

LEONARDO PRIESS PERINI

**COMPARATIVO DAS CARGAS DE VENTO OBTIDAS PELA NORMA BRASILEIRA
E NORTE AMERICANA.**

JOINVILLE – SC

2013

LEONARDO PRIESS PERINI

**COMPARATIVO DAS CARGAS DE VENTO OBTIDAS PELA NORMA BRASILEIRA
ENORTE AMERICANA.**

Trabalho de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Clóvis Dobner

JOINVILLE – SC

2013

LEONARDO PRIESS PERINI

**COMPARATIVO DAS CARGAS DE VENTO OBTIDAS PELA NORMA BRASILEIRA
ENORTE AMERICANA.**

Trabalho de Graduação aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pelo Centro de Ciências Tecnológicas – CCT da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Aprovado em XX de junho de 2013.

Banca Examinadora:

Orientador: _____

Especialista Clóvis Dobner

Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____

Doutora Marianna Coelho Lorencet

Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____

Mestre Sandra Denise Krüger Alves

Universidade do Estado de Santa Catarina

Joinville, XX/06/2013

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Antonio Jorge Perini e Edla Yara Priess, que nunca mediram esforços para sempre dar o melhor para mim e minhas irmãs.

Aos meus avós materno, Carlos Fernando Priess e Irene Rosa Priess, por terem participado ativamente da minha formação como pessoa e engenheiro.

Ao meu avô paterno, Antonio Silvio Perini (*in memoriam*), que também nunca mediu esforço para ajudar minha família, tenho certeza, estaria muito orgulho de mim nesta etapa que se fecha.

As minhas irmãs, Fernanda Priess Perini e Juliana Perini, ao meu cunhado Marcos André Wehmuth e ao meu sobrinho Lucas Perini Wehmuth.

Ao Professor Clóvis que deposita em mim muita confiança, sou muito grato as oportunidades que ele me oferece.

A Professora Marianna Coelho Lorencet que apesar de nunca, de fato, ter sido minha professora, me ajudou muito na elaboração deste trabalho e sem ela nada disso teria chegado onde chegou

A Professora Sandra Denise Krüger Alves, por ter sido a professora que me orientou desde que eu entrei na engenharia.

Aos companheiros de luta na universidade, Guilherme Belizário, Diego Jarschel, Felipe DallCortivo, Luis Fernando Rech, Túlio Almeida, Aloisio Scultetus, Alessandra Cardozo, Gabriela Guimarães, João Pedro, Luciana Costa, Larissa Silva e tantos outros que não teria como listá-los.

Ao Centro Acadêmico Livre da Civil.

Aos meus amigos de infância, Romero Albuquerque, Paulo Jannig, Gustavo Junqueira, EndrigoAntonini, William Hagemann.

Aos meus irmãos de Ordem DeMolay.

“...The answer, my friend, is blowin' in the wind

The answer is blowin' in the wind...”

(Bob Dylan).

RESUMO

Devida a grande expansão imobiliária de classe alta e o investimento federal em obras de infraestrutura, surge a construção de prédios residenciais e comerciais cada vez mais altos e galpões para indústria cada vez maiores. O presente trabalho de conclusão de curso possui como tema comparar as normas brasileira e norte americana, sendo este, o objetivo geral proposto. Para alcançar tal objetivo, foram determinados os seguintes objetivos específicos: revisão bibliográfica da norma brasileira, revisão bibliográfica a norma norte americana e, por fim, comparar os métodos e resultados obtidos por cada norma. A norma brasileira se mostrou mais conservadora para as cargas aplicadas na maior fachada do edifício residencial, já a norma norte americana se mostrou mais conservadora nas cargas para o galpão industrial. Por fim chegou-se a conclusão de que a norma brasileira deve sofrer algumas alterações.

PALAVRAS-CHAVE:Vento. Cargas de vento. ABNT 6123 (1988).ASCE 7-10 (2010).

ABSTRACT

Due to major expansion of high class estate and federal investment in infrastructure, arises the construction of residential and commercial building taller and warehouses for industry larger. The present compare the Brazilian and North American standards. To achieve this goal, it were determined the specific objectives: literature review from the Brazilian standard, literature review North American standard and, finally, compare the methods and results for each standard. The Brazilian standard was more conservative for the loads applied to the largest facade of residential building, since the North American standart was more conservative for industrial warehouses. Finally, it was concluded that the Brazilian standard must undergo some changes.

KEY WORDS:Wind. Wind loads.ABNT 6123 (1988). ASCE 7-10 (2010).

SÚMARIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	METODOLOGIA	12
3	REVISÃO	13
3.1	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NORMA BRASILEIRA 6123 DE 1988, ABNT NBR 6123 (1988)	13
3.1.1	Objetivo da norma	13
3.1.2	Determinação das forças estáticas devidas ao vento	13
3.1.3	Fator topográfico, S_1	15
3.1.4	Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno (S_2)	16
3.1.5	Fator Estatístico (S_3)	20
3.1.6	Coeficientes aerodinâmicos	21
3.1.7	Coeficientes de pressão interna (C_{pi})	24
3.1.8	Coeficientes de arrasto	25
3.2	SOCIEDADE AMERICANA DE ENGENHEIROS CIVIS - CARGAS MÍNIMAS PARA PRÉDIOS E OUTRAS ESTRUTURAS (ASCE7-10)	27
3.2.1	Objetivo da norma	27
3.2.2	Cargas de Vento em Edifícios com o Sistema Estrutural de Resistência ao Vento	27
3.2.3	Categoria de risco de edifícios ou outras estruturas	28
3.2.4	Determinação dos parâmetros das cargas de vento	29
3.2.5	Determinação do coeficiente de exposição a pressão da velocidade do vento para edifícios de todas as alturas (K_z ou K_h)	35
3.2.6	Pressão dinâmica para edifícios de todas as alturas	36
3.2.7	Cargas de vento nas estruturas para edifícios de todas as alturas	36
3.2.8	Pressão dinâmica do vento para edifícios de até 18 metros de altura	38
3.2.9	Cargas de vento para edifícios de até 18m de altura	39
4	ESTUDO DE CASO	42
4.1	ESTUDO DAS CARGAS DE VENTO OBTIDAS PELA ABNT NBR 6123 (1988)	42
4.1.1	Edifício de estudo: Galpão Industrial	42
4.1.2	Edifício de estudo: prédio residencial	52

4.2	ESTUDO DAS CARGAS DE VENTO OBTIDAS PELA ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE ENGENHEIROS CIVIS 7-10 (2010)	60
4.2.1	Edifício de estudo: Prédio residencial	60
4.2.2	Edifício de estudo: Galpão industrial	68
5	ANALISE COMPARATIVA DA NBR 6123 (1988) E DA ASCE 7-10 (2010)	74
5.1	COMPARAÇÃO DE FORMULAS E COEFICIENTES	74
5.1.1	Pressão dinâmica do vento	74
5.1.2	Fator Topográfico (S_1 e K_{zt})	74
5.1.3	Rugosidade do terreno, dimensões da edificação, altura sobre o terreno e coeficiente de exposição a pressão da velocidade do vento (S_2 e K_z)	74
5.1.4	Fator estatístico (S_3) e categoria de risco	75
5.1.5	Fator de rajada (F_r e G)	75
5.2	COMPARAÇÃO DAS CARGAS OBTIDAS PARA O EDIFÍCIO RESIDENCIAL	75
5.3	COMPARAÇÃO DAS CARGAS OBTIDAS PARA O GALPÃO INDUSTRIAL	78
5.4	MAPAS DE ISOPLETAS	79
5.5	TÚNEL DE VENTO	81
6	CONCLUSÃO	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

1 INTRODUÇÃO

Devida a grande expansão imobiliária de classe alta e o investimento federal em obras de infraestrutura, surge a construção de prédios residenciais e comerciais cada vez mais altos e galpões para indústria cada vez maiores.

Simplificadamente pode-se dizer que um prédio muito esbelto é aquele em que as cargas horizontais não podem ser desprezadas, essas cargas são as forças de vento que atuam na estrutura.

São consideradas importantes as cargas provenientes do vento que atuam, em galpões, nas paredes e no telhado. Já em edifícios muito altos são as cargas que atuam nas fachadas.

O vento não era problema quando as construções eram baixas e com paredes grossas e pesadas, mas passou a ser quando as construções passaram a ser cada dia mais esbeltas e com cada vez diferentes tipos de materiais estão sendo empregados na sua construção. Como atualmente as paredes não tem mais função estrutural (na sua maioria apenas para vedação) são muitos os casos que já ocorreram problemas de arrancamento de painéis. Por exemplo, em um arranha-céu na cidade de Nova Iorque, em março de 1966, o vento arrancou um painel entre duas janelas, bem como seus vidros, entre o 18º e o 21º andar. (BLESSMANN, 2001, p. 11)

Outro exemplo citado por Blessmann (2001) foi o acidente em fevereiro de 1976 na Companhia Docas de Santos, situada no cais do Macuco, Santos, SP. Foram destruídas por completo as coberturas dos armazéns 29, 32 e 33, o acidente deu-se em consequência de rajadas de vento que chegaram a atingir 80 km/h ou 22,2 m/s em anemômetros das estações do Ministério da Agricultura, na Ponta da Praia e da base Aérea de Santos.

Devida a essa grande expansão do setor imobiliário e a inúmeros acidentes causados pela má determinação do cálculo do vento, faz-se necessário o estudo das ações devidas as cargas de vento, para que sejam tomadas as medidas de engenharia compatíveis com o problema ensaiado, tornando assim os edifícios construídos mais seguros e com menores custos.

Também faz-se necessária a revisão da norma brasileira devido ao fato de que diversos autores (ALMEIDA (2010); LOREDO-SOUZA; CARPEGIANI; NÚÑEZ, *et al* (2006), entre outros) recomendam a atualização de alguns pontos desta norma.

Este trabalho tem como objetivo comparar a norma brasileira (ABNT NBR 6123 1988) com a norte americana (ASCE 7-10 2010) de cargas devidas ao vento e verificar quais delas é a mais conservadora. Foram determinadas pelos métodos de cada norma as forças devidas ao vento atuantes nas estruturas de um galpão e em um prédio.

Os objetivos específicos foram os seguintes: estudar as normas brasileira e americana, calcular dois exemplos para cada norma e comparar os resultados obtidos.

2 METODOLOGIA

A pesquisa constitui em uma revisão das duas normas, a brasileira e a norte americana de ações devidas ao vento nas estruturas. Todos os conceitos que foram usados para calcular as cargas nos edifícios foram obtidos dessas duas normas.

A segunda parte do estudo foi calcular as cargas de vento para dois tipos de edifícios, um prédio com dimensões em planta de 20 metros por 40 metros e altura de 150 metros localizado no centro de Joinville, norte de Santa Catarina e um galpão com o telhado em duas águas simétricas com dimensões em planta de 25m por 60m com pé direito de 10 metros e ângulo dos telhados de 20°, também localizado em Joinville, porém no distrito industrial em terreno plano. Para os dois edifícios foram calculadas as cargas de vento de acordo com as duas normas de cargas devidas ao vento nas estruturas neste trabalho estudadas.

E para finalizar foram comparadas as duas normas, os resultados das cargas obtidas em cada edifício para determinar qual das normas é a mais conservadora.

3 REVISÃO

3.1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NORMA BRASILEIRA 6123 DE 1988, ABNT NBR 6123 (1988)

3.1.1 Objetivo da norma

A ABNT NBR 6123 (1988) determina as condições que devem ser consideradas em todos os projetos quanto às forças devidas à ação estática e dinâmica do vento. Porém, esta norma não se aplica a edificações com dimensões, forma ou localização fora do normal, para esses casos específicos o texto recomenda que estudos especiais devem ser feitos.

3.1.2 Determinação das forças estáticas devidas ao vento

As forças estáticas devida ao vento são determinadas do seguinte modo segunda a ABNT NBR 6123 (1988):

- a) a velocidade básica do vento, V_0 , é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano, como regra geral é admitido que o vento básico pode soprar em qualquer direção horizontal. A figura 1 apresenta o gráfico das isopletas da velocidade básica no Brasil;
- b) 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 , para a parte da edificação em consideração;

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3$$

onde:

V_0 - Velocidade básica do vento de acordo com cada região

S_1 - fator topográfico

S_2 - rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno

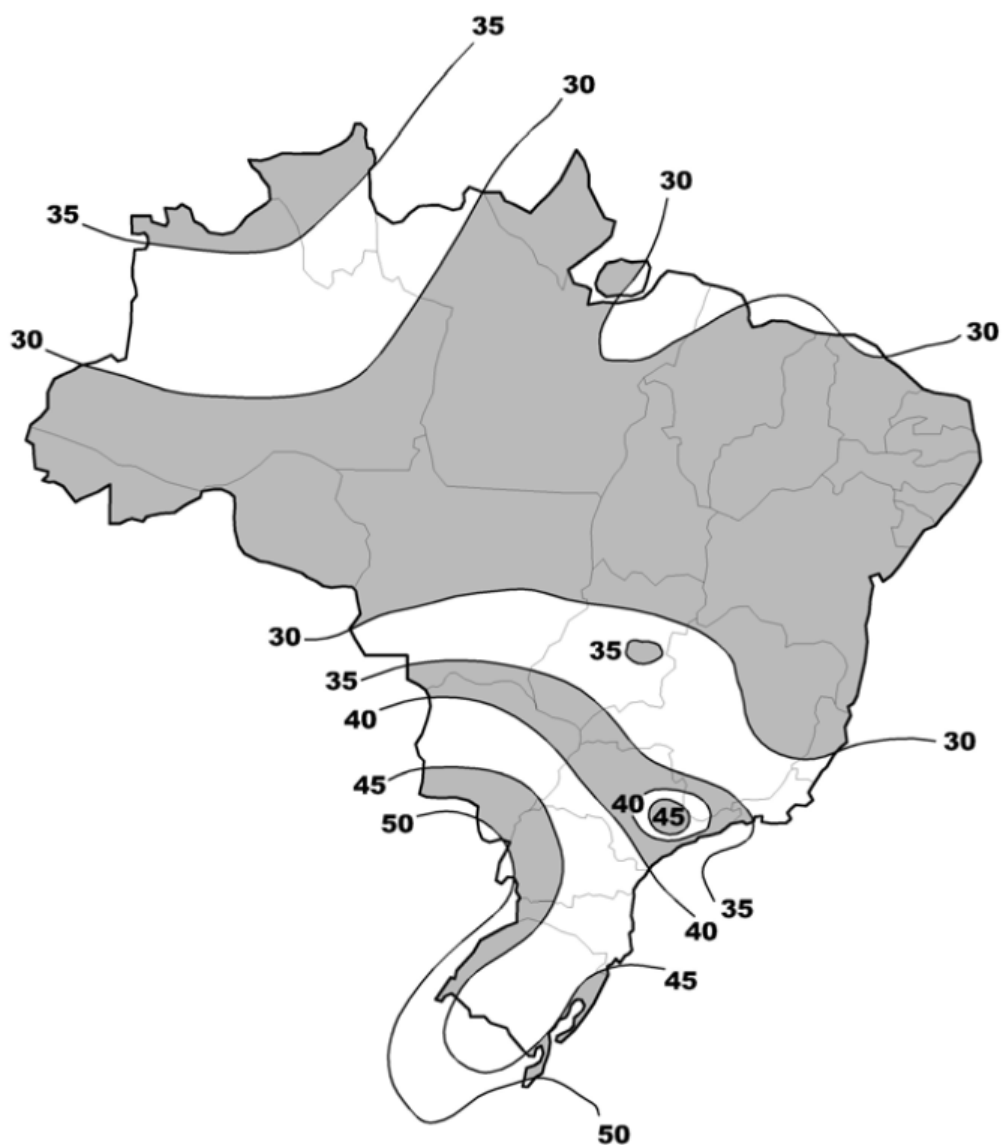
S_3 - fator estatístico

- c) a velocidade característica do vento permite determinar a pressão dinâmica pela equação:

$$q = 0,613V_k^2$$

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

Figura 1: Isopletas de velocidades básicas do vento (m/s)



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988)

3.1.3 Fator topográfico, S_1

Esse fator leva em consideração variações do relevo do terreno e é determinado do seguinte modo:

- a) terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1=1,0$;
- b) taludes e morros:
 - o taludes e morros alongados dos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado da figura 2;
 - o no ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes): $S_1=1,0$;
 - o no ponto B, S_1 é função da altura do talude ou morro:

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

$$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ: S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) * \tan(\theta - 3^\circ) \geq 1$$

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

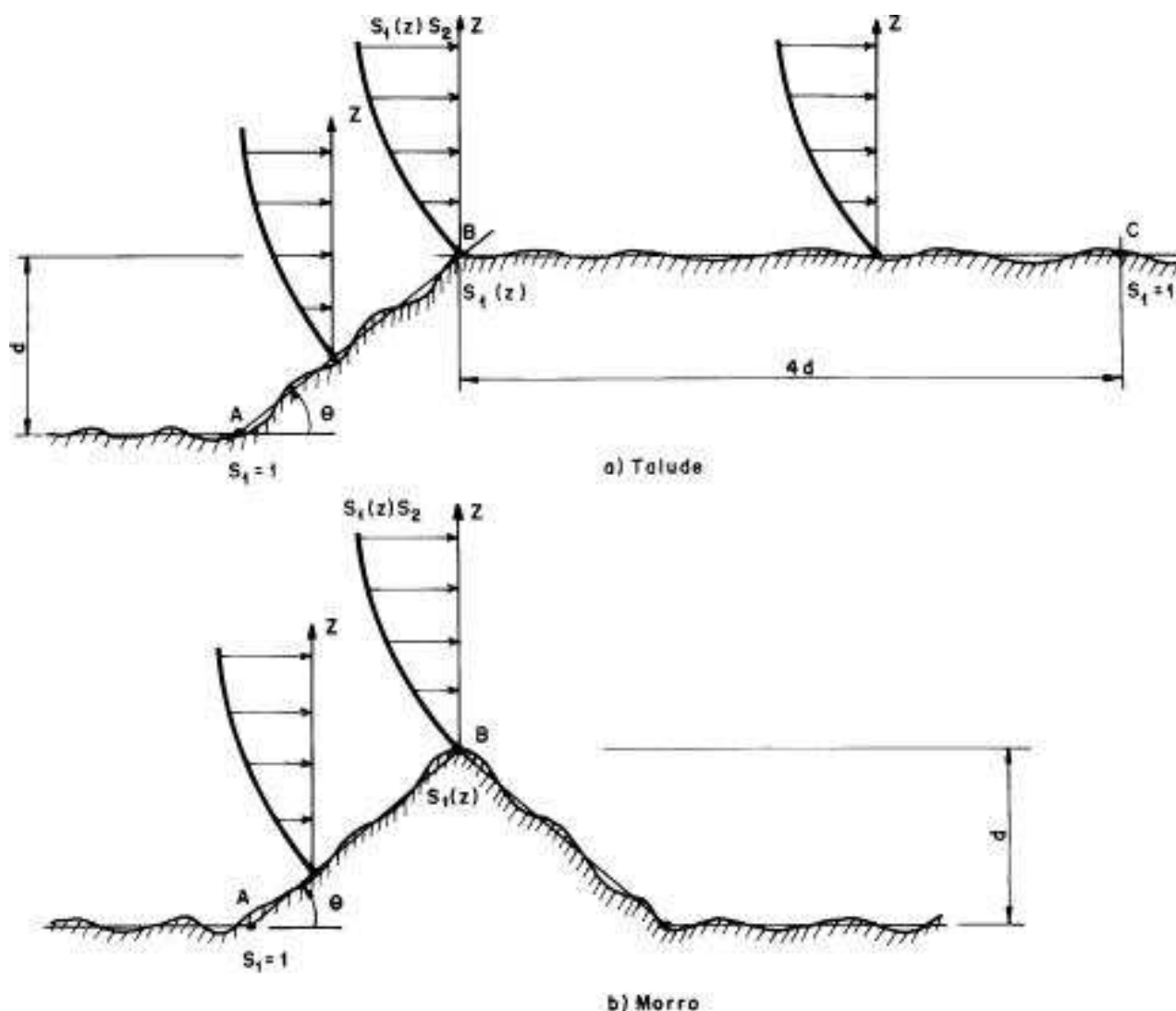
Onde:

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 de morro

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

Figura 2: Fator topográfico $S_1(z)$ 

Fonte: ABNT NBR 6123 (1988)

3.1.4 Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno (S_2)

Segundo Carpeggiani (2004) o fator S_2 leva em conta o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do solo e com as dimensões da edificação.

