

A mesa d'água como ferramenta de apoio para a caracterização de um modelo genérico a ser ensaiado em túnel de vento

The water table as a support tool for the characterization of a generic model to be tested in a wind tunnel

Michele Marta Rossi^{a*}, Fernanda Itkes Vale^a,
Alessandra Rodrigues Prata Shimomura^b, Karin Maria Soares Chvatal^a

^a Universidade de São Paulo,
Instituto de Arquitetura e
Urbanismo de São Carlos.
São Carlos-SP, Brasil.

^b Universidade de São Paulo,
Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo. São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: michele.rossi@usp.br

Palavras-chave:

Ventilação natural; dispositivos de
sombreamento; modelo genérico;
mesa d'água.

Keywords:

*Natural ventilation; shading
device; generic model;
water table.*

Resumo

A ventilação natural em edificações é uma importante estratégia para garantir a qualidade interna do ar, o conforto térmico dos usuários e o resfriamento das estruturas das edificações. Entretanto, entender sua eficácia na promoção desses aspectos é uma tarefa que exige a consideração de fenômenos complexos, relacionados à dinâmica dos fluidos. Existem diferentes métodos para avaliar o desempenho da ventilação natural em edificações, como testes em túnel de vento ou simulações fluidodinâmicas (CFD). No entanto, esses métodos são caros, demandam tempo ou exigem um usuário experiente. A mesa d'água é uma opção viável para analisar o impacto qualitativo dos parâmetros de uma edificação na ventilação natural, de modo a orientar a tomada de decisões. Neste estudo, o potencial da mesa d'água foi comprovado para esse fim. As visualizações de ensaio conduzidos nesse equipamento ajudaram a definir as dimensões de janelas e dos dispositivos de sombreamento que caracterizavam um modelo genérico. Posteriormente, este mesmo modelo será usado para testes em túnel de vento e simulações computacionais fluidodinâmicas para avaliar o impacto dos dispositivos de sombreamento na ventilação natural.

Abstract

Natural ventilation in buildings is an important passive strategy to guarantee and/or to maintain the indoor air quality, the thermal comfort or the cooling of the buildings' structures. However, to understand its efficacy in promoting those aspects is hard due to its

complexity. There are different methods to evaluate natural ventilation performance in building as wind tunnel tests or computational fluid dynamics (CFD) simulations. Nevertheless, they are costly, time-consuming and demand an expert user. Water table is a viable option to analyze the qualitative impact of parameters' variation in natural ventilation, so it could guide the decision-making process. In this study, the potential of water table was proved for this purpose. The visualizations aided to define the dimensions of windows and shading devices that characterized a generic model. Afterwards, this same model will be used to wind tunnel tests and CFD simulations to evaluate the impact of shading devices on natural ventilation.

1 Introdução

A ventilação natural em edificações é uma importante estratégia para garantir ou promover a qualidade interna do ar, os níveis de conforto térmico adequado aos usuários e o resfriamento das superfícies da edificação (GIVONI, 1976). No entanto, a complexidade inerente aos processos físicos a ela atrelados dificulta a compreensão do fenômeno (SANTAMOURIS, 2002). Desse modo, é necessária a aplicação de métodos de predição para avaliar o seu desempenho, os quais estão relacionados ao uso de variadas ferramentas, como os programas de simulação computacional fluidodinâmica *Computational Fluid Dynamics* (CFD), o túnel de vento, entre outras. A escolha de um ou mais métodos de predição depende do problema estudado. De acordo com Chen (2009), os modelos de predição podem ser divididos em: (a) modelos analíticos; (b) modelos empíricos; (c) modelos experimentais em escala reduzida; (d) modelos experimentais em escala real; (e) modelos de rede (multi zonas); (f) modelos zonais; e (g) modelos de dinâmica dos fluidos computacional (CFD). Cada qual apresenta suas vantagens e limitações. Deve-se analisar o que melhor se adequa ao problema apresentado e fornece com maior eficiência e precisão, dentro das limitações de tempo, custo e conhecimento, a variável estudada.

