MODELOS FÍSICOS PARA ANÁLISE DE VENTILAÇÃO URBANA: O USO DA MESA D'ÁGUA COMO FERRAMENTA DE PROJETO

Milena Chierrito Oliveira (1); Emmanuely Karine Fernandes da Paz (2); Rosilene Regolão Brugnera (3); Marieli Azoia Lukiantchuki (4)

(1) Aluna de iniciação científica em Arquitetura e Urbanismo, milenachierrito@gmail.com, Universidade Estadual de Maringá

(2) Aluna de iniciação científica em Arquitetura e Urbanismo, ekarinefernandes@gmail.com, Universidade Estadual de Maringá

(3) Arquiteta e Urbanista. Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia. Professora Adjunta na Universidade Estadual de Maringá, rrbrugnera2@uem.br, Universidade Estadual de Maringá

(4) Arquiteta e Urbanista. Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia. Professora Adjunta na Universidade Estadual de Maringá, malukiantchuki2@uem.br, Universidade Estadual de Maringá

RESUMO

A complexidade do estudo de ventilação natural exige ferramentas práticas para que a estratégia seja aplicada durante o processo de projeto. Ensaios na mesa d'água são utilizados para avaliar o comportamento do fluxo de ar em decorrência da morfologia urbana em questão. Devido a sua simplicidade e seu baixo custo esta ferramenta torna-se um importante instrumento para oferecimento de subsídios durante o ato de projetar. Diante disso, o objetivo deste artigo é ilustrar como o processo de projeto pode ser delineado pelo uso de modelos físicos reduzidos e ensaios na mesa d'água como instrumentos de entendimento das características da ventilação urbana. Para tanto, foram realizados ensaios em escala urbana na mesa d'água do LACAE-UEM. O método foi dividido em duas etapas: 1) definição e confecção de modelos físicos reduzidos genéricos para variadas configurações urbanas em três dimensões de altura: 3 cm, 6 cm e 12 cm; 2) ensaios experimentais na mesa d'água. Os resultados apontam a mesa d'água como um importante equipamento de análise qualitativa para a compressão da ventilação natural por ação dos ventos em meio urbano, demonstrando que seu uso pode auxiliar na concepção projetual desde a graduação.

Palavras-chave: ventilação natural, mesa d'água, processo de projeto, configurações urbanas.

ABSTRACT

Studies on natural ventilation are complex and require practical tools for it to be applied to the design process. Rehearsals on the water-table are used to assess the behavior of the airflow in consequence of the urban morphology in question. Due to its simplicity and low cost, the water-table becomes an important apparatus to support the act of designing. Thus, this paper aims to disclose the use of physical scale models and rehearsals on the water-table as means to back up the design process in terms of understanding the features of urban ventilation. In order to reach that, scaled urban experiments were conducted using the water-table at LACAE-UEM. The methods were categorized in two steps: 1) definition and making of generic physical scale models to be tested in multiple urban built environments in three sizes: 3 cm, 6 cm, and 12 cm; 2) experimental rehearsals on the water-table. The results indicate that the water-table is a relevant tool of qualitative analysis on comprehension of wind-driven natural ventilation in the urban environment, showing that its use can support the design process since college.

Keywords: natural ventilation, water-table, design process, urban configurations.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural é uma eficiente estratégia para o condicionamento térmico passivo de edificações em regiões tropicais como o Brasil. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o Brasil, devido ao seu imenso território e por se localizar entre dois trópicos, possui um clima variado, e Cândido *et al.* (2010) destacam que grande parte do território brasileiro possui um clima quente e úmido, em que a ventilação natural, associada à proteção solar, é a estratégia passiva mais eficiente para se alcançar o conforto térmico sem o resfriamento mecânico. Essa afirmação é confirmada pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a qual indica a ventilação natural como estratégia de condicionamento passivo no verão em sete das oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras.

As principais funções dessa estratégia são: 1) proporcionar a melhoria da qualidade do ar interno, permitindo a renovação contínua do ar no interior das edificações. Segundo Royan, Vaidya e Mundhe (2018) e Mundhe *et al.* (2018), a composição do ar interno é alterada pelas atividades humanas e pela emissão dos compostos orgânicos voláteis através dos materiais que compõem as edificações. Considerando que, em média, as pessoas permanecem de 80% a 90% do tempo em edificações, renovar o ar interno é fundamental, a fim de dispersar poluentes e remover odores, partículas e micro-organismos; 2) promover o conforto térmico dos usuários dissipando o calor do corpo humano por convecção e evaporação, principalmente quando as temperaturas e as taxas de umidade relativa do ar estão elevadas (GIVONI, 1976).

