

CALIBRAÇÃO DO TÚNEL DE VENTO DE CAMADA LIMITE ATMOSFÉRICA E PROPOSIÇÃO DE UMA NOVA METODOLOGIA SIMPLIFICADA DE CÁLCULO PARA A VENTILAÇÃO NATURAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Edson Matsumoto (1), Lucila C. Labaki (2), Rosana Caram (3), Renata M. de Camargo (4)

(1) Dr, Pós-Doutorando do Departamento de Arquitetura e Construção, Unicamp, matsumo@fec.unicamp.br

(2) Dra, Professora do Departamento de Arquitetura e Construção, lucila@fec.unicamp.br

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo,
Unicamp, Cx. Postal 6021, Campinas, SP, 13083-852

(3) Dra, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, rcaram@sc.usp.br

EESC, USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos, SP, 13566-590

(4) Eng. Civil, Mestranda do Departamento de Arquitetura e Construção, Unicamp, engtecn@uol.com.br

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do comportamento do ar na edificação e no seu entorno é imprescindível para estabelecer o balanço térmico da edificação, que também interfere no nível de conforto térmico e na qualidade do ar interno (ATHIENITIS; SANTAMOURIS, 1998 e CUNHA et al., 2001).

O desempenho térmico depende da vazão de ar que atravessa a edificação (AWBI, 2003; BITTENCOURT; CANDIDO, 2006; BOUTET, 1991), vazão esta que pode ser calculada utilizando a dinâmica de fluidos computacional (CFD, *Computational Fluid Dynamics*) ou utilizando modelos simplificados. Os CFD's são baseados na solução das equações diferenciais de Navier-Stokes, combinadas com modelos de turbulência (ATHIENITIS; SANTAMOURIS, 1998; STRAW et al., 2000 e YI JIANG, 2002). Estas ferramentas determinam, não somente a vazão de ar, mas também, o campo de velocidade e temperatura em toda uma região.

Na literatura, os diversos métodos simplificados existentes para o cálculo da ventilação natural em edificações utilizam, cada um deles, algumas das seguintes variáveis: dimensões das aberturas, localização, velocidade do vento incidente, coeficientes de pressão interna e externa, temperaturas, coeficientes determinados empiricamente, etc.

Os modelos simplificados existentes são baseados na equação da conservação de massa, combinados com alguns parâmetros obtidos experimentalmente e simulam a vazão de ar através da edificação, mas fornecem pouca ou nenhuma informação a respeito do campo de velocidade no espaço interno (ALLARD, 1998), fator importante para o conforto térmico.

O túnel de vento de camada limite atmosférica, que foi montado no Laboratório de Conforto Ambiental da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, tornará possível o estudo do comportamento do vento na escala urbana e do edifício, neste laboratório (Fig.1).



Figura 1 – Foto tirada durante a montagem do túnel de vento de camada limite atmosférica, no Laboratório de Conforto Ambiental, da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp.

2. OBJETIVO

O objetivo deste projeto é realizar o processo de calibração do túnel de vento de camada limite atmosférica que compreende na instalação dos equipamentos de medição da velocidade e pressão na seção de ensaio, construção e instalação de geradores de turbulência para simular o perfil de velocidades da camada limite atmosférica; e, também, propor uma nova metodologia simplificada de cálculo para a ventilação natural do ambiente construído, com subsídios obtidos dos ensaios de modelos reduzidos de edificações no túnel de vento.

3. METODOLOGIA

Nos ensaios no túnel de vento serão medidos os parâmetros que mostram as qualidades do escoamento e da simulação da camada limite atmosférica. Para isto, serão obtidas as velocidades em diversos pontos na seção transversal da seção de ensaio, a variação temporal da velocidade e o perfil de velocidades. Para estabelecer uma nova metodologia simplificada para cálculo da ventilação natural, nos ensaios dos modelos reduzidos devem ser obtidas as pressões nas suas superfícies interna e externa, assim como as velocidades em pontos internos e externos.

A velocidade do vento na seção de ensaio do túnel, antes de atingir os modelos reduzidos, será determinada utilizando o anemômetro de fio quente ou o tubo de pitot instalado na parede do túnel de vento e conectado ao micromanômetro. A uniformidade do escoamento médio no tempo, na seção de ensaio, será avaliada medindo-se a velocidade com o tubo de pitot e/ou anemômetro de fio quente em vários pontos, ao longo da largura e da altura da seção de ensaio, como mostra o exemplo da Fig.2 (CARRIL JR, 1995).