As simulações computacionais fluidodinâmicas e os ensaios experimentais em túnel de vento estão entre as ferramentas mais robustas e confiáveis de análise da ventilação natural, no entanto apresentam alto custo e demandam um usuário com bom entendimento acerca de mecânica dos fluidos. Também há um equipamento, denominado mesa d'água, que permite esse tipo de análise de forma bem mais simplificada, e com custo e tempo de uso muito inferior (RIBEIRO; BITTENCOURT, 2016).

A mesa d'água consiste em um equipamento que possibilita visualizações do comportamento da ventilação natural em edificações, a partir da passagem da água misturada com um indicador por uma base plana em que é disposto o modelo de análise em escala reduzida (TOLEDO; PEREIRA, 2003). De acordo com Toledo e Pereira (2003), as vantagens da mesa d'água consistem em: (a) baixo custo de aquisição; (b) baixa demanda de espaço físico; (c) facilidade de operação e manutenção do equipamento; (d) possibilidade de alteração instantânea dos parâmetros relacionados às aberturas; e (e) registro continuado, a partir de fotografias e filmagens, da visualização do

escoamento de ar. Em contraponto, as limitações deste equipamento se resumem em: (a) análises bidimensionais de um fenômeno que é estritamente tridimensional; (b) possibilidade de avaliações somente isotérmicas e; (c) impedimento de medições quantitativas das grandezas aerodinâmicas (velocidade, pressão) (TOLEDO; PEREIRA, 2003).

Este trabalho faz parte de um doutorado em andamento, cujo objetivo geral é avaliar o impacto das características projetuais de diferentes dispositivos de sombreamento externos no desempenho da ventilação natural em um modelo genérico de ambiente. O método consiste principalmente em ensaios experimentais em túnel de vento de camada limite atmosférica e simulações computacionais fluidodinâmicas (CFD). O presente artigo se refere a uma etapa do processo de definição desse modelo genérico, na qual se analisa qualitativamente na mesa d'água a influência de dois parâmetros desse modelo no fluxo de ar no seu interior. Com isso, demonstra-se como foi possível definir as melhores combinações desses parâmetros para posterior ensaio em túnel de vento, e assim reduzir o tempo de uso deste equipamento. Os parâmetros estudados foram as dimensões das aberturas e a profundidade dos dispositivos de sombreamento externos. Desta forma, demonstra-se também o potencial da mesa d'água como ferramenta de suporte à tomada de decisões.

2 Metodologia

O modelo genérico adotado no Doutorado possui as dimensões de 3,0 m x 3,0 m x 2,7 m (largura x comprimento x pé direito), e duas aberturas de igual dimensão, centralizadas em faces opostas e com peitoril de 1,10 m. Essas características mantêm-se fixas e foram definidas em função da literatura e de bancos de dados de projetos. Esse modelo genérico será ensaiado em túnel de vento, contemplando-se variações nas dimensões dos dispositivos de sombreamento acoplados à abertura a barlavento. O objetivo do ensaio no túnel é analisar o impacto desses dispositivos nos coeficientes de pressão externos e internos. Os modelos ensaiados no túnel também serão utilizados para a calibração de um programa CFD, o que permitirá a investigação de uma quantidade maior de alterações, além das ensaiadas no procedimento experimental. Devido às limitações de tempo e custo para uso do túnel, a mesa d'água, equipamento que permite a visualização do fluxo de ar em modelos reduzidos, foi adotada para auxiliar na redução dos casos a serem ensaiados. A intenção foi caracterizar o fluxo de ar de forma qualitativa, de modo a identificar semelhanças e diferenças, e assim selecionar os casos mais relevantes.

