

# O VENTO, A CIDADE E O CONFORTO

Jorge A. Gil Saraiva, Dr. - Fernando V. Marques da Silva, MSc - Francisco A. Gonçalves da Silva\*, MSc, bolsista CAPES - Brasília/Brasil.

Núcleo de Dinâmica Aplicada do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Av. do Brasil, 1799 Lisboa Codex, Portugal

Tel 351 1 848 2131, Fax 351 1 846 3457

Departamento de Arquitetura do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba\*

Cidade Universitária, 50859-900 João Pessoa, Paraíba.

Fax 55 83 216 7179

## RESUMO

Utilizando-se de dados de medições horárias de velocidades e direções de vento registrados pelo Instituto Meteorológico no aeroporto de Lisboa, de modelos numéricos de CLA, de mapas de orografia e de rugosidade típicas da cidade e de ensaios em túnel aerodinâmico sobre modelos, através da técnica de figuras de erosão, este artigo demonstra uma possibilidade de abordagem da questão sobre aspectos básicos do escoamento atmosférico em centros urbanos e soluções urbanísticas projetadas.

## ABSTRACT

The paper summarises a possible approach on the analysis of wind conditions inside urban spaces, either built or under design development, namely in what concerns safety and comfort of people. The procedure demands raw wind data from a nearby meteorological station, the construction of orographic and roughness maps, the adoption of software to estimate boundary layer characteristics and tests over physical models in a wind tunnel based on the erosion technique to assess ground level winds. An application to Lisbon, namely to the EXPO'98 area is presented.

## INTRODUÇÃO

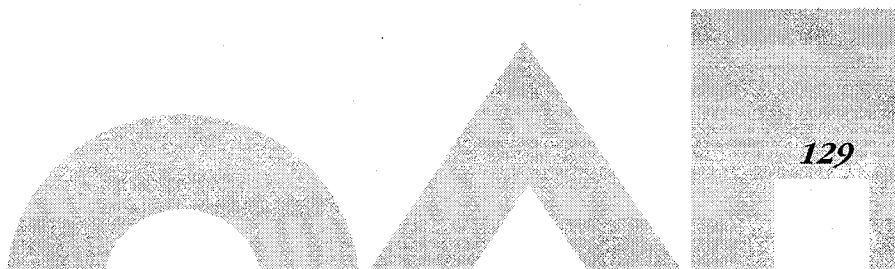
Já não cabe ignorar os efeitos dos fatores ambientais sobre as estruturas de cidades, sobre uma única edificação ou mesmo sobre um grupo delas, impostos pela situação geográfica de sua implantação, dado que cada localização geográfica implica em diferentes fatores que influenciarão no desenho proposto sendo, portanto, necessário considerar-se as condições climáticas existentes e delas tirar partido convenientemente, assim como os efeitos do desenvolvimento da paisagem na ventilação natural dos edifícios e de suas áreas adjacentes.

Como parte integrante desse fatores, o vento, por um lado com seus efeitos mecânicos, algumas vezes desastrosos (critério de segurança) e, por outro, com sua capacidade de acumular, misturar e transportar matérias estranhas (critérios de qualidade), exerce papel importante nas decisões de projeto que incluem desde o planejamento regional até o de uma aparentemente simples célula habitacional.

Assim sendo, seja do ponto de vista do seu aproveitamento na geração ou na economia de energia, através da ventilação natural visando o conforto térmico, seja do ponto de vista do conforto e integridade física das pessoas que se utilizem de espaços construídos, abertos ao vento ou dele abrigados, impõe-se, a cada dia, mais clara a exigência de sua consideração no que respeita à interação entre o vento e o desenvolvimento de quaisquer tarefas humanas.

Não fugindo à essa imposição de interpretação e conseqüente utilização dos fatores ambientais que agem sobre as estruturas, a intervenção da Expo'98, a ter lugar às margens do Tejo na cidade de Lisboa, conduziu, dadas as condições específicas climáticas do sítio onde se insere, principalmente no que se refere ao regime de ventos, a estudos específicos dos efeitos mecânicos relacionados ao conforto e à segurança dos pedes do referido parque de exposição.

