

ESTRUTURAS EM AÇO

04 – Ações devidas ao vento



Xanxerê SC (21/04/2015)



Francisco Beltrão PR (13/07/2015)

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon

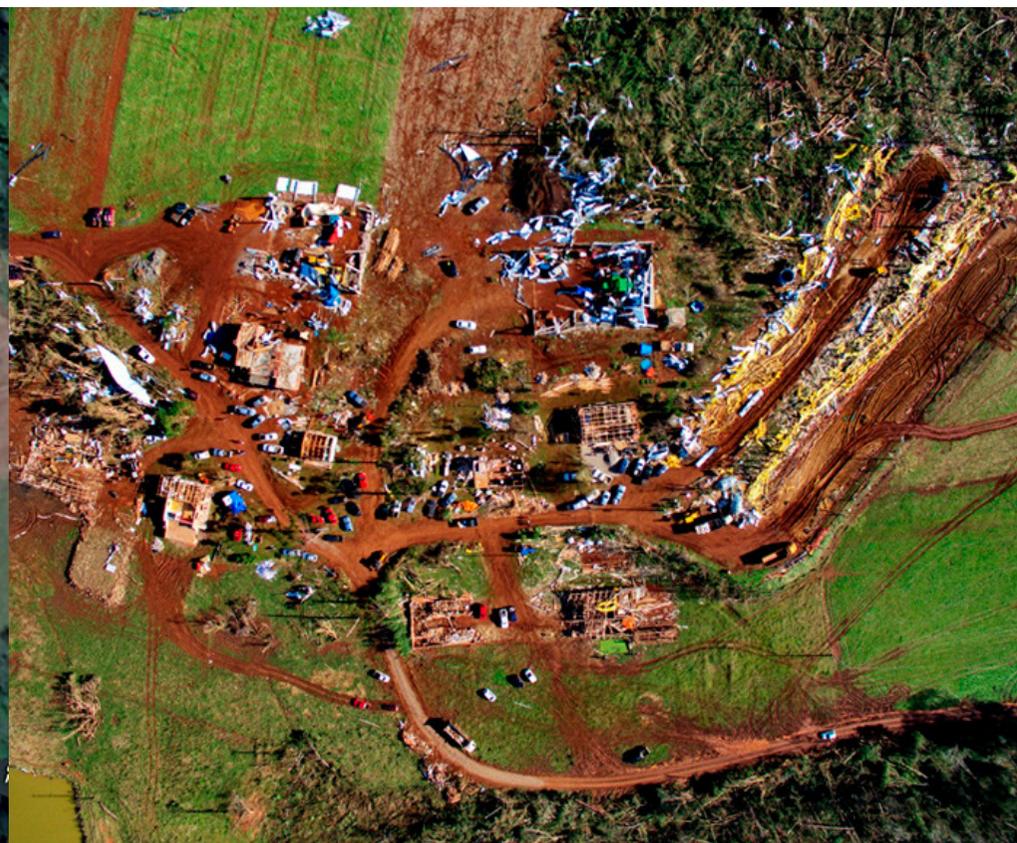




Coxilha RS (11/06/2018) Fonte: GZH

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon





Água Santa RS (11/06/2018) Fonte: GZH



Ventos de furacão: cidade do RS registra rajadas de 142 km/h durante tempestade

Defesa Civil estadual relata registros de destelhamentos, árvores caídas e bloqueios de rodovias

Maiores rajadas de vento no RS em 21/03/2024:

Soledade: 142 km/h

Cruz Alta: 140 km/h

Jaguarão: 125 km/h

Rio Grande: 114 km/h

Pelotas: 111 km/h

São Borja: 108 km/h

São Luiz Gonzaga: 91 km/h

Canguçu: 91 km/h

Santa Maria: 91 km/h

Porto Alegre (Jardim Botânico): 90 km/h



Tornados

- Tem uma extensão horizontal de aproximadamente 2 km.
- Forma de um funil vertical.
- A magnitude dos ventos e o grau de destruição compõem a escala Fujita.



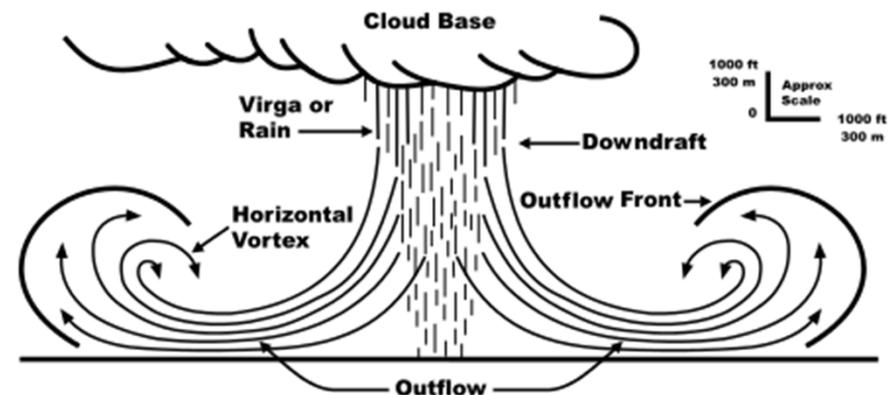
GRAU DE DESTRUIÇÃO

A escala Fujita melhorada mede a intensidade dos ventos e o grau de destruição

ESCALA INTENSIDADE DO VENTO	EF0	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5
						
	105 - 137 KM/H	138 - 178 KM/H	179 - 218 KM/H	219 - 266 KM/H	267 - 322 KM/H	> 322 KM/H
	Destruição parcial de telhados	Telhados, vidraças, muros parcialmente destruídos	Muros caem e telhados destruídos	Residências parcialmente destruídas	Alguns muros de alvenaria ainda resistem	Destruição total

Downburst

- As correntes de vento descem da base da nuvem e com muita força atingem o solo;
- O diâmetro de ação do vento é superior aos 4 km;
- Em situações onde a variação do diâmetro de ação do vento oscila de 0,8 a 4 km, é caracterizado um **microburst** ou microexplosão;
- As correntes de vento podem alcançar os 240 km/h;
- Tanto o tornado, downburst e microexplosão são gerados pelo mesmo tipo de nuvem chamada de Cumulonimbus.



