



ESTRUTURAS METÁLICAS

DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A
NBR-8800:2008

Forças devidas ao Vento em Edificações

Prof Marcelo Leão – Cel

Prof Moniz de Aragão – Maj

Ação do Vento nas Estruturas

- Vento pode ser definido como o movimento de uma massa de ar devido às variações de temperatura e pressão.



- Essa massa de ar em movimento possui energia cinética, e apresenta inércia às mudanças do deslocamento.
- Se um corpo é colocado no fluxo do vento, e ocorre a alteração da sua trajetória, é porque houve uma interação de forças entre a massa de ar e a superfície do corpo.
- Pode-se mostrar que essa pressão de interação é função da *forma* e *rugosidade* do obstáculo, e do *ângulo* de incidência e *velocidade* do vento.

Ação do Vento nas Estruturas

- A expressão da “pressão dinâmica” do vento sobre uma superfície pode ser obtida na mecânica dos fluidos a partir da simplificação da equação do movimento para o escoamento de um fluido sem atrito (Eq. de Euler), sendo proporcional ao quadrado da velocidade do vento (V), à massa específica do ar (ρ) e dependente ainda de outros fatores, como o ângulo de incidência (C_p):

$$p = \frac{1}{2} \rho C_p V^2$$

- **NBR 6123 – item 4.2.c:**

$$q = 0,613 V_k^2 \frac{N}{m^2}$$

Ação do Vento nas Estruturas

- **Força Estática (Equivalente) do Vento**

$$F = (C_e - C_i) q A$$

F : força equivalente normal à superfície

C_e : coef. de forma externo

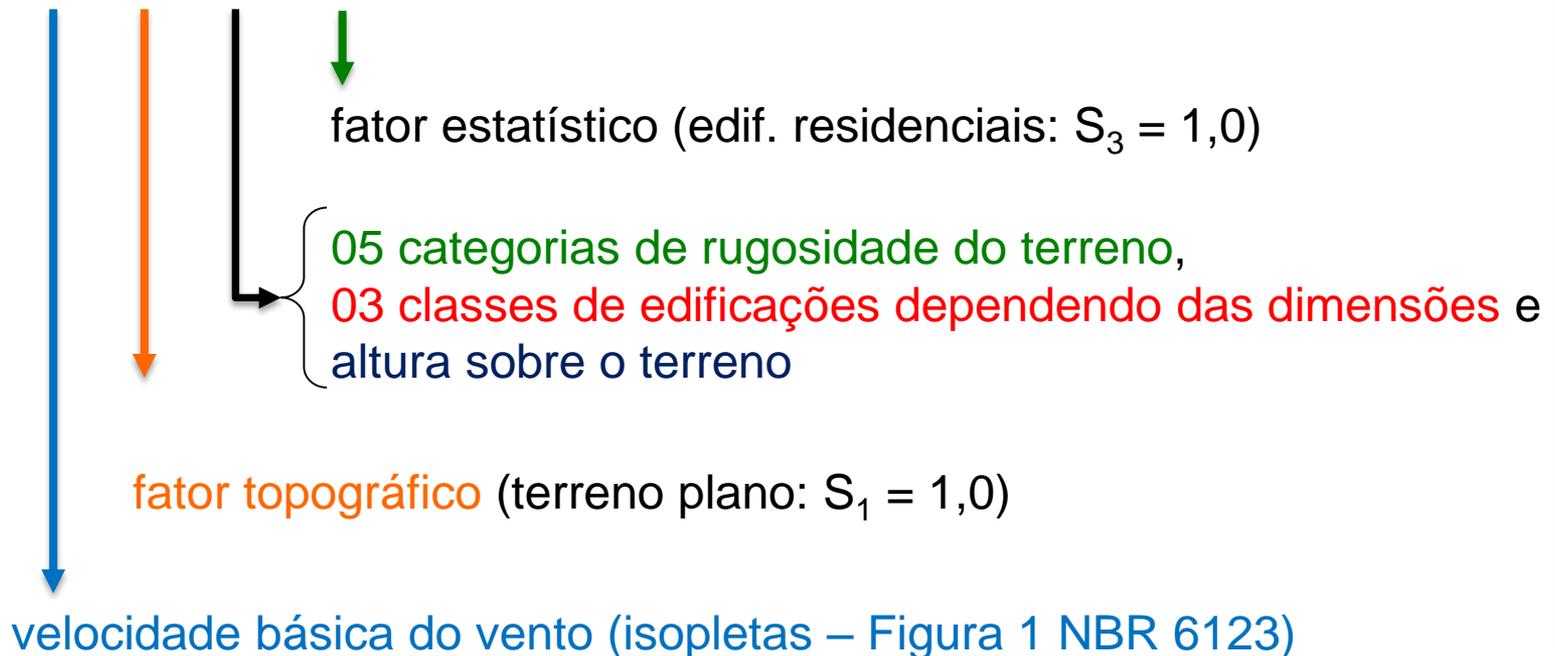
C_i : coef. de forma interno

A : área do elemento plano considerada

q : pressão dinâmica

Ação do Vento nas Estruturas

$$V_k = V_o S_1 S_2 S_3 = \text{Velocidade característica (N/m}^2\text{)}$$



Ação do Vento nas Estruturas

Mapa de Isopletas:

valores podem ser obtidos por interpolação

A velocidade básica do vento, V_0 , é a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano.

Como regra geral, é admitido que o vento básico pode soprar de qualquer direção horizontal.

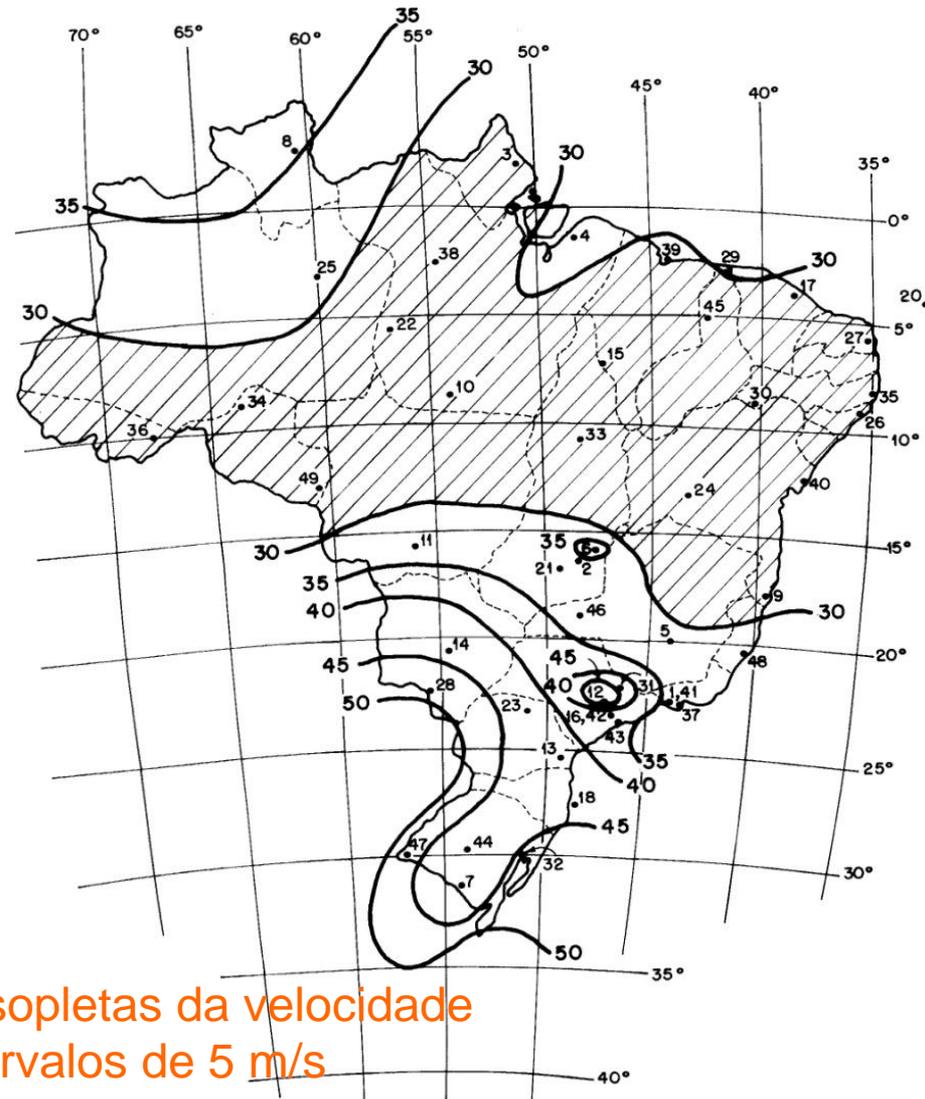
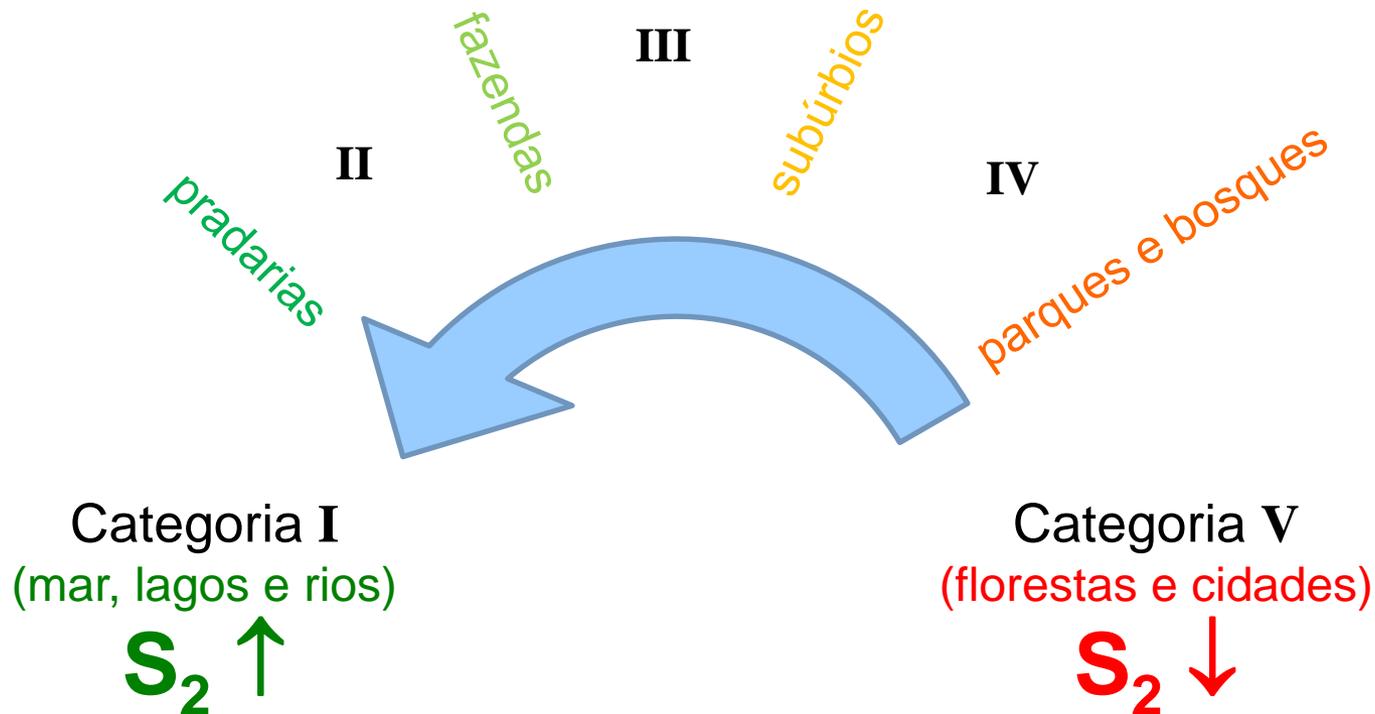


