

JOAQUIM BLESSMANN

# intervalo de tempo para cálculo da velocidade básica do vento

(2.<sup>a</sup> edição, ampliada)

SÉRIE ENGENHARIA ESTRUTURAL **3**



EDIÇÕES UFGS

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS



INTERVALO DE TEMPO PARA CÁLCULO  
DA VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS



## UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Homero Sô 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 Pesquisas 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)

# **intervalo de tempo para cálculo da velocidade básica do vento**

(2.<sup>a</sup> edição, ampliada)

**SÉRIE ENGENHARIA ESTRUTURAL/3**



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

**RESERVA TÉCNICA**  
**Editora da UFRGS**

Direitos desta edição:  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

#### FICHA CATALOGRÁFICA

Blessmann, Joaquim

Intervalo de tempo para cálculo da velocidade básica do vento. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1979.

49p. ilust. 23cm (Série Engenharia Estrutural, 3)

CDU 624.042

CDD 624.175

ISBN 85-7025-011-8 obra completa

ISBN 85-7025-012-6 volume 3;

6

*Nº de registro : 2204*

*Nº de obra : 563*

*Data : 20/01/2010*

## SUMÁRIO

- 1 – INTRODUÇÃO/9
- 2 – INTERVALO DE TEMPO/19
- 3 – MUDANÇA DE INTERVALO DE TEMPO/33
- 4 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES/41
- BIBLIOGRAFIA/47



## 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – a) O termo *vento natural* tem sido usado na literatura especializada sempre que se queira evitar confusão entre o vento atmosférico e o que é simulado em um túnel de vento. Em linhas gerais, podemos dizer que o vento natural consiste de um fluxo de ar médio ao qual se superpõem flutuações do fluxo. Estas flutuações são conhecidas pelo nome de *rajadas* ou *turbulência*.

b) O movimento médio de grandes massas de ar deve-se primordialmente a diferenças na pressão atmosférica. Estas diferenças são causadas pelo aquecimento do ar pelo calor solar irradiado da Terra para a atmosfera. Aparecerão gradientes de pressão que podem ser determinados a partir das curvas de igual pressão barométrica, as *isóbaras*.

Este movimento é afetado pela rotação da Terra, que provoca dois efeitos. O primeiro deles está relacionado com a aceleração centrífuga e pode ser desprezado, uma vez que esta aceleração é muito pequena em presença da aceleração da gravidade. O segundo efeito não pode ser desprezado: deve-se à aceleração de Coriolis, que se manifestará sempre que houver massas de ar em movimento em relação à superfície da Terra. A força correspondente a esta aceleração é denominada *força de Coriolis*, e age normalmente à direção do movimento de ar.

Finalmente, como terceiro fator de importância, temos as forças de inércia, devidas às trajetórias curvas das partículas de ar.

c) Estudemos o equilíbrio dessas forças em região suficientemente afastada da superfície terrestre, de modo que não há interferência das forças de atrito (região fora da camada limite atmosférica). Admitamos também que o estado de pressões se mantenha constante por um tempo suficiente para o estabelecimento de um vento em condições permanentes. Neste caso, o equilíbrio deverá ser estabelecido entre as forças acima citadas. Temos dois casos a considerar:

### 1.º – *Linhas de corrente retas – isóbaras retas.*

Teremos equilíbrio entre a força de Coriolis e a força de pressão, ambas normais às isóbaras e de sentidos contrários. É o chamado *vento geostrófico*, paralelo às isóbaras.

## 2.º — Linhas de corrente curvas — isóbaras curvas.

Neste caso o equilíbrio se fará entre a força de Coriolis, a força de pressão e a força de inércia. O vento correspondente é o chamado *vento gradiente*, tangente às isóbaras. Em outras palavras, o gradiente de pressão é dinamicamente equilibrado por duas componentes de forças de inércia: uma ocasionada pela rotação da Terra (força de Coriolis) e outra pela curvatura das trajetórias das partículas de ar.

O vento gradiente confunde-se com o vento geostrófico se as isóbaras forem retas.

d) Denomina-se de *altura gradiente* a altura, medida a partir da superfície da Terra, em que a velocidade do vento atinge a velocidade gradiente. Esta altura situa-se, em geral, entre 300 e 600 metros.

Abaixo da altura gradiente temos a *camada limite atmosférica*, na qual a velocidade do vento é alterada por diversas causas. Sua direção não será mais paralela ou tangente às linhas isobáricas. Nessa região as características do vento dependem principalmente da orografia do terreno, da forma, dimensões e distribuição dos obstáculos naturais ou artificiais, da rugosidade superficial e da variação da temperatura na direção vertical. Todos estes fatores originam turbulência, que rapidamente se dissemina por toda a camada limite.

Em ventos fortes, que são os de maior interesse para a engenharia estrutural, a agitação mecânica é de tal monta que os gradientes térmicos são rapidamente desfeitos. Nestas condições, as flutuações no fluxo são quase que totalmente causadas por agitação mecânica do ar, formando-se um grande número de *turbilhões* ou *redemoinhos*. As condições são de *estabilidade neutra*: não há gradientes térmicos dando origem a processos de convecção.

e) Portanto, como indica Harris,<sup>a</sup> "o modelo físico de um vento forte é o de um fluxo médio determinado por um sistema de pressões a grande escala, estendendo-se por centenas de quilômetros, sobre o qual são superpostas flutuações geradas pela rugosidade superficial". No termo *rugosidade superficial* estão incluídos também os obstáculos naturais e artificiais de dimensões bem maiores do que as de uma simples aspereza.

No vento natural há uma superposição de turbilhões de dimensões bem diversas, desde os maiores, da ordem de grandeza da altura gradiente, até os menores, da ordem de grandeza do milímetro. A energia

---

<sup>a</sup>HARRIS, R.I. The nature of the wind. In: THE MODERN DESIGN OF WIND SENSITIVE STRUCTURES, London, Construction Industry Research and Information Association, 1970. Paper 3, p.30.

cinética, retirada do fluxo médio pelos maiores turbilhões, é transferida, por um processo em cascata, até os menores, onde é dissipada em calor pela viscosidade molecular.

Os turbilhões originam as rajadas de vento, que ocorrem em uma seqüência aleatória de freqüências e intensidades. As mais fortes são de pequena duração (fração de segundo) e atuam sobre uma pequena região. Correspondem à chegada simultânea ao ponto em estudo de turbilhões de diferentes dimensões e em condições tais que seus efeitos se superpõem.

Para o estudo das propriedades do vento por espectros é interessante conceber o vento como composto de seqüências superpostas de *ondas de vento* de diversas freqüências e amplitudes. Assim, um pico de rajada muito forte pode ser encarado como ocasionado pela chegada simultânea dos picos de diversas ondas.

f) Na camada limite atmosférica a velocidade média do vento varia desde zero, junto ao solo, até a velocidade gradiente, na altura gradiente. Quanto maior a rugosidade superficial e quanto mais importantes os grandes obstáculos, maior a agitação provocada no ar, maior o intercâmbio turbulento de quantidade de movimento e maior a altura interessada neste processo: a altura gradiente é maior em uma cidade do que no campo ou em praia do mar, por exemplo.

1.2 – A primeira pergunta que surge, ao se procurar determinar a força do vento sobre uma construção, é qual a máxima velocidade do vento que solicitará a construção durante sua vida útil.

A resposta tem um alto grau de incerteza, devido à deficiência de dados meteorológicos e por se tratar de um problema aleatório.

São vários os fatores que influem na escolha da velocidade de cálculo.<sup>4º</sup>

### 1.2.1 – *Vida útil da estrutura*

A velocidade máxima registrada é via de regra tanto maior quanto maior o número de anos de registro. O estudo estatístico do problema indica que a velocidade máxima será tanto maior quanto maior a vida útil da estrutura.

Antigamente fazia-se o cálculo simplesmente adotando a máxima velocidade registrada. Atualmente o estudo estatístico permite prever o número médio de anos de recorrência para qualquer velocidade do vento que se queira. Ou então, prefixada a vida útil da estrutura (em geral 50 ou 100 anos), determinar a velocidade máxima do vento que tem uma certa probabilidade de aparecer uma vez neste período.



### 1.2.2 – *Duração das rajadas*

É necessário um certo tempo de atuação da rajada para que se desenvolvam as forças aerodinâmicas e para que a estrutura reaja e se desenvolvam tensões no material.

### 1.2.3 – *Dimensões dos turbilhões*

As dimensões dos turbilhões são muito variáveis, tanto vertical como horizontalmente. As rajadas de maior velocidade — que são de curta duração — correspondem a turbilhões de dimensões pequenas: elas não atingem simultaneamente todas as partes de uma edificação muito alta ou de grandes dimensões em planta. Quanto maior a edificação, maior deve ser o turbilhão para que ele exerça uma ação global sobre a estrutura. Em alguns casos teremos a possibilidade de dois ou mais turbilhões menores, com rajadas de alta velocidade, atingirem pontos distintos da edificação e originarem efeitos mais nocivos do que um turbilhão único, de maiores dimensões e com rajadas de menor velocidade. Este problema pode ser resolvido a partir do conceito de correlação cruzada.

### 1.2.4 – *Variação da velocidade média do vento com a altura*

O vento próximo à superfície terrestre é influenciado pela rugosidade desta superfície, constituindo-se uma camada limite, na qual a velocidade média do vento é variável. A partir de uma certa altura (entre 300 e 600m, aproximadamente), a velocidade do vento não é mais influenciada pela rugosidade da superfície terrestre.

### 1.2.5 – *Variação da velocidade das rajadas com a altura*

Também as velocidades máximas das rajadas variam com a altura, porém mais lentamente do que a velocidade média.

### 1.2.6 – *Espectro de rajada*

As rajadas ocorrem em uma seqüência aleatória de freqüência e intensidade. Para estruturas flexíveis, susceptíveis de vibrarem, não se

pode calcular na base de uma carga de vento constante, mesmo adotando o pico máximo de rajada para velocidade de cálculo: a resposta dinâmica da estrutura à seqüência de rajadas pode causar solicitações maiores no material.

Este assunto tem sido tratado com muito detalhe pelo Prof. Davenport, em diversos trabalhos. O processo do espectro de rajada aplica-se principalmente a estruturas muito flexíveis, com períodos naturais de vibração de vários segundos. Isto porque só esta parte do espectro de rajadas é suficientemente conhecida de modo a servir de base para cálculos.<sup>2 4</sup> Segundo Scruton e Newberry o efeito do espectro de rajada provavelmente não é muito importante para estruturas de frequência natural acima de 0,5 ciclos por segundo (ou seja, períodos menores que dois segundos). Para a maioria das construções o seu período natural é pequeno (menos de dois segundos) quando comparado com a duração da rajada. Não há o problema de vibração da estrutura, mas deve se levar em conta o acréscimo transitório de carga que um pico de rajada pode causar.<sup>2 4</sup>.