A ABNT NBR 6123 (1988) relata que no caso de ventos fortes em estabilidade neutra, a velocidade do vento aumenta com a altura do terreno. Este aumento depende da rugosidade do terreno e do intervalo de tempo considerado na determinação da velocidade.

3.1.4.1 Rugosidade do terreno

Segundo a ABNT NBR 6123 (1988) este fator considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração.

Para fins de norma, a rugosidade do terreno é classificada em cinco categorias.

Categoria I: superfícies lisas de grande dimensões, com mais de 5km 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;

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

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

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

3.1.4.2 Dimensão da edificação

Segundo a ABNT NBR 6123 (1988) para a definição das partes da edificação a serem consideradas na determinação das ações do vento, é necessário considerar as características construtivas ou estruturais que originem pouca ou nenhuma continuidade estrutural ao longo da edificação.

São definidas pela norma as seguintes classificações, para a parte de edificações e seus elementos.

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

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

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

3.1.4.3 Altura sobre o terreno

O fator S_2 usado no cálculo da velocidade básica do vento em uma altura z acima do nível geral do terreno é obtido pela expressão:

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

Sendo que o fator de rajada (F_r) é sempre correspondente a Categoria II. A expressão acima é aplicável até a altura z_g , que define o contorno superior da camada atmosférica.

b é o parâmetro meteorológico usado na determinação de S_2 , apresentado na tabela 1

p é o Expoente da lei potencial de variação de S_2 , também apresentado na tabela 1

Os parâmetros que permitem determinar S_2 para as cinco categorias dessa norma são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros meteorológicos para determinação do fator S_2

Categoria	z_g (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,7
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		F_r	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,1
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: ABNT NBR 6123 (1988)

Os valores de S_2 para as diversas categorias de rugosidade do terreno e classes de dimensões das edificações definidas na NBR 6123 (1988) são dados na Tabela 2. Para o estudo de elementos de vedação é recomendado o uso do fator S_2 correspondente ao topo da edificação, esta recomendação é baseada no fato de que na fachada de barlavento e nas fachadas laterais o vento é defletido para baixo, com conseqüente aumento da pressão dinâmica na parte inferior da edificação.

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	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	1,07	1,04	1,02	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	1,25	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,15	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	1,21	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	1,30	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	1,31	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	1,31	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,33	1,32	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,31
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: ABNT NBR 6123 (1988)

3.1.5 Fator Estatístico (S_3)

Este fator é baseado em conceitos estatísticos e considera o grau de segurança requerido e vida útil da edificação. Os valores para S_3 são dados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descriminação	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 comercio e industria com alto fator de ocupação.	1,0
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais	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

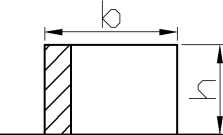
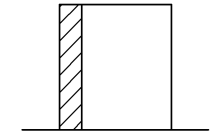
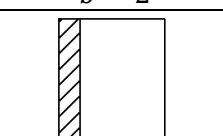
Fonte: ABNT NBR 6123 (1988)

3.1.6 Coeficientes aerodinâmicos

Os valores dos coeficientes de pressão e de forma, externos, para edificações de planta retangular e para direções críticas do vento são dados nas tabelas 4 e 5, a figura 3 demonstra como as forças atuam na estrutura e na figura 4 demonstra os pontos críticos para dimensionamento de terças e telhas.

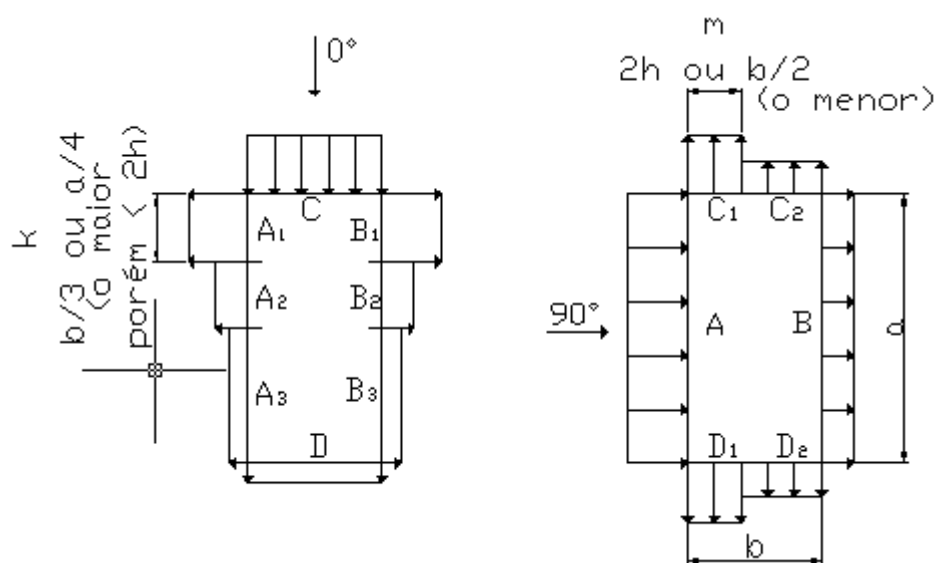
3.1.6.1 Coeficientes de pressão e forma, externos (C_e), para paredes de edificações de planta retangular

Tabela 4: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular

Altura relativa		Valores de C _e para								C _{pe} médio 
		α = 0°				α = 90°				
		A ₁ e B ₁	A ₂ e B ₂	C	D	A	B	C ₁ e D ₁	C ₂ e D ₂	
 $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
 $\frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	-0,7	-0,9	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
 $\frac{3}{2} \leq \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2

Fonte: ABNT NBR 6123 (1988)

Figura 3: Forças atuando na estrutura



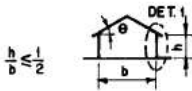
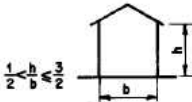
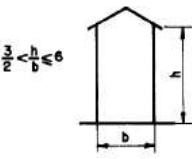
Fonte: ABNT NBR 6123 (1988)

Observações

- a) para a/b entre $3/2$ e 2 , interpolar linearmente
- b) para vento a 0° , nas partes A_3 e B_3 , o coeficiente de forma C_e tem os seguintes valores:
 - para $a/b = 1$: mesmo valor das partes A_2 e B_2 ;
 - Para $a/b \geq 2$: $C_e = -0,2$;
 - Para $1 < a/b < 2$: interpolar linearmente
- c) para cada uma das duas incidências do vento (0° ou 90°), o coeficiente de pressão médio externo, C_{pe} médio, é aplicado à parte de barlavento das paredes paralelas ao vento, em uma distancia igual a $0,2b$ ou h , considerando-se o menor destes valores.
- d) a é o maior lado da edificação
- e) b é o menor lado da edificação
- f) h é a altura total da edificação

3.1.6.2 Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular

Tabela 5: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, e em edificações de planta retangular

Altura relativa	θ	Valores de C_e para				C_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ (A)$		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1
	0°	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-1,0	-0,6	-0,8	-0,6	-1,8	-1,5	-1,5	-1,2
	20°	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
	30°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0			-1,0
	45°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,8				
	60°	+0,6	-0,5	-0,8	-0,8				
	0°	-0,8	-0,6	-0,9	-0,7	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,8	-1,8	-1,5	-1,2
	20°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	30°	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5			
	40°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-1,0			
	50°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,7				
	60°	+0,5	-0,5	-0,8	-0,7				

Fonte : NBR 6123 (1988)

os limites indicados, pode ser admitido que a pressão externa não é modificada pela permeabilidade.

A ABNT NBR 6123 (1988) considera impermeáveis os seguintes elementos construtivos e vedações: lajes e cortinas de concreto armado ou protendido; paredes de alvenaria, de pedra, de tijolos, de blocos de concreto e afins, sem portas, janelas, ou quaisquer outras aberturas. A permeabilidade deve-se à presença de aberturas, tais como juntas entre painéis de vedação entre telhas, frestas em portas e janelas, ventilações em telhas e telhados, vãos abertos de portas e janelas, chaminés, lanternins, etc.

A ABNT NBR 6123 (1988) divide as edificações basicamente em 3 tipos e os coeficientes de pressão interna de cada tipo são:

- Duas faces opostas igualmente permeáveis e outras faces impermeáveis (Vento perpendicular a uma face permeável $c_{pi} = +0,2$ e vento perpendicular a face impermeável $c_{pi} = -0,3$)
- As quatro faces igualmente permeáveis ($c_{pi} = -0,3$ ou 0, considerar o mais desfavorável)
- Edificações totalmente impermeáveis, $c_{pi} = -0,2$ ou 0, considerar o mais nocivo

3.1.8 Coeficientes de arrasto

Os coeficientes de arrasto indicados neste item são aplicáveis a corpos de seção constante ou fracamente variável.

Para vento incidindo perpendicularmente a cada uma das fachadas de uma edificação retangular em planta e assente no terreno, deve ser usado o gráfico da Figura 5. Os coeficientes de arrasto são dados nesta figura, em função das relações h/l_1 e l_1/l_2 . l_1 sempre será a dimensão perpendicular a incidência de vento e l_2 a dimensão paralela de incidência de vento.

A força de arrasto é calculada pela expressão

$$F_a = C_a * q * A_e$$

Onde:

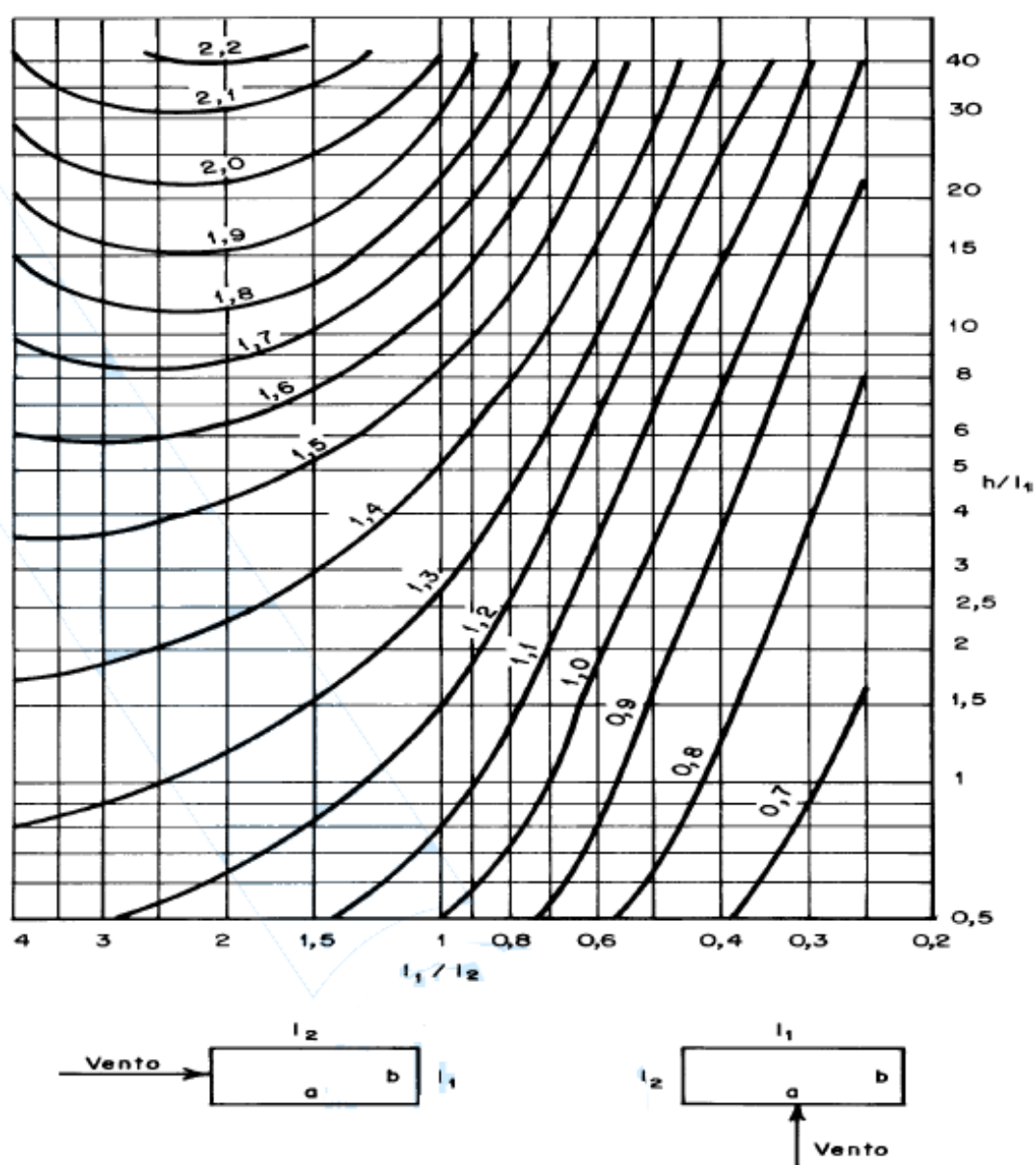
F_a = força de arrasto

C_a = coeficiente de arrasto

q = pressão dinâmica do vento

A_e = área frontal efetiva

Figura 5: Coeficiente de arrasto, C_a , para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988)

3.2 SOCIEDADE AMERICANA DE ENGENHEIROS CIVIS - CARGAS MÍNIMAS PARA PRÉDIOS E OUTRAS ESTRUTURAS (ASCE7-10)

3.2.1 Objetivo da norma

Prédios e outras estruturas, incluindo o *mainwind force resisting system* ou Sistema Estrutural de Resistência ao Vento (MWFRS) e todos os componentes e revestimentos (C&C), devem ser projetados e construídos para resistir as cargas determinadas de acordo com esta norma. As disposições definem parâmetros básicos do vento para o uso com as disposições contidas em norma.

Neste trabalho utilizou-se apenas o Sistema Estrutural de Resistência ao Vento.

3.2.2 Cargas de Vento em Edifícios com o Sistema Estrutural de Resistência ao Vento

Segundo a ASCE 7-10 (2010) as cargas de vento para o MWFRS devem ser determinadas usando um dos seguintes procedimentos:

- Procedimento direcional para edifícios de todas as alturas como será especificado no item 3.2.5 para os edifícios que cumpram com os requisitos do item.
- Procedimento envelope para prédios baixos como será especificado no item 3.2.8 para os edifícios que cumpram com os requisitos listados no item.
- Procedimento direcional para aparatos de edifícios (estruturas de telhados e equipamentos de cobertura) e outras estruturas (tais como, paredes independentes, placas independentes, chaminés, caixas d'água, quadros treliçados e torres treliçadas) conforme especificado no capítulo 29 da norma.
- Procedimento de ensaio em túnel de vento para edifícios de todas as alturas e outras estruturas, como especificado no capítulo 31 da norma.

Foram analisados somente os dois primeiros itens desses procedimentos.

3.2.3 Categoria de risco de edifícios ou outras estruturas

Edifícios e outras estruturas devem ser classificadas segundo a ASCE (7-10) baseadas no risco a vida humana, saúde e ao bem estar associado ao seu dano ou falha por natureza de sua ocupação. Para isso a norma apresenta a Tabela 6 com as categorias de risco

Tabela 6: Categorias de risco para edifícios e outras estruturas para enchentes, vento, neve, terremotos e cargas de gelo.

