



com  
C75

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS



CONS  
2755

**CONSIDERAÇÕES SOBRE ALGUNS TÓPICOS  
PARA UMA NORMA DE VENTO**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Homero Só Jobim**, Reitor

**Mário Rigatto**, Vice-Reitor

**Ernesto Alfredo Preussler**, Pró-Reitor de Extensão

**Francisco Luís dos Santos Ferraz**, Pró-Reitor de Planejamento

**Gerhard Jacob**, Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

**Jorge Honório M. Brito**, Pró-Reitor de Assistência à Comunidade Universitária

**Luiz Carlos de Mesquita Rothmann**, Pró-Reitor de Graduação

**Manoel Marques Leite**, Pró-Reitor de Administração

EDITORA DA URGs

**Blasio H. Hickmann**, Diretor

CONSELHO EDITORIAL

**Ana Íris do Amaral**

**Blasio H. Hickmann**

**Flávio Loureiro Chaves**

**Francisco Riopardense de Macedo**

**Lothar Francisco Hessel**

**JOAQUIM BLESSMANN**

- Engenheiro Civil
- Mestre e Doutor em Ciências pela Divisão de Engenharia Aeronáutica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica
- Professor Adjunto da Escola de Engenharia da UFRGS
- Pesquisador-Titular A do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

# **considerações sobre alguns tópicos para uma norma de vento**

(2.<sup>a</sup> edição, ampliada)

**SÉRIE ENGENHARIA ESTRUTURAL/4**



editora da urgs  
universidade federal do rio grande do sul  
porto alegre/1979

Direitos desta edição:  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

FICHA CATALOGRÁFICA

Blessmann, Joaquim

Considerações sobre alguns tópicos para uma norma de vento. 2.ed. ampliada. Porto Alegre, Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1979.

64p. 23cm. (Série Engenharia Estrutural, 4)

I. Título. II. Série.

CDU 624.042

CDD 624.175

ISBN 85-7025-011-8 obra completa

ISBN 85-7025-013-4 volume 4;

Nº de registro: 544

Nº de obra: 202

Data: 27/10/2009

## SUMÁRIO

Apresentação / 9

1 – Ações locais / 11

2 – Inclinação do telhado / 21

3 – Forma e proporções da construção / 29

4 – Interação / 39

5 – Resumo / 55

Bibliografia / 59



## APRESENTAÇÃO

No presente trabalho apresentamos resultados de ensaios, indicações e comentários sobre alguns dos tópicos que devem ser considerados em uma norma de efeitos do vento em construções: sucções (ações locais, inclinação do telhado, forma e proporções da construção, influência de beirais e platibandas), forças de atrito e interação.

Ações locais com vento oblíquo a uma das fachadas e altas sucções originadas por formas, proporções e inclinações do telhado desfavoráveis podem atingir valores elevados. Os efeitos de interação podem causar aumentos sensíveis na velocidade do vento nas vizinhanças de edificações, bem como alterações nas pressões, ocasionando picos de sucção e majoração nas forças e momentos torsores.

Platibandas, desde que não sejam demasiadamente baixas, diminuem os picos de sucção, enquanto que beirais agravam a situação.

Para certas proporções, as maiores sucções em telhados a duas águas aparecem com inclinações de telhado entre 8 e 12°.



## 1 – AÇÕES LOCAIS

a) A experiência mostra que apenas em circunstâncias excepcionais e ocasionais há o colapso total da estrutura. E mesmo nestes casos, em geral, a falha inicial foi local. Portanto, tanto do ponto de vista econômico como do estrutural é importante estudar com cuidado os altos esforços locais do vento, a fim de evitar estas falhas locais; não será necessário superdimensionar toda a estrutura.

Estas ações locais são constituídas por sucções de alto valor em zonas mais ou menos restritas. Aparecem em arestas e quinas de paredes e coberturas, principalmente para o vento incidindo obliquamente a uma fachada. Além da direção do vento, influi também a inclinação do telhado, a forma e as proporções da construção.

Também elementos que sobressaem da construção (chaminés, torres, cornijas, etc.) produzem turbilhonamento e uma esteira com sucções bastante elevadas.

No telhado, fortes sucções devem-se à formação dos dois vórtices de topo, quando o vento incide obliquamente. Estes vórtices iniciam-se no canto mais a barlavento, desenvolvendo-se em forma cônica ao longo das duas arestas do telhado.

São estas sucções, acima especificadas, só ou aliadas a uma sobrepressão interna, as responsáveis pelos casos cada vez mais freqüentes de arrancamentos parciais ou totais de coberturas planas ou de pequena inclinação constituídas de materiais leves. O arrancamento começa no canto mais solicitado; iniciado este, à sucção externa alia-se a sobrepressão interna, provocando o colapso parcial ou total do telhado.

Scruton e Newberry<sup>3 6</sup> observaram centenas de danos em telhados, na zona situada na esteira de chaminés, durante os temporais do inverno 1962-63, na Grã-Bretanha.

As sucções que aparecem na parte superior das arestas verticais devem ser devidamente consideradas. Os painéis de vedação de edifícios, cada vez mais leves, têm probabilidade crescente de serem arrancados. Foi o que aconteceu em um arranha-céu de Nova Iorque,

em março de 1966, onde o vento arrancou um painel entre duas janelas, bem como os vidros de janelas do 18.º e 21.º pisos, nas proximidades da aresta vertical do edifício.<sup>1 6</sup> Outros exemplos são encontrados em Blessmann.<sup>6</sup>

b) Vários pesquisadores têm medido, em ensaios em túneis aerodinâmicos, valores destas sucções locais, tanto em construções altas como baixas, em vento de velocidade uniforme ou não. Os picos de sucção aparecem próximos à quina mais a barlavento. As coberturas dos modelos eram horizontais ou de pequena inclinação.

Salter,<sup>3 3</sup> modelo com telhado de uma água, dimensões  $a \times b \times h = 4 \times 1 \times 0,8$  (altura  $h$  medida na parede mais baixa), inclinação do telhado de  $6^\circ$ , encontrou  $c_{pe}$  superior a  $-6$ , com vento incidindo a  $40^\circ$  com a fachada mais alta, e  $c_{pe}$  superior a  $-4$  (para ambos entende-se superior em valor absoluto), vento a  $50^\circ$  com a fachada mais baixa.

Irminger e Nokkentved,<sup>2 1</sup> prisma de base quadrada, dimensões  $1 \times 1 \times 2,5$ , encontraram na aresta vertical da parede e próximo ao topo, com vento a cerca de  $15^\circ$  com a fachada, uma sucção com  $c_{pe} = -1,6$ .

Nos ensaios de Iowa,<sup>1 2</sup> também em paredes, modelo  $4 \times 1 \times 0,5$ , telhado de duas águas e  $15^\circ$  de inclinação, vento paralelo às fachadas menores: sucções de  $-1,4$  nestas fachadas, na parte superior de barlavento.

Nas tabelas 1 a 4 são dados valores obtidos em diversos ensaios para picos de sucção em telhados. Chamamos a atenção para os elevados picos obtidos em certos casos, bem como para a influência nociva dos beirais (Tabela 4).

Em resumo, todos os ensaios citados mostram que há superfícies relativamente grandes com sucções acima de 1,5 em valor absoluto. Estas superfícies situam-se ao longo das arestas de paredes e telhados. Um exemplo típico de distribuição de pressões para vento oblíquo é dado na Fig. 5. No caso de beirais, às sucções, já aumentadas pela presença do beiral, se há de adicionar a sobrepressão porventura existente na superfície inferior.

c) Solução para evitar as altas sucções locais: por detalhes arquitetônicos favoráveis. Por exemplo: platibandas. Platibanda de altura suficiente, como mostraram os ensaios sistemáticos de Nacy<sup>2 9</sup> e Leutheusser,<sup>2 7</sup> evitam o aparecimento destas altas sucções locais nas coberturas. Isto pode ser constatado na Tabela 4, onde estão dados os maiores valores de sucção em cobertura plana, sem e com beiral ou platibanda, ensaios de Leutheusser.<sup>2 6, 2 7</sup>

Leutheusser observa que, excetuando-se o caso de platibandas demasiadamente baixas, houve uma grande redução dos picos de sucção. Entretanto, o coeficiente de forma externo ( $C_e$ ) não sofreu redução importante. Este autor apresenta um interessante gráfico, reproduzido na Fig. 1, para a determinação da altura de platibanda necessária para uma redução pré-fixada do pico de sucção. Conhecida a altura relativa  $h/b$  e as proporções em planta, o gráfico citado permite obter o valor de  $p/h$  – sendo  $p$  a altura da platibanda – correspondente

TABELA 1 – VALORES MÁXIMOS DE SUCCÕES LOCAIS; ENSAIOS DE IOWA<sup>1,2</sup>

Proporções $a \times b \times h$	$\Theta$	$C_{pe}$	Proporções $l \times b \times h$	$\Theta$	$C_{pe}$
2 x 1 x 0,5	0°	-5,0	1 x 1 x 1,5	15°	-3,4
2 x 1 x 1	0°	-5,8	2 x 1 x 1	15°	-3,3
2 x 1 x 1,5	0°	-5,9	2 x 1 x 1,5	15°	-4,0
4 x 1 x 1	0°	-6,4	4 x 1 x 1	15°	-3,2
4 x 1 x 1,5	0°	-7,4	4 x 1 x 1,5	15°	-3,9

Obs.: 1 – Vento oblíquo, em torno de 45°.

2 – Com telhado a 30° ( $\Theta$ ), os picos de sucção situaram-se entre -1,6 e -1,0.

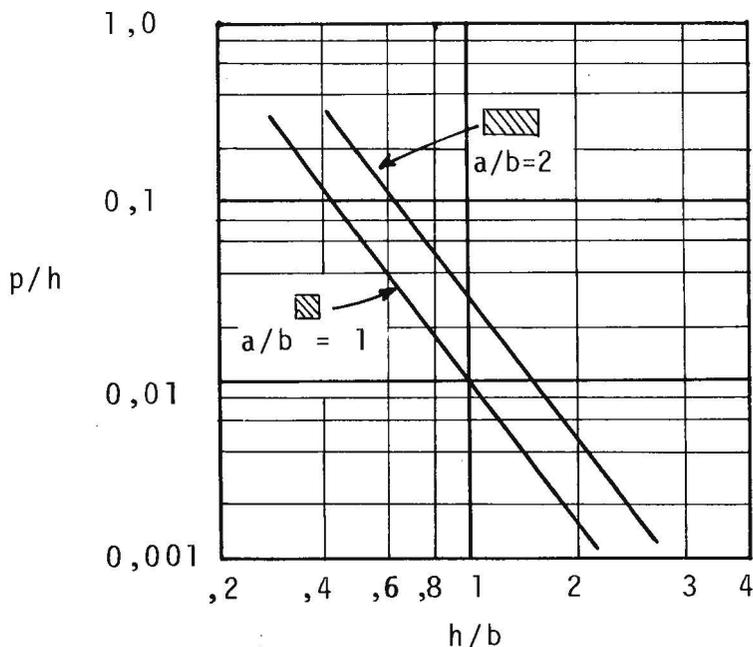


Fig. 1 – Ensaios de Leutheusser

a uma sucção extrema igual ao dobro da sucção média sobre todo o telhado. Ou seja:  $c_{pe \text{ min}} = 2C_e$

Também Nancy verificou que o efeito máximo da platibanda aparece com vento a  $45^\circ$ . As máximas sucções médias em uma secção transversal sofreram grande redução: nos modelos de secção quadrada e  $h/b = 0,5, 1,0$  e  $1,5$ , baixaram de cerca de  $-1,6$  para valores em torno de  $-0,75$  (altura da platibanda entre  $0,05h$  e  $0,4h$ ; incidência do vento a  $45^\circ$ ). No modelo com  $a \times b \times h = 4 \times 1 \times 1$ , a redução foi de  $-2,02$  para  $-1,18$  (vide Tabela 5).

Quanto às sucções locais máximas, nos modelos de secção quadrada e  $h/b = 0,5, 1,0$  e  $1,5$ , elas baixaram de valores em torno de  $-3,8$  para  $-0,8$ , e isto mesmo com a menor das platibandas usadas ( $0,067$ ), para o modelo mais alto. Para o modelo de altura média ( $h/b = 1$ ),  $-0,8$  foi atingido com  $p = 0,1h$  e para o mais baixo ( $h/b = 0,5$ ), com  $p = 0,2h$ . Em outras palavras: quanto mais alta a construção, menor a altura relativa para se obter o máximo de efeito benéfico. Observe-se que as alturas absolutas das platibandas são iguais nos três casos. Para o modelo com  $a \times b \times h = 4 \times 1 \times 1$ , a sucção máxima baixou de  $-6,5$  para:

- 3,2 com platibanda  $0,05h$
- 1,9 com platibanda  $0,1h$
- 1,3 com platibanda  $0,2h$

Whitbread e Packer, estudando uma cobertura em forma de parabolóide hiperbólico, constataram dois vórtices de topo que ocasionavam sucções de até  $-5,50$ . Este pico de sucção foi diminuído para  $-0,7$  pela introdução de uma pequena platibanda que deslocou o núcleo dos vórtices para longe da superfície do telhado.<sup>3,4</sup>

Davenport e Surry<sup>1,4</sup> ensaiaram um modelo paralelepípedo de pequeno Alçamento, com proporções  $a \times b \times h = 1 \times 1 \times 0,2$ , ao qual adicionaram uma platibanda de altura relativa igual a  $1/12$  da altura da parede ( $p/h = 1/12$ ). Os ensaios foram feitos com simulação das características de vento natural em campo aberto, com perfil vertical de velocidades médias obedecendo à conhecida lei de potência, com expoente  $0,15$ . A intensidade de turbulência foi de, aproximadamente,  $9,5\%$ .