### *1.2.7 – Topografia local*

Detalhes locais podem alterar consideravelmente a velocidade do vento. Por exemplo: afunilamento do vento em vales ou entre edifícios; aumento de velocidade e grande turbulência atrás de montanhas; aumento da velocidade no aclave de colinas e morros; diminuição da velocidade em vales protegidos.

### *1.2.8 – Risco de vida e danos. Lucros cessantes e custo de reconstrução*

São fatores já bem conhecidos pelo engenheiro estruturista. Sua consideração pode ser feita tanto na fixação dos coeficientes de redução das ações como na fixação da velocidade característica, por modificação conveniente do coeficiente  $S_3$  (item 4.i). Um caso bastante elucidativo é o de linhas de transmissão de energia elétrica, que em zonas habitadas, por exemplo, devem ter uma probabilidade de ruína menor do que em campo livre. Também muros divisórios são correntemente construídos com segurança muito baixa, não resistindo sequer à velocidade característica usada na quase totalidade das edificações.

1.3 — Como vemos, o assunto da escolha da velocidade do vento é muito vasto. Abordaremos aqui o problema de qual o intervalo de tempo a adotar para cálculo da velocidade básica.

Este conceito de velocidade básica está muito bem explicado por Davenport.<sup>1 5</sup> Como a velocidade do vento está continuamente flutuando, os picos de velocidade registrados dependem grandemente da sensibilidade e da manutenção do anemômetro. A dispersão destes resultados é grande. Diminuirá se calcularmos valores médios em um intervalo de tempo maior. Sherlock e Stout<sup>4 0</sup> chamaram a atenção de que, devido à inércia das partes móveis dos anemômetros comerciais, os registros podiam ser aceitos como acurados apenas se fosse calculada a média sobre um período mínimo de dez segundos.<sup>1 7</sup>

A sensibilidade dos anemômetros de copo é de cerca de três segundos para velocidades baixas e de dois segundos para ventos fortes. Rajadas menores raramente são registradas. Também para os anemômetros de hélice é da mesma ordem de grandeza, embora um pouco menor (porém acima de um segundo).<sup>2 2</sup>

As pressões exercidas sobre as estruturas também flutuarão, acompanhando as flutuações de velocidade do vento (rajadas), e conduzindo a ampliações dinâmicas das tensões reais na estrutura. Esta amplificação dinâmica depende da intensidade e energia das flutuações, bem como das dimensões e forma da estrutura e da resposta da estrutura às cargas dinamicamente aplicadas. A amplificação dinâmica é pois uma função das dimensões e flexibilidade da estrutura.<sup>1 7</sup>

Por estas razões, continua Davenport, as cargas do vento serão talvez melhor consideradas em termos de uma força aplicada constante, independente das dimensões, forma e características dinâmicas da estrutura, junto com um coeficiente que denota a amplificação que surge através de interação das superpostas flutuações de pressão e resposta dinâmica da estrutura (este coeficiente Davenport estuda com o espectro de rajadas).

A velocidade básica do vento, segundo Davenport, é a velocidade extrema do vento que dá origem a um esforço permanente sobre a construção (solicitação estática). Trata-se de uma velocidade média. As flutuações de pressão e conseqüente resposta dinâmica da estrutura são tratadas por um coeficiente especial, obtido pelo espectro de rajadas.

Note-se que Davenport<sup>1 4</sup> utiliza um fator de pressão de rajada (*gust pressure factor*) que multiplica a pressão média do vento em um ponto da construção:

$$\bar{p} = 1/2 \rho \bar{V}^2 c_p$$

(sendo  $\bar{V}$  a velocidade média no topo da estrutura,  $c_p$  o coeficiente de pressão,  $\rho$  a massa específica do ar). Para obter a carga total do vento por unidade de área:

$$P_{\text{máx.}} = G \bar{p}$$

O estudo deste fator  $G$  escapa à finalidade do presente trabalho.

O estudo de Davenport parece ser o mais preciso de todos, porém é o mais trabalhoso.

Também Ferrington<sup>1 9</sup> julga mais razoável considerar uma pressão constante agindo sobre a estrutura. A esta deve-se superpor uma pressão periódica produzida por rajadas. Sugere a máxima velocidade média horária para cálculo da pressão constante; as rajadas devem ser registradas no mesmo período da média horária.

1.4 – Um dos modos de estudar os efeitos do vento em obras de grande responsabilidade era o seguinte:<sup>3</sup>

– esforços aerodinâmicos estáticos: expressos pelos coeficientes de pressão, de forma e de força;

– influência das rajadas sobre o vento médio: levada em conta pelo fator de rajada (aplicada à velocidade básica, e não à pressão básica, como Davenport); estes picos de rajada causam aumento transitório nas cargas;

– efeitos dinâmicos das rajadas (impacto): expressos por um coeficiente de efeito dinâmico,  $K$ , função das características estruturais e dos materiais usados na construção;

– fenômenos de vibração: por vórtices que se desprendem cadenciadamente da estrutura ou por repetição periódica de rajadas. Só em poucos casos.

*Exemplos:*

1 – Torre de Stuttgart, Alemanha, com 212m de altura:

$q = 120\text{kgf/m}^2$  (inclui efeito estático das rajadas)

$K = 1,51$

Coeficiente de repetição: 1,25 (adotado como uma segurança extra para o caso possível, mas não provável de ressonância, por repetição periódica de rajadas).

2 – Torre Danúbio em Viena, Áustria, com 252m de altura:

velocidade básica do vento:  $V = 120\text{km/h}$

fator de rajada: 1,5                       $V = 180\text{km/h}$

$$q = 156\text{kgf/m}^2$$

$$K = 1,25$$

Um processo antigamente usado para determinar os efeitos dinâmicos das rajadas deve-se a Rausch. A pressão dinâmica era multiplicada por um coeficiente:

$$K = (1 + s) \leq 2$$

s — período próprio de oscilação completa da construção, em segundos.

1.5 — O problema que mais nos interessa é o problema das construções correntes, construídas em grande número e nas quais os efeitos dinâmicos são desprezáveis. Para estes casos podem ser utilizados resultados de ensaios em túneis de ventos que forneçam as pressões médias em termos de coeficientes de pressão, de forma e de força. Leva-se em conta o efeito das rajadas sobre as velocidades médias através do fator de rajada. Davenport,<sup>1 1</sup> entretanto, salienta que este processo não leva em conta as dimensões espaciais das rajadas e a possibilidade dos coeficientes aerodinâmicos em fluxo não permanente diferirem daqueles em fluxo permanente.

Porém, como salientou Esquillan,<sup>1 8</sup> na sessão de encerramento do Seminário Internacional de Pesquisa sobre Efeitos do Vento em Construções e Estruturas:

“Como engenheiro-construtor, eu gostaria que estas hipóteses e análises fossem seguidas de conclusões práticas. Não se deve perder de vista que a finalidade é executar construções que apresentem uma margem de segurança suficiente, e mais econômicas por um melhor conhecimento das solicitações que elas suportarão no decorrer de sua vida, podendo estas solicitações serem calculadas sem muitas complicações pelos escritórios de estudos, a fim de assegurar sua produtividade.

Com o fim de simplificar convirá distinguir:

- construções correntes para as quais as ações dinâmicas podem ser transformadas sem perigo em ações estáticas por um método ou por coeficientes apropriados;
- construções alteadas e flexíveis, para as quais os fenômenos vibratórios têm uma influência considerável e que necessitam um estudo mais aprofundado de seu comportamento.”<sup>b</sup>

---

<sup>b</sup>ESQUILLAN, N. Impressions et souhaits. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.2, p.353-4.

1.6 – De tudo que foi exposto anteriormente, concluímos que, considerando ou não as ações dinâmicas, é de primordial importância a determinação da velocidade média máxima, denominada também velocidade básica do vento. Qual o intervalo para calculá-la será o assunto do próximo capítulo.



## 2 – INTERVALO DE TEMPO

2.1 – Scruton chama a atenção que a análise pelo espectro de rajada (Davenport) “é complicada pelas dimensões finitas das rajadas e pela necessidade de examinar a correlação das velocidades de rajada ao longo do comprimento da estrutura. Mais desenvolvimento e muito mais dados são necessários antes que a influência do espectro de rajada possa ser plenamente analisada e simplificada para aplicação geral. Neste entretempo a maioria das estruturas continuará a ser calculada na base de terem de resistir às cargas devidas a ventos constantes e para isto a determinação de velocidades máximas realistas para uso como velocidade de cálculo é de primeira importância”.<sup>c</sup>

Quanto mais veioz a rajada, menor seu tempo de atuação e menores as dimensões do turbilhão correspondente: um turbilhão muito pequeno não afetará todo o campo aerodinâmico no entorno da construção. Rajadas de poucos segundos já são suficientes para causar pressões correspondentes à sua velocidade em elementos de revestimento e da estrutura secundária; porém é necessária uma rajada de maior duração para a pressão correspondente desenvolver-se em toda a construção, se ela não for muito pequena. Qual o intervalo de tempo para que estas pressões se desenvolvam plenamente? Será tanto maior quanto maiores as dimensões da construção. Já em 1958, Scruton e Gimpel<sup>3 5</sup> consideravam muito longo o intervalo de um minuto, então recomendado para velocidade de cálculo, uma vez que as estruturas reagem plenamente a rajadas de períodos muito mais curtos. Sugerem para referência (velocidade básica) a máxima média horária a uma altura de 33 pés (10m). A velocidade de cálculo seria a velocidade média sobre 15 segundos. Fator de rajada para passar da média horária para média sobre 15 segundos: 1,5.

Cohen e Perrin,<sup>9</sup> em 1957, tomaram como velocidade básica a média em um minuto, a uma altura de 30 pés (9,14m). A velocidade de cálculo será dada por: velocidade básica x fator de rajada.

---

<sup>c</sup>SCRUTON, C. Wind effects on buildings and structures. *The Engineer*. London, 216(5.606):15, July 1963.



2.2 – Como se pode determinar qual o fator de rajada apropriado para uma certa construção? Um critério bastante difundido é o devido a Sherlock.<sup>40</sup> Ele baseou-se em estudos de Farren sobre uma asa de avião em velocidade variável para determinar o intervalo de tempo para uma rajada ser efetiva sobre uma construção. Segundo Farren, a asa deve viajar seis comprimentos de corda para que a sustentação seja plenamente desenvolvida. Este mesmo comprimento Sherlock admite necessário a sotavento da construção, para o pleno desenvolvimento das pressões. São acrescentados dois comprimentos a barlavento (Fig. 1). Sherlock<sup>40</sup> levou em consideração também os ensaios sob forma de fluxo, realizados por Irminger e Nökkentved, e admitiu que estes ensaios (Fig. 1) se aplicam aceitavelmente bem a construções com outras formas. Sugere que a rajada deve ter uma duração tal que uma partícula de ar percorra oito vezes a dimensão da construção na direção do vento.