Considerando-se o grande número e multiplicidade de formas das edificações contidas pela área da Expo'98, ao tempo em que a assimetria do escoamento local (o vento Norte, predominante, não incide perpendicularmente às fachadas dos edifícios) adotou-se um modelo reduzido representativo da totalidade das estruturas, submetendo-o à ação do vento num túnel aerodinâmico e caracterizando-se o campo de velocidades local a partir da técnica das figuras de erosão (de areia).



## METODOLOGIA

De posse de cartas plani-altimétrica e de uso do solo da cidade construíram-se os mapas de orografia e rugosidade, respectivamente. Para o de orografia consideraram-se curvas de nível de 5 metros e, para o de rugosidade foram consideradas cinco categorias de rugosidade (expressos em metros): água = 0; ausência de construções e de árvores = 0,1; locais aerados, jardins/parques pouco densos = 0,4; subúrbios, jardins/parques densos = 0,6; cidade = 1, esta na realidade variando de 0,8 a 1, enquanto que para a área do aeroporto considerou-se o valor de 0,01. A seguir, tratados os dados de direções e de velocidades do vento colhidos no aeroporto local, fez-se sua transposição para a área da Expo'98 visando o conhecimento do comportamento do vento em termos de velocidades, direções e freqüências na área da exposição, consideradas a orografia e a rugosidade.

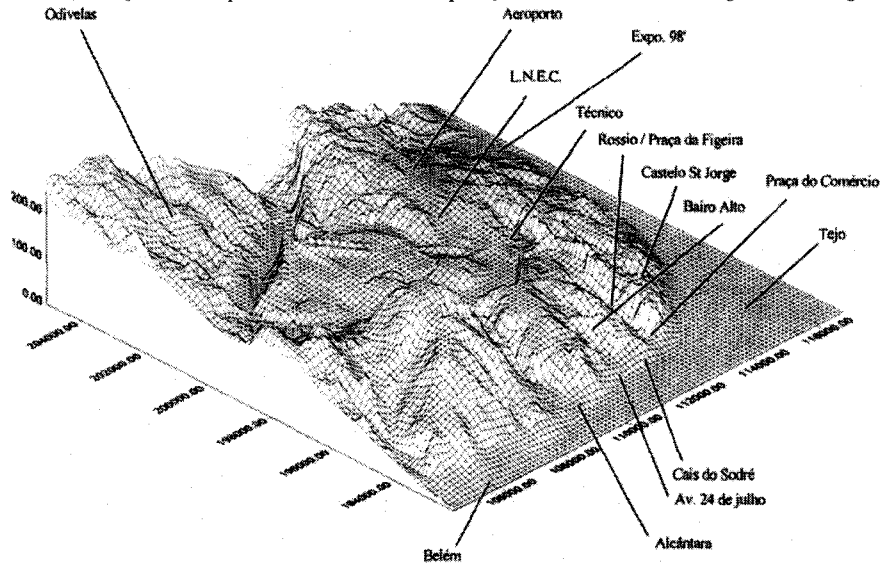


Figura 1. Orografia da cidade de Lisboa

Uma vez caracterizado o padrão de ventilação na área da Expo'98, foram efetuados ensaios sobre uma maquete da área da Expo'98, na escala de 1: 2000, na qual toda a área não construída em estudo era constituída de uma placa de cortiça, e os edifícios, que não foram estudados, implantados nas suas posições respeitando a sua volumetria básica. Para a realização dos ensaios, munuiu-se o túnel de um tubo de Pitot-Prandtl, no início da zona de experimentos e fora da camada limite. Um outro foi instalado num coordenômetro permitindo, com rigor, determinar os perfis de velocidades médias em vários pontos do modelo. Fez-se ainda necessário confirmar se nas zonas não edificadas a forma do perfil de velocidades, na camada limite, se mantinha constante ao longo da maquete. Mediram-se dois perfis de velocidade sobre a placa de cortiça instalada ao longo da área correspondente à do rio, a duas distâncias do bordo de ataque da maquete. De acordo com a distribuição dos ventos na região, a maquete foi orientada de modo a que fosse, sobre ela, simulada a incidência do vento Norte.



