
PEF 2604 - Estruturas na Arquitetura IV: Projetos

DISCIPLINAS.STOA.USP.BR

AULA 7

FAU
2º sem - 2023

Forças devidas ao vento em edificações



Material preparado por:
Prof. Luís Bitencourt Jr.
Prof. Martin P. Schwark



Forças devidas ao vento em edificações



ABNT-Associação
Brasileira de
Normas Técnicas

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar
CEP 20003 - Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro - RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Telex: (021) 34333 ABNT - BR
Endereço Telegráfico:
NORMATÉCNICA

Copyright © 1988,
ABNT-Associação Brasileira de
Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

JUN 1988

NBR 6123

Forças devidas ao vento em edificações

Procedimento

Origem: Projeto NB-599/1987
CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil
CE-02:003.16 - Comissão de Estudo de Forças Devidas ao Vento em Edificações
NBR 6123 - Building construction - Bases for design of structures - Wind loads -
Procedure
Descriptors: Wind. Edification
Incorpora a Errata nº 1 de DEZ 1990
Reimpressão da NB-599 de DEZ 1987

Palavras-chave: Vento. Edificação

66 páginas

- Resumo das principais prescrições voltadas a edifícios de pequeno porte

Forças devidas ao vento em edificações

Definições

Barlavento

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

Reticulado

Toda estrutura constituída por barras retas.

Sobrepressão

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

Sotavento

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

Forças devidas ao vento em edificações

Definições (cont.)

Sucção

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

Superfície frontal

Superfície definida pela projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento (“superfície de sombra”).

Vento básico

Vento a que corresponde a velocidade básica V_o .

Vento de alta turbulência

Vento que obedece às prescrições de 6.5.3.

Vento de baixa turbulência

Vento que se verifica em todos os demais casos.

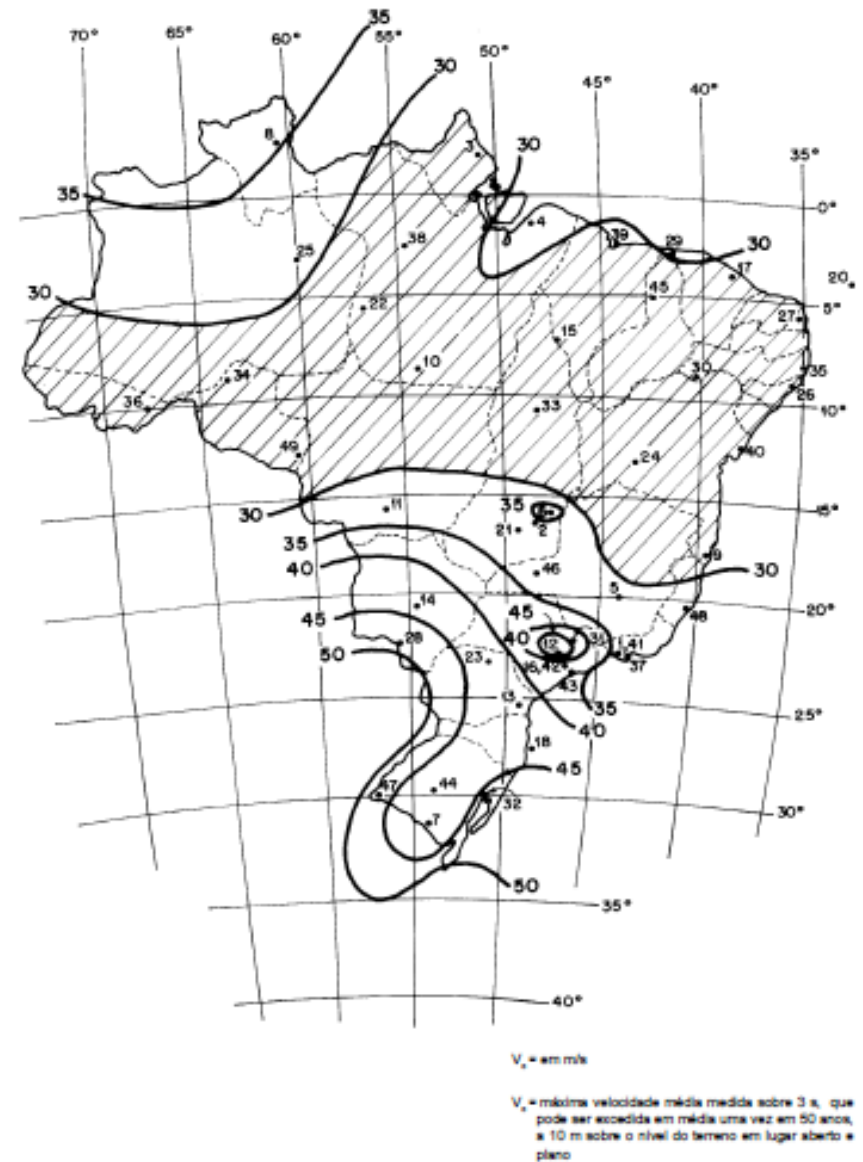
Forças devidas ao vento em edificações

Determinação das forças estáticas devidas ao vento

- Velocidade básica do Vento (V_0)

São Paulo: $V_0 \approx 38 \text{ m/s}$

$(\text{m/s} \times 3,6) = \text{km/h}$



Forças devidas ao vento em edificações

Determinação das forças estáticas devidas ao vento

- Velocidade característica do Vento

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3$$

↓
velocidade básica do vento

fatores

Forças devidas ao vento em edificações

- Fator topográfico (S_1)