Além disso, o uso de ventilação natural reduz o consumo de energia elétrica, diminuindo diretamente o uso de sistemas de ventilação mecânica e ar condicionado. De acordo com Alloca, Chen e Glicksman (2003), o consumo de energia de um edifício ventilado naturalmente é 40% menor do que de um edifício com ar condicionado. No entanto, apesar desses aspectos favoráveis, o número de edificações com sistemas de ar condicionado como principal estratégia de projeto para o resfriamento tem crescido dramaticamente (CÂNDIDO *et al.,* 2010).

Lukiantchuki, Caram e Labaki (2011) pontuam que incorporar as estratégias bioclimáticas durante a concepção projetual resulta em vantagens econômicas e melhores resultados de conforto ambiental. Entretanto, muitos projetistas possuem dificuldade em incluir essas questões na concepção de projetos, promovendo o ar condicionado como a principal estratégia para proporcionar o conforto térmico dos usuários, diante da facilidade de sua incorporação. Definido por Lawson (2011) como a resolução de problemas, o processo de projeto envolve variados níveis de complexidade – questões técnicas, artísticas, funcionais, ambientes – e usar diferentes métodos e ferramentas de projeto pode auxiliar no desenvolvimento do projeto e na integração dessas múltiplas variáveis.

Diversas pesquisas apontam a grande dificuldade em transferir o conhecimento científico para a prática profissional (CHVATAL 2017; ROSSI; VALE; SHIMOURA; CHVATAL 2019). Para Chvatal (1998), o tempo e os conhecimentos avançados de Física são empecilhos criativos para inserção de conforto nos projetos, assim como a dificuldade de representação visual dos fenômenos – principalmente, a ventilação natural (KOWALTOWSKI *et al*, 1998). Por ser um fenômeno invisível, o movimento do ar é, muitas vezes, representado por meio de esquemas e flechas durante o projeto, sem que sua atuação real seja verificada. Toledo e Pereira (2005) e Medshinge, Vaidya e Royan (2019) também ressaltam a falta de conhecimento e recursos adequados entre os arquitetos para incluir a ventilação natural no processo de projeto. Pesquisas realizadas por De Gids (1998) confirmaram uma menor experiência dos projetistas com a ventilação natural em comparação com a ventilação mecânica. Ademais, Toledo e Pereira (2005), Andersen *et al* (2000) e Rossi *et al* (2019) observaram a necessidade de ferramentas de análises que forneçam dados confiáveis para orientar decisões durante as fases de projeto.

De acordo com Toledo e Pereira (2003), ferramentas que permitem a visualização da ação dos ventos auxiliam projetistas a compreenderem o comportamento da ventilação natural em relação às edificações. No entanto, algumas ferramentas, como simulações CFD e ensaios no túnel de vento, não são acessíveis por demandarem um grande conhecimento de dinâmica dos fluídos e equipes multidisciplinares. Sendo assim, o uso de ferramentas simplificadas confiáveis auxilia os projetistas em suas primeiras decisões de concepção. Segundo Royan e Vaidya (2020), a mesa d'água é uma ferramenta acessível e econômica que fornece resultados visuais e quantitativos úteis para avaliar estratégias de ventilação natural por ação dos ventos. Silva e Salazar (2019) também ressaltam a facilidade do uso dessa ferramenta para pesquisa e ensino por ser de baixo custo e de fácil operação. Ademais, Prata-Shimomura *et al* (2010) ressaltam que o uso dos modelos físicos como forma de aprendizado permite a verificação de características projetuais em estágio atual e também possibilita o desenvolvimento de alterações futuras, e Toledo e Pereira (2003) pontuam que a fácil manipulação de maquetes por arquitetos é uma vantagem para o uso da mesa d'água.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar o uso de modelos físicos reduzidos, para a escala urbana, na visualização da ventilação natural no processo de projeto a partir de ensaios experimentais na mesa d'água.

3. MÉTODO

O método do presente artigo foi dividido em 2 etapas: 1) definição e confecção dos modelos a serem avaliados; 2) ensaios experimentais na mesa d'água.

