

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ANDRÉ NICHOLAS DE CASTRO SILVA

**A AÇÃO DOS VENTOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UMA
ANÁLISE EM EDIFÍCIOS DE DIFERENTES ALTURAS**

FORMIGA – MG
2015

ANDRÉ NICHOLAS DE CASTRO SILVA

A AÇÃO DOS VENTOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UMA
ANÁLISE EM EDIFÍCIOS DE DIFERENTES ALTURAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Me. Tiago Morais de Faria
Novais

FORMIGA – MG
2015

S586 Silva, André Nicholas de Castro.
A ação dos ventos em estruturas de concreto armado: uma análise em edifícios de diferentes alturas / André Nicholas de Castro Silva. – 2015.
48 f.

Orientador: Tiago Morais de Faria Novais.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga–UNIFOR - MG, Formiga, 2015.

1. Ação de Ventos. 2. Concreto armado. 3. Cálculo estrutural. I. Título.

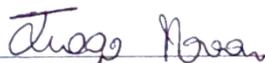
CDD 624.1834

ANDRÉ NICHOLAS DE CASTRO SILVA

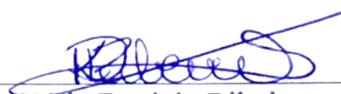
A AÇÃO DOS VENTOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: UMA ANÁLISE
EM EDIFÍCIOS DE DIFERENTES ALTURAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.

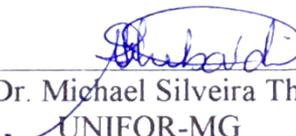
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Tiago de Moraes Faria Novais
Orientador



Prof.^a Dra Kátia Daniela Ribeiro
UNIFOR-MG



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
UNIFOR-MG

RESUMO

Este trabalho menciona a ação dos ventos como um fator significativo e, muitas vezes, crítico na concepção estrutural de obras em concreto armado. Com o objetivo de se alcançar estabilidade e resistência satisfatórias, todas as cargas, estáticas ou dinâmicas, as quais exercem ações sobre as estruturas, devem ser estimadas e consideradas ao se realizar uma análise estrutural. Dentre as cargas estruturais, a classificação de cargas acidentais considera aquelas que possuem significativas variações em seus valores médios ao longo da vida útil da edificação e os efeitos provocados pela incidência dos ventos sobre as construções estão incluídos, portanto nessa classificação. Assim sendo, o presente trabalho demonstra, de maneira geral, como se comportam as estruturas de concreto armado quando submetidas à ação dos ventos, apresentando as principais características desse tipo de estrutura, bem como as definições e procedimentos básicos utilizados para o cálculo das forças decorrentes de tal ação, exemplificando o cálculo utilizando como referência um modelo estrutural simples e os *softwares* apropriados.

Palavras-chave: Ação de Ventos. Concreto armado. Cálculo estrutural.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Convenção de sinais para sobrepressão e sucção.....	16
Figura 2– Gráfico das isopletas da velocidade básica no Brasil	17
Figura 3– Fator topográfico (S_1).....	18
Figura 4 – Coeficiente de arrasto, C_a , para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência	24
Figura 5 – Planta baixa do pavimento tipo	26
Figura 6 – Planta baixa da cobertura	27
Figura 7 – Localização da cidade de Pimenta-MG.....	28
Figura 8 – Dados gerais ‘TCC – 1ª Situação de Cálculo’	31
Figura 9 – Dados para consideração da ação do vento.....	32
Figura 10 – Pisos da primeira situação de cálculo.....	33
Figura 11 – Janela de introdução de pilares	34
Figura 12– Capturas para máscara	35
Figura 13 – Janela de introdução de vigas.....	36
Figura 14 – Janela de introdução de lajes.....	37
Figura 15– Modelo 3D	38
Figura 16 – Inserção de elementos de fundação.....	39
Figura 17 – Estrutura deformada	40
Figura 18 – Gráfico da variação do índice de armação devido à consideração da ação do vento.	43
Figura 19 – Deformação no topo da estrutura, hipótese com 8 pavimentos e não considerada a ação do vento.	44
Figura 20 – Deformação no topo da estrutura, hipótese com 8 pavimentos e considerada a ação do vento.	44
Figura 21 – Aumento do índice de armação em função da altura da edificação.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros meteorológicos.....	20
Tabela 2 – Fator S_2	21
Tabela 3 – Valores mínimos do fator estatístico S_3	22
Tabela 4 – Situações de cálculo.....	30
Tabela 5 – Variação do Índice de armação.....	42

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A_e	Área frontal efetiva
b	Lado menor: menor dimensão horizontal de uma edificação
C_a	Coefficiente de arrasto
d	Diferença de nível
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
ELU	Estado Limite Ultimo
ELS	Estado Limite de Serviço
F_a	Força de arrasto
Fr	Fator Rajada
h	Altura da edificação em relação ao terreno
Kg	Quilograma
l_1	Dimensão horizontal perpendicular à direção do vento
l_2	Dimensão horizontal no sentido do vento
m	Metros
m^2	Metro Quadrado
N	Newton
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
p	Expoente da lei potencial de variação de S_2
q	Pressão dinâmica
s	Segundos
SI	Sistema Internacional de Unidades
S_1	Fator topográfico
S_2	Fator rugosidade
S_3	Fator estatístico
V_k	Velocidade característica do vento
V_o	Velocidade básica do vento
z	Cota acima do terreno
Z_g	Altura gradiente: altura da camada limite atmosférica
Δ_p	Pressão efetiva

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos.....	10
1.1.1 Objetivo geral.....	10
1.1.2 Objetivos específicos.....	10
1.2 Justificativa	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Definições.....	13
2.1.1 Concreto armado	13
2.1.2 Ações sobre estruturas	13
2.1.2 Ventos	14
2.2 Procedimento elementar para cálculo das forças devidas à ação dos ventos nas edificações.....	17
2.2.1 Velocidade básica do vento – V_0.....	17
2.2.2 Velocidade característica do vento - V_k.....	18
2.2.2.1 Fator topográfico - S_1	18
2.2.2.2 Fator rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno – S_2	19
2.2.2.3 Fator estatístico – S_3	22
2.2.3 Pressão dinâmica	22
2.2.4 Força de arrasto.....	23
2.2.4.1 Coeficiente de arrasto.....	23
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 Projeto arquitetônico.....	26
3.2 Localização e características da edificação	28
3.2.1 Velocidade básica do vento no local da obra – V_0	28
3.2.2 Obtenção do fator topográfico - S_1.....	29
3.2.3 Caracterização da edificação quanto às categorias e classes para definição do fator S_2.....	29
3.2.4 Classificação da edificação quanto ao fator estatístico – S_3	29
3.3 Definição das situações de cálculo	30
3.4 <i>Software</i> Cypecad.....	30
3.4.1 Criação da obra e inserção dos dados gerais no <i>software</i>	30
3.4.2 Introdução de pisos/grupos.....	32

3.4.3 Importação de máscaras	34
3.4.4 Introdução de pilares	34
3.4.5 Introdução das vigas, lajes e escadas	35
3.4.6 Visualização 3D do edifício	38
3.4.7 Fundação	39
3.4.8 Lançamento de cargas.....	39
3.4.9 Cálculo da estrutura.....	39
3.4.10 Análise dos dados.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5 CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Ainda que exista uma ampla disponibilidade de novos materiais e técnicas construtivas, a utilização do concreto armado em estruturas mostra-se como uma solução de grande eficácia, pois suas propriedades lhe conferem uma notável versatilidade, sendo capaz de atender às mais variadas formas arquitetônicas, suportando desde os esforços mais simples existentes em obras como pequenas residências, até esforços de maior intensidade presentes em edificações de grande porte.

Segundo Carvalho e Pinheiro (2009, p. 180) “As estruturas, mesmo as mais simples, estão sempre sujeitas, além das ações gravitacionais, às ações laterais decorrentes, principalmente, por efeito de ventos.” Portanto, é de fundamental importância que se conheçam os efeitos resultantes da ação dos ventos ao se projetar uma obra, para que seja possível, assim avaliar o quão significativa é a carga gerada por tal efeito à estrutura, uma vez que a negligência desse procedimento pode desencadear a instabilidade da obra, principalmente em situações onde a incidência do vento ocorre de forma mais crítica, como por exemplo em edificações que possuem uma esbeltez expressiva, ou seja, edificações nas quais existe uma diferença relevante na relação entre a sua altura e a maior de suas dimensões em planta.

Analisar a forma como uma estrutura se comporta ao ser submetida à ação dos ventos envolve um estudo por vezes cauteloso, haja visto a existência de diversos fatores, os quais caracterizam tal situação, relacionados não somente ao projeto como também aos aspectos naturais do local onde será executada a obra. Como exemplo tem-se a velocidade característica do vento, a qual possui relação direta com a topografia, bem como a geometria da edificação em relação ao local e ainda o grau de segurança requerido. Entretanto, a determinação das forças exercidas pelo vento, apenas fornecerá um princípio pelo qual se inicia a análise em si.

Conhecidas as ações incidentes na estrutura, deve-se então realizar a análise global, com a finalidade de verificar os efeitos provocados por tais, identificando os elementos responsáveis por resistir a cada um dos esforços solicitantes, horizontais e verticais, para que assim seja possível a distribuição das cargas pela estrutura.

A utilização de *softwares* específicos para a execução do cálculo estrutural tem sido uma ferramenta de grande desenvoltura nos projetos estruturais, desde que operados de forma sensata. Não é suficiente que se obtenha os resultados fornecidos pelo *software*, tão mais que isso, é necessário que se possa formar uma análise técnica constantemente, uma vez que, em caso de entrada de dados equivocados, o resultado obtido será correspondente.

Em síntese, a análise estrutural deve ser realizada de forma prudente, levando-se em consideração todo o conjunto de fatores os quais influenciam nas ações incidentes sobre a estrutura, alcançando dessa maneira o equilíbrio esperado entre as solicitações e a resistência geral da obra.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar por meio de modelagem computacional a relação existente entre o aumento do consumo de aço de um edifício devido a ação do vento à medida em que sua altura se torna maior.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estabelecer um comparativo entre situações de cálculo de edifícios com diferentes alturas.
- Explicitar a influência da ação do vento sobre o consumo de aço através da comparação de hipóteses sem ação do vento e com ação do vento.
- Ponderar a representatividade da carga gerada pelo vento sobre a estrutura, observando-se as deformações produzidas pelo acréscimo da referida carga.
- Exemplificar a maneira como a esbeltez da edificação pode prejudicar na sua estabilidade resultando em um maior índice de armadura.

1.2 Justificativa

O acelerado crescimento habitacional vem há tempos promovendo certa escassez de espaços disponíveis para se construir em torno dos centros urbanos. Diante da impossibilidade de crescimento em áreas térreas as edificações têm se tornado cada vez mais ‘verticais’ como subterfúgio para se obter um maior aproveitamento do espaço existente.

Ao projetar esses tipos de edificações, as ações atuantes na direção horizontal mostram-se de maior relevância se comparadas a construções de menores alturas, podendo causar em diversas vezes a instabilidade global da estrutura.

Dentre as ações horizontais atuantes em edificações, o vento pode ser identificado como uma das mais comuns e representativas, podendo gerar em casos críticos grandes desastres, portanto é de suma importância a sua consideração durante o cálculo estrutural.

Ainda que a estrutura possa apresentar rigidez suficiente para suportar os efeitos do vento, uma análise da intensidade com a qual ocorre sua incidência, faz-se necessária para que seja avaliada a possibilidade de desprezar os efeitos de segunda ordem provocados.

