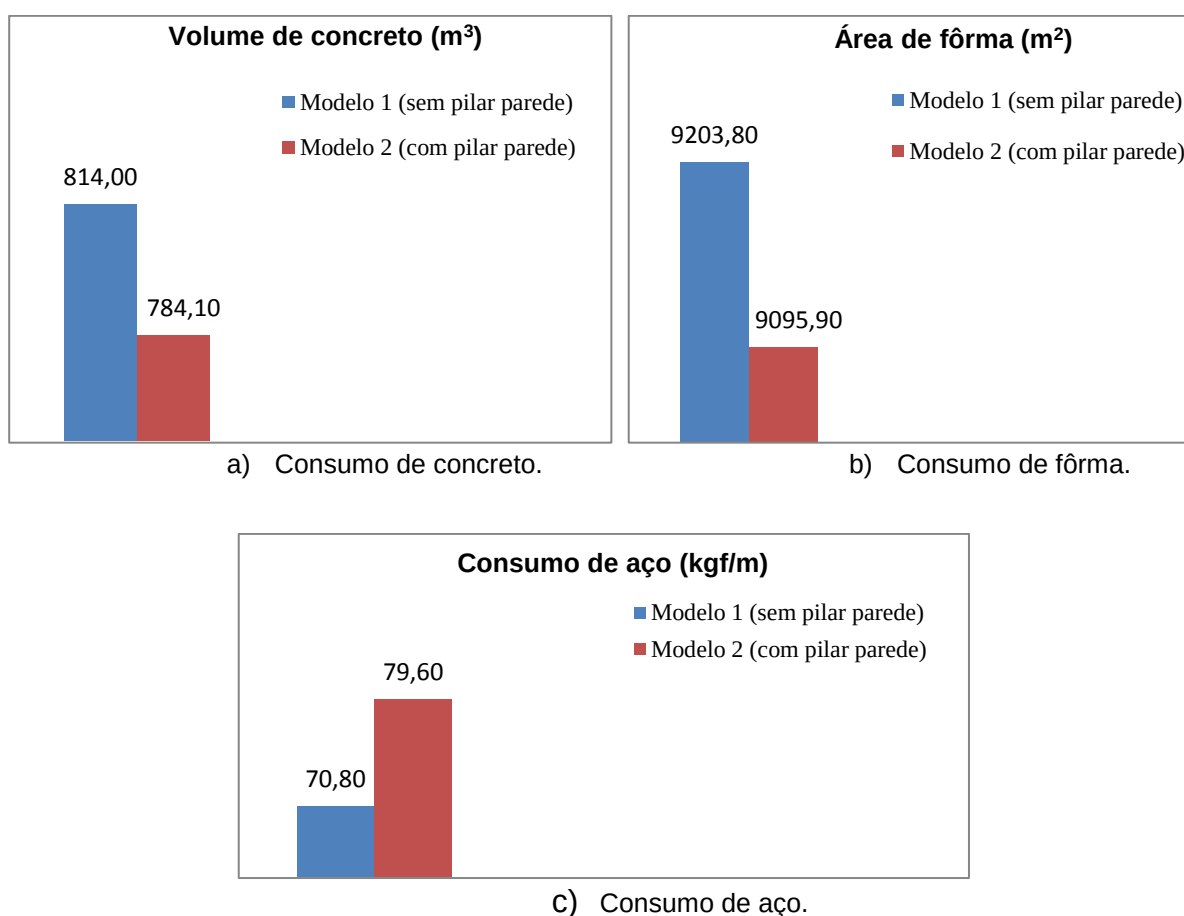


FIGURA 28 - Comparativo do consumo de materiais do modelo 1 e 2.
Fonte: Elaboração Própria (2017).

Com base nas investigações feitas anteriormente percebe-se o quanto a utilização de núcleo rígido influenciou na estabilidade global das estruturas. A utilização destes elementos aumenta a rigidez do edifício permitindo a redução das seções transversais dos demais elementos estruturais constituintes da edificação. Portanto a utilização de um núcleo rígido dimensionado adequadamente, pode gerar uma economia do custo global da estrutura.

6 CONCLUSÃO

Ao longo do presente trabalho buscou-se fazer uma investigação sobre os efeitos de segunda ordem globais em edifícios de concreto armado e os parâmetros que estão intimamente ligados a sua variação.

Percebe-se que a altura da edificação tem influência significativa no acréscimo dos esforços devido a um maior carregamento de vento atuando na estrutura e consequentemente maiores deslocamentos. Para os modelos considerados nas análises, os esforços de segunda ordem chegaram a representar 58% do valor dos respectivos esforços de primeira ordem.

Um fato importante que se reafirmou a partir das análises é a influência da concepção estrutural nos valores de deslocamentos e os esforços obtidos. No momento do lançamento estrutural, deve-se levar em consideração as características da arquitetura da edificação, atentando-se ao seu eixo de menor inércia onde possivelmente ocorrerá os maiores deslocamentos e esforços de segunda ordem. Ponderando utilizar como possível compensação, girar o eixo de maior inércia dos pilares para o eixo mais desfavorável do edifício ou a utilização de núcleo rígido que favoreça esse eixo, aumentando a rigidez da edificação.

Através dos resultados obtidos foi possível verificar que quando comparadas as edificações com a mesma quantidade de pavimentos, variando apenas o sistema de contraventamento, o valor do coeficiente y_z na direção y que nos modelos que apresentam núcleo rígido podem resultar em uma diminuição do coeficiente em até 12,2 %. Isso decorre da contribuição da inércia do núcleo rígido na direção y , que é significativamente maior em relação a direção x , aumentando assim a rigidez.

Quando diz respeito a análise comparativa do coeficiente y_z dos modelos com o mesmo sistema de contraventamento, variando apenas a quantidade de pavimentos, notamos que a variação do coeficiente pode chegar a 39,8% nos modelos que utilizam como sistema somente pórticos e lajes. Já os modelos que utilizam pórticos, lajes e núcleo rígido como sistema de contraventamento, possui uma variação de até 33%.

Utilizando o processo P – Delta nas investigações dos modelos considerados no presente trabalho, verificou-se como o carregamento do vento se distribui e age ao longo dos pavimentos, provocando deslocamentos laterais e

acréscimo de esforços. Verificou-se também que a utilização do núcleo rígido demonstrou eficiência na redução dos deslocamentos laterais relativos dos pavimentos, dando maior estabilidade a estrutura e conseqüentemente menores esforços adicionais. Porém, para que sua utilização seja realmente eficiente, deve ser considerado as particularidades arquitetônicas do edifício, de modo que seja dimensionado para contribuir com a rigidez do edifício nas duas direções horizontais (x e y).

Utilizando um sistema de contraventamento adequado, é possível diminuir a seção transversal dos elementos estruturais, gerando economia no custo da estrutura e uma diminuição dos deslocamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto Armado – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: **Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . NBR 8681: **Ações e Segurança nas Estruturas**. Rio de Janeiro, 2003.

FRANÇA, R. L. S. **Exemplo de Cálculo do Esforço de Segunda Ordem Global em um Edifício de Concreto Armado**, in: *Colóquio Sobre Estabilidade Global de Estruturas de Concreto Armado*. IBRACON, São Paulo, SP, 1985.

FRANCO, M.; VASCONCELOS, A. C. **Practical assessment of second order effects in tall buildings**, in: *Colloquium on the CEB-FIP MC 90*, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1991.

FUSCO, P. B. **Estruturas de Concreto. Solicitações normais**. Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, RJ, 1981.

GONÇALVES, R. M. et al. **Ação do vento nas edificações: teoria e exemplos**. EESC-USP, São Carlos, SP, 2007.

LIMA, J. S. **Verificações da Punção e da Estabilidade global de Edifícios de Concreto: desenvolvimento e aplicação de recomendações normativas**. Dissertação Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

MONCAYO, W. J. Z. **Análise de Segunda Ordem Global em Edifícios com Estrutura de Concreto Armado**. 2011. 219f. Dissertação (Mestrado em ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo.

NETO, I. C. A. **Contribuição à Análise da Estabilidade Global em Edifícios de Concreto Armado com Redução Brusca de Rigidez entre Pavimentos**. 2013. 134f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

PINTO, R. S. **Não-linearidade física e geométrica no projeto de edifícios usuais de concreto armado**. 1997. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SCADELAI, M.A. (2004). **Dimensionamento de pilares de acordo com a NBR 6118:2003**. 2004. 124 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

APÊNDICE A - RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL DA ESTRUTURA

MODELO 1

TABELA 15 – Gama-Z por combinação do modelo 1.

Gama-Z por Combinação						
Combinação	Momento de tombamento de cálculo (tf.m)		Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)		Gama-Z	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V1	1600.71	830.71	136.57	3.04	1.09	1.00
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V2	1600.71	830.71	136.61	3.04	1.09	1.00
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V3	1600.71	830.71	4.11	91.04	1.00	1.12
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V4	1600.71	830.71	4.11	91.04	1.00	1.12
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V1	960.43	498.42	85.06	3.10	1.10	1.01
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V2	960.43	498.42	85.07	3.10	1.10	1.01
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V3	960.43	498.42	4.16	56.84	1.00	1.13
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V4	960.43	498.42	4.16	56.84	1.00	1.13

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 16 - Coeficiente Gama-Z modelo 1.

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	960.43	498.42
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	85.07	56.84
Gama-Z	1.10	1.13

Valor limite: 1.10

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 2

TABELA 17 - Gama-Z por combinação do modelo 2.