Foi utilizada a mesa d'água do Laboratório de Conforto Ambiental (LCA) do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos (IAU-USP) (**Figura 1**). Ela é composta por dois tanques de água com capacidade de 92,5 l (0,74 m x 0,25 m x 0,50 m) cada, conectados por uma bomba 0,75 cv e 60 Hz. Um inversor de frequência, modelo CFW08 da WEG, atrelado à bomba é responsável por controlar a velocidade e a frequência do fluxo de água. A área de ensaio apresenta 1,10 m de comprimento e 0,74 m de largura. Para a realização dos ensaios, os reservatórios foram cheios e o indicador (detergente) foi acrescentado. A frequência do sistema elétrico foi elevada a 50 Hz a fim de garantir

o turbilhonamento necessário para a formação da espuma. Após alguns minutos, a frequência foi ajustada para 20 Hz o que, de acordo com Toledo e Pereira (2003), tem se mostrado adequado para visualizações de fluxo laminar. Os referidos autores apontam a necessidade do aumento periódico da frequência do inversor e, conseqüentemente, do turbilhonamento durante os ensaios, devido à rápida perda de consistência da espuma, algo também verificado e executado nestes ensaios.

Figura 1 - Mesa d'água do Laboratório de Conforto Ambiental (LCA) do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos (IAU-USP)



Fonte: Elaborado pelos autores

Como a visualização na mesa é bidimensional, e o fenômeno estudado é tridimensional, foram feitas maquetes que representassem o modelo genérico em planta e em corte longitudinal. Considerou-se nos ensaios que o modelo genérico em escala real tivesse janelas com distintas larguras (0,6 m; 1,0 m; 1,2 m; 1,6 m; 2,0 m), as quais foram ensaiadas em planta; alturas (0,6 m e 1,0 m), ensaiadas em corte; e dispositivos de sombreamento externo horizontal ou verticais com variadas profundidades (0,1 m; 0,5 m e; 1,0 m), ensaiado em corte ou em planta, respectivamente. As maquetes foram confeccionadas em acrílico transparente de 3 mm por este ser um material resistente, impermeável e não interferir nas visualizações. Os modelos foram feitos na escala de 1:10 e a altura dos elementos foi de 5 cm. Considerou-se a incidência de vento perpendicular à face a barlavento. Os dispositivos de sombreamento foram locados nesta mesma face. Nos ensaios

em planta, a maquete foi disposta no centro geométrico da área de ensaio. Já nos ensaios em corte longitudinal, a base do modelo foi encostada em uma das paredes da área de ensaio, no ponto médio do seu comprimento. A captura de imagens, assim como a elaboração de vídeos para posterior análise de resultados, foi garantida a partir da instalação de uma câmera digital em um sistema de tripé disposto sobre uma mesa de apoio. Portanto, para a análise dos resultados foram utilizados: (a) fotografias; (b) vídeos e; (c) desenhos que simplificaram os padrões de fluxo de ar observados a partir dos meios anteriores.