Figura 1 NBR 6123

Apresenta o gráfico das isopletas da velocidade básica no Brasil, com intervalos de 5 m/s

Ação do Vento nas Estruturas

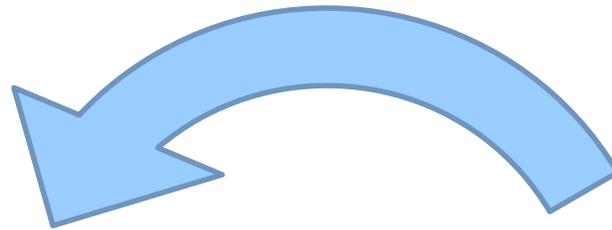
05 categorias da **RUGOSIDADE** do terreno:



Ação do Vento nas Estruturas

03 classes de edificações dependendo das
DIMENSÕES:

Classe B



Classe A

(maior dimensão $\leq 20\text{m}$)

S₂ ↑

Classe C

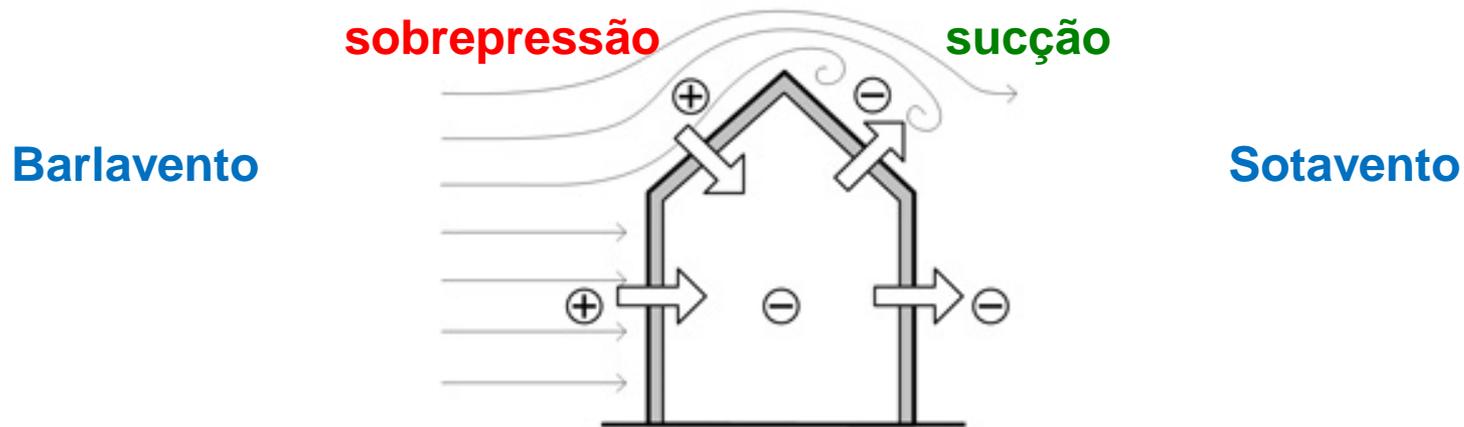
(maior dimensão $> 50\text{m}$)

S₂ ↓

Ação do Vento nas Estruturas

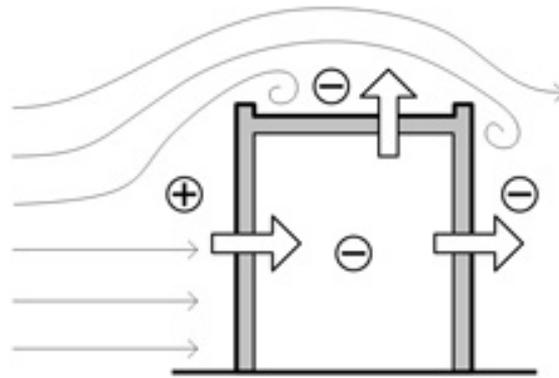
- Terminologia

- **Barlavento:** Região de onde sopra o vento, em relação à edificação.
- **Sobrepessão:** Pressão efetiva acima da pressão atmosférica de referência (sinal positivo).
- **Sotavento:** Região oposta àquela de onde sopra o vento, em relação à edificação.
- **Sucção:** Pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de referência (sinal negativo).



Ação do Vento nas Estruturas

- Valores positivos dos coeficientes de forma externo e interno correspondem a sobrepressões, e valores negativos correspondem a sucções.
- Um valor positivo para F indica que esta força atua para o interior, e um valor negativo indica que esta força atua para o exterior da edificação.

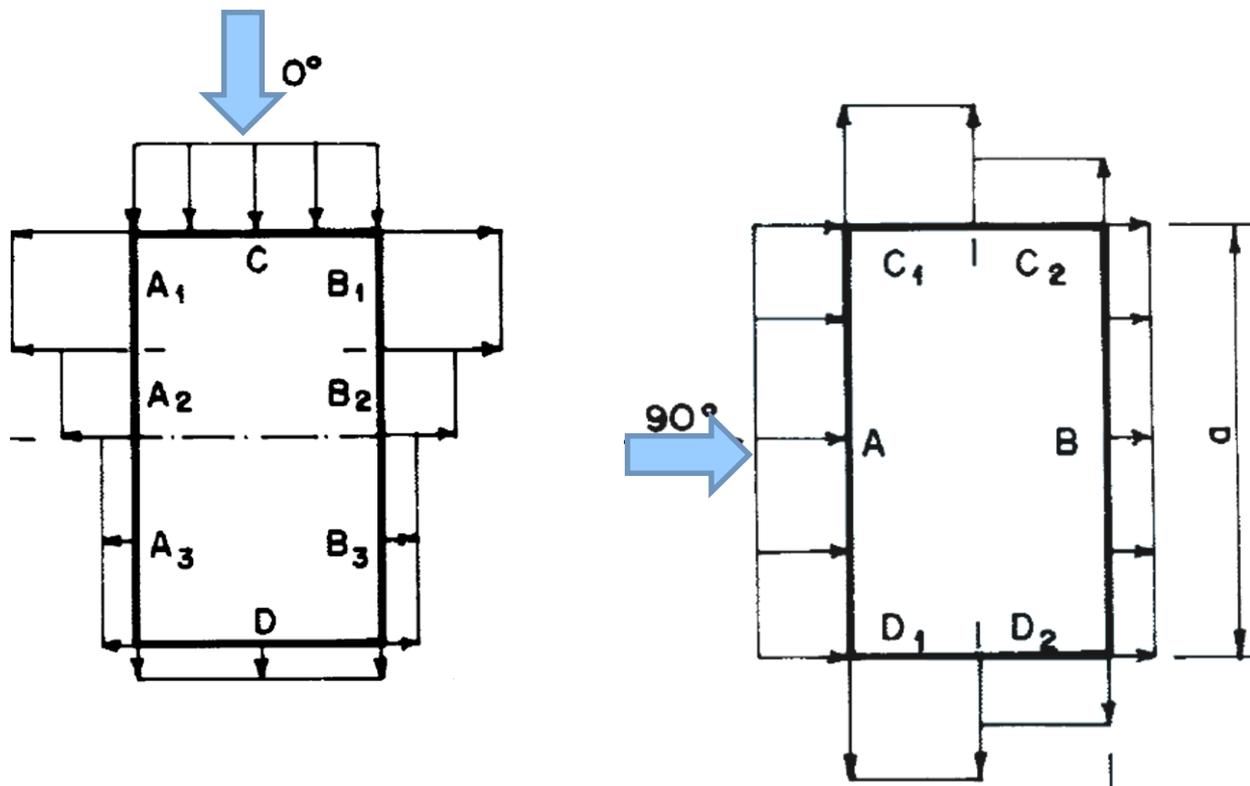


Ação do Vento nas Estruturas

- **Coeficientes de forma externos (C_e):**
 - Item 6.1 da Norma
 - Tabelas 4 a 9 (casos usuais)
 - Anexos E e F (casos especiais)
- **Coeficientes de forma internos:**
 - Item 6.2 da Norma

Ação do Vento nas Estruturas

Paredes de edificações de planta retangular:
Coeficientes de pressão e de forma externos (Tab. 4)



Ação do Vento nas Estruturas

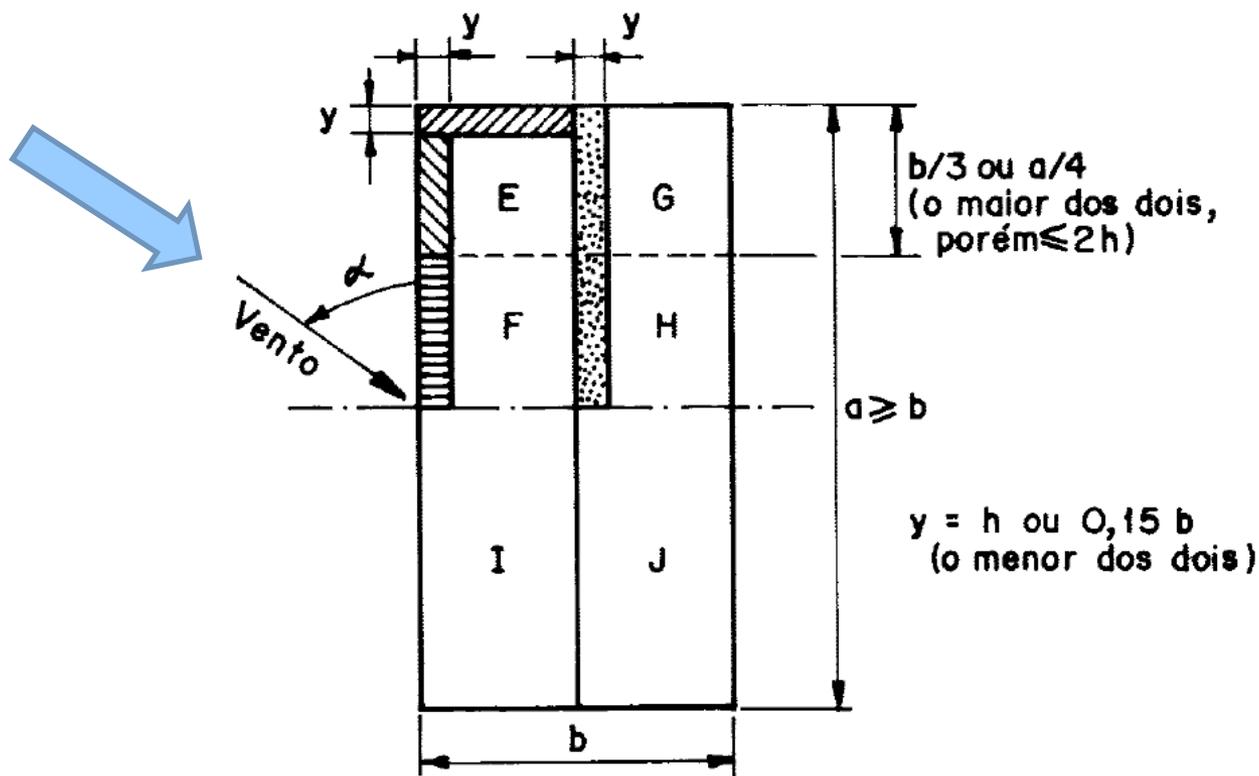


Ventos densos na costa da Florida, permitindo a visualização de sua trajetória em torno dos edifícios.