No modelo sem platibanda os picos de sucção com vento oblíquo a uma das fachadas apareceram a cerca de  $a/8$  distante da quina de barlavento. Com platibandas os picos de sucção aumentaram e passaram para a quina supracitada. Por exemplo:

- incidência do vento:	$45^\circ$	$30^\circ$
- $c_{pe \text{ min}}$ , sem platibanda:	$-0,83$	$-0,97$
- $c_{pe \text{ min}}$ , com platibanda:	$-2,19$	$-2,04$

TABELA 2 – SUCÇÕES LOCAIS MÁXIMAS NO TELHADO;  
ENSAIOS DE JENSEN<sup>2,3</sup>

Proporções a x b x h	Inclinação do telhado $\Theta$	Incidência do vento $\alpha$	$C_{pe}$	Observações	
2 x 1 x 0,5 telhado 1 água	0° 6° 10° 15°	45°	-2,56	turbulência pequena	
		45°	-3,60	turbulência pequena; vento incide parede mais alta	
		45°	-4,36	idem	
		45°	-4,16	idem	
2 x 1 x 1 telhado 1 água	0°	45°	-3,70	turbulência pequena	
		45°	-2,65	turbulência média	
		45°	-1,64	turbulência grande	
	6°	45°	-2,24	turbulência pequena; vento incide parede mais baixa	
		45°	-4,20	turbulência pequena; vento incide parede mais alta	
		45°	-2,54	turbulência grande; vento incide parede mais alta	
	10°	45°	-3,64	turbulência pequena; vento incide parede mais alta	
		45°	-2,83	turbulência grande; vento incide parede mais alta	
	15°	45°	-3,54	turbulência grande; vento incide parede mais alta	
	2 x 1 x 1 telhado 2 águas	5,7°	45°	-2,84	turbulência pequena
	4 x 1 x 2	5,7°	45°	-2,86	turbulência pequena; vento incide parede mais baixa
			40°	-3,66	turbulência pequena; vento incide parede mais alta
45°			-2,64	idem	
4 x 1 x 2 telhado 2 águas	5,7°	45°	-3,08	turbulência pequena	

TABELA 3 – SUÇÇÕES LOCAIS MÁXIMAS EM COBERTURA PLANA<sup>5</sup>

Proporções a x b x h	$\alpha$	$c_{pe}$	Proporções a x b x h	$\alpha$	$c_{pe}$
2,5 x 1 x 10	45°	-3,31	16 x 6,4 x 32	45°	-3,60
16 x 3,2 x 32	45°	-3,14	32 x 3,2 x 16	30°	-2,25
16 x 3,2 x 10	30°	-2,37	32 x 6,4 x 16	30°	-3,01
Camada limite: 2,3cm			32 x 3,2 x 32	30°	-2,23

TABELA 4 – VALORES MÁXIMOS DE SUÇÃO EM TELHADOS.  
COBERTURA PLANA. VENTO A 45°; ENSAIOS DE LEUTHEUSSER<sup>26, 27</sup>

Proporções a x b x h	Detalhes	$c_{pe}$
1 x 1 x 0,5	sem beiral e sem platibanda	-2,18
	com platibanda de altura = h/24	-2,24
	h/12	-1,00
	h/6	-0,70
	com beiral de largura = h/12	-3,70
1 x 1 x 1	sem beiral e sem platibanda	-2,05
	com platibanda de altura = h/48	-0,70
	h/24 e h/12	-0,60
	h/6	-0,50
com beiral de largura = h/24	-4,70	
1 x 1 x 2	sem beiral e sem platibanda	-1,20
	com platibanda de altura = h/48, h/24 e h/12	-0,70
	com beiral de largura = h/24	-4,40
2 x 1 x 0,5	sem beiral e sem platibanda	-3,33
	com platibanda de altura = h/24	-3,60
	h/12	-2,22
	h/6	-1,23
com beiral de largura = h/6	-4,50	
2 x 1 x 1	sem beiral e sem platibanda	-3,82
	com platibanda de altura = h/48	-3,50
	h/24	-1,43
	h/12	-1,03
	h/6	-0,77
com beiral de largura = h/12	-5,50	
2 x 1 x 2	sem beiral e sem platibanda	-3,80
	com platibanda de altura = h/48	-0,90
	h/24	-0,89
	h/12	-0,83
com beiral de largura = h/24	-6,20	

TABELA 5 – VALORES MÁXIMOS DE SUCÇÃO MÉDIA EM UMA SECÇÃO DE TELHADO. COM E SEM PLATIBANDA. COBERTURA PLANA. VENTO A 45°, ENSAIOS DE NACY<sup>29</sup>

p/h	h/b	Valores de $c_{pe}$ médio para:	
		a/b = 1	a/b = 4
0	0,5	-1,55	.....
0	1,0	-1,58	-2,02
0	1,5	-1,57	.....
0,1	0,5	-1,07	.....
0,05	1,0	.....	-1,90
0,2	0,5	-0,80	.....
0,1	1,0	-0,78	- 1,55
0,067	1,5	-0,75	.....
0,4	0,5	-0,69	.....
0,2	1,0	-0,75	-1,18
0,133	1,5	-0,70	.....

*p*: altura da platibanda; *h*: altura do modelo  
*a* e *b*: dimensões do modelo em planta

“Estes resultados são consistentes com as conclusões de Leutheusser, de que uma platibanda baixa pode ser pior do que nenhuma, e de que a altura crítica da platibanda requerida para reduzir as altas sucções locais é uma fração crescente da altura da edificação, a medida que a edificação torna-se mais baixa.”<sup>a</sup>

Em outras palavras, a altura crítica da platibanda é inversamente proporcional à altura da edificação, conforme já tinham concluído Nacy e Leutheusser em seus estudos em corrente de ar uniforme.

Ensaio em telhados a duas águas planas com calha central estão em andamento no Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC), do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. Os resultados citados a seguir referem-se ao caso de vento uniforme, com intensidade de turbulência de 0,8% e camada limite com 5cm de altura. Em breve serão iniciados ensaios com os mesmos modelos, porém com simulação de características do vento natural (perfil de velocidades médias e turbulência).

As dimensões e proporções dos modelos estão dados na Tabela 6.

<sup>a</sup>DAVENPORT, A. G. & SURRY, D. J. The pressures on low rise structures in wind. In: CANADIAN STRUCTURAL ENGINEERING, 1974. Ottawa, Canadian Steel Industries Construction Council, 1974. p.11.

TABELA 6 – DIMENSÕES E PROPORÇÕES DOS MODELOS

Modelo	a x b x h	$\theta$	p (cm)	p/h
Série A	20 x 20 x 10cm (1 x 1 x 0,5)	-10° -15°	0	0
			0,5	0,05
			1,0	0,10
			2,0	0,20
Série B	40 x 20 x 10cm (2 x 1 x 0,5)	-10° -15°	0	0
			0,5	0,05
			1,0	0,10
			2,0	0,20

A Fig. 2 apresenta os picos de sucção ( $c_{pe \min}$ ) em função da altura da platibanda (p/h), independentemente do ângulo de incidência do vento. Os picos de sucção correspondentes à inclinação do telhado  $\theta = -10^\circ$  foram sempre maiores que os respectivos picos para  $\theta = -15^\circ$ .

Observa-se neste mesmo gráfico que já com a menor das platibandas utilizadas obteve-se uma diminuição sensível nos picos de sucção extremos, principalmente nos modelos de planta quadrada (Série A). A partir de platibandas com 10% da altura da parede, nos modelos de secção quadrada, e com 15% nos modelos de secção retangular, a diminuição dos picos de sucção extremos é progressivamente atenuada. Nos primeiros,  $c_{pe \min}$  tende para -0,7 e nos últimos para -0,85.

Um exemplo da distribuição das curvas isobáricas é dado na Fig. 3.

Um relatório completo dos ensaios em telhados com calha central desenvolvidos no LAC será publicado brevemente pelo Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. Resultados parciais são encontrados em Blessmann.<sup>7</sup>

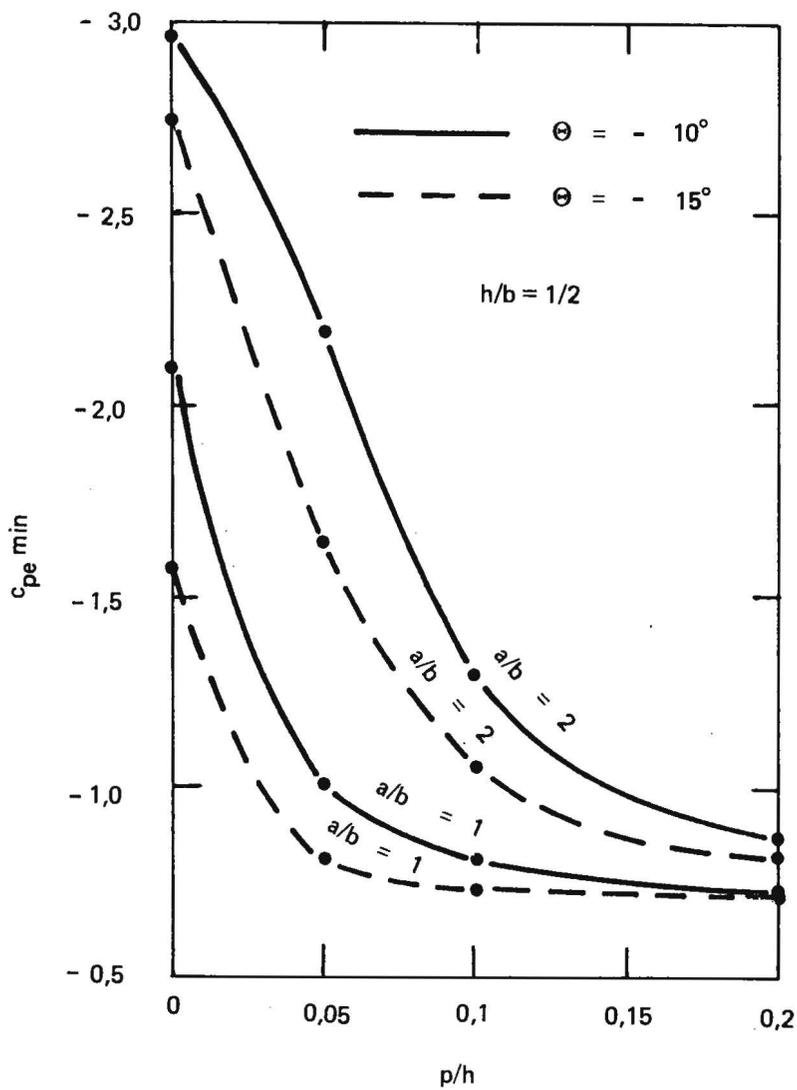


Fig. 2 – Picos de sucções

p/h

0

0,05

0,10

0,20

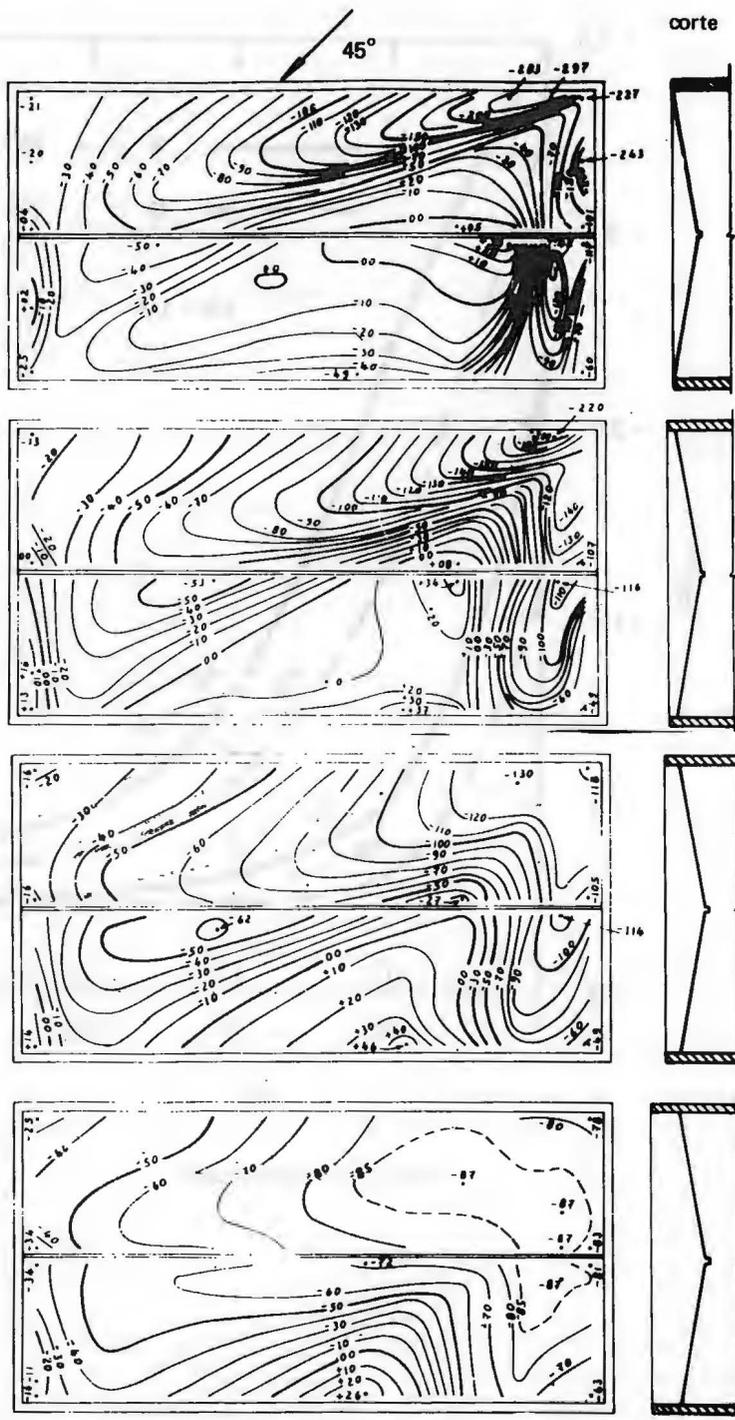


Fig. 3 – Isóbaras em termos de  $100c_{pe}$  - Modelo  $2 \times 1 \times 0,5$ ;  $\theta = -10^\circ$ ;  $\alpha = 45^\circ$

## 2 – INCLINAÇÃO DO TELHADO

a) Na água de barlavento a inclinação do telhado influi tanto nas sucções locais, para vento incidindo obliquamente (item anterior), como também nos valores médios e nos valores máximos, para o vento incidindo normal ou obliquamente à fachada.

Para vento perpendicular à fachada maior, contrariamente a algumas normas, que indicam máximo de sucção com cobertura plana (por exemplo:  $-1,2 \sin \alpha - 0,5$ ), experimentalmente foi verificado que maiores sucções podem aparecer com telhados inclinados entre 8 e 12°. Estas sucções diminuem com o aumento da inclinação do telhado. Para ângulos maiores que 35° aparecem sobrepressões, mas mesmo assim temos sucções próximas à cumeeira (ainda na água de barlavento), as quais podem causar o arrancamento da cobertura, se esta não for convenientemente ancorada.

As pressões externas sobre o telhado são também influenciadas pela altura das paredes. Ou, fundamentalmente, as pressões externas dependem da forma do fluxo no entorno da construção. A Fig. 4 procura esclarecer este ponto. A barlavento da construção podemos distinguir duas regiões: uma de fluxo fortemente influenciado pela rugosidade do solo e pelo campo de sobrepressões na parede de barlavento, originando redemoinhos que escapam lateralmente e são lançados na esteira (vórtices de pé de fachada), e uma região de fluxo *normal*, com as linhas de corrente desviadas pela construção e pelo vórtice de pé de fachada. Estas duas regiões são separadas por uma *superfície de separação*. Se a tangente a esta superfície, no ponto de contato com o telhado, é menos inclinada que este, teremos sobrepressões na água de barlavento do telhado (Fig. 4-a). Se esta tangente for mais inclinada que o telhado, teremos sucções (Fig. 4-b).

Pode ser demonstrado que o sinal das pressões está ligado à curvatura das linhas de corrente próximas ao telhado. A parte côncava corresponde a sobrepressões e a parte convexa, a sucções.