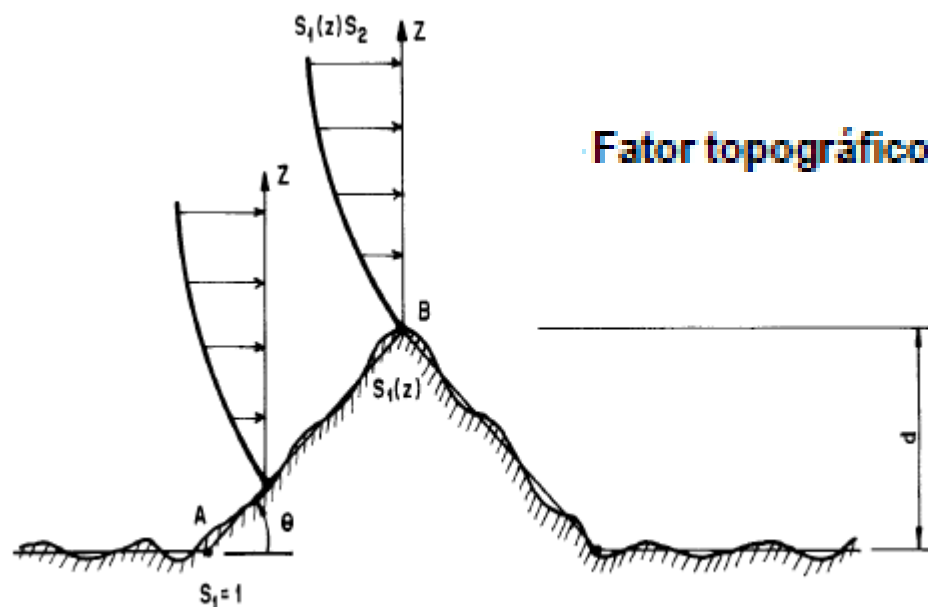
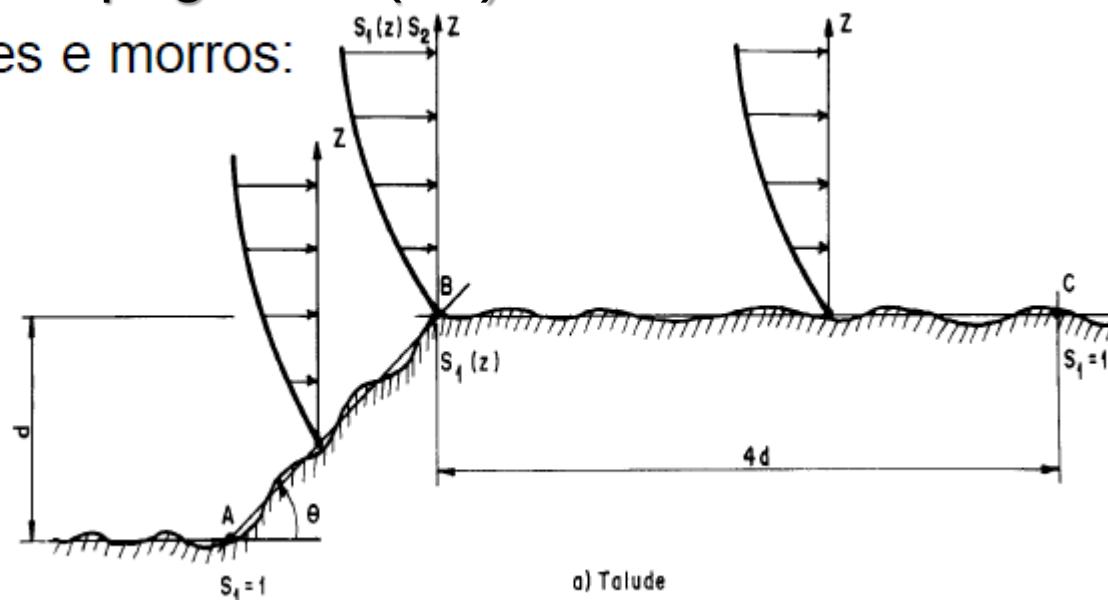
O fator topográfico S_1 leva em consideração as variações do relevo do terreno e é determinado do seguinte modo:

- a) terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$
- b) taludes e morros: Vide próximo slide
- c) vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção: $S_1 = 0,9$.

Forças devidas ao vento em edificações

• Fator topográfico (S_1)

b) taludes e morros:



Fator topográfico $S_1(z)$

- taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado na Figura 2;

- no ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes): $S_1 = 1,0$;

- no ponto B: [S_1 é uma função $S_1(z)$]:

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

$$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ: S_1(z) = 1,0 +$$

$$+ \left(2,5 - \frac{z}{d} \right) \text{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1$$

$$\theta \geq 45^\circ: S_1(z) = 1,0 +$$

$$+ \left(2,5 - \frac{z}{d} \right) 0,31 \geq 1$$

[interpolando linearmente para $3^\circ < \theta < 6^\circ$ e $17^\circ < \theta < 45^\circ$]

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 do morro

Nota: Entre A e B e entre B e C, o fator S_1 é obtido por interpolação linear.

Forças devidas ao vento em edificações

- Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: Fator S_2

O fator S_2 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 ou parte da edificação em consideração.

Rugosidade do terreno

Categoria 1: Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente. Exemplos:

- mar calmo⁽³⁾;
- lagos e rios;
- pântanos sem vegetação.

Forças devidas ao vento em edificações

- Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: Fator S_2

Rugosidade do terreno (cont.)