3.1. Definição e confecção dos modelos a serem avaliados

Segundo Toledo e Pereira (2003), a escala das maquetes deve obedecer às limitações da largura da mesa, a fim de impedir a interferência das paredes laterais do canal no escoamento. Uma vez que a intenção primária dos modelos foi o uso para ensino de conforto ambiental, definiram-se modelos genéricos sem escala que possibilitassem variadas composições em ensaios futuros, visando uma análise qualitativa do fluxo de ar.

A visualização do fenômeno na mesa d'água acontece apenas em duas dimensões, o que requer a elaboração de modelos para serem visualizados em corte ou planta. Visando maior flexibilidade na modificação das configurações de ensaio, os modelos foram definidos em dois blocos: 1) ensaios em corte para estudo da influência das tipologias (gabaritos e o uso de pilotis) de edificações em meio urbano e 2) ensaios em planta para avaliação de diferentes aglomerados urbanos. Definiram-se três tamanhos para os modelos físicos reduzidos genéricos, pensados de forma modulada para manter boa proporção: um modelo com 3 cm; outro com 6 cm; e o último, com 12 cm. Em primeiro momento, usou-se o software SketchUp® para modelagem virtual (Figura 1).

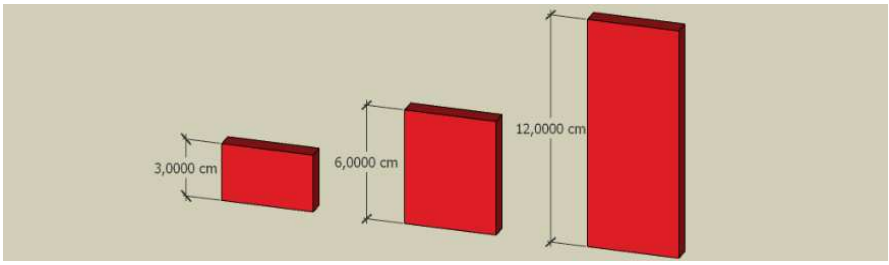
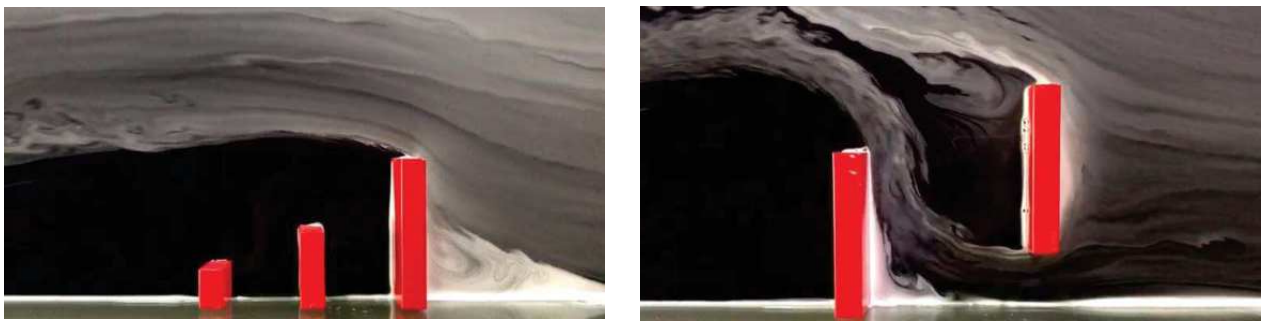


Figura 1 – Modelos genéricos para ensaios na mesa d'água.

Para os experimentos acerca da influência dos gabaritos de edificações na ventilação natural em meio urbano, os modelos são vistos em corte. Quanto às configurações de ensaio, este conjunto pode ser analisado: 1) de modo independente, verificando como se dá a ação dos ventos sobre as fachadas a barlavento e como é a sombra de vento provocada pela edificação, para cada altura diferente e 2) em conjunto, analisando como o posicionamento de cada tipologia em relação à direção dos ventos e a distância entre os modelos influenciam na ação dos ventos sobre as edificações em meio urbano (Figura 2a). Ainda com relação às tipologias, os ensaios que consideram as edificações em relação à presença ou ausência de pilotis podem ser feitos usando os mesmos modelos modulares, posicionando-os elevados, em corte, em relação à borda da mesa d'água. Os ensaios permitem analisar a diferença de permeabilidade dos ventos entre uma edificação com pilotis e uma sem pilotis, e a influência da sombra de vento das duas tipologias quando posicionadas a barlavento em frente a outras edificações (Figura 2b).