Gama-Z por Combinação						
Combinação	Momento de tombamento de cálculo (tf.m)		Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)		Gama-Z	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V1	1600.71	830.71	126.98	4.31	1.09	1.01
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V2	1600.71	830.71	127.00	4.31	1.09	1.01
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V3	1600.71	830.71	13.31	58.79	1.01	1.08
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V4	1600.71	830.71	13.31	58.79	1.01	1.08

Gama-Z por Combinação						
Combinação	Momento de tombamento de cálculo (tf.m)		Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)		Gama-Z	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V1	960.43	498.42	83.06	4.03	1.09	1.01
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V2	960.43	498.42	83.06	4.03	1.09	1.01
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V3	960.43	498.42	13.64	37.30	1.01	1.08
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V4	960.43	498.42	13.64	37.30	1.01	1.08

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 18 - Coeficiente Gama-Z modelo 2.

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	960.43	498.42
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	83.06	37.30
Gama-Z	1.09	1.08

Valor limite: 1.10

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 3

TABELA 19 - Gama-Z por combinação do modelo 3.

Gama-Z por Combinação						
Combinação	Momento de tombamento de cálculo (tf.m)		Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)		Gama-Z	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V1	6622.48	3497.75	1195.12	17.64	1.22	1.01
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V2	6622.48	3497.75	1195.67	17.65	1.22	1.01
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V3	6622.48	3497.75	42.11	774.83	1.01	1.28
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V4	6622.48	3497.75	42.11	774.83	1.01	1.28
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V1	3973.49	2098.65	747.89	16.57	1.23	1.01
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V2	3973.49	2098.65	748.07	16.57	1.23	1.01
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V3	3973.49	2098.65	43.95	478.92	1.01	1.30
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V4	3973.49	2098.65	43.95	478.92	1.01	1.30

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 20 - Coeficiente Gama-Z modelo 3.

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	3973.49	2098.65
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	748.07	478.92
Gama-Z	1.23	1.30

Valor limite: 1.10

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 4

TABELA 21 - Gama-Z por combinação do modelo 4.

Gama-Z por Combinação						
Combinação	Momento de tombamento de cálculo (tf.m)		Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)		Gama-Z	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V1	6803.97	3593.60	1163.95	18.51	1.21	1.01
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V2	6803.97	3593.60	1164.50	18.52	1.21	1.01
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V3	6803.97	3593.60	106.81	563.00	1.02	1.19
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V4	6803.97	3593.60	106.81	563.00	1.02	1.19
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V1	4082.38	2156.16	754.85	12.71	1.23	1.01
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V2	4082.38	2156.16	755.02	12.71	1.23	1.01
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V3	4082.38	2156.16	109.39	345.20	1.03	1.19
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V4	4082.38	2156.16	109.39	345.20	1.03	1.19

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 22 - Coeficiente Gama-Z modelo 4.

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	4082.38	2156.16
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	755.02	345.20
Gama-Z	1.23	1.19

Valor limite: 1.10

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 5

TABELA 23 - Gama-Z por combinação do modelo 5.

Gama-Z por Combinação						
Combinação	Momento de tombamento de cálculo (tf.m)		Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)		Gama-Z	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V1	16371.41	8852.41	4888.39	95.25	1.43	1.01
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V2	16371.41	8852.41	4890.71	95.30	1.43	1.01
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V3	16371.41	8852.41	175.02	3142.66	1.01	1.55
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V4	16371.41	8852.41	175.02	3142.74	1.01	1.55
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V1	9822.85	5311.45	3062.05	90.73	1.45	1.02
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V2	9822.85	5311.45	3063.04	90.76	1.45	1.02
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V3	9822.85	5311.45	184.99	1951.31	1.02	1.58
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V4	9822.85	5311.45	184.99	1951.31	1.02	1.58

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 24 - Coeficiente Gama-Z modelo 5.

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	9822.85	5311.45
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	3063.04	1951.31
Gama-Z	1.45	1.58

Valor limite: 1.10

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 6

TABELA 25 - Gama-Z por combinação do modelo 6.

Gama-Z por Combinação						
Combinação	Momento de tombamento de cálculo (tf.m)		Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)		Gama-Z	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V1	15999.14	8651.12	4600.62	121.79	1.40	1.01
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V2	15999.14	8651.12	4602.49	121.84	1.40	1.01
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V3	15999.14	8651.12	426.95	2345.77	1.03	1.37
1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V4	15999.14	8651.12	426.95	2345.77	1.03	1.37
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V1	9599.49	5190.67	2985.69	101.15	1.45	1.02
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V2	9599.49	5190.67	2986.57	101.18	1.45	1.02
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V3	9599.49	5190.67	438.05	1459.15	1.05	1.39
1.4G1+1.4G2+1.4Q+0.84V4	9599.49	5190.67	438.05	1459.15	1.05	1.39

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 26 - Coeficiente Gama-Z modelo 6.

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	9599.49	5190.67
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	2986.57	1459.15
Gama-Z	1.45	1.39

Valor limite: 1.10

Fonte: Elaboração Própria (2017).

APÊNDICE B - RESULTADOS DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

MODELO 1

TABELA 27 - Deslocamentos horizontais no modelo 1.

Verificações	X+	X-	Y+	Y-
Altura total da edificação (cm)	3450.00			
Deslocamento limite (cm)	2.03			
Deslocamento característico (cm)	3.11	-3.11	2.05	-2.05
y1	0.30	0.30	0.30	0.30
Deslocamento freqüente (cm)	0.93	-0.93	0.61	-0.61

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 2

TABELA 28 - Deslocamentos horizontais no modelo 2.

Verificações	X+	X-	Y+	Y-
Altura total da edificação (cm)	3450.00			
Deslocamento limite (cm)	2.03			
Deslocamento característico (cm)	2.81	-2.81	1.47	-1.47
ψ1	0.30	0.30	0.30	0.30
Deslocamento freqüente (cm)	0.84	-0.84	0.44	-0.44

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 3

TABELA 29 - Deslocamentos horizontais no modelo 3.

Verificações	X+	X-	Y+	Y-
Altura total da edificação (cm)	6450.00			
Deslocamento limite (cm)	3.79			
Deslocamento característico (cm)	14.97	-14.97	9.71	-9.71
ψ1	0.30	0.30	0.30	0.30
Deslocamento freqüente (cm)	4.49	-4.49	2.91	-2.91

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 4

TABELA 30 - Deslocamentos horizontais no modelo 4.

Verificações	X+	X-	Y+	Y-
Altura total da edificação (cm)	6450.00			
Deslocamento limite (cm)	3.79			
Deslocamento característico (cm)	14.13	-14.13	7.89	-7.89
ψ_1	0.30	0.30	0.30	0.30
Deslocamento freqüente (cm)	4.24	-4.24	2.37	-2.37

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 5

TABELA 31 - Deslocamentos horizontais no modelo 5.

Verificações	X+	X-	Y+	Y-
Altura total da edificação (cm)	9450.00			
Deslocamento limite (cm)	5.56			
Deslocamento característico (cm)	43.45	-43.45	27.27	-27.27
ψ_1	0.30	0.30	0.30	0.30
Deslocamento freqüente (cm)	13.03	-13.03	8.18	-8.18

Fonte: Elaboração Própria (2017).

B.6 MODELO 6

TABELA 32 - Deslocamentos horizontais no modelo 6.

Verificações	X+	X-	Y+	Y-
Altura total da edificação (cm)	9450.00			
Deslocamento limite (cm)	5.56			
Deslocamento característico (cm)	39.37	-39.37	22.07	-22.07
ψ_1	0.30	0.30	0.30	0.30
Deslocamento freqüente (cm)	11.81	-11.81	6.62	-6.62

Fonte: Elaboração Própria (2017).

APÊNDICE C - RESULTADOS DAS ANÁLISES DA NÃO LINEARIDADE GEOMÉTRICA PELO PROCESSO P-DELTA

MODELO 1

TABELA 33 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 1.

Caso 6 Vento X+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	3.11	-0.01	3.39	-0.02	3.16	0.00	3.24	0.00
Tipo 10	3.03	-0.02	3.31	-0.02	6.25	0.00	6.42	0.00
Tipo 9	2.92	-0.01	3.19	-0.02	6.13	0.00	6.41	0.00
Tipo 8	2.76	-0.01	3.03	-0.02	6.00	0.00	6.39	0.00
Tipo 7	2.56	-0.01	2.82	-0.02	5.86	0.00	6.36	0.00
Tipo 6	2.32	-0.01	2.56	-0.02	5.70	0.00	6.30	0.00
Tipo 5	2.04	-0.01	2.26	-0.01	5.52	0.00	6.20	0.00
Tipo 4	1.72	-0.01	1.91	-0.01	5.29	0.00	6.06	-0.01
Tipo 3	1.37	-0.01	1.53	-0.01	5.01	0.00	5.83	-0.01
Tipo 2	0.99	-0.01	1.11	-0.01	4.60	0.00	5.42	0.00
Tipo 1	0.59	0.00	0.66	0.00	3.72	0.00	4.36	0.00
Térreo	0.20	0.00	0.22	0.00	0.13	0.00	0.44	0.01

Variação no deslocamento do topo da edificação: 9.13%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 34 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 1.