Uso ou ocupação de edifícios e estruturas	Categoria de risco
Edifícios e outras estruturas que representam baixo risco a vida humana em eventual falha	I
Todas as edificações ou estruturas com exceção das listadas nas categorias de risco I, III e IV	II
Edifícios e outras estruturas cuja a eventual falha possa causar substancial risco a vida humana Edifícios e outras estruturas não incluídas na categoria IV, com potencial para causar um substancial impacto econômico e / ou interrupção em massa do dia-a-dia da vida civil em caso de falha. Edifícios e outras estruturas não incluídas na categoria de risco IV (incluindo, mas não limitado as, instalações de fabricação, processamento, armazenagem, manuseio, uso ou descarte de substâncias, tais como, combustíveis perigosos, produtos químicos, resíduos perigosos, ou explosivos) contendo substâncias tóxicas ou explosivas, onde sua quantidade possa exceder o limite estabelecido pela autoridade competente e for suficiente para representar uma ameaça para o público, se liberado.	III
Edifícios e outras estruturas destinadas para instalações essenciais Edifícios e outras estruturas que em caso de falha possa causar substancial dano a comunidade Edifícios e outras estruturas (incluindo, mas não limitado as, instalações de fabricação, processamento, armazenagem, manuseio, uso ou descarte de substâncias, tais como, combustíveis perigosos, produtos químicos, resíduos perigosos, ou explosivos) contendo substâncias tóxicas ou explosivas, onde sua quantidade possa exceder o limite estabelecido pela autoridade competente e for suficiente para representar uma ameaça para o público, se liberado. Edifícios e outras estruturas para manter a funcionalidade das outras estruturas de risco IV	IV

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

3.2.4 Determinação dos parâmetros das cargas de vento

3.2.4.1 Fator de direção do vento. (K_d)

Esse fator deve ser determinado através da Tabela 7.

Tabela 7: Fator de direção do vento (Fator K_d)

Tipo de estruturas	Fator de direção
Edifícios	
sistema estrutural de resistência ao vento	0,85
componentes e revestimentos	0,85
Telhados em arco	0,85
chaminés, caixas d'água e estruturas similares	
quadradas	0,90
hexagonais	0,95
circulares	0,95
paredes independentes e placas independentes	0,85
Quadros em malhas	0,85
Torres treliçadas	
triangular, quadradas ou retangulares	0,85
todas as outras	0,95

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

3.2.4.2 Exposição

Para cada direção do vento a ser considerada, a posição do barlavento deve ser baseada na rugosidade do terreno, que é determinada a partir da topografia natural, vegetação e edifícios construídos.

3.2.4.2.1 Categorias de rugosidade do terreno

Rugosidade B: áreas urbanas e suburbanas, áreas arborizadas, ou outro terreno com vários obstáculos espaçados tendo um tamanho uniforme de habitações ou maiores.

Rugosidade C: áreas abertas com obstáculos esparsos com altura máxima de 9,1 metros. Esta categoria inclui campos abertos e pastagens.

Rugosidade D: áreas planas e sem obstáculos. Essa categoria inclui suaves planos de lama, salinas e áreas de gelo ininterruptas.

3.2.4.2.2 Categorias de exposição

Exposição B: para edifícios com uma altura média do telhado menor ou igual a 9,1 metros, a Exposição B deve ser aplicada como definido pela rugosidade B, quando a direção de barlavento for maior do que 457 metros. Para edifícios maiores do que 9,1 metros, a Exposição B deve ser aplicada quando definida rugosidade B como a direção de barlavento for maior do que 792 metros ou vinte vezes maior que a altura do edifício.

Exposição C: deve-se aplicar a todos os casos não aplicáveis nas exposições B e D.

Exposição D: deve ser aplicado onde a rugosidade do solo for definida pela Rugosidade D, prevalecendo à direção de barlavento maior do que 1524 metros ou 20 vezes maior que a altura do edifício, o que for maior.

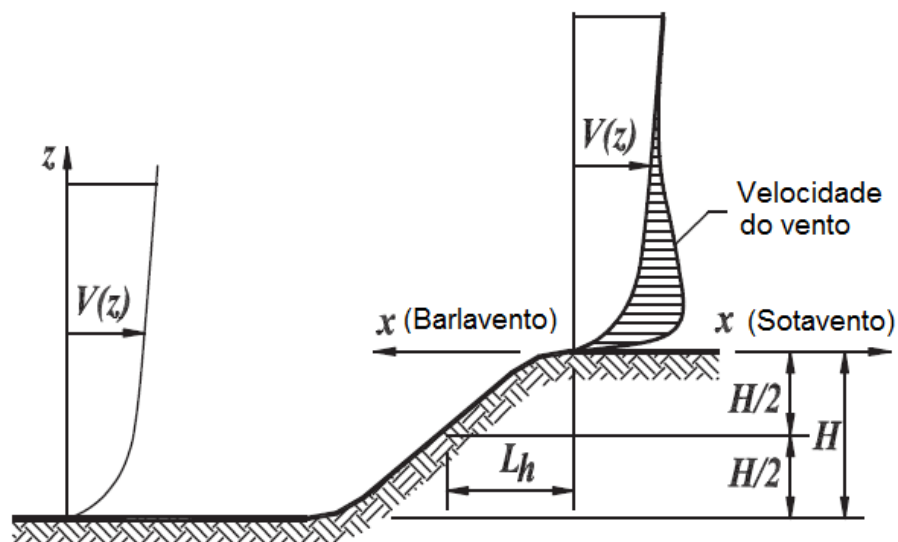
A Exposição D também é aplicável quando a rugosidade do solo de barlavento for B ou C e o terreno está a uma distancia de 184 metros ou 20 vezes a altura do edifício, o que for maior, a partir das condições ditas no parágrafo anterior.

3.2.4.3 Fator topográfico. (K_{zt})

A velocidade do vento é afetada por morros isolados, cordilheiras e taludes dentro de quaisquer das categorias de exposição, deve ser incluído no projeto quando as construções e outras condições locais das estruturas seguirem as seguintes condições:

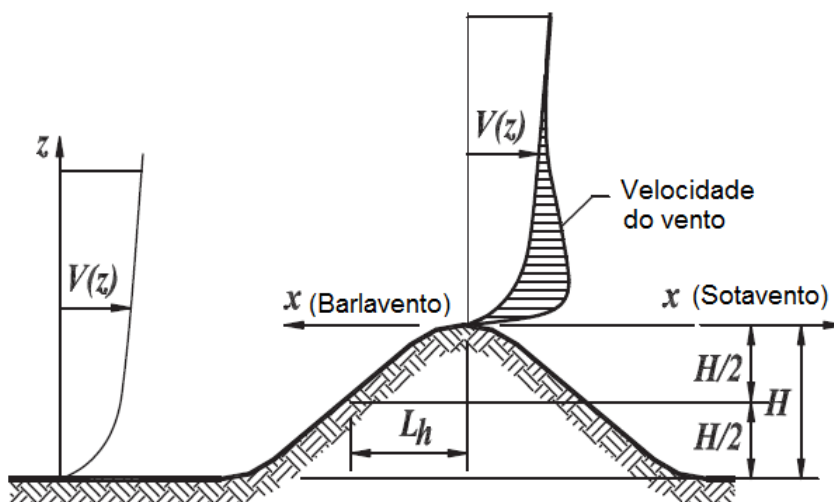
1. Morro, cume ou talude é isolado e sem obstruções a barlavento por outras características topográficas semelhantes de altura comparável a 100 vezes a altura característica topográfica ($100H$) ou 3220 metros, o que for menor. Essa distancia deve ser mensurada horizontalmente a partir do ponto em que a altura H do morro, cume ou talude é determinada.
2. O Morro, cume ou talude se projeta acima da altura de barlavento das características do terreno dentro de 3220 metros de raio em qualquer quadrante por um fator de dois ou mais.
3. A estrutura é localizada como mostrada na Figura 6 e 7 na metade superior de um morro ou cume ou próximo ao topo de um talude, os fatores topográficos são mostrados na tabela 8.

Figura 6 - Fator topográfico para taludes



Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Figura 7: Cume em 2-D ou Morro axissimétrico



Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Tabela 8: Fatores topográficos para a exposição C

H/L _h	Fator K ₁			x/L _h	Fator K ₂		z/L _h	Fator K ₃		
	2-D Cume	2-D Talude	Morro Axissi.		2-D Cume	Todos os outros		2-D Cume	2-D Talude	Morro Axissi.
0,20	0,29	0,17	0,21	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
0,25	0,36	0,21	0,26	0,50	0,88	0,67	0,10	0,74	0,78	0,67
0,30	0,43	0,26	0,32	1,00	0,75	0,33	0,20	0,55	0,61	0,45
0,35	0,51	0,30	0,37	1,50	0,63	0,00	0,30	0,41	0,47	0,30
0,40	0,58	0,34	0,42	2,00	0,50	0,00	0,40	0,30	0,37	0,20
0,45	0,65	0,38	0,47	2,50	0,38	0,00	0,50	0,22	0,29	0,14
0,50	0,72	0,43	0,53	3,00	0,25	0,00	0,60	0,17	0,22	0,09
				3,50	0,13	0,00	0,70	0,12	0,17	0,06
				4,00	0,00	0,00	0,80	0,09	0,14	0,04
							0,90	0,07	0,11	0,03
							1,00	0,05	0,08	0,02
							1,50	0,01	0,02	0,00
							2,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Notas:

1. Para valores de H/L_h , x/L_h e z/L_h além dos indicados é permitida o uso de interpolação linear.
2. Para H/L_h > 0,5 assumir esse valor igual a 0,5 para avaliar K₁ e substitua 2H por L_h para avaliação de K₂ e K₃.
3. Esses fatores são baseados no pressuposto de que o vento se aproxima do morro ou talude ao longo da direção de inclinação máxima.
4. Notações:

H: Altura do morro ou talude relativo ao terreno em barlavento em metros

L_h: Distancia da crista a barlavento para onde a diferença de elevação do terreno é a metade da altura do morro ou talude, em metros.

K₁: Fator de forma característica da topografia e efeito maximo do vento.

K₂: Fator redutor da velocidade máxima na distancia a barlavento e sotavento da crista do morro ou talude.

K₃: Fator redutor da velocidade máxima da altura acima do terreno

x: Distancia (a barlavento e a sotavento) a partir da crista para o local da edificação, em metros

z: Altura acima da superfície do solo no local da edificação, em metros

μ: Fator de atenuação horizontal

γ: Fator de atenuação vertical

O fator K_{zt} é determinado pela seguinte equação:

$$K_{zt} = (1 + K_1 + K_2 + K_3)^2$$

Para as demais classes de exposição deve-se consultar a tabela 9 e determinar os fatores K_1 , K_2 e K_3 com as seguintes equações;

K_1 é determinado pela tabela 9

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu L_h}\right)$$

$$K_3 = e^{-\gamma z/L_h}$$

Tabela 9: Parâmetros para velocidade de vento acima de morros e taludes

Forma do relevo	K ₁ /(H/L _h)			γ	μ	
	Exposição				Barlavento	Sotavento
	B	C	D			
Cumes em duas direções (ou vales com H negativo em K ₁ /(H/L _h))	1,30	1,45	1,55	3	1,5	1,5
Taludes em duas direções	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
Morros simétricos em três dimensões	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Se as condições da localização da estrutura não estiverem relacionadas nesses itens considerar $K_{zt} = 1,0$.

3.2.4.4 Fator de rajada. (G)

Segundo ASCE 7-10 (2010) o fator de rajada para qualquer estrutura pode ser considerado como sendo 0,85.

3.2.4.5 Classificação quanto a permeabilidade

Para a determinação dos coeficientes de pressão interna, todos os edifícios devem ser classificados como, impermeáveis, parcialmente permeáveis ou como permeáveis.

3.2.4.6 Coeficientes de pressão interna

O coeficiente de pressão interna, (GC_{pi}), deve ser determinado através da tabela 10, baseado na classificação quanto a permeabilidade da estrutura determinada no item 3.2.4.5.

Tabela 10: Coeficientes de pressão interna

Classificação quanto à permeabilidade	GC_{pi}
Permeáveis	0,00
Parcialmente permeáveis	+0,55 -0,55
Impermeáveis	+0,18 -0,18

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Notas:

1. Sinais de mais e menos significam pressões atuando como pressão na estrutura e como sucção, respectivamente.
2. Valores para GC_{pi} devem ser usados com q_z ou q_h como especificado
3. Dois casos devem ser considerados para determinar os requisitos críticos de carga:
 - (i) valores positivos de (GC_{pi}) aplicadas em todas as superfícies internas
 - (ii) valores negativos de (GC_{pi}) aplicadas em todas as superfícies internas

q_z é a pressão dinâmica calculada para uma altura z

q_h é a pressão dinâmica para um telhado de altura h

3.2.5 Determinação do coeficiente de exposição a pressão da velocidade do vento para edifícios de todas as alturas (K_z ou K_h)

Baseado nas categorias de exposição determinadas no item 3.2.4.2.2, o coeficiente de exposição a pressão do vento, K_z ou K_h , conforme o caso, deve ser determinado a partir da tabela 11. Para um terreno situado em uma zona de transição entre categorias de exposição ou que está perto de uma alteração de rugosidade do solo, são permitidos valores intermediários de K_z e K_h apresentados na tabela 11 desde que por um método de análise matemática reconhecidos pela literatura (interpolação linear).

Tabela 11: Coeficientes de exposição à pressão da velocidade do vento

Altura sobre o terreno	Classe de exposição		
	B	C	D
0 - 4,60	0,57	0,85	1,03
6,10	0,62	0,90	1,08
7,60	0,66	0,94	1,12
9,10	0,70	0,98	1,16
12,20	0,76	1,04	1,22
15,20	0,81	1,09	1,27
18,00	0,85	1,13	1,31
21,30	0,89	1,17	1,34
24,40	0,93	1,21	1,38
27,40	0,96	1,24	1,40
30,50	0,99	1,26	1,43
36,60	1,04	1,31	1,48
42,70	1,09	1,36	1,52
48,80	1,13	1,39	1,55
54,90	1,17	1,43	1,58
61,00	1,20	1,46	1,61
76,20	1,28	1,53	1,68
91,40	1,35	1,59	1,73
106,70	1,41	1,64	1,78
121,90	1,47	1,69	1,82
137,20	1,52	1,73	1,86
152,40	1,56	1,77	1,89

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

3.2.6 Pressão dinâmica para edifícios de todas as alturas.

Segunda a ASCE 7-10 (2010) a pressão dinâmica q_z , determinada a partir de uma altura z , deve ser calculada a partir da seguinte equação.

$$q_{z \text{ ou } h} = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Onde:

K_d é o fator de direção do vento, determinado na seção 3.2.4.1

K_z é o coeficiente de pressão da velocidade do vento, determinado na seção 3.2.5

K_{zt} é o fator topográfico, determinado na seção 3.2.4.3

V é a velocidade básica do vento determinada pelo mapa de isopletas em m/s

3.2.7 Cargas de vento nas estruturas para edifícios de todas as alturas

Para determinar a carga de vento nos edifícios, a ASCE 7-10 (2010) separa as edificações em quatro categorias que são citadas a seguir.

3.2.7.1 Edifícios impermeáveis ou parcialmente permeáveis

Para as cargas de vento (p) para o sistema estrutural de resistência ao vento (MWFRS) para edifícios de todas as alturas, são determinadas pela seguinte equação:

$$p = q_{z \text{ ou } h} G C_p - q_i (G C_{pi}) \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Onde:

$q = q_z$ para paredes a barlavento a uma altura z do solo

$q = q_h$ para paredes a sotavento, paredes laterais e telhados a uma altura h do solo

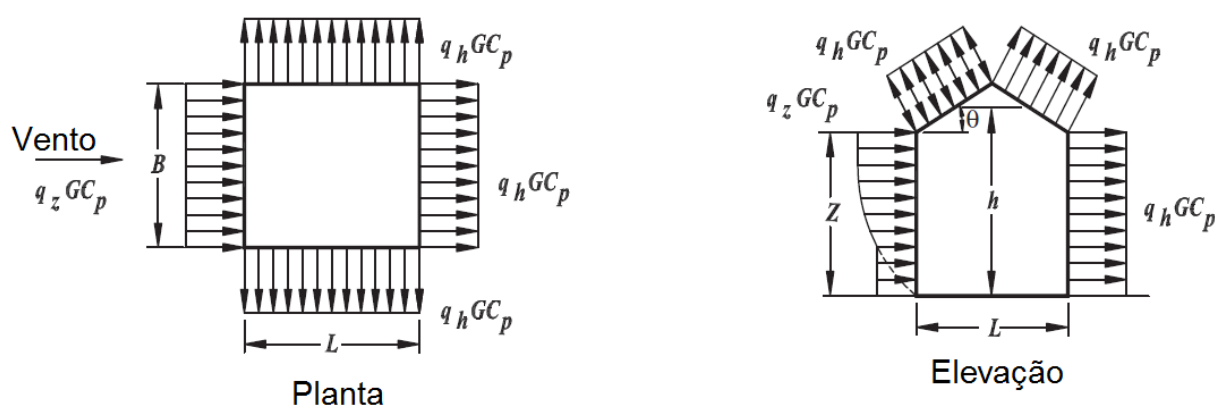
$q_i = q_h$ para paredes de barlavento, paredes laterais, paredes de sotavento, e telhados de edifícios fechados e para a avaliação da pressão interna negativa em edifícios parcialmente fechados

G = fator de rajada

C_p = coeficiente de pressão externa determinada pela figura 8 e tabela 12 e 13

(GC_{pi}) = coeficiente de pressão interna determinada pela tabela 10

Figura 8: Coeficientes de pressão externas para edifícios impermeáveis ou parcialmente permeáveis



Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Tabela 12: Coeficientes de pressão externa para paredes C_p

Superfície	L/B	C_p	Usar com
Barlavento	Todos os valores	0,8	q_z
Sotavento	0 - 1	-0,5	q_h
	2	-0,3	
	≥ 4	-0,2	
Laterais	Todos os valores	-0,7	q_h

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Tabela 13: Coeficientes de pressão externa, C_p , para paredes para ser usado com q_h

Direção do Vento	Barlavento									Sotavento		
	Ângulo, Θ (graus)									Ângulo, Θ (graus)		
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	≥ 60	10	15	≥ 20
Para telhados com $\Theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	0,2	0,2	0			-0,3	-0,5	0,6
		-0,18	0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	$0,01\Theta$			
	0,5	-0,9	0,7	-0,4	0,3	0,2	0,2	0		-0,5	-0,5	-0,6
		-0,18	-0,18	0	0,2	0,2	0,3	0,4	$0,01\Theta$			
	$\geq 1,0$	-1,3	-1	-0,7	0,5	0,3	0,2	0		-0,7	-0,6	-0,6
		-0,18	-0,18	-0,18	0	0,2	0,2	0,3	$0,01\Theta$			

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

3.2.7.2 Carga mínima para edifícios de todas as alturas

A carga mínima a ser usada no dimensionamento para o Sistema Estrutural de Resistência ao vento para uma edificação impermeável ou parcialmente permeável não deve ser menor do que $0,77 \text{ kN/m}^2$ multiplicado pela área de parede do edifício e $0,38 \text{ kN/m}^2$ multiplicada pela área do telhado. A carga de vento para edifícios permeáveis não deve ser menor do que $0,77 \text{ kN/m}^2$ multiplicado pela área do telhado.