(a) (b)

Figura 2 – Modelos e configurações para ensaios de (a) diferentes gabaritos e (b) considerando pilotis.

Ademais, todos os modelos (3 cm, 6 cm e 12 cm) podem ser ensaiados em planta, uma vez que possibilitam diversas configurações de aglomerados urbanos. Repetindo-se os modelos de mesmo tamanho (Figura 3a), pode-se avaliar a atuação dos ventos em um maciço edificado uniforme a depender de seus distanciamentos e deslocamentos um em relação ao outro. Por outro lado, variando-se os tamanhos, verifica-se como edifícios de tamanhos diferentes atuam barrando e/ou permitindo a passagem dos ventos e qual sua influência nas edificações do entorno.

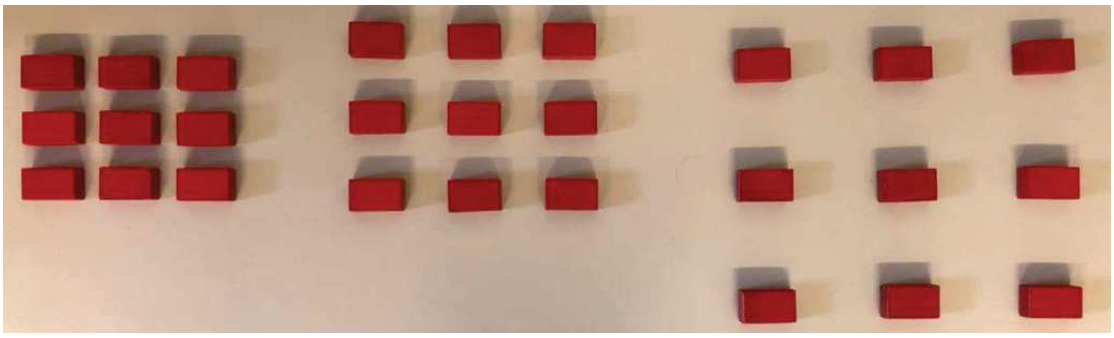
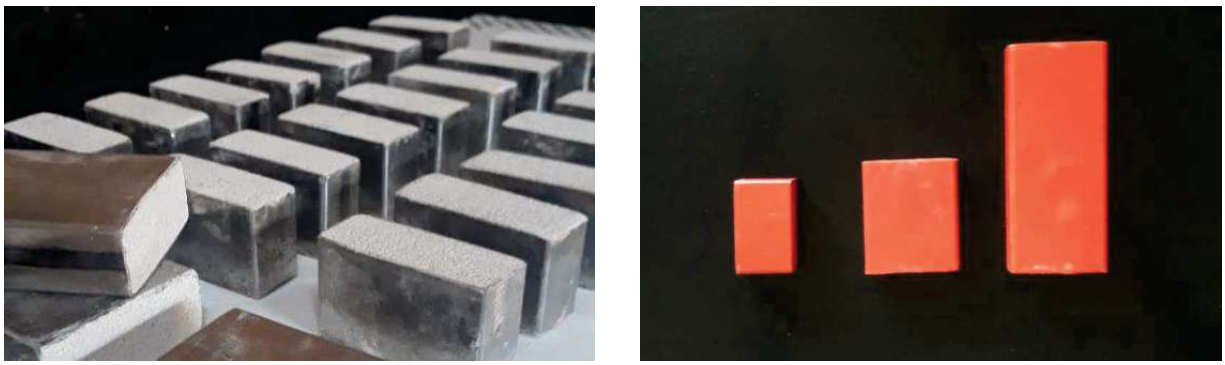


Figura 3 – Modelos e configurações para ensaios em planta com diferentes espaçamentos.

Todos os modelos foram construídos por meio de tubos metálicos de espessura 1 cm por 5 cm de largura, com alturas de 3 cm, 6 cm e 12 cm. Ressalta-se que todas as medidas são suficientes para apoiar os modelos de variadas formas sobre a mesa d'água, e, com exceção da espessura de 1 cm, impedir que a lâmina d'água, de 1,5 cm, passe por cima, comprometendo o ensaio. Os tamanhos dos modelos se adequam à largura da mesa, permitindo distâncias variadas das laterais; à barlavento e à sotavento, dependendo da configuração analisada.