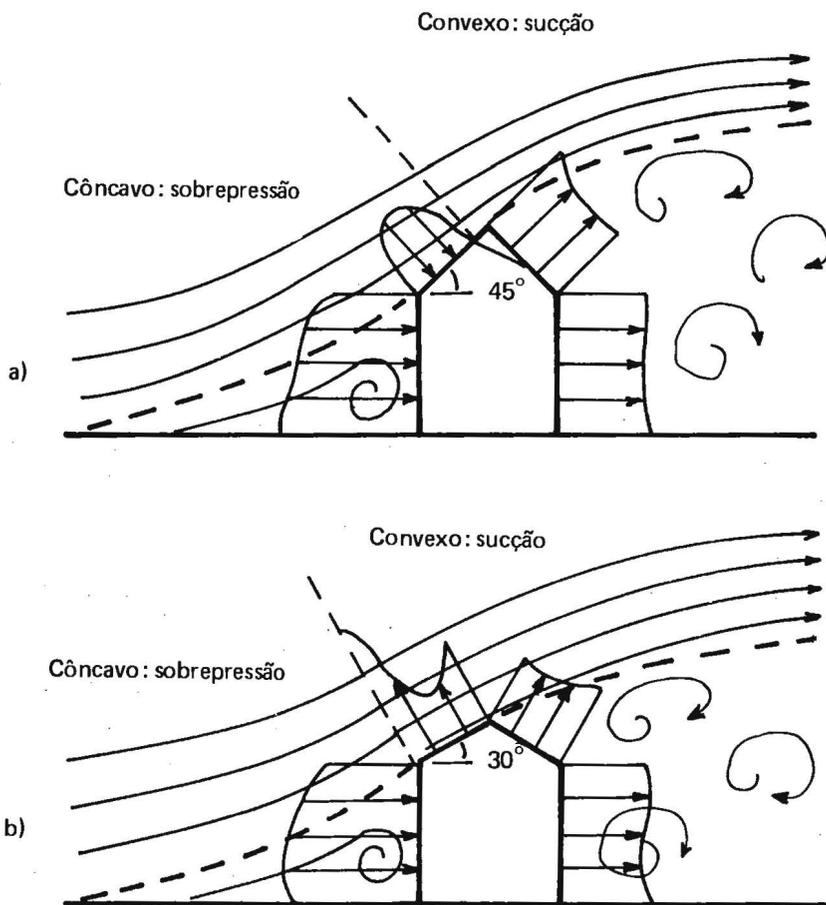


Fig. 4 – Influência da forma do fluxo nas pressões

Observe-se que a água de sotavento está sempre submetida a sucções.

Se o vento sopra axialmente (paralelo à cumeeira) ou quase axialmente, teremos sucções em todo o telhado, independente de sua inclinação ou mesmo de sua forma (telhados em abóbada). Esta sucção é maior nas proximidades da borda de barlavento.

Também com o vento incidindo obliquamente, para telhados não muito inclinados, teremos sucção em todo telhado. Os ensaios de lowa, já citados, indicam sucções em todo o telhado, com o vento incidindo a  $45^\circ$  e para os modelos com telhado até  $30^\circ$  de inclinação (Fig. 5). Estas sucções com vento oblíquo (em torno de  $45^\circ$ ) são bem superiores às obtidas com vento normal ou paralelo à fachada maior.

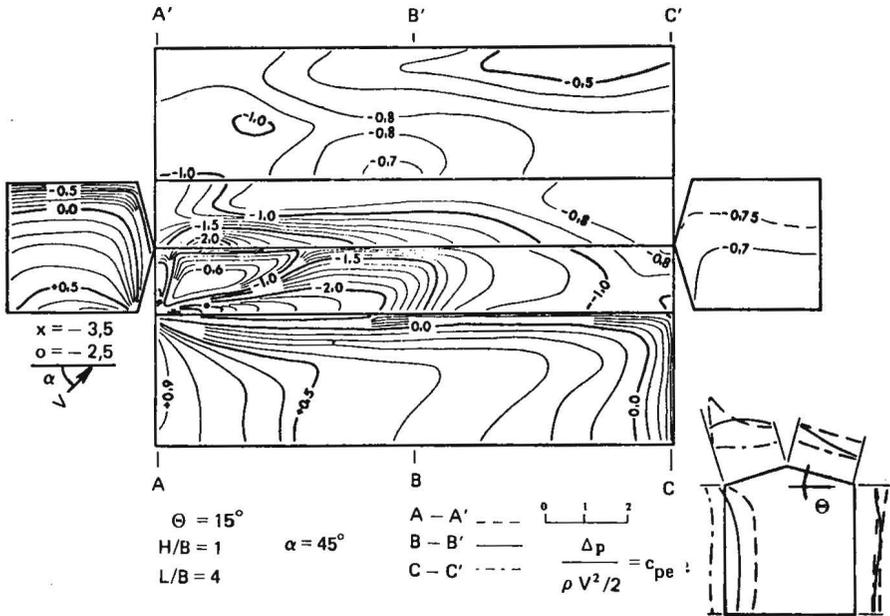


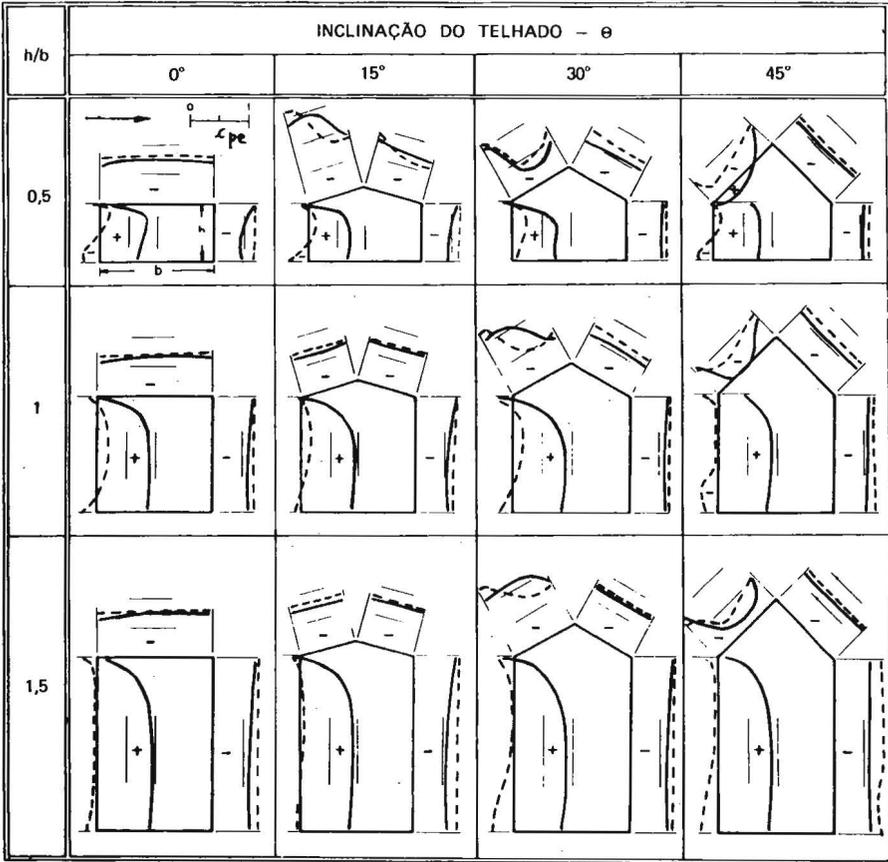
Fig. 5 — Curvas isobáricas (ensaios de lowa)

Geralmente as sucções no telhado, principalmente com pequenas inclinações de telhado, constituem os maiores esforços do vento sobre a construção. Há casos em que a força de sustentação é bastante superior ao peso próprio do telhado, causando o levantamento de todo o telhado ou inversão dos esforços em sua estrutura. Hangares leves devem estar ancorados em fundações com peso suficiente para absorver a força de sustentação. Por outro lado, deve-se verificar o fenômeno de flambagem nas barras das treliças que passaram a ser comprimidas. Também os apoios devem ter condições de absorver o empuxo com sentido invertido.

b) São clássicos os ensaios de lowa,<sup>1,2</sup> a partir dos quais foi organizada a Figura 6, que apresenta os perfis de pressão, em termos de  $c_{pe}$ , para diversas relações  $h/b$ , sendo  $a/b = 4$ . Verifica-se que as sucções com  $\theta = 15^\circ$  e mesmo  $30^\circ$  chegam a ser maiores que a  $0^\circ$ . Os ensaios de lowa incluíram também as relações  $a/b = 2$  e  $1$ . A forma destes perfis é análoga aos correspondentes da Figura 6, com os seguintes valores máximos de sucções:

$$\begin{aligned} a/b = 2 & & c_{pe} = -1,7 \\ a/b = 4 & & c_{pe} = -1,4 \end{aligned}$$

Para facilitar uma estimativa visual, na figura estão marcadas as meias unidades de  $c_{pe}$  junto aos perfis.



Secção média: — (1)

Secções próximas às bordas: - - - (2)

Escala única de  $c_{pe}$ :

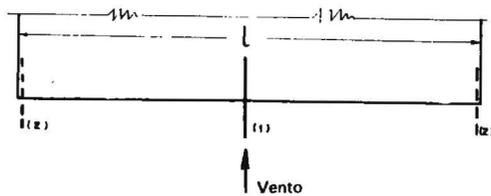


Fig. 6 - Pressões em modelos de construções. Vento a 90°. Relação a/b = 4

Quanto a valores médios em secções transversais da água de barlavento, em linhas gerais o coeficiente de pressão médio,  $c_{pe}$  médio, aumentou à medida que a construção tornou-se mais alargada e mais alta. Máximo de  $C_e$  em vários casos apareceu com telhado com inclinação em torno de 15° (isto na curva contínua do gráfico, traçada a partir dos dados experimentais, com inclinações variando de 15 em 15°), Alguns dos valores obtidos estão dados na Tabela 7.

A incidência do vento era oblíqua. Para vento normal à fachada temos os valores de  $C_e$ , calculado com as pressões na secção média, dados na Tabela 8.

Entre os valores obtidos por Jensen,<sup>2,3</sup> alguns estão dados na Tabela 9; esta tabela indica os limites entre os quais variaram os  $c_{pe}$  na água de barlavento, vento normal à fachada.

Ensaio efetuados nos Laboratórios Eiffel,<sup>31</sup> em 1959, têm seus resultados apresentados na Tabela 10.

Pela norma francesa,<sup>1,3</sup> os valores de  $C_e$  na água de barlavento podem chegar a  $-1,65$ . Os maiores valores aparecem para ângulos entre

TABELA 7 – MÁXIMAS SUÇÕES MÉDIAS EM UMA SECÇÃO TRANSVERSAL A BARLAVENTO. INCIDÊNCIA OBLÍQUA DO VENTO; ENSAIOS DE IOWA<sup>12</sup>

a x b x h	Valores de $c_{pe}$ médio para:	
	$\Theta = 0^\circ$	$\Theta = 15^\circ$
4 x 1 x 1,5	-2,36	-2,60
4 x 1 x 1	-2,02	-1,76
4 x 1 x 0,5	-1,95	-1,71
1 x 1 x 1,5	-1,56	-2,06
1 x 1 x 1	-1,58	-1,70
1 x 1 x 0,5	-1,55	-1,40

TABELA 8 – COEFICIENTE DE PRESSÃO MÉDIA NA SECÇÃO CENTRAL. VENTO NORMAL À PAREDE. ÁGUA DE BARLAVENTO; ENSAIOS DE IOWA<sup>12</sup>

a x b x h	Inclinação do telhado $\Theta$			
	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$
4 x 1 x 1,5	-0,57	-0,81	-1,10	-0,35
4 x 1 x 1	-0,62	-0,62	-0,84	-0,18
4 x 1 x 0,5	-0,70	-1,30	-0,48	+0,08
2 x 1 x 1,5	-0,68	-0,68	-0,96	-0,11
2 x 1 x 1	-0,72	-0,70	-0,79	+0,05
2 x 1 x 0,5	-0,80	-1,35	-0,30	+0,13
1 x 1 x 1,5	-0,82	-1,08	-0,62	-0,04
1 x 1 x 1	-0,73	-0,94	-0,54	+0,04
1 x 1 x 0,5	-0,77	-1,05	-0,22	+0,20

TABELA 9 – COEFICIENTE DE PRESSÃO ( $c_{pe}$ ). VENTO NORMAL À PAREDE;  
ENSAIOS DE JENSEN.<sup>2,3</sup> ÁGUA DE BARLAVENTO

a x b x h	$\theta$	Valores limites de $c_{pe}$ (aprox.)	Observações
4 x 1 x 2	5,7°	-1,14 a -0,27	uma água, vento de turbulência grande, incidindo do lado mais baixo
4 x 1 x 2	5,7°	-1,32 a -0,8	2 águas, vento de turbulência grande
2 x 1 x 1	5,7°	-1,1 a -0,6	2 águas, vento de turbulência média
2 x 1 x 0,5	5,7°	-1,25 a -0,5	2 águas, vento de turbulência pequena
4 x 1 x 1	20°	-1,25 a -0,45	2 águas, vento de turbulência pequena

8 e 12°. Os ensaios de Pris,<sup>3,1</sup> que serviram de base para estas normas, alcançaram valores um pouco maiores:

$\theta =$	0°	10°	20°	30°
$C_e =$	-1,75	-1,72	-1,60	-1,32

c) Em resumo: o valor -0,5 dado por diversas normas como maior valor médio da sucção em cobertura plana e horizontal é muito baixo, principalmente quando se consideram somente zonas do telhado. Com o vento normal à fachada maior podemos chegar a valores de  $C_e$  em torno de -1,75, e, com vento oblíquo, a valores tão altos como -2,60 (válidos não para o telhado todo, mas para parte dele). Além disso, os maiores valores podem surgir, não com cobertura plana e horizontal, mas sim com telhado inclinado. Examinando-se as curvas de variação dos coeficientes, curvas estas traçadas a partir dos ensaios, chega-se à conclusão de que os valores máximos aparecem entre 8 e 12° de inclinação do telhado, para certas proporções da construção e certas incidências do vento. Exatamente as inclinações muito em uso na arquitetura moderna, que, para agravar mais a situação, utiliza materiais de cobertura muito leves (enquanto que um telhado com telhas portuguesas – estrutura e cobertura – pesa cerca de 120kgf/m<sup>2</sup>, em telhados de alumínio já se chegaram a valores tão baixos como 8kgf/m<sup>2</sup>).

d) A nova norma brasileira da ABNT, NB-599,<sup>2</sup> na parte correspondente a coeficientes de forma em telhados a duas águas, não apresenta valores para inclinação do telhado de 15°. Passa de 10° para 20°, como o faz a norma britânica, em que se baseou esta parte da brasileira. Para preencher esta lacuna, ensaios foram feitos pelo LAC para esta inclinação de telhado, como parte da série de estudos feitos no túnel de vento da UFRGS para o convênio IPT/Eternit. Os resultados estão dados na Tabela 11.