Dessa forma, é indispensável que sejam cuidadosamente consideradas as ações do vento sobre as estruturas de concreto armado, haja visto o quão relacionado está este fato à segurança geral da obra.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os ventos incidentes em estruturas de concreto armado podem gerar cargas significativas; portanto, devem ser levados em consideração para o cálculo estrutural das edificações, como cita a NBR 6118 (ABNT, 2007, p. 56):

Os esforços devidos a ação do vento devem ser considerados e recomenda-se que sejam determinados de acordo com o prescrito pela ABNT NBR 6123, permitindo-se o emprego de regras simplificadas previstas em Normas Brasileiras específicas.

De acordo com Carvalho e Pinheiro (2009), as estruturas em geral, estão sempre submetidas às ações laterais, sendo que a fonte mais significativa, na maioria das vezes, é a incidência dos ventos sobre as mesmas, situação que se agrava em casos onde a estrutura possui uma grande altura, ou em que a relação entre sua altura e a maior de suas dimensões em planta seja expressiva. Tais ações são capazes de provocar uma instabilidade global nas edificações, portanto, ainda que se saiba da possibilidade de que em algumas situações a rigidez da estrutura é suficiente para resistir aos esforços provocados pelas ações laterais, entende-se como de extrema importância que seja ao menos avaliado o quanto interfere a ação dos ventos na estabilidade estrutural.

Segundo a Norma Brasileira Regulamentadora 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2003), as estruturas podem ser consideradas, para efeito de cálculo, como de nós fixos, quando se observa um deslocamento horizontal da estrutura pequeno, e desse modo os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis (inferiores a 10% dos efeitos de 1ª ordem). E ainda como estruturas de nós móveis, quando os efeitos de 2ª ordem globais se mostram representativos a ponto de provocar um deslocamento horizontal significativo.

Em conformidade com a NBR 6123 (ABNT, 1988, p. 4) “as forças devidas ao vento sobre uma edificação devem ser calculadas separadamente para [...] elementos de vedação e suas fixações, [...] partes da estrutura [e] estrutura como um todo.” Assim sendo, o cálculo estrutural está diretamente relacionado ao equilíbrio entre todos os elementos acima referidos.

Os efeitos provocados pelos ventos sobre as edificações são classificados como ações variáveis, ou seja, “Ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção.” (ABNT, NBR 8681, 2003, p. 2). A atuação conjunta das ações variáveis com as ações permanentes e as ações excepcionais, produzem na estrutura solicitações que serão absorvidas e transferidas por cada elemento até

que sejam dissipadas pelas fundações, portanto todas essas situações devem ser levadas em consideração para a obtenção de um resultado coerente.

2.1 Definições

Para que seja possível compreender de forma clara os efeitos produzidos pelos ventos, é importante que se definam alguns termos básicos.

2.1.1 Concreto armado

A NBR 6118 (ABNT, 2003, p.4) define elementos em concreto armado como “Aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.”

Estruturas em concreto armado, em geral, tem sua concepção em forma de pórticos, dados pela ligação entre elementos verticais (pilares) e horizontais (vigas). Tal formação atua de maneira favorável na absorção dos esforços provocados pelos ventos.

O estado limite último (ELU) é relativo ao limite suportado pela estrutura, quanto aos seus carregamentos, antes que ocorra o seu colapso ou quaisquer danos que impliquem em sua instabilidade. Enquanto o estado limite de serviço (ELS) refere-se à durabilidade funcional da estrutura, e “A segurança das estruturas de concreto pode exigir a verificação de alguns estados limites de serviço [...]” como explicita a NBR 6118 (ABNT, 2007)

2.1.2 Ações sobre estruturas

De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2003), as ações são definidas basicamente como “Causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. [...]” E são classificadas como:

[...] **ações permanentes:** Ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção. A variabilidade das ações permanentes é medida num conjunto de construções análogas.

[...] **ações variáveis:** Ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção.

[...] **ações excepcionais:** Ações excepcionais são as que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas.

[...] **cargas acidentais:** Cargas acidentais são as ações variáveis que atuam nas construções em função de seu uso (pessoas, mobiliário, veículos, materiais diversos etc.).

Ações atuantes sobre estruturas, quando do sentido horizontal, tem como principal fonte a os efeitos dos ventos, conforme observa Giongo (2007).

2.1.2 Ventos

Quanto a ação do vento sobre as edificações, a NBR 6123 (ABNT, 1988, p. 3 e 4) define:

[...] **Barlavento**

Região de onde sopra o vento, em relação à edificação.

[...] **Sobrepressão**

Pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência (sinal positivo).

[...] **Sotavento**

Região oposta àquela de onde sopra o vento, em relação à edificação.

[...] **Sucção**

Pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de referência (sinal negativo).

A atuação do vento se dá de forma aleatória sobre as edificações, ou seja, incide em todas as direções horizontais, desta maneira, toma-se como referência para estudo a situação mais crítica para a estrutura, sabendo-se que a incidência ocorre de forma perpendicular ao plano vertical.

Ao considerar a ação do vento em uma estrutura parcialmente executada, entende-se que:

A força do vento sobre uma estrutura parcialmente executada depende do método e da seqüência da construção.

É razoável admitir que a máxima velocidade característica do vento, V_k , não ocorrerá durante um período pequeno de tempo. Assim sendo, a verificação da segurança em uma estrutura parcialmente executada pode ser feita com uma velocidade característica menor. (NBR 6123, ABNT, 1988, p.4)

A velocidade básica dos ventos, V_o , expressa em m/s é definida pela NBR 6123 (ABNT, 1988) como “[...] a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano.” Para obtenção do valor de V_o , toma-se como referência a localização geográfica da obra, utilizando-se o gráfico das isopleias representado no item “2.2 Procedimento de cálculo das forças devidas à ação dos ventos nas edificações” da referida norma.

Ainda conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988) “a velocidade básica do vento é multiplicada pelos fatores S_1 , S_2 e S_3 para ser obtida a velocidade característica do vento, V_k ”.

O fator S_1 faz referência à topografia do local, considerando as variações de relevo existentes no terreno em três situações:

- a) Terrenos planos ou fracamente acidentados;
- b) Morros e taludes;
- c) Vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção.

O fator S_2 é dado pela combinação da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação, e de sua altura relativa ao terreno.

A rugosidade do terreno é classificada pela NBR 6123 (ABNT, 1988) em cinco categorias, listadas a seguir:

Categoria I: Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.

[...]

Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.

[...]

A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 m.

[...]

Categoria III: Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.

[...]

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0 m.

[...]

Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada.

[...]

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10 m.

Esta categoria também inclui zonas com obstáculos maiores e que ainda não possam ser consideradas na categoria V.

[...]

Categoria V: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados.

[...]

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25 m.

Em relação as dimensões da edificação, tem-se as classes A, B e C, as quais determinam para o cálculo da velocidade média os intervalos de tempo de 3, 5 e 10 segundos, respectivamente. São descritas pelas NBR 6123 (ABNT, 1988) como:

Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m.

Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.

Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

Ainda segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988, p. 10): “O fator estatístico S_3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.”

Conhecida a velocidade característica do vento, é determinada a pressão dinâmica provocada por tal sobre a edificação, ou seja, a força exercida pelo vento sobre uma unidade de área considerada, nesse caso, com unidades do sistema internacional – SI, utiliza-se N/m^2 .

A pressão efetiva, Δp , é definida pela diferença encontrada entre a pressão superficial externa e a pressão superficial interna na edificação.

Existe uma relação direta entre a área da superfície plana observada na edificação e a intensidade da carga gerada pelo vento sobre tal, pois “A força do vento sobre um elemento plano de edificação de área A atua em direção perpendicular a ele.” (ABNT, 1988, p. 4).

Uma vez considerados os coeficientes de pressão e de forma, é necessário entender que “Valores positivos [...] correspondem a sobrepressões, e valores negativos correspondem a sucções” (ABNT, 1988, p.4), como indicado na ilustração seguinte (FIG. 1).

Figura 1 – Convenção de sinais para sobrepressão e sucção



Fonte: O autor (2015).

Considerar a atuação do vento de maneira geral sobre a estrutura implica na consideração individual de cada efeito provocado por tal ação, pois “A força global do vento sobre uma edificação ou parte dela, F_g , é obtida pela soma vetorial das forças do vento que aí atuam.” (ABNT, 1988, p.5).

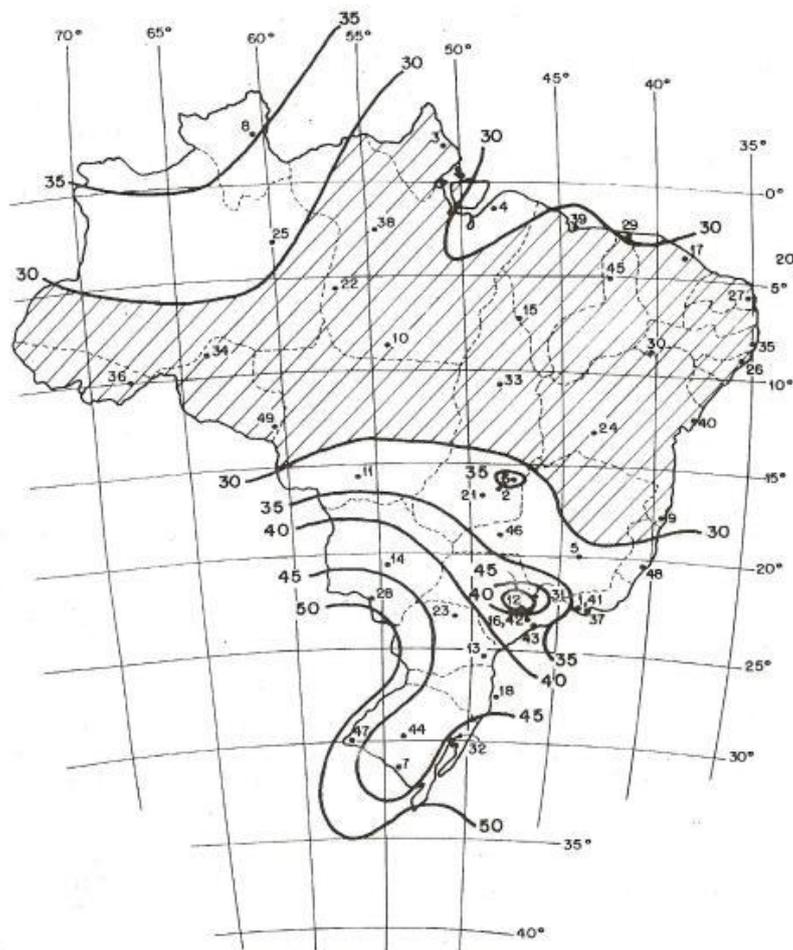
2.2 Procedimento elementar para cálculo das forças devidas à ação dos ventos nas edificações

Como referência para o cálculo das forças resultantes da ação dos ventos sobre as estruturas, no Brasil utiliza-se a NBR 6123 (ABNT, 1988), a qual “fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações.”.

2.2.1 Velocidade básica do vento – V_0

A determinação da velocidade básica do vento, V_0 (m/s), é dada pela localização geográfica da obra utilizando o gráfico das isopletas (FIG. 2) onde tem-se relacionadas pelo mapa, as velocidades básicas correspondentes a cada local.

Figura 2– Gráfico das isopletas da velocidade básica no Brasil



Fonte: ABNT (1988).