Figura 2. Planta parcial da cidade e Rosas dos Ventos (Aeroporto e EXPO'98)

Considerando-se que a aproximação de Norte, ao longo do rio, dá origem a um escoamento quase uniforme e muito pouco turbulento, com camada limite típica de placa lisa, não foi utilizado qualquer processo de geração de camada limite recorrendo a elementos de rugosidade. A técnica adotada foi a de erosão de areia. Esta, tem seu embasamento fundamentado no fato físico da existência de uma velocidade  $U_i$  para a qual a areia espalhada uniformemente sobre o terreno não edificado começa a ser arrastada, dependendo, evidentemente, o valor dessa velocidade, da rugosidade do terreno e da granulometria da areia utilizadas. A adoção da técnica permitiu serem traçadas, para toda a área estudada, as isolinhas de módulo de velocidade adimensionalizada conseguindo-se, deste modo, avaliar as áreas críticas e as abrigadas.

Os critérios de conforto e segurança utilizados, assentam nas velocidades médias em dez minutos a dois metros do solo:  $U > 5$  m/s, início do desconforto;  $U > 10$  m/s, nitidamente desconfortável;  $U > 16$  m/s, perigoso. Note-se que a ocorrência de rajadas de vento é, entretanto, tão importante, senão mais do que a velocidade média. Critérios mais recentes baseiam-se na velocidade efetiva:

$$U_e = U(1 + k \sigma/U) \quad (1)$$

que combina, simultaneamente, o efeito das velocidades médias e das rajadas, sendo  $s$  é o desvio-padrão das flutuações do vento ( $\sigma = \sqrt{u^2}$ ). Na equação (1),  $k$  é um valor constante que caracteriza a importância das flutuações. A maioria dos autores aponta para  $k = 3$ , o que significa que é o valor médio dos máximos das rajadas que controla as condições de conforto e segurança, não se recorrendo a uma caracterização em termos de valores de extremos,  $k = 3,5$ , chega-se, deste modo, ao critério para velocidade efetiva, aqui utilizado:  $U_e > 6$  m/s, limite de conforto;  $U_e > 9$  m/s, desempenho afetado;  $U_e > 15$  m/s, caminhar afetado;  $U_e > 20$  m/s, perigoso para pessoas mais frágeis. Os critérios de conforto e segurança têm que ter em conta as frequências máximas de ocorrência dos vários graus de desconforto anteriormente descritos. Um critério simples, baseado em experiências feitas com peões sugere que, se as velocidades médias a 2m de altura superiores a 5m/s ocorrerem menos de 10% do tempo, não haverá queixas por parte dos peões. Caso essas ocorram entre 10% a 20% das vezes, poderá haver problemas e, se a frequência de ocorrência for superior a 20%, aconselha-se a que sejam tomadas medidas para reduzir as velocidades do vento. É difícil pensar numa aplicação dos critérios até aqui expostos, sem exigir a realização de, pelo menos, um ensaio com equipamento apropriado, num túnel aerodinâmico.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foram medidos cinco perfis de velocidade, aqui não apresentados, 3 dos quais com os edifícios perpendiculares ao escoamento: dois ao longo do rio, sobre a placa de cortiça e, um atrás do pavilhão Multiusos. Como se pôde verificar, os dois primeiros resultaram idênticos, confirmando a preservação e uniformidade do escoamento ao longo do rio; o terceiro perfil resultou menos cheio, denotando a influência do pavilhão no escoamento. Os outros dois perfis foram medidos na zona a montante do escoamento, antes da região urbanizada e atrás do pavilhão Multiusos apresentando andamento idêntico aos anteriores, com ligeiras diferenças resultantes da alteração da direção do vento.

Com referência aos mapas de isolinhas, estes foram obtidos para duas granulometrias de areia, 35 e 50 (definidas pelas malhas das peneiras da série ASTM que as retém), verificando-se que a velocidade do túnel  $U_0$ , para a qual se deu o arrasto inicial da areia nas zonas não edificadas, era aproximadamente igual nos dois ensaios.