TABELA 10 – COEFICIENTE DE FORMA ( $C_e$ ) EM TELHADOS.  
VENTO NORMAL À FACHADA MAIOR (E À CUMEEIRA).  
ENSAIOS NOS LABORATÓRIOS EIFFEL,<sup>31</sup> EM 1959

Proporções a x b x h	Ângulo telhado $\theta$	$C_e$ na água de	
		barlavento	sotavento
2 x 2 x 1	0°	-0,537	
2 x 4 x 1	0°	-0,337	
2 x 2 x 1	10°	-0,830	-0,330
2 x 2 x 1	20°	-0,470	-0,375
2 x 4 x 1	20°	-0,055	-0,360
1 x 5 x 5	20°	-1,030	-0,730
1 x 10 x 10	20°	-1,560	-1,330
1 x 20 x 20	20°	-1,560	-1,450

h medido até a cumeeira

TABELA 11 – COEFICIENTES DE FORMA EM TELHADOS A DUAS ÁGUAS,  
COM INCLINAÇÃO DE 15°. VENTO PERPENDICULAR À CUMEEIRA

Proporções		$C_e$ na água de	
h/b	a/b	barlavento	sotavento
1/4	1	-0,50	-0,50
	2	-0,60	-0,55
	4	-0,65	-0,60
1/2	1	-0,75	-0,50
	2	-0,85	-0,50
	4	-1,00	-0,55



### 3 – FORMA E PROPORÇÕES DA CONSTRUÇÃO

a) Certas formas e proporções conduzem a sucções muito elevadas, não só em telhados (em parte já estudados no item anterior), mas também em paredes. Citaremos alguns exemplos.

O vento, incidindo axial ou quase axialmente em uma construção alongada, provoca sucções elevadas na zona mais a barlavento das paredes e do telhado ( $c_{pe}$  em torno de  $-1,0$ ); estas sucções decaem rapidamente para valores baixos na zona de sotavento ( $c_{pe}$  em torno de  $0$ ). Praticamente independem do ângulo do telhado; este pode mesmo ser curvo.

A Fig. 7 apresenta a distribuição das pressões externas ao longo da cumeeira em telhados curvos e a Fig. 8 ao longo do eixo longitudinal de uma das águas para telhados a duas águas, em ambos os casos o vento incidindo na direção da cumeeira. Nas paredes a distribuição é semelhante (ensaios feitos pelo LAC para o Convênio IPT/Eternit).

O autor<sup>5</sup> constatou estas mesmas sucções elevadas na zona de barlavento das paredes laterais de modelos de maior alçamento. As maiores sucções laterais foram obtidas em modelo de proporções  $10 \times 1 \times 10$ , com  $c_{pe} = -0,99$  para vento paralelo às paredes laterais, próximo ao topo, e  $c_{pe} = -1,16$  para vento incidindo a  $5^\circ$  com essas paredes (na mesma tomada de pressão).

b) Também com o vento incidindo obliquamente aparecem sucções elevadas em grandes zonas da parede de sotavento. Em Iowa<sup>1,2</sup> grandes sucções foram encontradas com vento a  $45^\circ$  (vide Fig. 5), em construções baixas.

Na Tabela 12 encontram-se os picos de sucção obtidos nos ensaios para o Convênio IPT/Eternit em telhados a duas águas, inclinação de  $15^\circ$ , vento a  $45^\circ$ . Estes picos apareceram em pontos próximos ao oitão de barlavento (pontos 1, 2 e 3). Observe-se que as maiores sucções apareceram sempre nas proximidades da cumeeira (pontos 1 e 3).

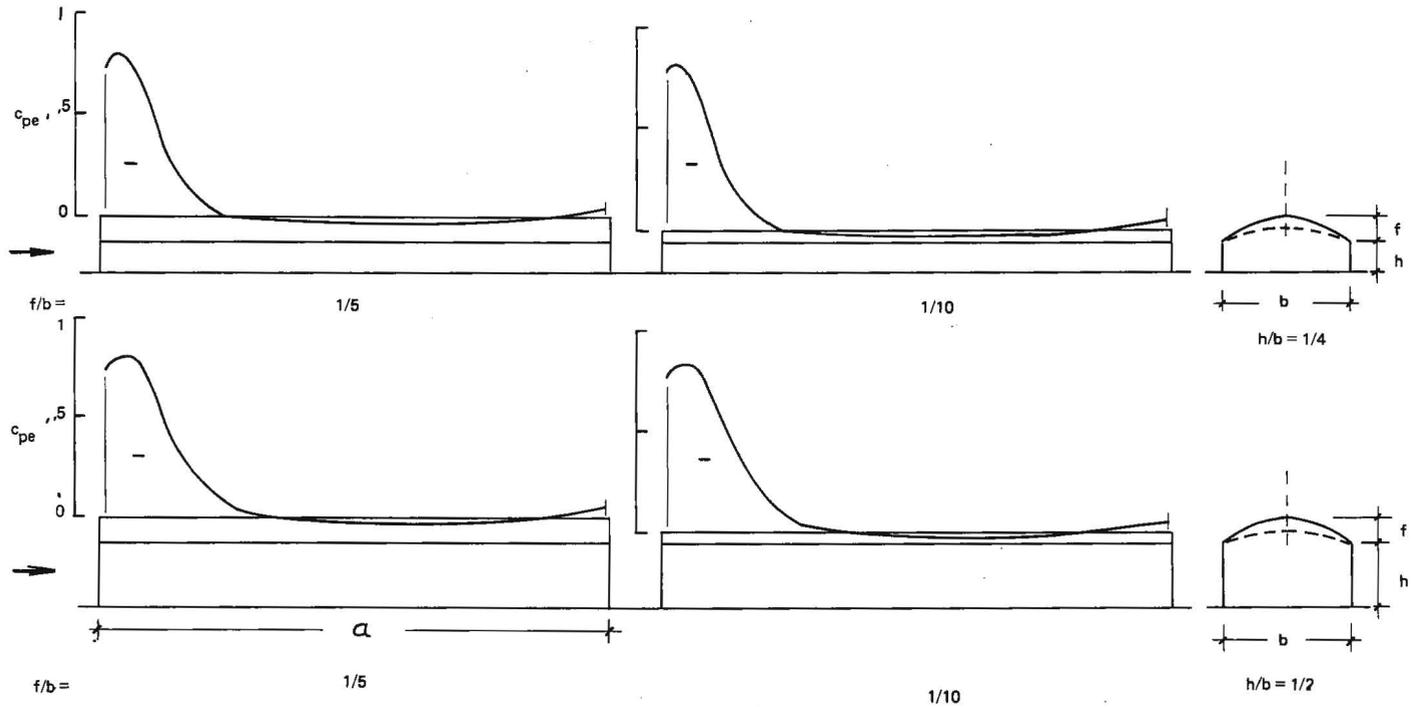


Fig. 7 — Perfis de pressão ao longo da cumeeira em telhados curvos;  $a/b = 4$

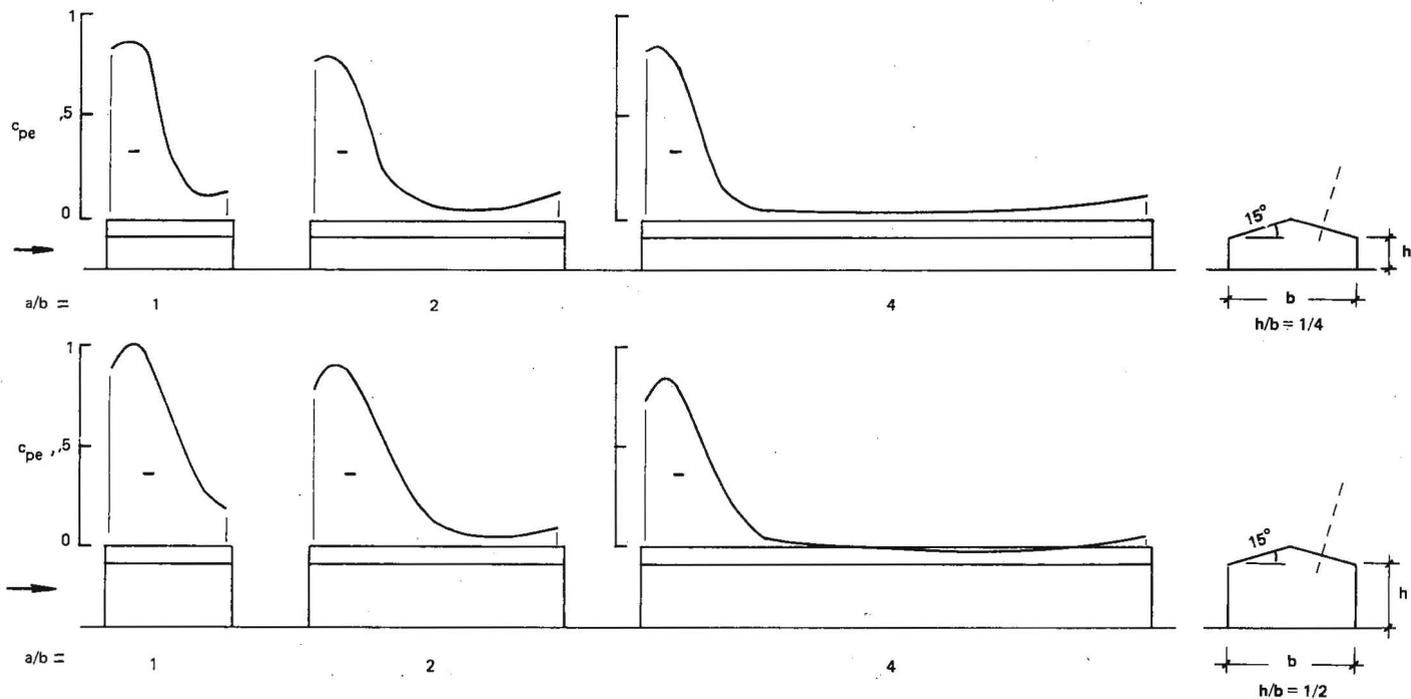


Fig. 8 — Perfis de pressão ao longo do eixo longitudinal de uma das águas, em telhados a duas águas.

TABELA 12 – PICOS DE SUÇÇÃO PARA VENTO A 45°.  
TELHADOS A DUAS ÁGUAS, COM  $\Theta = 15^\circ$

a/b	h/b	c <sub>pe</sub> min		
		Ponto (1)	Ponto (2)	Ponto (3)
1	1/4	-2,05	-1,06	-1,78
	1/2	-2,29	-1,78	-1,87
2	1/4	-2,34	-0,99	-1,73
	1/2	-2,36	-1,66	-2,14
4	1/4	-2,41	-0,82	-1,55
	1/2	-2,69	-1,67	-2,21

Para os telhados curvos, ensaiados para o mesmo Convênio, os picos de sucção para vento a 45° aparecem também próximos à cumeeira (Tabela 13). Além destes picos, para os telhados com  $f/b = 1/10$  aparecem também valores altos de sucção na zona próxima à borda de barlavento, para vento soprando perpendicularmente à cumeeira. Obtiveram-se os seguintes valores:

$$c_{pe \text{ min}} = -1,86 \text{ para } h/b = 1/2;$$

$$c_{pe \text{ min}} = -1,44 \text{ para } h/b = 1/4.$$

Valores sugeridos para os coeficientes de pressão média a considerar nas zonas mais solicitadas das coberturas dos modelos ensaiados aparecem nas figuras 9 e 10.

c) Certas edificações de pouca largura funcionam como verdadeiras asas, para vento incidindo pouco obliquamente em relação à fachada maior. Em modelo com proporções  $a \times b \times h$  igual a  $10 \times 1 \times 5$ , as sucções na fachada maior de sotavento mantiveram-se, em quase toda a superfície, com sucções correspondentes a um coeficiente de pressão acima da unidade.<sup>5</sup> O valor extremo deste coeficiente foi  $c_{pe} = -1,19$ . Ângulo entre direção do vento e fachada maior de barlavento: 30°.

TABELA 13 – PICOS DE SUÇÃO PARA VENTO A 45°. TELHADOS CURVOS

a/b	h/b	f/b	C <sub>pe</sub> min (Ponto 1)
4	1/4	1/5	-1,69
		1/10	-1,46
	1/2	1/5	-2,41
		1/10	-1,71

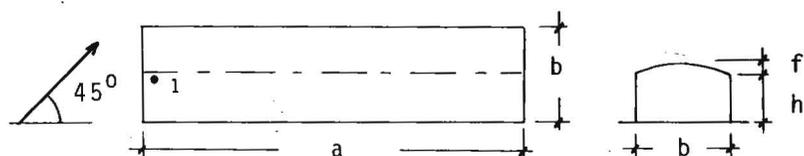
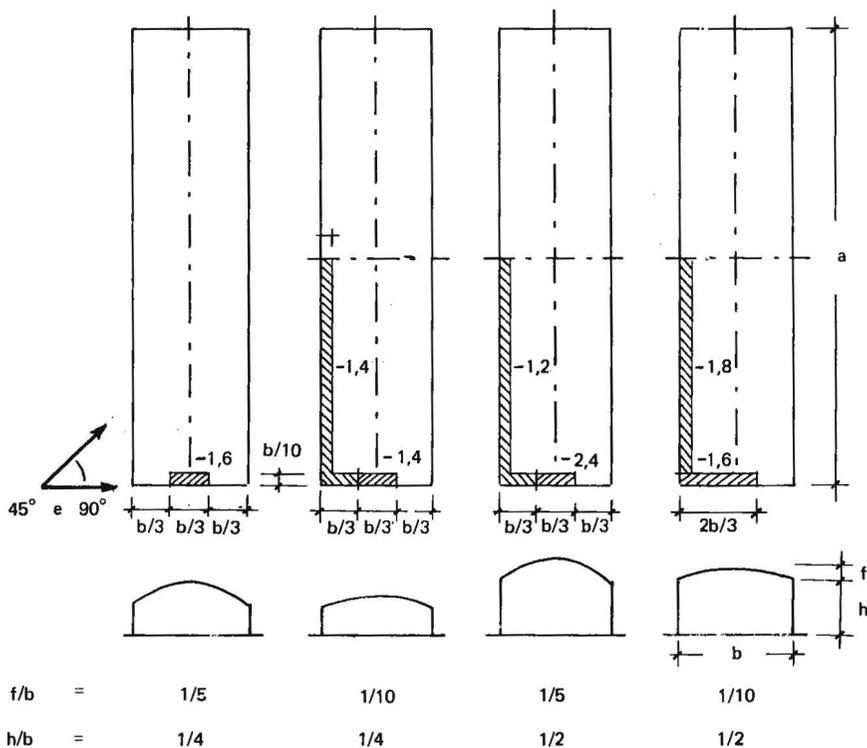