3.2.8 Pressão dinâmica do vento para edifícios de até 18 metros de altura

A pressão dinâmica do vento (q_z) é determinada a partir de uma altura z e deve ser calculada a partir da seguinte equação.

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Onde:

K_d é o fator de direção do vento, apresentado na seção 3.2.4.1

K_z é o coeficiente de pressão da velocidade do vento, apresentado na seção 3.2.5

K_{zt} é o fator topográfico, apresentado na seção 3.2.4.3

V é a velocidade básica do vento determinada pelo mapa de isopletras

q_z é a pressão dinâmica calculada para uma altura z determinada a partir da Tabela 15

q_h é a pressão dinâmica para um telhado de altura h

Tabela 15: Coeficientes K_h e K_z para cálculo da pressão dinâmica para edifícios de até 18m

Altura do solo, z, em metros	Tipo de exposição		
	B	C	D
0 - 4,6	0,70	0,85	1,03
6,1	0,70	0,90	1,08
7,6	0,70	0,94	1,12
9,1	0,70	0,98	1,16
12,2	0,76	1,04	1,22
15,2	0,81	1,09	1,27
18	0,85	1,13	1,31

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Nota: Para valores intermediários aos listados na tabela 15, deve-se usar interpolação linear.

3.2.9 Cargas de vento para edifícios de até 18m de altura

A carga de vento para esse tipo de edificação deve ser determinada a partir da seguinte equação.

$$p = q_h [(GC_{pf}) - (GC_{pi})] \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Onde:

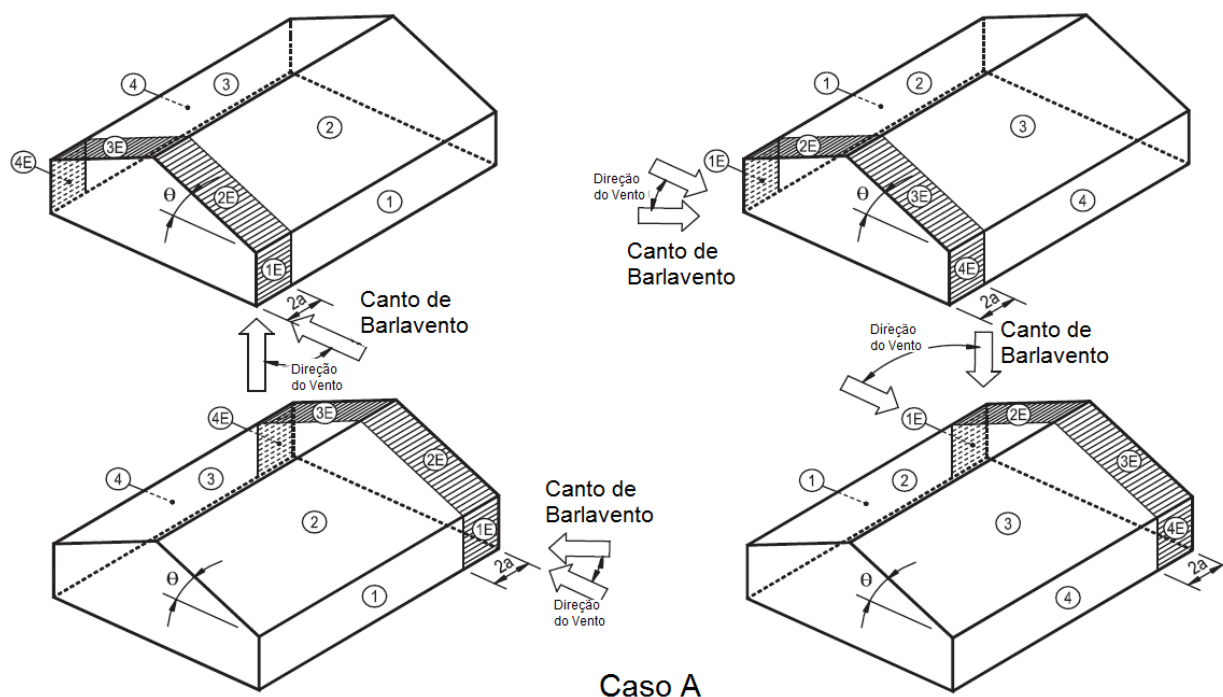
q_h é a pressão dinâmica apresentado no item 3.2.8

(GC_{pf}) é o coeficiente de pressão externa determinado a partir da tabela 16 e 17

(GC_{pi}) é o coeficiente de pressão interna determinado a partir da tabela 10

A localização das cargas de vento nessas estruturas são apresentadas nas figuras 10 e 11, sendo que, a mais desfavorável deve ser a carga para o dimensionamento.

Figura 10: Caso A de cargas aplicadas a edifícios de até 18m de altura



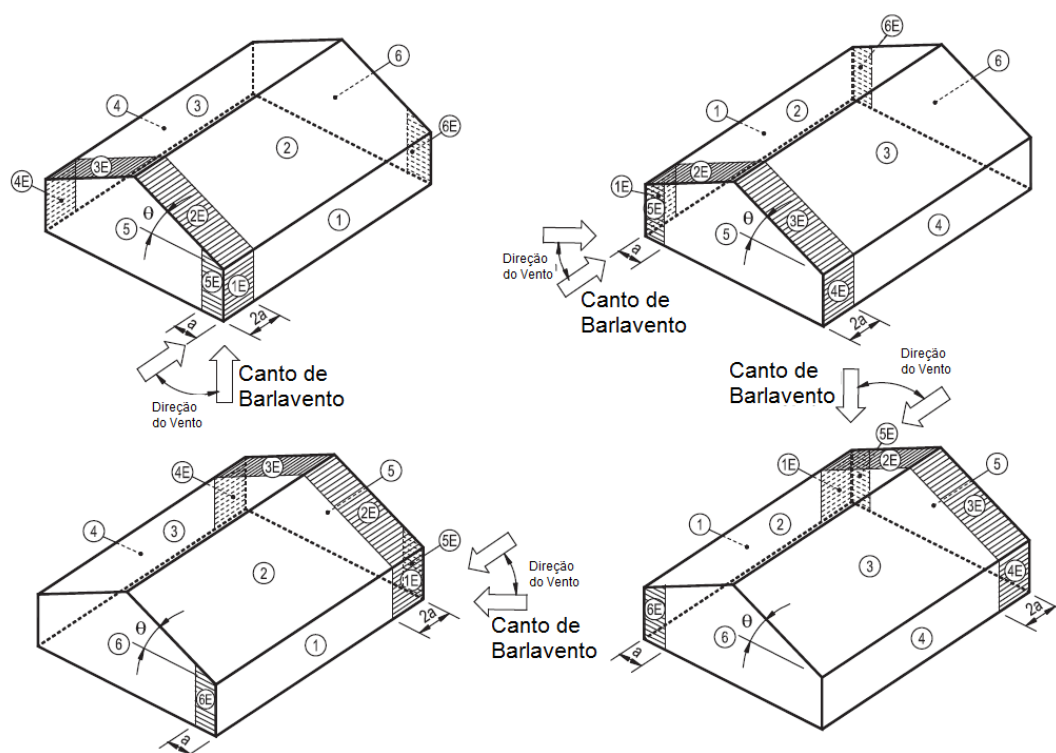
Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Tabela 16: Coeficiente de pressão externa para o Caso A de edifícios de até 18m de altura

Ângulo do telhado em graus	Superfície do edifício							
	1	2	3	4	1E	2E	3E	4E
0 - 5	0,40	-0,69	-0,37	-0,29	0,61	-1,07	-0,53	-0,43
20	0,53	-0,69	-0,48	-0,43	0,80	-1,07	-0,69	-0,64
30 - 45	0,56	0,21	-0,43	-0,37	0,69	0,27	-0,53	-0,48
90	0,56	0,56	-0,37	-0,37	0,69	0,69	-0,48	-0,48

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Figura 11: Caso B de cargas aplicadas a edifícios de até 18m de altura



Caso B

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Tabela 17: Coeficiente de pressão externa para o Caso B de edifícios de até 18m de altura

ângulo do telhado em graus	Superfície do edifício											
	1	2	3	4	5	6	1E	2E	3E	4E	5E	6E
0 - 90	-0,45	-0,69	-0,37	-0,45	0,40	-0,29	-0,48	-1,07	-0,53	-0,48	0,61	-0,43

Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

Onde:

a é, pelo menos, 10% da distância horizontal ou 0,4h o que for menor, porém não menor do que 4% da distancia horizontal ou 0,9 metros

h é a maior altura do telhado em metros

θ é o ângulo do telhado com a horizontal em graus

4 ESTUDO DE CASO

Nesta etapa foram calculadas as cargas de vento obtidas pela norma brasileira de forças devidas ao vento, escrita pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e pelos métodos descritos na norma de cargas mínimas para prédios e outros edifícios, escrita pela Associação Americana de Engenheiros Civis (ASCE).

Foram considerados dois tipos de edificação para o estudo de caso: um galpão e um prédio residencial.

As seguintes características são consideradas para o galpão:

- está situado no distrito industrial da cidade de Joinville, norte de Santa Catarina;
- o terreno é plano, sem a presença de morros ou taludes próximo ao terreno;
- o galpão será utilizado para depósito de containeres que são carregados com compressores de ar.

Para o prédio residencial consideramos que:

- será para uso residencial
- está situado no centro da cidade de Joinville,
- em terreno plano, onde se encontra uma grande quantidade de edifícios,

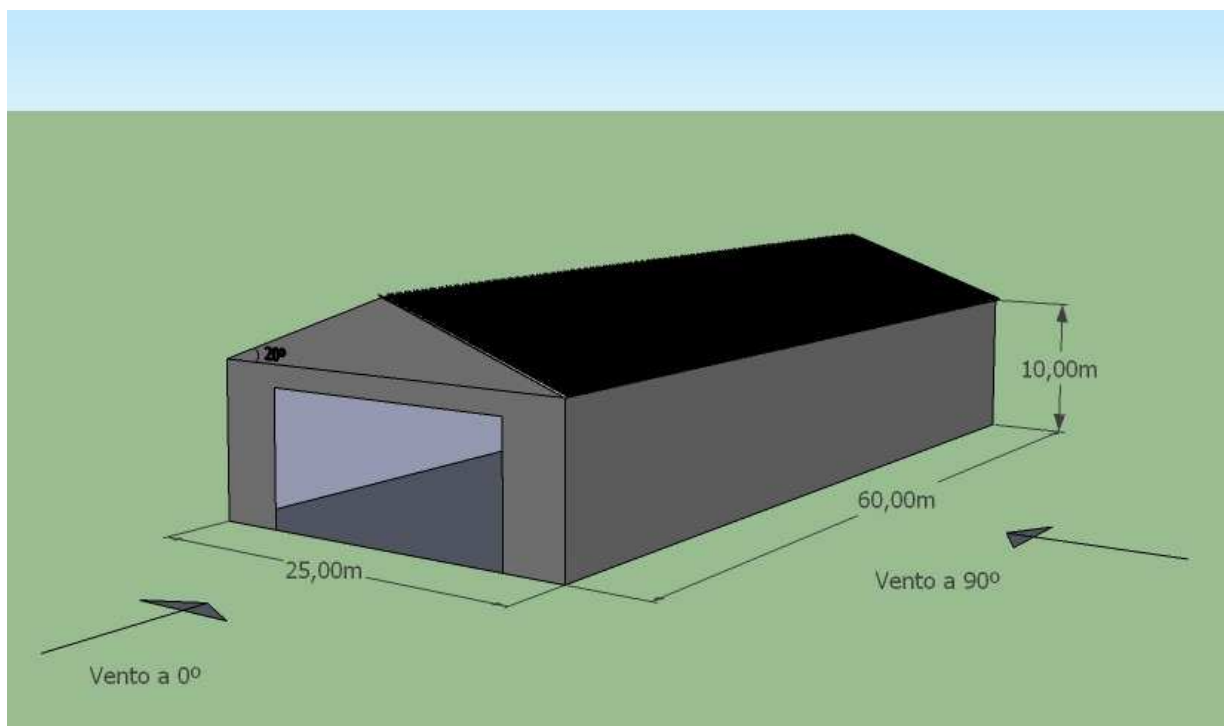
4.1 ESTUDO DAS CARGAS DE VENTO OBTIDAS PELA ABNT NBR 6123 (1988)

4.1.1 Edifício de estudo: Galpão Industrial

4.1.1.1 Características geométricas

A figura 12 mostra as dimensões do galpão.

Figura 12: Dimensões do galpão



Fonte: O Autor

4.1.1.2 Velocidade básica do vento

Determinamos a velocidade básica do vento de acordo com a figura 1, mapa de isopletas de velocidade básica do vento, como o edifício encontra-se na cidade de Joinville, consideramos a velocidade do vento de:

$$V_o = 42m/s$$

4.1.1.3 Fator topográfico.(S_1)

Uma vez que já foi definido o tipo do terreno, utilizam-se os valores descritos no item 3.1.3 e considera-se o fator topográfico igual à:

$$S_1 = 1,0$$

4.1.1.4 Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno, (S_2)

O fator S_2 foi mencionado no item 3.1.4 e para definir este fator precisamos definir alguns valores e classificações intermediárias, como a rugosidade do terreno, a classe que a maior dimensão da edificação se encontra e a altura da edificação sobre o terreno.

4.1.1.4.1 Rugosidade do terreno

A rugosidade é definida pela norma como descrito no item 3.1.4.2, consideraremos como sendo de Categoria IV, terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizados.

4.1.1.4.2 Dimensão da edificação

O item 3.1.4.3 compete à descrição do que é considerado na ABNT NBR 6123 (1988), para esta edificação considerou-se como sendo uma edificação de Classe C, edificação que a maior dimensão dela exceda 50 m

4.1.1.4.3 Altura sobre o terreno

Agora, efetivamente iremos calcular o fator S_2 . Para isso, foram divididas em três partes a edificação, a primeira que vai da altura de 0 a 5 metros, a segunda de 5 a 10 metros e por último a altura de 14,55 que é a altura do topo do telhado. O primeiro e o segundo valor são aplicados nas fachadas do edifício modelo e o último será aplicado no telhado da edificação.

Para obter os valores de, 0 a 5 metros, e de, 5 a 10 metros foram utilizados os valores da tabela 2.

Portanto:

$$S_{2, 0 - 5} = 0,73$$

$$S_{2, 5 - 10} = 0,80$$

Para se obter o valor de S_2 para a altura de 14,55 metros usou-se a fórmula mostrada no item 3.1.4.4. Para o uso da fórmula utilizou-se os valores obtidos na tabela 1.

$$b = 0,84$$

$$p = 0,135$$

$$F_r = 0,95$$

$$z = 14,55$$

Portanto

$$S_{2,14,55} = 0,84 * 0,95 * \left(\frac{14,55}{10} \right)^{0,135} = 0,84$$

4.1.1.5 Fator estatístico. (S_3)

Este fator é determinado pela tabela 3 e para a edificação modelo considerou-se que ela se encontra no Grupo 3 - edificações para comércio e indústria com baixo fator de ocupação.

$$S_3 = 0,95$$

4.1.1.6 Determinação da velocidade característica e pressão dinâmica

Segundo o item 3.1.2.b, a velocidade básica é multiplicada pelos fatores S_1 , S_2 e S_3 para obter a velocidade característica do vento (V_k) para a parte da edificação em consideração.

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3$$

$$V_0 = 42 \text{ m/s}$$

$$S_1 = 1,0$$

$$S_{2,5} = 0,73$$

$$S_{2,10} = 0,80$$

$$S_{2,14,55} = 0,84$$

$$S_3 = 0,95$$

$$V_{k,5} = 29,13 \text{ m/s}$$

$$V_{k,10} = 31,92 \text{ m/s}$$

$$V_{k,14,55} = 33,52 \text{ m/s}$$

O item 3.1.2.c, descreve que para a determinação da pressão dinâmica deve-se elevar a velocidade característica ao quadrado e multiplicá-la por 0,613 para obter em N/m^2 .

$$q_5 = 520,20 \text{ N/m}^2$$

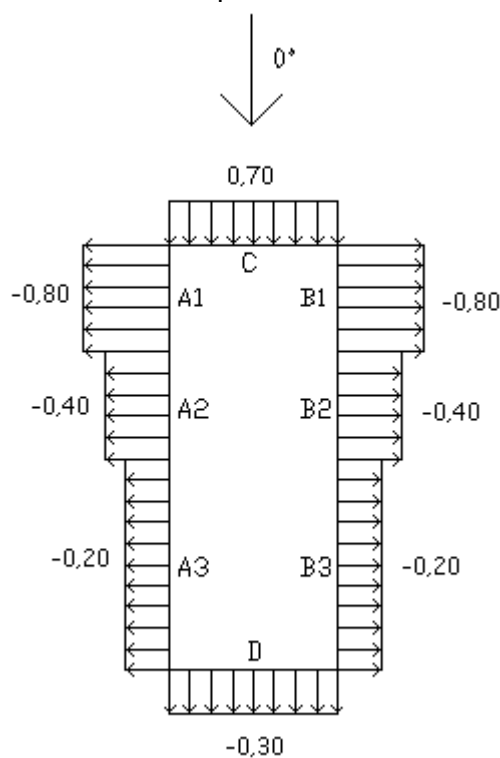
$$q_{10} = 624,58 \text{ N/m}^2$$

$$q_{14,55} = 688,76 \text{ N/m}^2$$

4.1.1.7 Coeficientes aerodinâmicos para as paredes

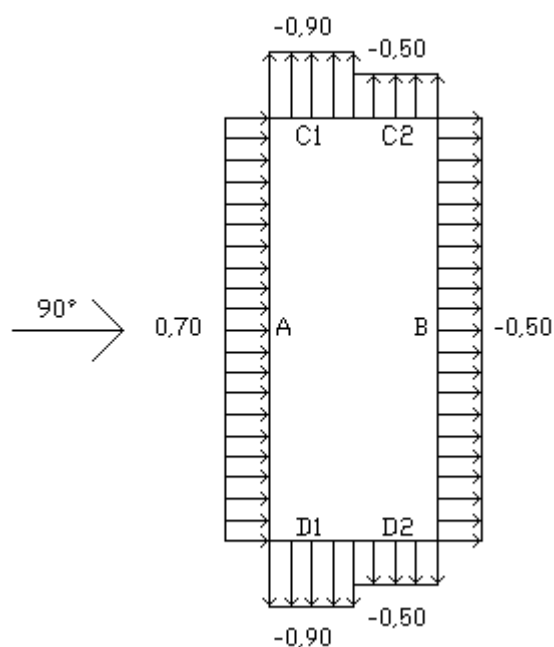
As figuras 13 e 14 mostram os coeficientes aerodinâmicos obtidos de acordo com o item 3.1.6.1. Determinou-se esses coeficientes através da tabela 4 e da Figura 3.