2.2.2 Velocidade característica do vento - V_k

Conhecida a velocidade básica correspondente ao local da obra, utiliza-se dos fatores S_1 (fator topográfico), S_2 (fator rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno) e S_3 (fator estatístico) para que se possa então obter a velocidade característica, V_k , por meio da seguinte expressão:

$$V_k = V_o S_1 S_2 S_3$$

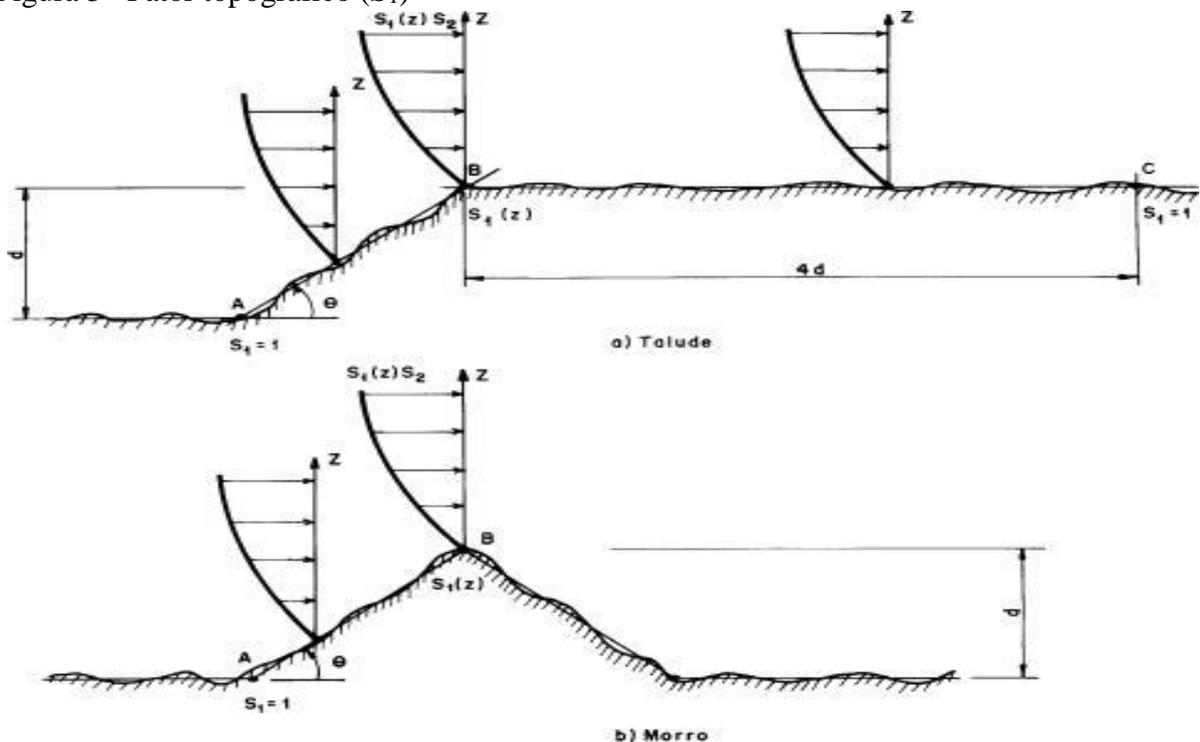
2.2.2.1 Fator topográfico - S_1

Para que seja determinado o fator topográfico, as seguintes hipóteses são consideradas:

- Terrenos planos ou fracamente acidentados: $S_1 = 1,0$;
- Taludes e morros:

De acordo com NBR 6123 (ABNT, 1988) são dadas as seguintes situações da incidência de ventos de fluxo bidimensional (FIG. 3):

Figura 3– Fator topográfico (S_1)



Fonte: ABNT (1988).

z = altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado
 d = diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro
 θ = inclinação média do talude ou encosta do morro

- $S_1 = 1,0$ nos pontos correspondentes ao pé do talude ou morro, e no topo do talude à uma distância da crista superior a 4 vezes a dimensão de sua altura (d), conforme ilustrado a seguir (FIG. 3) nos pontos A e C (taludes) e ponto A (morros).

- S_1 é dado em função da altura (z) quando situado no ponto B, considerando as possibilidades da inclinação (θ), dessa forma:

$$\text{Se: } \theta < 3^\circ, \text{ então: } S_1(z) = 1,0;$$

$$\text{Se: } 6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ, \text{ então: } S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \text{tg}(\theta - 3^\circ);$$

$$\text{Se: } \theta \geq 45^\circ, \text{ então: } S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) 0,31.$$

Devendo ser em todos os casos, maior ou igual a 1,0.

Para pontos entre A e B (morros e taludes) e entre A e C (taludes) deve ser realizada interpolação linear para obtenção de S_1 .

c) Em vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção: $S_1 = 0,9$.

2.2.2.2 Fator rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno – S_2

Determinada à qual categoria (I a V) pertence a edificação, bem como sua classe de acordo com suas dimensões (A, B ou C), e conhecida a sua altura, pode ser determinado o fator S_2 por meio expressão:

$$S_2 = b \times F_r \times (z/10)^p$$

Os parâmetros ‘ b ’, ‘ p ’ e F_r são definidos pela tabela de parâmetros meteorológicos TAB. 1 apresentada a seguir, observando-se que F_r segue sempre os valores referentes a categoria II.

Tabela 1 – Parâmetros meteorológicos

Categoria	Z_g (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

A listagem dos valores de S_2 de acordo com a expressão anteriormente referida é dada pela TAB. 2.

Tabela 2 – 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	,076
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	0,89	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
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,17	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: ABNT (1988).

2.2.2.3 Fator estatístico – S₃

A NBR 6123 (ABNT, 1988) indica os valores mínimos para S₃ conforme a TAB. 3:

Tabela 3 – Valores mínimos do fator estatístico S₃

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 residências. 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: ABNT (1988).

2.2.3 Pressão dinâmica

A pressão dinâmica exercida pela força do vento sobre a superfície, em N/m², é determinada por:

$$q_{\text{vento}} = 0,613 \times V_k^2$$

onde:

q = pressão dinâmica;

V_k = velocidade característica do vento (m/s).

2.2.4 Força de arrasto

A força de arrasto, conforme a NBR 6123/1988 é determinada pela expressão:

$$F_a = C_a \times q \times A_e$$

Sendo:

F_a = Força de arrasto (N);

C_a = Coeficiente de arrasto (adimensional);

q = Pressão dinâmica (N/m²);

A_e = Área Frontal efetiva (m²).

2.2.4.1 Coeficiente de arrasto

Segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988), para edificações que apresentam seções retangulares, “Os coeficientes de arrastos são dados [...] em função das relações h/l_1 e l_1/l_2 ”.

Onde:

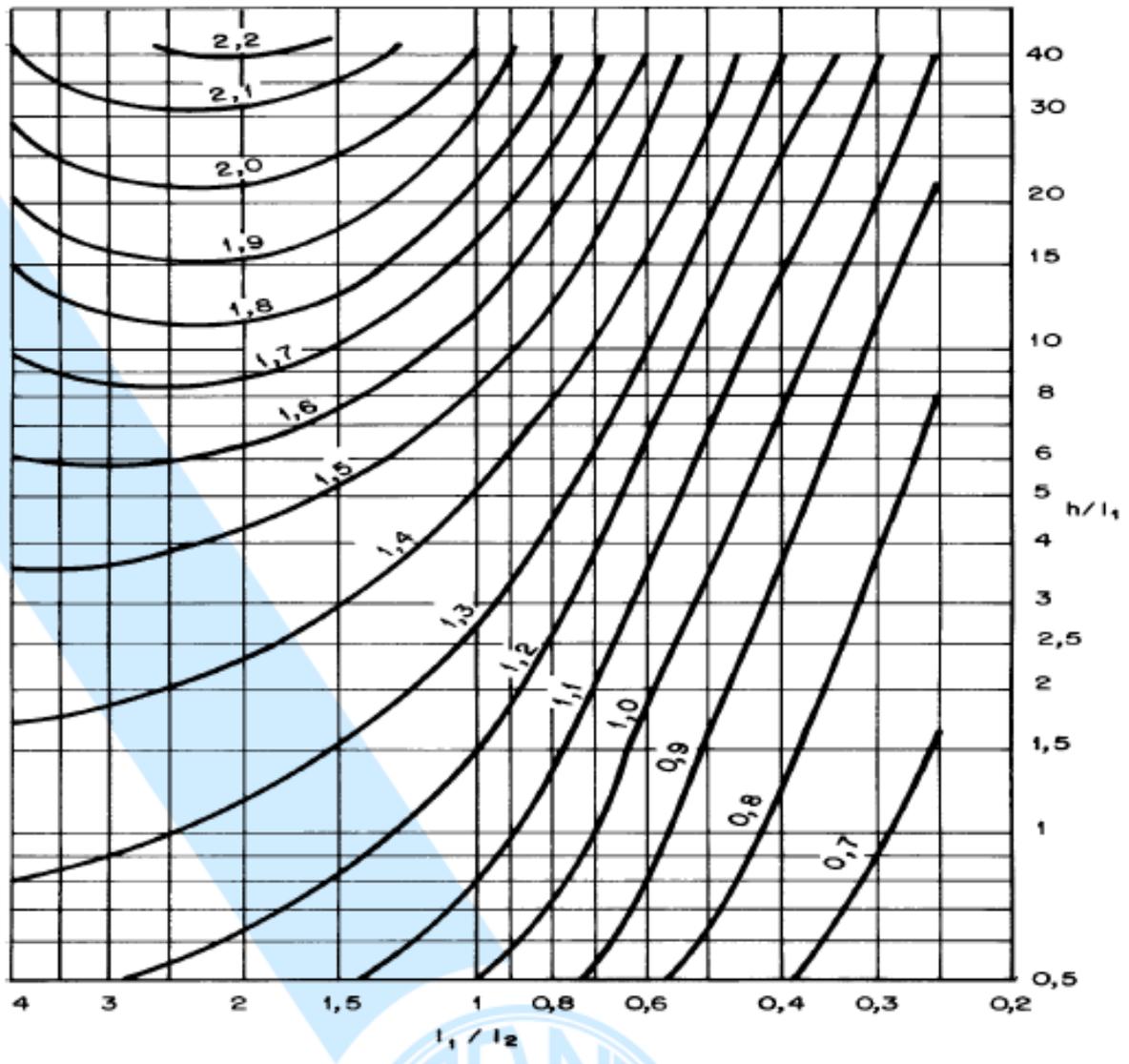
h : Altura da edificação em relação ao terreno;

l_1 : Dimensão horizontal perpendicular à direção do vento;

l_2 : Dimensão horizontal no sentido do vento.

Para situação de vento de baixa turbulência, a FIG. 4 representa o gráfico para obtenção dos valores de C_a .

Figura 4 – Coeficiente de arrasto, C_a , para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência



Fonte: ABNT (1988).

3 METODOLOGIA

Tomando como referência um projeto de um edifício em concreto armado, múltiplas análises estruturais foram realizadas, utilizando como ferramenta o *software* CYPECAD distribuído no Brasil pela empresa MULTIPLUS, fundamentado nas Normas Brasileiras pertinentes.