Fig. 9 – Ações locais em telhados curvos

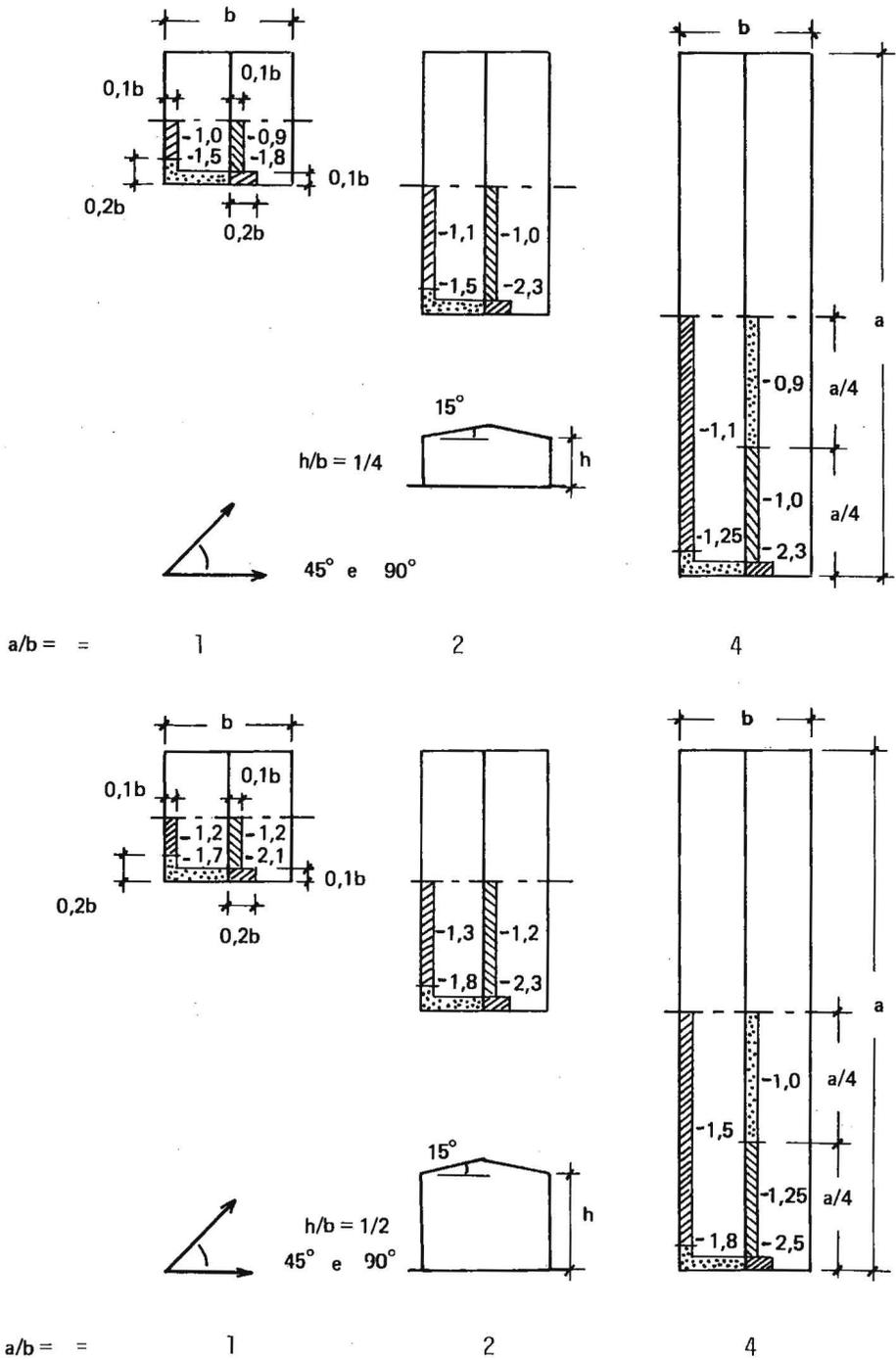


Fig. 10 – Ações locais em telhados a duas águas

Em prismas de secção quadrada de grande alteamento (torres, edifícios, etc.) aparecem sucções altas no topo e também nas paredes, em sua parte superior. Em ensaios que realizamos, com modelo de proporções 1 x 1 x 10, formou-se um *bulbo* de sucções no topo plano do modelo e na zona superior das paredes laterais e de sotavento, com valores entre  $-1,20$  e  $-1,61$ , para vento normal à fachada. Com vento a  $45^\circ$  os maiores valores foram  $-1,59$  no topo e  $-0,82$  nas paredes.<sup>5</sup>

Baines,<sup>4</sup> ensaiando modelo 1 x 1 x 8, encontrou  $-1,0$  no topo e nas paredes, próximo ao topo, para vento uniforme normal à parede. Para vento não uniforme (perfil de velocidade),  $-0,6$  em ambas as regiões. Para  $45^\circ$  estas sucções foram menores:  $-0,7$  no topo e entre  $-0,6$  e  $-0,7$  na parte superior das paredes, com vento uniforme. Para vento não uniforme baixaram para  $-0,45$  e  $-0,4$ , respectivamente.

Jensen<sup>2,3</sup> encontrou os seguintes valores máximos de sucção, em modelo 1 x 1 x 2,4:

Topo, turbulência pequena, vento a  $45^\circ$ :  $-2,40$

Topo, turbulência grande, vento a  $45^\circ$ :  $-1,80$

Topo, turbulência pequena, vento a  $90^\circ$ :  $-0,73$

Topo, turbulência grande, vento a  $90^\circ$ :  $-0,94$

É de assinalar que com turbulência pequena, vento a  $90^\circ$ , as sucções no topo foram praticamente uniformes:  $-0,70 \pm 0,03$ . Enquanto que, para turbulência grande, variam de  $-0,94$  a  $-0,16$ . Na parede, com turbulência pequena, vento a  $11^\circ$ , Jensen obteve  $-1,18$  (sucções de  $-1,00$  apareceram na parte mais de barlavento, próximo ao topo e próximo à base).

d) Edifício Pirelli, Milão, constituído por faces planas. Foi medida em modelo, próximo ao terreno, uma sucção de  $-2,86$ , para vento a  $15^\circ$ , com o eixo horizontal maior do edifício. O momento de torção é bastante elevado.

e) No estudo do modelo da cúpula do Hotel Tropical de Manaus (hemisfera de 300 metros de diâmetro), na face superior do lanternim obtivemos picos de sucção que atingiram um mínimo de  $-2,73$ , próximo à borda de ataque<sup>8</sup> (vento não uniforme, turbulento).

f) Em construções profundas, com o vento soprando segundo o eixo longitudinal, o recolamento do fluxo dá origem a uma região a sotavento com fluxo aderente. Nesta região não se pode desprezar o efeito das forças de atrito. Este recolamento se dá, aproximadamente, a uma distância da fachada de barlavento igual a  $4l_1$  ou  $4h$ , devendo-se tomar

o menor dos dois valores (Fig. 11). Isto é, as forças de atrito são consideradas quando tivermos uma Profundezza maior do que 4:

$$\text{Profundezza (Pr)} = \frac{\text{profundezza } (l_2)}{\text{menor dimens\~ao da sec\~ao transversal } (l_1 \text{ ou } h)}$$

A altura da edificac\~ao acima do terreno (h) é medida até o topo da platibanda ou nível do beiral.

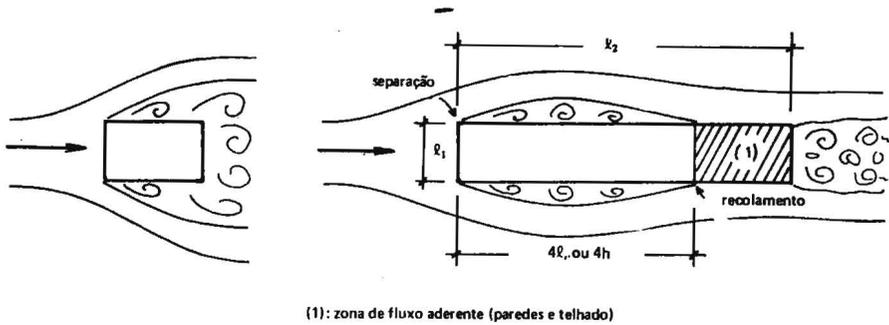


Fig. 11 – Forças de atrito em edificac\~oes profundas

A força de atrito, agindo na direç\~ao e sentido do vento axial, será dada por uma express\~ao do tipo

$$F_{at} = C_{at}qA$$

sendo

$C_{at}$  – coeficiente de atrito referente à superf\~icie plana em estudo (parede ou cobertura);

A – área da superf\~icie plana em estudo;

q – press\~ao din\~amica de refer\~encia do vento.

O valor de  $C_{at}$  depende da forma e disposiç\~ao das rugosidades ou nervuras, quando existentes.

g) Não só as sucç\~oes locais, mas também as forças causadas pelo vento sobre partes maiores da construç\~ao sofrem influ\~encia sens\~ivel das proporç\~oes. O caso que mais interessa, via de regra, é o de vento incidindo perpendicularmente a uma das fachadas. Para o caso de edificac\~oes paralelep\~ipedicas, a resultante horizontal das forças do vento terá a direç\~ao do mesmo: é a denominada força de arrasto. A variaç\~ao na força de arrasto deve-se quase que exclusivamente às alteraç\~oes nas sucç\~oes a sotavento. A distribuç\~ao das sobrepress\~oes na face

de barlavento sofre uma influência muito pequena das proporções da edificação.

Exemplifiquemos com o caso de um pavilhão industrial de dimensões  $a \times b \times h$ , com vento soprando paralelamente à aresta horizontal maior (dimensão  $a$ ). Os valores do coeficiente de arrasto, para  $h = 1,5b$  e diversas Profundezas, são:

$Pr = a/b =$	1	2	4	$>4$
$C_a =$	1,39	0,96	0,98	variações desprezáveis (em torno de 1,0)

Observe-se que um pavilhão industrial de pequena profundidade está submetido a uma força de arrasto maior do que um de grande profundidade. Conseqüentemente, deveria ter um maior contraventamento na direção do vento axial. A partir de uma Profundez a igual a 4 a força longitudinal sofrerá a influência da força de atrito  $F_{at}$ , porém só para profundidades muito grandes a força horizontal global ultrapassará o valor correspondente a  $Pr = 1$ .



## 4 – INTERAÇÃO

a) Neste item estudam-se as alterações no fluxo e nas pressões em torno de uma construção pela existência de uma outra construção ou obstáculo qualquer nas proximidades. Estas perturbações no fluxo tanto podem ser favoráveis como prejudiciais. Um caso típico já vimos no capítulo 1, "Ações locais": altas sucções na esteira de chaminés e torres. Na Fig. 12 encontra-se a simbologia básica e convenção de sinais para estudos de interação em duas edificações iguais e alinhadas.

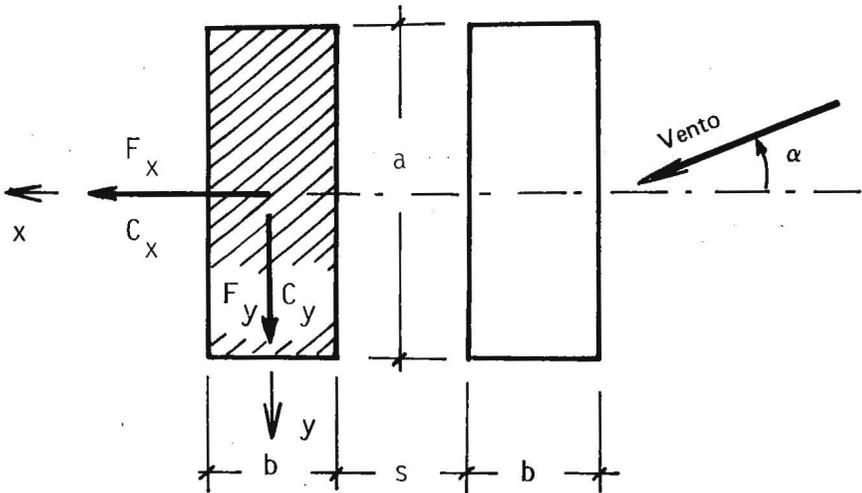


Fig. 12 – Simbologia e convenção de sinais para duas edificações alinhadas

Harris<sup>20</sup> verificou, em ensaio em túnel aerodinâmico, que dois edifícios que estavam projetados para serem construídos nas proximidades do Empire State Building, Nova Iorque, praticamente duplicariam os esforços de torção neste último, até a altura dos dois projetados edifícios.

b) Bailey e Vicent<sup>3</sup> constataram, entre outras alterações, um aumento das sucções nos telhados e das sobrepressões nas paredes de construções situadas próximas.

c) Ensaios realizados em Iowa<sup>1 2</sup> em construções baixas e alongadas indicaram um grande aumento das sucções nas paredes adjacentes de duas construções vizinhas colocadas próximas e paralelas, para certos ângulos de incidência do vento. Se o afastamento  $s$  é cerca de 10% da largura da construção (dimensão na direção do afastamento), as sucções locais nas paredes confrontantes são praticamente o dobro (e às vezes mais) das sucções existentes na construção isolada. Citemos alguns valores máximos das sucções nas faces confrontantes, vento a 30°; afastamento das construções de 6,25% da largura  $b$ , isto é,  $s/b = 0,0625$ . Valores de  $c_{pe}$ :

a/b:	1/2	1	2	4
construção isolada:	-0,70	-0,91	-1,08	-0,98
duas construções:	-2,00	-2,54	-2,65	-2,34

Estes valores apareceram próximos à base e à aresta de barlavento. Para outros afastamentos os valores máximos são menores e apareceram com o vento incidindo normalmente às faces confrontantes, também próximo à aresta de barlavento, porém à meia altura ou próximo ao topo.

Quanto às sucções médias ( $C_e$ ) nas faces confrontantes, também há um aumento em relação à sucção média na parede de sotavento da construção isolada, vento normal às faces confrontantes ( $\alpha = 0^\circ$ ). Os maiores valores foram:

a/b:	1/2	1	2	4
$C_e$ para construção isolada:	-0,68	-0,83	-0,70	-0,43
duas construções:				
afastamento $s/b$ :	0,500	0,500	1,00	0,250 e 0,500
$C_e$ :	-1,13	-1,08	-0,84	-0,58

Se o afastamento é grande, o aumento das sucções nas faces confrontantes é pequeno. Este aumento vai crescendo à medida que os dois modelos se aproximam, até atingir um valor máximo. Para as sucções locais este máximo é atingido com um afastamento em torno de 10%; para as sucções médias ( $C_e$ ), com um afastamento de cerca de 50%. Aproximando-se mais ainda os modelos, as sucções vão diminuindo cada vez mais, pois a passagem do fluxo entre os modelos é cada vez mais dificultada.

d) Este fenômeno, estudado em Iowa para construções baixas, foi constatado também em construções alteadas.<sup>1 0</sup> Valores bastante elevados de sucção apareceram nas faces confrontantes, nas proximidades da aresta de barlavento. O maior de todos foi  $-3,6$  para  $90^\circ$  de incidência do vento (vento paralelo às faces confrontantes) e um afastamento  $s = 0,25b$ . Os maiores valores locais obtidos foram:

afastamento relativo s/b:	0,075	0,125	0,25	0,50	1,00	2,00
$c_{pe}$ :	-3,2	-2,8	-3,6	-3,4	-3,1	-2,4
$\alpha$ :	$60^\circ$	$30^\circ$	$90^\circ$	$90^\circ$	$90^\circ$	$90^\circ$

Quanto às sucções médias nas faces confrontantes, em alguns modelos o aumento foi de 60% em relação ao modelo isolado.

O esforço global do vento sobre os dois modelos, em certas condições de afastamento e de incidência do vento, foi menor do que sobre um modelo isolado.