Caso 7 Vento X-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-3.11	0.01	-3.39	0.02	-3.16	0.00	-3.24	0.00
Tipo 10	-3.03	0.02	-3.31	0.02	-6.25	0.00	-6.42	0.00
Tipo 9	-2.92	0.01	-3.19	0.02	-6.13	0.00	-6.41	0.00
Tipo 8	-2.76	0.01	-3.03	0.02	-6.00	0.00	-6.39	0.00
Tipo 7	-2.56	0.01	-2.82	0.02	-5.86	0.00	-6.36	0.00
Tipo 6	-2.32	0.01	-2.56	0.02	-5.70	0.00	-6.30	0.00
Tipo 5	-2.04	0.01	-2.26	0.01	-5.52	0.00	-6.20	0.00
Tipo 4	-1.72	0.01	-1.91	0.01	-5.29	0.00	-6.06	0.01
Tipo 3	-1.37	0.01	-1.53	0.01	-5.01	0.00	-5.83	0.01
Tipo 2	-0.99	0.01	-1.11	0.01	-4.60	0.00	-5.42	0.00
Tipo 1	-0.59	0.00	-0.66	0.00	-3.72	0.00	-4.36	0.00
Térreo	-0.20	0.00	-0.22	0.00	-0.13	0.00	-0.44	-0.01

Variação no deslocamento do topo da edificação: 9.13%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 35 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 1.

Caso 8 Vento Y+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-0.01	2.05	-0.01	2.30	0.00	1.64	0.00	1.69
Tipo 10	-0.01	2.00	-0.01	2.25	0.00	3.24	0.00	3.35
Tipo 9	-0.01	1.93	-0.01	2.17	0.00	3.18	0.00	3.36
Tipo 8	-0.01	1.83	-0.01	2.07	0.00	3.12	0.00	3.37
Tipo 7	-0.01	1.70	-0.01	1.93	0.00	3.04	0.00	3.37
Tipo 6	-0.01	1.55	-0.01	1.76	0.00	2.96	0.00	3.35
Tipo 5	-0.01	1.37	-0.01	1.56	0.00	2.86	0.00	3.32
Tipo 4	0.00	1.16	-0.01	1.33	0.00	2.75	0.00	3.26
Tipo 3	0.00	0.93	0.00	1.08	0.00	2.60	0.00	3.16
Tipo 2	0.00	0.68	0.00	0.79	0.00	2.39	0.00	2.98
Tipo 1	0.00	0.42	0.00	0.49	0.00	1.93	0.00	2.49
Térreo	0.00	0.14	0.00	0.17	0.00	0.07	0.00	0.46

Variação no deslocamento do topo da edificação: 12.19%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 36 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 1.

Caso 9 Vento Y-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	0.01	-2.05	0.01	-2.30	0.00	-1.64	0.00	-1.69
Tipo 10	0.01	-2.00	0.01	-2.25	0.00	-3.24	0.00	-3.35
Tipo 9	0.01	-1.93	0.01	-2.17	0.00	-3.18	0.00	-3.36
Tipo 8	0.01	-1.83	0.01	-2.07	0.00	-3.12	0.00	-3.37
Tipo 7	0.01	-1.70	0.01	-1.93	0.00	-3.04	0.00	-3.37
Tipo 6	0.01	-1.55	0.01	-1.76	0.00	-2.96	0.00	-3.35
Tipo 5	0.01	-1.37	0.01	-1.56	0.00	-2.86	0.00	-3.32
Tipo 4	0.00	-1.16	0.01	-1.33	0.00	-2.75	0.00	-3.26
Tipo 3	0.00	-0.93	0.00	-1.08	0.00	-2.60	0.00	-3.16
Tipo 2	0.00	-0.68	0.00	-0.79	0.00	-2.39	0.00	-2.98
Tipo 1	0.00	-0.42	0.00	-0.49	0.00	-1.93	0.00	-2.49
Térreo	0.00	-0.14	0.00	-0.17	0.00	-0.07	0.00	-0.46

Variação no deslocamento do topo da edificação: 12.19%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 2

TABELA 37 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 2.

Caso 6 Vento X+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	2.81	0.04	3.01	0.04	3.16	0.00	3.27	0.00
Tipo 10	2.69	0.04	2.88	0.04	6.25	0.00	6.43	0.00
Tipo 9	2.55	0.03	2.74	0.04	6.13	0.00	6.37	0.00
Tipo 8	2.39	0.03	2.57	0.03	6.00	0.00	6.32	0.00
Tipo 7	2.20	0.02	2.37	0.03	5.86	0.00	6.25	0.00
Tipo 6	1.98	0.02	2.13	0.02	5.70	0.00	6.16	0.00
Tipo 5	1.73	0.02	1.87	0.02	5.52	0.00	6.03	0.00
Tipo 4	1.45	0.01	1.57	0.02	5.29	0.00	5.85	0.00
Tipo 3	1.15	0.01	1.24	0.01	5.01	0.00	5.58	0.00
Tipo 2	0.83	0.01	0.89	0.01	4.60	0.00	5.13	0.01
Tipo 1	0.49	0.01	0.54	0.01	3.72	0.00	4.28	0.01
Térreo	0.16	0.00	0.18	0.00	0.13	0.00	0.36	0.02

Variação no deslocamento do topo da edificação: 7.11%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 38 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 2.

Caso 7 Vento X-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-2.81	-0.04	-3.01	-0.04	-3.16	0.00	-3.27	0.00
Tipo 10	-2.69	-0.04	-2.88	-0.04	-6.25	0.00	-6.43	0.00
Tipo 9	-2.55	-0.03	-2.74	-0.04	-6.13	0.00	-6.37	0.00
Tipo 8	-2.39	-0.03	-2.57	-0.03	-6.00	0.00	-6.32	0.00
Tipo 7	-2.20	-0.02	-2.37	-0.03	-5.86	0.00	-6.25	0.00
Tipo 6	-1.98	-0.02	-2.13	-0.02	-5.70	0.00	-6.16	0.00
Tipo 5	-1.73	-0.02	-1.87	-0.02	-5.52	0.00	-6.03	0.00
Tipo 4	-1.45	-0.01	-1.57	-0.02	-5.29	0.00	-5.85	0.00
Tipo 3	-1.15	-0.01	-1.24	-0.01	-5.01	0.00	-5.58	0.00
Tipo 2	-0.83	-0.01	-0.89	-0.01	-4.60	0.00	-5.13	-0.01
Tipo 1	-0.49	-0.01	-0.54	-0.01	-3.72	0.00	-4.28	-0.01
Térreo	-0.16	0.00	-0.18	0.00	-0.13	0.00	-0.36	-0.02

Variação no deslocamento do topo da edificação: 7.11%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 39 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 2.

Caso 8 Vento Y+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	0.02	1.47	0.03	1.57	0.00	1.64	0.00	1.73
Tipo 10	0.02	1.38	0.02	1.47	0.00	3.24	0.00	3.37
Tipo 9	0.02	1.28	0.02	1.37	0.00	3.18	0.00	3.33
Tipo 8	0.01	1.17	0.02	1.25	0.00	3.12	0.00	3.28
Tipo 7	0.01	1.06	0.01	1.13	0.00	3.04	0.00	3.23
Tipo 6	0.01	0.94	0.01	1.00	0.00	2.96	0.00	3.16
Tipo 5	0.01	0.81	0.01	0.87	0.00	2.86	0.00	3.08
Tipo 4	0.01	0.67	0.01	0.72	0.00	2.75	0.00	2.97
Tipo 3	0.01	0.53	0.01	0.57	0.00	2.60	0.00	2.83
Tipo 2	0.00	0.38	0.00	0.41	0.00	2.39	0.00	2.63
Tipo 1	0.00	0.23	0.00	0.25	0.00	1.93	0.01	2.16
Térreo	0.00	0.08	0.00	0.08	0.00	0.07	0.00	0.25

Variação no deslocamento do topo da edificação: 6.71%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 40 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 2.

Caso 9 Vento Y-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-0.02	-1.47	-0.03	-1.57	0.00	-1.64	0.00	-1.73
Tipo 10	-0.02	-1.38	-0.02	-1.47	0.00	-3.24	0.00	-3.37
Tipo 9	-0.02	-1.28	-0.02	-1.37	0.00	-3.18	0.00	-3.33
Tipo 8	-0.01	-1.17	-0.02	-1.25	0.00	-3.12	0.00	-3.28
Tipo 7	-0.01	-1.06	-0.01	-1.13	0.00	-3.04	0.00	-3.23
Tipo 6	-0.01	-0.94	-0.01	-1.00	0.00	-2.96	0.00	-3.16
Tipo 5	-0.01	-0.81	-0.01	-0.87	0.00	-2.86	0.00	-3.08
Tipo 4	-0.01	-0.67	-0.01	-0.72	0.00	-2.75	0.00	-2.97
Tipo 3	-0.01	-0.53	-0.01	-0.57	0.00	-2.60	0.00	-2.83
Tipo 2	0.00	-0.38	0.00	-0.41	0.00	-2.39	0.00	-2.63
Tipo 1	0.00	-0.23	0.00	-0.25	0.00	-1.93	-0.01	-2.16
Térreo	0.00	-0.08	0.00	-0.08	0.00	-0.07	0.00	-0.25

Variação no deslocamento do topo da edificação: 6.71%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 3

TABELA 41 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 3.