Após serem cortados nas dimensões adequadas, os modelos foram preenchidos com argamassa, a fim de garantir sustentação contra o turbilhonamento na mesa d'água. Após a cura, cada peça recebeu uma camada de antiferrugem, uma de argamassa colante – para impermeabilização – e duas de tinta spray de secagem rápida uso externo e interno vermelha, visando bom contraste entre os modelos e o fundo preto da mesa d'água para otimizar a visualização durante os ensaios (Figura 4).



(a) (b)

Figura 4 – Modelos físicos reduzidos (a) durante a confecção e (b) prontos, sobre a mesa d'água vazia.

3.2. Ensaios experimentais na mesa d'água

A mesa d'água é uma ferramenta que permite a visualização do fluxo de ar em modelos reduzidos, utilizando como fluido a água misturada com um indicador (detergente). Assim, o fluxo de ar é caracterizado de forma qualitativa, apresentando os princípios da ventilação natural em ambientes internos e urbanos. Após a definição e construção dos modelos, iniciaram-se os ensaios na mesa d'água.

Utilizou-se a mesa d'água do Laboratório de Conforto Ambiental e Ergonomia da Universidade Estadual de Maringá (LACAE-UEM), cuja área de ensaio apresenta 1,53 m x 0,82 m e é revestida por material autoadesivo preto para melhorar o contraste durante os ensaios. A mesa d'água é composta por dois tanques de água com capacidade de 110 litros cada, conectados por uma bomba Famac 0,75C V e 60 Hz. Um inversor de frequência, modelo CFW08 da WEG, é responsável por controlar a velocidade e a frequência do fluxo de água (Figura 5). Para a realização dos ensaios, os reservatórios foram cheios com 125 litros de água no total e

cria-se um ciclo entre os dois reservatórios, passando uma película d´água pela área de ensaio. Quando o plano da área de ensaio termina, é formada uma pequena queda d´água, que após a adição de 200 ml de sabão líquido, cria-se uma espuma que facilita a visualização do escoamento do fluido, através do contraste entre a espuma branca e o fundo escuro da área de ensaio (Figura 5). A fim de garantir o turbilhonamento necessário para a formação da espuma, a frequência do sistema elétrico foi elevada a 50 Hz e, após alguns minutos, a frequência foi ajustada para 20 Hz. Esse procedimento, segundo Toledo e Pereira (2003), é adequado para visualizações analógicas de fluxo laminar. Os autores apontam a necessidade do aumento periódico da frequência do inversor e, assim, do turbilhonamento durante os testes, devido à rápida perda de consistência da espuma.

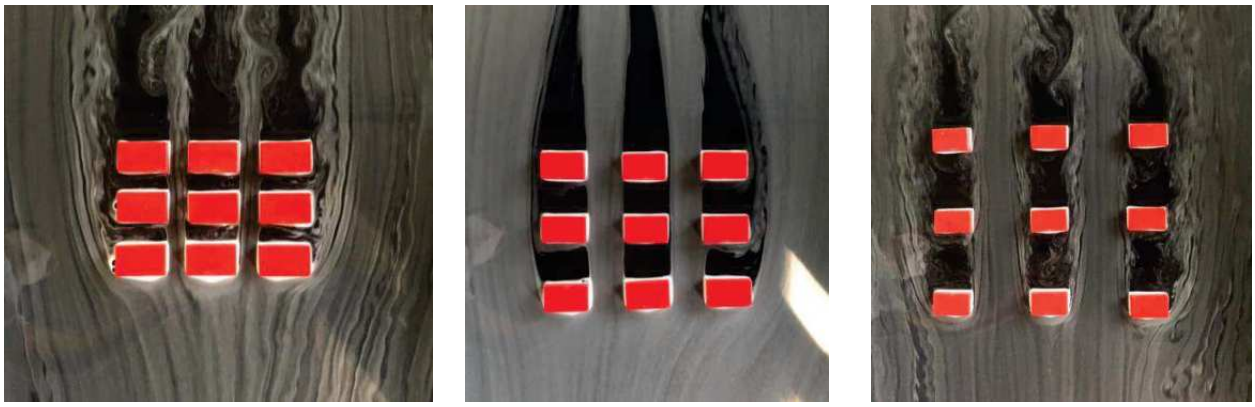


Figura 5 – Mesa d´água do laboratório com o traçador e o contraste proporcionado.