Devido à grande obstrução no túnel, estes resultados têm apenas valor de ordem de grandeza. São de esperar valores reais menores. Porém a marcha do fenômeno é análoga, como o confirmam resultados obtidos por outros pesquisadores.

e) D'Havé,<sup>1 5</sup> na Bélgica, estudando dois edifícios vizinhos em fluxo bidimensional, mostrou que a força de arrasto em um edifício era diminuída pela presença de outro nas proximidades. Os resultados obtidos foram:

VALORES DE  $C_a$  – MODELOS BIDIMENSIONAIS. PROPORÇÃO DAS DIMENSÕES EM PLANTA:  $a \times b = 2 \times 1$ , ENSAIOS DE D'HAVÉ

$\alpha$	Modelo isolado	Dois modelos com afastamento $s =$			
		0	0,5b	b	2b
$0^\circ$	2,10	1,90	1,25	1,30	1,40
$90^\circ$	1,50	1,90	1,60	1,50	1,40

f) Scruton e Newberry<sup>3 6</sup> também chamam a atenção de que em conjuntos de edifícios altos podem aparecer altas sucções nas faces confrontantes para certas orientações do vento. Além disso, "em edifícios sobre pilares o vento passa por baixo como por um orifício; parte do vento que incide na fachada é afunilado e passa acelerado sob o edifício, dando origem a altas sucções, que devem ser consideradas no projeto do teto da parte aberta".

g) Este fato observamos também em nossos ensaios<sup>5</sup> ( $\alpha = 90^\circ$  para vento perpendicular à aresta maior, a):

Modelo de proporções:  $a \times b \times h = 4 \times 1,6 \times 5$

Altura acima do solo:  $0,4b$

$\alpha$ :	$90^\circ$	$75^\circ$	$60^\circ$	$45^\circ$	$30^\circ$
$c_{pe}$ :	-1,58	-1,62	-1,59	-1,48	-1,37

Modelo de proporções:  $a \times b \times h = 8 \times 1,6 \times 4$

Altura acima do solo:  $0,4b$

$\alpha$ :	$90^\circ$	$75^\circ$	$60^\circ$	$45^\circ$	$30^\circ$
$c_{pe}$ :	-1,38	-1,59	-2,17	-1,59	-0,93

O valor mínimo,  $-2,17$ , em uma tomada próxima à quina de barlavento.

O mesmo fenômeno de concentração e correspondente aceleração das linhas de fluxo ocorre quando só parte do andar térreo é livre (passagem de veículos, *play-ground*, etc.). Em Porto Alegre, em uma passagem de veículos no andar térreo de um edifício de 15 pisos, as placas de revestimento do forro foram arrancadas pela sucção.

h) No campus do MIT, em Cambridge, Massachusetts, USA, há um edifício com um efeito notável de *afunilamento* (efeito Venturi).<sup>2,5</sup> O prédio tem 84,43m de altura. No térreo há uma passagem aberta com 21,34 x 6,55m. Leituras simultâneas com anemômetros indicaram uma velocidade do vento através desta abertura entre 130 e 145km/h, enquanto que ao nível do telhado variava de 65 a 80km/h. Isto é, a velocidade na passagem chegava ao dobro da existente ao nível do telhado.

i) Estes fenômenos estão muito bem assinalados nas normas de vento do Building Research Station, Grã-Bretanha:

“Quanto maior o aumento da velocidade do vento, maior será a sucção. Assim, o afunilamento do vento entre dois edifícios pode produzir severas sucções nas faces confrontantes. Passagens abertas através e sob grandes blocos em forma de placas (*slab-like blocks*, os chamados *muros habitáveis*) estão usualmente sujeitas a altas velocidades do vento através delas, devido à diferença de pressão entre as faces dianteira e traseira do edifício; as superfícies de tais passagens são particularmente propensas a altas sucções, que podem danificar as

vidraças e revestimentos.”<sup>b</sup> Além de causar problemas aos usuários, podendo mesmo impedir o uso destas zonas.

j) Alguns problemas causados por uma falsa *proteção* são relacionados por Esquillan:

“Na Inglaterra um anemômetro situado 30m atrás de uma fileira de casas acusou acréscimos locais de velocidade do vento de 9m/s a 22m/s. Na Suíça a cobertura de uma piscina que se comportava bem há vários anos sofreu danos após a construção de um edifício alto (*immeuble-tour*) em sua vizinhança.

Na Bélgica, cortinas metálicas foram deformadas; vitrines e os objetos que elas continham foram aspirados para a rua por um vento canalizado entre duas fileiras de casas, porque esta disposição causa velocidades particularmente fortes.”<sup>c</sup>

Também em Porto Alegre, em 1969, uma cortina metálica de portão de garagem foi deformada e parcialmente deslocada pela força do vento, em pleno centro da cidade (edifício sede do Banco do Estado do Rio Grande do Sul).

“Na Inglaterra, em Ferrybridge, duas filas de quatro torres de refrigeração hiperbólicas, de 115m de altura e 92m de diâmetro na base, sofreram o efeito de um vento de 23,6m/s (85km/h) de velocidade média horária, com pontas de rajadas de 43,2m/s (155km/h). A direção do vento estava orientada a 45° em relação ao eixo horizontal das filas de torres. Três das torres da segunda fila, na esteira da primeira, ruíram. Uma das causas deste acidente foi a aceleração da velocidade do vento, por um efeito Venturi.”<sup>d</sup>

k) Baines,<sup>4</sup> estudando modelo em forma de torre (1 x 1 x 8), chama a atenção para a existência de um fluxo com componentes para baixo, a partir da parte anterior do modelo. Com isto a velocidade do fluxo a sotavento tende mais para a uniformidade do que na frente do modelo (foi usado um perfil de vento semelhante ao natural). A conclusão a que chega Baines é que uma construção pequena, a sotavento da grande, estará submetida a velocidades maiores do vento.

---

<sup>b</sup>BUILDING RESEARCH STATION, Garston. *Wind loading on buildings – 1*. Garston, 1968. (Digest, 99).

<sup>c</sup>ESQUILLAN, N. Les effets de la neige et du vent sur les constructions et le régles NV65. *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, Paris, (25):1484, oct. 1968.

<sup>d</sup>ESQUILLAN, N. *ibidem*.

l) Haddon<sup>18</sup> estudou modelo com telhado a uma água (B) e a influência nas pressões neste modelo pela existência de um ou dois modelos iguais e situados nas proximidades: modelo A a barlavento e modelo C a sotavento do modelo B. Dimensão dos modelos na direção do vento: 2" (5,1 cm).

**1.<sup>a</sup> Posição:**

Distâncias entre A e B: 4" (10,2cm); entre B e C: 6" (15,2 cm).

Modelo B com parede mais alta a barlavento; modelos A e C com parede mais alta a sotavento.

Sucções médias no telhado do modelo B (valores de  $C_e$ ):

Modelo B isolado .....	-0,6
Modelo A, B e C .....	-0,32
Modelos A e B ..... em torno de .....	-0,4
Modelos B e C ..... em torno de .....	-0,7

Ou seja: o modelo a barlavento ou um modelo a barlavento e um a sotavento de fato protegem. Porém só um modelo a sotavento aumenta a sucção no telhado do modelo B. Isto para o caso do vento incidindo do lado da parede mais alta do modelo B.

**2.<sup>a</sup> Posição:**

Distâncias entre A e B: 6" (15,2cm), exceto quando indicada outra distância; entre B e C: 4" (10,2cm).

Modelo B com parede mais alta a sotavento; modelos A e C com parede mais alta a barlavento;

Modelo B isolado: maior sucção média e maior pico de sucção, que atingiu -1,1;

Modelos A, B e C: sucção média baixa para -0,15;

Modelo B (afastamento 4"): sucção média aproximada -0,2; a influência do modelo C foi neste caso muito pequena.

Portanto, com o vento incidindo contra a parede mais baixa do modelo B, sempre tivemos proteção ou só uma pequena alteração nas pressões.

m) Hamilton<sup>19,35</sup> estudou o caso de dois modelos cúbicos com as faces confrontantes convergindo para barlavento de um ângulo  $\beta$  ou paralelas ( $\beta = 0^\circ$ ). Um cubo foi fixado em uma certa posição, e o outro era girado para obter o ângulo  $\beta$ . O vento incidia sempre na mesma direção: perpendicularmente à fachada do cubo fixo (Fig. 13).

Os ensaios foram feitos com escoamento uniforme e com simulação do vento natural.

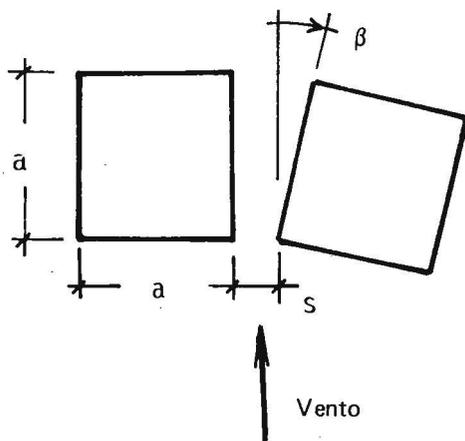


Fig. 13 – Ensaio de Hamilton

As pressões sofreram grandes alterações – em relação ao caso de modelo isolado – apenas nas faces confrontantes. Os mínimos de sucção ( $c_{pe \text{ min}}$ ) ocorreram próximo ao topo e à borda de ataque.

O leitor encontrará uma síntese dos resultados de Hamilton na Tabela 14. Os valores extremos apareceram para  $\beta$  em torno de  $5^\circ$ . Para o caso do vento simulado o mínimo de sucção é superior ao dobro do mínimo para modelo isolado. Para vento uniforme (e de baixa turbulência) a diferença é ainda mais notável.

n) Newberry, Eaton e Mayne<sup>2 2</sup> verificaram marcante efeito de proteção em um edifício em que estudaram a ação do vento natural.

TABELA 14 – VALORES MÍNIMOS DE  $c_{pe}$ . ENSAIOS DE HAMILTON

Vento	$\beta$	$0^\circ$	$2^\circ$	$4^\circ$	$6^\circ$	$8^\circ$	$10^\circ$	$12^\circ$
com perfil	$c_{pe \text{ min}}$	-1,26	-1,60	-1,78	-1,78	-1,52		
	s/a	0,167	0,067	0,067	0,083	0,083		
"uniforme"	$c_{pe \text{ min}}$	-1,76	-1,93	-2,08	-2,14	-2,08	-1,94	-1,78
	s/a	0,417	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

Para modelo isolado:  $c_{pe \text{ min}} = -0,80$  em vento com perfil e  $-0,46$  em vento uniforme e de baixa turbulência.

Para o vento soprando de um lado sem obstruções importantes, o coeficiente de forma foi  $C_e = +0,83$ . Para o vento soprando do lado oposto, com edifícios (embora nem muito próximos nem densamente situados),  $C_e$  baixou para  $+0,24$ . Como se vê, um efeito notável de proteção.

o) Leutheusser<sup>28</sup> estudou os efeitos de interação em um conjunto de quatro edifícios altos, vizinhos, que constituem o Yonge-Eglinton Center. As principais conclusões a que chegou são as seguintes:

- as sobrepensões foram, globalmente, atenuadas;
- as sucções foram aumentadas, com um fator de ampliação entre 1 e 5, com uma média representativa em torno de 2.

p) Kelnhofer<sup>24</sup> realizou uma série de ensaios para determinar a influência de uma edificação vizinha (B) sobre as sucções na cobertura horizontal de um edifício paralelepípedo (A), variando a direção do vento, a relação de alturas dos modelos e o afastamento relativo (Fig. 14).

Os dois casos de maior influência do modelo B sobre as sucções extremas na cobertura do modelo A, isolado, foram as seguintes:

$\alpha$	$h_2/h_1$	$s/h_1$	fator de majoração
$22,5^\circ$	1	0,25 e 0,50	3,16
$0^\circ$	0,75	0,25	2,9

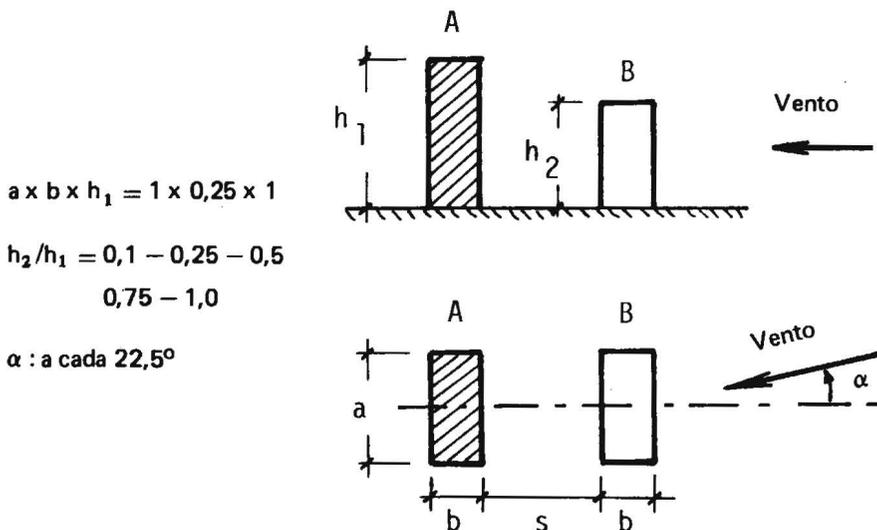


Fig. 14 – Ensaios de Kelnhofer

q) Ishizaki e Sung<sup>2 2</sup> e Wirén<sup>3 7</sup> preocuparam-se com a variação da velocidade do fluxo de ar entre as faces confrontantes de edificações vizinhas. Em certas condições, esta velocidade pode ser sensivelmente superior à velocidade do vento incidente, não perturbado pelas edificações.

Ishizaki e Sung usaram 13 pares de modelos paralelepípedicos de diversas proporções, variando também o afastamento entre os dois modelos. Mediram a velocidade do vento sobre o eixo vertical do conjunto (isto é, no centro do vão entre os dois modelos), em três alturas: a 5mm da base e do topo dos modelos e à meia altura. O vento incidia paralelamente às duas faces confrontantes. Os ensaios foram feitos em dois tipos de escoamento: uniforme e com camada limite de 10cm de altura (altura dos modelos: 10 ou 20cm).

Entre as conclusões deste trabalho destacamos:

- o maior aumento de velocidade do vento ocorreu com o par de modelos de dimensões  $a \times b \times h = 10 \times 10 \times 20$ cm, afastados de 8 ou 12cm, com um fator de majoração da velocidade de 1,4, a 5mm da base;
- este fator decresceu com o aumento tanto da largura como da profundidade do par de modelos;
- há um afastamento crítico entre modelos para o qual ocorre a maior majoração de velocidade.

r) Os ensaios de Wirén foram feitos com simulação aproximada do vento natural sobre terreno plano e aberto. Tiveram por finalidade determinar a velocidade do vento em passagens entre dois edifícios iguais – colocados com as fachadas principais em um mesmo plano ou em esquadro – ou em uma passagem através de um edifício, ao nível do terreno.

As variáveis foram:

- altura (h) e lado maior da base (a) dos modelos;
- separação (s) entre modelos;
- incidência do vento ( $\alpha$ ).

A Fig. 15 apresenta a disposição dos diversos modelos (situações A, B, C, D) e a Tabela 15 as dimensões principais. A passagem através do modelo D tinha uma altura de 20mm e uma largura de 20 ou 40mm. Como a escala dos modelos era de 1/200, estas dimensões correspondem, em verdadeira grandeza, a 4m, 4m e 8m, respectivamente.

Os ensaios mostraram que:

- o fator de majoração da velocidade cresce com o aumento da altura da edificação e, de um modo menos pronunciado, com o aumento do lado maior;

- o aumento da largura da passagem através da edificação causou apenas uma pequena diminuição do fator de majoração;
- o maior fator de majoração foi de 1,9, para a situação A, com  $s = 4\text{m}$ ,  $h = 24\text{m}$ ,  $a = 80\text{m}$  e  $\alpha = 40^\circ$ . Aumentando  $s$  para  $8\text{m}$ , o fator de majoração baixou para 1,6;
- para passagem através de edificação (modelo D), o maior valor do fator de majoração foi 1,74.