3 Resultados

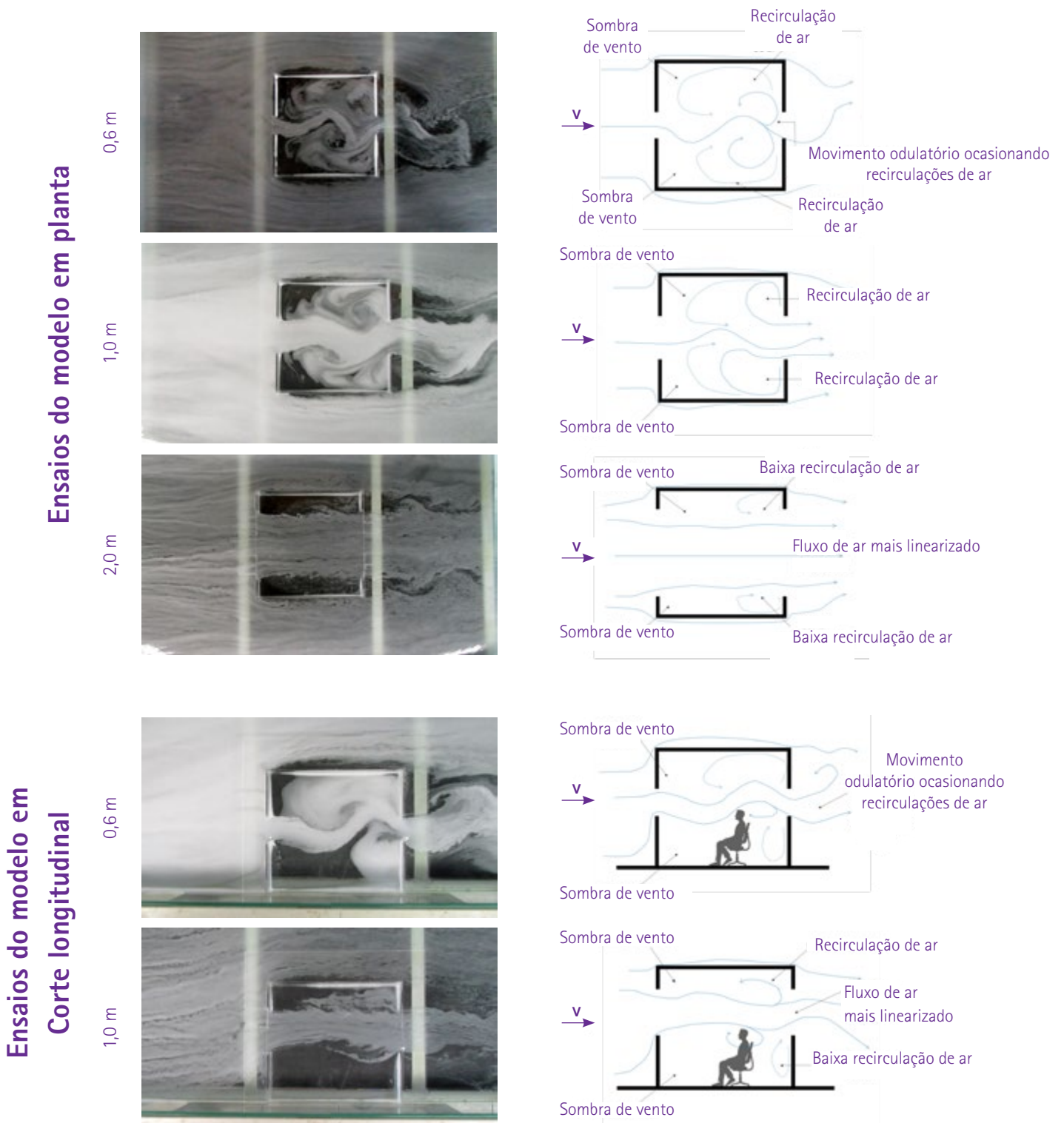
3.1 Avaliação do impacto da variação das dimensões da abertura

A partir dos ensaios do modelo em planta foi observada a influência da variação da largura da abertura (vãos de 0,6 m; 1,0 m; 1,2 m; 1,6 m e 2,0 m). Os resultados dos casos de 1,2 m e 1,6 m foram omitidos devido às semelhanças encontradas com os casos de 1,0 m e 2,0 m, respectivamente. Os resultados encontram-se na **Figura 2**. No caso do vão de 0,6 m, o fluxo de ar incidente apresentou um movimento ondulatório, originando, por sua vez, recirculações que abrangeram as porções direita e esquerda do ambiente analisado. Com o incremento da largura da abertura, o fluxo de ar no interior tornou-se mais linear, bem como as zonas de sombra de vento mais definidas.

Os ensaios com o modelo em corte longitudinal auxiliaram na observação da influência da variação da altura da abertura. Foram ensaiadas as variações equivalentes aos vãos de: 0,6 m e 1,0 m (**Figura 2**). Os mesmos comportamentos observados para as visualizações do modelo em planta foram verificados. No caso da abertura de menor altura, o movimento ondulatório do fluxo de ar reapareceu, assim como as recirculações de ar decorrentes dele. Estas recirculações promoveram uma maior abrangência do fluxo de ar no ambiente interno, o que não garante, por sua vez, uma ventilação natural efetiva. Ao aumentar a altura do vão para 1,0 m, o fluxo de ar ficou mais linear. Menores recirculações de ar foram observadas no ambiente interno (apenas baixas recirculações de ar próximas a face a sotavento), o que promoveu zonas de sombra de vento mais definidas no interior do ambiente.