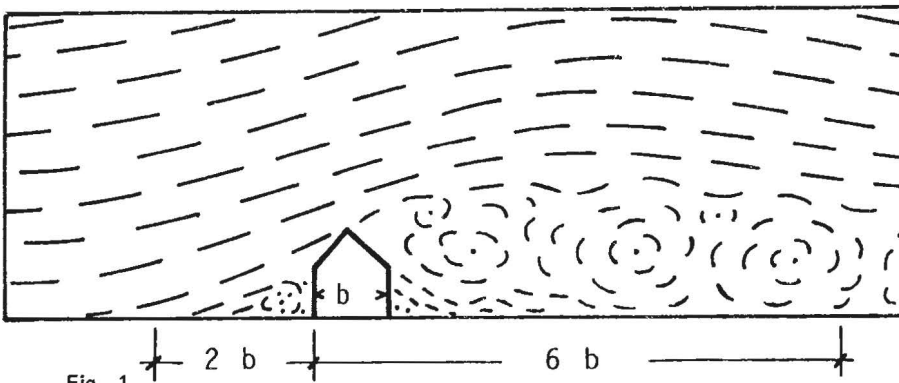


Fig. 1

Transversalmente, a rajada deve ter uma largura cerca de duas vezes a da construção.<sup>20</sup>

Este critério de Sherlock aparece no relatório final da comissão indicada pelo ASCE para estudar o problema do vento (Sherlock foi o relator desta parte): "Fatores de rajada apropriados serão usados para estruturas que são suficientemente pequenas para responderem a rajadas envolvendo menos que uma milha de vento passante. O fator de rajada (velocidade de rajada/velocidade da milha mais veloz de vento) deverá guardar alguma relação com o tamanho mínimo de rajada necessária para envolver a estrutura e o fluxo vizinhos. Um fator de rajada de 1,3 será considerado para rajadas de aproximadamente um segundo de duração, que, a 90 milhas por hora (145km/h) de vento básico, terá um comprimento vento abaixo de cerca de 130 pés (40m). Isto será apropriado para quadros de propaganda e pequenas construções. Um fator

de rajada de 1,1 será considerado para rajadas de cerca de 10 segundos de duração, que em um vento básico de 90mph terá um comprimento vento abaixo de 1.300 pés (396m); este fator é adequado para estruturas tendo uma dimensão horizontal, transversal ao vento, de cerca de 125 pés (38m)<sup>d</sup>.

2.3 – a) O critério acima exposto baseia-se no campo aerodinâmico em torno de uma asa em movimento na atmosfera calma. Entretanto, o fluxo de ar em torno das edificações inclui turbilhões que se distribuem de uma maneira aleatória no espaço e no tempo. Parece-nos mais razoável abordar a questão considerando como ponto de partida as dimensões dos turbilhões.

Seja  $D$  o comprimento de um turbilhão na direção da velocidade média do vento (coincide com a velocidade de deslocamento do turbilhão)  $\bar{V}$  (Fig. 2). Medidas feitas ao vento natural por diversos pesquisadores indicam que, a grosso modo, em um plano perpendicular à direção de  $\bar{V}$ , o turbilhão apresenta uma secção circular, com diâmetro máximo entre  $D/3$  e  $D/2$ .

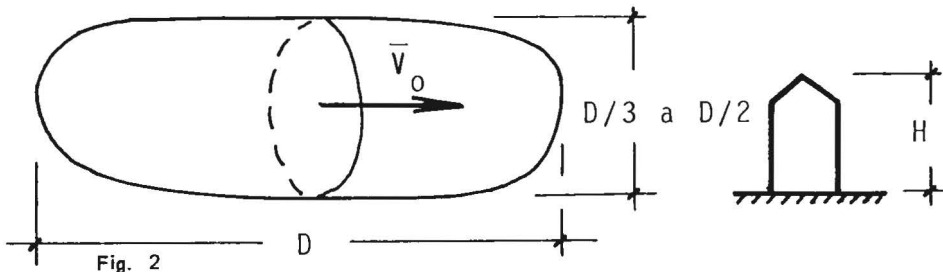


Fig. 2

Para que o turbilhão seja efetivo, deve ter dimensões sensivelmente maiores que a construção, pois a correlação de velocidades na periferia do turbilhão é fraca. Recomenda-se que a secção transversal do turbilhão apresente um diâmetro igual ao triplo da altura ou da largura da edificação, que designaremos por  $H$ :

$$3H = D/3 \text{ a } D/2,$$

portanto:

$$D = 6H \text{ a } 9H$$

<sup>d</sup>AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Task Committee on Wind Forces, New York. Wind forces on structures final report. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, New York, N.Y., 126:1.141, Oct. 1961.

Como o turbilhão se desloca com uma velocidade  $\bar{V}$ , levará um tempo

$$\Delta T = D/\bar{V} = 4 \text{ a } 6 (H/\bar{V})$$

para passar pela edificação.

A Tabela 1 apresenta valores da duração da rajada para diversas dimensões H da edificação, para velocidade  $\bar{V}$  de 30 e 40m/s.

Tabela 1 – DURAÇÃO DA RAJADA EM SEGUNDOS

H (m)	$\Delta T = 6 \text{ a } 9 (H/\bar{V})$	
	V = 30 m/s	V = 40 m/s
10	2 a 3	1,5 a 2
20	4 a 6	3 a 5
50	10 a 15	8 a 11
100	20 a 30	15 a 23
200	40 a 60	30 a 45
300	60 a 90	45 a 68

b) Não esquecer que este critério permite obter apenas valores aproximados, pois as proporções dos turbilhões são muito variáveis e o critério de considerar o turbilhão com uma dimensão transversal com o dobro da dimensão correspondente da edificação é empírico-intuitivo. Baseia-se em parte no conceito de escala espacial da turbulência e na relação entre esta e a curva de correlação espacial.

O problema fica ainda mais complicado pelo fato de que parte dos turbilhões menores, incluídos nos maiores, é interceptada e desviada pela edificação, a qual, por sua vez, gera outros turbilhões que se desenvolvem na esteira da edificação.

c) A imprecisão dos resultados está em parte ligada ao fato de que, em um estudo geral, as proporções entre as dimensões dos turbilhões só podem ser dadas de um modo muito aproximado. Valores mais precisos serão obtidos com a determinação da escala da turbulência no local da obra.

É o que fizeram Newberry, Eaton e Mayne<sup>29</sup> para a Torre dos Correios (Post Office Tower), em Londres. Estudaram o problema a partir do conceito de correlação cruzada das flutuações de pressão em uma dada frequência em dois pontos da edificação. O coeficiente de correlação cruzada,  $\rho$ , é definido por uma curva (Fig. 3):

$$\rho = e^{-CnX/\bar{V}}$$

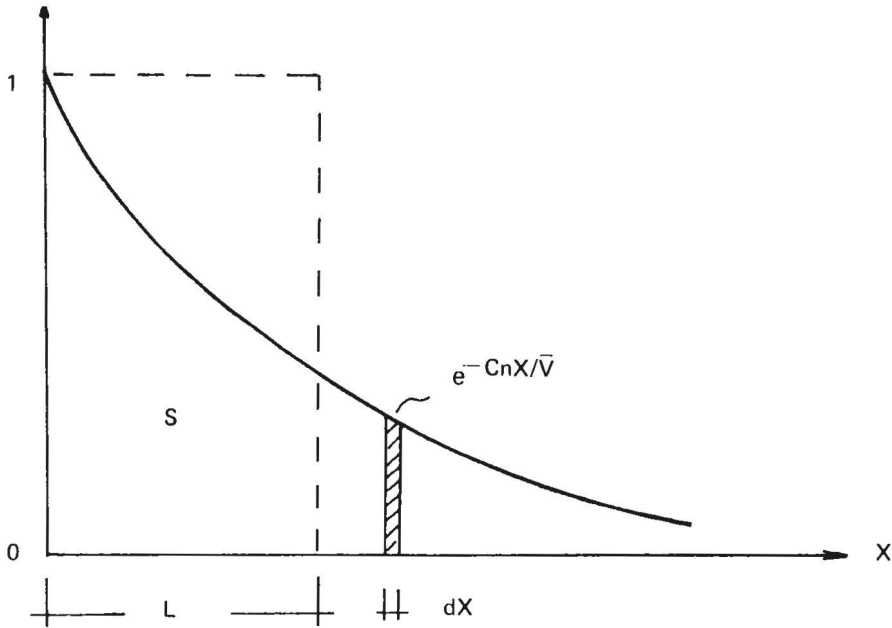


Fig. 3 – Escala espacial da correlação

sendo

- X – distância entre os dois pontos;
- n – freqüência das flutuações de pressão;
- C – coeficiente empírico.

Devido à forma da edificação estudada, uma torre muito alteada, só foi possível considerar correlações verticais. Foram estudadas 450 correlações cruzadas verticais entre vários pares de transdutores de pressão, com distâncias X entre 9 e 119m. O valor médio obtido para C foi de 6,8, com um desvio padrão de 1,8.

As dimensões espaciais do turbilhão são caracterizadas pelas correspondentes escalas espaciais. Estas, por sua vez, são definidas pelo comprimento L de um retângulo de mesma área que a área S sob a curva  $\rho$ . Isto é (Fig. 3):

$$L = \frac{\text{área sob a curva}}{\text{ordenada na origem}} = \frac{S}{1}$$

A área S é obtida pela integral ( $1/n = \Delta T$ ):

$$S = \int_0^{\infty} e^{-cnX/\bar{V}}.dX = \bar{V}/Cn = \bar{V}\Delta T/C$$

e a escala espacial será:

$$L = \bar{V}\Delta T/1.C = \bar{V}\Delta T/C.$$

Donde tiramos a duração da rajada,  $\Delta T$ :

$$\Delta T = CL/\bar{V}$$

Para o caso da torre estudada:

$$\Delta T = 6,8H/\bar{V} \text{ segundos.}$$

Com esta expressão calcularam-se os períodos de tempo  $\Delta T$  para as mesmas dimensões (altura, neste caso) e velocidades usadas como exemplo no critério anterior (Tabela 2).

d) Sfintesco e Wyatt<sup>37</sup> propõem o uso da mesma expressão de  $\rho$ , tanto para a correlação vertical como horizontal, tendo em vista que a diferença entre as direções vertical e horizontal parece ser menor do que anteriormente sugerido (veja-se, por exemplo, os estudos de Shiotami e Iwatani,<sup>41</sup> que não encontraram grande diferença entre as escalas lateral e vertical).

Neste caso, X será a distância vertical ou horizontal entre os pontos em estudo de correlação cruzada. Para o estudo que estamos fazendo de dimensões de turbilhões e período de duração de sua passagem por uma edificação, X será a altura (H) ou a largura da mesma, respectivamente. V será a velocidade a meia altura ( $\bar{z}=H/2$ ) da edificação, enquanto que para C, Sfintesco e Wyatt sugerem a expressão:

$$C = 9 (20/\bar{z})^{0,09}$$

Com base nesta expressão foi organizada a Tabela 3, válida para o caso de edificações alteadas. Fácil será calcular o período  $\Delta T$  para uma edificação alargada.

Este processo permite uma avaliação razoável do período de tempo  $\Delta T$ , sem a necessidade de medidas no local da construção, as quais somente em raras oportunidades serão exeqüíveis.