A cada análise foi modificado o fator altura da edificação por meio de sucessivos acréscimos em seu número de pavimentos inicialmente definido. Para cada alteração no número de pavimentos foram realizadas análises de sua estrutura em duas hipóteses:

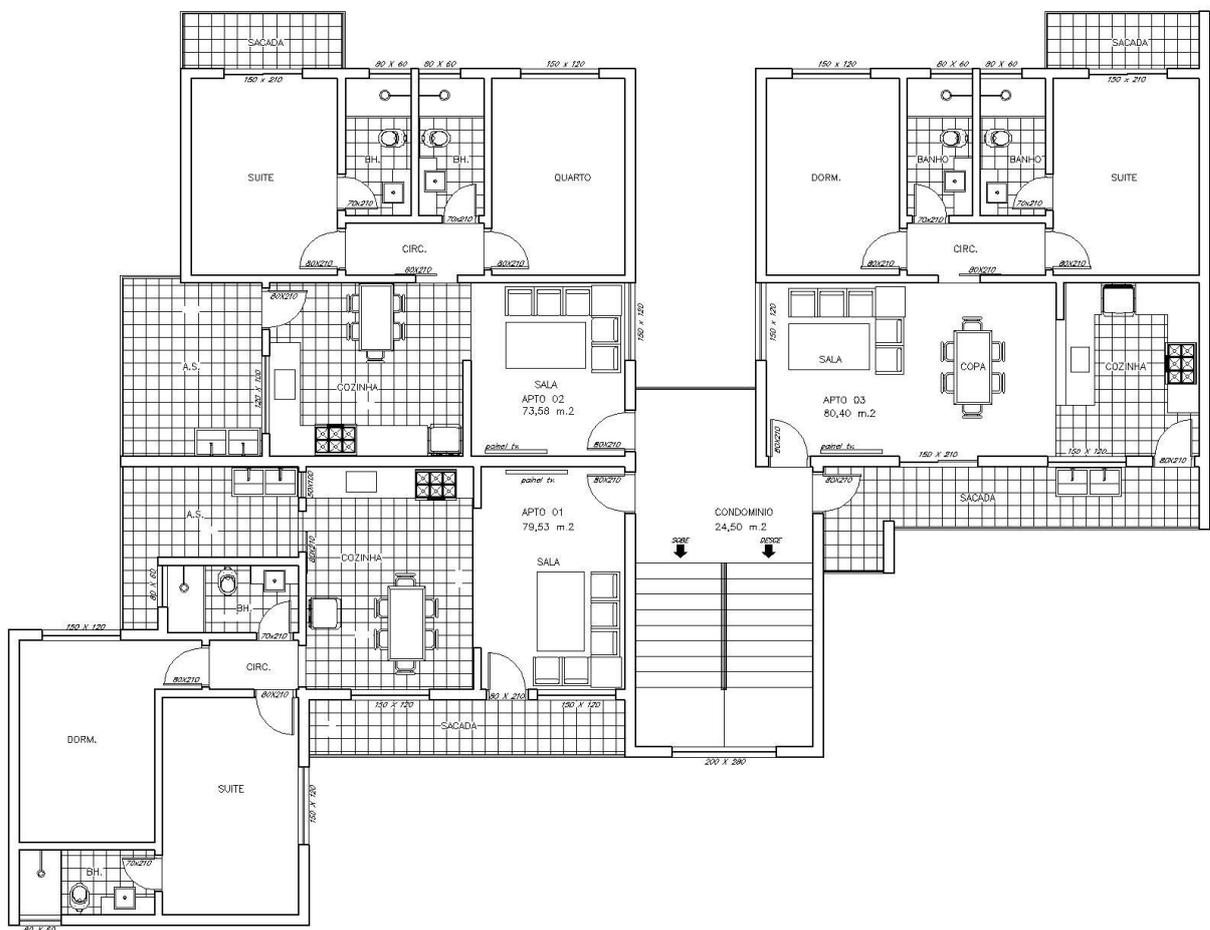
- a) Não submetida a ação do vento;
- b) Submetida a ação do vento.

Dessa forma foi definida a influência de tal ação sobre a estrutura à medida em que sua altura se torna maior, estabelecendo assim a maneira como se altera o consumo do aço em função da maior resistência solicitada pela estrutura devido a ação do vento.

3.1 Projeto arquitetônico

Foi utilizado como base um projeto arquitetônico genérico de um edifício em concreto armado concebido para fins residenciais. Sua distribuição arquitetônica é composta por três apartamentos a cada pavimento, adotando um projeto tipo (FIG. 5) em todos os andares, a fim de que se possa preservar as características da obra ao longo das diversas alterações em seu número de pavimentos.

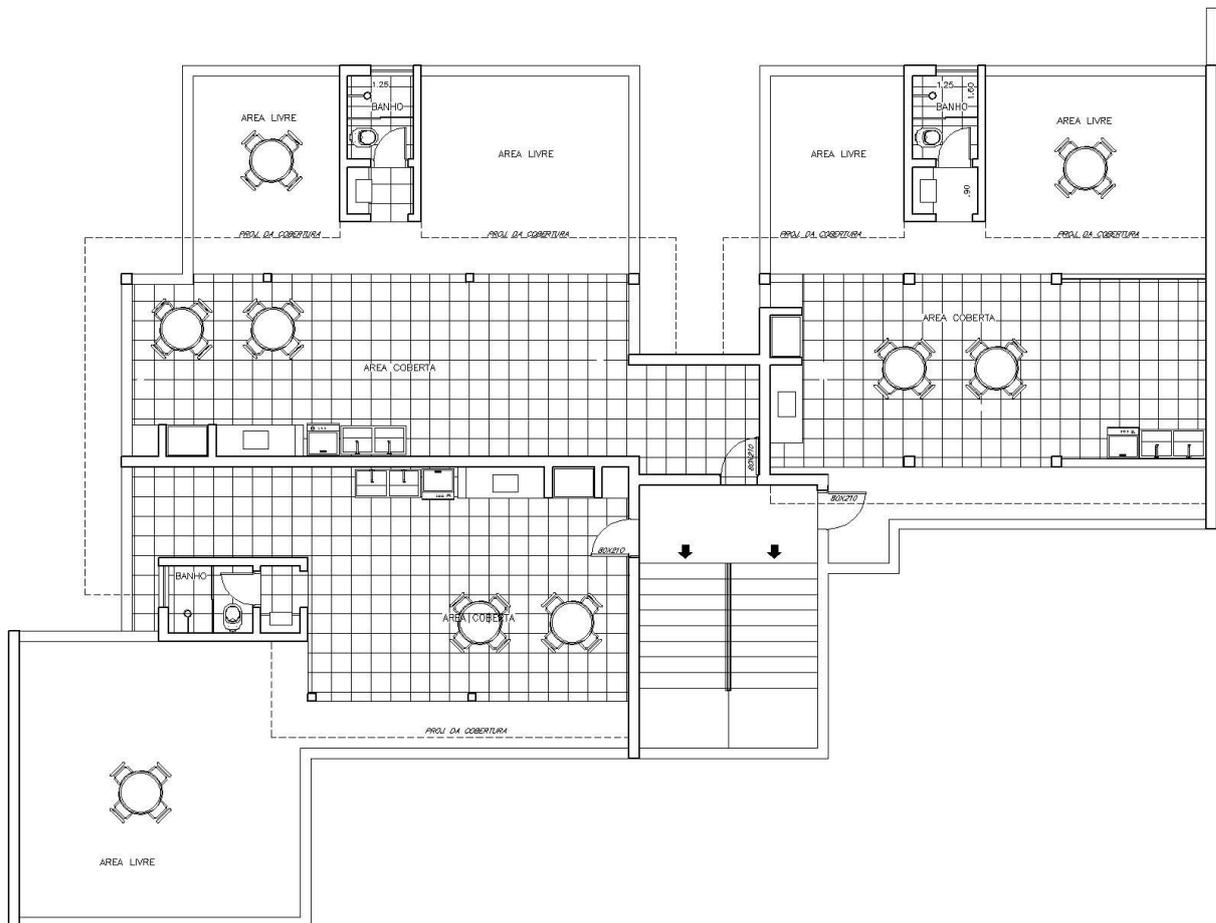
Figura 5 – Planta baixa do pavimento tipo



Fonte: O autor (2015).

Sua cobertura (FIG. 6) é pertencente aos apartamentos do último pavimento e, portanto, possui 3 banheiros os quais recebem sobre sua laje reservatórios de água potável que alimentam o sistema hidráulico de todo o edifício.

Figura 6 – Planta baixa da cobertura



Fonte: O autor (2015).

A extensão em planta das faces frontal e lateral da edificação é de 23 m e 17,65 m respectivamente, tais medidas permanecem inalteradas em todas as situações de cálculo, apenas variando, como dito anteriormente, o fator altura da edificação.

3.2 Localização e características da edificação

Com a finalidade de se obter as características necessárias para o cálculo estrutural é preciso que se conheça o local de execução da obra, portanto, hipoteticamente o projeto seria executado na cidade de Pimenta, localizada na região centroeste do estado brasileiro de Minas Gerais conforme a Figura 7 a seguir:

Figura 7 – Localização da cidade de Pimenta-MG



Fonte: Google Earth (2015).

3.2.1 Velocidade básica do vento no local da obra – V_0

A partir do gráfico das isopleias da velocidade básica no Brasil apresentado anteriormente (FIG. 2), obtido da NBR 6123 (ABNT, 1988), tem-se que a velocidade básica do vento para a região supracitada é de 35 m/s.

3.2.2 Obtenção do fator topográfico - S₁

As características topográficas do local se apresentam como as de um terreno plano, portanto segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988), para consideração no cálculo da velocidade característica V_k , o fator topográfico S₁ é igual a 1,0.

3.2.3 Caracterização da edificação quanto às categorias e classes para definição do fator S₂

A rugosidade do terreno em questão se inclui na categoria IV da NBR 6123 (ABNT, 1988): “Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada.”.

Ambas as situações de cálculo apresentam dimensões horizontais e verticais as quais podem ser descritas como pertencentes à classe B, segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988) “Toda edificação ou parte de edificação para qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.” e, portanto, o intervalo de tempo para cálculo da velocidade média é de 5 s.

Como a altura do edifício será variável nesta pesquisa (z será variável – TAB. 2), o valor de S₂ também será variável para cada situação analisada.

3.2.4 Classificação da edificação quanto ao fator estatístico – S₃

Definida a utilização da obra como um edifício residencial, o fator estatístico segundo a TAB. 3, pertence ao grupo 2, assim sendo seu valor é igual a 1,00.

3.3 Definição das situações de cálculo

Com o propósito de estabelecer uma relação entre o consumo de aço de acordo com o aumento na altura da edificação, devido a ação do vento, foram estabelecidas 8 situações de cálculo, descritas a seguir (TAB. 4):

Tabela 4 – Situações de cálculo

Situação	Descrição
1 ^a	Edifício com 2 pavimentos, não considerada a ação do vento.
2 ^a	Edifício com 2 pavimentos, considerada a ação do vento.
3 ^a	Edifício com 4 pavimentos, não considerada a ação do vento.
4 ^a	Edifício com 4 pavimentos, considerada a ação do vento.
5 ^a	Edifício com 6 pavimentos, não considerada a ação do vento.
6 ^a	Edifício com 6 pavimentos, considerada a ação do vento.
7 ^a	Edifício com 8 pavimentos, não considerada a ação do vento.
8 ^a	Edifício com 8 pavimentos, considerada a ação do vento.

Fonte: Autor (2015)

3.4 Software Cypecad

Como ferramenta para o cálculo estrutural foi utilizado o *software* CYPECAD, desenvolvido pela empresa espanhola CYPE Ingenieros S. A. e comercializado no Brasil pela empresa MULTIPLUS. Para a elaboração deste trabalho, a versão utilizada foi “2014.p”. O dimensionamento e detalhamento realizado pelo *software* utilizam como referência as normas da ABNT pertinentes.

3.4.1 Criação da obra e inserção dos dados gerais no *software*

Ao iniciar o programa, é necessário que se crie um arquivo para a introdução da obra. Para a primeira situação de cálculo foi criado um arquivo o qual recebeu o nome ‘TCC - 1^a Situação de Cálculo’ e sua descrição ‘1^a Situação – Edifício com 2 pavimentos, não considerada

a carga de vento. '. O mesmo procedimento foi realizado para a criação dos demais arquivos, alterando-se apenas seus respectivos nomes e descrições de acordo com as características inerentes a cada situação de cálculo.

Depois de criado o arquivo, a janela para escolha do tipo de inserção de obra é aberta automaticamente pelo programa. O tipo escolhido para inserção de obra em todas as situações de cálculo foi 'Obra vazia', tal opção permite que a inserção dos dados seja feita de forma completamente manual.