Figura 13: Coeficientes aerodinâmicos para vento de incidência de 0° na edificação



Fonte: O Autor

Figura 14: Coeficientes aerodinâmicos para vento de incidência de 90° na edificação

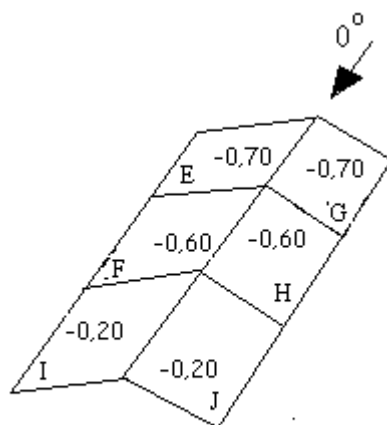


Fonte: O Autor

4.1.1.8 Coeficientes aerodinâmicos para o telhado

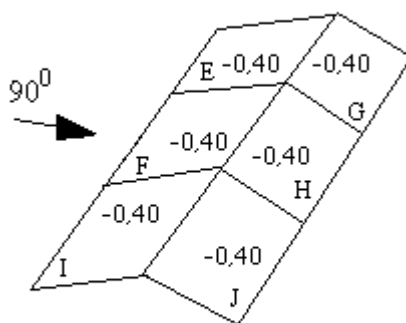
Foram determinados os coeficientes como descrito no item 3.1.6.1 e pela tabela 5 e figura 4. Esses coeficientes são representados nas figuras 15, 16 e 17.

Figura 15: Coeficientes aerodinâmicos para vento de incidência de 0° na edificação



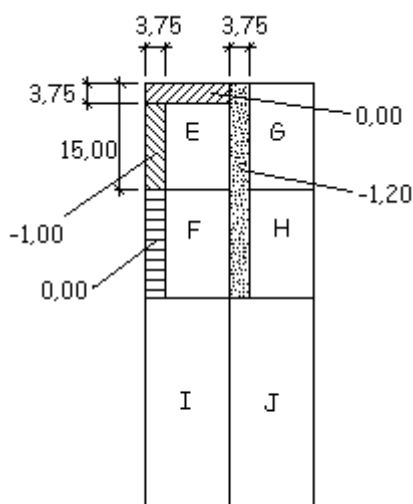
Fonte: O Autor

Figura 16: Coeficientes aerodinâmicos para vento de incidência de 90° na edificação



Fonte: O Autor

Figura 17: Coeficientes de pressão externa média



Fonte: O Autor

4.1.1.9 Coeficientes de pressão interna

Determinou-se a partir do item 3.1.7 os coeficientes de pressão interna, para nosso exemplo usou-se o item que diz sobre edificações com duas faces opostas permeáveis e outras duas impermeáveis.

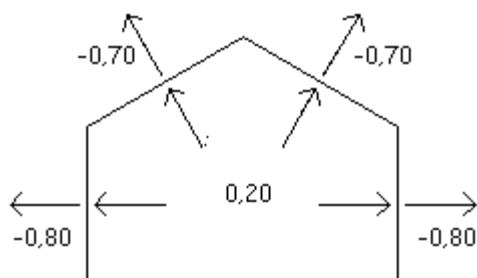
$$C_{pi, \text{ vento } 0^\circ} = +0,2$$

$$C_{pi, \text{ vento } 90^\circ} = -0,3$$

4.1.1.10 Esforços aplicados no telhado e nas paredes do edifício.

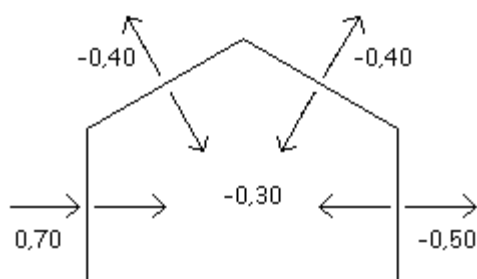
As figuras 18 e 19 mostram como são aplicados os coeficientes mais desfavoráveis na estrutura. A figura 20 mostra as forças aplicadas na estrutura para dimensionamento na situação mais desfavorável, a figura 21 os coeficientes de pressão externa para determinar as cargas de dimensionamento de terças e telhas e a Figura 22 indica as cargas para o dimensionamento das terças e telhas.

Figura 18: Coeficientes de pressão aplicados na estrutura com vento a 0°



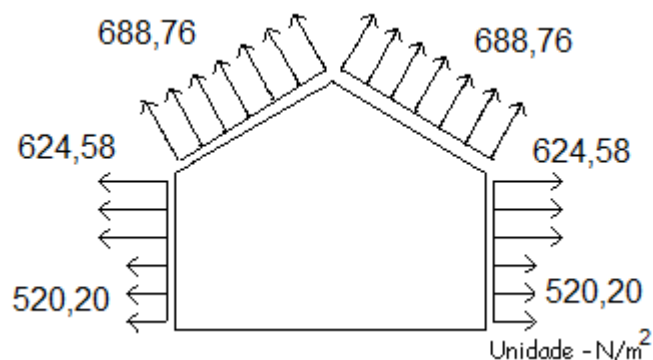
Fonte: O Autor

Figura 19: Coeficientes de pressão aplicados na estrutura com vento a 90°



Fonte: O Autor

Figura 20: Carregamento para dimensionamento da estrutura mais solicitada

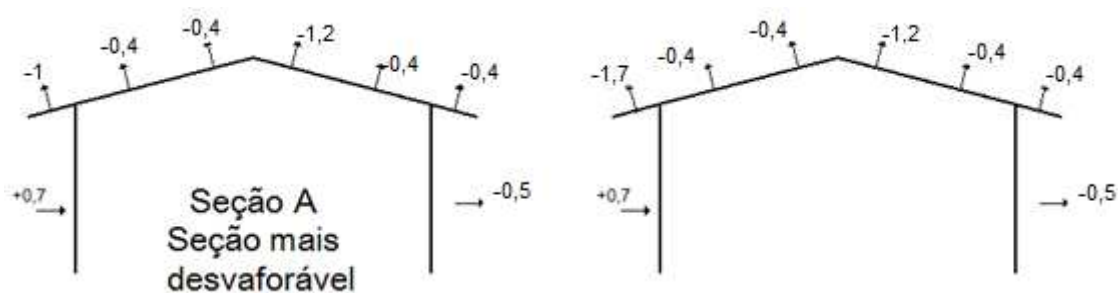


Fonte: O Autor

Para dimensionar as cargas que deverão ser levadas em consideração para a determinação dos elementos do telhado, terças e telhas, deve-se levar em consideração a incidência de vento mais desfavorável, neste caso será a de 90° .

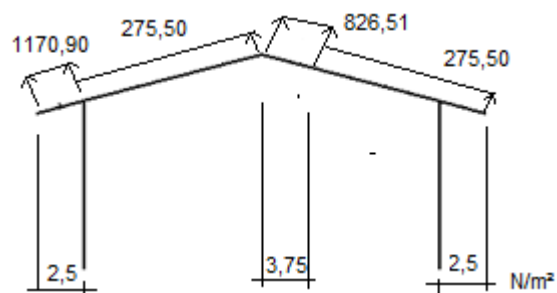
A carga no beiral é determinada pela adição ou subtração do coeficiente de forma externo da parede, neste caso, na seção mais desfavorável este coeficiente é de $+0,7$.

Figura 21: Coeficientes de pressão externa para dimensionamento das terças e telhas



Fonte: O Autor

Figura 22: Cargas para dimensionamento de terças e telhas



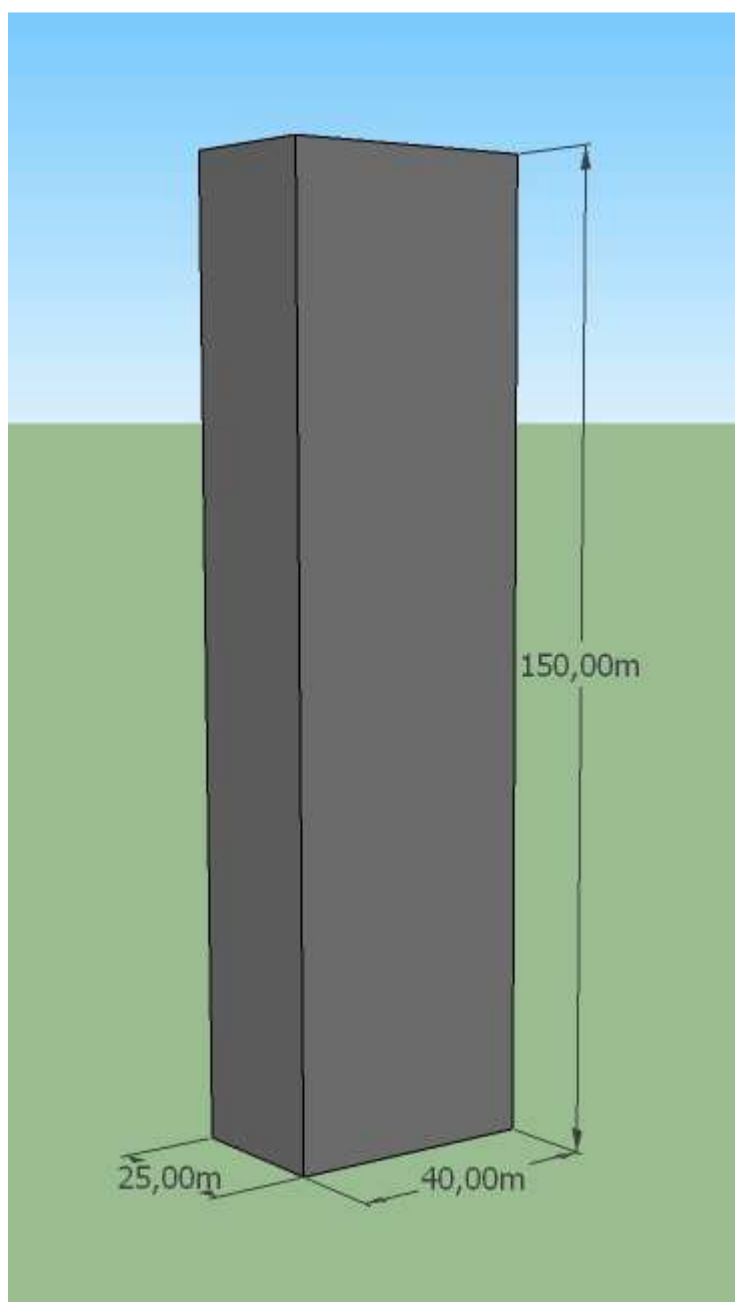
Fonte: O Autor

4.1.2 Edifício de estudo: prédio residencial

4.1.2.1 Características geométricas

A figura 23 mostra as dimensões do prédio utilizado como exemplo para este trabalho.

Figura 23: Dimensões do prédio



Fonte: O Autor

4.1.2.2 Velocidade básica do vento

Determinamos a velocidade básica do vento de acordo com a figura 1, mapa de isopletas de velocidade básica do vento. Como estamos na cidade de Joinville, consideramos a velocidade do vento de:

$$V_o = 42m/s$$

4.1.2.3 Fator Topográfico (S_1)

Uma vez que já foi definido o tipo do terreno, utiliza-se os valores descritos no item 3.1.3 e considera-se o fator topográfico igual à:

$$S_1 = 1,0$$

4.1.2.4 Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno, (S_2)

O fator S_2 foi apresentado no item 3.1.4. Para definir este fator precisamos definir alguns valores e classificações intermediárias.

4.1.2.4.1 Rugosidade do terreno

A rugosidade é definida pela norma como descrito no item 3.1.4.2, para o presente estudo de caso consideraremos como sendo de Categoria IV, terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizados.

4.1.2.4.2 Dimensão da edificação

Para esta edificação considerou-se como sendo uma edificação de Classe C, edificação que a maior dimensão dela exceda 50 m.

4.1.2.4.3 Altura sobre o terreno

Para o calculo de S_2 , o edifício foi dividido em 15 seções a cada 10 metros

Para obter os valores de S_2 foram utilizados os valores da Tabela 2.

Portanto:

$S_{2, 0 - 10} = 0,80$	$S_{2, 80 - 90} = 1,075$
$S_{2, 10 - 20} = 0,88$	$S_{2, 90 - 100} = 1,09$
$S_{2, 20 - 30} = 0,93$	$S_{2, 100 - 110} = 1,105$
$S_{2, 30 - 40} = 0,96$	$S_{2, 110 - 120} = 1,12$
$S_{2, 40 - 50} = 0,99$	$S_{2, 120 - 130} = 1,13$
$S_{2, 50 - 60} = 1,02$	$S_{2, 130 - 140} = 1,14$
$S_{2, 60 - 70} = 1,04$	$S_{2, 140 - 150} = 1,15$
$S_{2, 70 - 80} = 1,06$	

4.1.2.5 Fator Estatístico, S_3

Este fator é determinado pela tabela 3 e para a edificação modelo considerou-se que ela se encontra no Grupo 2 - Edificações para hotéis e residências. Edificações para comercio e indústria com alto fator de ocupação.

$$S_3 = 1,0$$

4.1.2.6 Determinação da velocidade característica e pressão dinâmica

Segundo o item 3.1.2.b, a velocidade básica é multiplicada pelos fatores S_1 , S_2 e S_3 para ser obtida a velocidade característica do vento, V_k , para a parte da edificação em consideração. A tabela 18 apresenta os valores de V_k em m/s.

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3$$

$$V_0 = 42 \text{ m/s}$$

$$S_1 = 1,0$$

$$S_3 = 0,95$$

Tabela 18: Valores de V_k em m/s

$V_{k, 0 - 10} = 31,92$	$V_{k, 80 - 90} = 42,89$
$V_{k, 10 - 20} = 35,11$	$V_{k, 90 - 100} = 43,49$
$V_{k, 20 - 30} = 37,11$	$V_{k, 100 - 110} = 44,09$
$V_{k, 30 - 40} = 38,30$	$V_{k, 110 - 120} = 44,69$
$V_{k, 40 - 50} = 39,50$	$V_{k, 120 - 130} = 45,09$
$V_{k, 50 - 60} = 40,70$	$V_{k, 130 - 140} = 45,49$
$V_{k, 60 - 70} = 41,50$	$V_{k, 140 - 150} = 45,89$
$V_{k, 70 - 80} = 42,29$	

Fonte: O Autor

O item 3.1.2.c, descreve que para a determinação da pressão dinâmica deve-se elevar a velocidade característica ao quadrado e multiplicá-la por 0,613 para obter em N/m². A tabela 19 mostra esse resultado.

Tabela 19: Valores de q em N/m²

$q_{0-10} = 624,58$	$q_{80-90} = 1127,78$
$q_{10-20} = 755,74$	$q_{90-100} = 1159,47$
$q_{20-30} = 844,06$	$q_{100-110} = 1191,60$
$q_{30-40} = 899,39$	$q_{110-120} = 1224,17$
$q_{40-50} = 956,48$	$q_{120-130} = 1246,13$
$q_{50-60} = 1015,33$	$q_{130-140} = 1268,28$
$q_{60-70} = 1055,54$	$q_{140-150} = 1290,63$
$q_{70-80} = 1096,52$	

Fonte: O Autor

4.1.2.7 Coeficiente de arrasto

Para a edificação em estudo, que está situada em uma zona de baixa turbulência, foi determinado dois coeficientes de arrasto, um para a fachada com 25 metros e outro para a fachada com 40 metros. Para isso foi usada o ábaco mostrado na figura 5.

Para determinar o coeficiente de arrasto é necessário determinar dois valores de entrada, que são: h/l_1 e l_1/l_2 .

Na fachada de 25 metros temos:

$$l_1 = 25\text{m}$$

$$l_2 = 40\text{m}$$

$$h = 150\text{m}$$

$$\frac{h}{l_1} = \frac{150}{25} = 6$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{25}{40} = 0,62$$

Obtendo:

$$C_a = 0,82$$

Na fachada de 40 metros temos:

$$l_1 = 40\text{m}$$

$$l_2 = 25\text{m}$$

$$h = 150\text{m}$$

$$\frac{h}{l_1} = \frac{150}{40} = 3,8$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{40}{25} = 1,6$$

Resultando:

$$C_a = 1,12$$

4.1.2.8 Força de arrasto

No item 3.1.8 mostra como realizar o cálculo da força de arrasto que será aplicada na estrutura. Foram determinadas as cargas para as duas fachadas do edifício. Para isso utilizou-se dos valores das pressões dinâmicas mostrados na tabela 18, o coeficiente de arrasto para cada fachada, mostrado no item 4.1.2.7 e as áreas de cada trecho de 10 metros de altura. Para a fachada de 25 metros a área é igual a 250 m² e para a fachada de 40 metros, a área é de 400m². A tabela 20 mostra os valores das forças de arrasto aplicadas na fachada de 25 metros, e a tabela 21 apresenta os valores para a fachada de 40 metros. As figuras 24 e 25 mostram as forças aplicadas na estrutura, nas fachadas de 25 e 40 metros respectivamente.