Tanto a filmagem quanto a captura de imagens foram garantidas a partir da instalação de uma câmera digital em um sistema de tripé disposto na parte superior da mesa a uma altura de 60 cm acima do nível da área de ensaio. A sala foi iluminada com iluminação natural, a fim de evitar o reflexo de lâmpadas artificiais na mesa de ensaio e, assim, dificultar a visualização das imagens. Vídeos foram gerados e, posteriormente, as imagens foram tratadas para as análises.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos no ensaio podem servir como balizadores de algumas decisões de projeto. Algumas configurações foram selecionadas para exemplificar a variabilidade dos modelos definidos. A Figura 6 apresenta configurações urbanas de edifícios, com a mesma dimensão, com espaçamentos de 1H, 2H e 4H, em que H = altura da edificação.



(a) (b) (c)

Figura 6 – Configurações urbanas de edifícios, com espaçamentos de (a) 1H; (b) 2H e (c) 4H, respectivamente.

Em meio urbano, o posicionamento das edificações em relação aos ventos dominantes, o distanciamento entre elas e as características geométricas de cada uma influenciam no microclima local e na

ventilação interna de seus ambientes. Em todas as configurações analisadas, é significativamente visível o fluxo de ar laminar na região a barlavento incidindo perpendicularmente no conjunto analisado, o contorno do fluxo na lateral dos modelos (efeito esquina) e a sombra de vento na região a sotavento, demonstrando o ar em repouso (representado pela total ausência de espuma). Entre os edifícios, também se nota a circulação da corrente de ar em altas velocidades, registrando o efeito de canalização, formado por espaços construídos com paredes pouco porosas e com um espaçamento igual ou inferior ao espaçamento das construções. Esse efeito pode ser melhorado por meio do espaçamento entre as edificações e do aumento da porosidade entre as superfícies laterais.

Nota-se claramente que, quanto mais próximos os edifícios entre si, menor a região de ventilação nos edifícios localizados a sotavento. No entanto, mesmo espaçando em 2 vezes a altura da edificação, a região entre os edifícios fica sem ventilação, prejudicando a ação dos ventos nos edifícios localizados posteriormente. Apenas os edifícios a barlavento apresentam a incidência dos ventos dominantes, e suas fachadas na direção predominante de ventos sofrem sobrepressões, além de provocarem efeito de borda e consequente sombra de vento, muito visível pela ausência total de espuma entre as edificações. À medida que a distância entre os edifícios aumenta, verifica-se a penetração do fluxo de ar pelas laterais, resultando na formação de vórtices (Figuras 7 e 8) nas regiões posteriores às edificações, que estão em subpressão (OLGYAY, 2015).

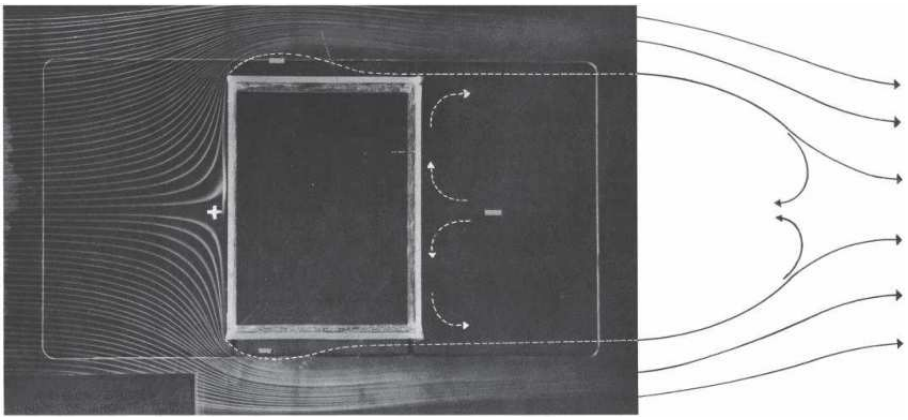


Figura 7 – Fluxo de ar ao entrar em contato com o edifício e formação de vórtices. Ensaio em túnel de vento. (OLGYAY, 2015).