ABNT NBR 6123:2023 - Forças devidas ao vento em edificações

- Esta Norma fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas às ações estática e dinâmica do vento, para efeitos de projeto de edificações, incluindo a estrutura como um todo ou em partes, componentes estruturais e acessórios como revestimentos e vedações.
- O termo edificações é aplicado em sentido amplo, abrangendo edifícios, torres, chaminés, ginásios, pontes e outras obras de engenharia civil.

NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
6123**

Segunda edição
20.12.2023

Forças devidas ao vento em edificações

Wind loads on buildings



ICS 91.080.01

ISBN 978-85-07-09955-0



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 6123:2023
95 páginas

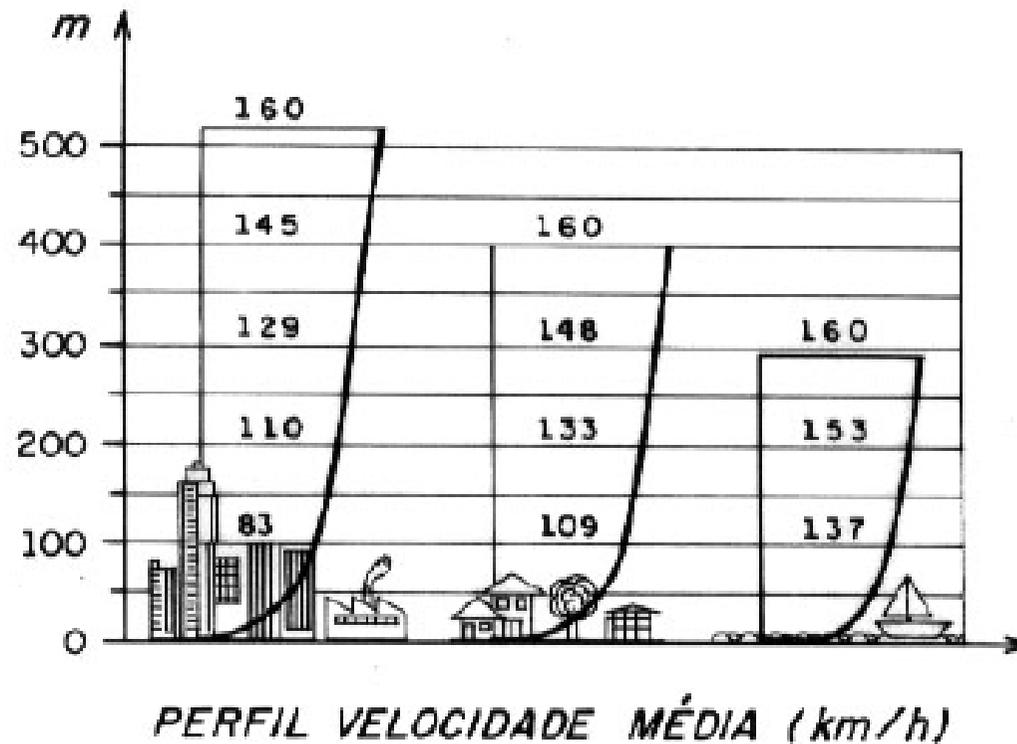
© ABNT 2023

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon



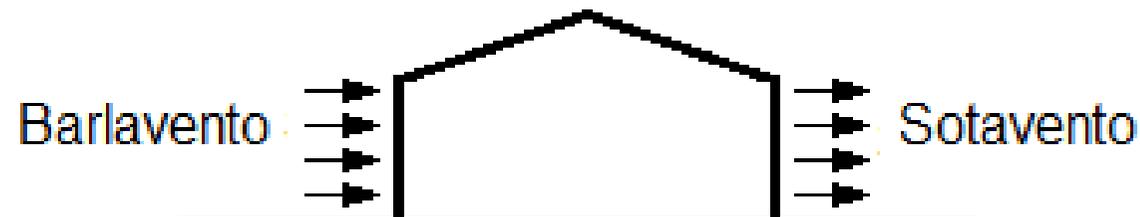
**INSTITUTO
FEDERAL**
Sul-rio-grandense
Câmpus
Passo Fundo