Ação do Vento nas Estruturas

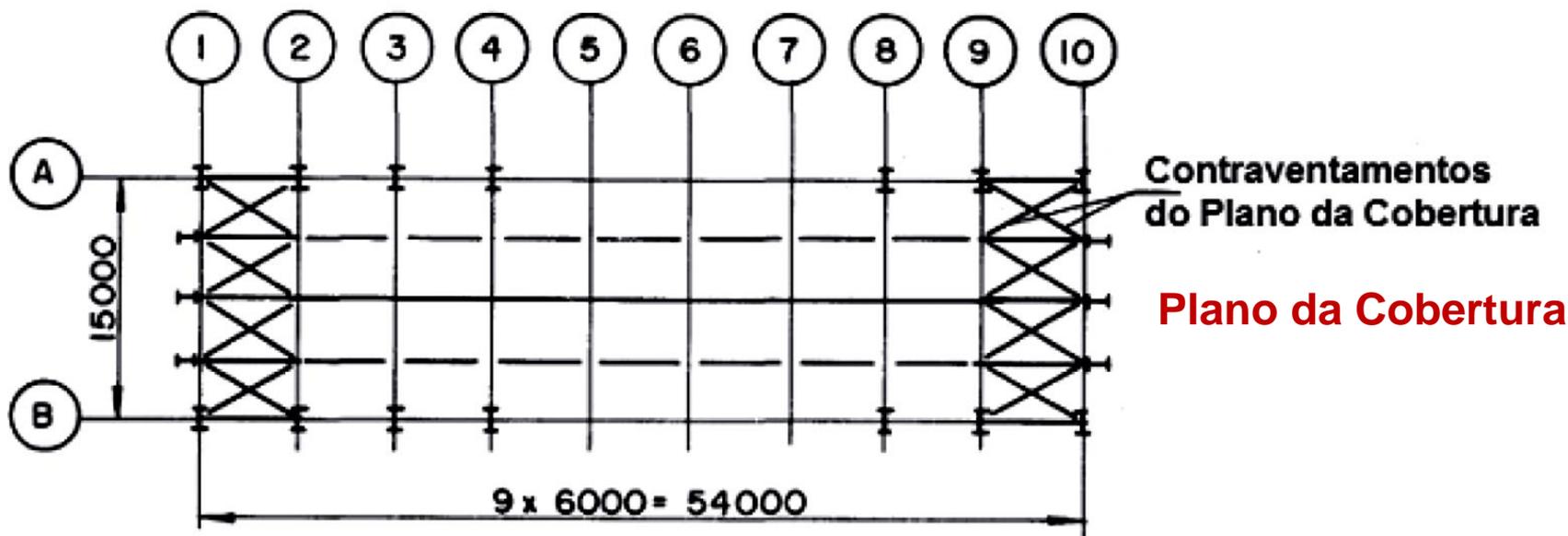
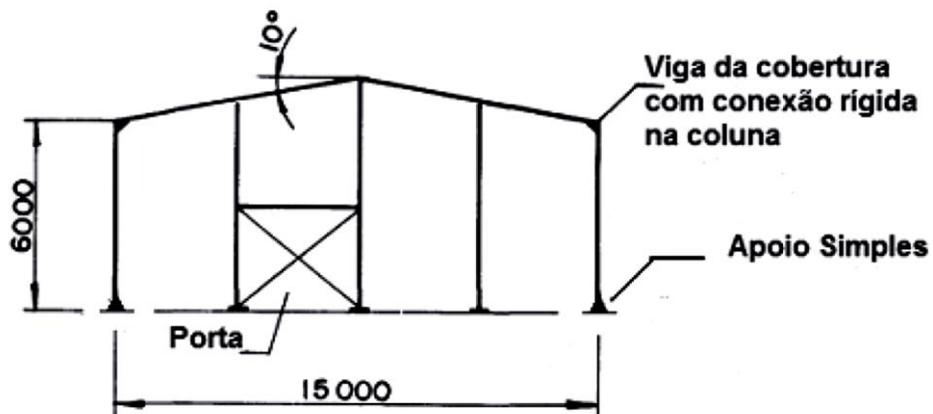
Telhados com duas águas, simétricos:

Coeficientes de pressão e de forma, externos (Tab. 5)



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

**Seção transversal
Fachada**



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Dados:

região de São Paulo



$$V_0 = 40 \text{ m/s}$$

terreno plano



$$S_1 = 1,0$$

terreno categoria III

edificação classe C



$$b = 0,93$$

$$F_r = 0,95 \quad (\text{Tab. 1 NBR 6123})$$

$$p = 0,115$$



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

$$S_{2,(3\text{m})} = 0,77$$

$$S_{2,(7,3\text{m})} = 0,85$$

depósito c/ baixo
fator de ocupação



$$S_3 = 0,95$$


$$\begin{cases} V_{k,(3\text{m})} = 29,26 \text{ m/s} \\ V_{k,(7,3\text{m})} = 32,30 \text{ m/s} \end{cases}$$


$$\begin{cases} q_{(3\text{m})} = 524,82 \text{ N/m}^2 \\ q_{(7,3\text{m})} = 639,54 \text{ N/m}^2 \end{cases}$$

Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Coeficientes de pressão externa (C_{pe}) para as paredes:

Altura: $h=6m$

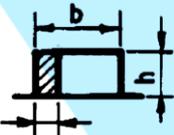
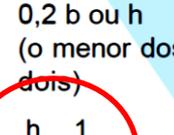
Largura: $b=15m$

Comprimento: $a=54m$

Relação altura/largura: $\frac{h}{b} = \frac{6}{15} = 0,4$

Relação comprimento/largura: $\frac{a}{b} = \frac{54}{15} = 3,6$

Tabela 4 - NBR 6123

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	
 $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
 $0,2 b$ ou h (o menor dos dois) $2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$ $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0

Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Coeficientes de pressão externa (C_{Pe}) para as paredes:

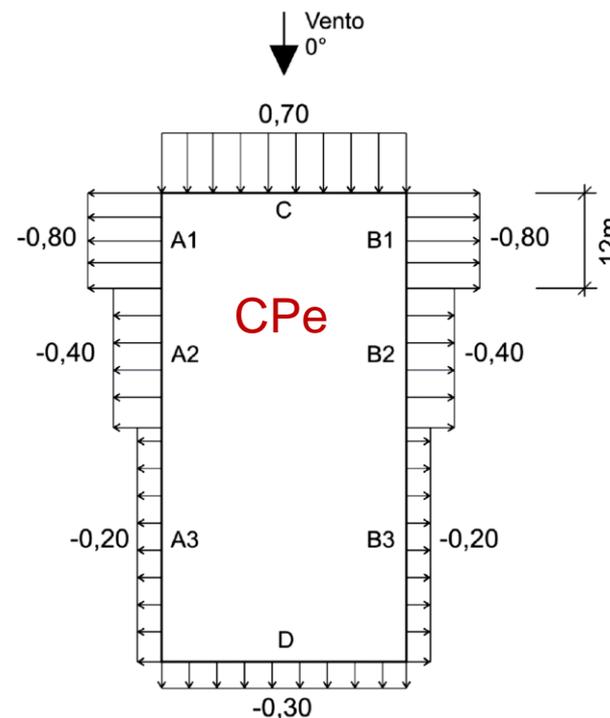
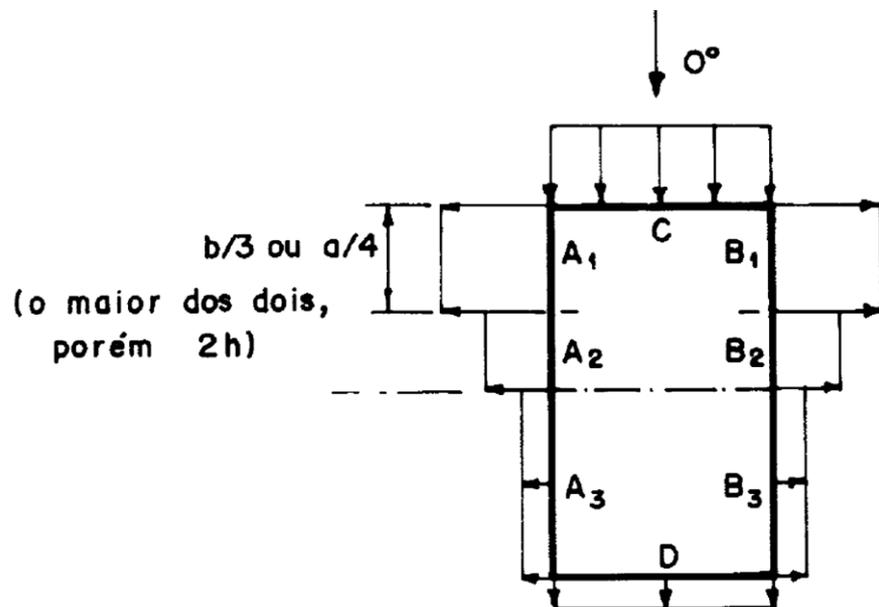
Altura: $h=6m$

Largura: $b=15m$

Comprimento: $a=54m$

Vento a 0° :

$\alpha = 0^\circ$			
A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D
-0,8	-0,4	+0,7	-0,3



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Coeficientes de pressão externa (C_{Pe}) para as paredes:

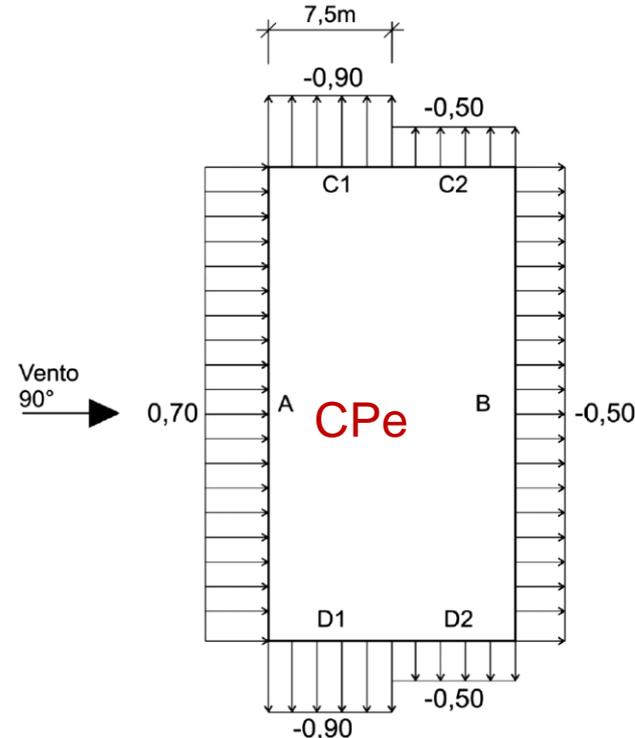
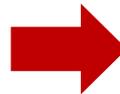
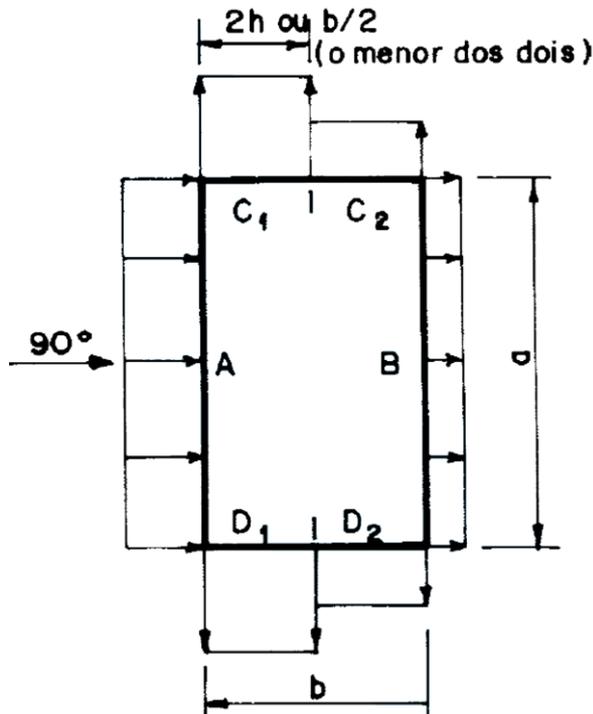
Altura: $h=6m$

Largura: $b=15m$

Comprimento: $a=54m$

Vento a 90°:

$\alpha = 90^\circ$			
A	B	C ₁ e D ₁	C ₂ e D ₂
+ 0,7	- 0,5	- 0,9	- 0,5



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Coeficientes de pressão externa (C_{pe}) para o telhado

Altura: $h=6m$

Largura: $b=15m$

Comprimento: $a=54m$

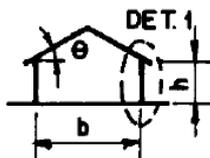
Relação altura/largura: $\frac{h}{b} = \frac{6}{15} = 0,4$

inclinação do telhado de 10°

Tabela 5 – NBR 6123

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

$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

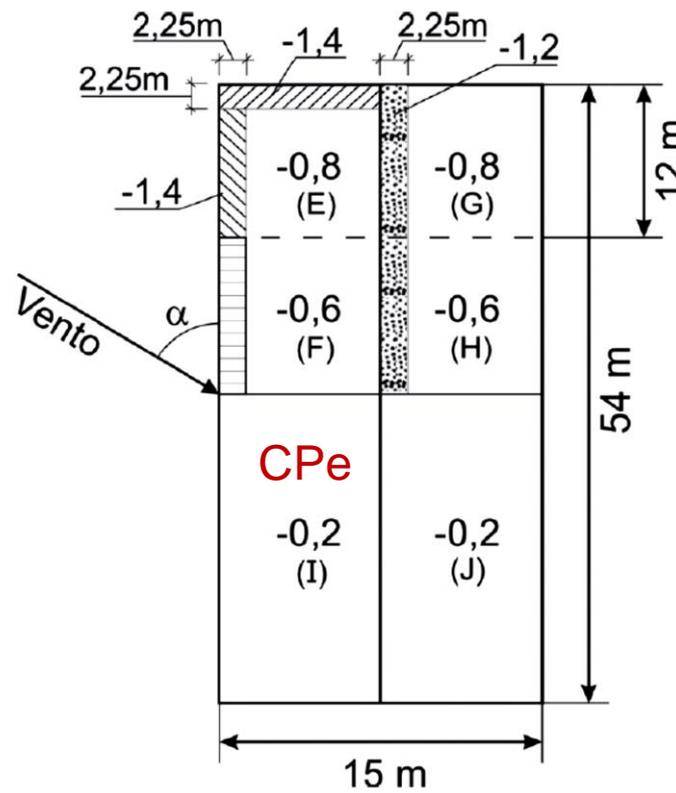
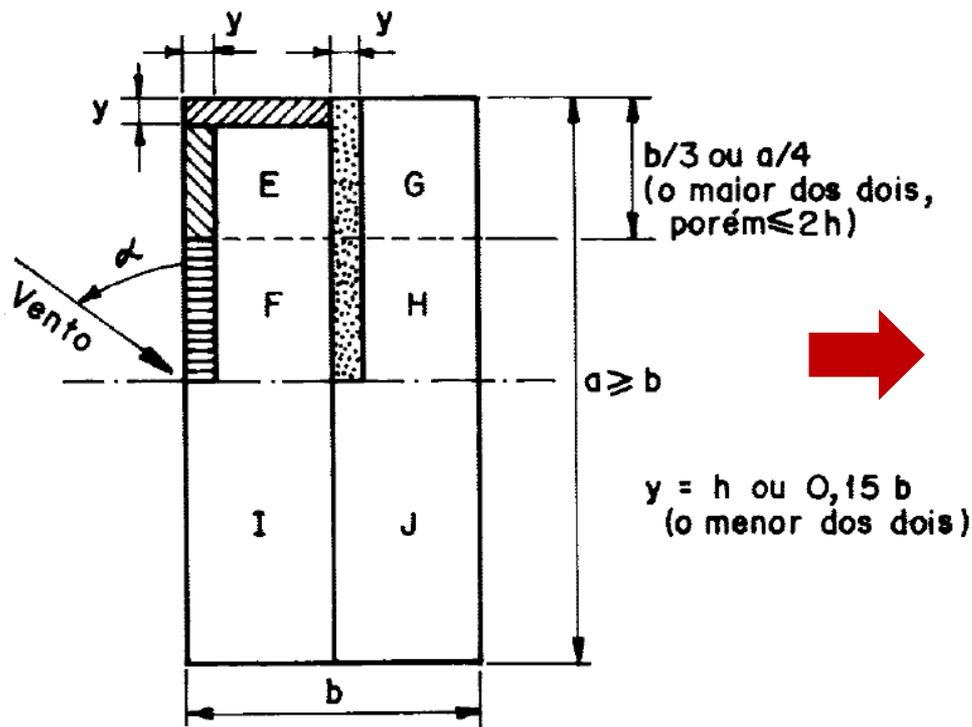
Coeficientes de pressão externa (C_{Pe}) para o telhado

Altura: $h=6m$

Largura: $b=15m$

Comprimento: $a=54m$

Vento a 0°



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

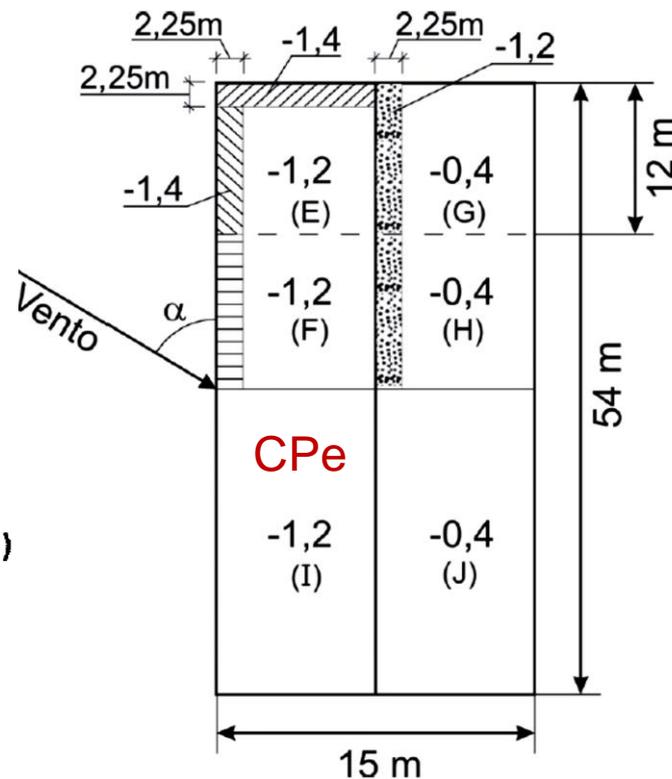
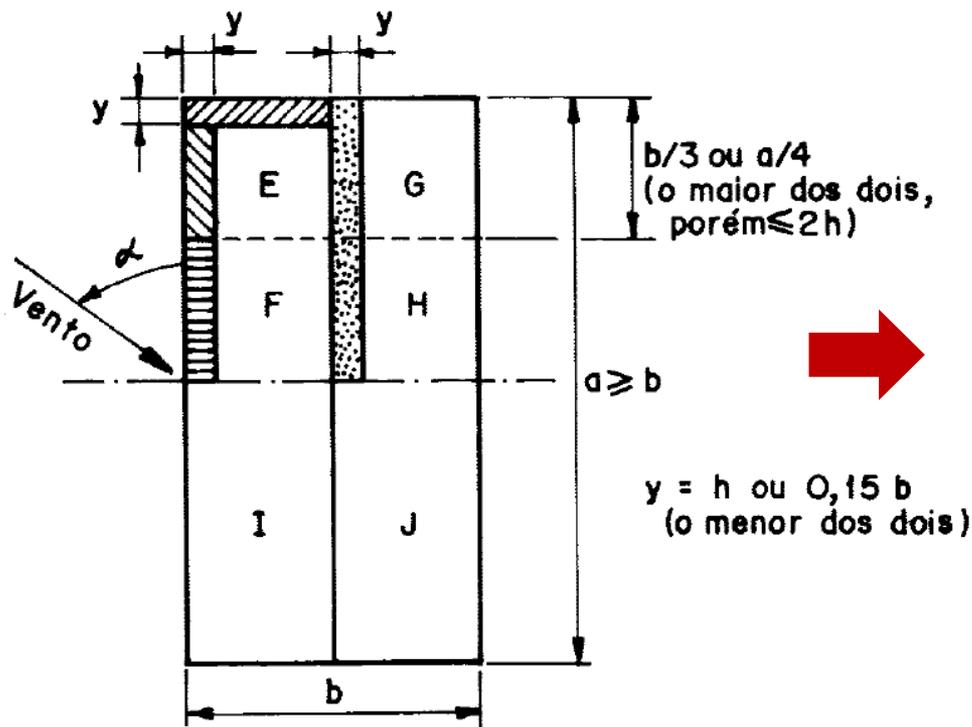
Coeficientes de pressão externa (C_{Pe}) para o telhado

Altura: $h=6m$

Largura: $b=15m$

Comprimento: $a=54m$

Vento a 90°



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Coeficientes de pressão interna (CPI)

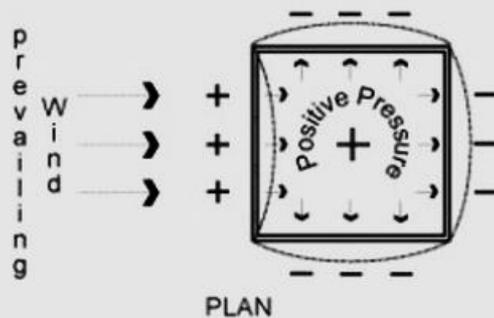
edificações com paredes internas permeáveis