Caso 6 Vento X+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	14.97	-0.04	18.14	-0.07	3.74	0.00	3.98	0.00
Tipo 20	14.75	-0.05	17.88	-0.08	7.42	0.00	7.85	0.00
Tipo 19	14.48	-0.05	17.57	-0.08	7.36	0.00	7.92	0.00
Tipo 18	14.15	-0.05	17.21	-0.08	7.28	0.00	7.99	0.00
Tipo 17	13.77	-0.05	16.77	-0.08	7.21	0.00	8.07	0.00
Tipo 16	13.34	-0.05	16.28	-0.08	7.13	0.00	8.14	0.00
Tipo 15	12.84	-0.05	15.72	-0.08	7.04	0.00	8.21	0.00
Tipo 14	12.30	-0.05	15.10	-0.08	6.95	0.00	8.27	-0.01
Tipo 13	11.70	-0.05	14.41	-0.08	6.86	0.00	8.32	-0.01
Tipo 12	11.05	-0.05	13.65	-0.08	6.76	0.00	8.37	-0.01
Tipo 11	10.36	-0.05	12.83	-0.08	6.65	0.00	8.40	-0.01
Tipo 10	9.61	-0.05	11.95	-0.08	6.53	0.00	8.41	-0.01
Tipo 9	8.82	-0.04	11.00	-0.07	6.41	0.00	8.40	-0.02
Tipo 8	7.99	-0.04	10.00	-0.07	6.26	0.00	8.36	-0.02
Tipo 7	7.12	-0.04	8.94	-0.06	6.11	0.00	8.28	-0.02
Tipo 6	6.21	-0.03	7.83	-0.05	5.93	0.00	8.15	-0.02
Tipo 5	5.28	-0.03	6.67	-0.05	5.73	0.00	7.95	-0.02
Tipo 4	4.32	-0.02	5.47	-0.04	5.48	0.00	7.66	-0.02
Tipo 3	3.34	-0.02	4.24	-0.03	5.17	0.00	7.21	-0.02
Tipo 2	2.36	-0.01	2.99	-0.02	4.73	0.00	6.41	-0.01
Tipo 1	1.38	-0.01	1.75	-0.01	3.78	0.00	4.49	0.00
Térreo	0.45	0.00	0.57	0.00	0.13	0.00	0.59	0.06

Variação no deslocamento do topo da edificação: 21.17%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 42 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 3.

Caso 7 Vento X-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-14.97	0.04	-18.14	0.07	-3.74	0.00	-3.98	0.00
Tipo 20	-14.75	0.05	-17.88	0.08	-7.42	0.00	-7.85	0.00
Tipo 19	-14.48	0.05	-17.57	0.08	-7.36	0.00	-7.92	0.00
Tipo 18	-14.15	0.05	-17.21	0.08	-7.28	0.00	-7.99	0.00
Tipo 17	-13.77	0.05	-16.77	0.08	-7.21	0.00	-8.07	0.00
Tipo 16	-13.34	0.05	-16.28	0.08	-7.13	0.00	-8.14	0.00
Tipo 15	-12.84	0.05	-15.72	0.08	-7.04	0.00	-8.21	0.00

Caso 7 Vento X-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tipo 14	-12.30	0.05	-15.10	0.08	-6.95	0.00	-8.27	0.01
Tipo 13	-11.70	0.05	-14.41	0.08	-6.86	0.00	-8.32	0.01
Tipo 12	-11.05	0.05	-13.65	0.08	-6.76	0.00	-8.37	0.01
Tipo 11	-10.36	0.05	-12.83	0.08	-6.65	0.00	-8.40	0.01
Tipo 10	-9.61	0.05	-11.95	0.08	-6.53	0.00	-8.41	0.01
Tipo 9	-8.82	0.04	-11.00	0.07	-6.41	0.00	-8.40	0.02
Tipo 8	-7.99	0.04	-10.00	0.07	-6.26	0.00	-8.36	0.02
Tipo 7	-7.12	0.04	-8.94	0.06	-6.11	0.00	-8.28	0.02
Tipo 6	-6.21	0.03	-7.83	0.05	-5.93	0.00	-8.15	0.02
Tipo 5	-5.28	0.03	-6.67	0.05	-5.73	0.00	-7.95	0.02
Tipo 4	-4.32	0.02	-5.47	0.04	-5.48	0.00	-7.66	0.02
Tipo 3	-3.34	0.02	-4.24	0.03	-5.17	0.00	-7.21	0.02
Tipo 2	-2.36	0.01	-2.99	0.02	-4.73	0.00	-6.41	0.01
Tipo 1	-1.38	0.01	-1.75	0.01	-3.78	0.00	-4.49	0.00
Térreo	-0.45	0.00	-0.57	0.00	-0.13	0.00	-0.59	-0.06

Variação no deslocamento do topo da edificação: 21.17%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 43 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 3.

Caso 8 Vento Y+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-0.02	9.71	-0.04	12.44	0.00	1.97	0.00	2.12
Tipo 20	-0.02	9.58	-0.04	12.29	0.00	3.92	0.00	4.18
Tipo 19	-0.03	9.42	-0.04	12.10	0.00	3.88	0.00	4.23
Tipo 18	-0.03	9.22	-0.04	11.88	0.00	3.85	0.00	4.29
Tipo 17	-0.03	8.99	-0.04	11.61	0.00	3.81	0.00	4.35
Tipo 16	-0.03	8.72	-0.04	11.30	0.00	3.76	0.00	4.42
Tipo 15	-0.03	8.42	-0.04	10.94	0.00	3.72	0.00	4.48
Tipo 14	-0.03	8.08	-0.04	10.54	0.00	3.67	0.00	4.54
Tipo 13	-0.03	7.70	-0.04	10.09	0.00	3.62	0.00	4.59
Tipo 12	-0.03	7.29	-0.04	9.59	0.00	3.57	-0.01	4.65
Tipo 11	-0.03	6.85	-0.04	9.05	0.00	3.51	-0.01	4.69
Tipo 10	-0.02	6.37	-0.04	8.46	0.00	3.45	-0.01	4.73
Tipo 9	-0.02	5.86	-0.04	7.83	0.00	3.38	-0.01	4.76
Tipo 8	-0.02	5.33	-0.04	7.15	0.00	3.31	-0.01	4.77
Tipo 7	-0.02	4.76	-0.03	6.43	0.00	3.23	-0.01	4.76
Tipo 6	-0.02	4.18	-0.03	5.67	0.00	3.13	-0.01	4.72
Tipo 5	-0.01	3.57	-0.02	4.87	0.00	3.02	-0.01	4.65
Tipo 4	-0.01	2.94	-0.02	4.03	0.00	2.89	-0.01	4.53
Tipo 3	-0.01	2.30	-0.02	3.17	0.00	2.73	-0.01	4.33
Tipo 2	-0.01	1.65	-0.01	2.28	0.00	2.50	0.00	4.07

Caso 8 Vento Y+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tipo 1	0.00	0.99	-0.01	1.38	0.00	1.99	0.00	3.36
Térreo	0.00	0.33	0.00	0.47	0.00	0.07	0.02	1.45

Variação no deslocamento do topo da edificação: 28.19%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 44 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 3.

Caso 9 Vento Y-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	0.02	-9.71	0.04	-12.44	0.00	-1.97	0.00	-2.12
Tipo 20	0.02	-9.58	0.04	-12.29	0.00	-3.92	0.00	-4.18
Tipo 19	0.03	-9.42	0.04	-12.10	0.00	-3.88	0.00	-4.23
Tipo 18	0.03	-9.22	0.04	-11.88	0.00	-3.85	0.00	-4.29
Tipo 17	0.03	-8.99	0.04	-11.61	0.00	-3.81	0.00	-4.35
Tipo 16	0.03	-8.72	0.04	-11.30	0.00	-3.76	0.00	-4.42
Tipo 15	0.03	-8.42	0.04	-10.94	0.00	-3.72	0.00	-4.48
Tipo 14	0.03	-8.08	0.04	-10.54	0.00	-3.67	0.00	-4.54
Tipo 13	0.03	-7.70	0.04	-10.09	0.00	-3.62	0.00	-4.59
Tipo 12	0.03	-7.29	0.04	-9.59	0.00	-3.57	0.01	-4.65
Tipo 11	0.03	-6.85	0.04	-9.05	0.00	-3.51	0.01	-4.69
Tipo 10	0.02	-6.37	0.04	-8.46	0.00	-3.45	0.01	-4.73
Tipo 9	0.02	-5.86	0.04	-7.83	0.00	-3.38	0.01	-4.76
Tipo 8	0.02	-5.33	0.04	-7.15	0.00	-3.31	0.01	-4.77
Tipo 7	0.02	-4.76	0.03	-6.43	0.00	-3.23	0.01	-4.76
Tipo 6	0.02	-4.18	0.03	-5.67	0.00	-3.13	0.01	-4.72
Tipo 5	0.01	-3.57	0.02	-4.87	0.00	-3.02	0.01	-4.65
Tipo 4	0.01	-2.94	0.02	-4.03	0.00	-2.89	0.01	-4.53
Tipo 3	0.01	-2.30	0.02	-3.17	0.00	-2.73	0.01	-4.33
Tipo 2	0.01	-1.65	0.01	-2.28	0.00	-2.50	0.00	-4.07
Tipo 1	0.00	-0.99	0.01	-1.38	0.00	-1.99	0.00	-3.36
Térreo	0.00	-0.33	0.00	-0.47	0.00	-0.07	-0.02	-1.45

Variação no deslocamento do topo da edificação: 28.19%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 4

TABELA 45 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 4.