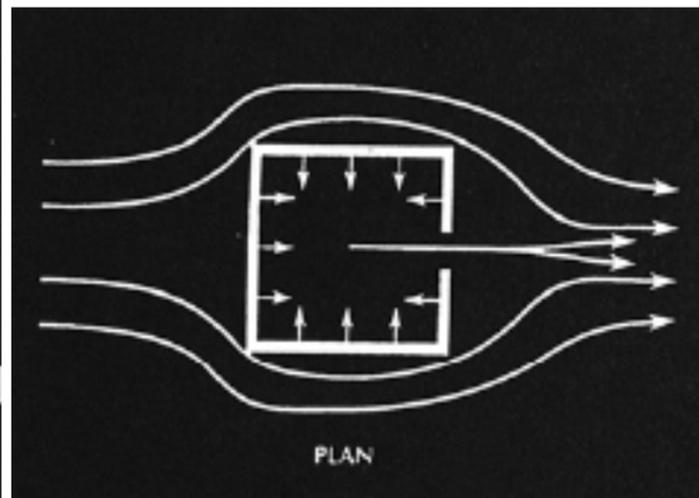
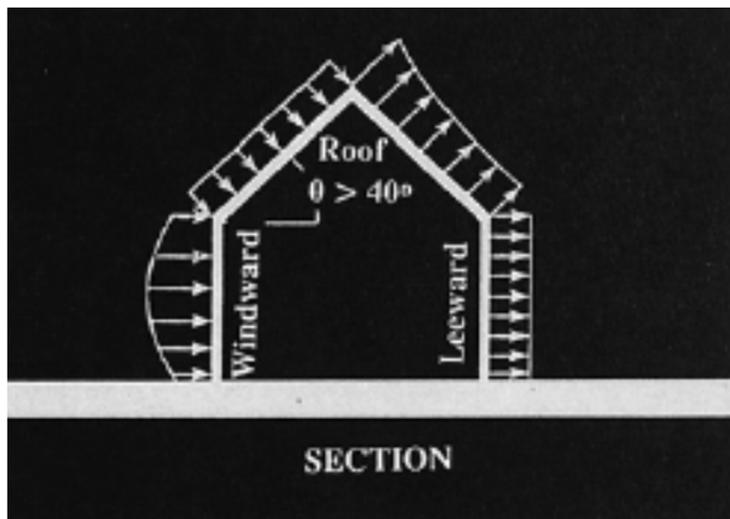
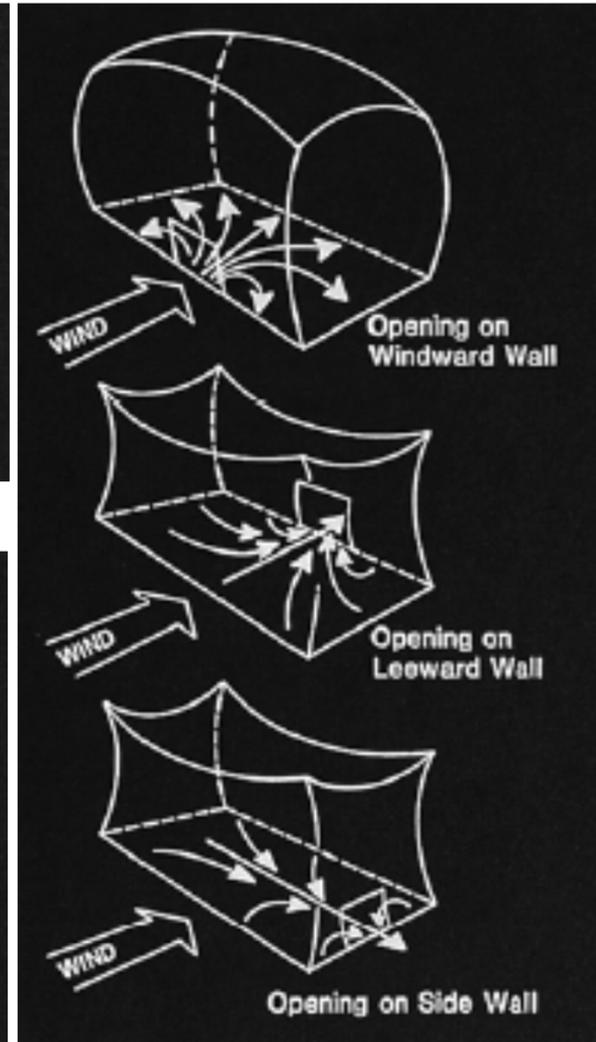
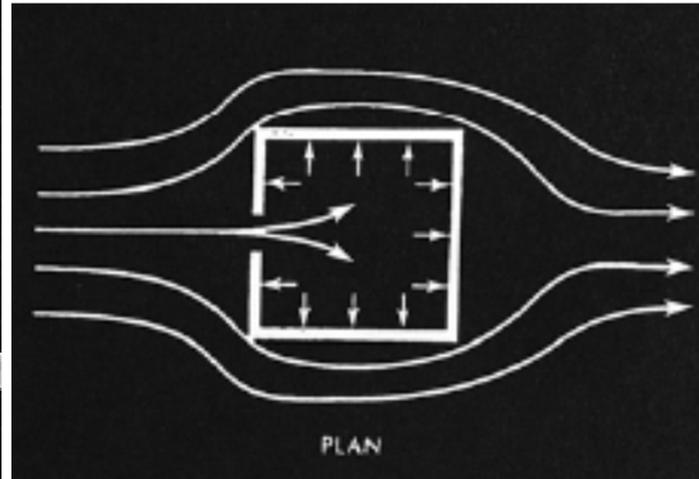
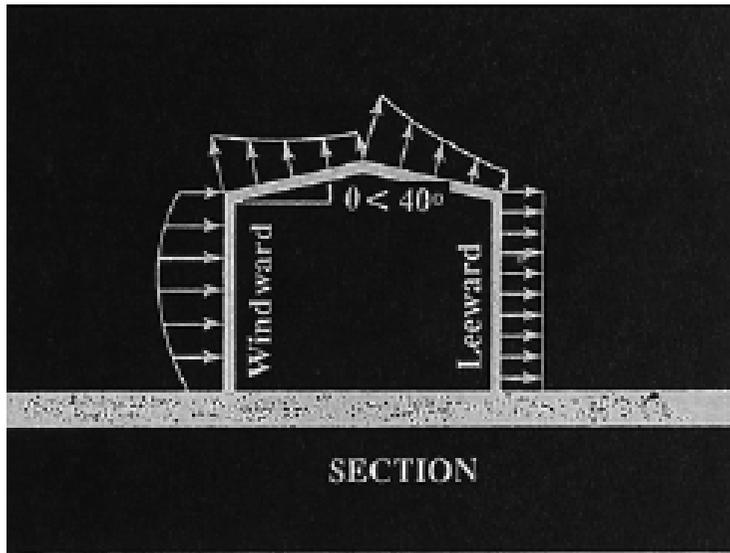
- Este instrumento normativo tem como base ventos originados de sistemas de pressão plenamente desenvolvidos ou EPS (Extended Pressure Systems), observados na CLA (Camada Limite Atmosférica) os quais se caracterizam pelo escoamento horizontal com direção e velocidade relativamente constantes ao longo de sua duração.