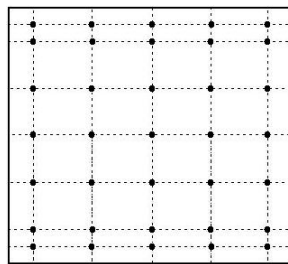


Figura 2 – Exemplo de malha de distribuição dos pontos de medida da velocidade na área transversal da seção de ensaio do túnel de vento (CARRIL JR, 1995).

Um gráfico típico da distribuição tridimensional das velocidades na seção de ensaio tem as características mostradas na Fig.3 (CARRIL JR, 1995).

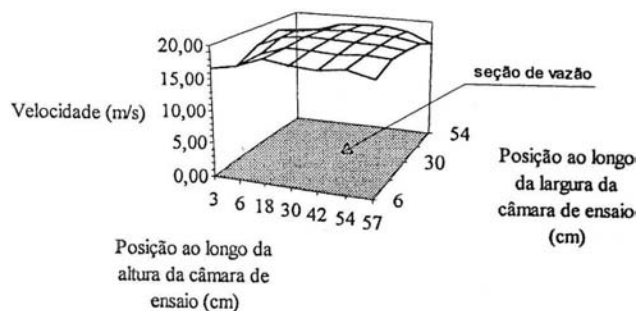


Figura 3 – Velocidades na malha transversal da seção de ensaio em função da sua largura e da sua altura (CARRIL JR, 1995).

A turbulência será analisada estatisticamente através dos dados da variação temporal da velocidade como um somatório entre a parcela invariável no tempo (média) e a flutuação de seu valor instantâneo em torno do valor. A intensidade de turbulência será o parâmetro utilizado para descrever a turbulência na seção de ensaio do túnel de vento. A Fig.4 mostra a variação da intensidade de turbulência com a altura, para três categorias de terreno (BLESSMANN, 1995).

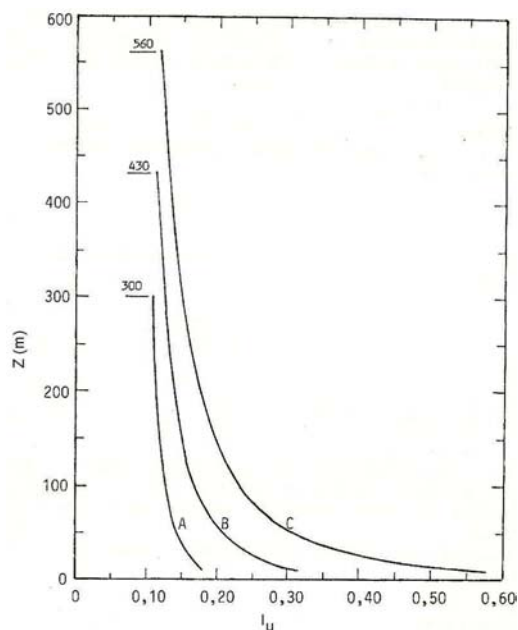


Figura 4 – Intensidade local da turbulência longitudinal I_u para três terrenos típicos, conforme Davenport (BLESSMANN, 1995):

- A – Terreno aberto com poucos obstáculos.
- B – Terreno uniformemente coberto com obstáculos de 10 a 15 m de altura.
- C – Terreno com obstáculos grandes e irregulares.

Para se quantificar as variáveis importantes no cálculo da ventilação natural, diversos modelos reduzidos, com diferentes configurações de aberturas e tipos de edificações, serão ensaiados no túnel de vento. Serão simulados ventos com velocidades variando desde o valor mínimo possível para este túnel de vento, que somente será determinado após os ensaios de calibração, até 10 m/s e com ângulos de incidência na edificação de 0° , 30° , 45° e 60° , medidos em relação à reta normal à superfície frontal (LAWSON, 1980 e LIVERMORE; WOODS, 2007). Parâmetros como velocidade, pressão, coeficientes de pressão, externos e internos, serão determinados.