A imagem a seguir (FIG. 8) mostra como exemplo, a janela de introdução dos dados gerais da obra 'TCC - 1ª Situação de Cálculo':

Figura 8 – Dados gerais 'TCC – 1ª Situação de Cálculo'

The screenshot shows the 'Dados gerais' (General Data) window for a 'TCC - 1ª Situação de Cálculo'. The window contains the following fields and options:

- Chave:** TCC - 1ª Situação de Cálculo
- Descrição:** 1ª Situação - Edifício com 2 pavimentos, não considerada a ação do vento.
- Normas:** ABNT NBR 6118:2007, ABNT NBR 14762: 2010, ABNT NBR 8800:2008, NBR 7190 e Eurocódigo 9
- Concreto armado**
 - Concreto**
 - Pisos: C25, em geral
 - Fundação: C20, em geral
 - Tubulões: C20, em geral
 - Pilares: C25, em geral
 - Cortinas: C20, em geral
 - Características do agregado: 15 mm
 - Aço**
 - Barra: CA-50 e CA-60
 - Parafusos: ISO 898.C4.6
- Perfis**
 - Aço**
 - Laminados e soldados: A-572 345MPa
 - Dobrados: CF-26
 - Madeira**: Serrada - Dicotiledôneas - C30 - Primeira
 - Alumínio extrudado**: EN AW-5083 - F
- Ações**
 - Carga permanente e sobrecarga
 - Com ação do vento
 - Com ação sísmica
 - Verificar resistência ao fogo
 - Estados limites (combinações)
 - Ações adicionais (cargas especiais)
- Coefficientes de flambagem**
 - Pilares em concreto: β_x 1.000 β_y 1.000
 - Pilares em aço: β_x 1.000 β_y 1.000
- Ambiente**
 - Vigas: CAA II (Abertura máxima de fissura: 0.30 mm)
 - Blocos de coroamento: CAA I

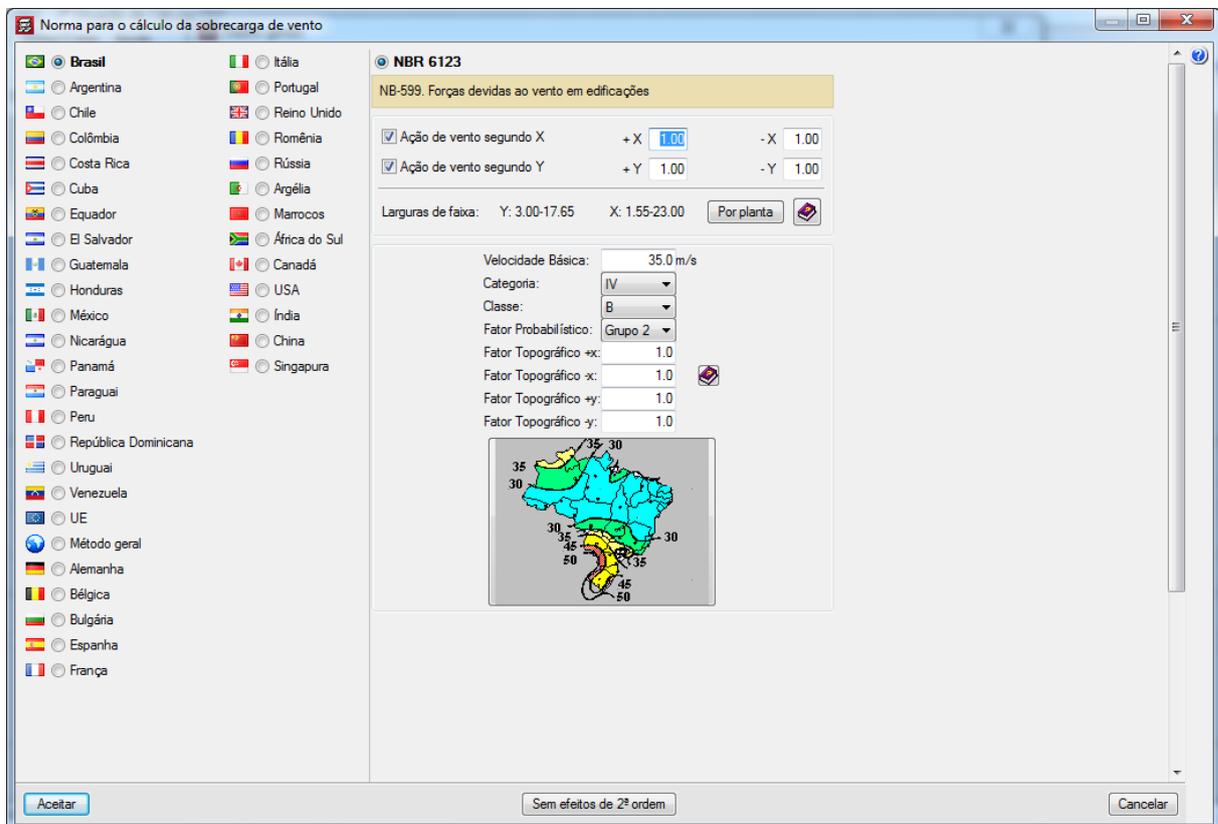
An 'Aceitar' button is located at the bottom center of the window.

Fonte: CYPECAD (2015).

Todos os dados exibidos na imagem acima (FIG. 8) tais como as categorias de resistência do concreto armado e as classes de agressividade ambiental foram inseridos com base nas normas brasileiras pertinentes e foram utilizados para o cálculo de todas as situações propostas.

No exemplo ilustrado pela FIG. 8 não foi adicionada a ação do vento. Para que tal ação seja considerada no cálculo estrutural é necessário que seja selecionada a opção ‘Com ação do vento’ e que sejam inseridos os dados relativos à edificação e ao terreno estabelecidos pela NBR 6123 (ABNT, 1988), conforme a imagem seguinte (FIG. 9):

Figura 9 – Dados para consideração da ação do vento



Fonte: CYPECAD (2015).

Para todas as situações de cálculo do presente trabalho foram utilizadas as mesmas características mostradas na FIG. 9 acima. Com exceção do fator S_2 o qual sofreu alterações automáticas de acordo com o aumento no número de pavimentos.

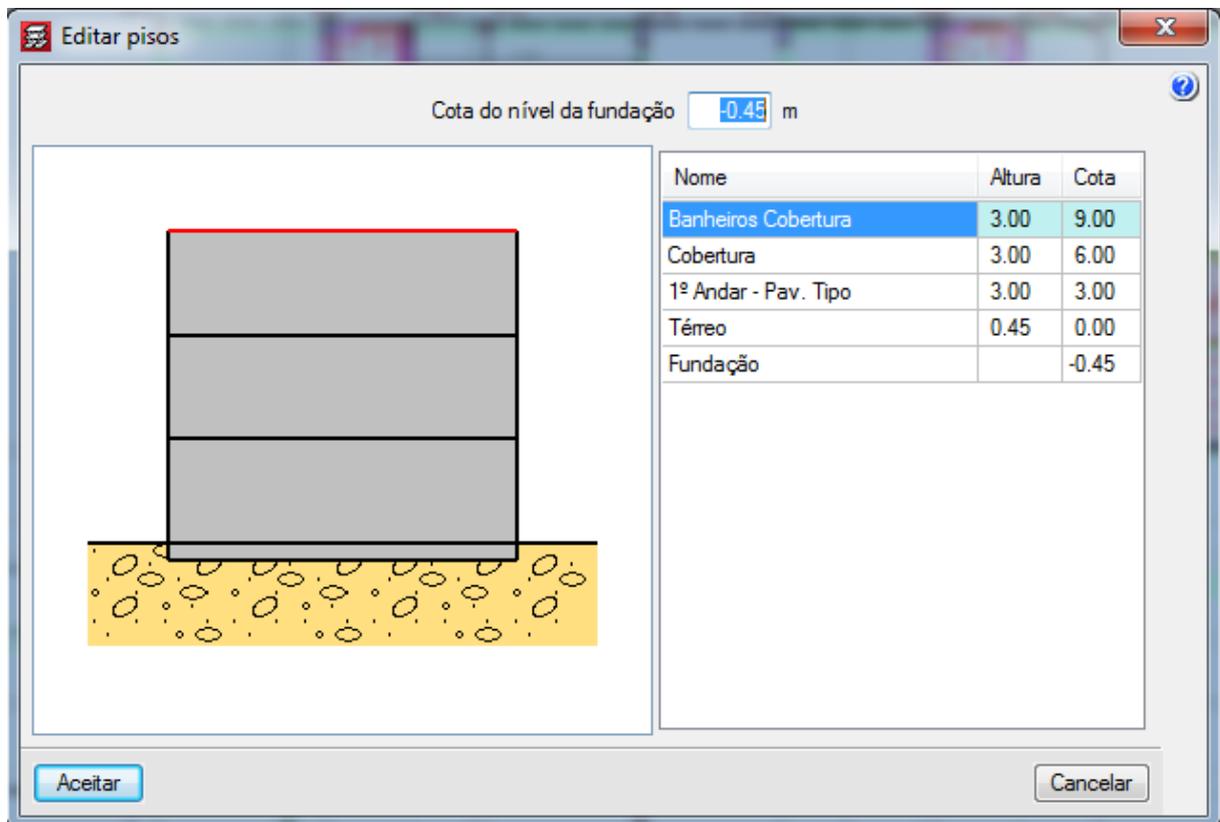
3.4.2 Introdução de pisos/grupos

Entende-se por pisos do projeto o conjunto de elementos estruturais horizontais de cada um dos níveis da edificação, como exemplo os pisos de fundações, térreo e andares superiores.

A introdução dos pisos é realizada clicando-se no menu ‘Introdução>Pisos/Grupos’, de forma que o número de pisos da edificação corresponde ao número de níveis onde haja a presença de elementos estruturais. As alturas dos pisos devem ser definidas de acordo com o projeto arquitetônico nessa etapa da introdução, bem como as cargas permanentes e acidentais para cada um dos pisos. A altura do piso representa a distância existente entre o próprio piso e o piso inferior.

Para a 1ª situação de cálculo, com um edifício de 2 pavimentos e cobertura com banheiros foram inseridos 4 pisos, abaixo relacionados (FIG. 10):

Figura 10 – Pisos da primeira situação de cálculo



Fonte: CYPECAD (2015).

O piso ‘Fundação’ é criado automaticamente pelo programa, e sua cota pode ser alterada na opção ‘editar pilares’.

Ao acrescentar novos pavimentos ao edifício para a criação das demais situações de cálculo foi utilizada a opção ‘Novos pisos’. Tendo o pavimento tipo definido, foram lançados os pisos com a opção ‘Agrupados entre si’ para que, assim, as alterações realizadas em um dos pisos sejam reproduzidas aos demais pavimentos semelhantes.

3.4.3 Importação de máscaras

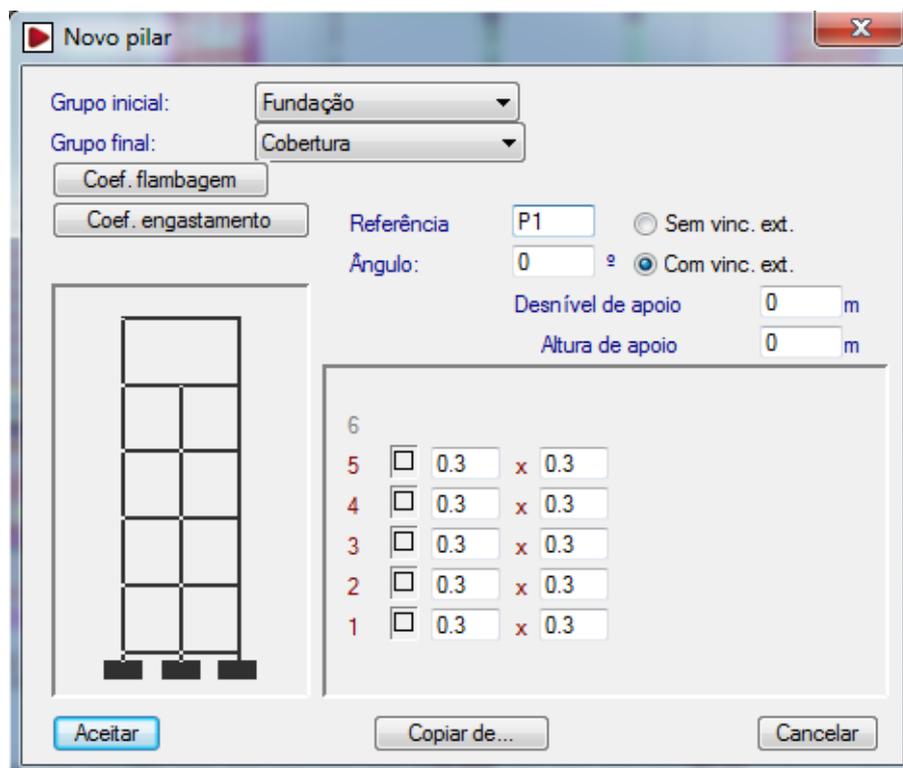
As máscaras são utilizadas para possibilitar a inserção dos elementos estruturais em suas devidas posições. A criação das máscaras foi feita a partir da edição das plantas de cada um dos pavimentos no *software* AutoCAD da empresa Autodesk em sua versão 2014, de forma que permaneceram apenas as informações necessárias para a identificação dos elementos estruturais.