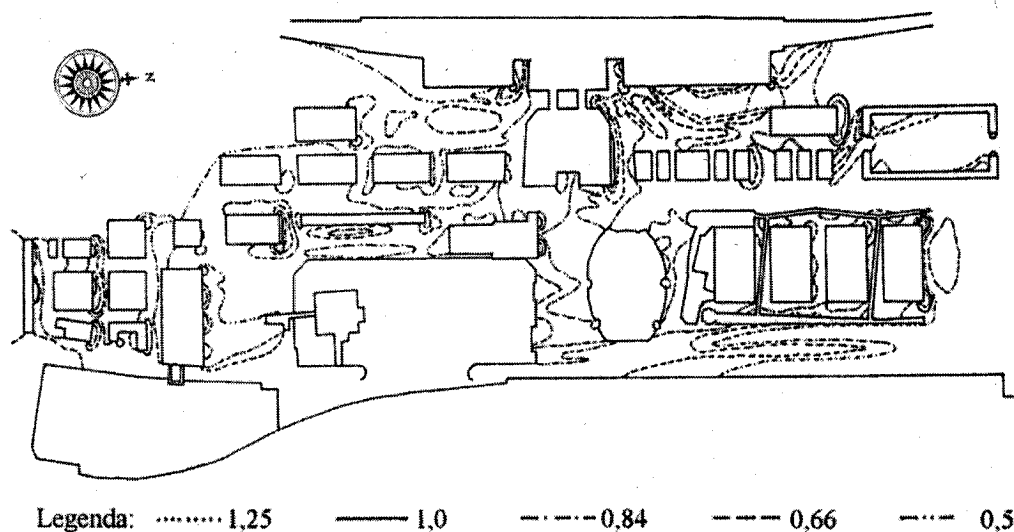


Figura 3. Isolinhas de velocidade a nível do chão

À primeira vista, os ensaios para cada granulometria deram resultados diferentes. Mesmo para a mesma granulometria em ensaios diferentes as isolinhas não foram coincidentes e a sua sobreposição apresentou interseções de linhas, o que fisicamente é impossível. A explicação reside no fato de tudo isto constituir um processo, no qual se pretende descrever as características médias podendo, contudo, o caráter aleatório dos escoamentos fazer surgir valores fora dessas mesmas médias. Diversos fatores aí intervêm: o arrasto de um determinado grão de areia, num ponto da maquete, pode ocorrer, não por a velocidade média haver atingido a velocidade de arrasto, mas sim, por uma determinada rajada, ao passar, assumir o valor dessa mesma velocidade. Note-se que pelo simples conhecimento dos mecanismos de atrito sabe-se que, tão logo o grão inicie o movimento fica sujeito ao atrito dinâmico, inferior ao estático e, assim, mesmo que no instante seguinte o vento desça abaixo da velocidade de arrasto, o grão em movimento pode continuar a ser arrastado; por algum dos motivos anteriores podem ocorrer concentrações de areia em determinadas zonas que, no ensaio seguinte em que o túnel correndo com uma velocidade superior, bloqueiam o arrasto. Contudo, uma cuidadosa sobreposição dos mapas obtidos sucessivamente para as mesmas medições e escoamentos permitirá ao observador atento, determinar facilmente um padrão de andamento representativo da física do processo pondo de lado determinadas formações e caprichos imputáveis às limitações do processo, referidas anteriormente. A fim de que se tornasse possível fazer um estudo dos resultados, considerando-se o esboço final de isolinhas de velocidade, calculou-se para cada zona característica, o valor de velocidade efetiva, na qual figuravam as contribuições da velocidade média e de turbulência. Este segundo termo sendo calculado a partir da intensidade de turbulência, que neste caso é pequena, já que a camada limite se formava por cima do rio, tendo-se  $I @ 0,05$ . O valor de  $I$  é determinado a partir das características do perfil de velocidade média, nomeadamente no caso de sua representação na forma de lei de potência, a partir do expoente  $a$  (0,10) e do coeficiente de atrito  $C_f$  (0,002) pela expressão:

$$I = 1,039 \sqrt{C_{f,10}} (h/10)^{-a}$$

Sabendo-se que o vento geostrófico mantém-se inalterável e, atendendo aos dados disponíveis, foi possível estimar a velocidade  $U$  pretendida, como função dos valores existentes disponíveis. Para os ventos da direção Norte foram obtidos os resultados sumarizados a seguir:

**Tabela 1. Velocidades de vento,  $U$**

U Portela - 10m	U Expo' - 2m	U efect. - 2m
0,515 - 3,089	0,892 - 5,353	1,025 - 6,153
3,603 - 5,148	6,244 - 8,921	7,177 - 10, 254
5,663 - 10,81	9,804 - 18,734	11,28 - 21,533
11,325 - 11,84	19,626 - 20,519	22,558 - 23, 585

Considerando o critério de conforto anteriormente apresentado, analisaram-se as zonas correspondentes aos vários valores assumidos pelas isolinhas de velocidade a nível do solo.