A velocidade e direção do vento dentro do modelo de edificação serão determinadas em vários locais, com a utilização do anemômetro de fio quente, para cada uma das velocidades ensaiadas no túnel.

A distribuição de pressão nas superfícies da edificação será quantificada com um transdutor de pressão que realiza a medida de pressão simultaneamente em diversos pontos. Os locais nas faces da edificação, onde se deseja medir a pressão, serão perfurados e instalados finos tubos plásticos com diâmetro interno de 1 mm e cada tubo conectado a um tubo numerado do transdutor de pressão. O transdutor é conectado a uma placa de aquisição de dados instalada em um computador e, desta maneira, a pressão em cada ponto nas faces pode ser obtida. A Fig.5a mostra um exemplo de instalação interna dos tubos plásticos e a Fig.5b, as conexões com o transdutor de pressão (MATSUMOTO, 2006).



(a)



(b)

Figura 5 – (a) Exemplo de instalação interna dos tubos plásticos, para medição de pressão, nas faces de uma edificação; (b) Vista superior mostrando as conexões dos tubos plásticos com o transdutor de pressão (MATSUMOTO, 2006).

4. RESULTADOS ESPERADOS

Os ensaios dos modelos reduzidos no túnel de vento gerarão muitos dados para as diversas grandezas físicas envolvidas no cálculo de ventilação. Para que estes dados tenham utilidade prática, deverão ser validados através da comparação com resultados das metodologias simplificadas.

Após a verificação da coerência dos resultados dos ensaios, uma correlação matemática entre as variáveis relevantes para a ventilação deverá ser estabelecida, utilizando, também, os conceitos da dinâmica de fluidos. Para isto, programas gráficos serão utilizados para estabelecer o comportamento entre as grandezas medidas nos ensaios e, a partir disto, procurar desenvolver uma equação que melhor represente este conjunto de dados medidos.

Os resultados obtidos deverão fornecer subsídios para estabelecer uma nova metodologia simplificada de cálculo para a ventilação natural do ambiente construído.

5. REFERÊNCIAS

- ALLARD, F. **Natural Ventilation in Buildings**. James & James, Londres, 356 p., 1998.
- ATHIENITIS, A. K.; SANTAMOURIS, M. **Thermal Analysis and Design of Passive Solar Buildings**. James & James, Londres, 288 p., 2002.
- AWBI, H. **Ventilation of Buildings**. Spon Press, 2. ed., 536 p., 2003.
- BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à Ventilação Natural**. edUFAL, Maceió, 2. ed., 163 p., 2006.
- BLESSMANN, J. **O vento na engenharia estrutural**. Editora da Universidade, Porto Alegre, 166 p., 1995.
- BOUTET, T. S. **Controlling Air Movement: A Manual for Architects and Builders**. McGraw-Hill, New York, 318 p., 1991.
- CARRIL JR, C. F. **Projeto, Construção e Calibração de um Túnel de Vento**. 100 p. Mestrado – Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- CUNHA, E. G. da; SPANNENBERG, M. G.; PICCINI, K. C. Permeabilidade da edificação a partir das esquadrias internas e sua verificação através do software Ventil. In: VI ENCONTRO NACIONAL/ III ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO, 2001. **Anais**. São Pedro/SP, 1 CD, 2001.
- LAWSON, T. V. **Wind Effects on Buildings**. Applied Science Publishers Ltd., London, 318 p., 1980.
- LIVERMORE, S. R.; WOODS, A. W. Natural ventilation of a building with heating at multiple levels. **Building and Environment**, 42, p. 1417, 2007.
- MATSUMOTO, E. **Coletor inercial: estratégias para reduzir a entrada de poluentes utilizando-se a ventilação natural**. 52 p. Relatório científico de pós-doutorado enviado à FAPESP. Depto. de Arquitetura e Urbanismo, EESC/USP, São Carlos, 2006.
- STRAW, M. P.; BAKER, C. J.; ROBERTSON, A. P. Experimental measurements and computation of the wind-induced ventilation of a cubic structure. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, 88, p. 213, 2000.
- YI JIANG, Q. C. Effect of fluctuating wind direction on cross natural ventilation in buildings from large eddy simulation. **Building and Environment**, 37, p. 379, 2002.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelos recursos financeiros aplicados no financiamento deste projeto.