A Norma ABNT NBR 6123:2023 define como:

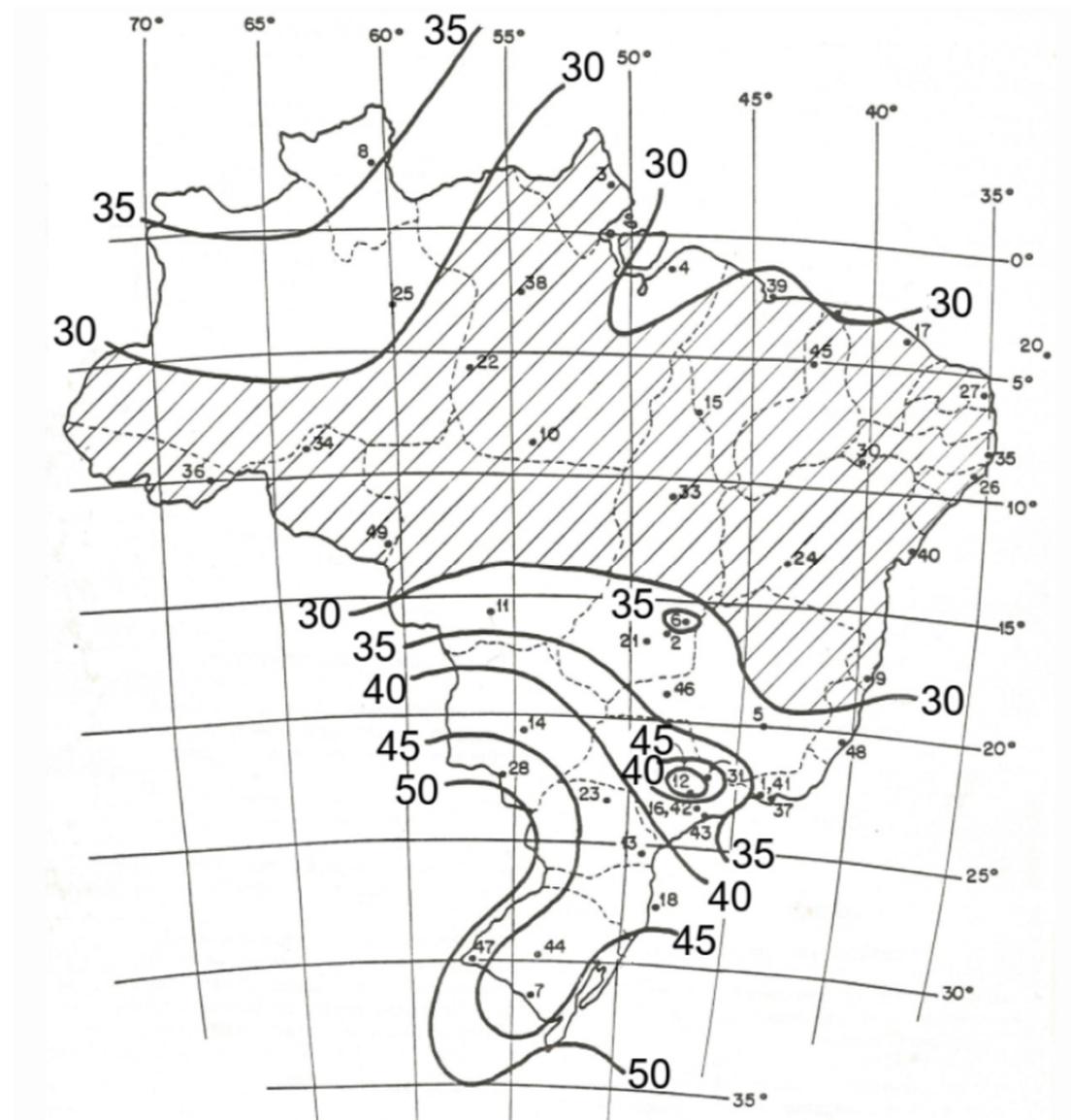
- sucção a pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de referência (sinal negativo);
- sobrepressão a pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência (sinal positivo);
- barlavento a região de onde sopra o vento;
- sotavento a região oposta àquela de onde sopra o vento.





Velocidade básica do vento (V_0)

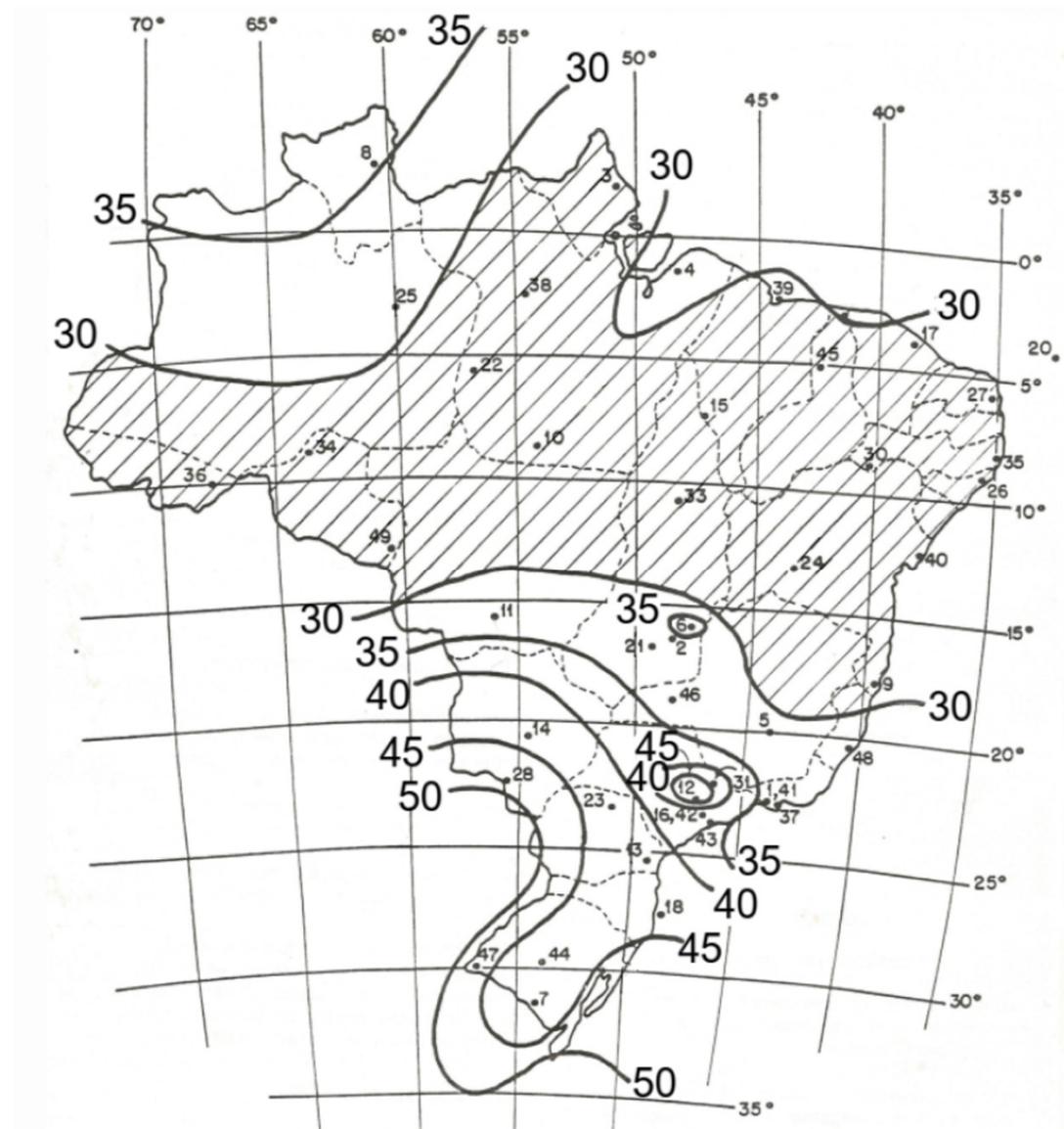
- A velocidade básica do vento, V_0 , é a velocidade de uma rajada de 3 s, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano, excedida em média uma vez em 50 anos.
- A probabilidade de que a velocidade V_0 seja igualada ou excedida neste período é de 63 %. O nível de probabilidade (0,63) e a vida útil (50 anos) adotados são considerados adequados para edificações normais destinadas a moradias, hotéis, escritórios etc.