Tabela 20: Forças de arrasto aplicadas na fachada de 25 metros segundo a ABNT NBR 6123 (1988)

Altura (m)	Força de Arrasto (kN)
0 - 10	128,04
10 - 20	154,93
20 - 30	173,03
30 - 40	184,38
40 - 50	196,08
50 - 60	208,14
60 - 70	216,38
70 - 80	224,79
80 - 90	231,19
90 - 100	237,69
100 - 110	244,28
110 - 120	250,96
120 - 130	255,46
130 - 140	260,00
140 - 150	264,58

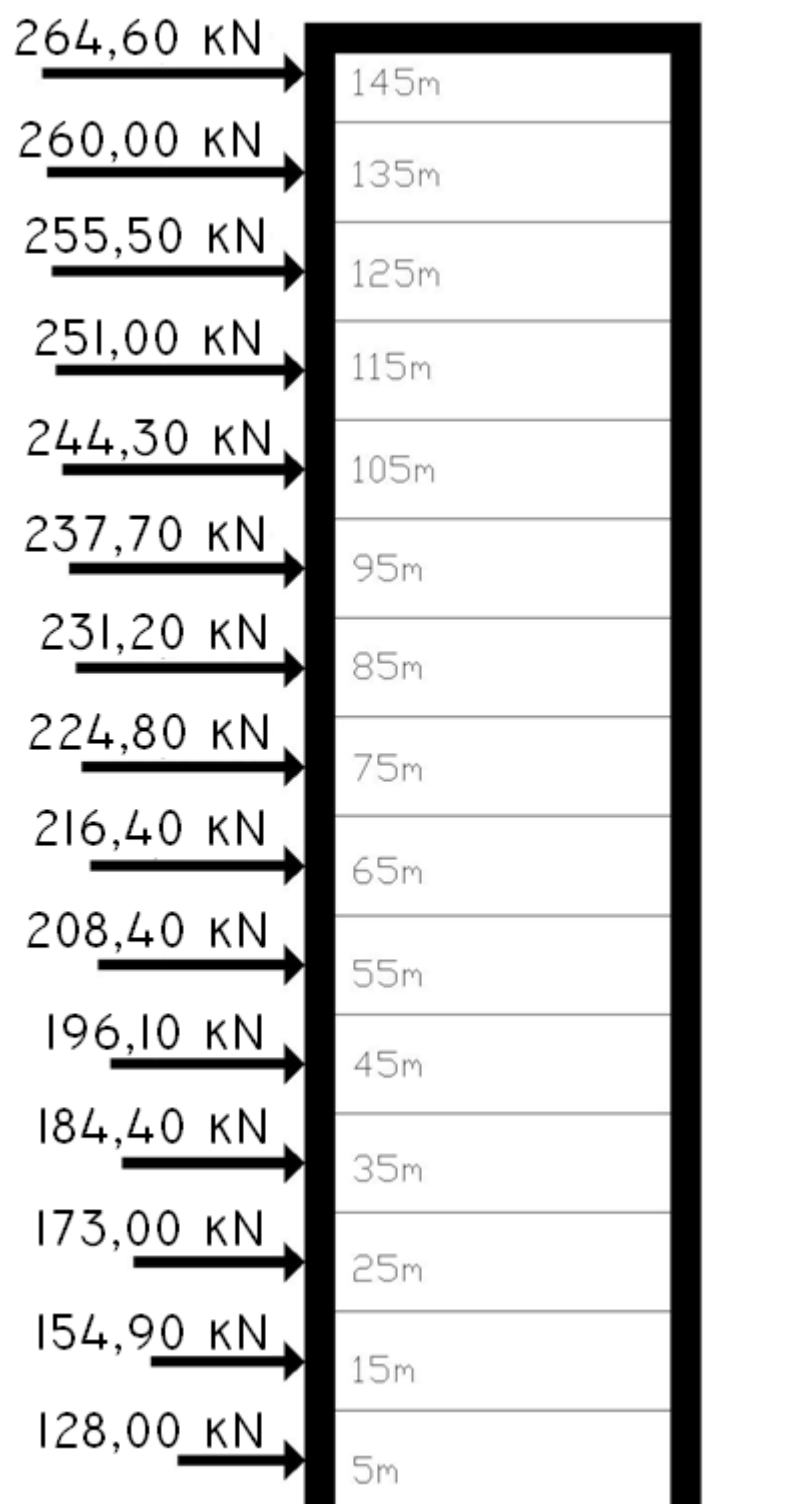
Fonte: O Autor

Tabela 21: Forças de arrasto aplicadas na fachada de 40 metros segundo a ABNT NBR 6123 (1988)

Altura (m)	Força de Arrasto (kN)
0 - 10	279,81
10 - 20	338,57
20 - 30	378,14
30 - 40	402,93
40 - 50	428,50
50 - 60	454,87
60 - 70	472,88
70 - 80	491,24
80 - 90	505,24
90 - 100	519,44
100 - 110	533,84
110 - 120	548,43
120 - 130	558,27
130 - 140	568,19
140 - 150	578,20

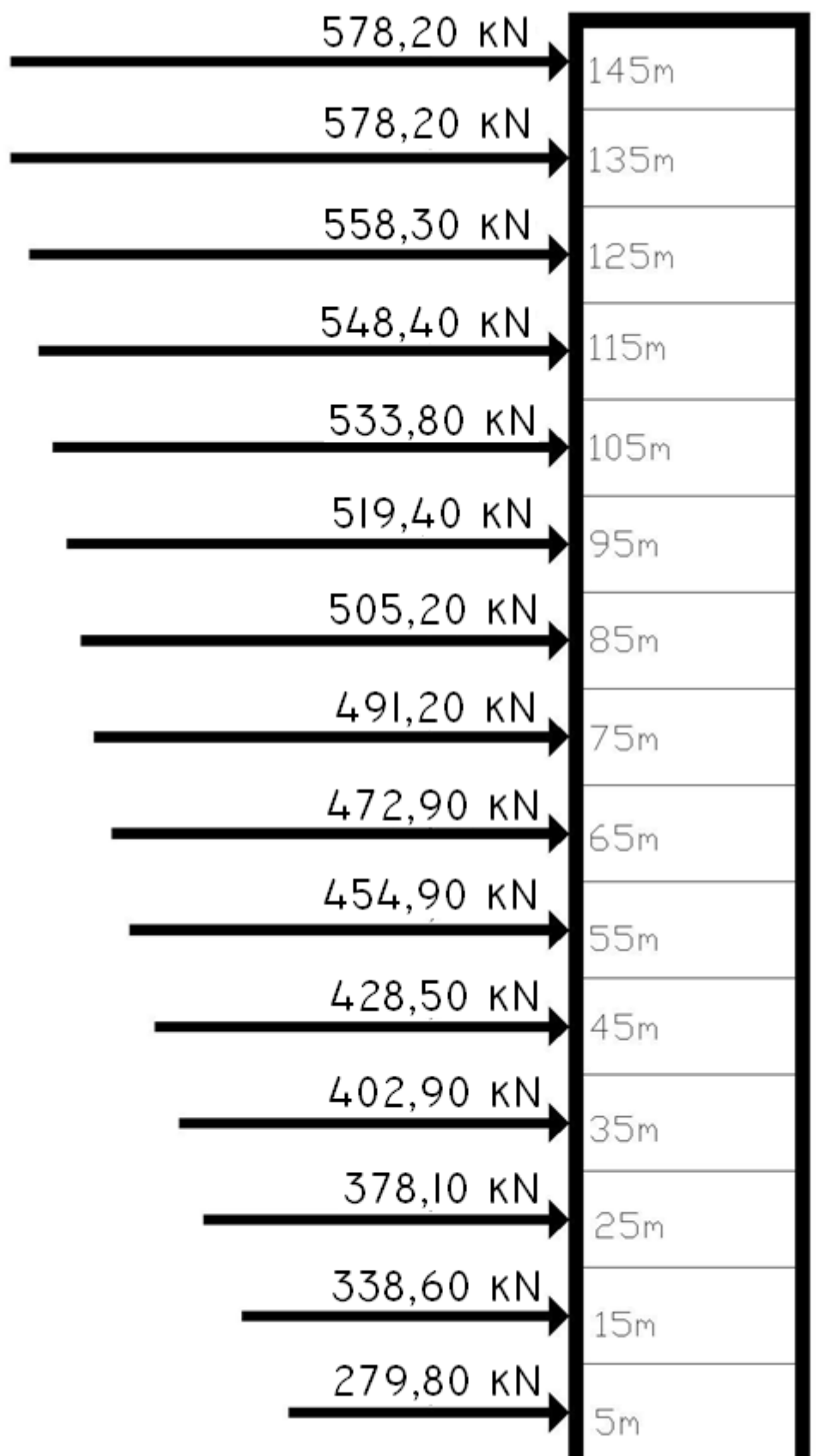
Fonte: O Autor

Figura 24: Forças de arrasto aplicadas na fachada de 25 metros



Fonte: O Autor

Figura 25: Forças de arrasto aplicadas na fachada de 40 metros



Fonte: O Autor

4.2 ESTUDO DAS CARGAS DE VENTO OBTIDAS PELA ASSOCIAÇÃO AMERICANA DE ENGENHEIROS CIVIS 7-10 (2010)

4.2.1 Edifício de estudo: Prédio residencial

As mesmas características geométricas, localização, topografia do edifício estudado pela NBR 6123 (1988) foram aplicadas no estudo pela ASCE 7-10.

4.2.1.1 Velocidade básica do vento

Para fins didáticos do exercício em exposição, foi estabelecida a mesma velocidade de vento obtida pelo mapa isopletas da NBR 6123 (1988).

$$V = 42 \text{ m/s}$$

4.2.1.2 Determinação da categoria de risco

Todas as edificações ou estruturas com exceção das listadas nas categorias de risco I, III e IV.

4.2.1.3 Fator de direção do vento (Fator K_d)

Foi determinado a partir da tabela 7, mostrada no item 3.2.4.1, edifício no Sistema estrutural de resistência ao vento.

$$K_d = 0,85$$

4.2.1.4 Rugosidade do terreno

Para esse edifício foi considerada rugosidade B, áreas urbanas e suburbanas, áreas arborizadas, ou outro terreno com vários obstáculos espaçados tendo um tamanho uniforme de habitações ou maiores.

4.2.1.5 Exposição do terreno

Determinou-se a partir do item 3.2.4.2.2, considerando este edifício como sendo da categoria B.

4.2.1.6 Fator topográfico. (K_{zt})

Como o terreno se encontra em uma superfície plana, sem morros ou taludes por perto, a ASCE 7-10 (2010) considera esse fator como tendo valor unitário. Assim,

$$K_{zt} = 1,0$$

4.2.1.7 Fator de rajada(G).

O item 3.2.4.4, determina que o valor do fator de rajada pode ser considerado com o valor de 0,85:

$$G = 0,85$$

4.2.1.8 Coeficiente de pressão interna

O edifício em estudo deve ser considerado como parcialmente permeável, pois nunca se sabe quando ele será totalmente impermeável ou parcialmente permeável. De acordo com a tabela 10 apresentada no item 3.2.4.6 tem-se:

$$(GC_{pi}) = \pm 0,55$$

4.2.1.9 Determinação do coeficiente de exposição à pressão da velocidade do vento, (K_z)

Como no exemplo para a NBR 6123 (1988) determinou-se um coeficiente a cada 10 metros de altura da edificação em estudo, para isso utilizou-se a tabela 11. Como a tabela não mostra os valores necessários para o cálculo, empregou-se a interpolação linear para achar os valores. A tabela 22 mostra os valores de K_z .

Tabela 22: Valores de K_z

Z (m)	K_z
0-10	1,00
10-20	1,15
20-30	1,26
30-40	1,34
40-50	1,40
50-60	1,45
60-70	1,50
70-80	1,54
80-90	1,58
90-100	1,62
100-110	1,65
110-120	1,68
120-130	1,71
130-140	1,74
140-150	1,76

Fonte: O autor

4.2.1.10 Determinação da pressão dinâmica

Foi determinada a pressão dinâmica de acordo com o item 3.2.6, e a tabela 23 demonstra os resultados obtidos.

Tabela 23: Pressão dinâmica do vento

z (m)	q_z (N/m²)
0-10	919,1322
10-20	1057,002
20-30	1158,107
30-40	1231,637
40-50	1286,785
50-60	1332,742
60-70	1378,698
70-80	1415,464
80-90	1452,229
90-100	1488,994
100-110	1516,568
110-120	1544,142
120-130	1571,716
130-140	1599,29
140-150	1617,673

Fonte: O autor

4.2.1.11 Determinação da carga de vento

A carga de vento determinada para a fachada de 25 metros e para a de 40 metros, como foi calculado para a NBR 6123 (1988). Os valores são determinados como demonstra o item 3.2.7.

4.2.1.11.1 Determinação da carga de vento na fachada de 25 metros

Primeiro determinamos o coeficiente de pressão externa, C_p , para a fachada, como demonstra a figura 8 e os valores foram retirados da tabela 12.

$$C_{p,barlavento} = 0,8$$

$$C_{p,sotavento} = -0,5$$

$$C_{p,laterais} = -0,7$$

Os valores para a carga de vento para a fachada de barlavento foram determinados a partir da equação mostrada no item 3.2.7. Foi calculada a carga de vento para três diferentes situações, a primeira como o edifício sendo impermeável, a segunda com o coeficiente de pressão interna igual a +0,55 e por último com o coeficiente de pressão interna igual a -0,55. Para fins de comparação com a NBR 6123 (1988) utilizaremos apenas a carga com coeficiente de pressão interna nula. A tabela 24 mostra as cargas aplicadas a cada 10 metros de altura.

Tabela 24: Carga de vento para a fachada de barlavento

z(m)	p (N/m ²)	p (N/m ²)	p (N/m ²)
	(Gcpi) = 0	(Gcpi) = +0,55	(Gcpi) = -0,55
0-10	625,01	-264,71	1514,73
10-20	718,76	-170,96	1608,48
20-30	787,51	-102,21	1677,23
30-40	837,51	-52,21	1727,23
40-50	875,01	-14,71	1764,73
50-60	906,26	16,54	1795,98
60-70	937,51	47,79	1827,23
70-80	962,52	72,80	1852,24
80-90	987,52	97,80	1877,24
90-100	1012,52	122,80	1902,24
100-110	1031,27	141,55	1920,99
110-120	1050,02	160,30	1939,74
120-130	1068,77	179,05	1958,49
130-140	1087,52	197,80	1977,24
140-150	1100,02	210,30	1989,74

Fonte: O autor

Para comparação com os resultados obtidos na NBR 6123 (1988) foi multiplicado os valores mostrados na tabela 23 multiplicados por 250 metros quadrados, que é a área de aplicação da carga e transformando esse valor para kilonewton (kN), a tabela 25 mostra o resultado.

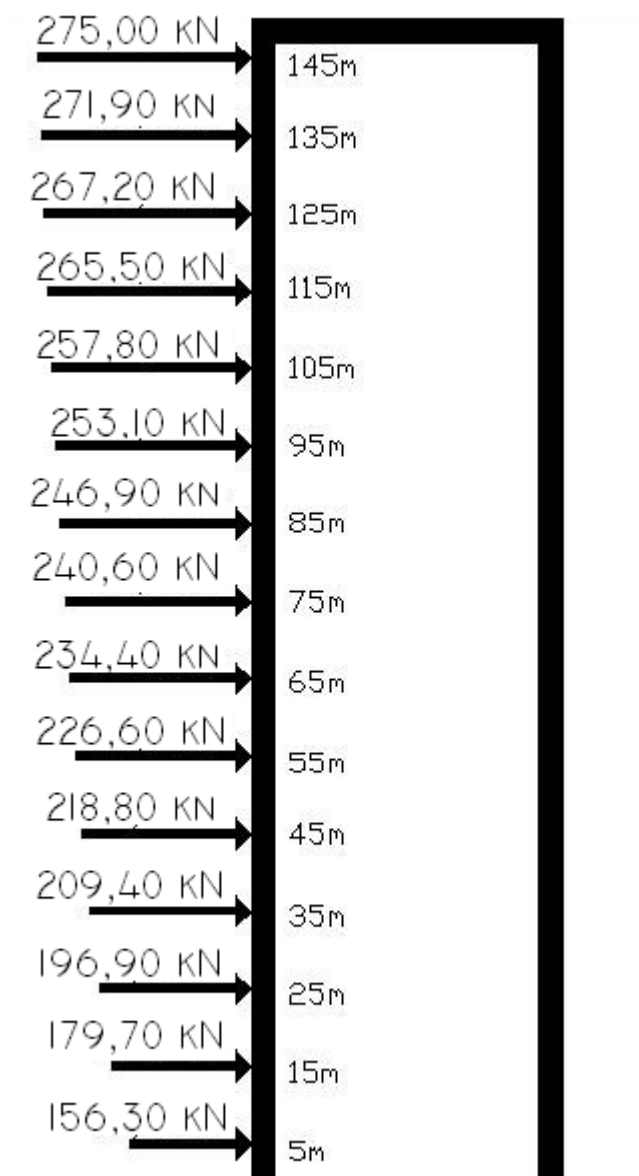
Tabela 25: Cargas aplicadas em kilonewton

z(m)	q (kN)	q (kN)	q (kN)
	(Gcpi) = 0	(Gcpi) = +0,55	(Gcpi) = -0,55
0-10	156,3	-66,2	378,7
10-20	179,7	-42,7	402,1
20-30	196,9	-25,6	419,3
30-40	209,4	-13,1	431,8
40-50	218,8	-3,7	441,2
50-60	226,6	4,1	449,0
60-70	234,4	11,9	456,8
70-80	240,6	18,2	463,1
80-90	246,9	24,4	469,3
90-100	253,1	30,7	475,6
100-110	257,8	35,4	480,2
110-120	262,5	40,1	484,9
120-130	267,2	44,8	489,6
130-140	271,9	49,4	494,3
140-150	275,0	52,6	497,4

Fonte: O autor

A figura 26 demonstra onde são aplicadas as cargas na fachada.

Figura 26: Cargas aplicadas na fachada de 25 metros



Fonte: O autor

4.2.1.11.2 Determinação da carga de vento na fachada de 40 metros

Foi determinada da mesma maneira que foram determinadas as cargas para a fachada de 25 metros demonstrada no item 4.2.1.11.1.

$$C_{p,barlavento} = 0,8$$

$$C_{p,sotavento} = -0,3$$

$$C_{p,laterais} = -0,7$$

As cargas distribuídas por metro quadrado na fachada de 40 metros será igual a da fachada de 25 metros, o que irá mudar será a carga aplicada no centro de gravidade a cada 10 metros, pois, a área de aplicação da carga muda para 400 metros quadrados. A Tabela 26 mostra os valores das cargas aplicadas no centro de gravidade a cada 10 metros de altura.