Tabela 2

H (m)	$\Delta T$ em segundos	
	$\bar{V} = 30\text{m/s}$	$\bar{V} = 40\text{m/s}$
10	2	2
20	5	3
50	11	9
100	23	17
200	45	34
300	68	51

Tabela 3

H (m)	$\bar{z}$ (m)	C	$\Delta T$ em segundos	
			$\bar{V} = 30\text{m/s}$	$\bar{V} = 40\text{m/s}$
10	5	10,2	3	3
20	10	9,6	6	5
50	25	8,8	15	11
100	50	8,3	28	21
200	100	7,8	52	39
300	150	7,5	75	56

e) A Fig.4 apresenta um estudo comparativo entre os três critérios.

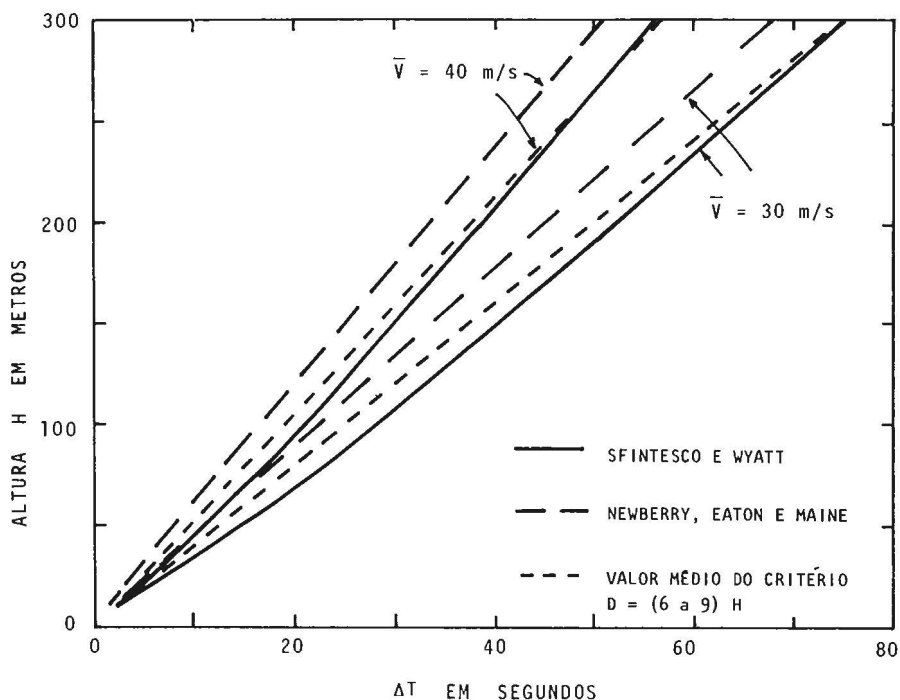


Fig. 4 – Duração da rajada

2.4 – A velocidade básica não é uma velocidade que se aplica diretamente para o cálculo da pressão. Entre outros fatores deve ser considerada a influência das dimensões da edificação e, quando for o caso, as características dinâmicas da estrutura, incluindo sua frequência natural e seu amortecimento. A velocidade básica, segundo Davenport, conta melhor a história do vento, "ela é um ponto de partida para definir o estado meteorológico das condições do vento".<sup>e</sup>

2.5 – Davenport, em dois trabalhos apresentados em 1960, expõe o seguinte:

"Para calcular velocidades básicas do vento para o projeto de estruturas, certas considerações fundamentais determinam qual intervalo é o mais apropriado:

<sup>e</sup>DAVENPORT, A.G. Discussion of paper 2. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDING AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.2, p.391. Réplica de Davenport a Newberry.

1 — o intervalo deve coincidir tanto quanto possível com alguma periodicidade natural do vento;

2 — o intervalo deve ser longo, comparado tanto com a frequência natural da estrutura como com o tempo de resposta do instrumento: desta maneira não haverá interação dinâmica entre a estrutura e o vento médio, e as velocidades do vento medidas serão verdadeiras<sup>f</sup> (independente da resposta do instrumento, acrescentou Davenport no segundo trabalho citado);

“3 — o intervalo será suficientemente curto para registrar os picos de tempestades severas;

4 — o intervalo deve corresponder a uma massa de ar de dimensões suficientes para envolver completamente a estrutura e suas regiões de vórtices.”<sup>9</sup>

Davenport não considera razoável nem a média horária, por não satisfazer as condições 1 e 3, nem a média em três segundos (rajadas), por não satisfazer as condições 1, 2 e 4. Acha mais razoável adotar a milha de vento ou o minuto de vento, pelas seguintes razões, com a numeração correspondente às condições acima:

“1 — por meio de coeficientes de correlação, Durst encontrou que em tempestades os principais grupos de redemoinhos, térmicos em origem, tinham comprimentos de onda de cerca de 4.000 a 6.000 pés (1.200 a 1.800m), correspondendo estreitamente (*closely*) à milha-intervalo ou minuto-intervalo em ventos de 60mph (96km/h);

2 — o período natural da maioria das estruturas é da ordem de 0,1 a 3 segundos; a do Empire State Building é 8,14 segundos. Com o amortecimento presente na maioria das estruturas, flutuações correspondendo a uma milha (1.609m) em ventos extremos terão ação dinâmica infinitesimal.

Sherlock e Stout, referindo-se ao tempo de resposta de anemômetros comerciais, escreveram em 1937 ‘que por causa da inércia das partes móveis dos instrumentos, os registros podiam apenas ser aceitos como acurados se fosse calculada a média sobre 10 segundos ou mais’. Assim, mesmo a 150mph (241km/h), a milha de vento (ou o minuto de vento) satisfaz o item 2;

---

<sup>f</sup> DAVENPORT, A.G. *Wind loads on structures*. Ottawa, National Research Council of Canada, 1960. p.16. (Technical Paper of the Division of Building Research, 88).

<sup>9</sup> DAVENPORT, A.G. Rationale for determining wind velocities. *Proceeding of American Society of Civil Engineers; Journal of Structural Division*, New York, N.Y., 86(ST5):41-2, May 1960.

3 – a milha de vento é de duração suficientemente curta para registrar o pico de uma rajada de vento com chuva ou neve (*squall*) ou um súbito temporal local;

4 – a milha de vento também representa uma massa de ar muito maior do que a maioria das estruturas, assim que pressões estáticas ao menos equivalentes a esta velocidade média podem ser previstas.<sup>h</sup>

Em resumo: Davenport<sup>15, 17</sup> recomenda o uso da velocidade média calculada sobre a milha mais veloz ou o minuto mais veloz (*fastest mile* ou *fastest minute*) de vento como uma velocidade básica para projeto, em preferência a velocidades absolutas de pico que não podem ser consideradas independentemente das dimensões da estrutura e da resposta dinâmica do anemômetro, estrutura e materiais estruturais.

2.6 – Em 1963, Davenport<sup>16</sup> estudou o espectro horizontal do vento próximo ao solo (a 100m de altura). Ele se caracteriza por alguns picos, com zonas intermediárias de baixa amplitude (Fig. 5). Há um grande pico com um máximo entre um e dois minutos por ciclo. Para períodos entre cinco minutos e mais ou menos quatro a cinco horas o espectro contém muito pouca energia, o que significa que há pouca variação na velocidade do vento nesta região. Um pico menor aparece com um período de 12h. Davenport<sup>16</sup> admite que a mesma forma geral de espectro e posição de picos serão encontradas em outras alturas, outros tipos de terreno e em outras localizações geográficas.

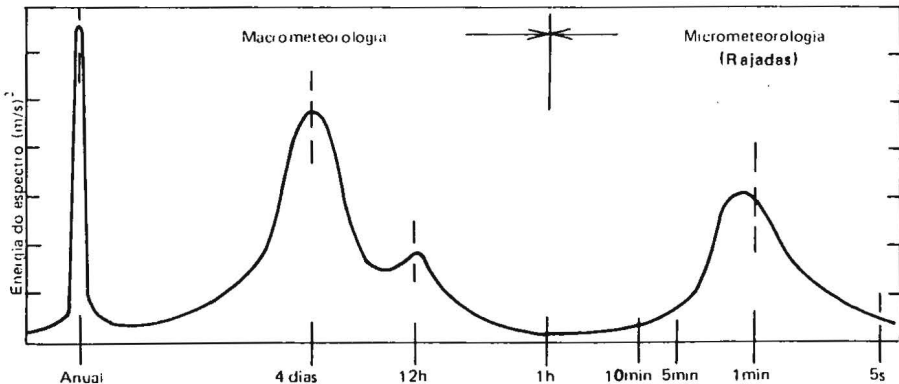


Fig. 5 – Espectro da velocidade horizontal do vento. Medições de van der Haven a 100 m de altura. Fonte: Davenport,<sup>16</sup>

<sup>h</sup>DAVENPORT, A.G. *Wind loads on structures*. p.16-7. DAVENPORT, A.G. Rationale for determining design wind velocities, p.42.



Entre os dois picos citados há um vale que se estende a grosso modo de cinco minutos a cinco horas, com centro em torno de uma hora. Isto justifica o emprego da velocidade média horária ou um período algo menor. No final de seu trabalho, Davenport sugere, como o parâmetro mais útil para base do estudo do vento, a velocidade média calculada sobre um período entre cinco minutos e uma hora ("a diferença entre as duas médias não é provavelmente grande"). Outras medidas tais como velocidade máxima de rajada não seriam, segundo Davenport, quantidades altamente significativas em relação às cargas do vento.

2.7 – Em 1964, Davenport tece novas considerações sobre o intervalo de tempo mais conveniente, baseado também no espectro de energia das rajadas. A velocidade média pode ser calculada para intervalos entre uma hora e vinte minutos, ou intervalos próximos acima ou abaixo. A média pouco definirá nos diferentes casos. Porém, se for tomado um intervalo de meio minuto, as velocidades médias calculadas em distintos tempos serão muito diferentes; trata-se de um valor bastante instável. "A razão pode ser atribuída à falta de qualquer periodicidade forte do vento no intervalo de cerca de uma hora ou dez minutos, mas há uma forte periodicidade em torno de meio minuto."<sup>i</sup> Outra vantagem de usar a média sobre uma hora é que muitos postos meteorológicos determinam este valor.

2.8 – Em 1967, examinando novamente o assunto com o espectro de rajadas, Davenport<sup>1 2</sup> chama a atenção que o vale no espectro (*spectral gap*), centrado em um período de aproximadamente meia hora, e situado entre o pico de energia em um período em torno de quatro dias e o pico de energia em um período de aproximadamente um minuto (rajadas), permite descrever o vento convenientemente em termos de:

"a) uma velocidade média, refletindo apenas as grandes variações, no tempo, da velocidade do vento (são as variações com períodos de vários dias);

b) as rajadas do vento."

Os mais importantes fatores para a escolha de um período razoável para definir a velocidade média do vento, alinhados por Davenport, são:

---

<sup>i</sup> DAVENPORT, A.G. The buffeting of large superficial by atmospheric turbulence. *Annals of the New York Academy of Sciences*, New York, N.Y., 116:137, June 1964.