Velocidade característica (Vk)

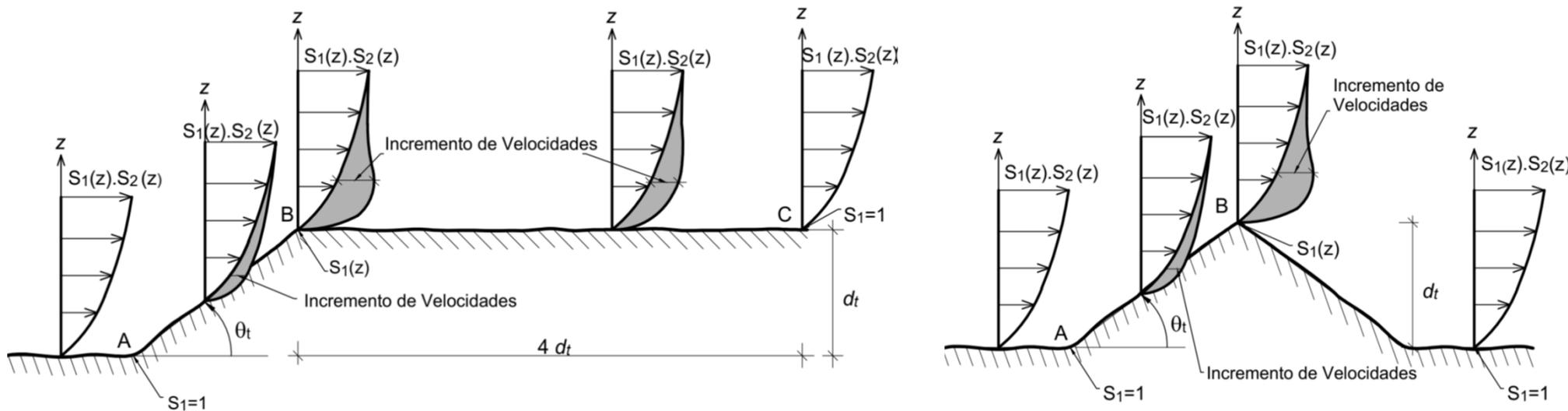
- O valor da velocidade característica do vento é obtido a partir da velocidade básica, multiplicada por três fatores:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$



Fator S1: Considera as variações do relevo do terreno;

- Em terrenos planos ou fracamente acidentados: $S1 = 1,0$;
- Em taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um escoamento de ar bidimensional soprando no sentido indicado o valor de S1 varia em função da altura (z), da diferença de nível (d) e da inclinação média do talude ou encosta do morro.



- Em vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção: $S1 = 0,9$.

Fator S2: considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação, estrutura, parte da estrutura ou componente em consideração.

Rugosidade do terreno:

- **Categoria I:** superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente;
Ex: mar calmo, lagos, rios e pântanos sem vegetação.
- **Categoria II:** terrenos abertos, em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas;
Ex: zonas costeiras planas, pântanos com vegetação rala, campos de aviação, pradarias, charnecas e fazendas sem sebes ou muros.
A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 m.



- **Categoria III**: Categoria III: terrenos planos ou ondulados com obstáculos, como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas;
Ex: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos, fazendas com sebes e/ou muros, subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.
A cota média do topo dos obstáculos é considerada 3,0 m.

- **Categoria IV**: terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada;
Ex: zonas de parques e bosques com muitas árvores, cidades pequenas e seus arredores, subúrbios densamente construídos de grandes cidades, áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.
A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10 m.

- **Categoria V**: terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e poucos espaçados.
Ex: florestas com árvores altas de copas isoladas, centros de grandes cidades, complexos industriais bem desenvolvidos.