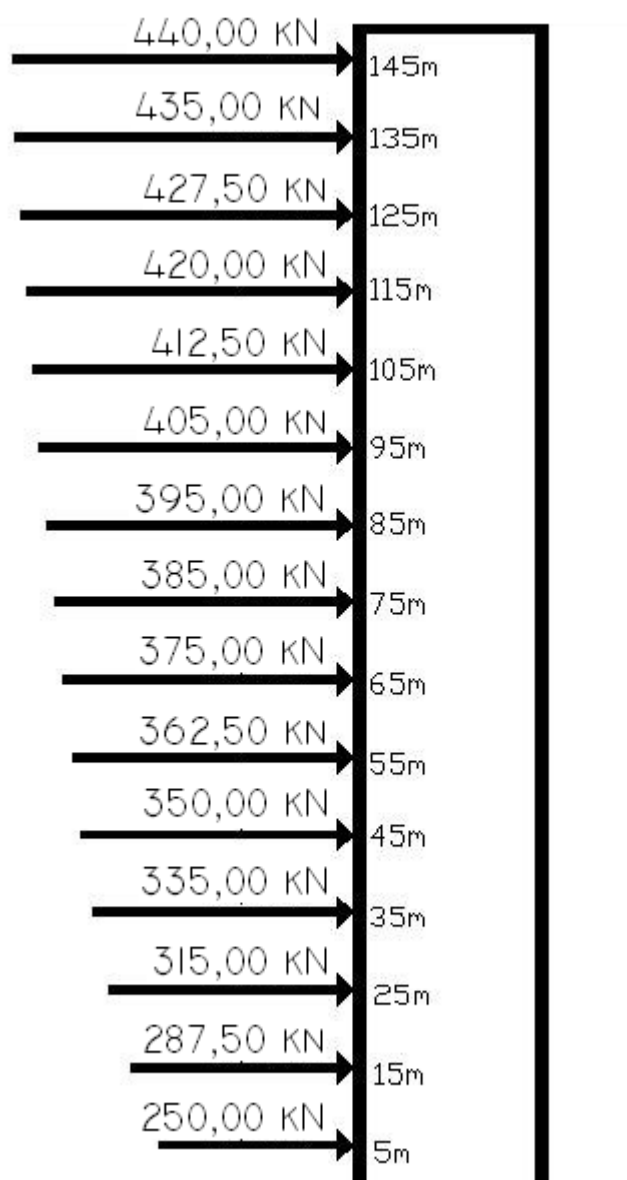
Tabela 26: Cargas aplicadas em kilo-newton

z(m)	q (kN)	q (kN)	q (kN)
	(Gcpi) = 0	(Gcpi) = +0,55	(Gcpi) = -0,55
0-10	250,0	-105,9	605,9
10-20	287,5	-68,4	643,4
20-30	315,0	-40,9	670,9
30-40	335,0	-20,9	690,9
40-50	350,0	-5,9	705,9
50-60	362,5	6,6	718,4
60-70	375,0	19,1	730,9
70-80	385,0	29,1	740,9
80-90	395,0	39,1	750,9
90-100	405,0	49,1	760,9
100-110	412,5	56,6	768,4
110-120	420,0	64,1	775,9
120-130	427,5	71,6	783,4
130-140	435,0	79,1	790,9
140-150	440,0	84,1	795,9

Fonte: O autor

A figura 27 demonstra onde são aplicadas as cargas na fachada.

Figura 27: Cargas aplicadas na fachada de 40 metros



Fonte: O autor

4.2.2 Edifício de estudo: Galpão industrial

As mesmas características geométricas, localização, topografia do galpão estudado pela NBR 6123 (1988) foram aplicadas no estudo pela ASCE 7-10.

4.2.2.1 Velocidade básica do vento

Para fins didáticos do exercício em exposição, foi estabelecida a mesma velocidade de vento das isopletras da NBR 6123 (1988).

$$V = 42 \text{ m/s}$$

4.2.2.2 Determinação da categoria de risco

De acordo com a tabela 6 foi determinada uma categoria de risco que seja compatível com a NBR 6123 (1988), Todas as edificações ou estruturas com exceção das listadas nas categorias de risco I, III e IV.

4.2.2.3 Fator de direção do vento (K_d)

Foi determinado a partir da tabela 7, mostrada no item 3.2.4.1, edifício no Sistema estrutural de resistência ao vento.

$$K_d = 0,85$$

4.2.2.4 Rugosidade do terreno

Para esse edifício foi considerada rugosidade B, áreas urbanas e suburbanas, áreas arborizadas, ou outro terreno com vários obstáculos espaçados tendo um tamanho uniforme de habitações ou maiores.

4.2.2.5 Exposição do terreno

Determinou-se a partir do item 3.2.4.2.2 a exposição do terreno, consideramos para este edifício como sendo da categoria B.

4.2.2.6 Fator topográfico(K_{zt}).

Como o terreno se encontra em uma superfície plana, sem morros ou taludes por perto, a ASCE 7-10 (2010) considerada esse fator como tendo valor unitário.

$$K_{zt} = 1,0$$

4.2.2.7 Fator de rajada, G.

No item 3.2.4.4, sendo que o valor do fator de rajada pode ser considerado como descrito no item.

$$G = 0,85$$

4.2.2.8 Coeficiente de pressão interna

Temos que considerar o edifício em estudo como sendo parcialmente permeável. De acordo com a tabela 10 mostrada no item 3.2.4.6 considera-se:

$$(GC_{pi}) = \pm 0,55$$

4.2.2.9 Determinação do coeficiente de exposição à pressão da velocidade do vento, (K_h)

Para a determinação deste coeficiente a ASCE 7-10 (2010) considera apenas um coeficiente, o q_h , que é considerado apenas na altura do telhado. No caso em estudo na altura 14,55 metros. Foi utilizado o método matemático de interpolação linear para determinação deste coeficiente.

$$K_h = 1,08$$

4.2.2.10 Carga de vento para edifícios de até 18 metros de altura

Utilizaram-se os conceitos e a fórmula apresentada no item 3.2.8 e os coeficientes apresentados nesta seção para a determinação da carga em N/m^2 .

$$q_h = 992,66 N/m^2$$

A figura 10 mostra que é necessário encontrar alguns coeficientes de pressão externa para a determinação de algumas cargas pontuais no galpão. Para isso foi utilizado os dados da tabela 16. A tabela 27 mostra os coeficientes encontrados.

Tabela 27: Coeficientes de pressão externa do estudo de caso. Caso A

Seção	C_e
1	0,53
2	-0,69
3	-0,48
4	-0,43
1E	0,8
2E	-1,07
3E	-0,69
4E	-0,64

Fonte: O Autor

Com os coeficientes pôde-se determinar a carga que atua em cada região. A carga foi determinada a partir do apresentado no item 3.2.9. Determinamos duas cargas para o caso em estudo, o primeiro com o coeficiente de pressão interna igual a +0,55 e o segundo com este coeficiente igual a -0,55. A tabela 28 apresenta os resultados obtidos em N/m^2 .

Tabela 28: Cargas atuantes no edifício estudo. Caso A

Seção	$p_{+0,55}(N/m^2)$	$p_{-0,55}(N/m^2)$
1	-19,85	1072,08
2	-1230,90	-138,97
3	-1022,44	69,49
4	-972,81	119,12
1E	248,17	1340,09
2E	-1608,11	-516,18
3E	-1230,90	-138,97
4E	-1181,27	-89,34

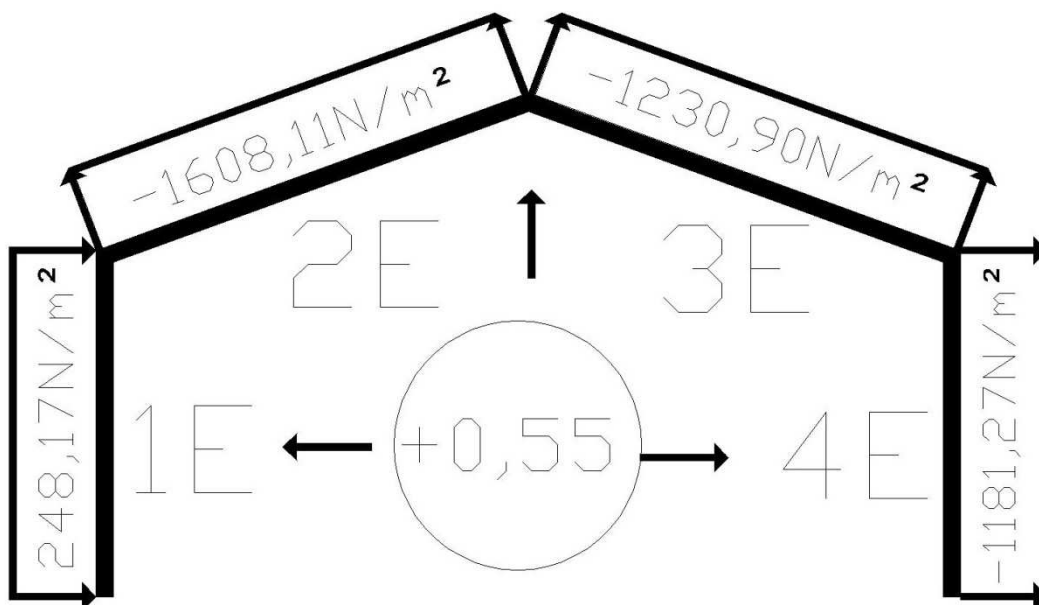
Fonte: O Autor

A figura 28, 29, 30 e 31 apresentam dois cortes na edificação. As figuras 28 e 29 mostram os corte onde estão as cargas referentes aos itens 1E, 2E, 3E e 4E para o coeficiente de pressão interna igual a +0,55 e -0,55 respectivamente. As figuras 30 e

31 apresentam o corte referente aos itens de 1 a 4 também para os coeficientes de pressão interna igual a +0,55 e -0,55 respectivamente.

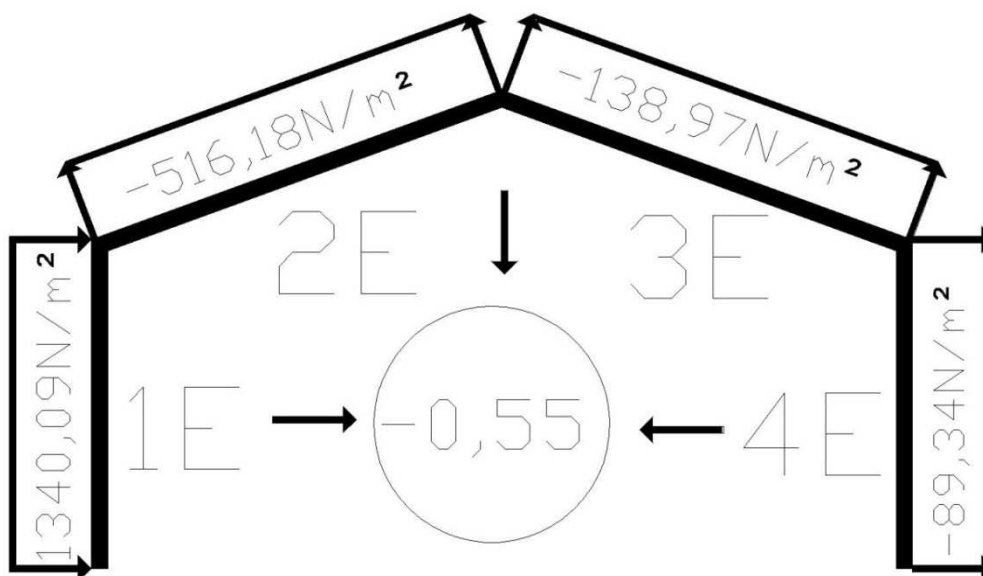
No item 3.2.9 apresenta como se deve determinar o valor de “a” para aplicação da carga, pegou-se a maior distancia horizontal da edificação, 60 metros, multiplicou por 10% e por 0,4 a menor resultado foi de 5,82 metros.

Figura 28: Cargas aplicadas na seção de 1E a 4E para o coeficiente de pressão interna igual a +0,55.



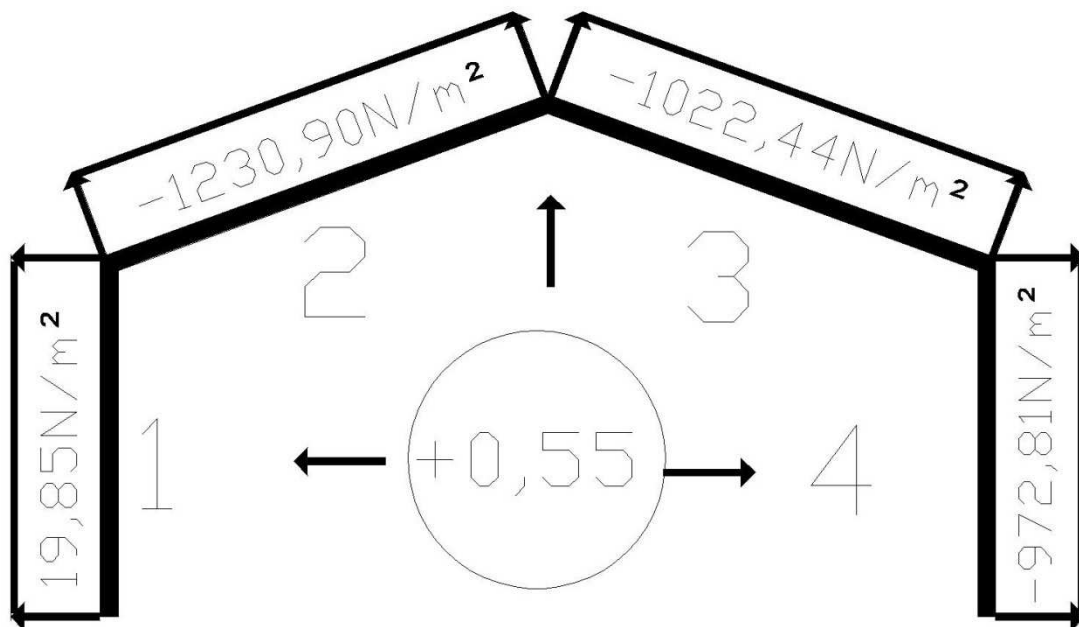
Fonte: O Autor

Figura 29: Cargas aplicadas na seção de 1E a 4E para o coeficiente de pressão interna igual a -0,55.



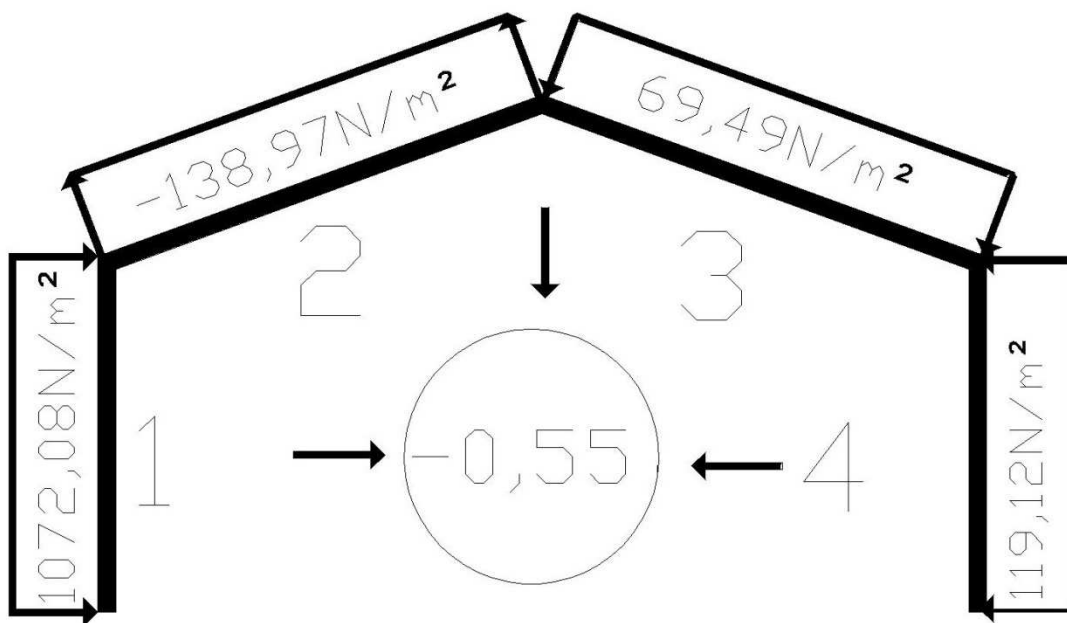
Fonte: O Autor

Figura 30: Cargas aplicadas na seção de 1 a 4 para o coeficiente de pressão interna igual a +0,55.



Fonte: O Autor

Figura 31: Cargas aplicadas na seção de 1 a 4 para o coeficiente de pressão interna igual a -0,55.



Fonte: O Autor

A figura 11 demonstra que se deve considerar ainda outro caso de cargas para o galpão e a tabela 17 apresenta os coeficientes de pressão externa para a determinação dessas cargas.

A tabela 29 apresenta as cargas aplicadas neste caso B. Foram utilizados os métodos apresentados no item 3.2.9 para a determinação da carga.

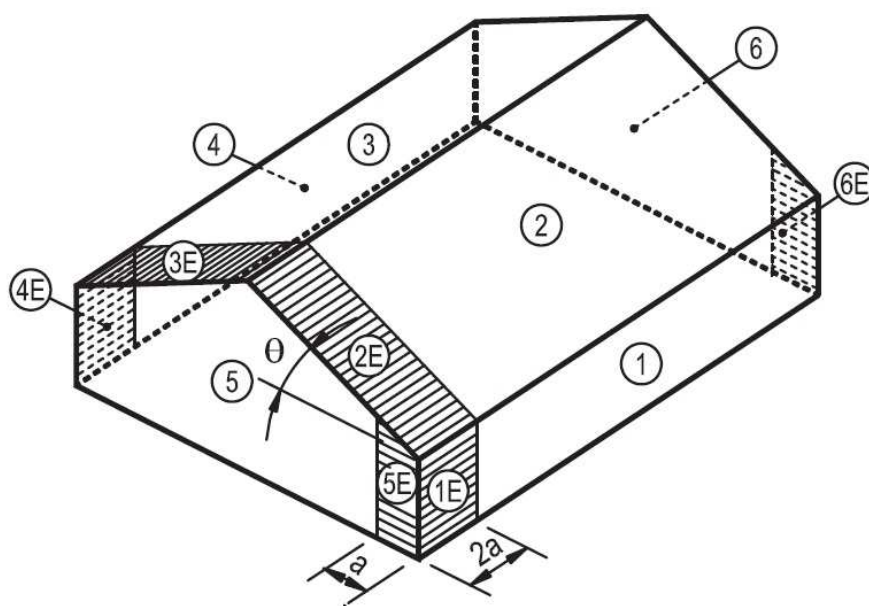
Tabela 29: Cargas aplicadas nos itens mostrados no caso B

	$p_{+0,55}(\text{N/m}^2)$	$p_{-0,55}(\text{N/m}^2)$
1	-992,66	99,26
2	-1230,90	-138,97
3	-913,25	178,67
4	-992,66	99,26
5	-943,03	148,89
6	-833,84	258,09
1E	-1032,37	59,559
2E	-1608,11	-516,18
3E	-1072,08	19,85
4E	-1022,44	69,48
5E	59,56	1151,48
6E	-119,12	972,80

Fonte: O Autor

A figura 32 demonstra onde cada carga deve ser aplicada.