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

- zonas costeiras planas;
- pântanos com vegetação rala;
- campos de aviação;
- pradarias e charnecas;
- fazendas sem sebes ou muros.

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

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

- 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 igual a 3,0 m.

Forças devidas ao vento em edificações

- Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: Fator S_2

Rugosidade do terreno (cont.)

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

- 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 pouco espaçados. Exemplos:

- florestas com árvores altas, de copas isoladas;
- centros de grandes cidades;
- complexos industriais bem desenvolvidos.

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

Forças devidas ao vento em edificações

- Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: Fator S_2

Dimensões da edificação

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

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

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

Forças devidas ao vento em edificações

- Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: Fator S_2

Altura sobre o terreno

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

$$S_2 = b \underbrace{F_r}_{\downarrow} (z/10)^p$$

fator de rajada (sempre correspondente à categoria II)

Forças devidas ao vento em edificações

- Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: Fator S2

Altura sobre o terreno

Tabela 1 - Parâmetros meteorológicos

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

z_g define o contorno superior da camada atmosférica

Forças devidas ao vento em edificações

- Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: Fator S_2

Altura sobre o terreno

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	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Forças devidas ao vento em edificações

- Fator estatístico S_3

Tabela 3 - Valores mínimos do fator estatístico S_3

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

Forças devidas ao vento em edificações

- Pressão dinâmica

$$V_k = V_o S_1 S_2 S_3$$

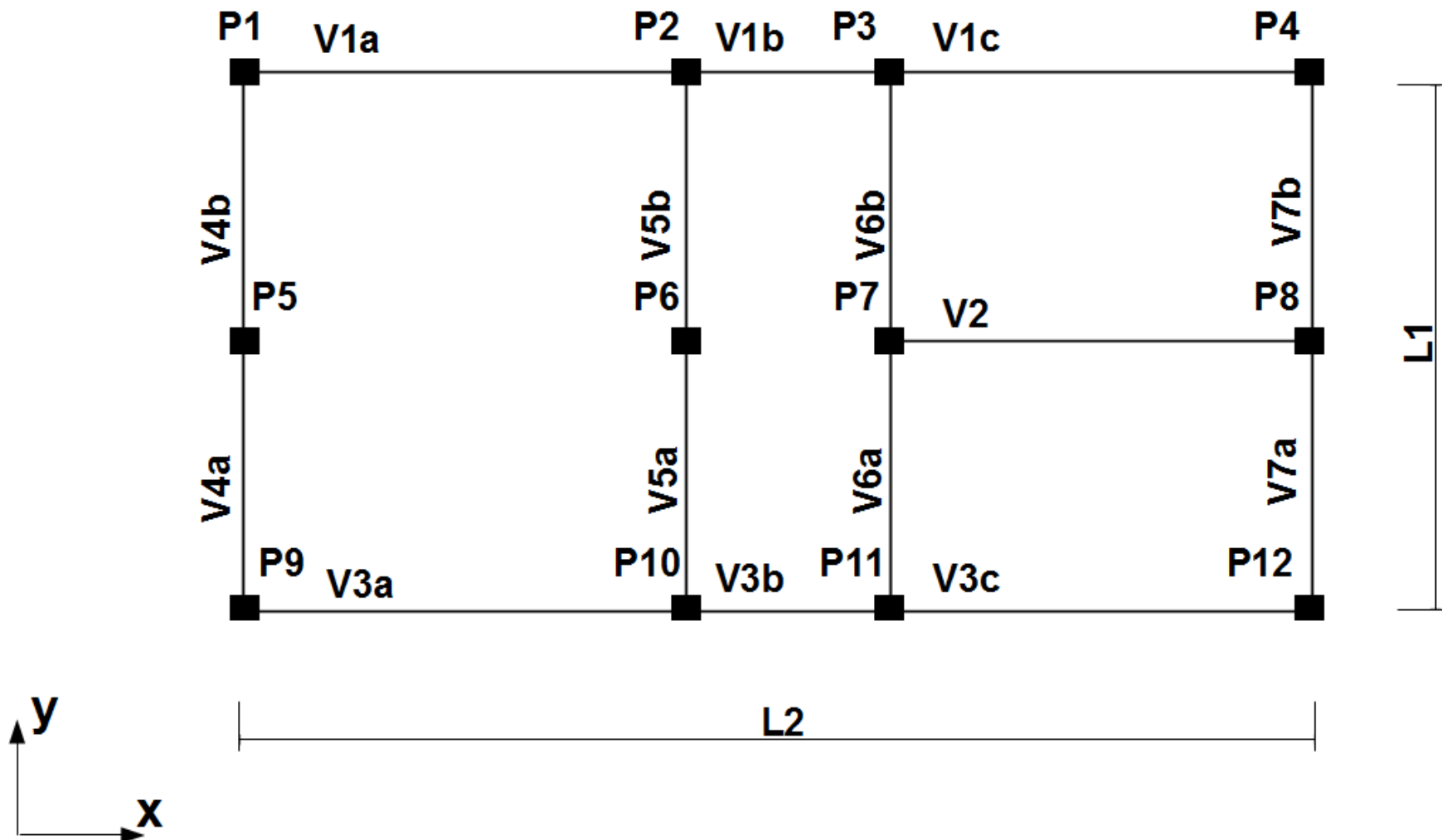

$$q = 0,613 V_k^2$$

(unidades SI): q em N/m² e V_k em m/s

Forças devidas ao vento em edificações

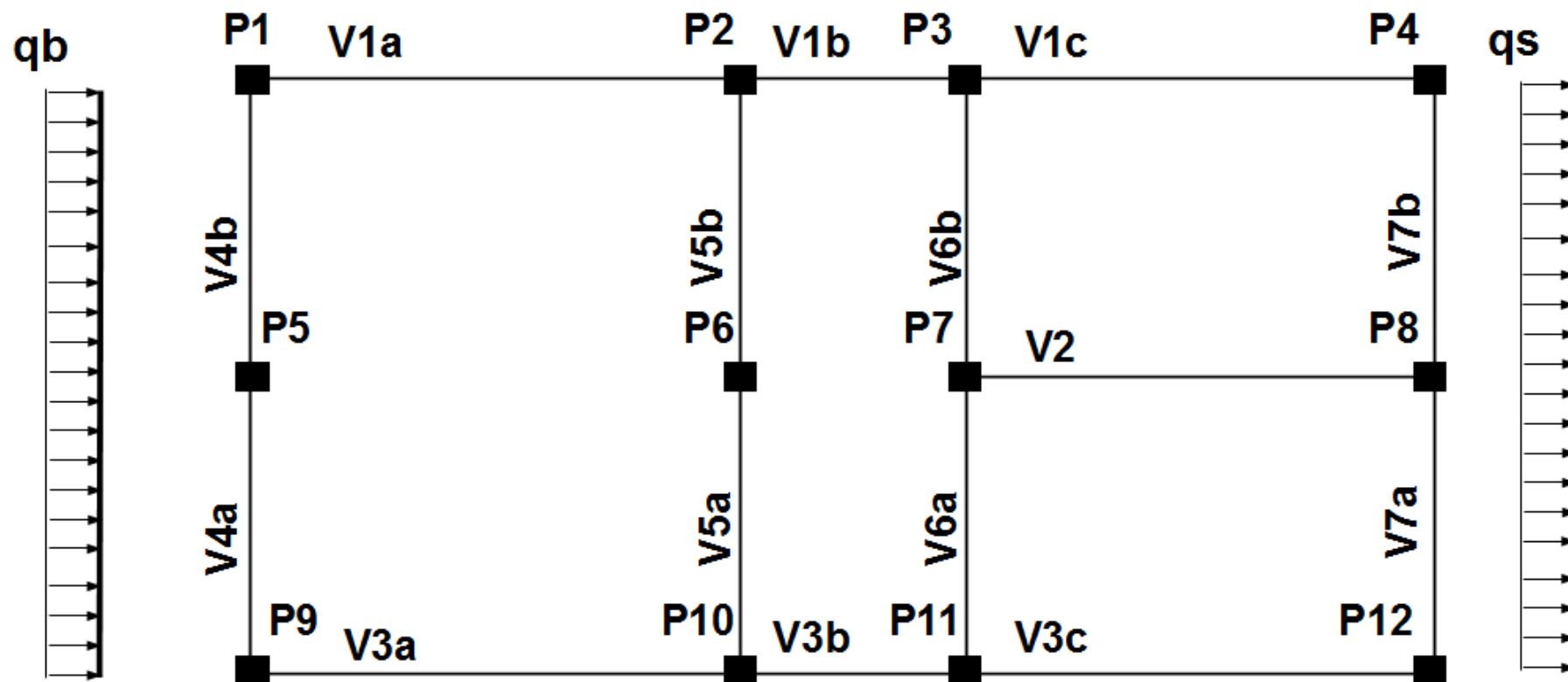
Exemplo: Edificação de pequeno porte (térreo + 4 pavimentos tipo)

Planta de forma

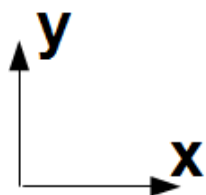


Forças devidas ao vento em edificações

Vento (direção x)