Lembramos que, sendo a pressão dinâmica proporcional ao quadrado da velocidade, a majoração de 1,9 na velocidade corresponde a uma majoração de 3,6 nas pressões.

TABELA 15 – MODELOS DE WIRÉN

Dimensão	Modelo (mm)	Real (m)
a	100 – 400	20 – 80
b	60	12
h	30 – 120	6 – 24
s	20 – 40	4 – 8
Altura da passagem s no modelo D: 20mm (4m)		

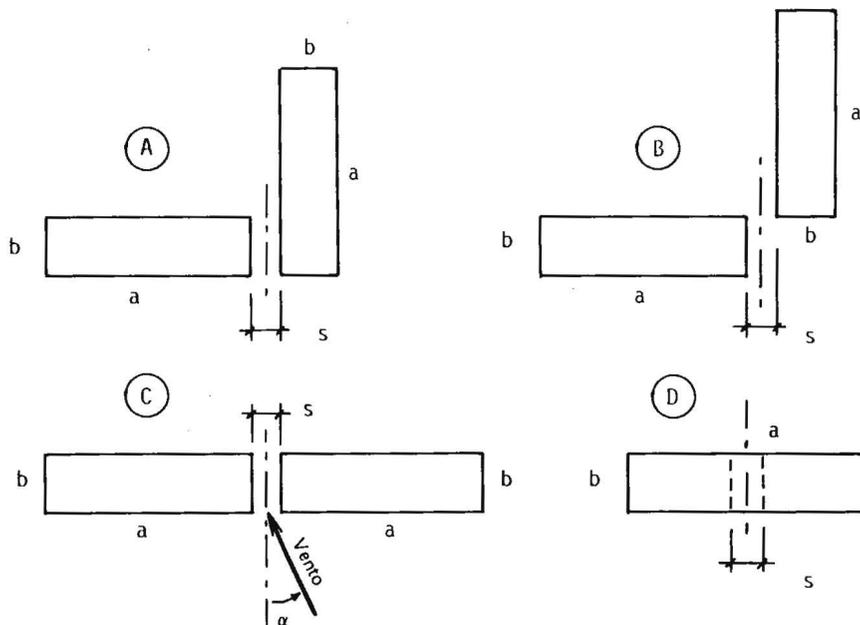


Fig. 15 – Ensaio de Wirén. Arranjo dos modelos

s) Reinhold, Tileman e Maher<sup>3,2</sup> estudaram a interação de dois prismas de secção quadrada (com lado igual a 102mm) em dois fluxos bidimensionais, um com a pequena turbulência natural do túnel aerodinâmico (*fluxo suave*) e o outro de maior turbulência (*fluxo turbulento*), conseguida com uma grelha de malha quadrada. Para este último as características da turbulência são as seguintes:

- intensidade da turbulência longitudinal: 12%;
- escala integral da turbulência longitudinal: 160mm.

Estes autores apresentam coeficientes de arrasto, de força lateral e de momento torsor para 21 posições relativas dos dois prismas. Definiram os seguintes coeficientes (Fig. 16):

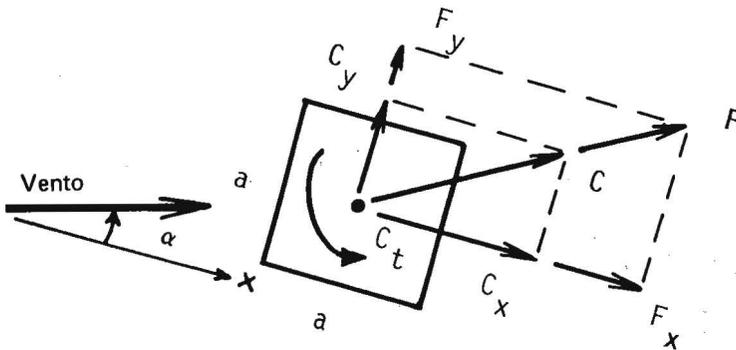


Fig. 16 – Convenções

$$C_x = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho V^2 a}; \quad C_y = \frac{F_y}{\frac{1}{2} \rho V^2 a}; \quad C_t = \frac{M_t}{\frac{1}{2} \rho V^2 a^2}.$$

Isto é, os coeficientes são válidos para uma altura unitária dos prismas ( $A = a \times 1$ ).

O coeficiente de força global será dado por:

$$C = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho V^2 a} = \sqrt{C_x^2 + C_y^2}.$$

Alguns dos resultados obtidos por esses autores podem ser observados nas tabelas 16 e 17. Para os casos de modelos com eixo de simetria do conjunto coincidindo com a direção do vento (situações 1 e 2, Tabela 16):

$$|C_x| = |C_a| = C,$$

sendo  $C_a$  o coeficiente de arrasto, isto é, o coeficiente correspondente à componente da força na direção do vento (força de arrasto). Para a

*situação 2* os autores encontraram diferenças entre  $C_x$  e  $C_y$ , o que faz com que  $C$  seja um pouco diferente de  $C_a$ . Na tabela admitiu-se a igualdade, isto é, que o coeficiente  $C$  tenha a direção e o módulo de  $C_a$ .

TABELA 16 – EFEITOS DE INTERAÇÃO

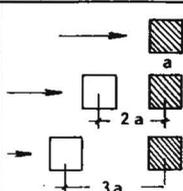
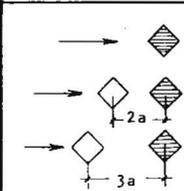
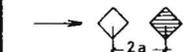
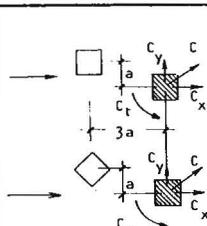
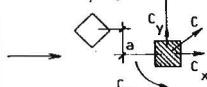
Situação 1	$C_x = C_a$		Situação 2	$C_a$	
	Suave	Turb.		Suave	Turb.
	+2,19	+1,77		+1,82	+1,94
	-0,34	-0,44		-0,28	-0,37
	-0,40	+0,34		-0,42	-0,33

TABELA 17 – EFEITOS DE INTERAÇÃO

Situações 3 e 4	Suave				Turbulento			
	$C_x$	$C_y$	$C$	$C_t$	$C_x$	$C_y$	$C$	$C_t$
	+1,20	+0,21	1,22	-0,20	+1,01	+0,36	1,07	-0,24
					+0,77	+0,50	0,92	-0,33

Do exame das tabelas 16 e 17 conclui-se que:

- para modelos alinhados na direção do vento, os coeficientes de arrasto no modelo de sotavento, com uma única exceção, tiveram sentido contrário e valores menores do que no modelo isolado;
- o coeficiente de momento torsor em modelos não alinhados atingiu um valor extremo  $C_t = -0,33$ , com vento turbulento. Para a *situação 3*, em que os ensaios foram feitos também com vento suave,  $C_t$  foi maior, em valor absoluto, com vento turbulento.

t) O Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) está desenvolvendo um extenso e sistemático estudo de interação entre dois

edifícios prismáticos de secção quadrada, com altura igual a seis vezes a aresta da base. Já foram estudados, em corrente de ar uniforme e de baixa turbulência, os efeitos do vento em 15 posições relativas de vizinhança, medindo-se as pressões em mais de 67 mil pontos. A segunda etapa, já iniciada, inclui a mesma série de casos de vizinhança em corrente de ar que simula o vento natural.

A Fig. 17 apresenta a simbologia básica e convenções de sinais para os esforços e respectivos coeficientes.

As posições relativas estudadas foram as seguintes:

$$s_x/a = 0,10 \quad 0,25 \quad 0,50 \quad 1,00 \quad 2,00$$

$$s_y/a = 0 \quad 0,50 \quad 1,00$$

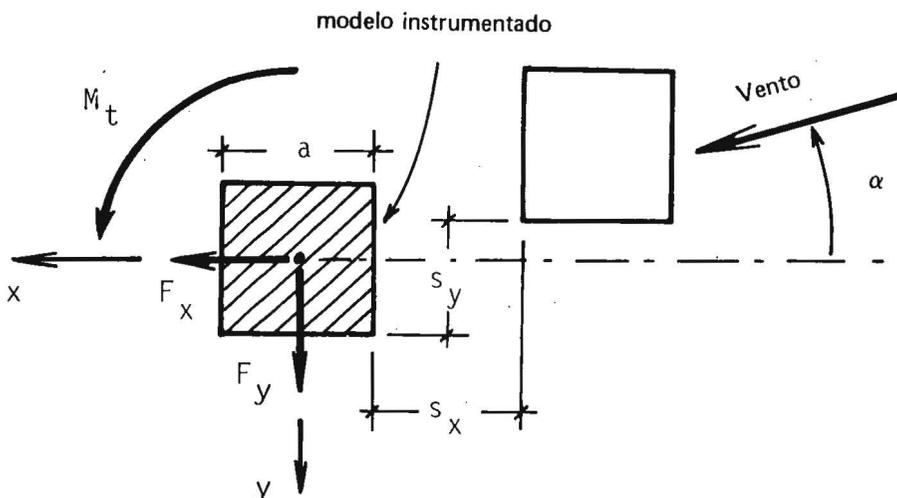


Fig. 17 — Simbologia e convenção de sinais

Os resultados mostraram que a distribuição das pressões, as componentes da força global do vento e o momento de torção em relação ao eixo vertical no modelo instrumentado foram bastante influenciados pela presença de um segundo modelo de mesmas dimensões nas proximidades.

Definiram-se os seguintes coeficientes aerodinâmicos:

1 — Coeficientes de força

$$C_x = F_x/qA; \quad C_y = F_y/qA$$

$$C = F/qA \longrightarrow C = \sqrt{C_x^2 + C_y^2}$$

sendo

$F_x$  — força do vento na direção x;

$F_y$  – força do vento na direção  $y$ ;  
 $F$  – resultante de  $F_x$  e  $F_y$  (força horizontal);  
 $q$  – pressão dinâmica de referência (no fluxo livre, não perturbado pelos modelos);  
 $A$  – área de uma das faces do modelo:  $A = ah$ ;  
 $h$  – altura do modelo;  
 $a$  – aresta da base quadrada do modelo.

2 – Coeficiente de momento torsor

$$C_t = M_t/qAa$$

sendo

$M_t$  – momento torsor em relação ao eixo vertical do modelo.

Para o caso dos modelos alinhados na direção do vento, modelo instrumentado a sotavento ( $s_y = 0$ ;  $\alpha = 0^\circ$ ), os valores do coeficiente  $C_x$  (equivalente, nestas condições, ao coeficiente de arrasto  $C_a$  e numericamente ao coeficiente de força horizontal  $C$ ) foram os seguintes:

$$\begin{array}{cccccc}
 s_x/a & 0,10 & 0,25 & 0,50 & 1,00 & 2,00 & \text{mod. isolado} \\
 C_x = C_a & -0,19 & -0,20 & -0,34 & -0,14 & -0,16 & +1,46
 \end{array}$$

O sinal negativo está indicando que a força  $F_x$  correspondente a  $C_x$  tem sentido contrário ao do vento. O valor mínimo de  $C_x$  apareceu para um afastamento relativo igual a 50% da aresta da base do modelo.

TABELA 18 – VALORES MÁXIMOS DO COEFICIENTE DE FORÇA HORIZONTAL

$s_y/a$	Valores máximos de $C$ para $s_x/a =$					
	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	$\infty$
0	1,80 (135°)	1,89 (135°)	1,65 (135°)	1,63 (105°)	1,66 (105°)	1,46 (90°)
0,50	1,91 (150°)	1,72 (135°)	1,77 (135°)	1,65 (105°)	1,66* (270°)	1,46 (90°)
1,00	1,92 (150°)	1,95 (150°)	1,82 (150°)	1,76 (135°)	1,68 (135°)	1,46 (90°)
* $C = 1,65$ para $\alpha = 105^\circ$						

Quanto à força horizontal do vento (F), os valores máximos do coeficiente C para cada uma das 15 posições relativas ensaiadas aparecem na Tabela 18. Entre parênteses estão dados os respectivos valores do ângulo de incidência do vento.

O segundo modelo sempre causou um aumento da força horizontal máxima sobre o modelo isolado, chegando-se a uma majoração de 34% para o modelo com  $s_x = 0,25a$ ,  $s_y = 1,0a$  e  $\alpha = 150^\circ$ .

Alterações ainda mais importantes foram observadas nos momentos torsores. A Tabela 19 apresenta os valores absolutos máximos de  $C_t$  para cada uma das 15 posições ensaiadas.

TABELA 19 – VALORES MÁXIMOS DO MÓDULO DO COEFICIENTE DE MOMENTO TORSOR

$s_y/a$	Valores máximos de $C_t$ para $s_x/a =$					
	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	$\infty$
0	0,166 (150°)	0,160 (75°)	0,154 (90°)	0,126 (90°)	0,126* (15°)	0,080* (15°)
0,50	0,270 (345°)	0,272 (345°)	0,244 (345°)	0,198 (345°)	0,174 (345°)	0,080* (15°)
1,00	0,148 (165°)	0,175 (165°)	0,167 (15°)	0,121** (60°)	0,198 (0°)	0,080* (15°)
* Mesmo valor para $\alpha = 75^\circ$ ; ** mesmo valor para $\alpha = 330^\circ$						

Houve casos em que  $C_t$  foi mais que triplicado pela existência do segundo modelo nas vizinhanças. Para o caso com  $s_x = 0,25a$ ,  $s_y = 0,50a$  e  $\alpha = 345^\circ$ , o coeficiente de movimento torsor atingiu um valor 3,4 vezes maior que o valor máximo para modelo isolado.

Também os picos de sucção sofreram aumento, como pode ser constatado nas tabelas 20 e 21, para paredes e cobertura, respectivamente.

É de salientar que houve casos em que os picos de sucção na parede diminuíram.

Mais detalhes sobre estes ensaios podem ser encontrados em Blessmann e Riera,<sup>9</sup> bem como em dois trabalhos a serem apresentados

em V International Conference on Wind Engineering, Fort Collins, Colorado, USA, e XX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, Cordoba, Argentina, ambos em 1979.

TABELA 20 – PICOS DE SUÇÃO NAS PAREDES CONFRONTANTES

$s_y/a$	Valores de $c_{pe}$ min para $s_x/a =$					
	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	$\infty$
0	-2,17	-2,11	-1,84	-1,43	-1,40	-1,60
0,50	-2,20	-1,68	-1,83	-1,38	-1,65	-1,60
1,00	-1,61	-1,23	-1,65	-1,59	-1,50	-1,60

TABELA 21 – PICOS DE SUÇÃO NA COBERTURA HORIZONTAL

$s_y/a$	Valores de $c_{pe}$ min para $s_x/a =$					
	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	$\infty$
0	-1,40	-1,55	-1,37	-1,50	-1,85	-1,31
0,50	-1,45	-1,35	-1,33	-1,61	-1,92	-1,31
1,00	-1,64	-1,83	-1,41	-1,76	-2,02	-1,31

## 5 – RESUMO

a) A primeira conclusão é a de que o problema aerodinâmico do vento é demasiadamente complexo para ser reduzido a umas poucas tabelas e fórmulas. Uma norma, para ser razoavelmente completa, perde em simplicidade de aplicação.