- "1 — o período deve ser escolhido para minimizar as variações (isto é, inclinações da curva do espectro) dentro do período;
- 2 — deve ser suficientemente longo para permitir o desenvolvimento pleno da resposta da estrutura;
- 3 — deve ser suficientemente curto para refletir o efeito máximo de uma tempestade relativamente curta em duração;
- 4 — deve, se possível, coincidir com observações meteorológicas padrão."<sup>i</sup>

Os itens 2 e 3 são iguais aos de mesmo número apresentados por Davenport em 1960, ao recomendar a milha ou minuto de vento. A exigência do item 1 do trabalho de 1960 (periodicidade natural do vento) conduziu a um intervalo de cerca de um minuto que não serve mais pelo critério do espectro, por cair no pico de energia das rajadas. Foi substituída pela condição de se ficar em uma zona do espectro em que não haja muita variação de energia; com isto, será pequena a variação nas velocidades médias calculadas em qualquer ponto desta região.

Também não interessa mais, explicitamente, impor que a massa de ar envolva completamente a construção e suas regiões de vórtices (em outras palavras, o campo aerodinâmico perturbado sensivelmente pela construção). Os intervalos recomendados satisfazem com grande folga esta condição anterior. Em seu lugar é agora dada uma indicação apenas de ordem prática para facilitar os cálculos.

Baseado nestas condições, Davenport conclui que o melhor período para cálculo da velocidade média está entre 5 e 30 minutos, e o melhor ainda entre 10 e 15 minutos (o item 3 não era satisfeito pela indicação em trabalho anterior de uma hora).

As razões, com a mesma numeração das condições, são:

- "1 — este período fica próximo ao centro do espectro e isto é uma boa garantia de que as inclinações (da curva do espectro) não serão muito fortes;
- 2 — o âmbito das frequências naturais das estruturas é de, aproximadamente, 0,1 ciclos/segundo (para construções altas e pontes longas) para mais. Em um período de 15 minutos ao menos 90 ciclos de oscilação ocorrerão, e isto é normalmente bem adequado para o desenvolvimento de condições permanentes;
- 3 — o período é em geral suficientemente curto para refletir súbitas tempestades, tais como temporais que usualmente duram de cinco a dez minutos;

---

<sup>i</sup>DAVENPORT, A.G. The dependence of wind loads on meteorological parameters. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.1, p.26.

4 – Estados Unidos da América costumam usar cinco minutos; Japão, dez minutos; uma hora é comum.”<sup>k</sup>

Finalizando seu trabalho, Davenport define como velocidade média aquela calculada sobre um período de 10 a 20 minutos. Admite também que não há um erro sensível usando outros períodos, desde que fiquem no vale espectral. Davenport estima que as velocidades médias máximas calculadas sobre 15 minutos ficarão apenas de 2 a 5% acima da média horária.

Nas conclusões finais do seu trabalho, Davenport diz o seguinte:

“O vento pode ser definido convenientemente em termos de velocidades médias e rajadas relacionadas ao vento médio. Há fundamentos físicos para preferir um período de cálculo da média entre 10 e 30 minutos.

Estatísticas climáticas devem, se possível, ser expressas em termos destas velocidades médias. A influência de rajadas é melhor determinada por outros meios do que pelo uso da velocidade máxima de rajada.”<sup>l</sup>

2.9 – De opinião contrária a Davenport é Newberry.<sup>2 3</sup> Reconhece que, de fato, a curva de energia do espectro do vento mostra um mínimo constante na zona espectral entre 5 e 30 minutos. Embora possa teoricamente ser uma base correta para determinar a velocidade de cálculo do vento, Newberry não a acha significativa praticamente: interessam para o projeto estrutural cargas do vento agindo sobre poucos segundos e às vezes menos. Além disso, atualmente há dificuldades em correlacionar os carregamentos de curta duração com as médias de velocidade calculadas sobre períodos maiores. Há também dificuldades consideráveis para relacionar a velocidade do vento nas alturas normais de edifícios com a velocidade do vento gradiente (Davenport toma para base a velocidade gradiente).

É preferível basear a velocidade do vento nos dados disponíveis mais próximos para minimizar os erros que surgem ao aplicar grandes correções aos dados do vento mais remoto, mesmo que estes sejam estatisticamente preferíveis. Newberry termina recomendando a velocidade máxima de rajada a uma altura efetiva de 10m como velocidade básica. Oferece a dupla vantagem de ser medida à altura da maioria das

---

<sup>k</sup>DAVENPORT, A.G. The dependence of wind loads on meteorological parameters. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.1, p.27.

<sup>l</sup>DAVENPORT, A.G. The dependence of wind loads on meteorological parameters. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.1, p.60.

construções e de ter duração próxima à duração efetiva da carga de cálculo. Naturalmente, conforme este critério, a velocidade básica não causa apenas um esforço permanente sobre a construção. A velocidade básica, em um sentido mais geral, corresponde a uma velocidade de referência.

2.10 — Davenport<sup>1 8</sup> opõe o seguinte: a média sobre poucos segundos não leva em conta a influência dinâmica de seqüências de rajadas ressonantes com a estrutura ou com um elemento estrutural e também a extensão espacial de células de pressão induzidas na estrutura por rajadas. Além disso, estatisticamente as velocidades máximas de rajada são um valor muito mais disperso do que outros parâmetros estatísticos, como, por exemplo, as velocidades médias.

Entretanto, lembremos de que se os efeitos dinâmicos não são considerados, por muito pequenos, não interessa estudar seqüências de rajadas. Embora mais dispersos, a estatística permite fazer uma estimativa razoável da rajada máxima a esperar em um certo intervalo de tempo. Ao passar de um intervalo maior de velocidade básica para a de cálculos, de poucos segundos, temos não só imprecisão nos fatores de transposição dos intervalos em si, mas também imprecisão por estarem muito afastados os dois intervalos, o que aumenta a dispersão.

2.11 — Newberry<sup>2 5</sup> apresenta os resultados de ensaios feitos em um edifício, 42 x 18m em planta, de 18 pavimentos. Conclusões a que chega (embora recomende não pôr muita confiança nos resultados de um único exemplo):

Adotar rajada de três segundos para cargas locais, em revestimentos, e rajada de dez segundos para cargas estruturais (isto para edifícios de dimensões da ordem de grandeza do usado nas pesquisas). Newberry<sup>2 5</sup> constatou que mesmo rajadas de três segundos são importantes para cargas estruturais: a carga de uma rajada de três segundos foi 60% maior do que a carga com um minuto de vento (cargas médias, calculadas as médias respectivamente sobre 3s e 1min). Como os valores obtidos em um modelo do edifício, ensaiado em túnel de vento, foram maiores do que os na construção real, Newberry sugere que se usem os valores de ensaios em modelos, corrigindo convenientemente o tempo para calcular a velocidade média: obteve dez segundos.

2.12 — Vickery,<sup>4 6</sup> considerando que, se os efeitos dinâmicos forem desprezados, a duração da rajada de cálculo deve ser relacionada ao tamanho da construção, e levando estas simplificações à teoria do espectro de Davenport, chegou a valor próximo ao recomendado por Newberry: obteve 12 segundos (velocidade média: 30 pés/s = 9m/s). Para velocidades do vento normalmente usadas nos projetos estruturais, o período para cálculo da velocidade média de rajada situou-se entre três e quatro segundos (cálculo de Vickery), o que está de acordo com as recomendações de Scruton e Newberry.<sup>3 6</sup>

2.13 — a) Estudos atualmente em andamento pelo Joint-Committee on Structural Safety, para a determinação de velocidades básicas para a Europa, tomam para referência a velocidade média sobre dez minutos, a dez metros de altura, em campo aberto e plano. As informações fornecidas pelos postos meteorológicos, porém, referem-se em geral a médias sobre uma hora; só em uns poucos casos sobre dez minutos. O que obrigou o Comitê a adotar expressões matemáticas para a conversão de um período para outro. Detalhes serão dados no capítulo 3.

b) No Brasil, os dados mais confiáveis, com uma cobertura razoável de todo o território nacional, são os do Serviço de Proteção ao Vôo do Ministério de Aeronáutica, com 49 estações, todas elas localizadas em aeroportos. As leituras são feitas de hora em hora, com vários regimes de funcionamento (14, 18 e 24 horas por dia, conforme a importância do aeroporto). São também anotados valores excepcionais de rajadas, a qualquer hora, durante o período de funcionamento da estação.

As condições de leitura e registro tornam mais conveniente adotar como referência o período de três segundos (para maiores detalhes consultar Vieira Filho<sup>37</sup> e Padaratz<sup>30</sup>). A imprecisão obtida com a passagem para períodos de dez minutos ou uma hora e o relativamente pequeno número de estações — impossibilitando uma correção por comparação entre estações — foram outros fatores que levaram a tomar para velocidade básica do vento da norma brasileira NB-599<sup>2</sup> a velocidade correspondente a rajadas de três segundos de duração.

Futuramente, após alguns anos de funcionamento da rede de cerca de 400 estações meteorológicas que está sendo implantada em todo o Brasil pelo Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério de Agricultura, com anemógrafos, será possível pensar em adotar o período de dez minutos para determinação da velocidade básica.

### 3 – MUDANÇA DE INTERVALO DE TEMPO

3.1 – Estabelecida uma velocidade básica, seja ela 1h, 15min, 3s, etc., necessitam-se fatores que permitam passar desta velocidade básica para as velocidades de cálculo. Ou, então, conhecida uma velocidade básica, podemos estar interessados em saber qual a velocidade básica correspondente a outro intervalo de tempo.

Damos a seguir especificações numéricas e gráficas que permitem passar de um intervalo para outro, tendo em vista não só que os registros meteorológicos não são padronizados no que diz respeito ao intervalo de tempo básico, como também que o tempo de duração da rajada que interessa é função das dimensões da construção e, quando for o caso, também de suas características dinâmicas.

3.2 – Scruton e Newberry<sup>3 6</sup> apresentam diversos processos sugeridos para determinar a velocidade de cálculo. Entre eles citamos:

a) *Norma inglesa* – British Standard Code of Practice CP3 – Chapter V (1952).

Velocidade de cálculo: média máxima sobre um minuto.

Os registros meteorológicos dão a média horária  $V_{1h}$ . Para obter a velocidade de cálculo a norma indica:

$$V_{1 \text{ min}} = V_{1h} + 10 \text{ milhas/hora}$$

b) *Shellard*<sup>3 8</sup>

Mapas com isopletas de máxima velocidade média horária e de máximas rajadas (aproximadamente três segundos) prováveis de serem excedidas uma vez em 50 anos, a 33 pés (10m) de altura.

c) *Scruton e Gimpel*<sup>3 5</sup>

Rajadas de 10-15 segundos para o cálculo de construções.

$$\bar{V}_{15s} = 1,4\bar{V}_{1h}$$

d) *Scruton e Newberry*<sup>3 6</sup>

Muito interessantes são os dois processos recomendados pelos autores do artigo que estamos comentando.