Caso 6 Vento X+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	14.13	0.23	16.45	0.31	3.82	0.00	4.09	0.01
Tipo 20	13.84	0.22	16.13	0.30	7.59	0.00	8.01	0.01
Tipo 19	13.53	0.21	15.78	0.29	7.53	0.00	8.03	0.02
Tipo 18	13.19	0.20	15.40	0.27	7.46	0.00	8.06	0.02
Tipo 17	12.80	0.19	14.97	0.26	7.38	0.00	8.10	0.02
Tipo 16	12.37	0.18	14.49	0.24	7.31	0.00	8.14	0.02
Tipo 15	11.90	0.17	13.95	0.23	7.23	0.00	8.18	0.02
Tipo 14	11.37	0.16	13.36	0.21	7.14	0.00	8.21	0.02
Tipo 13	10.80	0.15	12.72	0.20	7.05	0.00	8.24	0.02
Tipo 12	10.19	0.13	12.02	0.18	6.95	0.00	8.25	0.02
Tipo 11	9.53	0.12	11.26	0.17	6.84	0.00	8.25	0.02
Tipo 10	8.82	0.11	10.45	0.15	6.73	0.00	8.22	0.02
Tipo 9	8.08	0.10	9.59	0.14	6.61	0.00	8.18	0.02
Tipo 8	7.30	0.09	8.68	0.12	6.47	0.00	8.10	0.01
Tipo 7	6.49	0.08	7.73	0.11	6.32	0.00	7.98	0.01
Tipo 6	5.65	0.07	6.74	0.09	6.14	0.00	7.81	0.01
Tipo 5	4.78	0.06	5.72	0.08	5.94	0.00	7.57	0.01
Tipo 4	3.90	0.05	4.67	0.06	5.70	0.00	7.24	0.01
Tipo 3	3.02	0.04	3.61	0.05	5.39	0.00	6.79	0.02
Tipo 2	2.13	0.03	2.55	0.04	4.96	0.00	6.04	0.02
Tipo 1	1.26	0.02	1.51	0.02	4.01	0.00	5.30	0.05
Térreo	0.41	0.01	0.49	0.01	0.14	0.00	0.57	0.10

Variação no deslocamento do topo da edificação: 16.44%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 46 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 4.

Caso 7 Vento X-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-14.13	-0.23	-16.45	-0.31	-3.82	0.00	-4.09	-0.01
Tipo 20	-13.84	-0.22	-16.13	-0.30	-7.59	0.00	-8.01	-0.01
Tipo 19	-13.53	-0.21	-15.78	-0.29	-7.53	0.00	-8.03	-0.02
Tipo 18	-13.19	-0.20	-15.40	-0.27	-7.46	0.00	-8.06	-0.02
Tipo 17	-12.80	-0.19	-14.97	-0.26	-7.38	0.00	-8.10	-0.02
Tipo 16	-12.37	-0.18	-14.49	-0.24	-7.31	0.00	-8.14	-0.02
Tipo 15	-11.90	-0.17	-13.95	-0.23	-7.23	0.00	-8.18	-0.02
Tipo 14	-11.37	-0.16	-13.36	-0.21	-7.14	0.00	-8.21	-0.02
Tipo 13	-10.80	-0.15	-12.72	-0.20	-7.05	0.00	-8.24	-0.02

Caso 7 Vento X-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tipo 12	-10.19	-0.13	-12.02	-0.18	-6.95	0.00	-8.25	-0.02
Tipo 11	-9.53	-0.12	-11.26	-0.17	-6.84	0.00	-8.25	-0.02
Tipo 10	-8.82	-0.11	-10.45	-0.15	-6.73	0.00	-8.22	-0.02
Tipo 9	-8.08	-0.10	-9.59	-0.14	-6.61	0.00	-8.18	-0.02
Tipo 8	-7.30	-0.09	-8.68	-0.12	-6.47	0.00	-8.10	-0.01
Tipo 7	-6.49	-0.08	-7.73	-0.11	-6.32	0.00	-7.98	-0.01
Tipo 6	-5.65	-0.07	-6.74	-0.09	-6.14	0.00	-7.81	-0.01
Tipo 5	-4.78	-0.06	-5.72	-0.08	-5.94	0.00	-7.57	-0.01
Tipo 4	-3.90	-0.05	-4.67	-0.06	-5.70	0.00	-7.24	-0.01
Tipo 3	-3.02	-0.04	-3.61	-0.05	-5.39	0.00	-6.79	-0.02
Tipo 2	-2.13	-0.03	-2.55	-0.04	-4.96	0.00	-6.04	-0.02
Tipo 1	-1.26	-0.02	-1.51	-0.02	-4.01	0.00	-5.30	-0.05
Térreo	-0.41	-0.01	-0.49	-0.01	-0.14	0.00	-0.57	-0.10

Variação no deslocamento do topo da edificação: 16.44%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 47 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 4.

Caso 8 Vento Y+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	0.13	7.89	0.17	9.18	0.00	2.02	0.01	2.25
Tipo 20	0.12	7.65	0.16	8.91	0.00	4.01	0.01	4.35
Tipo 19	0.12	7.40	0.16	8.62	0.00	3.98	0.01	4.35
Tipo 18	0.11	7.14	0.15	8.32	0.00	3.94	0.01	4.34
Tipo 17	0.10	6.86	0.14	8.00	0.00	3.90	0.01	4.34
Tipo 16	0.10	6.57	0.13	7.67	0.00	3.86	0.01	4.34
Tipo 15	0.09	6.26	0.12	7.32	0.00	3.82	0.01	4.34
Tipo 14	0.08	5.94	0.11	6.94	0.00	3.77	0.01	4.33
Tipo 13	0.08	5.60	0.10	6.55	0.00	3.72	0.01	4.32
Tipo 12	0.07	5.24	0.10	6.14	0.00	3.67	0.01	4.31
Tipo 11	0.06	4.87	0.09	5.71	0.00	3.61	0.01	4.28
Tipo 10	0.06	4.49	0.08	5.27	0.00	3.55	0.01	4.25
Tipo 9	0.05	4.09	0.07	4.81	0.00	3.49	0.01	4.20
Tipo 8	0.04	3.68	0.06	4.33	0.00	3.42	0.01	4.14
Tipo 7	0.04	3.26	0.05	3.84	0.00	3.34	0.01	4.07
Tipo 6	0.03	2.83	0.04	3.34	0.00	3.24	0.00	3.97
Tipo 5	0.03	2.40	0.04	2.83	0.00	3.14	0.00	3.86
Tipo 4	0.02	1.96	0.03	2.32	0.00	3.01	0.00	3.71
Tipo 3	0.02	1.53	0.02	1.81	0.00	2.85	0.01	3.53
Tipo 2	0.01	1.09	0.02	1.29	0.00	2.62	0.01	3.30
Tipo 1	0.01	0.65	0.01	0.77	0.00	2.12	0.07	2.76

Caso 8 Vento Y+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Térreo	0.00	0.22	0.00	0.26	0.00	0.07	0.03	0.79

Variação no deslocamento do topo da edificação: 16.41%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 48 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 4.

Caso 9 Vento Y-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-0.13	-7.89	-0.17	-9.18	0.00	-2.02	-0.01	-2.25
Tipo 20	-0.12	-7.65	-0.16	-8.91	0.00	-4.01	-0.01	-4.35
Tipo 19	-0.12	-7.40	-0.16	-8.62	0.00	-3.98	-0.01	-4.35
Tipo 18	-0.11	-7.14	-0.15	-8.32	0.00	-3.94	-0.01	-4.34
Tipo 17	-0.10	-6.86	-0.14	-8.00	0.00	-3.90	-0.01	-4.34
Tipo 16	-0.10	-6.57	-0.13	-7.67	0.00	-3.86	-0.01	-4.34
Tipo 15	-0.09	-6.26	-0.12	-7.32	0.00	-3.82	-0.01	-4.34
Tipo 14	-0.08	-5.94	-0.11	-6.94	0.00	-3.77	-0.01	-4.33
Tipo 13	-0.08	-5.60	-0.10	-6.55	0.00	-3.72	-0.01	-4.32
Tipo 12	-0.07	-5.24	-0.10	-6.14	0.00	-3.67	-0.01	-4.31
Tipo 11	-0.06	-4.87	-0.09	-5.71	0.00	-3.61	-0.01	-4.28
Tipo 10	-0.06	-4.49	-0.08	-5.27	0.00	-3.55	-0.01	-4.25
Tipo 9	-0.05	-4.09	-0.07	-4.81	0.00	-3.49	-0.01	-4.20
Tipo 8	-0.04	-3.68	-0.06	-4.33	0.00	-3.42	-0.01	-4.14
Tipo 7	-0.04	-3.26	-0.05	-3.84	0.00	-3.34	-0.01	-4.07
Tipo 6	-0.03	-2.83	-0.04	-3.34	0.00	-3.24	0.00	-3.97
Tipo 5	-0.03	-2.40	-0.04	-2.83	0.00	-3.14	0.00	-3.86
Tipo 4	-0.02	-1.96	-0.03	-2.32	0.00	-3.01	0.00	-3.71
Tipo 3	-0.02	-1.53	-0.02	-1.81	0.00	-2.85	-0.01	-3.53
Tipo 2	-0.01	-1.09	-0.02	-1.29	0.00	-2.62	-0.01	-3.30
Tipo 1	-0.01	-0.65	-0.01	-0.77	0.00	-2.12	-0.07	-2.76
Térreo	0.00	-0.22	0.00	-0.26	0.00	-0.07	-0.03	-0.79

Variação no deslocamento do topo da edificação: 16.41%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

MODELO 5

TABELA 49 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 5.