A importação das máscaras para o CYPECAD foi feita pela opção ‘Editar máscaras>acrescentar novo elemento à lista’ localizada na barra de ferramentas superior do *software*.

3.4.4 Introdução de pilares

Através do menu ‘Introdução>Pilares, pilares-paredes e elem. de fundação’ foi acessada a ferramenta de introdução de pilares, a janela (FIG. 11) aberta pelo programa possibilita a definição dos dados do pilar como início e fim do mesmo, as dimensões de sua seção transversal, dentre outros.

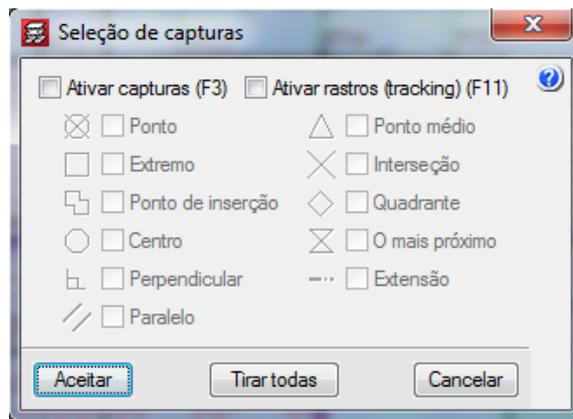
Figura 11 – Janela de introdução de pilares



Fonte: CYPECAD (2015).

Os pilares foram editados de acordo com a necessidade após sua introdução por meio das ferramentas de edição de pilares. Pressionando a tecla 'F3' foi ativada a opção de capturas para máscara (FIG. 12) como meio de facilitar a introdução de cada elemento em sua devida posição.

Figura 12– Capturas para máscara



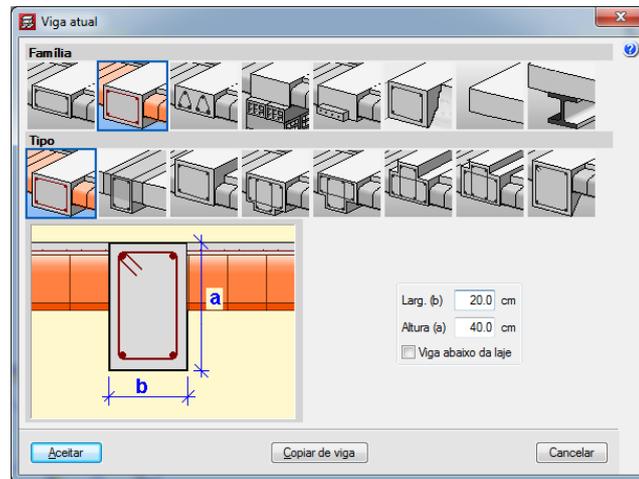
Fonte: CYPECAD (2015).

Todos os pilares foram introduzidos de acordo com o procedimento anteriormente descrito.

3.4.5 Introdução das vigas, lajes e escadas

Finalizada a introdução dos pilares da obra, foi realizado o lançamento das vigas em cada um dos pisos. Para tanto, foi utilizada a guia 'Entrada de pavimento' a qual pode ser acessada na parte inferior da janela do *software*. Clicando no menu 'Vigas/Paredes' e na opção 'Entrar viga' tem-se acesso à janela para seleção do tipo de viga, para a concepção estrutural em questão foi utilizada a opção 'Vigas altas' com dimensões variáveis (FIG. 13).

Figura 13 – Janela de introdução de vigas

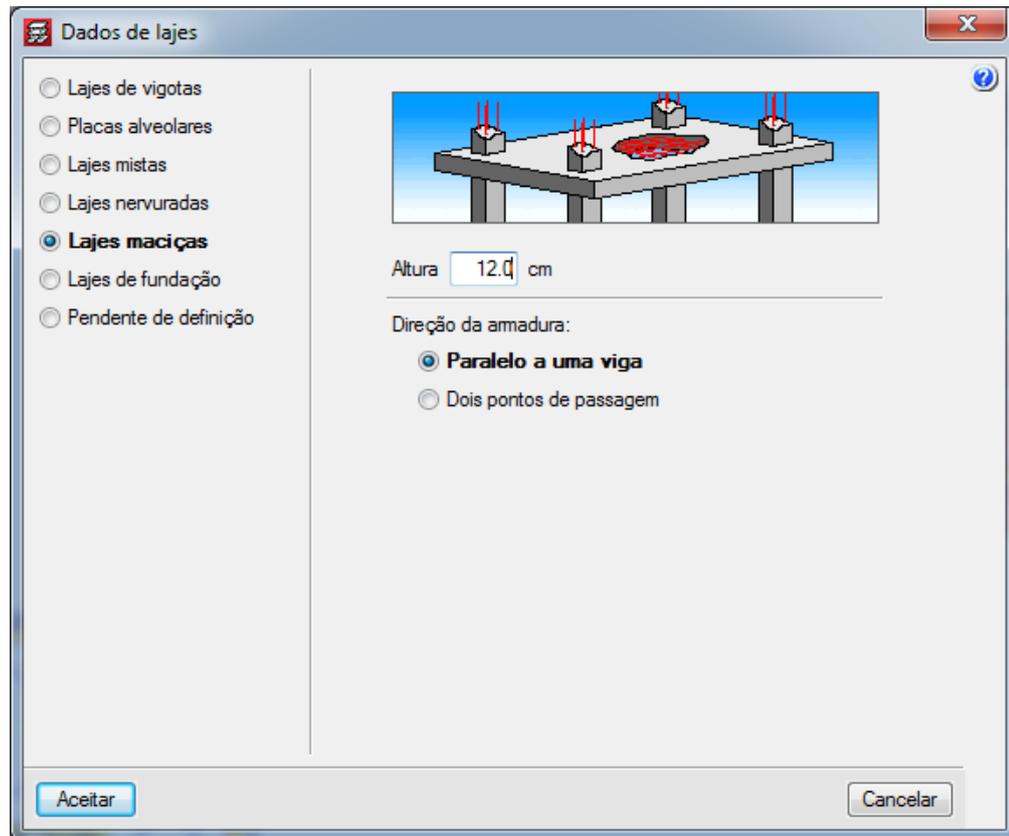


Fonte: CYPECAD (2015).

As vigas foram introduzidas de acordo com a concepção estrutural definida, seguindo como referência os pilares outrora inseridos e as máscaras previamente importadas.

Ao introduzir vigas formando uma figura geométrica fechada, o programa identifica a área delimitada pelas vigas como um 'Pano' e então torna-se possível a definição de tal elemento como uma laje ou mesmo uma abertura. No piso térreo foram introduzidas aberturas, enquanto nos demais foram introduzidas lajes maciças com espessura de 12 cm (FIG. 14).

Figura 14 – Janela de introdução de lajes



Fonte: CYPECAD (2015).

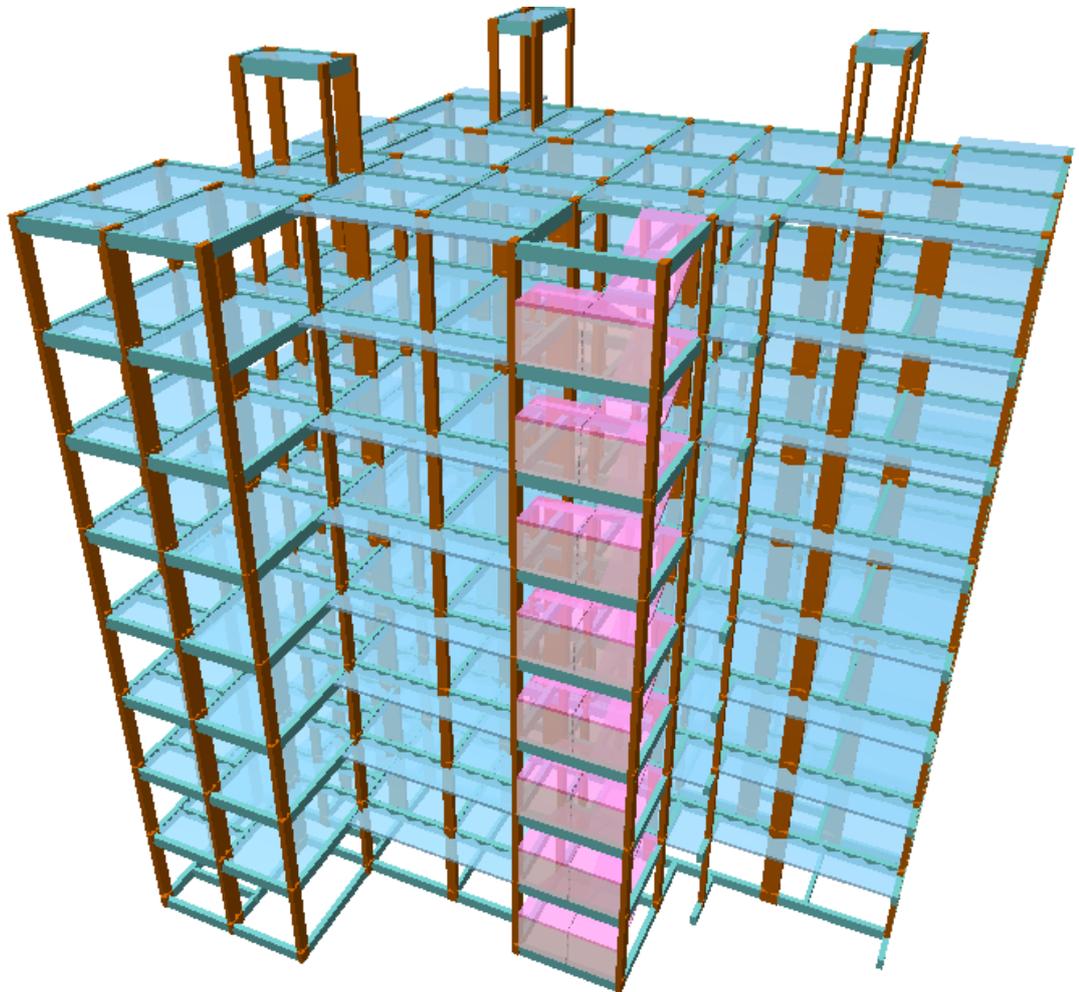
Cada um dos pisos deve receber o lançamento estrutural dos elementos de vigas e lajes, porém os pisos agrupados entre si (pavimento tipo) são editados simultaneamente.

Oferecida pelo *software*, a ferramenta de escadas possibilita o dimensionamento e detalhamento de tais elementos a partir da simples introdução da geometria desejada e das respectivas dimensões.