Dimensões da edificação:

A referida Norma define três classes de edificações, em função de suas dimensões:

- **Classe A (3 segundos)**: toda edificação, estrutura, parte de edificação ou de estrutura, unidades e sistemas de vedação e seus elementos de fixação, cuja maior dimensão vertical ou horizontal não exceda 20 m;
- **Classe B (5 segundos)**: toda edificação, estrutura, ou parte de edificação e estrutura, cuja maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal seja maior do que 20 m e menor ou igual a 50 m;
- **Classe C (10 segundos)**: toda edificação, estrutura ou parte de edificação e estrutura, cuja maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

Para toda edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 80 m, o intervalo de tempo correspondente pode ser determinado de acordo com as indicações do Anexo A.

Altura sobre o terreno

O fator S2 usado no cálculo da velocidade do vento em uma altura z acima do nível geral do terreno é calculado pela seguinte equação:

$$S2 = b \cdot F_r \left(\frac{z}{10} \right)^p$$

Tabela 1 – Parâmetros meteorológicos

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

Tabela 2 – Fator de rajada

F_r	Classes		
	A	B	C
	1,00	0,98	0,95

Fator S3: é baseado em conceitos estatísticos e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

Grupo	Descrição	S_3	T_p (anos)
1	Estruturas 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, edifícios de centrais de controle, etc.). Pontes rodoviárias e ferroviárias. Estruturas que abrigam substâncias inflamáveis, tóxicas e/ou explosivas. Vedações das edificações do grupo 1 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,11	100
2	Estruturas cuja ruína represente substancial risco à vida humana, particularmente a pessoas em aglomerações, crianças e jovens, incluindo, mas não limitado a: <ul style="list-style-type: none"> • edificações com capacidade de aglomeração de mais de 300 pessoas em um mesmo ambiente, como centros de convenções, ginásios, estádios etc. • creches com capacidade maior do que 150 pessoas; • escolas com capacidade maior do que 250 pessoas; Vedações das edificações do grupo 2 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,06	75
3	Edificações para residências, hotéis, comércio, indústrias. Estruturas ou elementos estruturais desmontáveis com vistas a reutilização. Vedações das edificações do grupo 3 (telhas, vidros, painéis de vedação).	1,00	50
4	Edificações não destinadas à ocupação humana (depósitos, silos) e sem circulação de pessoas no entorno. Vedações das edificações do grupo 4 (telhas, vidros, painéis de vedação).	0,95	37
5	Edificações temporárias não reutilizáveis. Estruturas dos Grupos 1 a 4 durante a construção (fator aplicável em um prazo máximo de 2 anos). Vedações das edificações do grupo 5 (telhas, vidros, painéis de vedação).	0,83	15
NOTA Exclusivamente para o projeto das vedações, se permite que a velocidade característica seja calculada com o fator $(0,92 \times S_3)$, em vez de S_3			

A **pressão dinâmica** ou de obstrução do vento é dada pela equação seguinte, com base nos conhecimentos da mecânica dos fluidos:

$$q = 0,613(V_k)^2(N/m^2)$$

A determinação da força estática equivalente do vento, a ser considerada na análise do sistema estrutural, dependerá ainda de outros fatores relacionados com as partes e características da edificação.



Coeficientes aerodinâmicos

➤ Coeficientes de pressão

Como a força do vento depende da diferença de pressão nas faces opostas da parte da edificação, os coeficientes de pressão são dados para superfícies externas e superfícies internas.

Entende-se como pressão efetiva o valor calculado conforme a seguir:

$$\Delta p = \Delta p_e - \Delta p_i$$

Δp_e é a pressão efetiva externa;

Δp_i é a pressão efetiva interna.

Portanto: $\Delta p = (c_{pe} - c_{pi}) q$



➤ Coefficientes de forma

A força do vento sobre um elemento plano de edificação, estrutura ou componente de área A atua em direção perpendicular ao mesmo, sendo calculada conforme a seguinte equação:

$$F = F_e - F_i$$

F_e é a força externa agindo na superfície plana de área A ;

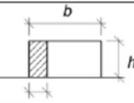
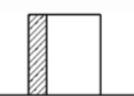
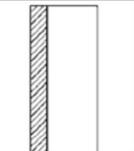
F_i é a força interna agindo na superfície plana de área A .

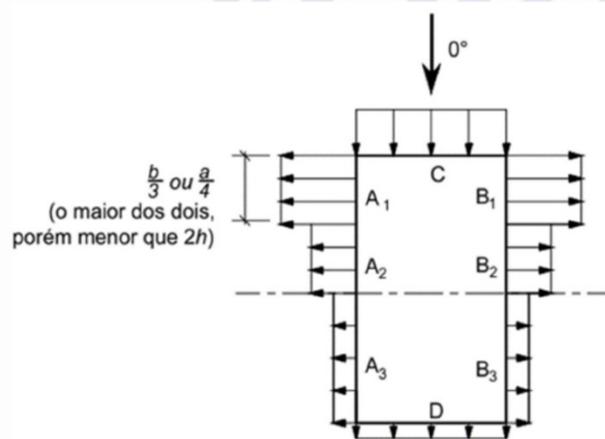
Portanto: $F = q \cdot A (C_e - C_i)$

Zonas com altas sucções ocorrem junto às arestas de paredes e de telhados e têm sua localização dependendo do ângulo de incidência do vento.

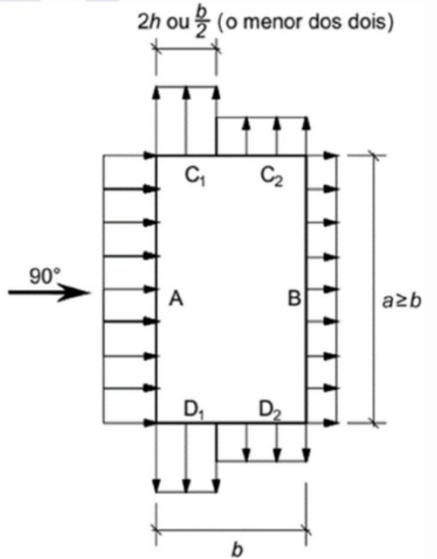


Tabela 6 – Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular $a \times b$, sendo b a menor dimensão