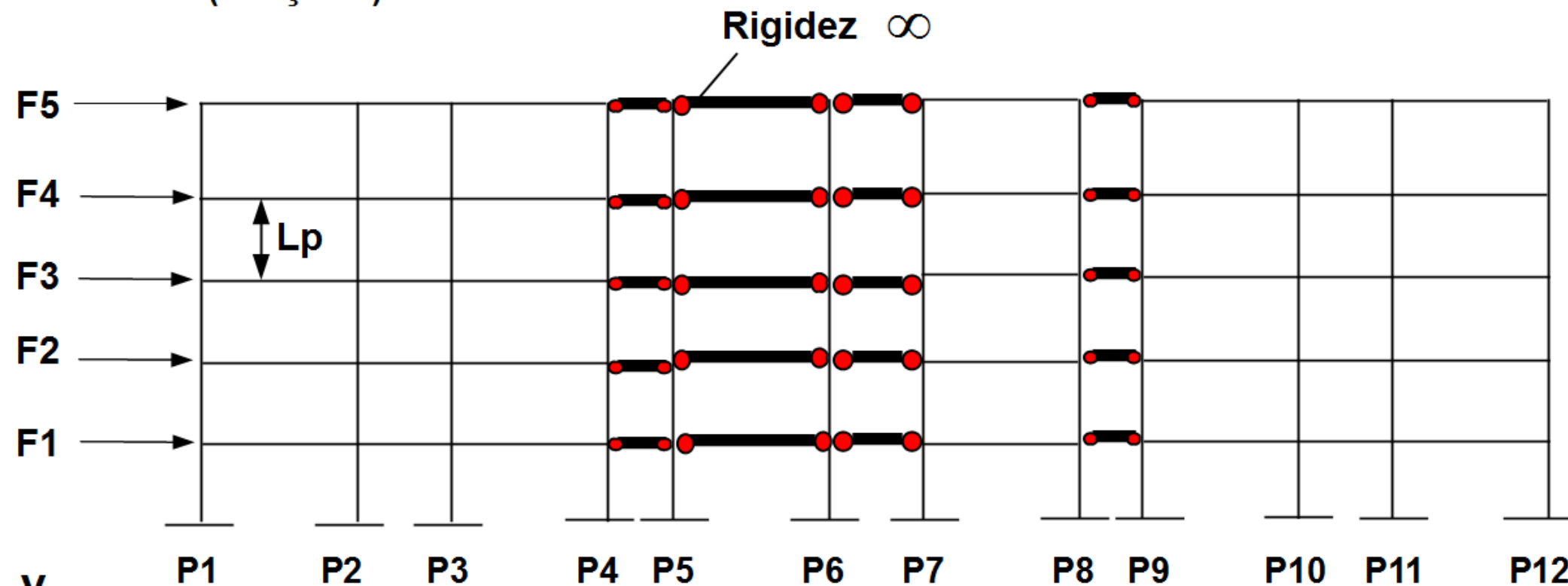


q_b : barlavento
 q_s : sotavento



Forças devidas ao vento em edificações

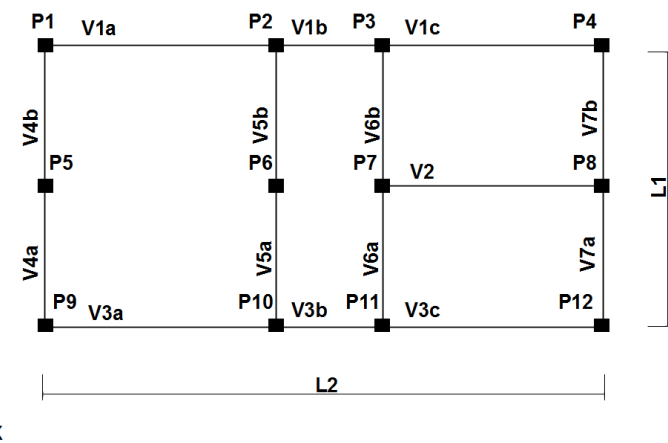
Pórtico 2D (direção x)