Um deles baseia-se nas velocidades do vento à altura meteorológica de 33 pés (10m) e outro na altura do vento gradiente. Este último tem as vantagens, já assinaladas por Davenport, de variar pouco de lugar para lugar (menos isopleias na carta de velocidades máximas) e de mais exatidão pela tendência de eliminar os efeitos topográficos locais. Entretanto, baseia-se na elaboração de cartas e na determinação de valores auxiliares que necessitariam de explicações especiais.

O segundo processo baseia-se no vento a 33 pés (10m) de altura:

$\bar{V}_{33}$  — máxima velocidade média horária, a uma altura de 33 pés, passível de ser excedida em média uma vez em 50 anos (é a velocidade básica).

Esta velocidade é obtida de cartas fornecidas pelo serviço meteorológico ou é calculada a partir de registros locais.

A velocidade de cálculo, a 33 pés de altura, é obtida por:

$$V_z = F \bar{V}_{33}$$

F = fator de rajada.

Este fator de rajada permite passar da velocidade básica (média horária) para as velocidades de cálculo. São utilizadas duas velocidades de cálculo, uma correspondente a rajadas extremas, três segundos, e outra para um intervalo de tempo de dez segundos. As rajadas representam média em torno de três segundos, com ventos moderados, e de aproximadamente dois segundos com ventos fortes.<sup>4 6</sup>

Além disso, este fator de rajada é função da rugosidade do terreno. Davenport utilizou inicialmente oito diferentes categorias de terreno, que posteriormente reduziu a três. Na Tabela 4 estão dados fatores de rajada e as correspondentes categorias (para maiores detalhes consultar Blessmann,<sup>4</sup> item 2.2).

3.3 — Para o edifício Museum Radio Tower, Londres,<sup>10</sup> com 186m de altura, o intervalo foi de 15 segundos, para determinação da velocidade de cálculo. Na projetada cúpula do Hotel Tropical de Manaus, hemisfera com 300m de diâmetro, um minuto.<sup>5</sup>

3.4 — Rijkoort e Wieringa<sup>3 2</sup> apresentam o gráfico da Fig. 6 que dá a relação das velocidades médias,  $F = \bar{V}_t / \bar{V}_{1h}$ , em função do intervalo de tempo, a 10m de altura, na zona costeira e no interior.



Tabela 4

Categoria	Topografia	$F = \bar{V}_t / \bar{V}_{1h}$	
		rajada extrema $t = 3s$	rajada de $t = 10s$
1	Exposição extrema – grandes extensões de água livre e campos	1,5	1,3
2	Campo aberto com obstruções baixas – árvores, cercas-vivas, construções de dois andares, etc.	1,7	1,4
3	Áreas construídas e áreas com altas obstruções, tais como pequenas e grandes cidades	2,0	1,6

Velocidade básica ( $\bar{V}_{1h}$ ): máxima velocidade média horária a uma altura de 33 pés, passível de ser excedida na média uma vez em 50 anos.

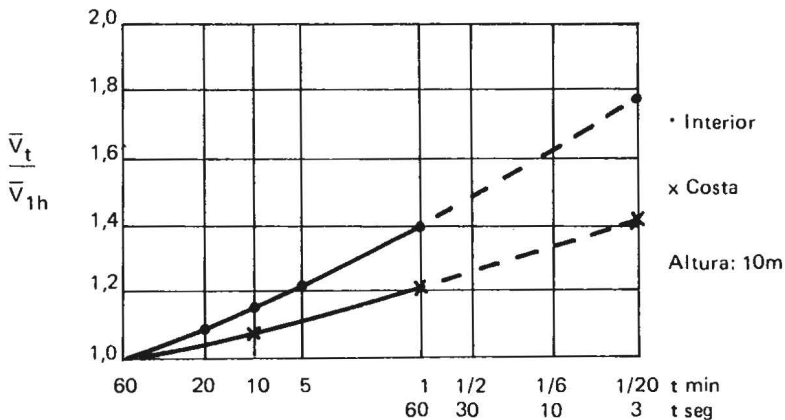


Fig. 6 – Relação entre velocidades médias. Fonte: Rijkoort e Wieringa<sup>32</sup>

3.5 – Shellard<sup>38</sup> apresenta resultados obtidos por ele mesmo, por Durst, Sherlock e Deacon:

*Durst:*

Relação da máxima velocidade média provável, calculada em um tempo "t" em relação à máxima média horária:  $F = \bar{V}_t / \bar{V}_{1h}$ .

t = 1h	10min	1min	30s	20s	10s	5s	0,5s
F = 1,00	1,06	1,24	1,33	1,36	1,43	1,47	1,59



Tabela 5 – RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE MÁXIMA MÉDIA PARA VÁRIOS PERÍODOS

	Relação	Tipo de terreno	Fonte de referências
$\bar{V}_{10s}/\bar{V}_{5min}$	1,50	Campo aberto	Sherlock, <i>Variation of wind velocity and gusts with height</i>
$\bar{V}_{5s}/\bar{V}_{10min}$	1,44	Campo aberto	Deacon, <i>Gust variation with height up to 150m</i>
$\bar{V}_{3-5s}/\bar{V}_{1h}$	1,45 a 1,60	Campo aberto próximo à costa	Shellard, <i>Extreme wind speeds over the United Kingdom for periods ending 1959</i>
(3-5s: rajada máxima)	1,60 a 1,80	Campo aberto interior	
	2,00 a 2,20	Centro de gran- des cidades	
$\bar{V}_{3-5s}/\bar{V}_{10min}$	1,48	Campo aberto próximo à costa	

Shellard<sup>38</sup> conclui, comparando os valores da Tabela 5 com os de Durst, que os deste autor são um pouco baixos. Recomenda, como valores para uso rotineiro, até que mais dados sejam conseguidos:

$$\text{Valores de } F = \bar{V}_t/\bar{V}_{1h}$$

t = .....	1 min	30s	10s
exposição rural (campo aberto) :	1,25	1,33	1,45
exposição urbana .....	1,45	1,60	1,80

Todos os valores do trabalho de Shellard<sup>38</sup> referem-se à altura padrão de 33 pés (10m).

3.6 – No Seminário Internacional de Ottawa, Shellard<sup>39</sup> apresentou os resultados de outros estudos feitos em Goonhilly e em Londres.

Em Goonhilly as medidas foram feitas a 32 pés (9,75m) acima do solo, em local aberto com colinas, a poucas milhas da costa. Estudou a variação da velocidade máxima média em função do tempo para cálculo desta média. Foram feitos dez registros, cada um com uma hora de duração, em dias diferentes. Foi calculada a velocidade média em suces-

sivos intervalos de cinco segundos e a velocidade máxima de rajada. Na Tabela 6 estão os resultados de Shellard,<sup>39</sup> bem como os obtidos por Durst-Cardington, 1960, anemômetro a 50 pés,(15,2m) e por Deacon-Sale, Austrália, 1965, anemômetro a 40 pés,(12,2m), que ele apresenta para comparação.

Tabela 6 – VALORES DE  $F = \bar{V}_t / \bar{V}_{1min}$

Local	t em segundos									
	60	30	20	16	10	8	5	4	3	2
Goonhilly	1,00	1,05	1,08		1,12		1,16			1,22
Cardington	1,00	1,07	1,10		1,15		1,19			
Sale	1,00			1,12		1,18		1,22		1,25

Estes mesmos valores serviram para traçar os gráficos da Fig. 7

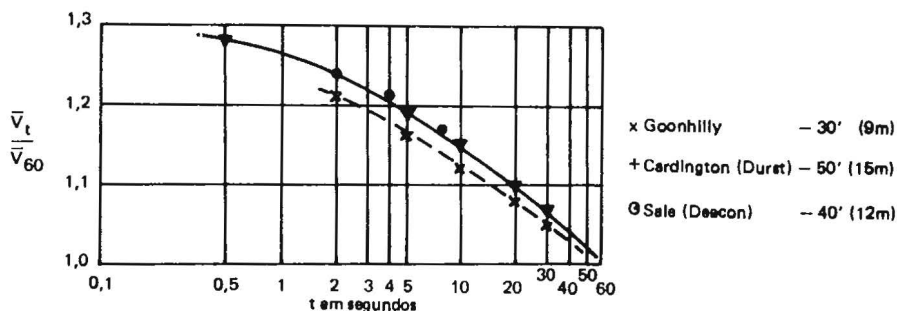


Fig. 7 – Relação entre velocidades médias máximas. Fonte: Shellard<sup>39</sup>

3.7 – Em Londres, as medidas foram feitas em uma construção em torre, a 140 pés (43m), 200 pés (61m) e 620 pés (189m) acima do solo. Shellard<sup>39</sup> concluiu da análise dos resultados que parece ser desprezável a variação da relação  $\bar{V}_{1min} / \bar{V}_t$  com as diversas velocidades médias.

A Tabela 7 e a Fig. 8 apresentam os resultados obtidos por Shellard.<sup>39</sup> Na Fig. 8 aparece ainda uma curva referente à situação em campo aberto, para comparação.

Tabela 7 – VALORES DE  $F = \bar{V}_t / \bar{V}_{1min}$  – LONDRES

Altura		t em segundos					
pés	metros	2	5	15	15	20	30
140	43	1,35	1,23	1,18	1,15	1,13	1,07
200	61	1,26	1,17	1,14	1,11	1,10	1,07
620	189	1,14	1,09	1,07	1,06	1,05	1,03

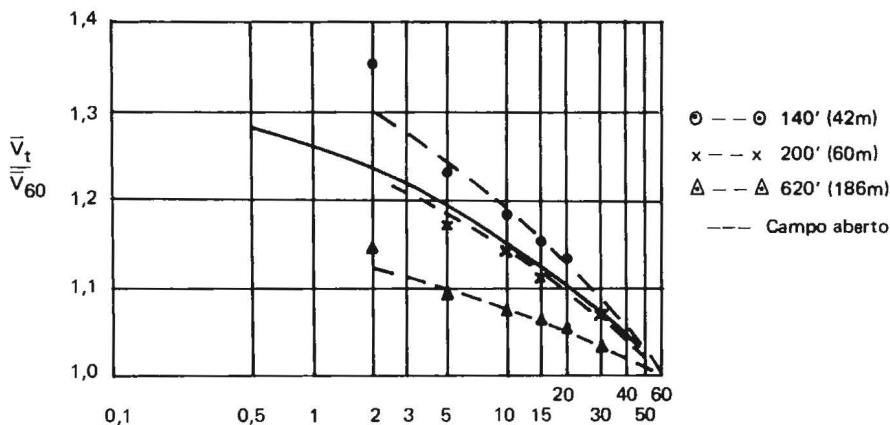


Fig. 8 – Relação entre velocidades médias em diversas alturas. Fonte: Shellard<sup>39</sup>

3.8 – As recomendações do Building Research Station<sup>6</sup> estão transcritas na Tabela 8.