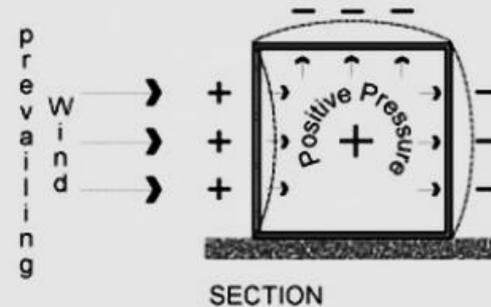
a pressão interna pode ser considerada uniforme

WITH GREATER WALL POROSITY
ON WINDWARD SIDE

Positive air pressure builds up inside
building, tending to lift roof
and blow out walls



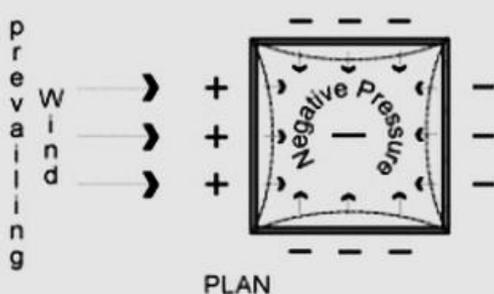
PLAN



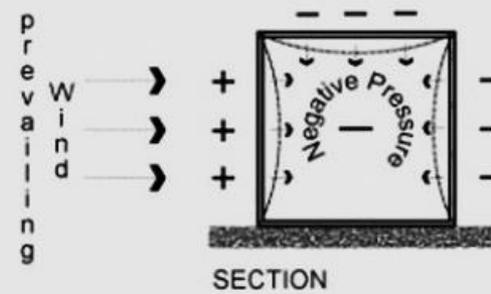
SECTION

WITH GREATER WALL POROSITY
ON LEEWARD SIDE

Negative air pressure builds up inside
building, tending to collapse roof
and walls



PLAN



SECTION

Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Coeficientes de pressão interna (CPI)

NBR 6123 – item 6.2.5

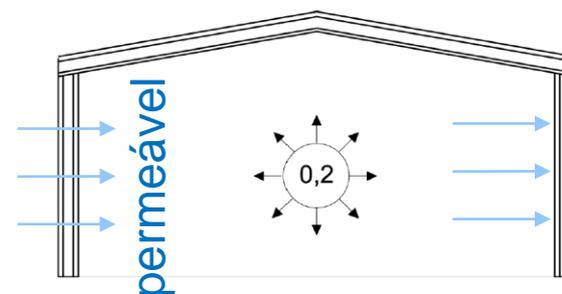
a) duas faces opostas igualmente permeáveis; as outras faces impermeáveis:

- vento perpendicular a uma face permeável:

$$c_{pi} = + 0,2;$$

Alívio da sobrepressão na face do barlavento !

Aumento da sucção na face do sotavento!

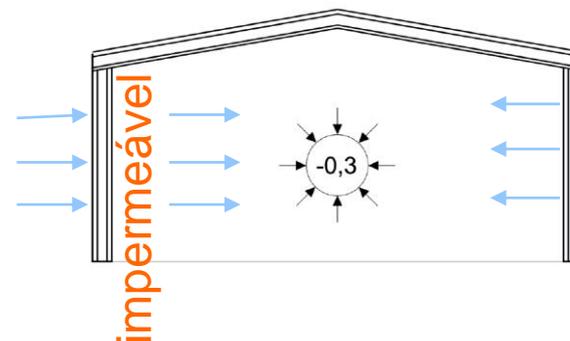


- vento perpendicular a uma face impermeável:

$$c_{pi} = - 0,3;$$

Aumento da sobrepressão na face do barlavento !

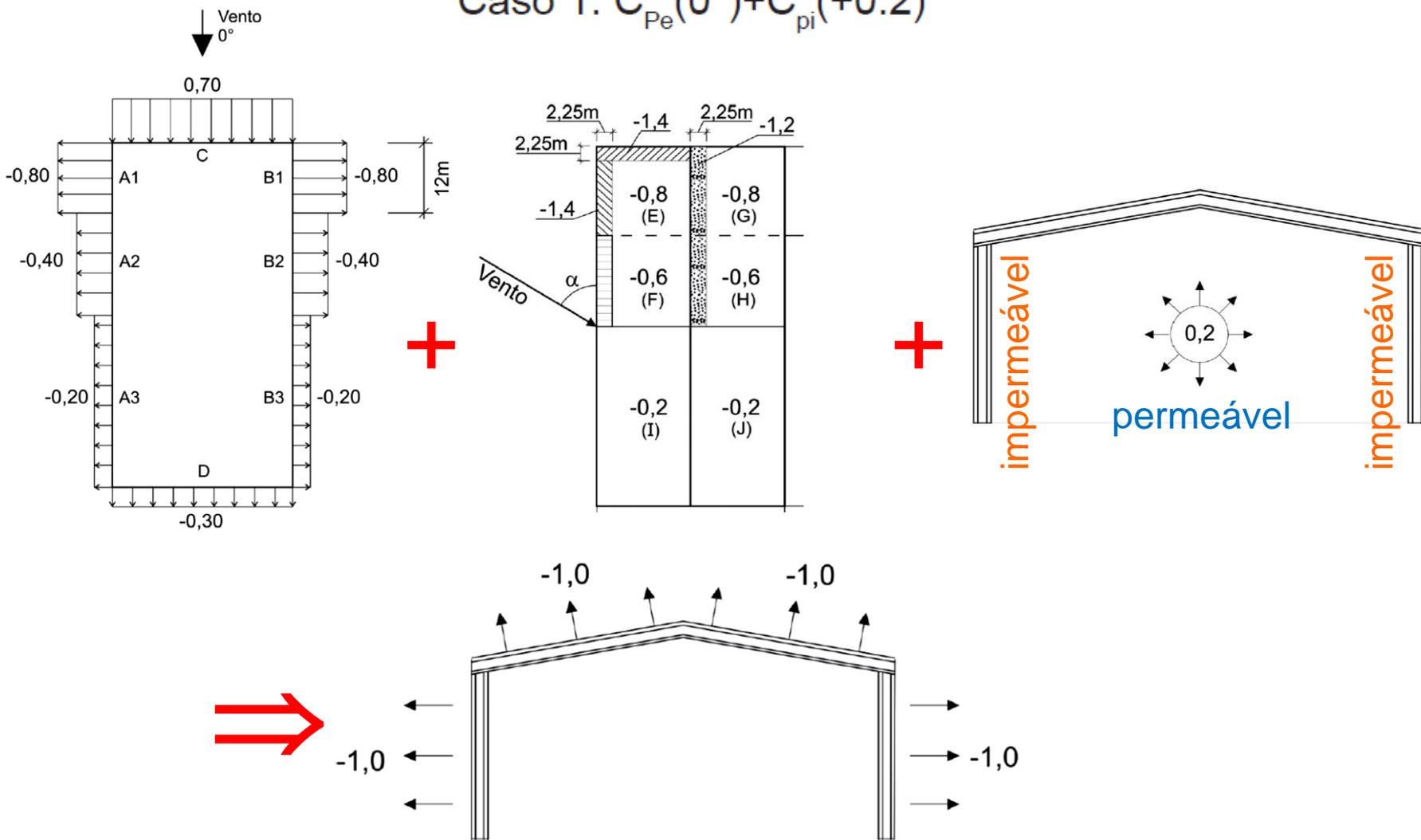
Alívio da sucção na face do sotavento!



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Composições dos casos de carregamento:

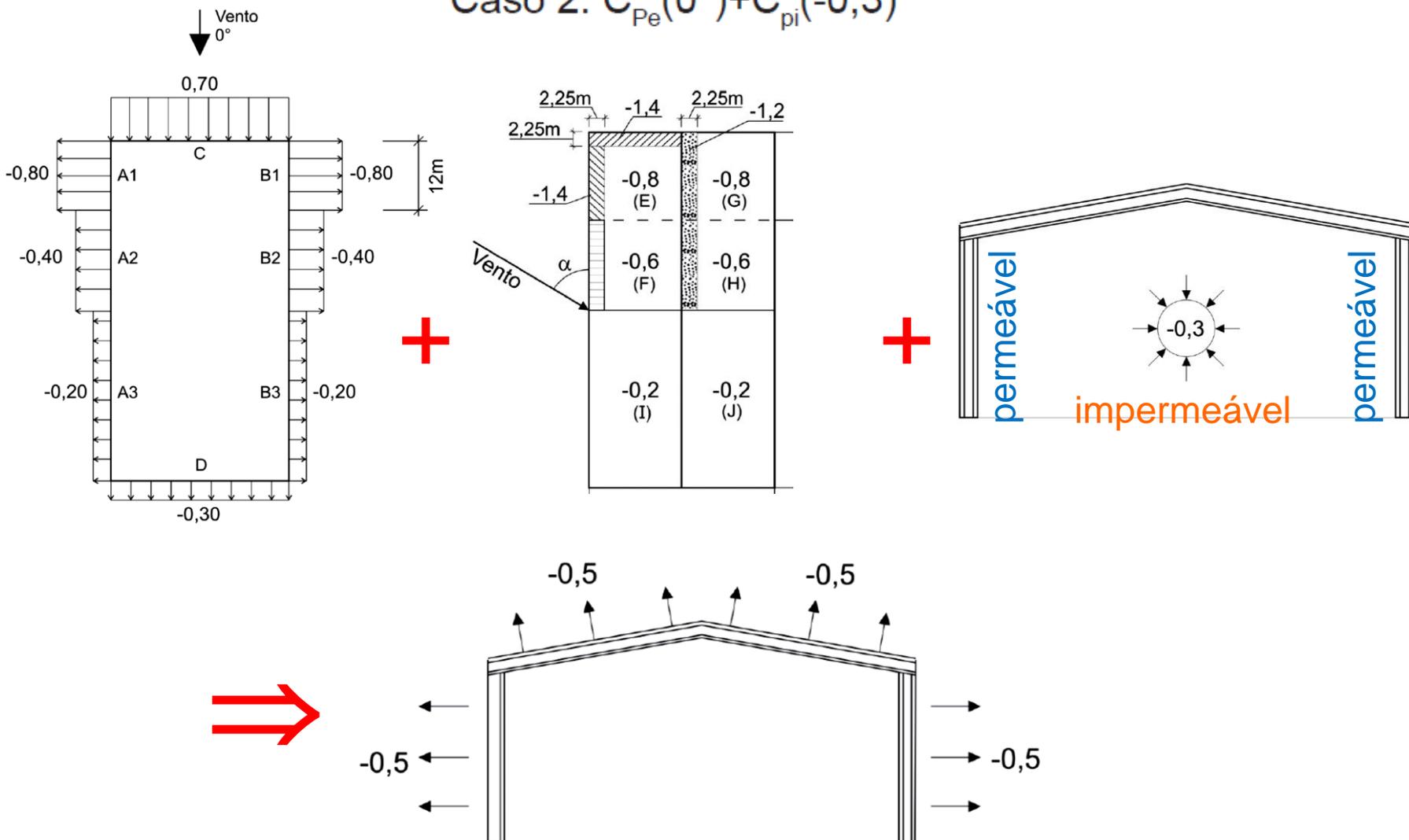
Caso 1: $C_{Pe}(0^\circ) + C_{pi}(+0.2)$