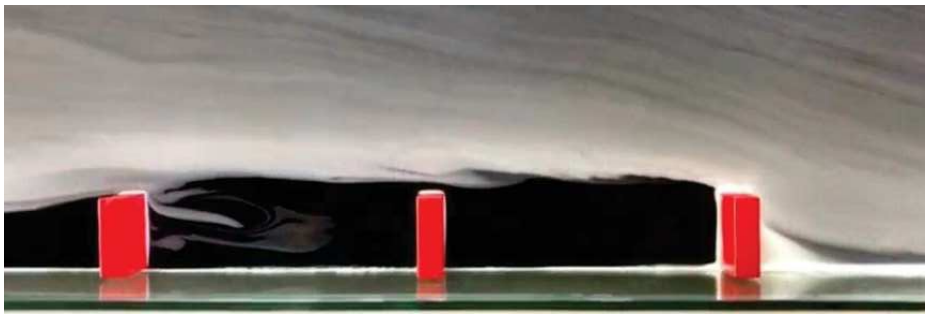
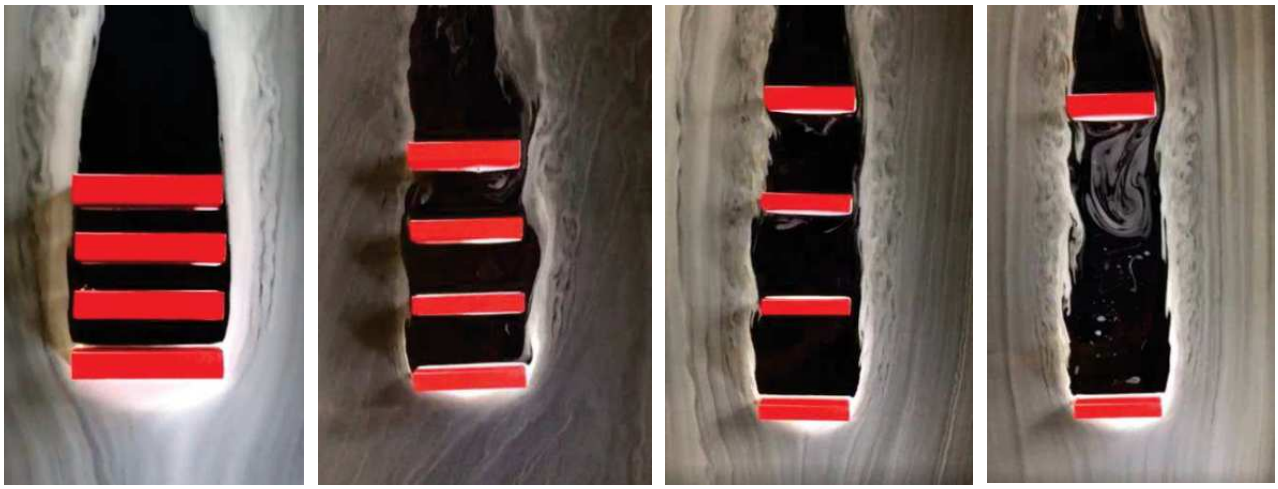


Figura 8 – Formação de vórtices.

As Figuras 9 e 10 apresentam, em planta e corte, respectivamente, outras possibilidades de configurações urbanas, com edifícios com a mesma dimensão e dispostos alinhados em fileiras, com afastamentos de 1H, 2H, 4H e 6H. Observa-se que, quanto mais próximos os edifícios entre si, menos corrente de ar atinge a região posterior dos edifícios, configurando sombra de vento, representada na mesa d'água pela total ausência de espuma. Nessa configuração genérica, apenas o primeiro edifício, localizado a barlavento, tem a corrente de ar incidindo diretamente em sua fachada, enquanto os edifícios localizados atrás ficam prejudicados do ponto de vista da ventilação natural. Percebe-se que, conforme o distanciamento é aumentado, a ventilação nas regiões posteriores não apresenta melhora significativa, pois a sombra de vento é muito intensa. Sobre esses resultados, diversas referências discutem sobre as recomendações de projeto. Romero (2007 *apud* SALES, 2016) e Silva (2013 *apud* SALES, 2016) indicam que a relação entre dimensão do afastamento e a altura do volume (W/H) esteja entre 1 e 3, destacando: W = H, W = 2H e W = 3H. Outras pesquisas recomendam que, para melhor penetração das brisas, os edifícios estejam separados ou intercalados em gabarito e com distanciamento mínimo de cinco vezes a sua altura (5H) (ROMERO 1988; OLGYAY 1998;

GIVONI 1981; ALUCCI *et al* 1986 *apud* TOLEDO, 2006). Na Figura 9d, nota-se o fluxo de ar já atingindo o edifício posterior, mas ainda com velocidades reduzidas e a formação de vórtices com a recirculação de ar.