$$F1=F2=F3=F4= (q_b + q_s)(L_{ps}/2 + L_{pi}/2)L1$$

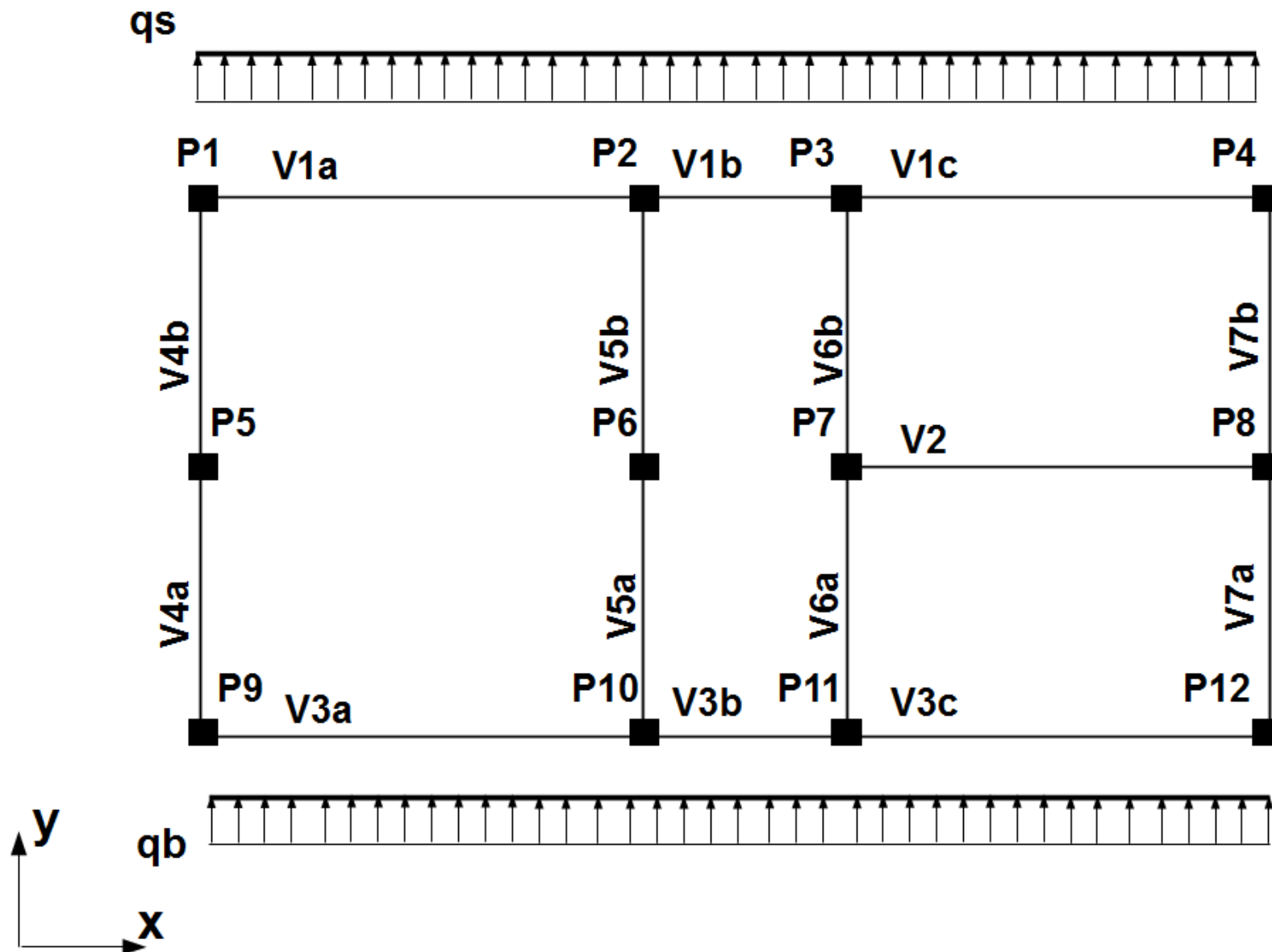
$$F5= (q_b + q_s)(L_{pi}/2)L1$$

Planta de forma



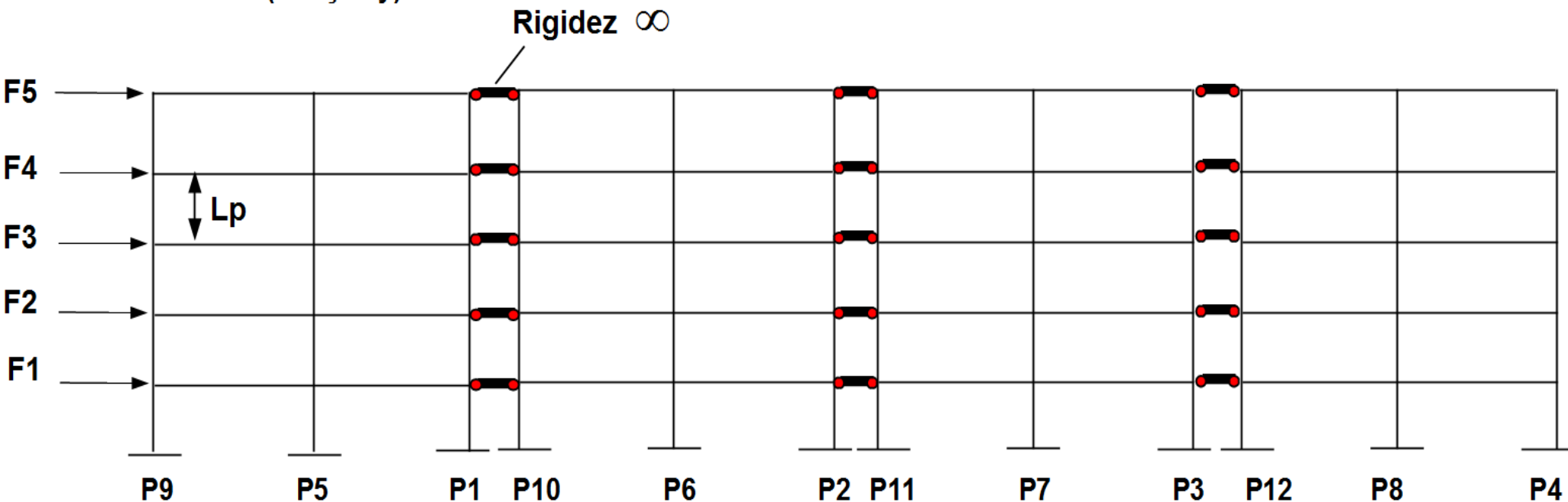
Forças devidas ao vento em edificações

Vento (direção y)



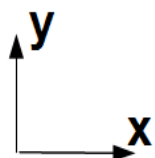
Forças devidas ao vento em edificações

Pórtico 2D (direção y)

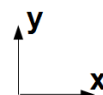
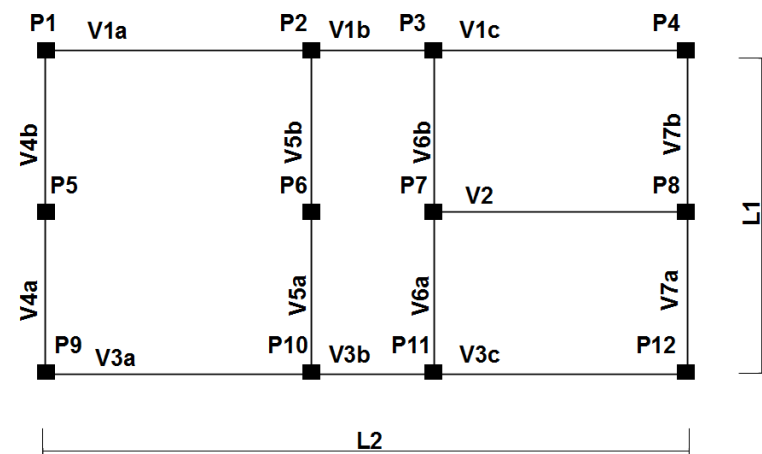