3.4.6 Visualização 3D do edifício

Feito o lançamento de cada elemento estrutural é possível visualizar um modelo em três dimensões da obra em questão, para isso a ferramenta ‘Visualização 3D do edifício’ foi acionada pela barra de ferramentas. A imagem a seguir (FIG. 15) mostra o modelo estrutural gerado na 8ª situação de cálculo:

Figura 15– Modelo 3D

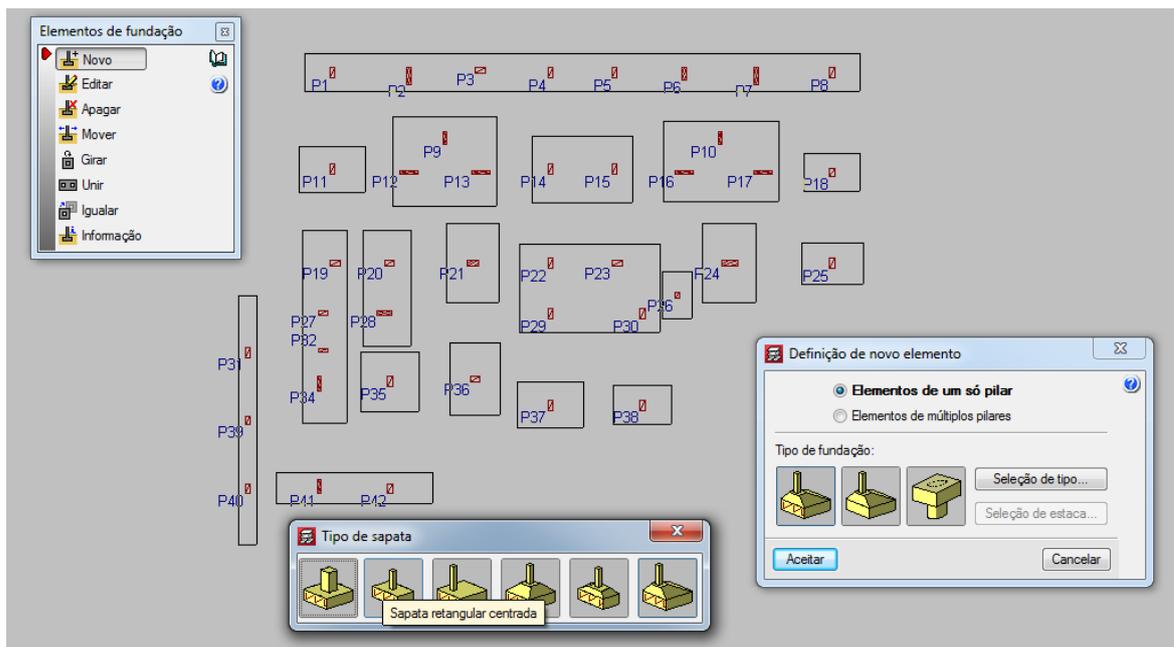


Fonte: CYPECAD (2015).

3.4.7 Fundação

Os elementos de fundação foram inseridos a partir do menu ‘Fundação’ selecionando a opção ‘Elementos de fundação’. Para esse trabalho foram utilizadas sapatas retangulares (FIG. 16).

Figura 16 – Inserção de elementos de fundação



Fonte: CYPECAD (2015).

3.4.8 Lançamento de cargas

Uma vez lançada a estrutura por completo foram posicionadas as cargas lineares sobre as vigas e cargas superficiais sobre as lajes utilizando o menu ‘cargas’. Os valores para cada uma das cargas foram calculados seguindo as especificações descritas na NBR 6120 (ABNT, 1980).

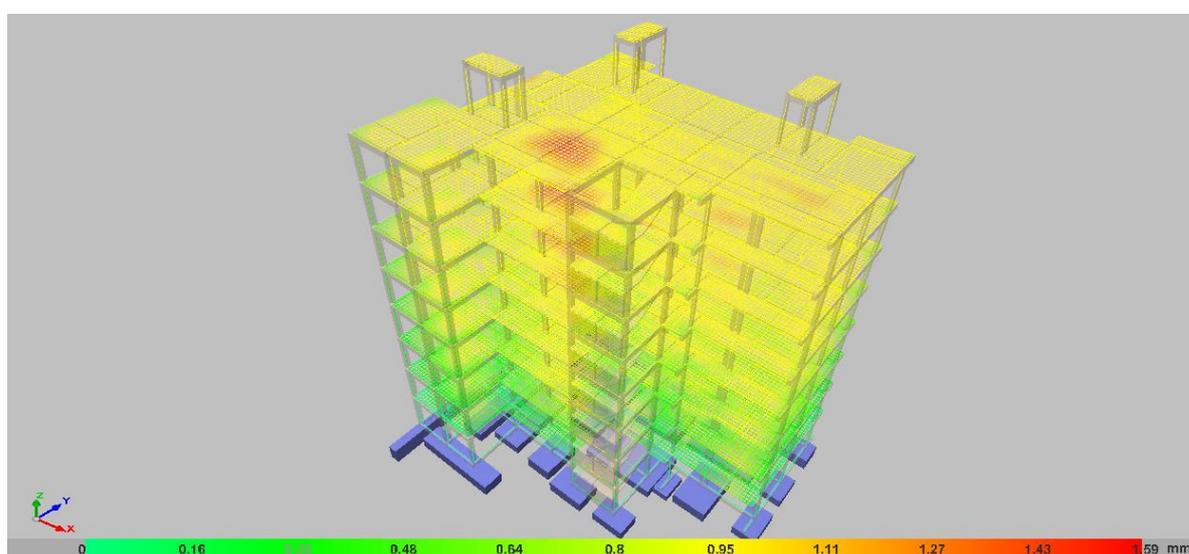
3.4.9 Cálculo da estrutura

Ao término de todos os procedimentos acima relacionados a obra encontra-se preparada para o cálculo. Selecionando no menu ‘Calcular’ a opção ‘Calcular a obra (inclusive fundação)’ o *software* realizou todos os cálculos necessários.

Um relatório de erros é gerado quando são finalizados os cálculos. Diversos erros tais como dimensões insuficientes dos elementos surgem e podem ser corrigidos na guia resultados.

A guia ‘Deformada’ fornece a visualização das deformações existentes na estrutura em cada um dos elementos utilizando uma escala de cores, o que possibilita a identificação de áreas críticas na obra facilitando a possível correção, porém deve-se atentar aos valores de tais deformações, exibidos em milímetros na parte inferior dessa guia, uma vez que as cores apenas servem como referência para a localização das áreas críticas e não como um parâmetro para considerar aceitável ou não certa deformação. A imagem a seguir (FIG. 17) mostra um exemplo de “estrutura deformada” no *software*.

Figura 17 – Estrutura deformada



Fonte: CYPECAD (2015).

3.4.10 Análise dos dados

Uma vez calculadas todas as situações propostas e de posse dos relatórios de quantidades de cada uma das hipóteses, foram criados, através do *software* Microsoft Excel, uma tabela e dois gráficos que ilustram o aumento do consumo de aço a cada acréscimo no número de pavimentos.

Foi calculada, a cada par de hipóteses com o mesmo número de pavimentos, a variação da taxa de aço devido a simples consideração da ação do vento. Para tanto obteve-se a diferença entre os valores da taxa de aço das situações que possuem número de pavimentos coincidentes e então dividiu-se esse resultado pelo valor da taxa de aço da respectiva hipótese a qual não

teve a ação do vento considerada. Tais valores foram utilizados para compor o gráfico da variação do índice de armação devido à consideração da ação do vento (FIG. 18).

Utilizando os valores dos índices de armação de cada uma das hipóteses de cálculo, foi criado o gráfico do aumento do índice de armação em função da altura da edificação (FIG. 21) onde é possível observar o crescimento da taxa de armação de acordo com o aumento da altura das edificações comparando-se os valores para as hipóteses considerando a ação do vento e não considerando a ação do vento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das situações de cálculo desenvolvidas no presente trabalho foi possível estabelecer uma clara relação entre o aumento no consumo de aço do edifício em consequência da ação dos ventos à medida em que sua altura se torna maior, ou seja, nota-se que a esbeltez do edifício influencia diretamente na forma como sua estrutura se comporta quando submetida à ação do vento.

A tabela a seguir (TAB. 5) fornece uma visualização de como se altera o índice de armação de acordo com cada uma das situações propostas.

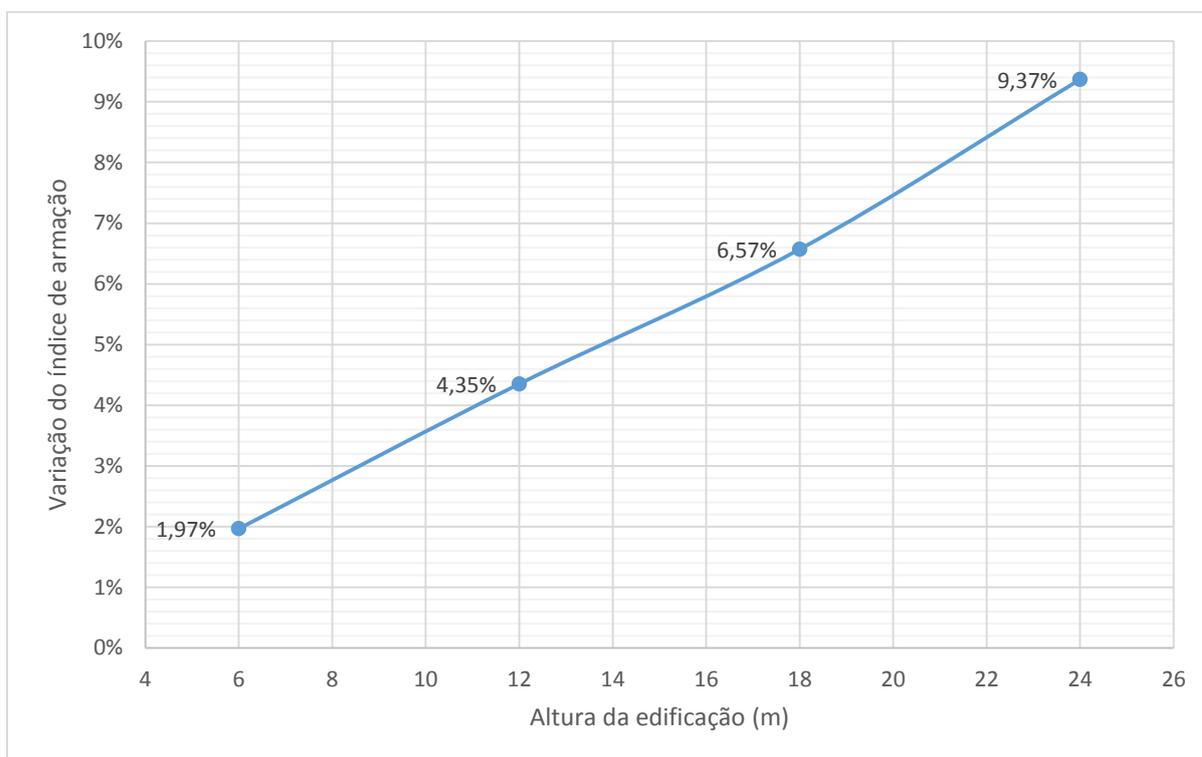
Tabela 5 – Variação do índice de armação por consequência da ação dos ventos de acordo com o aumento na altura da edificação

Situação	Ação do vento	Número de pavimentos	Altura da edificação (m)	Quantidade de aço (kg)	Índice de armação (kg/m ²)	Variação da taxa de aço devido a carga de vento
1 ^a	Desconsiderada	2	6	7.224,00	12,72	1,90%
2 ^a	Considerada			7.389,00	12,97	
3 ^a	Desconsiderada	4	12	14.279,00	13,10	4,35%
4 ^a	Considerada			14.899,00	13,67	
5 ^a	Desconsiderada	6	18	22.304,00	13,85	6,57%
6 ^a	Considerada			23.770,00	14,76	
7 ^a	Desconsiderada	8	24	31.384,00	14,73	9,37%
8 ^a	Considerada			34.311,00	16,11	

Fonte: O autor (2015).