Tabela 8 – VALORES DE  $\bar{V}_t / \bar{V}_{3s}$  – BUILDING RESEARCH STATION

Local	t em segundos		
	2-3	5	15
Campo aberto sem obstrução	1,00	0,95	0,90
Campo aberto com alguma obstrução	0,98	0,92	0,87
Campo com muita obstrução; pequenas cidades, subúrbios de grandes cidades	0,93	0,86	0,80
Superfícies com grandes e freqüentes obstruções; por exemplo: centros de grandes cidades	0,90	0,81	0,73

3.9 — Nos últimos anos diversos autores têm apresentado tabelas<sup>4,2, 4,3</sup> e gráficos<sup>8, 3,3, 4,3, 4,5</sup> que procuram sintetizar os diversos resultados experimentais, alguns dos quais apresentados acima. A Fig. 9 baseia-se nas curvas apresentadas em Bureau de Controle pour la Sécurité de la Construction,<sup>8</sup> Sachs<sup>3,3</sup> e Simiu.<sup>4,3</sup> Tomam para base a velocidade de uma rajada de dois segundos. Com seu emprego, fácil se torna determinar o fator de rajada entre dois períodos de tempo no intervalo 1-10.000 segundos. As três curvas correspondem aos três tipos de terrenos propostos por Davenport:<sup>1,7</sup>

*Terreno tipo A* — Terreno aberto com muito pouco obstáculo (campo aberto ou fazendas com poucas árvores, cercas vivas e outros obstáculos; pradarias, tundras, costas e ilhas baixas de lagos internos, desertos, etc.).

*Terreno tipo B* — Terreno uniformemente coberto com obstáculos de 10 a 15 metros de altura (subúrbios residenciais, cidades pequenas; matos e capoeiras; pequenos campos com bosques, árvores e cercas vivas).

*Terreno tipo C* — Terreno com obstáculos grandes e irregulares (centros de grandes cidades; zonas muito irregulares com muitos quebra-ventos de árvores altas).

Os valores entre parênteses nas curvas da Fig. 9 são os expoentes das leis potenciais dos perfis verticais de velocidades médias do vento para os respectivos tipos de terreno:

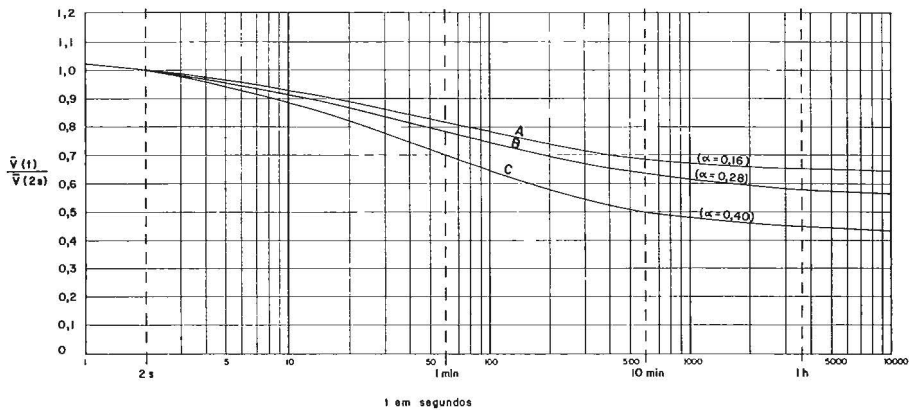


Fig. 9 — Valores do fator de rajada para os três terrenos típicos

- Terreno tipo A —  $\alpha = 0,16$
- Terreno tipo B —  $\alpha = 0,28$
- Terreno tipo C —  $\alpha = 0,40$ .



#### 4 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

a) O vento natural pode ser considerado como formado por duas componentes: uma velocidade média que varia lentamente e uma flutuação aleatória em torno desta média (rajadas). Do espectro de potência das rajadas conclui-se que estas duas componentes são separadas por um patamar de baixa energia, centrado em um período de cerca de meia hora.

A velocidade média, com variações suaves, é considerada constante para efeitos práticos. Conforme o conceito de Davenport, esta velocidade média, que origina um esforço permanente sobre a edificação (solicitação estática), constitui a velocidade de referência (velocidade básica).

b) O grande problema no estudo da velocidade básica é a fixação de um intervalo de tempo razoável para calcular a velocidade média. Davenport inicialmente aconselhava média sobre um minuto (*fastest minute*) ou milha mais veloz (*fastest mile*). Por exemplo, 120mph significa duas milhas por minuto para o minuto mais veloz, ou meio minuto por milha, para a milha mais veloz (mede-se o tempo para que o vento percorra uma milha).

Passou-se depois, com o estudo do espectro do vento, a recomendar valores entre cinco minutos e uma hora, principalmente entre *10 e 30 minutos*. A razão principal é que a média calculada neste intervalo conta melhor a *história* do vento e inclui a energia das rajadas. Além disso, permite incluir temporais curtos. O espectro de rajada permite prever a probabilidade de rajadas repetidas e seus efeitos na estrutura.

É sem dúvida o melhor processo quando quisermos estudar o comportamento dinâmico da estrutura, o que é necessário em estruturas muito flexíveis, de longo período de vibração (acima de dois segundos), tais como pontes de grandes vãos, edifícios excepcionalmente altos, reservatórios elevados sobre suportes flexíveis, postes esbeltos para iluminação, etc.

Entretanto, para a quase totalidade dos casos estamos mais interessados em determinar as forças estáticas do vento e a majoração destas forças pelo impacto de rajadas isoladas de curta duração. Para estes casos somos de opinião que é melhor o critério defendido por

Newberry: a velocidade básica mais recomendada é a da *rajada máxima* a 10m de altura. Desta se passa para as velocidades de cálculo por coeficientes apropriados, em função das dimensões da construção (fator de rajada). O erro será menor do que o oriundo de passar de uma velocidade sobre um período muito maior, e distante daquele que interessa ao cálculo. Além do que aqui também influiria a sensibilidade do anemômetro para se estabelecer o fator de passagem de 1h, ou 30min, etc., para os poucos segundos que interessam ao cálculo dos casos usuais. Naturalmente, será necessário conhecer a sensibilidade dos anemômetros, a fim de fazer a correção para um tempo padrão.

c) A velocidade máxima de rajada depende de seu tempo de duração,  $t$ . Quanto menor sua duração, maior sua velocidade. O *fator de rajada*  $F(t/T)$  é definido por:

$$F(t/T) = \bar{V}(t)/\bar{V}(T).$$

Para o gráfico da Fig. 9 teremos:

$$F(t/2s) = \bar{V}(t)/\bar{V}(2s).$$

Observe-se que estamos usando o termo *fator de rajada* em um sentido lato, podendo  $T$  ser menor do que  $t$ . Em geral  $T$  é o maior dos dois períodos de tempo. Por exemplo: dez minutos. uma hora, etc.

d) Para as edificações correntes os intervalos de tempo já estão especificados na norma brasileira NB-599.<sup>2</sup> Na fixação destes valores foram também consideradas medidas feitas em edificações reais,<sup>2 6, 2 7, 2 8</sup> que permitiram obter informações adicionais sobre as dimensões das rajadas incidentes nas edificações. Baseado parcialmente nestas informações, o Comitê que estudou a norma britânica de vento em construções decidiu usar a seguinte classificação (mesmo critério foi adotado na norma brasileira NB-599):

“Classe A — Rajada de três segundos será usada no projeto de todas unidades de revestimento, vidraças e cobertura, independente das dimensões e proporções da edificação, bem como no projeto estrutural de todas edificações em que a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20m.

Classe B — Rajada de cinco segundos será usada no projeto estrutural de todas edificações em que a maior dimensão horizontal ou vertical esteja compreendida entre 20 e 50m.

Classe C — Rajada de 15 segundos será usada no projeto estrutural de todas edificações em que a maior dimensão horizontal ou vertical exceda 50m.”

e) Em alguns casos de obras excepcionais será necessário verificar a possibilidade de turbilhões menores e de maior velocidade, atingindo a

edificação em vários pontos, causarem esforços maiores do que um único turbilhão que envolva toda a construção (correlação cruzada).

Também será necessário considerar características da edificação que originem pouca ou nenhuma continuidade estrutural ao longo da edificação. Nestes casos poderá ser preciso usar uma rajada Classe B, mesmo que a edificação tenha uma ou mais dimensões superiores a 50 metros. Exemplificando:

- edificações com juntas de dilatação que separem a estrutura em duas ou mais partes independentes;
- edificações com pouca rigidez na direção perpendicular ao vento, tais como pavilhões industriais para lingotamento contínuo e de laminação em usinas siderúrgicas, com comprimentos da ordem do quilômetro.

Para edificações com dimensões muito superiores a 50 metros pode ser de interesse um estudo específico para a determinação do intervalo de tempo para cálculo da velocidade característica do vento. O emprego dos coeficientes correspondentes à classe C (ver Fator  $S_2$  da NB-599) pode ser antieconômico.

f) A norma brasileira NB-599, "Forças devidas ao vento em edificações", toma para *velocidade básica* do vento,  $V_0$ , "a velocidade de uma rajada de três segundos excedida na média uma vez em 50 anos, a dez metros acima do terreno, em campo aberto e plano". Para o cálculo das pressões é necessário determinar a *velocidade característica* do vento, definida por  $V_k = V_0 S_1 S_2 S_3$ .

A velocidade básica é apresentada na forma de isopletas, com intervalos de 5m/s (reproduzida em Blessmann<sup>4</sup>).

g) *Fator  $S_1$*  — Fator topográfico, que "leva em consideração as grandes variações locais na superfície do terreno. A Tabela 9 dá os valores do fator topográfico para condições típicas. Os valores da Tabela 9 devem ser usados com precaução, uma vez que em certos casos os valores nela indicados podem estar acima ou abaixo dos reais. Poderão ser adotados valores menores, desde que devidamente justificados."

Tabela 9 – FATOR TOPOGRÁFICO  $S_1$

Topografia	$S_1$
a) Todos os casos, exceto os casos b e c abaixo	1,0
b) Encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento	1,1
c) Vales profundos, protegidos de todos os ventos	0,9



h) *Fator  $S_2$*  – Este fator “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 componente em consideração. Em ventos fortes a velocidade do vento usualmente aumenta com a altura acima do terreno. Este aumento depende da rugosidade do terreno e do intervalo de tempo considerado na determinação da velocidade. Este intervalo de tempo está relacionado com as dimensões da edificação, pois edificações pequenas e elementos de edificações são mais afetados por rajadas de curta duração do que grandes edificações. Para estas é mais adequado considerar o vento médio calculado em um intervalo de tempo maior”.

A NB-599 classifica a rugosidade do terreno em quatro categorias:

*Rugosidade 1* – Grandes zonas de terreno aberto, em nível ou aproximadamente em nível, sem obstruções. Exemplos: zonas costeiras planas, pântanos, campos de aviação, pradarias, charnecas, fazendas sem sebes ou muros.

*Rugosidade 2* – Terreno plano ou ondulado com obstruções, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores e edificações ocasionais. Exemplos: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos. A cota das obstruções é considerada a dois metros acima do terreno.