Figura 32: Local de aplicação das cargas mostradas na tabela 27



Fonte: American Society of Civil Engineers (2010)

5 ANALISE COMPARATIVA DA NBR 6123 (1988) E DA ASCE 7-10 (2010)

5.1 COMPARAÇÃO DE FORMULAS E COEFICIENTES

5.1.1 Pressão dinâmica do vento

A grande diferença entre as duas normas é com relação a pressão dinâmica do vento. A norma brasileira apresenta a equação mostrada no item 3.1.2 subitem b e c, e a norma norte americana apresenta a equação no item 3.2.8.

ABNT NBR 6123 (1988)

$$q = 0,613 * (S_1 * S_2 * S_3 * V_0)^2$$

ASCE 7-10 (2010)

$$q = 0,613 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2$$

Observou-se então que, mesmo que os coeficientes relacionados em cada equação fossem os mesmos a pressão dinâmica do vento calculada pela norma brasileira será sempre menor do que a calculada pela norma americana.

5.1.2 Fator Topográfico (S_1 e K_{zt})

Apesar de terem métodos diferentes de cálculo, não apresentaram diferenças nos casos estudados.

5.1.3 Rugosidade do terreno, dimensões da edificação, altura sobre o terreno e coeficiente de exposição a pressão da velocidade do vento (S_2 e K_z)

Para este coeficiente norma brasileira considera, três elementos: a rugosidade, definida no item 3.1.4.2, a maior dimensão da edificação e a altura da edificação. Neste ainda é incluído o fator de rajada, que na norma americana é considerada na obtenção da carga de vento.

A norma norte americana considera apenas a categoria de exposição, apresentada no item 3.2.4.2.2, e a altura do edifício.

5.1.4 Fator estatístico (S_3) e categoria de risco

A norma brasileira considera este fator diretamente na formula de V_k , majorando ou minorando a velocidade característica. A norma americana, por sua vez, apresenta esta categoria como o primeiro parâmetro a ser definido, independente da carga que o projetista está calculando. ASCE 7-10 (2010) apresenta dois mapas de isopletras, um com velocidade de vento menores, para os edifícios que se encaixam nas categorias de risco I e II apresentada na tabela 6 e outro mapa para as construções que estão dentro das hipóteses das categorias III e IV. Portanto, o fator S_3 na norma norte americana está implícito dentro da categoria de risco definida pelo projetista.

5.1.5 Fator de rajada (F_r e G)

A diferença desses fatores está onde cada norma considera seu uso. A norma brasileira aplica este fator no calculo do coeficiente S_2 , já a norma americana considera o uso do fator de rajada nas formulas para a obtenção das cargas, como foi apresentado no item 3.2.7.1.

5.2 COMPARAÇÃO DAS CARGAS OBTIDAS PARA O EDIFICIO RESIDENCIAL

Como apresentado nos itens 4.1.2 e 4.1.1, para efeitos de comparação as cargas obtidas na norma norte americana foram aplicadas do mesmo modo como são aplicadas as cargas resultantes da norma brasileira.

A tabela 30 apresenta as cargas obtidas pelas duas normas para a fachada de 25 metros da edificação.

A tabela 31 apresenta as cargas aplicadas na fachada de 40 metros, também resultantes da aplicação das duas normas.

Tabela 30: Comparação das cargas obtidas pela ABNT NBR 6123 (1988) e ASCE 7-10 (2010) para a fachada de 25 metros do edifício residencial em estudo.

Altura	Carga NBR (kN)	Carga ASCE (kN)	Diferença (%)
0 - 10	128,04	156,30	18,08%
10 - 20	154,93	179,70	13,78%
20 - 30	173,03	196,90	12,12%
30 - 40	184,38	209,40	11,95%
40 - 50	196,08	218,80	10,38%
50 - 60	208,14	226,60	8,15%
60 - 70	216,38	234,40	7,69%
70 - 80	224,79	240,60	6,57%
80 - 90	231,19	246,90	6,36%
90 - 100	237,69	253,10	6,09%
100 - 110	244,28	257,80	5,24%
110 - 120	250,96	262,50	4,40%
120 - 130	255,46	267,20	4,39%
130 - 140	260,00	271,90	4,38%
140 - 150	264,58	275,00	3,79%

Fonte: O autor

Tabela 31: Comparação das cargas obtidas pela ABNT NBR 6123 (1988) e ASCE 7-10 (2010) para a fachada de 40 metros do edifício residencial em estudo.

Altura	Carga NBR (kN)	Carga ASCE (kN)	Diferença (%)
0 - 10	279,81	250,00	-10,65%
10 - 20	338,57	287,50	-15,08%
20 - 30	378,14	315,00	-16,70%
30 - 40	402,93	335,00	-16,86%
40 - 50	428,50	350,00	-18,32%
50 - 60	454,87	362,50	-20,31%
60 - 70	472,88	375,00	-20,70%
70 - 80	491,24	385,00	-21,63%
80 - 90	505,24	395,00	-21,82%
90 - 100	519,44	405,00	-22,03%
100 - 110	533,84	412,50	-22,73%
110 - 120	548,43	420,00	-23,42%
120 - 130	558,27	427,50	-23,42%
130 - 140	568,19	435,00	-23,44%
140 - 150	578,20	440,00	-23,90%

Fonte: O autor

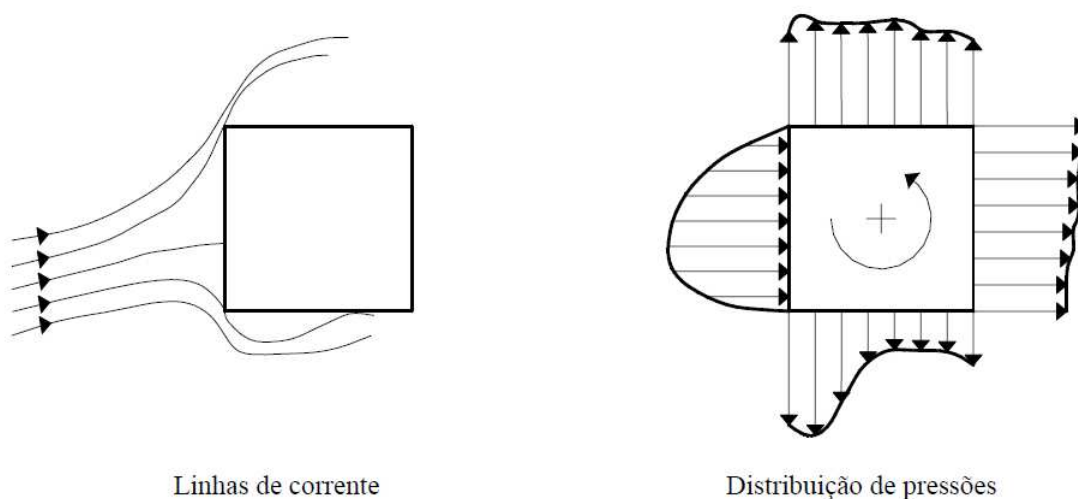
Para a fachada de 25 metros não foram encontradas diferenças muito grandes, porém, para a fachada de 40 metros encontramos uma diferença média entre as cargas de 20,07%. Isto se deve ao fato de que essas forças são calculadas de modo diferente por cada norma. A norma brasileira apresenta um modelo de cálculo apresentado no item 3.1.8, que determina o cálculo das forças por um coeficiente de arrasto que é determinado a partir do ábaco apresentado na figura 5.

Já a norma americana apresenta um modelo de cálculo muito mais realista, com cargas aplicadas nas fachadas laterais e de sotavento, não apenas na fachada de barlavento como a norma brasileira apresenta. A figura 8 apresenta o modelo de como são aplicadas as forças na edificação.

Segundo Carpeggiani (2004) chama esse tipo de aplicação de carga apresentado pela norma norte americana de torção aerodinâmica e ocorre na grande maioria dos prédios de forma convencionais (com exceção dos de forma arredondadas) sempre que o ângulo de incidência do vento for oblíquo ao eixo de simetria. A figura 33 mostra um esquema de linhas de corrente, a separação e a distribuição das pressões na face de uma edificação genérica e que pode ser aplicada ao caso estudado. Ainda segundo Carpeggiani (2004) a sobrepressão na parede de barlavento é levemente assimétrica, que resulta em um pequeno torque no sentido anti-horário. A fachada de sotavento está em uma zona de separação, sofrendo sucção praticamente uniforme. Nas fachadas laterais o escoamento é separado pelas arestas da fachada de barlavento e em função do ângulo de incidência, a parede superior é submetida a sucções praticamente uniformemente distribuídas e na parede inferior, o bulbo de pressões é bem definido, desequilibrando as forças nas fachadas laterais, resultando num efeito torcional anti-horário.

Segundo Loredou-Souza; Carpeggiani; Núñez, *et al* (2006), recomendam que a curva dos coeficientes de arrasto, mostrada na figura 5, seja revista. Os autores relatam que a aplicação da norma brasileira, ao se tratar das forças de arrasto na base, apresenta uma estimativa inferior em relação a resultados obtidos em túnel de vento, na maioria dos casos. Já os momentos torçores medidos em ensaios, em relação aos valores obtidos pela ABNT NBR 6123 (1988), em alguns casos são maiores, em outros são menores e por vezes se equivalem, dependendo do tipo de edificação.

Figura 33: Escoamento do vento sobre um objeto simétrico originando torque



Fonte: Carpeggiani (2004)

5.3 COMPARAÇÃO DAS CARGAS OBTIDAS PARA O GALPÃO INDUSTRIAL

Este estudo de caso apresentou maior diferença de carga entre as normas do que o estudo de caso do prédio residencial. As principais diferenças das duas normas são: o coeficiente de pressão interno, a área de aplicação das cargas e como o vento incide na edificação.

Para a norma brasileira o coeficiente de pressão interno para edificações parcialmente permeáveis é de $-0,3$ e $+0,2$, este valor para vento incidindo a 0° e aquele para vento a 90° . Já a norma norte americana apresenta um coeficiente de pressão interna muito maior que a norma brasileira $\pm 0,55$ independente da incidência do vento.

Quanto a aplicação das cargas a norma brasileira apresenta um modelo mais realista de onde as cargas com majoração são aplicadas. A norma americana apresenta as áreas de aplicação muito generalizadas.

Segundo a NBR 6123 (1988) a incidência do vento na edificação é apenas de 0° e 90° , a ASCE 7-10 (2010) considera o vento sendo aplicado nos quatro cantos da edificação, como demonstram as figuras 10 e 11.

A figura 19 apresenta as cargas aplicadas sobre o telhado da edificação segundo a NBR 6123 (1988), $688,76 \text{ N/m}^2$. A figura 30 apresenta a carga mais desfavorável aplicada no telhado segundo a ASCE 7-10 (2010), $1230,90 \text{ N/m}^2$.

Apresentando uma diferença de 78,7%. Para o dimensionamento de terças e telhas a carga calculada pela NBR 6123 (1988) é de 1170,90 N/m² e pela ASCE 7-10 (2010) é de 1608,11 N/m², apresentando uma diferença de 37,3%.

O principal motivo da grande diferença de carga entre as normas é o coeficiente de pressão interno.

Alguns acidentes podem ser mencionados quando o assunto é esse tipo de edificação. Segundo BLESSMANN (2001), em um depósito de cereais em Carazinho, RS, o vento arrancou diversas telhas, o que levou os responsáveis a ancorarem-nas melhor. Uma segunda ventania levou então as telhas e terças. Em 26 de setembro de 1961, com rajadas de 18,61 m/s, encontrando uma boa ancoragem na parte superior, partiu pela base os pilares de concreto armado de barlavento. Os pilares de concreto armado a barlavento ruíram. Conclui-se que, se toda a estrutura não está dimensionada corretamente, incluindo as fundações, o melhor é deixar as telhas voarem.

5.4 MAPAS DE ISOPLETAS

Segundo Padaratz (1977) apud ALMEIDA (2010), em seu trabalho que possibilitou a geração do mapa de isopletas apresentado na ABNT NBR 6123 (1988), deveria ser buscada, em continuidade às análises desenvolvidas, uma melhoria na geração de dados, bem como dados de melhor qualidade e quantidade.

ALMEIDA (2010) identificou a necessidade de melhorar a realidade traduzida pelo atual mapa de ventos. Aspectos como regionalização, maior representatividade quanto às atuais mudanças climáticas e maior densidade de curvas. Não se pode desprezar o fato de que as velocidades básicas de vento obtidas através de um novo mapa de isopletas, com dados mais atualizados e modelos de interpolação e distribuição também atualizados, seriam condizentes com uma realidade mais atual. Sob o ponto de vista da engenharia estrutural, esta atualização traria maior segurança às edificações.

ALMEIDA (2010) apresenta um novo mapa de isopletas para o Brasil, mostrado na figura 34. O resultado obtido pelo autor é muito satisfatório quanto à densidade e quantidade de informações e principalmente quando comparado com o mapa mostrado na figura 1, que apresenta poucas curvas, principalmente na região norte e nordeste.

Houve um aumento relevante nos valores das velocidades básicas de vento mostrado na figura 34 em comparação com a figura 1, o que, ALMEIDA (2010) confirma como um aumento dos valores das velocidades de ventos extremos para o território brasileiro. O autor comenta que para ser utilizado o novo mapa de isopletras apresentado na figura 33, faz-se necessário uma revisão dos métodos de determinação dos coeficientes adimensionais S_1 , S_2 e S_3 .

Figura 34: Novo mapa de isopletras



Fonte: ALMEIDA (2010)

5.5 TÚNEL DE VENTO

A ABNT NBR 6123 (1988) não apresenta nada com relação à ensaios em túnel de vento, apenas diz que esta norma não se aplica a edificações fora do normal e que estes casos devem ser estudados com mais afinco e autoriza o uso dos resultados obtidos em ensaio em túnel de vento natural como substituição aos coeficientes encontrados na norma.

A norma americana apresenta um capítulo sobre quais condições devem ser feitos os ensaios, são algumas delas:

- A camada atmosférica natural limite (natural atmospheric boundary layer), desenvolvida para atender a variação do vento com a altura.
- Modelos em escala da estrutura e de outras estruturas adjacentes e topografia em escala
- O gradiente de pressão longitudinal do ensaio no túnel de vento deve ser contabilizado
- O efeito do número de Reynolds sobre as pressões e forças são minimizadas

BATTISTA e PFEIL (2010) apontam que as análises experimentais, teórica e numérica-computacional têm, em conjunto, um papel muito importante no desenvolvimento de projetos de estruturas, especialmente para coberturas de grandes vãos.

LOREDO-SOUZA; CARPEGGIANI; NÚÑEZ, *et al* (2006), concluem que os ensaios em túnel de vento com modelos reduzidos comprovam que as desiguais distribuições de pressões, ao longo das fachadas dos prédios, originam efeitos de torção, sendo esses mais acentuados quando a seção transversal não é retangular.

6 CONCLUSÃO

O trabalho apresentado teve como objetivo comparar as cargas obtidas pela norma brasileira de cargas devidas ao vento (ABNT NBR 6123 (1988)) e pela norma norte americana de cargas mínimas para prédios e outras estruturas (ASCE 7-10 (2010)). Para proceder com a pesquisa foi elaborado dois edifícios para estudo, um deles é um galpão industrial e o outro um edifício residencial, ambos situados em Joinville, Santa Catarina.

Dentre os objetivos específicos relatados neste trabalho, todos os objetivos foram alcançados, conforme serão descritos a seguir.

Foram analisados os critérios básicos para o cálculo das cargas de vento em cada norma, especificando os pontos importantes de cada uma.

Para os dois edifícios (galpão e residencial) foram calculadas as cargas de vento atuante em cada uma das normas. Tendo, por exemplo, nas cargas obtidas para o galpão industrial, a norma brasileira menos conservadora. Já a norma norte americana se mostrou menos conservadora nas cargas obtidas para a fachada de 40 metros no edifício residencial.

Pode-se concluir, apesar da norma brasileira ser muito mais antiga que a norma norte americana que ela ainda atende os engenheiros calculistas de modo geral. Porém deve-se ressaltar que esta norma precisa de atualização, vários são os autores que, ou já fizeram estudos para atualizar alguns pontos da norma ou determinaram a partir de ensaios em túnel de vento que determinados pontos da norma brasileira devem ser revisto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALMEIDA, L. O. **Estudo para atualização do mapa de ventos da NBR 6123**. 2010. 116f. Dissertação(Mestrado em Infra-Estrutura Aeroportuária) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - ASCE. ASCE 7-10. **Minimum design loads for buildings and others structures**.Reston, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS - ABNT. NBR 6123. **Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

BATTISTA, R.C; PFEIL, M.S, Aerodinâmica de estruturas espaciais para coberturas de grandes vãos In: Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, 3., 2010. Rio de Janeiro.

BLESSMANN, J. **Acidentes causados pelo vento**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, UFRGS. 2001.

CARPEGGIANNI, E. A. **Determinação dos efeitos estáticos de torção em edifícios altos devidos à ação do vento**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LOREDO-SOUZA, A.M., ROCHA, M. M., *et al.* Ação do vento sobre o empreendimento SP-WELLNESS. *In* SIMPOSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 5., 2003, São Paulo.

LOREDO-SOUZA, A.M.;CARPEGGIANI, E.A;*et al.* Estudo comparativo sobre a ação e efeitos do vento em edifícios altos de concreto armado. *In* SIMPOSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 6., 2006, São Paulo.