A partir desses ensaios, optou-se por ensaiar o modelo genérico no túnel de vento sem considerar variações no tamanho da abertura. Priorizou-se uma situação na qual o fluxo de ar interno encontrava-se mais linear, mas que ainda englobasse as recirculações e o movimento ondulatório observado nas situações equivalentes à menor dimensão. Dessa forma, as aberturas do modelo genérico terão as dimensões de 1,0 x 1,0 m (largura x altura).

Figura 2 – Avaliação qualitativa do impacto da variação das dimensões da abertura a partir de ensaios experimentais em mesa d’água do modelo em planta e em corte longitudinal



Fonte: elaborado pelos autores

3.2 Avaliação do impacto da variação da profundidade dos dispositivos de sombreamento externos

A avaliação do impacto da variação da profundidade dos dispositivos de sombreamento externos, verticais e horizontais, foi realizada a partir de visualizações do fluxo de ar interno no modelo em planta e em corte longitudinal, respectivamente, e com aberturas de dimensões equivalentes a 1,0 m. Foi ensaiado o modelo sem proteção solar e com protetores dispostos na abertura localizada na face a barvalento. As dimensões de profundidade dos elementos de sombreamento ensaiados foram equivalentes à 0,1 m; 0,5 m e 1,0 m (**Figura 3**).

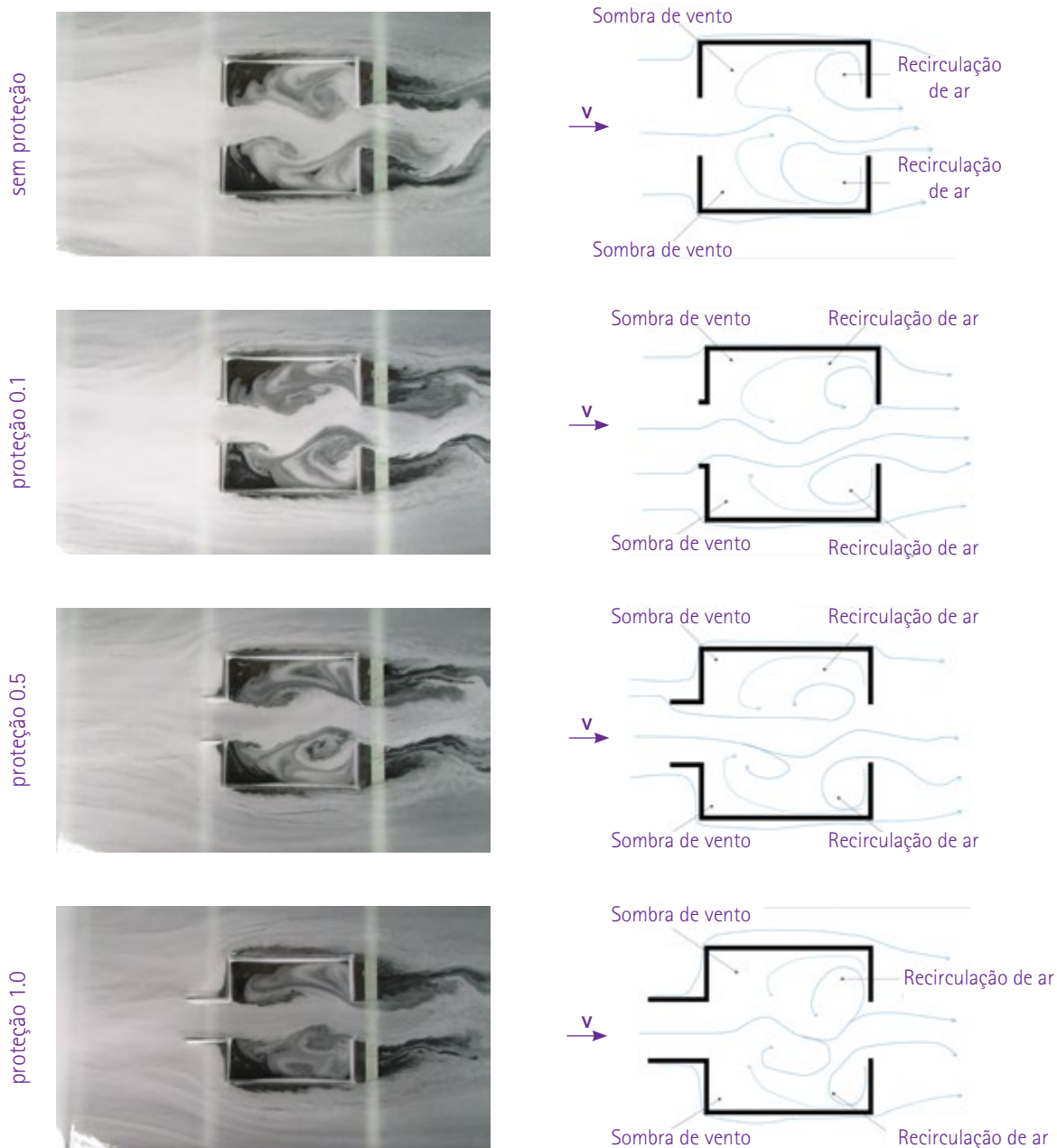
Nos ensaios do modelo em planta, pouca influência foi observada a partir da inclusão dos elementos equivalentes a 0,1 m. À medida que os protetores foram aumentados (para 0,5 m e para 1,0 m), o fluxo se tornou mais linear quando comparado ao primeiro caso. As recirculações de ar foram verificadas em todos os modelos analisados, no entanto com a inclusão e o aumento da profundidade dos protetores, as mesmas perderam gradativamente a intensidade.