Caso 6 Vento X+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	43.45	-0.09	61.09	-0.25	4.28	0.00	5.01	0.01
Tipo 30	42.86	-0.10	60.31	-0.26	8.52	0.00	9.64	0.01
Tipo 29	42.23	-0.10	59.47	-0.26	8.47	0.00	9.77	0.00
Tipo 28	41.53	-0.11	58.56	-0.26	8.41	0.00	9.90	0.00
Tipo 27	40.77	-0.11	57.57	-0.27	8.36	0.00	10.04	0.00
Tipo 26	39.94	-0.11	56.50	-0.27	8.31	0.00	10.19	0.00
Tipo 25	39.04	-0.11	55.34	-0.27	8.25	0.00	10.33	0.00
Tipo 24	38.08	-0.11	54.09	-0.27	8.19	0.00	10.48	0.00
Tipo 23	37.06	-0.11	52.76	-0.28	8.13	0.00	10.64	0.00
Tipo 22	35.97	-0.11	51.34	-0.28	8.07	0.00	10.79	-0.01
Tipo 21	34.81	-0.11	49.83	-0.28	8.01	0.00	10.94	-0.01
Tipo 20	33.60	-0.11	48.23	-0.27	7.94	0.00	11.09	-0.01
Tipo 19	32.32	-0.11	46.53	-0.27	7.87	0.00	11.23	-0.01
Tipo 18	30.99	-0.11	44.75	-0.27	7.80	0.00	11.36	-0.01
Tipo 17	29.59	-0.11	42.87	-0.27	7.72	0.00	11.49	-0.02
Tipo 16	28.14	-0.11	40.90	-0.26	7.64	0.00	11.60	-0.02
Tipo 15	26.64	-0.11	38.84	-0.26	7.55	0.00	11.70	-0.03
Tipo 14	25.09	-0.10	36.70	-0.25	7.46	0.00	11.78	-0.03
Tipo 13	23.50	-0.10	34.47	-0.24	7.37	0.00	11.84	-0.03
Tipo 12	21.86	-0.09	32.16	-0.23	7.27	0.00	11.86	-0.04
Tipo 11	20.18	-0.09	29.77	-0.22	7.15	0.00	11.85	-0.04
Tipo 10	18.46	-0.08	27.31	-0.21	7.04	0.00	11.79	-0.05
Tipo 9	16.71	-0.08	24.78	-0.19	6.91	0.00	11.68	-0.05
Tipo 8	14.94	-0.07	22.19	-0.18	6.76	0.00	11.50	-0.06
Tipo 7	13.14	-0.06	19.55	-0.16	6.60	0.00	11.23	-0.06
Tipo 6	11.33	-0.06	16.88	-0.14	6.42	0.00	10.86	-0.06
Tipo 5	9.52	-0.05	14.17	-0.12	6.21	0.00	10.34	-0.06
Tipo 4	7.71	-0.04	11.46	-0.10	5.96	0.00	9.62	-0.06
Tipo 3	5.90	-0.03	8.76	-0.08	5.64	0.00	8.58	-0.04
Tipo 2	4.13	-0.02	6.10	-0.05	5.18	0.00	6.82	-0.02
Tipo 1	2.40	-0.01	3.53	-0.03	4.19	0.00	2.94	0.02
Térreo	0.78	0.00	1.14	-0.01	0.15	0.00	0.02	0.19

Variação no deslocamento do topo da edificação: 40.60%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 50 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 5.

Caso 7 Vento X-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-43.45	0.09	-61.09	0.25	-4.28	0.00	-5.01	-0.01
Tipo 30	-42.86	0.10	-60.31	0.26	-8.52	0.00	-9.64	-0.01
Tipo 29	-42.23	0.10	-59.47	0.26	-8.47	0.00	-9.77	0.00
Tipo 28	-41.53	0.11	-58.56	0.26	-8.41	0.00	-9.90	0.00
Tipo 27	-40.77	0.11	-57.57	0.27	-8.36	0.00	-10.04	0.00
Tipo 26	-39.94	0.11	-56.50	0.27	-8.31	0.00	-10.19	0.00
Tipo 25	-39.04	0.11	-55.34	0.27	-8.25	0.00	-10.33	0.00
Tipo 24	-38.08	0.11	-54.09	0.27	-8.19	0.00	-10.48	0.00
Tipo 23	-37.06	0.11	-52.76	0.28	-8.13	0.00	-10.64	0.00
Tipo 22	-35.97	0.11	-51.34	0.28	-8.07	0.00	-10.79	0.01
Tipo 21	-34.81	0.11	-49.83	0.28	-8.01	0.00	-10.94	0.01
Tipo 20	-33.60	0.11	-48.23	0.27	-7.94	0.00	-11.09	0.01
Tipo 19	-32.32	0.11	-46.53	0.27	-7.87	0.00	-11.23	0.01
Tipo 18	-30.99	0.11	-44.75	0.27	-7.80	0.00	-11.36	0.01
Tipo 17	-29.59	0.11	-42.87	0.27	-7.72	0.00	-11.49	0.02
Tipo 16	-28.14	0.11	-40.90	0.26	-7.64	0.00	-11.60	0.02
Tipo 15	-26.64	0.11	-38.84	0.26	-7.55	0.00	-11.70	0.03
Tipo 14	-25.09	0.10	-36.70	0.25	-7.46	0.00	-11.78	0.03
Tipo 13	-23.50	0.10	-34.47	0.24	-7.37	0.00	-11.84	0.03
Tipo 12	-21.86	0.09	-32.16	0.23	-7.27	0.00	-11.86	0.04
Tipo 11	-20.18	0.09	-29.77	0.22	-7.15	0.00	-11.85	0.04
Tipo 10	-18.46	0.08	-27.31	0.21	-7.04	0.00	-11.79	0.05
Tipo 9	-16.71	0.08	-24.78	0.19	-6.91	0.00	-11.68	0.05
Tipo 8	-14.94	0.07	-22.19	0.18	-6.76	0.00	-11.50	0.06
Tipo 7	-13.14	0.06	-19.55	0.16	-6.60	0.00	-11.23	0.06
Tipo 6	-11.33	0.06	-16.88	0.14	-6.42	0.00	-10.86	0.06
Tipo 5	-9.52	0.05	-14.17	0.12	-6.21	0.00	-10.34	0.06
Tipo 4	-7.71	0.04	-11.46	0.10	-5.96	0.00	-9.62	0.06
Tipo 3	-5.90	0.03	-8.76	0.08	-5.64	0.00	-8.58	0.04
Tipo 2	-4.13	0.02	-6.10	0.05	-5.18	0.00	-6.82	0.02
Tipo 1	-2.40	0.01	-3.53	0.03	-4.19	0.00	-2.94	-0.02
Térreo	-0.78	0.00	-1.14	0.01	-0.15	0.00	-0.02	-0.19

Variação no deslocamento do topo da edificação: 40.60%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 51 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 5.

Caso 8 Vento Y+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-0.05	27.27	-0.13	41.96	0.00	2.31	0.00	2.68
Tipo 30	-0.05	26.99	-0.14	41.56	0.00	4.60	0.00	5.20
Tipo 29	-0.05	26.66	-0.14	41.12	0.00	4.58	0.00	5.29
Tipo 28	-0.06	26.30	-0.14	40.63	0.00	4.55	0.00	5.39
Tipo 27	-0.06	25.89	-0.14	40.09	0.00	4.52	0.00	5.49
Tipo 26	-0.06	25.44	-0.14	39.49	0.00	4.49	0.00	5.60
Tipo 25	-0.06	24.94	-0.15	38.82	0.00	4.46	0.00	5.72
Tipo 24	-0.06	24.40	-0.15	38.10	0.00	4.43	0.00	5.84
Tipo 23	-0.06	23.80	-0.15	37.31	0.00	4.40	0.00	5.97
Tipo 22	-0.06	23.17	-0.15	36.45	0.00	4.36	0.00	6.10
Tipo 21	-0.06	22.49	-0.15	35.53	0.00	4.33	-0.01	6.23
Tipo 20	-0.06	21.76	-0.15	34.53	0.00	4.29	-0.01	6.36
Tipo 19	-0.06	21.00	-0.15	33.47	0.00	4.26	-0.01	6.49
Tipo 18	-0.06	20.18	-0.15	32.33	0.00	4.22	-0.01	6.63
Tipo 17	-0.06	19.33	-0.15	31.12	0.00	4.17	-0.01	6.76
Tipo 16	-0.06	18.44	-0.14	29.84	0.00	4.13	-0.01	6.89
Tipo 15	-0.06	17.51	-0.14	28.48	0.00	4.08	-0.02	7.01
Tipo 14	-0.06	16.54	-0.14	27.05	0.00	4.04	-0.02	7.12
Tipo 13	-0.05	15.54	-0.13	25.55	0.00	3.98	-0.02	7.23
Tipo 12	-0.05	14.50	-0.13	23.97	0.00	3.93	-0.02	7.31
Tipo 11	-0.05	13.43	-0.12	22.33	0.00	3.87	-0.03	7.38
Tipo 10	-0.05	12.34	-0.11	20.61	0.00	3.80	-0.03	7.42
Tipo 9	-0.04	11.21	-0.11	18.83	0.00	3.73	-0.03	7.43
Tipo 8	-0.04	10.07	-0.10	16.99	0.00	3.66	-0.03	7.40
Tipo 7	-0.03	8.90	-0.09	15.09	0.00	3.57	-0.03	7.32
Tipo 6	-0.03	7.72	-0.08	13.15	0.00	3.47	-0.03	7.17
Tipo 5	-0.03	6.53	-0.07	11.16	0.00	3.36	-0.02	6.93
Tipo 4	-0.02	5.33	-0.05	9.14	0.00	3.22	-0.02	6.59
Tipo 3	-0.02	4.13	-0.04	7.11	0.00	3.05	0.00	6.13
Tipo 2	-0.01	2.94	-0.03	5.07	0.00	2.80	0.02	5.70
Tipo 1	-0.01	1.75	-0.02	3.04	0.00	2.27	0.03	4.59
Térreo	0.00	0.59	-0.01	1.03	0.00	0.08	0.06	3.77

Variação no deslocamento do topo da edificação: 53.86%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 52 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 5.