*Rugosidade 3* – Terrenos cobertos por numerosas e grandes obstruções. Exemplos: zonas de parques e bosques com muitas árvores, cidades pequenas e seus arredores, subúrbios de grandes cidades. A cota geral das obstruções e cumeeiras é considerada a dez metros acima do terreno. Esta categoria também inclui zonas com construções maiores que ainda não possam ser consideradas na categoria 4.

*Rugosidade 4* – Terrenos cobertos por numerosas e grandes obstruções com uma altura média de 25 metros ou mais. Exemplo: centro de grandes cidades nas quais as edificações são altas e não demasiadamente afastadas, com uma altura média das cumeeiras de 25 metros ou mais”.

No que se refere às dimensões da edificação, a NB-599 apresenta o seguinte:

“A velocidade do vento varia continuamente e seu valor médio pode ser calculado sobre qualquer intervalo de tempo. Foi verificado que o intervalo de tempo mais curto das medidas usuais, três segundos, corresponde a rajadas cujas dimensões envolvem obstáculos de até 20 metros na direção do vento médio. Quanto maior o intervalo de tempo usado no cálculo da velocidade média, tanto maior a distância abrangida pela rajada.

Por esta razão foram escolhidas as seguintes classes de edificações e

de seus elementos, com intervalos de tempo para cálculo da velocidade média, de, respectivamente, 3, 5 e 15 segundos:

*Classe A* — Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Todas edificações nas quais a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 metros.

*Classe B* — Todas edificações nas quais a maior dimensão horizontal ou vertical esteja entre 20 e 50 metros.

*Classe C* — Todas edificações nas quais a maior dimensão horizontal ou vertical exceda 50 metros.

Em obras de excepcional importância é recomendado um estudo específico para a determinação do intervalo de tempo para cálculo da velocidade média.”

Os valores de  $S_2$  para o cálculo da variação da velocidade do vento com altura acima do terreno, para as diversas categorias de rugosidade do terreno e classes de dimensões das edificações são dados na NB-599 em forma de tabela, até uma altura de 200 metros.

i) *Fator  $S_3$*  — “O fator estatístico  $S_3$  é baseado em conceitos estatísticos e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Segundo definição dada anteriormente, a velocidade básica  $V_0$  é a velocidade do vento que apresenta um período de recorrência médio de 50 anos. A probabilidade de que a velocidade  $V_0$  seja igualada ou excedida neste período é de 63%.

O nível de probabilidade (0,63) e a vida útil (50 anos) adotados são considerados adequados para edificações normais destinadas a moradias, hotéis, escritórios, etc. Para estas edificações o coeficiente  $S_3$  vale 1,00.”

A NB-599 apresenta duas tabelas para a determinação de  $S_3$  para outros tipos de edificações, níveis de probabilidade e períodos de exposição da edificação à ação do vento.



## BIBLIOGRAFIA

- 1 – AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Task Committee on Wind Forces, New York. Wind forces on structures, final report. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. New York, N.Y., 126:1124-98, Oct. 1961.
- 2 – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro, Norma Brasileira NB-599. *Forças Devidas ao Vento em Edificações*. Rio de Janeiro.
- 3 – BLESSMANN, J. *Efeitos do Vento em Construções Cívicas*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Setor de Biblioteca e Documentação, 1964. Tese apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciência.
- 4 – ———. *Efeitos do Vento em Edificações*. Porto Alegre. Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1978 (SEE 7).
- 5 – ———. Estudo aerodinâmico da cúpula do Hotel Tropical de Manaus. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 14, Buenos Aires, 1970. *Anais*. Buenos Aires, 1970, v.2, p.273-304.
- 6 – BUILDING RESEARCH STATION, Garston. *Wind loading on buildings-1*. Garston, 1968. (Digest, 99).
- 7 – ———. *Wind loading on buildings – 3*. Garston, 1969. (Digest, 105).
- 8 – BUREAU DE CONTROLE POUR LA SÉCURITÉ DE LA CONSTRUCTION, Bruxelles, Étude de synthèse préparatoire à la revision des normes belges. NBN 460, 01, 02 et 03. *L'action du Vent sur les Constructions*, 1973.
- 9 – COHEN, E. & PERRIN, H. Design of multi-level guyed towers: wind loading. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers; Journal of Structural Division*. New York, N.Y., 83 (ST5):1-29, Sept. 1957.
- 10 – CREASY, L.C.; ADAMS, H.C.; LAMPITT, N. Museum Radio Tower; London. *Proceeding of the Institution of Civil Engineers*. London, 30:33-78, Jan. 1965.
- 11 – DAVENPORT, A.G. The buffeting of large superficial structures by atmospheric turbulence. *Annals of the New York Academy of Sciences*, New York, N.Y., 116:135-59, June 1964.
- 12 – ———. The dependence of wind loads on meteorological parameters. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.1., p.19-82.
- 13 – ———. *Discussion of paper 2*. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR; WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967 *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.2, p.389-91. Réplica de Davenport a Newberry.
- 14 – ———. Gust loading factors. *Proceeding of the American Society of Civil Engineers; Journal of Structural Division*, New York, N.Y., 93(ST3):passim, June 1967.
- 15 – ———. Rationale for determining design wind velocities. *Proceedings of American Society of Civil Engineers; Journal of Structural Division*. New York, N.Y., 86(ST5):39-67, May 1960.
- 16 – ———. The relationship of wind structure to wind loading. In: NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, Symposium, 15, Teddington, 1963. *Proceedings*. London, Her Majesty's Stationery Office, 1965. p.54-102.


- 17 — \_\_\_\_\_ *Wind loads on structures*. Ottawa, National Research Council of Canada, 1960. (Technical Paper of the Division of Building Research, 88).
- 18 — ESQUILLAN, N. Impressions et souhaits. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.2, p.353-5.
- 19 — FERRINGTON, H. Wind loads on buildings. *The Structural Engineers*, London, Dec. 1943/Jan. 1944.
- 20 — GHASWALA, S.K. Aerodynamics aspects of civil engineering. *Civil Engineering and Public Works Review*, London, 45(532):647, Oct. 1950.
- 21 — HARRIS, R.I. The nature of the wind. In: THE MODERN DESIGN OF WIND SENSITIVE STRUCTURES, London, Construction Industry Research and Information Association, 1970. Paper 3, p.30.
- 22 — JONES, M.E. *Wind turbulence and buildings: a literature review*. Garston, Building Research Station, 1968. (Current Paper, 85/68).
- 23 — NEWBERRY, C.W. Discussion of paper 2. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.1, p.19-82.
- 24 — \_\_\_\_\_ Significant features of wind loading in relation to the design of structures. Garston, Building Research Station, 1969. (Current Paper, CP 49/69).
- 25 — 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, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.1, p.399-428.
- 26 — \_\_\_\_\_ *Wind pressures on the Post Office Tower, London*. Garston, Building Research Station, 1971. (Current Paper, CP 37/71).
- 27 — \_\_\_\_\_ *Wind loading on tall buildings-further results from Royex House*. Garston, Building Research Station, 1973 (Current Paper CP 29/73).
- 28 — \_\_\_\_\_ *Wind pressure and strain measurements at the Post Office Tower*. Garston, Building Research Station, 1973 (Current Paper CP 30/73).
- 29 — NEWBERRY, C.W., EATON, K.J., MAYNE, J.R. Wind pressures on the Post Office Tower, London. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES. Tokyo, 1971. Paper II.7, p.241-51.
- 30 — PADARATZ, I. J. *Velocidade Básica do Vento no Brasil*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese M. Sc., maio 1977.
- 31 — RIERA, J.D. & REIMUNDIN, J.C. Velocidad del viento para el diseño de estructuras en la Republica Argentina; recomendaciones preliminares. Trabajo presentado no Simpósio Sobre Acciones en Estructuras. San Miguel de Tucumán, jul. 1970. (Publicación, IV, 4).
- 32 — RIJKOORT, P.J. & WIERINGA, J. Tower projects for meteorological boundary layer research in the Netherlands. In: CONFERENCE ON TOWER SHAPED STRUCTURES, Hague, 1969. *Proceedings*. Hague, 1969. p.21-3.
- 33 — SACHS, P. *Wind forces in engineering*. Braunschweig, Pergamon Press, 1972.
- 34 — SCRUTON, C. Wind effects on buildings and structures. *The Engineer*, London, 216(5606):14-6, July 1963.
- 35 — SCRUTON, C. & GIMPEL, G. *Memorandum on wind structure with reference to the wind pressure clauses of B. S Code of practice CP-3*. Teddington, National Physical Laboratory, 1958. (NPL/Aero/361).
- 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 – SFINTESCO, D. & WYATT, T.A. A proposed European code of practice: current work of the ECCS towards specification of the effect of wind on structures. In: FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Heathrow, 1975. p.643-54.
- 38 – SHELLARD, H.C. The estimation of design wind speeds. In: NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, Symposium, 16, Teddington, 1963. *Proceedings*. London, Her Majesty's Stationery Office, 1965. p.29-51.
- 39 – \_\_\_\_\_ Results of some recent special measurements in the United Kingdom relevant to wind loading problems. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*, Ottawa, 1967. v.1, p.515-33.
- 40 – SHERLOCK, R.H. Gust factors for the design of buildings. *Memoires: Association Internationale de Ponts et Charpentes*, Zurich, 8:207-36, 1947.
- 41 – SHIOTANI, M. & IWATANI, Y. Correlations of wind velocities in relation to the gust loadings. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Tokyo, 1971. Paper I.6, p.57-68.
- 42 – SIMIU, E. Equivalent static wind loads for tall buildings design. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, 4, Heathrow, 1975, p.721-33.
- 43 – \_\_\_\_\_ Estimation of extreme wind speeds -- Application to the Philippines. In: *Building to resist the effect of wind*, 1977, v.2, p.1-12 (NBS Building Science Series 100).
- 44 – SIMIU, E. & LOZIER, D.W. *The buffeting of tall structures by strong winds*. Washington, National Bureau of Standards, 1975 (Building Science Series 74).
- 45 – VELLOZZI, J. & COHEN, E. *Dynamic response of tall flexible structures to wind loading*. Washington, National Bureau of Standards, 1970 (Building Science Series 30).
- 46 – VICKERY, B.J. Discussion of paper 15. In: INTERNATIONAL RESEARCH SEMINAR: WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES, Ottawa, 1967. *Proceedings*. Ottawa, 1967. v.2, p.413-8.
- 47 – VIEIRA FILHO, J.M.S. *Velocidades máximas do vento no Brasil*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS. Tese M. Sc., set. 1975.







Composto e Impresso pela  
 Editora Meridional EMMA  
Santana, 931 – Porto Alegre – RS  
para a Editora da URGs em junho de 1979.

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 URGs, Rua Jacinto Gomes, 540, 5.º andar  
90.000 – Porto Alegre – RS

ISBN 85-7025-011-8 obra completa

ISBN 85-7025-012-6 volume 3;