Nos ensaios do modelo em corte longitudinal, assim como na avaliação anterior, pouca influência no comportamento do fluxo de ar interno foi observada a partir da inclusão do elemento de sombreamento com profundidade equivalente a 0,1 m. Os protetores de maiores profundidades (0,5 m e 1,0 m) resultaram em uma maior linearidade do fluxo de ar ao adentrar pela primeira abertura, no entanto o encontro deste fluxo com a face a sotavento ocasionou recirculações do ar, sendo estas maiores na parte superior do ambiente e menores na porção inferior. Em ambos os casos, o fluxo de ar interno esteve acima da zona do usuário e com formações de zonas de sombra de vento na parte superior, logo após a face a barlavento e na parte inferior do ambiente.

Optou-se pelos protetores de 0,5 m, uma vez que estes configuram uma dimensão mais realista de ser encontrada em edificações brasileiras. Além disso, quanto ao impacto na distribuição de fluxo de ar no interior do ambiente, a opção de 0,5 m continua sendo válida, por permitir maiores recirculações do ar, diminuindo as zonas de sombra de vento no ambiente analisado.

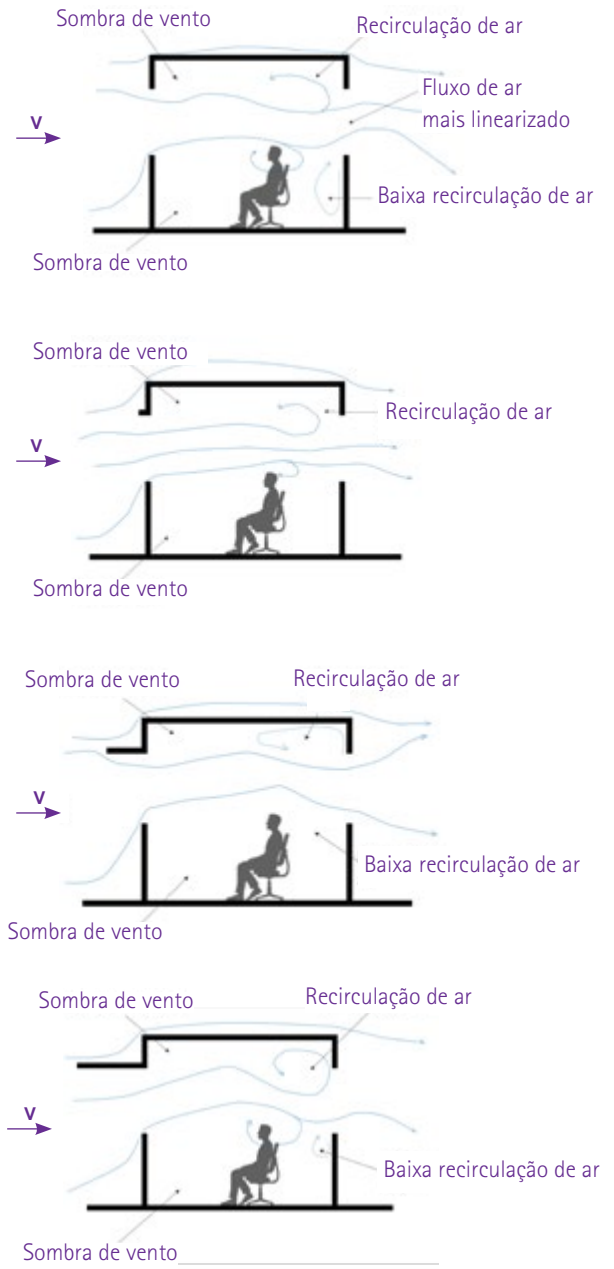
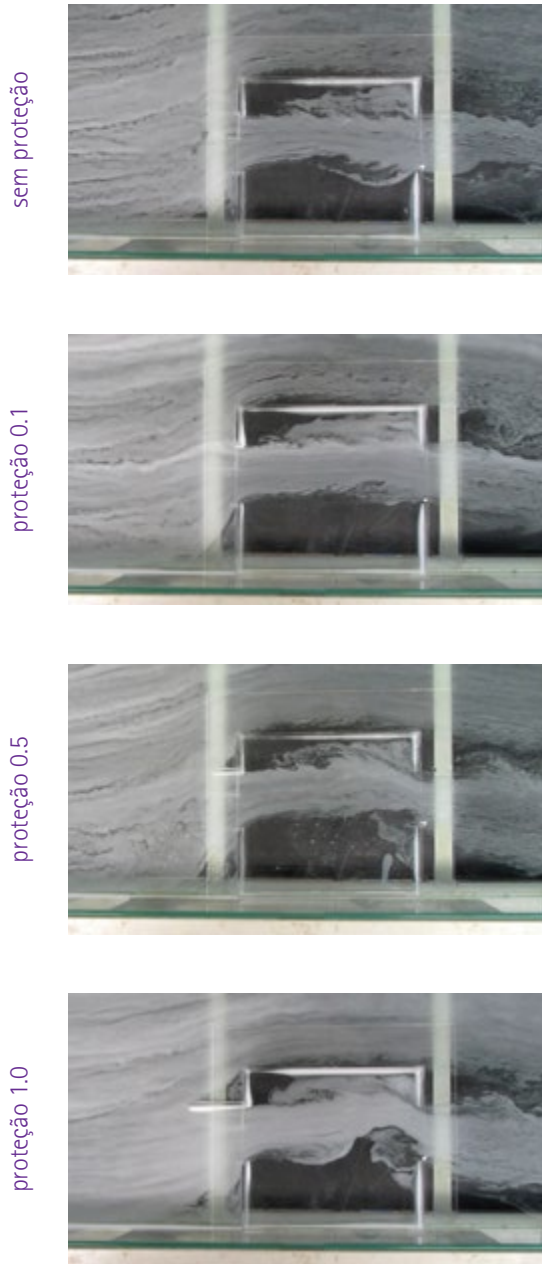
Figura 3 – Avaliação do impacto dos dispositivos de sombreamento externos verticais (modelo em planta) e horizontais (modelo em corte longitudinal), com profundidades equivalentes à 0,1 m; 0,5 m e; 1,0 m

Ensaio do modelo em planta



Fonte: elaborado pelos autores

Ensaio do modelo em corte longitudinal



Fonte: elaborado pelos autores

4 Conclusão

A complexidade inerente ao fenômeno da ventilação natural é uma das principais barreiras para que esta estratégia de condicionamento passiva seja implementada. Análises quantitativas quando aplicadas durante o processo de projeto podem ser importantes aliadas à tentativa de mudança desta realidade. No entanto, muitas vezes essas análises demandam o uso de ferramentas que não estão no domínio dos projetistas, como ensaios em túnel de vento e simulações CFD.