Caso 9 Vento Y-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	0.05	-27.27	0.13	-41.96	0.00	-2.31	0.00	-2.68
Tipo 30	0.05	-26.99	0.14	-41.56	0.00	-4.60	0.00	-5.20
Tipo 29	0.05	-26.66	0.14	-41.12	0.00	-4.58	0.00	-5.29
Tipo 28	0.06	-26.30	0.14	-40.63	0.00	-4.55	0.00	-5.39
Tipo 27	0.06	-25.89	0.14	-40.09	0.00	-4.52	0.00	-5.49
Tipo 26	0.06	-25.44	0.14	-39.49	0.00	-4.49	0.00	-5.60
Tipo 25	0.06	-24.94	0.15	-38.82	0.00	-4.46	0.00	-5.72
Tipo 24	0.06	-24.40	0.15	-38.10	0.00	-4.43	0.00	-5.84
Tipo 23	0.06	-23.80	0.15	-37.31	0.00	-4.40	0.00	-5.97
Tipo 22	0.06	-23.17	0.15	-36.45	0.00	-4.36	0.00	-6.10
Tipo 21	0.06	-22.49	0.15	-35.53	0.00	-4.33	0.01	-6.23
Tipo 20	0.06	-21.76	0.15	-34.53	0.00	-4.29	0.01	-6.36
Tipo 19	0.06	-21.00	0.15	-33.47	0.00	-4.26	0.01	-6.49
Tipo 18	0.06	-20.18	0.15	-32.33	0.00	-4.22	0.01	-6.63
Tipo 17	0.06	-19.33	0.15	-31.12	0.00	-4.17	0.01	-6.76
Tipo 16	0.06	-18.44	0.14	-29.84	0.00	-4.13	0.01	-6.89
Tipo 15	0.06	-17.51	0.14	-28.48	0.00	-4.08	0.02	-7.01
Tipo 14	0.06	-16.54	0.14	-27.05	0.00	-4.04	0.02	-7.12
Tipo 13	0.05	-15.54	0.13	-25.55	0.00	-3.98	0.02	-7.23
Tipo 12	0.05	-14.50	0.13	-23.97	0.00	-3.93	0.02	-7.31
Tipo 11	0.05	-13.43	0.12	-22.33	0.00	-3.87	0.03	-7.38
Tipo 10	0.05	-12.34	0.11	-20.61	0.00	-3.80	0.03	-7.42
Tipo 9	0.04	-11.21	0.11	-18.83	0.00	-3.73	0.03	-7.43
Tipo 8	0.04	-10.07	0.10	-16.99	0.00	-3.66	0.03	-7.40
Tipo 7	0.03	-8.90	0.09	-15.09	0.00	-3.57	0.03	-7.32
Tipo 6	0.03	-7.72	0.08	-13.15	0.00	-3.47	0.03	-7.17
Tipo 5	0.03	-6.53	0.07	-11.16	0.00	-3.36	0.02	-6.93
Tipo 4	0.02	-5.33	0.05	-9.14	0.00	-3.22	0.02	-6.59
Tipo 3	0.02	-4.13	0.04	-7.11	0.00	-3.05	0.00	-6.13
Tipo 2	0.01	-2.94	0.03	-5.07	0.00	-2.80	-0.02	-5.70
Tipo 1	0.01	-1.75	0.02	-3.04	0.00	-2.27	-0.03	-4.59
Térreo	0.00	-0.59	0.01	-1.03	0.00	-0.08	-0.06	-3.77

Variação no deslocamento do topo da edificação: 53.86%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

C.6 MODELO 6

TABELA 53 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 6.

Caso 6 Vento X+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	39.37	0.60	51.33	1.01	4.20	0.00	4.83	0.01
Tipo 30	38.75	0.58	50.56	0.99	8.36	0.00	9.29	0.02
Tipo 29	38.10	0.57	49.75	0.97	8.31	0.00	9.34	0.02
Tipo 28	37.42	0.56	48.90	0.95	8.25	0.00	9.41	0.03
Tipo 27	36.68	0.55	47.99	0.93	8.20	0.00	9.50	0.03
Tipo 26	35.90	0.53	47.03	0.90	8.14	0.00	9.59	0.03
Tipo 25	35.06	0.51	45.99	0.88	8.09	0.00	9.68	0.03
Tipo 24	34.17	0.50	44.89	0.85	8.03	0.00	9.77	0.04
Tipo 23	33.22	0.48	43.71	0.83	7.96	0.00	9.86	0.04
Tipo 22	32.21	0.46	42.46	0.80	7.90	0.00	9.95	0.04
Tipo 21	31.15	0.45	41.14	0.77	7.83	0.00	10.04	0.04
Tipo 20	30.03	0.43	39.74	0.74	7.76	0.00	10.12	0.05
Tipo 19	28.86	0.41	38.27	0.71	7.69	0.00	10.20	0.05
Tipo 18	27.64	0.39	36.73	0.67	7.61	0.00	10.26	0.05
Tipo 17	26.37	0.37	35.12	0.64	7.53	0.00	10.32	0.05
Tipo 16	25.05	0.34	33.43	0.60	7.45	0.00	10.36	0.05
Tipo 15	23.69	0.32	31.68	0.57	7.36	0.00	10.39	0.05
Tipo 14	22.28	0.30	29.85	0.53	7.27	0.00	10.40	0.05
Tipo 13	20.83	0.28	27.97	0.49	7.17	0.00	10.39	0.05
Tipo 12	19.35	0.25	26.02	0.45	7.07	0.00	10.35	0.05
Tipo 11	17.83	0.23	24.02	0.41	6.95	0.00	10.27	0.04
Tipo 10	16.29	0.21	21.98	0.37	6.83	0.00	10.16	0.04
Tipo 9	14.72	0.19	19.88	0.34	6.70	0.00	9.99	0.03
Tipo 8	13.13	0.16	17.75	0.30	6.55	0.00	9.77	0.03
Tipo 7	11.53	0.14	15.60	0.26	6.39	0.00	9.47	0.02
Tipo 6	9.92	0.12	13.43	0.22	6.20	0.00	9.08	0.01
Tipo 5	8.31	0.10	11.25	0.19	5.99	0.00	8.58	0.01
Tipo 4	6.72	0.09	9.09	0.16	5.73	0.00	7.94	0.02
Tipo 3	5.14	0.07	6.96	0.12	5.40	0.00	7.17	0.04
Tipo 2	3.61	0.05	4.88	0.09	4.94	0.00	5.91	0.06
Tipo 1	2.12	0.03	2.86	0.06	3.95	0.00	5.80	0.12
Térreo	0.69	0.01	0.93	0.02	0.14	0.00	0.46	0.29

Variação no deslocamento do topo da edificação: 30.39%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 54 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 6.