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Composições dos casos de carregamento:

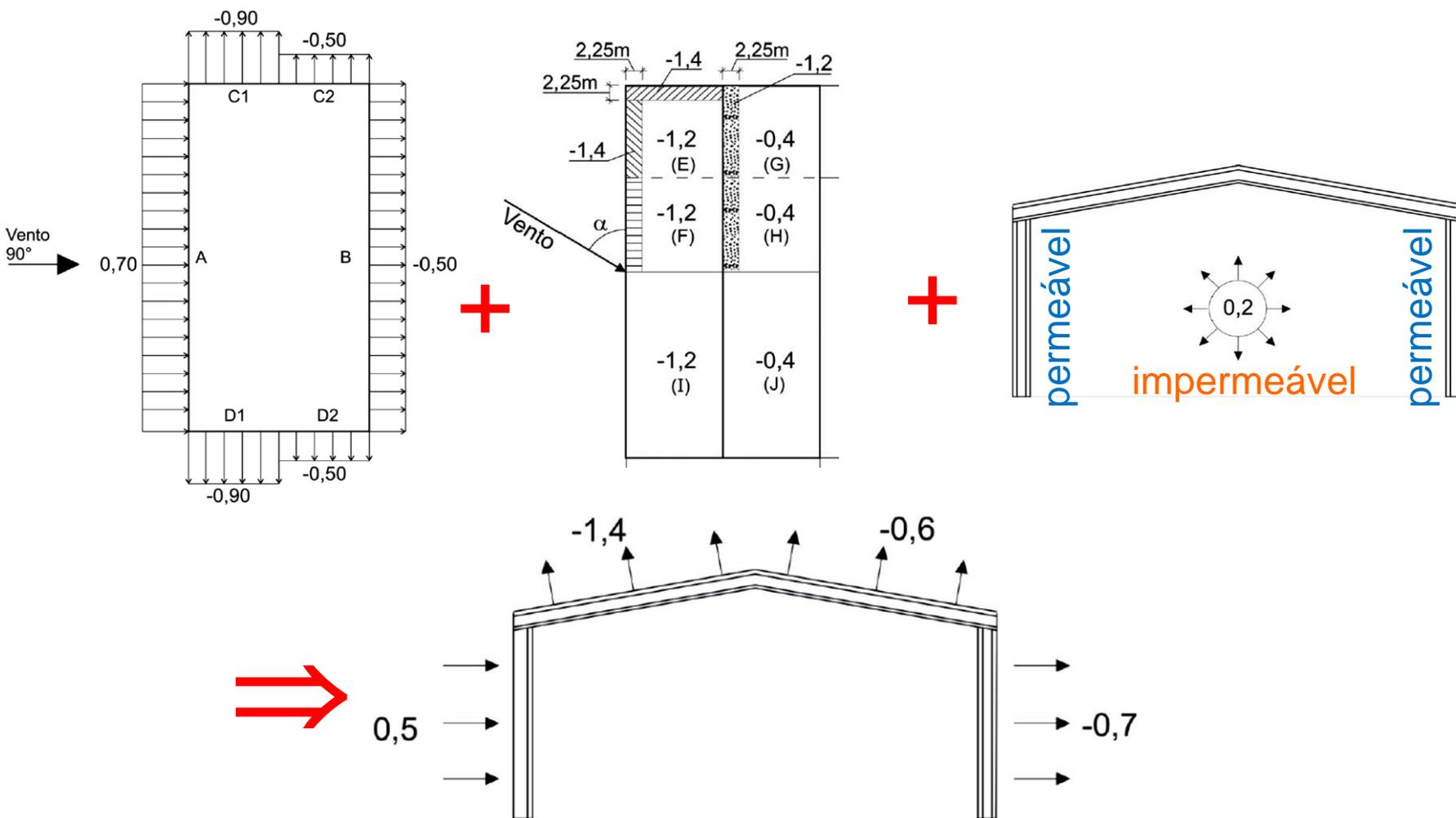
Caso 2: $C_{Pe}(0^\circ) + C_{pi}(-0,3)$



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Composições dos casos de carregamento:

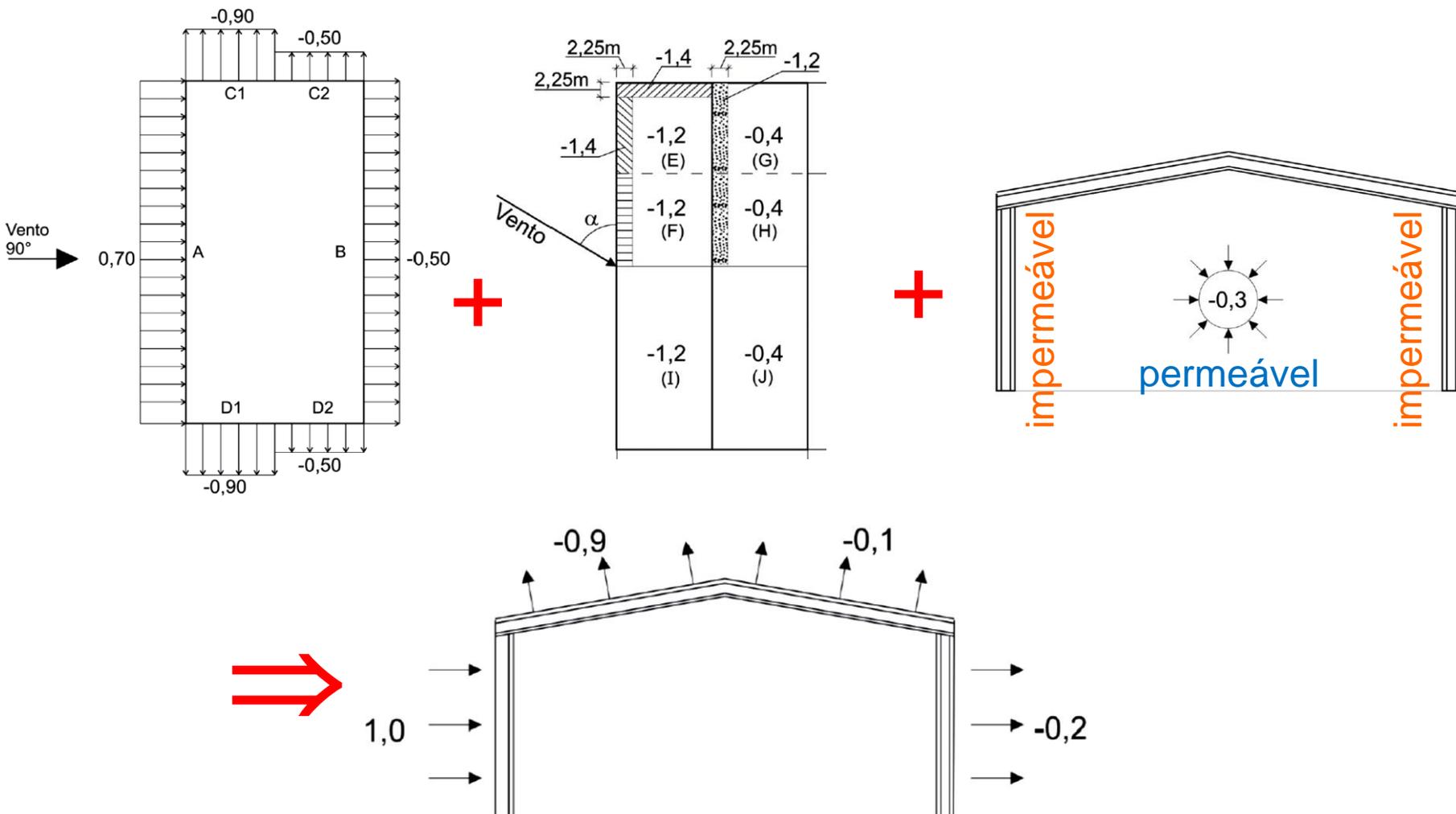
Caso 3: $C_{Pe}(90^\circ) + C_{pi}(+0,2)$



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Composições dos casos de carregamento:

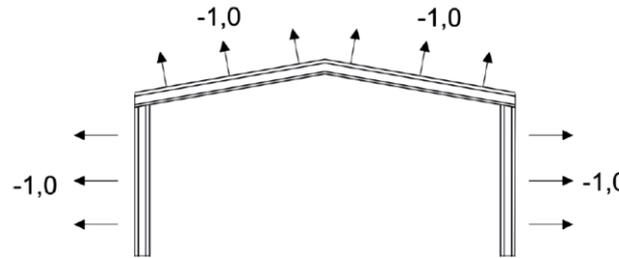
Caso 4: $C_{Pe}(90^\circ) + C_{pi}(-0,3)$



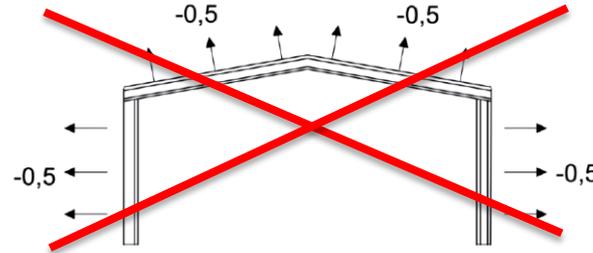
Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Análise dos Casos:

Caso 1: $C_{Pe}(0^\circ) + C_{pi}(+0,2)$

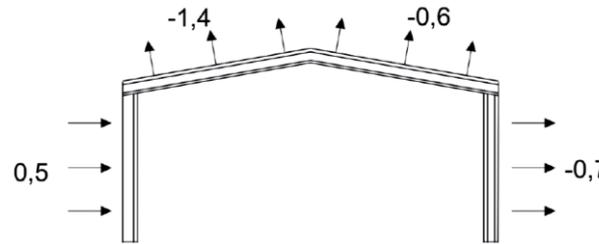


Caso 2: $C_{Pe}(0^\circ) + C_{pi}(-0,3)$

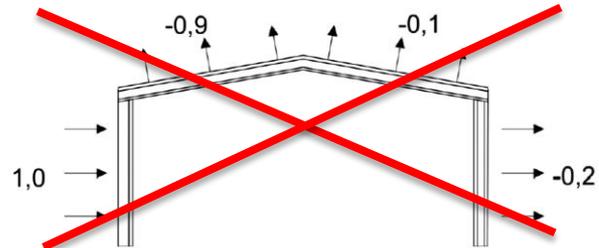


= 0,5 · Caso 1

Caso 3: $C_{Pe}(90^\circ) + C_{pi}(+0,2)$



Caso 4: $C_{Pe}(90^\circ) + C_{pi}(-0,3)$

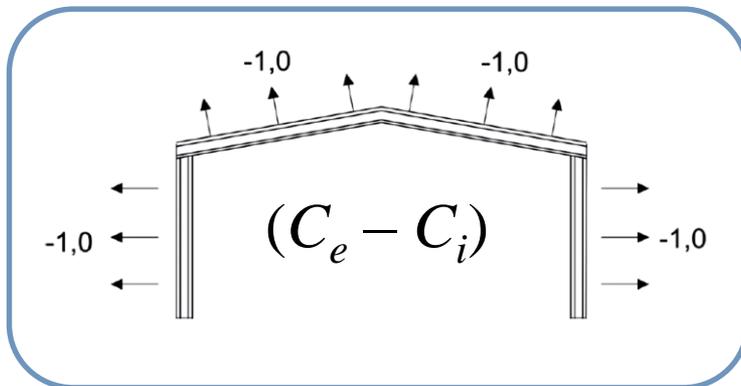


= Caso3 – 0,5 · Caso1

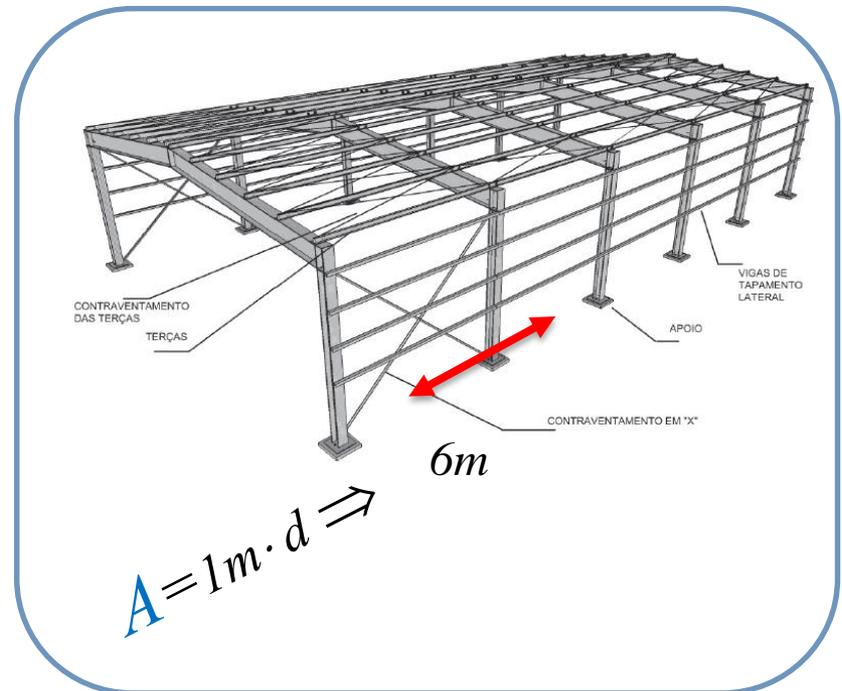
Exemplo: Ação do vento em um Galpão

Obtenção das cargas finais de vento no pórtico: $F = (C_e - C_i) q A$

Caso 1: $C_{Pe}(0^\circ) + C_{pi}(+0.2)$



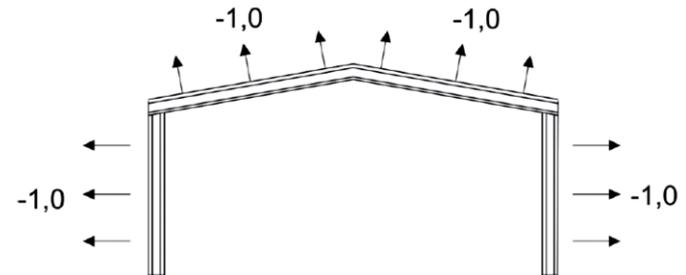
$$q \begin{cases} q_{(3\text{ m})} = 524,82 \text{ N/m}^2 \\ q_{(7,3\text{ m})} = 639,54 \text{ N/m}^2 \end{cases}$$



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

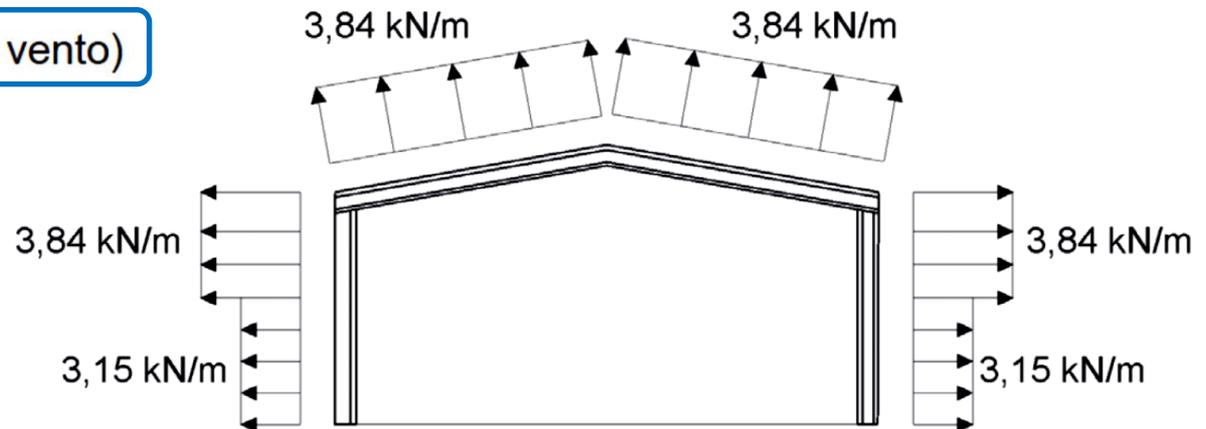
Obtenção das **cargas finais de vento** no pórtico: $F = (C_e - C_i) q A$

$6\text{m} \cdot 0,5248 \text{ kN/m}^2 = 3,15 \text{ kN/m}$	$3,15 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,15 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,5248 \text{ kN/m}^2 = 3,15 \text{ kN/m}$	$3,15 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,15 \text{ kN/m}}$



Hipótese I (Cargas finais de vento)

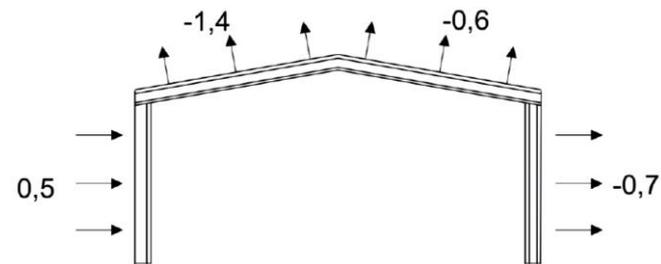
Caso 1: $C_{Pe}(0^\circ) + C_{pi}(+0.2)$



Exemplo: Ação do vento em um Galpão

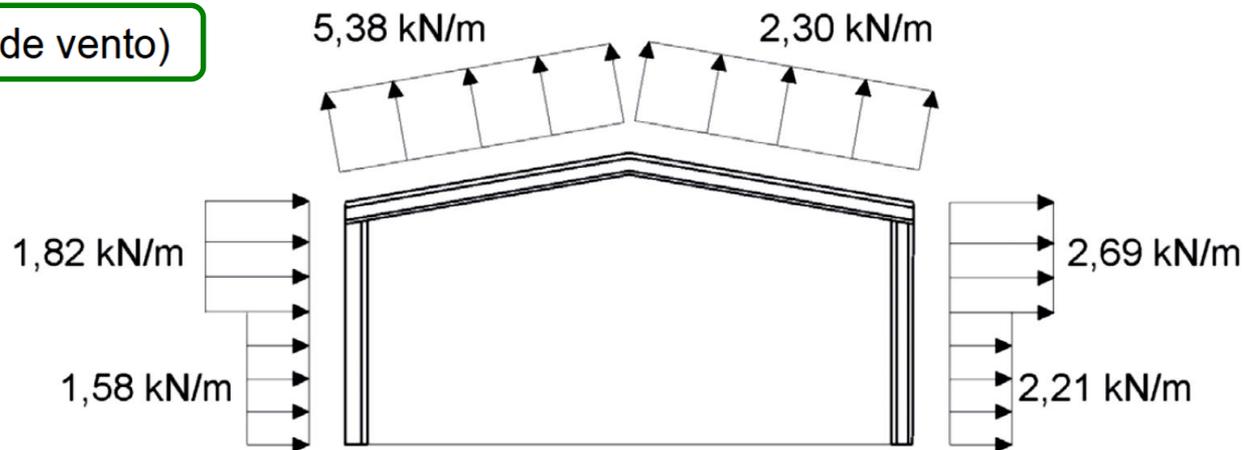
Obtenção das **cargas finais de vento** no pórtico: $F = (C_e - C_i) q A$

$6\text{m} \cdot 0,5248 \text{ kN/m}^2 = 3,15 \text{ kN/m}$	$3,15 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,15 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,6395 \text{ kN/m}^2 = 3,84 \text{ kN/m}$	$3,84 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,84 \text{ kN/m}}$
$6\text{m} \cdot 0,5248 \text{ kN/m}^2 = 3,15 \text{ kN/m}$	$3,15 \text{ kN/m} \cdot 1 = \mathbf{3,15 \text{ kN/m}}$



Hipótese II (Cargas finais de vento)

Caso 3: $C_{Pe}(90^\circ) + C_{pi}(+0,2)$



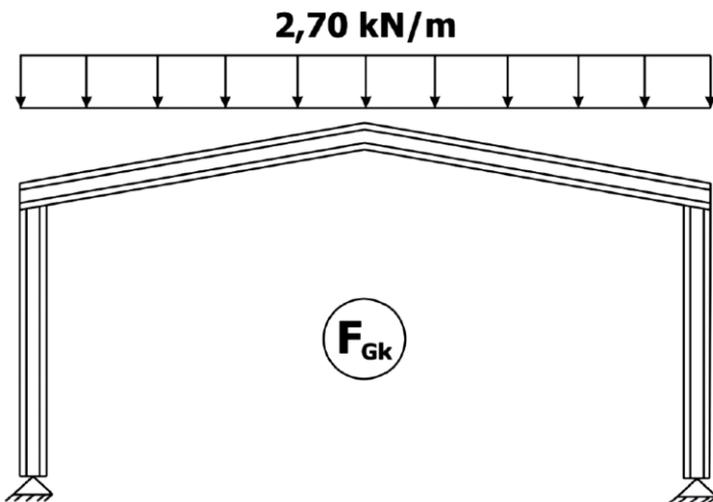
Combinações para análise estrutural do pórtico:

Ação permanente ($F_{Gi,K}$)

São consideradas as seguintes ações:

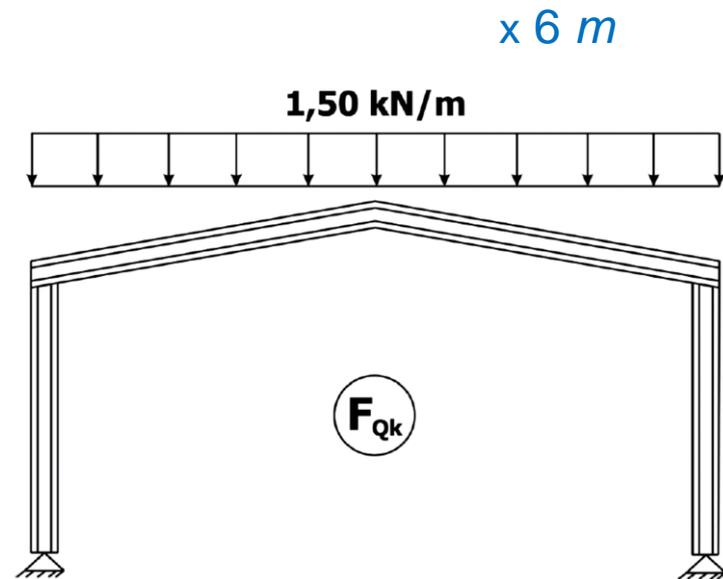
Telhas	0,10 kN/m ²
Contraventamentos	0,05 kN/m ²
Terças e Tirantes	0,10 kN/m ²
Vigas e Colunas	0,20 kN/m ²

Total permanente 0,45 kN/m²
x 6 m



Ação Acidental ($F_{Qi,K}$)

NBR 8800 - B.5.1 **Coberturas comuns:**
Nas coberturas comuns (telhados), na ausência de especificação mais rigorosa, deve ser prevista uma sobrecarga característica mínima de **0,25 kN/m²** em projeção horizontal.