$$F1=F2=F3=F4= (q_b + q_s)(L_{ps}/2 + L_{pi}/2)L_2$$

$$F5= (q_b + q_s)(L_{pi}/2)L_2$$



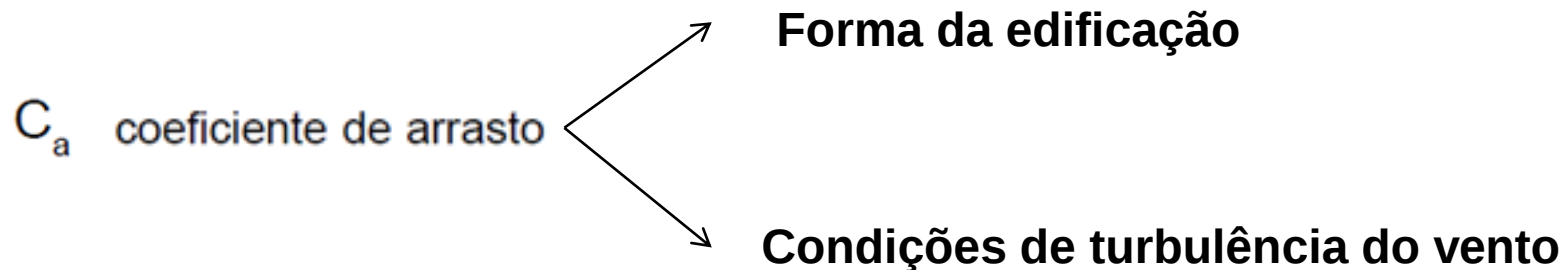
Planta de forma



Forças devidas ao vento em edificações

- Coeficientes de força

A determinação das pressões devidas ao vento na edificação como um todo é complexa. Mesmo para o vento em apenas uma direção haverá regiões submetidas à pressão e outras à sucção. De modo a simplificar a análise transformam-se essas pressões e sucções em um único efeito na direção do vento através de um coeficiente.



Forças devidas ao vento em edificações

- Coeficientes de força

A força global do vento sobre uma edificação ou parte (dela, F_g , é obtida pela soma vetorial das forças do vento que aí atuam.

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

$$F_a = C_a q A_e$$

C_a = coeficiente de arrasto

A_e = área frontal efetiva: área da projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento ("área de sombra")

Forças devidas ao vento em edificações

Determinação das forças estáticas devidas ao vento

- Coeficientes de força (cont.)

De um modo geral, uma componente qualquer da força global é obtida por:

$$F = C_f q A$$

C_f = coeficiente de força, especificado em cada caso: C_x , C_y , etc.

A = área de referência, especificada em cada caso

Forças devidas ao vento em edificações

- Coeficientes de força (cont.)