Caso 7 Vento X-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-39.37	-0.60	-51.33	-1.01	-4.20	0.00	-4.83	-0.01
Tipo 30	-38.75	-0.58	-50.56	-0.99	-8.36	0.00	-9.29	-0.02
Tipo 29	-38.10	-0.57	-49.75	-0.97	-8.31	0.00	-9.34	-0.02
Tipo 28	-37.42	-0.56	-48.90	-0.95	-8.25	0.00	-9.41	-0.03
Tipo 27	-36.68	-0.55	-47.99	-0.93	-8.20	0.00	-9.50	-0.03
Tipo 26	-35.90	-0.53	-47.03	-0.90	-8.14	0.00	-9.59	-0.03
Tipo 25	-35.06	-0.51	-45.99	-0.88	-8.09	0.00	-9.68	-0.03
Tipo 24	-34.17	-0.50	-44.89	-0.85	-8.03	0.00	-9.77	-0.04
Tipo 23	-33.22	-0.48	-43.71	-0.83	-7.96	0.00	-9.86	-0.04
Tipo 22	-32.21	-0.46	-42.46	-0.80	-7.90	0.00	-9.95	-0.04
Tipo 21	-31.15	-0.45	-41.14	-0.77	-7.83	0.00	-10.04	-0.04
Tipo 20	-30.03	-0.43	-39.74	-0.74	-7.76	0.00	-10.12	-0.05
Tipo 19	-28.86	-0.41	-38.27	-0.71	-7.69	0.00	-10.20	-0.05
Tipo 18	-27.64	-0.39	-36.73	-0.67	-7.61	0.00	-10.26	-0.05
Tipo 17	-26.37	-0.37	-35.12	-0.64	-7.53	0.00	-10.32	-0.05
Tipo 16	-25.05	-0.34	-33.43	-0.60	-7.45	0.00	-10.36	-0.05
Tipo 15	-23.69	-0.32	-31.68	-0.57	-7.36	0.00	-10.39	-0.05
Tipo 14	-22.28	-0.30	-29.85	-0.53	-7.27	0.00	-10.40	-0.05
Tipo 13	-20.83	-0.28	-27.97	-0.49	-7.17	0.00	-10.39	-0.05
Tipo 12	-19.35	-0.25	-26.02	-0.45	-7.07	0.00	-10.35	-0.05
Tipo 11	-17.83	-0.23	-24.02	-0.41	-6.95	0.00	-10.27	-0.04
Tipo 10	-16.29	-0.21	-21.98	-0.37	-6.83	0.00	-10.16	-0.04
Tipo 9	-14.72	-0.19	-19.88	-0.34	-6.70	0.00	-9.99	-0.03
Tipo 8	-13.13	-0.16	-17.75	-0.30	-6.55	0.00	-9.77	-0.03
Tipo 7	-11.53	-0.14	-15.60	-0.26	-6.39	0.00	-9.47	-0.02
Tipo 6	-9.92	-0.12	-13.43	-0.22	-6.20	0.00	-9.08	-0.01
Tipo 5	-8.31	-0.10	-11.25	-0.19	-5.99	0.00	-8.58	-0.01
Tipo 4	-6.72	-0.09	-9.09	-0.16	-5.73	0.00	-7.94	-0.02
Tipo 3	-5.14	-0.07	-6.96	-0.12	-5.40	0.00	-7.17	-0.04
Tipo 2	-3.61	-0.05	-4.88	-0.09	-4.94	0.00	-5.91	-0.06
Tipo 1	-2.12	-0.03	-2.86	-0.06	-3.95	0.00	-5.80	-0.12
Térreo	-0.69	-0.01	-0.93	-0.02	-0.14	0.00	-0.46	-0.29

Variação no deslocamento do topo da edificação: 30.39%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 55 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 6.

Caso 8 Vento Y+								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	0.33	22.07	0.56	28.83	0.00	2.27	0.01	2.71
Tipo 30	0.32	21.63	0.54	28.28	0.00	4.52	0.01	5.17
Tipo 29	0.32	21.18	0.53	27.71	0.00	4.49	0.01	5.19
Tipo 28	0.31	20.72	0.52	27.13	0.00	4.46	0.01	5.21
Tipo 27	0.30	20.24	0.50	26.52	0.00	4.43	0.01	5.23
Tipo 26	0.29	19.74	0.49	25.88	0.00	4.40	0.02	5.27
Tipo 25	0.28	19.21	0.48	25.22	0.00	4.37	0.02	5.30
Tipo 24	0.27	18.67	0.46	24.53	0.00	4.34	0.02	5.33
Tipo 23	0.26	18.09	0.45	23.80	0.00	4.31	0.02	5.37
Tipo 22	0.25	17.50	0.43	23.05	0.00	4.27	0.02	5.40
Tipo 21	0.24	16.88	0.42	22.26	0.00	4.23	0.02	5.44
Tipo 20	0.23	16.23	0.40	21.43	0.00	4.20	0.03	5.47
Tipo 19	0.22	15.56	0.38	20.58	0.00	4.16	0.03	5.49
Tipo 18	0.21	14.87	0.37	19.68	0.00	4.12	0.03	5.51
Tipo 17	0.20	14.16	0.35	18.76	0.00	4.07	0.03	5.52
Tipo 16	0.19	13.42	0.33	17.81	0.00	4.03	0.03	5.52
Tipo 15	0.17	12.66	0.31	16.82	0.00	3.98	0.03	5.52
Tipo 14	0.16	11.88	0.29	15.81	0.00	3.93	0.03	5.49
Tipo 13	0.15	11.09	0.26	14.77	0.00	3.88	0.03	5.46
Tipo 12	0.13	10.28	0.24	13.71	0.00	3.82	0.03	5.41
Tipo 11	0.12	9.46	0.22	12.63	0.00	3.76	0.03	5.34
Tipo 10	0.11	8.63	0.20	11.53	0.00	3.69	0.02	5.26
Tipo 9	0.10	7.79	0.17	10.42	0.00	3.62	0.02	5.15
Tipo 8	0.08	6.95	0.15	9.30	0.00	3.54	0.01	5.03
Tipo 7	0.07	6.11	0.13	8.18	0.00	3.45	0.01	4.88
Tipo 6	0.06	5.27	0.11	7.06	0.00	3.35	0.00	4.71
Tipo 5	0.05	4.43	0.09	5.94	0.00	3.24	0.00	4.52
Tipo 4	0.04	3.60	0.07	4.83	0.00	3.10	0.00	4.31
Tipo 3	0.03	2.78	0.06	3.73	0.00	2.92	0.02	4.07
Tipo 2	0.02	1.97	0.04	2.65	0.00	2.67	0.03	3.86
Tipo 1	0.02	1.18	0.03	1.59	0.00	2.14	0.21	3.27
Térreo	0.01	0.40	0.01	0.54	0.00	0.07	0.07	1.88

Variação no deslocamento do topo da edificação: 30.66%

Fonte: Elaboração Própria (2017).

TABELA 56 - Deslocamentos e esforços aplicados no modelo 6.

Caso 9 Vento Y-								
Pavimento	Deslocamentos Horizontais Médios (cm)				Esforço Aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Cobertura	-0.33	-22.07	-0.56	-28.83	0.00	-2.27	-0.01	-2.71
Tipo 30	-0.32	-21.63	-0.54	-28.28	0.00	-4.52	-0.01	-5.17
Tipo 29	-0.32	-21.18	-0.53	-27.71	0.00	-4.49	-0.01	-5.19
Tipo 28	-0.31	-20.72	-0.52	-27.13	0.00	-4.46	-0.01	-5.21
Tipo 27	-0.30	-20.24	-0.50	-26.52	0.00	-4.43	-0.01	-5.23
Tipo 26	-0.29	-19.74	-0.49	-25.88	0.00	-4.40	-0.02	-5.27
Tipo 25	-0.28	-19.21	-0.48	-25.22	0.00	-4.37	-0.02	-5.30
Tipo 24	-0.27	-18.67	-0.46	-24.53	0.00	-4.34	-0.02	-5.33
Tipo 23	-0.26	-18.09	-0.45	-23.80	0.00	-4.31	-0.02	-5.37
Tipo 22	-0.25	-17.50	-0.43	-23.05	0.00	-4.27	-0.02	-5.40
Tipo 21	-0.24	-16.88	-0.42	-22.26	0.00	-4.23	-0.02	-5.44
Tipo 20	-0.23	-16.23	-0.40	-21.43	0.00	-4.20	-0.03	-5.47
Tipo 19	-0.22	-15.56	-0.38	-20.58	0.00	-4.16	-0.03	-5.49
Tipo 18	-0.21	-14.87	-0.37	-19.68	0.00	-4.12	-0.03	-5.51
Tipo 17	-0.20	-14.16	-0.35	-18.76	0.00	-4.07	-0.03	-5.52
Tipo 16	-0.19	-13.42	-0.33	-17.81	0.00	-4.03	-0.03	-5.52
Tipo 15	-0.17	-12.66	-0.31	-16.82	0.00	-3.98	-0.03	-5.52
Tipo 14	-0.16	-11.88	-0.29	-15.81	0.00	-3.93	-0.03	-5.49
Tipo 13	-0.15	-11.09	-0.26	-14.77	0.00	-3.88	-0.03	-5.46
Tipo 12	-0.13	-10.28	-0.24	-13.71	0.00	-3.82	-0.03	-5.41
Tipo 11	-0.12	-9.46	-0.22	-12.63	0.00	-3.76	-0.03	-5.34
Tipo 10	-0.11	-8.63	-0.20	-11.53	0.00	-3.69	-0.02	-5.26
Tipo 9	-0.10	-7.79	-0.17	-10.42	0.00	-3.62	-0.02	-5.15
Tipo 8	-0.08	-6.95	-0.15	-9.30	0.00	-3.54	-0.01	-5.03
Tipo 7	-0.07	-6.11	-0.13	-8.18	0.00	-3.45	-0.01	-4.88
Tipo 6	-0.06	-5.27	-0.11	-7.06	0.00	-3.35	0.00	-4.71
Tipo 5	-0.05	-4.43	-0.09	-5.94	0.00	-3.24	0.00	-4.52
Tipo 4	-0.04	-3.60	-0.07	-4.83	0.00	-3.10	0.00	-4.31
Tipo 3	-0.03	-2.78	-0.06	-3.73	0.00	-2.92	-0.02	-4.07
Tipo 2	-0.02	-1.97	-0.04	-2.65	0.00	-2.67	-0.03	-3.86
Tipo 1	-0.02	-1.18	-0.03	-1.59	0.00	-2.14	-0.21	-3.27
Térreo	-0.01	-0.40	-0.01	-0.54	0.00	-0.07	-0.07	-1.88

Variação no deslocamento do topo da edificação: 30.66%

Fonte: Elaboração Própria (2017).