Altura relativa		Valores de C_e para								C_{pe} médio
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
		A ₁ e B ₁	A ₂ e B ₂	C	D	A	B	C ₁ e D ₁	C ₂ e D ₂	
 $0,2b$ ou h (o menor dos dois)	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-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
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-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
 $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-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



$\frac{b}{3}$ ou $\frac{a}{4}$
(o maior dos dois, porém menor que $2h$)



$2h$ ou $\frac{b}{2}$ (o menor dos dois)

$a \geq b$

Tabela 7 – Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular $a \times b$, sendo b a menor dimensão

Altura Relativa	θ	Valores de C_e para				C_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 0^\circ$					
		EFI	GHJ	EG	FH				
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$ 	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	-1,1		
	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			
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$ 	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				
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$ 	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					
		$a \geq b$ $x = \frac{b}{3} \text{ ou } \frac{a}{4}$ (o maior dos dois valores, porém $\leq 2h$)							
		$y = h \text{ ou } 0,15b$ (o menor dos dois valores)							



➤ Pressões internas em edificações

Se a edificação for totalmente impermeável ao ar, a pressão no seu interior será invariável no tempo e independente da velocidade da corrente de ar externa;

São considerados elementos construtivos impermeáveis: lajes e cortinas de concreto armado ou protendido; paredes de alvenaria sem portas, janelas ou quaisquer outras aberturas;

Os demais elementos construtivos e vedações são considerados permeáveis, como: juntas entre painéis de vedação e entre telhas, frestas em portas e janelas, ventilações em telhas e telhados, vãos abertos de portas e janelas, chaminés, lanternins, etc.

Abertura dominante é uma abertura cuja área é igual ou superior à área total das demais aberturas que constituem a permeabilidade considerada sobre toda a superfície externa da edificação (inclui a cobertura se houver forro permeável ao ar ou na ausência de forro).



➤ Coeficientes de pressão interna – Método simplificado

- Duas faces opostas igualmente permeáveis; as outras faces impermeáveis:
vento perpendicular a uma face permeável: $c_{pi} = + 0,2$;
vento perpendicular a uma face impermeável: $c_{pi} = - 0,3$;
- Quatro faces igualmente permeáveis: $c_{pi} = -0,3$ ou 0 (considerar o valor mais nocivo);
- Abertura dominante em uma face; as outras faces de igual permeabilidade: (ver 6.3.2);
- Edificações estanques: $c_{pi} = - 0,2$ ou 0 (considerar o valor mais nocivo);
- Edificação cilíndrica sem aberturas nas paredes e com topo aberto:
 $h / d \geq 0,3$ $c_{pi} = -0,8$;
 $h / d < 0,3$ $c_{pi} = -0,5$.



➤ Coeficientes de força

A força global do vento sobre uma edificação ou parte dela, F_g , é obtida pela soma vetorial das forças que aí atuam, e é expressa de forma geral como:

$$F = q \cdot C \cdot A \cdot f_v$$

A componente da força global na direção do vento, força de arrasto F_a , é obtida por:

$$F_a = q \cdot C_a \cdot A_e \cdot f_v$$

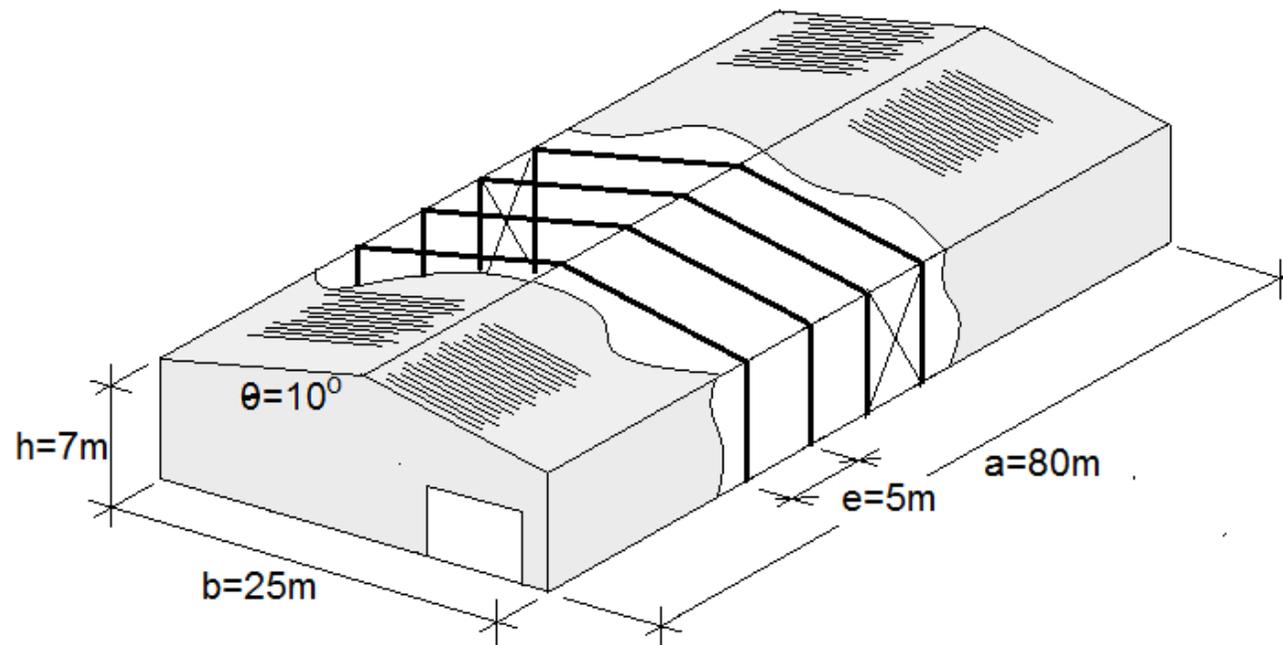
C_a é o coeficiente de arrasto;

A_e é a área frontal efetiva, de projeção ortogonal da edificação perpendicular à direção do vento;