Combinações para análise estrutural do pórtico:

Determinação dos esforços solicitantes para estados-limites últimos

Consideração da influência da geometria deformada da estrutura (análise não-linear)

Métodos aproximados previstos na NBR 8800:

4.9.7.1 Estruturas de pequena deslocabilidade e média deslocabilidade

4.9.7.1.1 Nas estruturas de pequena deslocabilidade e média deslocabilidade, os **efeitos das imperfeições geométricas iniciais** devem ser levados em conta diretamente na análise, por meio da consideração, em cada andar, de um **deslocamento horizontal relativo** entre os níveis inferior e superior (deslocamento interpavimento) de **$h/333$** , sendo h a altura do andar (distância entre eixos de vigas).

Admite-se também que esses efeitos sejam levados em conta por meio da aplicação, em cada andar, de uma **força horizontal equivalente**, denominada aqui **força nocional**, igual a **0,3%** do valor das cargas gravitacionais de cálculo aplicadas em todos os pilares e outros elementos resistentes a cargas verticais, no andar considerado.

Combinações para análise estrutural do pórtico:

Determinação dos esforços solicitantes para estados-limites últimos

Classificação das estruturas quanto à deslocabilidade

Na NBR 8800, o parâmetro de classificação das estruturas quanto à sensibilidade a deslocamentos laterais é o

deslocamento lateral do andar relativo à base

obtido na análise de segunda ordem e aquele obtido na análise de primeira ordem, em todas as combinações últimas de ações estipuladas, conforme disposto no item 4.9.4.

	pequena deslocabilidade	média deslocabilidade	grande deslocabilidade
Relação entre os desloc. laterais, considerando, e não considerando a geometria deformada	$< 1,1$	$1,1 \leq \delta < 1,4$	$\geq 1,4$

Combinações para análise estrutural do pórtico:

Determinação dos esforços solicitantes para estados-limites últimos

Combinações para Estados Limites Últimos

Combinação F_{D1}

“cargas gravitacionais”

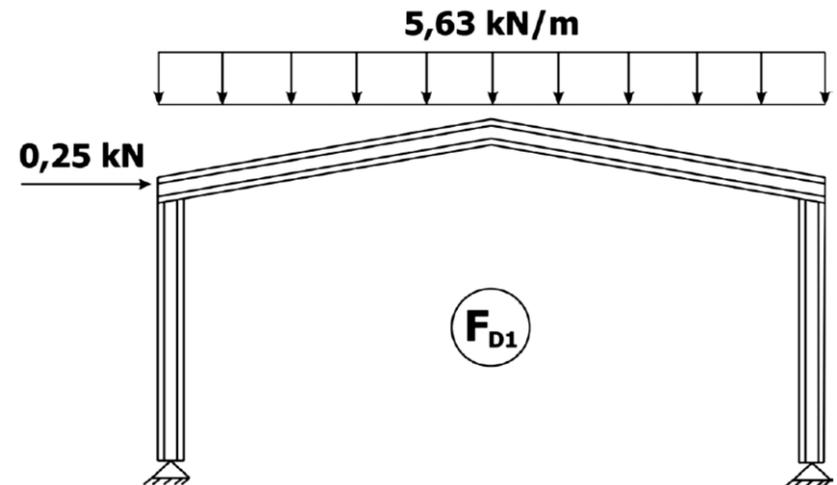
$$F_D = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,K} + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=1}^n \gamma_{qi} \Psi_{0j} F_{Gi,K}$$

$$F_{D,1} = (1,25)F_{Gi,K} + (1,5)F_{Q1,k}$$

$$F_{D,1} = (1,25)(2,7 \text{ kN/m}) + (1,5)(1,5 \text{ kN/m})$$

$$F_{D,1} = 5,63 \text{ kN/m}$$

$$F_n = 0,003(5,63 \text{ kN/m})(15 \text{ m}) = 0,25 \text{ kN}$$



Combinações para análise estrutural do pórtico:

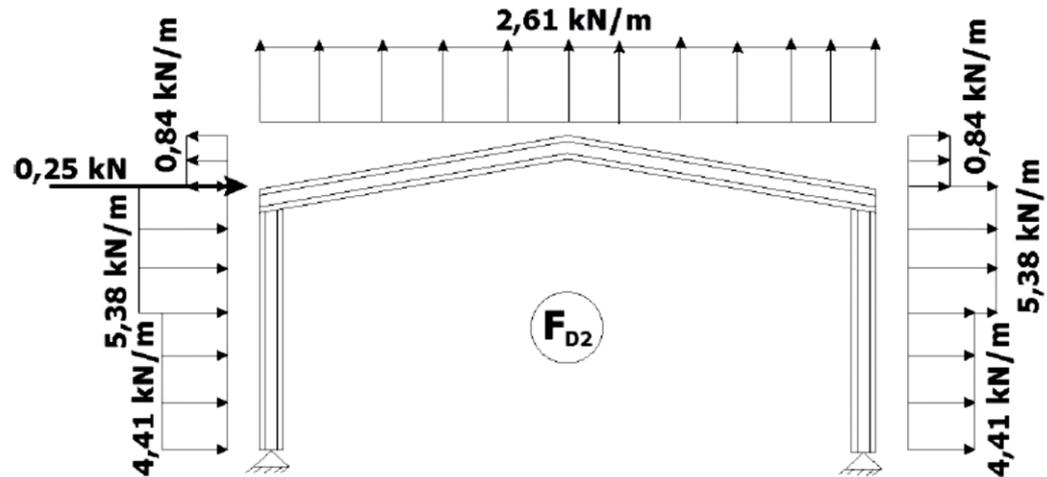
Determinação dos esforços solicitantes para estados-limites últimos

Combinações para Estados Limites Últimos

Combinação F_{D2}

$$F_D = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,K} + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=1}^n \gamma_{qi} \psi_{0j} F_{Gi,K}$$

$$F_{D,2} = (1,00)F_{Gi,K} - (1,4)F_{w,k}$$



Combinações para análise estrutural do pórtico:

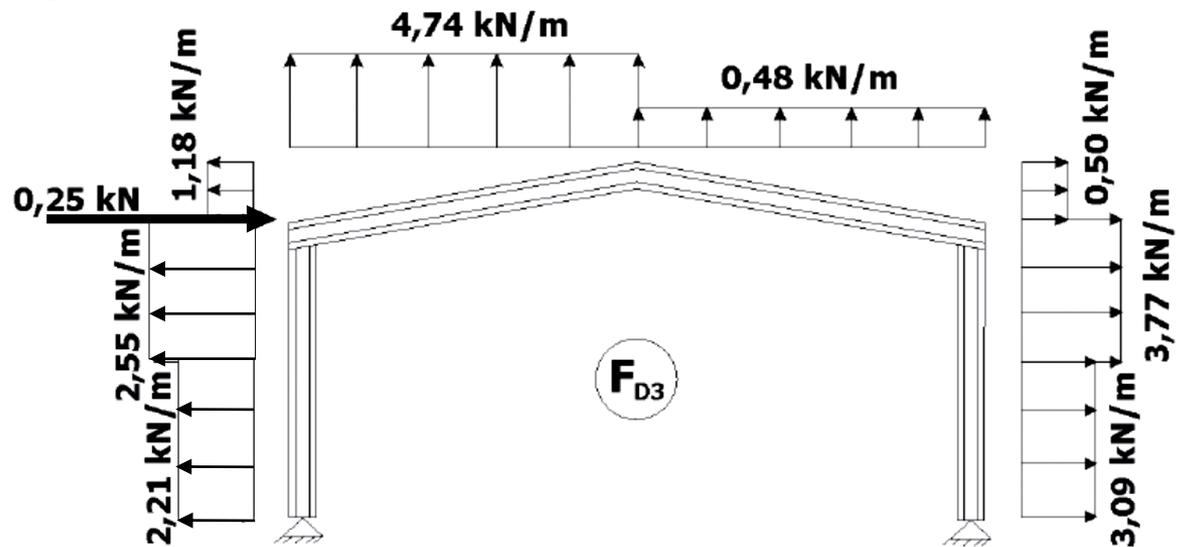
Determinação dos esforços solicitantes para estados-limites últimos

Combinações para Estados Limites Últimos

Combinação F_{D3}

$$F_D = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,K} + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=1}^n \gamma_{qi} \psi_{0j} F_{Gi,K}$$

$$F_{D,3} = (1,00)F_{Gi,K} - (1,4)F_{w,k}$$



Ação do Vento nas Estruturas



Temporal destelhou casas e ginásios também em cidades gaúchas. Em Victor Graeff, no norte do Estado, na noite de ontem um vendaval deixou um rastro de destruição na pequena cidade de 3 mil habitantes **Mais** Jean Pimentel /Ag. RBS

Ação do Vento nas Estruturas



O temporal que atingiu Victor Graeff, no norte do RS, provocou estragos. A prefeitura estima que 300 prédios, entre comerciais e residenciais, tiveram telhados danificados por causa da força do vento **Mais** Jean Pimentel/Ag.RBS

Ação do Vento nas Estruturas



Placa de posto de gasolina despencou por conta do vendaval que atingiu a cidade de Itajaí, em Santa Catarina

Ação do Vento nas Estruturas



A forte tempestade que atingiu Blumenau, em Santa Catarina, destruiu a cobertura de uma empresa de ônibus da cidade

Mais Você Manda/Jaime Batista da Silva

Ação do Vento nas Estruturas



A cobertura da empresa de ônibus, em Blumenau (SC), foi parar na rua São Paulo e atingiu uma pizzaria

Mais

Você Manda/Jaime Batista da Silva

Ação do Vento nas Estruturas



A rua onde estão os destroços da cobertura de uma empresa de ônibus de Blumenau (SC) está interditada

Mais

Você Manda/Jaime Batista da Silva

Ação do Vento nas Estruturas



Vento forte danifica telhado do ginásio de esportes em Tarauacá - AC

Ação do Vento nas Estruturas



Referências

NBR 8800:2008 – Projeto de Estrutura de Aço e de Estrutura Mista de Aço e Concreto de Edifícios

NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações

Manual de Construção em Aço: Galpões para Usos Gerais, CBCA, 2010

Outras referências:

“Como construir um telhado” – Prof . Watanabe

<http://www.ebanataw.com.br/roberto/telhado/index.php>

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=4muhc_QUGcl

<http://www.youtube.com/watch?v=GwtA6kwNfCI>