As análises qualitativas, a partir de visualizações na mesa d'água consistem em um experimento de baixo custo, relativamente simples e rápido, e pode contribuir significativamente para uma apreensão instantânea do impacto de variáveis no fenômeno da ventilação natural e assim subsidiar a tomada de decisões.

Neste trabalho, tal ferramenta foi utilizada para auxiliar a caracterização de parâmetros de um modelo genérico que será utilizado, posteriormente, para ensaios em túnel de vento e simulações computacionais fluidodinâmicas, e teve sua potencialidade comprovada para este fim.

As definições das dimensões do vão de abertura e dos dispositivos de sombreamento externos ocorreram a partir de análises qualitativas do impacto destes parâmetros no fluxo de ar de ar incidente e do modo como ele se distribuiu no ambiente. Priorizaram-se, nessas definições, valores coerentes com os adotados para tais elementos arquitetônicos nas habitações residenciais brasileiras, e também dimensões que proporcionassem padrões de fluxos de ar complexos e, assim, interessantes de serem avaliados a partir das demais ferramentas metodológicas (túnel de vento e simulação computacional fluidodinâmica) englobadas pela pesquisa de Doutorado, a qual este estudo está vinculado.

Por fim, a mesa d'água foi adotada devido à excelente resposta que diversas pesquisas científicas têm encontrado com o uso dessa ferramenta. Blessmann (1990) aponta que a água e o ar apresentam, sempre que não houver separação da camada limite, um comportamento próximo a um fluido ideal (fluido incompressível e sem viscosidade), apresentando efeitos visuais semelhantes acerca de muitos aspectos.

É válido ressaltar que ensaios em mesa d'água demandam cuidado na descrição do regime de escoamento, e seus resultados não devem ser diretamente extrapolados para a situação real, uma vez que se tratam de análises bidimensionais de um fenômeno estritamente tridimensional. A validação destes ensaios pode ser realizada partir de simulações computacionais fluidodinâmicas em que as condições de similaridade sejam mantidas. Blessmann (1990) enfatiza que se o número de Reynolds for constante e as similaridades geométricas e de orientação dos objetos analisados em relação ao escoamento forem asseguradas, a semelhança dinâmica e as forças em pontos correspondentes em dois escoamentos distintos serão, por sua vez, constantes.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa Unificado de Bolsas de Estudos para Estudantes de Graduação (PUB) da USP pelo apoio financeiro fornecido através de das bolsas de doutorado e iniciação científica, respectivamente. Aos engenheiros Gilder Nader e Gabriel Borelli Martins, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) pelas contribuições sempre tão pertinentes. Aos técnicos dos laboratórios do IAU-USP, Pedro Mattia, José Dibo e Paulo Pratavieira pelo auxílio durante a confecção das maquetes e execução dos ensaios em mesa d'água.

6 Referências

BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das construções**. Porto Alegre: Sagra, 1990.

CHEN, Q. Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 848–858, 2009.

GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. 2. ed. London: Applied Science Publishers, 1976.

RIBEIRO, P. V. S.; BITTENCOURT, L. S. Contribuição da mesa d'água na análise da Geometria de sheds extratores e captadores de ar para ventilação natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SANTAMOURIS, M. Prediction methods. In: ALLARD, F. (Ed.). **Natural Ventilation in Buildings**. London: James and James, 2002. p. 63-156.

TOLEDO, A. M.; PEREIRA, F. O. R. O potencial da Mesa d' água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2003.