É notável, comparando-se duas situações com o mesmo número de pavimentos, que a simples consideração das cargas geradas pela ação do vento provoca um aumento do consumo de aço para a mesma edificação, e ainda que a altura do edifício influencia diretamente no aumento dessa variação. Tal fato demonstra que a estrutura é solicitada pela carga de vento tanto mais severamente quanto sua altura cresce, o gráfico a seguir ilustra essa condição (FIG. 18):

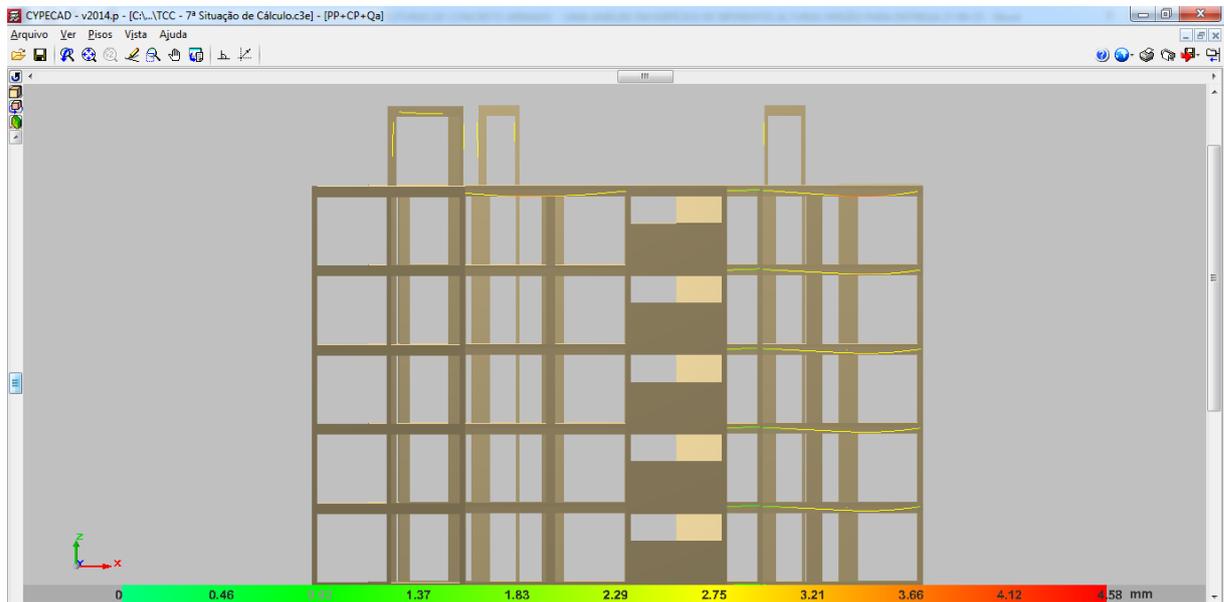
Figura 18 – Gráfico da variação do índice de armação devido à consideração da ação do vento.



Fonte: O autor (2015).

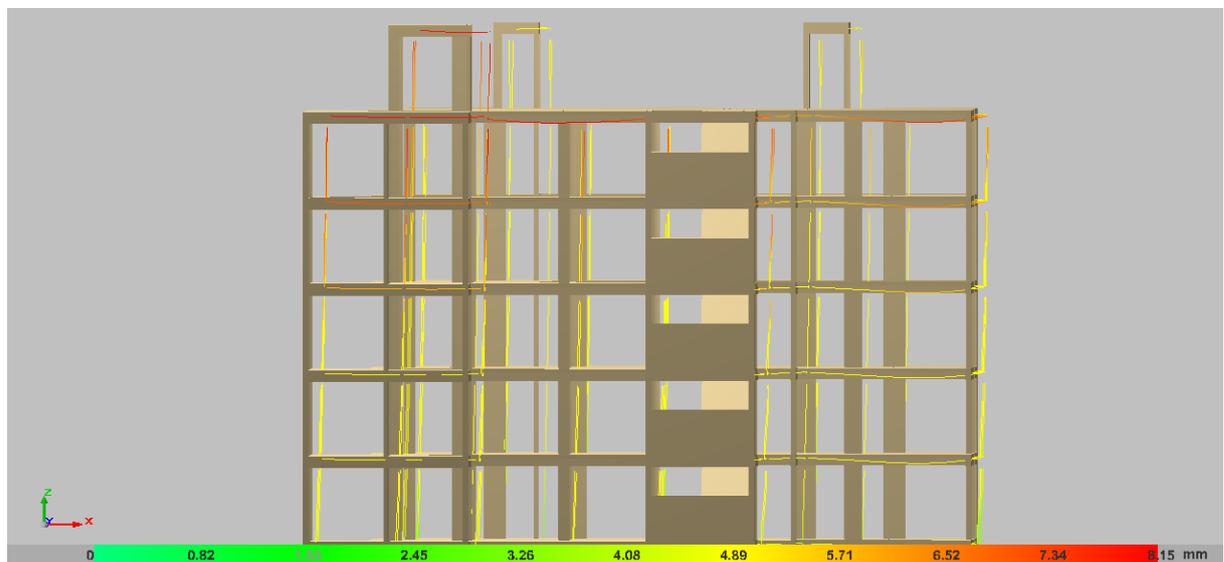
As situações descritas no gráfico anterior (FIG. 18) podem ser exemplificadas pelas imagens a seguir (FIG. 19 e FIG. 20), onde é possível comparar as deformações ocorridas em duas hipóteses de cálculo para edificações com oito pavimentos.

Figura 19 – Deformação no topo da estrutura, hipótese com 8 pavimentos e não considerada a ação do vento.



Fonte: O autor (2015).

Figura 20 – Deformação no topo da estrutura, hipótese com 8 pavimentos e considerada a ação do vento.

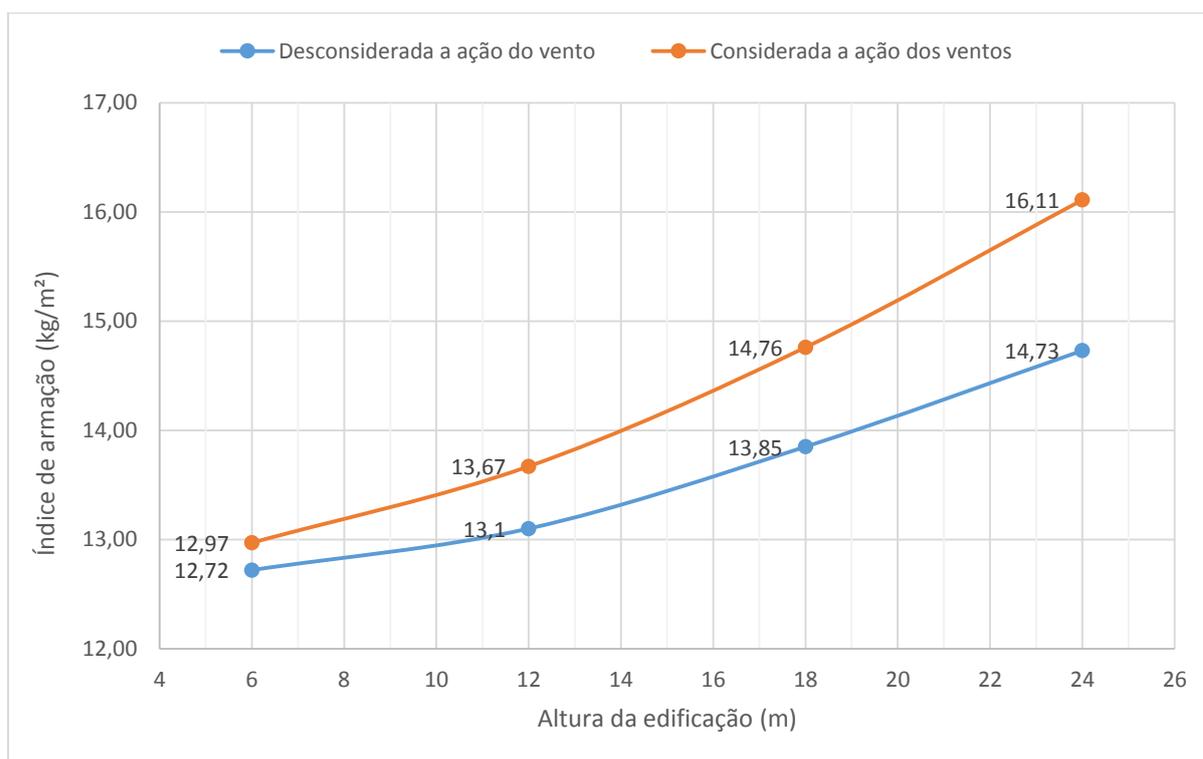


Fonte: O autor (2015).

Analisando as duas imagens pode-se verificar que a deformação horizontal é claramente maior na hipótese onde foi considerada a ação dos ventos.

A altura de um edifício por si só compromete seu índice de armação, uma vez que suas cargas se tornam maiores considerando o aumento do seu peso próprio, porém, analisando o gráfico a seguir (FIG. 21), torna-se evidente que a ação do vento altera de forma considerável a variação desse índice em função do aumento de sua altura.

Figura 21 – Aumento do índice de armação em função da altura da edificação



Fonte: O autor (2015).

Os resultados obtidos puderam mostrar que estudos relacionados à ação dos ventos em edificações de concreto armado são de grande importância para a engenharia civil. Tornou-se perceptível que a carga de vento é fonte de deformações horizontais que podem comprometer a estabilidade global da estrutura através de efeitos de segunda ordem, e para combater tal instabilidade o consumo de aço se torna maior.

A esbeltez da edificação mostrou-se como um fator relevante quanto ao comportamento estrutural frente à exposição da estrutura a cargas de vento. Trabalhos futuros podem ser de grande valia para a avaliação de diferentes métodos construtivos para o alcance da estabilidade de edificações com esbeltez expressiva submetidas à ação do vento.

5 CONCLUSÃO

É notável que a carga gerada pela incidência do vento sobre edifícios influencia diretamente sobre a quantidade de aço necessária para o alcance da estabilidade estrutural, tornando-se mais representativa essa influência à medida em que se eleva a esbeltez da edificação. Pode-se compreender tal comportamento observando o quanto a ação do vento é responsável por produzir deformações horizontais nas estruturas, gerando assim efeitos de segunda ordem sobre a mesma, os quais solicitam da estrutura uma maior rigidez.

Apresentados os aspectos gerais quanto à ação do vento em estruturas de concreto armado, bem como o seu comportamento quando sujeita a respectiva situação, ficam evidentes os severos riscos decorrentes da omissão da carga de vento no cálculo estrutural, portanto, é de suma importância que seja avaliada a intensidade e a maneira como incidem os ventos ao projetar-se uma obra.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.
- BUENO, M. M. E. **Avaliação dos parâmetros de instabilidade global em estruturas de concreto armado**. 2009. 105 p. Dissertação (Mestrado)-Universidade de Brasília-Faculdade de Tecnologia-Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2009.
- CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo: Pini, v. 2
- FERREIRA, E. T. **Estudo comparativo entre a velocidade básica do vento estabelecida na NBR. 6123 e a obtida de estações meteorológicas na paraíba – Impactos nos âmbitos do projeto estrutural, do meio ambiente e dos custos**. 2005. 131 p. Dissertação (Pós-Graduação)-Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.
- GIONGO, J. S. **Concreto armado: projeto estrutural de edifícios**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2007. 184 p.

MONCAYO, W. J. Z. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado.** 2011. 221 p. Dissertação (Mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.