Obras excepcionais e/ou de formas diferentes deverão sempre ser ensaiadas em túnel de vento, procurando-se reproduzir as características do vento natural que influem no caso em estudo.

### b) *Ações locais*

Fortes valores de sucções aparecem junto às arestas de paredes, coberturas e elementos salientes da construção (chaminés, por exemplo). Os vórtices de topo, com vento incidindo obliquamente, originam picos violentos de sucção junto aos cantos dos telhados. Os beirais agravam a situação enquanto que platibandas, desde que não sejam demasiadamente baixas, diminuem muito estas sucções elevadas. Picos de sucção com valor absoluto de  $c_{pe}$  acima de 5 já foram obtidos em diversos ensaios.

### c) *Inclinação do telhado*

Com o vento normal à fachada principal nem sempre as maiores sucções aparecem com cobertura plana, como indicam algumas normas. Para certas proporções o ângulo mais nocivo situa-se entre  $8^\circ$  e  $12^\circ$ . Sobrepressões aparecem para telhados com inclinações maiores que  $35^\circ$ , aproximadamente (depende de diversos fatores: altura da parede, rugosidade do solo, existência de muros, árvores, turbulência do vento, etc.).

A água de sotavento está sempre em sucção.

Com o vento soprando axialmente (paralelo à cumeeira), todo o telhado está em sucção. Esta sucção é maior nas proximidades da borda de barlavento, podendo chegar a valores em torno de  $-1,0$ .

Em construções leves a força ascensional pode ser superior ao peso do telhado, obrigando a uma cuidadosa ancoragem.

Com o vento normal à fachada, pode-se chegar a valores da  $C_e$  em torno de  $-1,75$ , para a água de barlavento. Na água de sotavento os valores são bem menores. Com o vento oblíquo  $C_e$  pode atingir, para partes do telhado,  $-2,60$ .

#### d) Forma e proporções da construção

Há formas e proporções particularmente sujeitas a altos esforços do vento. Edifícios muito altos e de pequena profundidade apresentam um *efeito de asa*, com elevadas sucções sobre toda a parede de sotavento, vento oblíquo. Mediu-se um máximo de sucção em torno de  $c_{pe} = -1,20$ , e valores médios sobre mais da metade da parede, ultrapassando  $c_{pe} = -1,0$ .

Torres de secção quadrada (ou aproximadamente quadrada) e de grande altura apresentam sucções elevadas em toda a parte superior das paredes situadas na esteira e na cobertura. Os valores medidos chegaram a  $c_{pe} = -2,40$ .

Edifícios com formas não paralelepípedicas podem conduzir a sucções (e torções) elevadas:  $c_{pe} = -2,86$  no modelo do Edifício Pirelli, Milão.

No lanternim da cúpula do Hotel Tropical de Manaus:  $c_{pe} = -2,73$ .

#### e) Interação

Muitas vezes a *proteção* oferecida por um obstáculo é negativa; agrava a situação. Nas paredes confrontantes de edifícios vizinhos surgem fortes sucções, tanto para o vento incidindo normalmente a uma fachada, como obliquamente. As sucções locais medidas atingiram  $-2,65$  em edifícios baixos e  $-3,6$  em edifícios altos.

A força global sobre duas edificações vizinhas pode ser menor do que sobre uma edificação isolada. Por outro lado, há condições de vizinhança em que a força global em uma das edificações sofre aumento sensível pela existência de uma segunda edificação nas proximidades. Este aumento é ainda mais notável no momento torsor, com um fator de majoração que ultrapassou o valor 3 em diversos dos casos ensaiados.

Também o vento que passa em uma abertura ao nível do térreo de uma edificação, pode causar sucções altas no teto da parte aberta, além de aumentos notáveis na velocidade do vento.

Construções situadas na esteira de outras, podem ter sua situação agravada, com problemas de vibração (*martelamento*) ou simplesmente

de forte aumento das forças estáticas. Há diversos exemplos de acidentes em estruturas por esta causa (chaminés metálicas, torres de refrigeração, depósitos de combustíveis, etc.).

f) A norma brasileira NB-1, 1978, *Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado*,<sup>1</sup> em seu item 3.1.1.3, "Ação do Vento", especifica o seguinte: "Deverá ser levada em conta a possível influência desfavorável de construções próximas à estrutura em exame, que por suas dimensões e forma possam tornar essa influência considerável".

A NB-599, 1977, *Forças Devidas ao Vento em Edificações*,<sup>2</sup> apresenta as indicações de ordem geral a seguir transcritas:

#### *ANEXO AN-IV – EFEITOS DE INTERAÇÃO*

Há certas situações em que é necessário considerar a influência de edificações situadas nas vizinhanças daquela em estudo. Essas edificações podem causar aumento das forças do vento de três modos diferentes:

##### *AN-IV.1 – Por efeito Venturi*

Edificações vizinhas podem, por suas dimensões, forma e orientação, causar um *afunilamento* do vento, acelerando o fluxo de ar, com uma conseqüente alteração nas pressões. Este efeito pode aparecer também em edificações muito próximas, caso em que já foram observados coeficientes de pressão negativos (sucções) excedendo, em módulo, o valor 2,0. Estas pontas de sucção verificaram-se nas paredes confrontantes de duas edificações, próximos às arestas de barlavento.

##### *AN-IV.2 – Por deflexão do vento na direção vertical*

Edificações altas defletem para baixo parte do vento que incide em sua fachada de barlavento, aumentando a velocidade em zonas próximas ao solo. Edificações mais baixas, situadas nestas zonas, poderão ter as cargas do vento aumentadas por este efeito, com os coeficientes de forma atingindo valores entre  $-1,5$  e  $-2,0$ .

##### *AN-IV.3 – Pela turbulência da esteira*

Uma edificação situada a sotavento de outra, pode ser afetada sensivelmente pela turbulência gerada na esteira da edificação de barlavento, causando efeitos dinâmicos e alterações nas pressões. Estas são particularmente importantes em edificações com coberturas e painéis de vedação feitos de materiais leves.

#### *AN-IV.4 – Determinação dos efeitos de interação*

Não é possível indicar valores numéricos para efeitos de interação de um modo genérico e normativo. Estes efeitos podem ser determinados por ensaios em túnel de vento, em que se reproduzam as condições de vizinhança e as características do vento natural que possam influir nos resultados. O problema é agravado pela possibilidade de alterações desfavoráveis das condições de vizinhança durante a vida útil da edificação em estudo.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NB-1. *Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado*. Rio de Janeiro, 1978.
- 2 – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NB-599. *Forças Devidas ao Vento em Edificações*. Rio de Janeiro, 1977.
- 3 – BAILEY, A. & VINCENT, N. D. G. Wind pressure on building including effects of adjacent buildings. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, London, Excerpt, Oct. 1943. Paper 5367.
- 4 – BAINES, W. *Effect of velocity distribution on wind loads on a tall building*. Toronto, University of Toronto, Department of Mechanical Engineering, 1962. p.1-19 (Technical Publication Series, 6203).
- 5 – BLESSMANN, J. *Efeitos do Vento em Construções Civas*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Setor de Biblioteca e Documentação, 1964. Tese apresentada para obtenção de grau de Mestre em Ciências.
- 6 – BLESSMANN, J. *Efeitos do Vento em Edificações*. Porto Alegre, Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1978. (Série Engenharia Estrutural, 7).
- 7 – BLESSMANN, J. Efeitos do Vento em Telhados com Calha Central. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 19, Santiago, Chile, 24-8 abr. 1978. v.2, Paper D-3, 15p.
- 8 – BLESSMANN, J. Estudo Aerodinâmico da Cúpula do Hotel Tropical de Manaus. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 14, Buenos Aires, 1970. *Anais*. Buenos Aires, C.E.I., 1971. v.2, p.273-304.
- 9 – BLESSMANN, J. & RIERA, J. D. Interação em Edifícios Altos Vizinhos Submetidos à Ação do Vento. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 19, Santiago, Chile, 24-8 abr. 1978. v.1, Paper A-9, 14p.
- 10 – BLESSMANN, J. Um Estudo Qualitativo do Fenômeno de Interferência. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 11, São Paulo, 1966. São Paulo, Edanee, 1968. p.585-600.
- 11 – BUILDING RESEARCH STATION, Garston. *Wind loading on buildings-1*. Garston, 1968. (Digest, 99).
- 12 – CHIEN, N.; FENG, Y.; WANG, H.; SIAO, T. *Wind-tunnel studies of distribution on elementary building forma*. Iowa, Iowa Institute of Hydraulic Research, 1951.
- 13 – COMMISSION DES RÈGLES NEIGE ET VENT, Paris. *Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions; Règles NV 65*. Paris, 1965.
- 14 – DAVENPORT, A. G. & SURRY, D. J. The pressures on low rise structures in turbulent wind. In: CANADIAN STRUCTURAL ENGINEERING CONFERENCE, 1974. Ottawa, Canadian Steel Industries Construction Council, 1974. p.1-39.
- 15 – D'HAVÉ, R. *Informação Epistolar*, set. 1968.
- 16 – ENGINEERING approach to designing glass for wind. *Architectural Record*, New York, N.Y., 77:163-6, Feb. 1967.
- 17 – ESQUILLAN, N. Les effets de la neige et du vent sur les constructions et les règles NV. 65. *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, Paris, (25):1484-520, Oct. 1968.

- 18 – HADDON, J. D. Suction on single slope roofs. *Engineering*, London, 184:732-3, Dec. 6, 1957.
- 19 – HAMILTON, G. F. *Effect of velocity distribution on wind loads on walls and low buildings*. University of Toronto, Technical Publication Series of the Department of Mechanical Engineering, UT Mech E TP 6.205, Nov. 1962.
- 20 – HARRIS, C. L. Influence of neighboring structures on the wind pressure on tall buildings. *Bureau of Standards Journal of Research*, Washington, DC, v.12, Jan. 1934.
- 21 – IRMINGER, J. O. & NÖKKENTVED, C. *Wind-pressure on buildings. Experimental researches, second series*. Copenhagen, Naturvidenskabelige Samfund, 1936.
- 22 – ISHIZAKI, H. & SUNG, I. W. Influence of adjacent buildings to wind. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, 3, Tokyo, 1971. p.145-52, Paper I.15.
- 23 – JENSEN, M. & FRANCK, Niels. *Model scale tests in turbulent wind; part II*. Copenhagen, Danish Technical Press, 1965.
- 24 – KELNHOFER, W. J. Influence of a neighboring building on flat roof wind loading. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, 3, Tokyo, 1971. p.221-30, Paper II.5.
- 25 – KOPPES, W. F. Design wind loads for building wall elements. In: TECHNICAL MEETING CONCERNING WIND LOADS ON BUILDINGS AND STRUCTURES. Maryland, USA, 27-8 Jan. 1969. National Bureau of Standards, p.9-18 (National Bureau of Standards Building Science Series, 30).
- 26 – LEUTHEUSSER, H. J. *The effects of eaves on the roof pressure-coefficients of block-type and cylindrical structures*. Toronto, University of Toronto, Department of Mechanical Engineering, 1965. (Technical Publication Series, 6503).
- 27 – LEUTHEUSSER, H. J. *The effects of wall parapets on the roof pressure-coefficients of block-type and cylindrical structures*. Toronto, University of Toronto, Department of Mechanical Engineering, 1964. (Technical Publication Series, 6404).
- 28 – LEUTHEUSSER, H. J. Static wind loading of grouped buildings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, 3, Tokyo, 1971.
- 29 – NACY, P. S. *Modification on pressure distribution around buildings due to parapets*. Iowa, State University of Iowa, 1951. M. S. Thesis.
- 30 – NEWBERRY, C. W.; EATON, K. J.; MAYNE, J. R. The nature of gust loading on tall buildings. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR; WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1957. *Proceedings*. Ottawa, 1957. v.1, p.399-428.
- 31 – PRIS, M. R. Etudes aerodynamiques VII; determination des pressions dues a l'action du vent sur les toitures des batiments rectangulaires en plan en contact avec le sol. *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*. Paris, (186):589-620, juin 1963.
- 32 – REINHOL, T. A.; TIELEMAN, H. W.; MAHER, F. J. Interaction of square prisms in two flow fields. *Journal of Industrial Aerodynamics*, Amsterdam, 2(3):223-41, Nov. 1977.
- 33 – SALTER, C. Wind loadings on flat-roofed buildings. *Engineering*, London, 186:508-10, Oct. 17, 1958.
- 34 – SCRUTON, C. Introductory review of wind effects on buildings and structures. In: NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, Symposium, 16., Teddington, 26-8 June 1963. *Wind effects on buildings and structures*. London, Her Majesty's Stationery Office, 1963. v.1, p.9-25.
- 35 – SCRUTON, C. Wind drag and pressure loads on tower-shaped structures in atmospheric winds. In: CONFERENCE ON TOWER SHAPED STRUCTURES, Hague, 24-6 Apr. 1969. *Proceedings*. Delf, Technological University, Organization for Applied Scientific Research in the Netherlands TNO. p.65-90.

- 36 – SCRUTON, C. & NEWBERRY, C. W. On the estimation of wind loads for buildings and structural design. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, London, 25:97-126, June 1963.
- 37 – WIRÉN, B. G. A wind tunnel study of wind velocities in passages between and through buildings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, 4, Heathrow, England, 1975. p.465-75.



Composto e Impresso pela



Editora Meridional EMMA

Santana, 931 - Porto Alegre - RS

para a Editora da URGS, em agosto de 1979.

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS

SÉRIE ENGENHARIA ESTRUTURAL

Joaquim Blessmann

- 1 – **Efeitos do Vento em Edifícios e Cúpulas** (2.<sup>a</sup> edição) – Noções de aerodinâmica; vento em edifícios e cúpulas.
- 2 – **Acidentes Causados Pelo Vento** (2.<sup>a</sup> edição) – Causas aerodinâmicas e estruturais dos acidentes, exemplos de acidentes; conclusões e recomendações.
- 3 – **Intervalo de Tempo Para Cálculo da Velocidade Básica do Vento** (2.ed. ampliada) – Intervalo de tempo; mudança de intervalo de tempo; conclusões e recomendações.
- 4 – **Considerações Sobre Alguns Tópicos Para Uma Norma de Vento** (2.ed. ampliada) – Ações locais; inclinação do telhado; forma e proporções da construção; interação; resumo.
- 5 – **Pressão Interna** – Ensaios, permeabilidade das paredes e lanternins; cálculo da pressão interna, normas; conclusões e recomendações.
- 6 – **Comentários de Alguns Tópicos de Normas de Vento** – Normas francesa, inglesa e belga; relatório da ASCE; conclusões e recomendações.
- 7 – **Efeitos do Vento em Edificações** – Meteorologia; estrutura do vento; aerodinâmica; ação estática e dinâmica do vento; pesquisas em túnel de vento, efeitos nocivos do vento.



Pedidos pelo reembolso postal.

Editora da URG S, Rua Jacinto Gomes, 540, 5.º andar  
90.000 – Porto Alegre – RS

ISBN 85-7025-011-8 obra completa

ISBN 85-7025-013-4 volume 4.