**Tabela 2. Análise dos critérios de conforto versus velocidade média do vento e frequência.**

Isolinha de 0,84			
Valores em m/s			
% de ocorrência anual	Mínimo	Máximo	% total de velocidades > 5m/s
4,00	0,75	4,50	
6,00	5,24	7,49	12,00
5,50	8,24	15,74	
0,50	16,49	17,24	

Tendo em conta que a percentagem de ocorrência é superior a 10% para as zonas com isolinhas de valores 1,25, 1 e 0,84, é provável que venham a existir queixas por parte dos peões, aconselhando-se, nessas zonas, a tomada de medidas para minimizar tais efeitos, como o plantio de árvores que possam proteger o local.

As zonas com isolinhas de 0,66 e 0,5 aparentemente, não apresentam problemas, pois a frequência de ocorrência de velocidades superiores a 5m/s é inferior a 10%.

Da análise dos critérios de conforto e segurança relacionados com a velocidade efetiva pode-se concluir que, as zonas contidas pelas isolinhas com valores de 1,25 e 1 são críticas no que respeita aos efeitos do vento sobre o peão, sobretudo porque se estima que pelo menos em 0,5% (43,8 horas/ano) do tempo possam existir velocidades efetivas superiores a 20 m/s. Rajadas súbitas que ocorram nesses locais, poderão ser perigosas para pessoas mais frágeis ou que não estejam prevenidas, aconselhando-se, mais uma vez, medidas preventivas. Os locais com isolinhas de 0,86, não são tão problemáticos como os anteriores, contudo devendo-se evitá-los como zonas de grande acesso público.

Como foi possível verificar, os locais com isolinhas com valores 0,66 e 0,5, como já mencionado, não representam qualquer problema para o acesso público. Em zonas com isolinhas de valores diferenciados muito próximas entre si, verificou-se a existência de gradientes de velocidades muito extensos. Nessas, com uma variação de velocidade rápida num pequeno intervalo de tempo, poderão formar-se correntes de ar, que não contribuem para o conforto dos peões que eventualmente transitem nessas áreas. Tais situações são desagradáveis para os que por ali passem, notadamente pelo levantar de lixos e de poeira, desarranjo de cabelos e de roupas e, eventualmente perigosas, podendo provocar tombos em pessoas menos avisadas.

## CONCLUSÕES

Tenha-se em conta que os cálculos foram efetuados para uma única direção do vento, justamente a que detém as mais altas velocidades, conseqüentemente a mais favorável para se observar os efeitos do vento no que se refere aos níveis de conforto e segurança à sua exposição, o que permitiu que ao espaço destinado à Expo'98 fossem garantidas condições de comodidade e de segurança dos peões permitindo-se -lhes a passagem através do parque tão segura quanto agradável.

Nos pontos críticos, especificamente relativos aos de isolinhas de valor 1,25 e 1, nos quais as velocidades do vento poderão atingir valores além dos admissíveis e com frequência relativamente alta, os efeitos do vento deverão aí serem atenuados lançando-se mão do plantio de árvores, implantação de jardins ou quaisquer outras soluções construtivas.

Apesar da detecção de áreas onde a deposição de areia sugere problemas de acúmulo de lixo e concentração de outros poluentes transportados pelo vento, ocasionando eventuais situações perigosas, este trabalho não contemplou qualquer investigação neste sentido, assim como o passeio em torno do pavilhão Multiusos não foi possível ser analisado de modo concludente, uma vez que os diferentes materiais usados na confecção da maquete não o permitiram nem a sua geometria de embasamento foi representada de forma detalhada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLANPAIN, R. P. *L'exposition de Lisbonne et le Vent: Problème de transposition banlieu/centre ville, confort humain*. Université de La Rochelle, 1995.
- SARAMAGO, N. e SARAMAGO, S. *Expo'98- Estudo aerodinâmico em túnel de vento*. IST, Lisboa, 1995.
- SARAIVA, J. A. G. e BORGES, A. R. J. *An erosion technique for assessing ground level winds*, 5th Internacional Conference on Wind Engineering, CSU, Fort Collins, Colorado, 1979 (MF; I&D; E)
- SARAIVA, J. A. G. *Acção do Vento e Nível de Conforto em Espaços Urbanos*. LNEC, Lisboa, 1994.
- Wind Atlas Analysis and Application Program*. Riso National Laboratory, 1995.