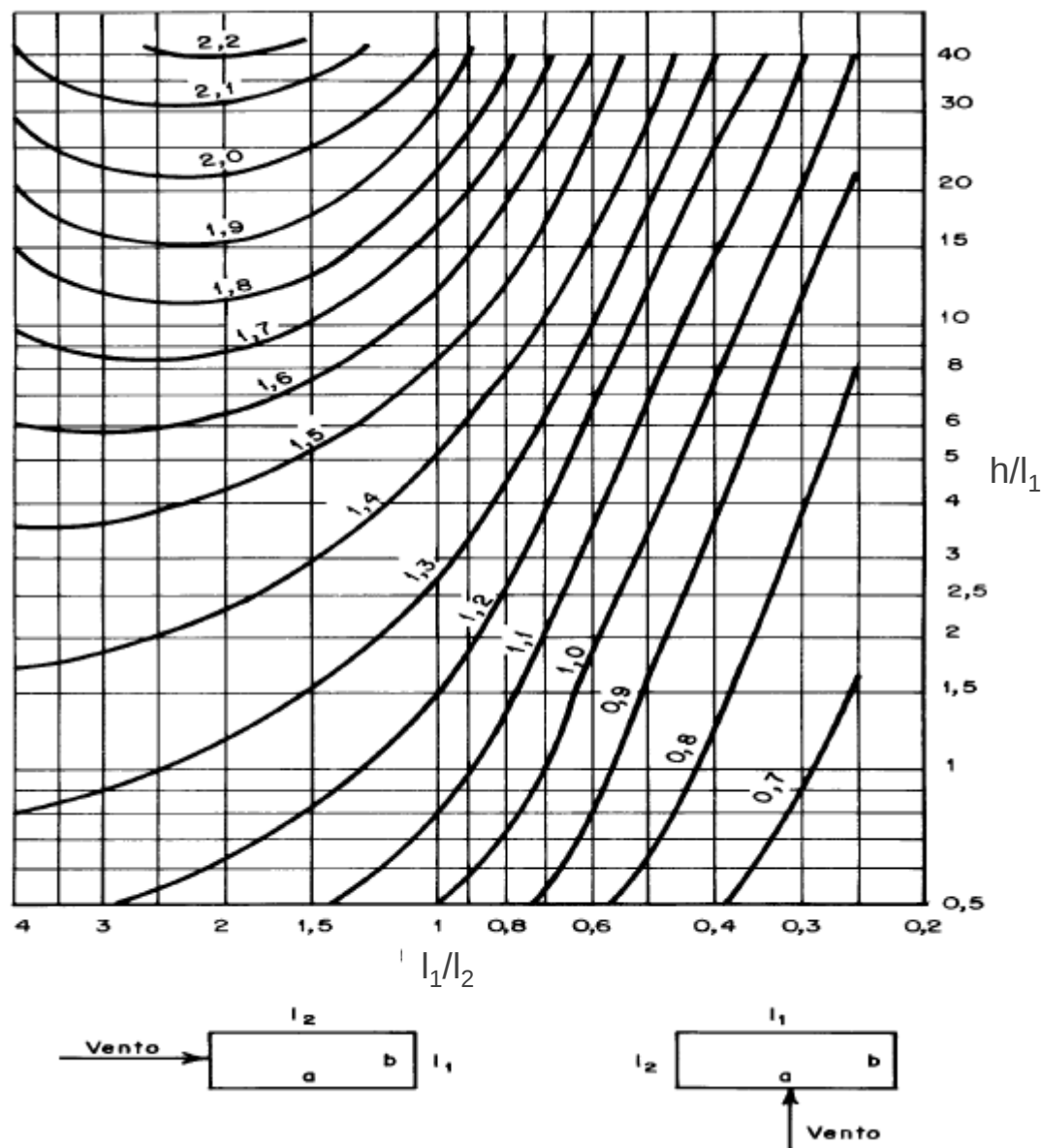
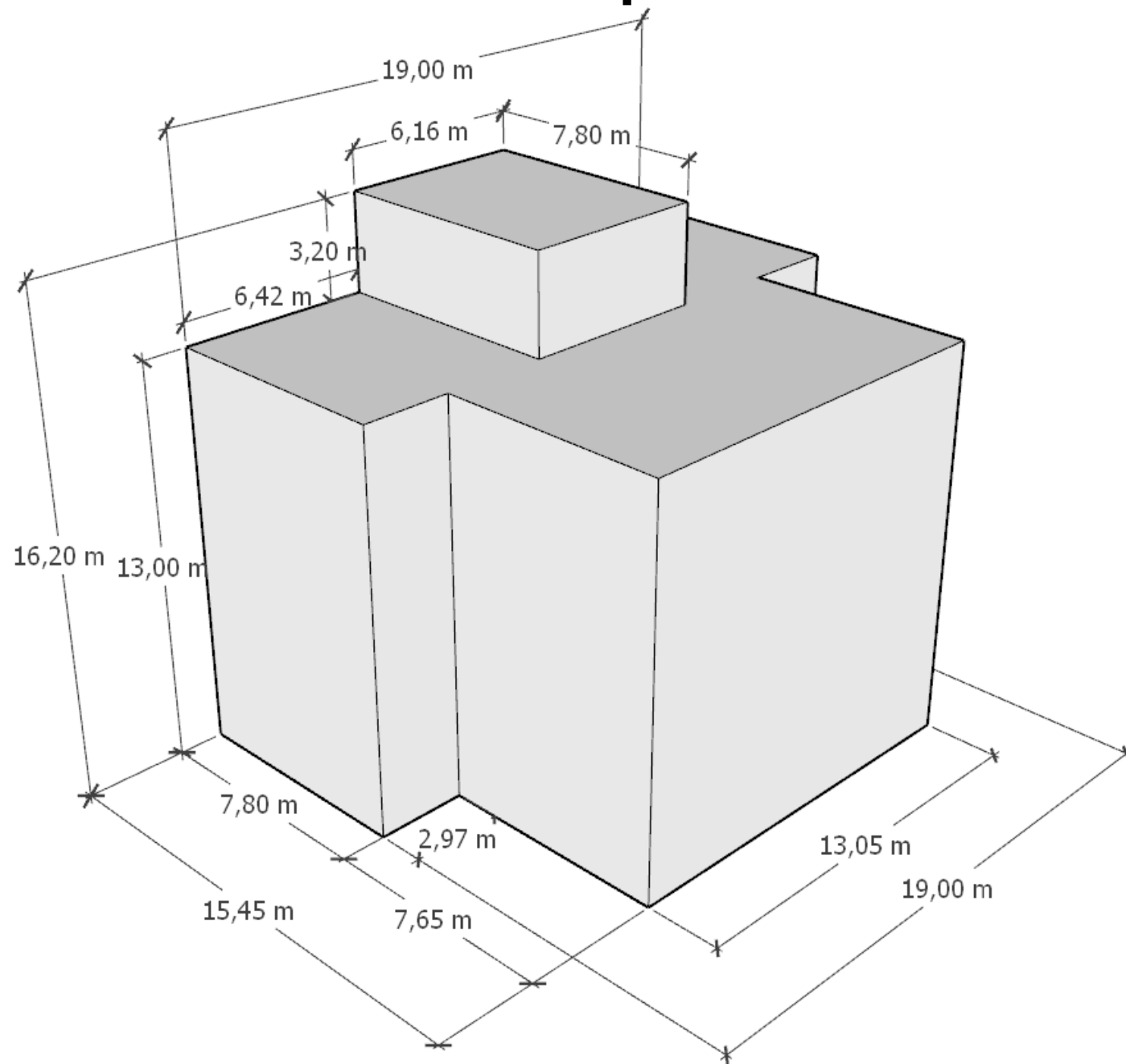


Figura 4 - Coeficiente de arrasto, C_d , para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência

Exemplo

- Considere um prédio de 4 andares destinado à administração e alojamento do corpo de bombeiros local, com as dimensões conforme croquis abaixo, com um eixo de simetria em planta, a ser construído em Itupeva – SP, em um terreno alto, a 70% da altura de um talude descampado com ângulo com a horizontal de 18° e altura total de 120 m. O entorno do local onde será implantado o edifício é campestre, com vegetação rala e poucas construções isoladas de pequeno porte.
- Utilize a metodologia simplificada proposta pela norma ABNT - NBR 6123/1988.

Exemplo



Exemplo

Pede-se:

- a. Obtenha V_0
- b. Calcule S_1 , S_2 , S_3 e V_k
- c. Calcule a pressão dinâmica de vento q que deve ser levada em consideração para dimensionamento de partes da estrutura de edificação.
- d. Calcule a força de vento que atua sobre uma janela com dimensão $2,40 * 2,10$ m
- e. Calcule a força de vento que atua na edificação como um todo em suas duas direções principais, a de menor e maior área de sombra.

Exemplo

Resolução