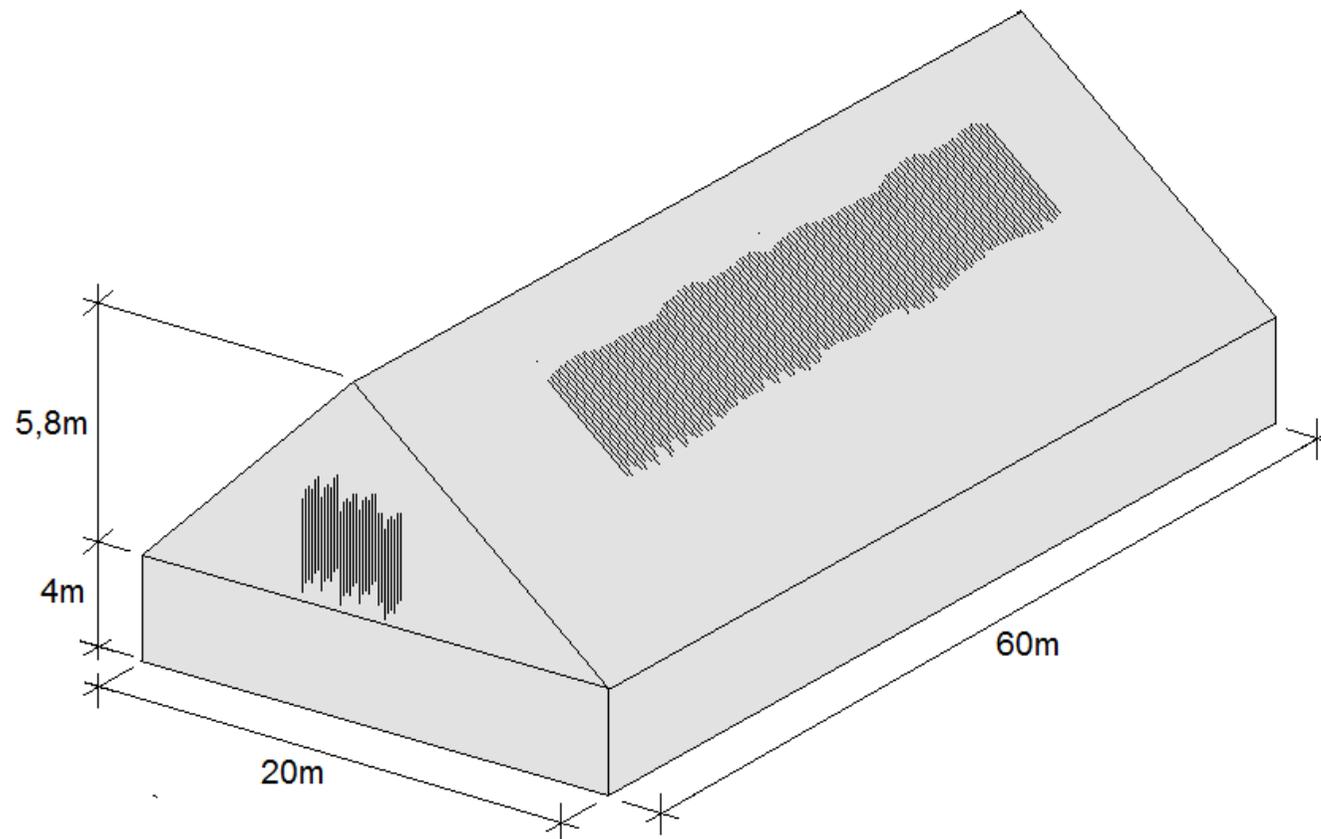
f_v é o fator de vizinhança.



Exemplo 01 – Um pavilhão de duas águas, simétrico, será construído no interior de Passo Fundo/RS e terá pequenas aberturas em duas faces opostas, como mostra a figura. O sistema estrutural adotado será em pórticos formados por perfis I soldados, espaçados a cada 5 metros. Para fins de análise do sistema estrutural, determine as ações devidas ao vento sobre esta edificação.



Exercício Proposto – Um armazém para depósito de grãos será construído no norte do estado do Mato Grosso, como mostra a figura. O sistema estrutural será em pórticos treliçados formados por perfis metálicos formados a frio, espaçados a cada 6 metros e sem aberturas. Determine as ações devidas ao vento sobre esta edificação.



- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **ANSI/AISC 360-16**: Specification for Structural Steel Buildings. Chicago: AISC, 2016.
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **Steel Construction Manual**, 15 ed. Chicago: AISC, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA 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 BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5884**: Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.
- BAIÃO F. O. T.; SILVA, A. C. V.; QUEIROZ, G.. **Ligações para Estruturas de Aço** – Guia Prático para Estruturas com Perfis Laminados. 3 ed. São Paulo: Gerdau Açominas, 2006.
- BORDIGNON, R. **Modelo momento-rotação de ligações parafusadas entre viga e coluna em aço com dupla cantoneira de alma**. 2022. 212 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2022.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Galpões para usos gerais. 4 ed. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Ligações em estruturas metálicas. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2017.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Uso fácil: ABNT NBR 8800. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2022.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Transporte e montagem. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2005.
- CHAMBERLAIN PRAVIA, Z. M.; FICANHA R.; FABEANE R. **Projeto e cálculo de estruturas de aço**: Edifício industrial detalhado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- FAKURY, R. H.; CASTRO E SILVA, A. L. R.; CALDAS, R. B. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson, 2016.
- FISHER, J. M.; KLOIBER, L. A. **Steel Design Guide 1**: Base plate and anchor rod design. 2 ed. Ed. Chicago: AISC, 2006.
- LEET, K. M.; UANG, C.; e GILBERT, A. M **Fundamentos da análise estrutural**. Porto Alegre: AMGH, 2010.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático de acordo com a NBR8800:2008. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- RCSC. **Specification for structural joints using high strength bolts**. Research Council on Structural Connections, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2020.





EDUCAÇÃO
PÚBLICA
100%
GRATUITA

MUITO OBRIGADO

Prof. Rodrigo Bordignon
Engenheiro Civil, Dr.

*www.ifsul.edu.br
rodrigobordignon@ifsul.edu.br*