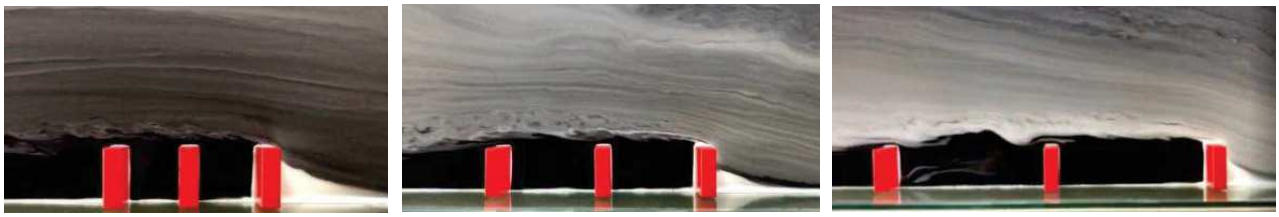
Ademais, comparando-se com a configuração representada na Figura 6, a sombra de vento de edificações mais largas é visivelmente maior: naquela, a penetração dos ventos começa a aparecer ainda com 4H de afastamento; nesta, apenas com 6H. Por outro lado, o posicionamento enfileirado das edificações é crucial para a má ventilação dos edifícios subsequentes e, conforme Olgyay (2015), uma configuração urbana escalonada seria mais vantajosa em ambos os casos.



(a) (b) (c) (d)

Figura 9 – Configurações urbanas de edifícios, com espaçamentos de (a) 1H; (b) 2H, (c) 4H e (d) 6H, respectivamente.

No ensaio em corte, demonstrado pela Figura 10, é evidente a corrente de ar atingindo apenas a primeira edificação e, pelo efeito de separação na cobertura, que gera uma zona de pressão negativa, tem-se a formação de uma grande sombra de vento que impossibilita o alcance da corrente de ar às edificações localizadas na região posterior. Apenas quando o afastamento é de 6 vezes a altura da edificação (H) que se nota o fluxo de ar penetrando levemente na região entre as edificações, mas com recirculação de ar, e também que o efeito esquina continua prejudicando a construção central relação à ventilação por ação dos ventos.



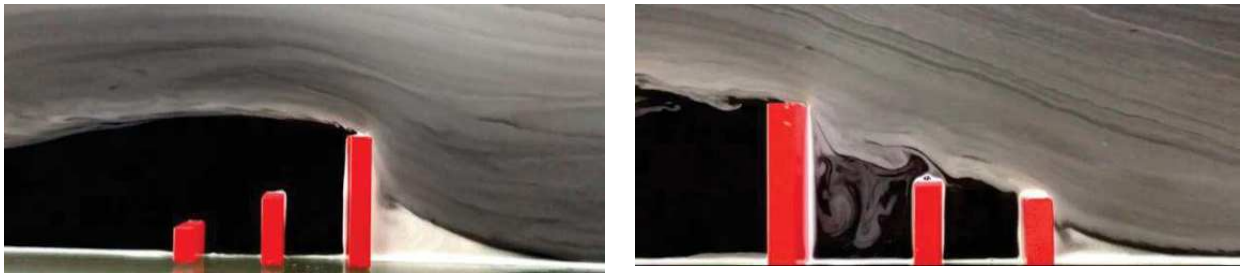
(a) (b) (c)

Figura 10 – Configurações urbanas de edifícios, com espaçamentos de (a) 2H; (b) 4H, (c) e 6H, respectivamente.

A ventilação nos edifícios localizados posteriormente pode ser melhorada por meio do posicionamento correto das edificações a depender de seu gabarito ou pelo uso de pilotis. A Figura 11 demonstra o desempenho do fluxo de ar quando o gabarito da edificação é alterado. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a ventilação natural é indissociável da orientação e da implantação dos edifícios. Como é observado na Figura 11a, tem-se a situação de grande parte das orlas do nosso país, cujos edifícios com maior gabarito são localizados na região de incidência dos ventos dominantes, prejudicando a ventilação dos seguintes. A implantação inadequada desses edifícios a barlavento, além de prejudicar a ventilação dos ambientes internos de cada unidade, contribui com o fenômeno conhecido como ilha de calor: os maciços edificados, ao barrarem e canalizarem os ventos, provocam alterações microclimáticas no meio urbano (ROMERO *et al*, 2019). Quanto mais alta a barreira, maior será a sombra de vento produzida, atrapalhando a circulação de ar para outros edifícios localizados posteriormente.

Quando a situação é invertida, posicionando-se os edifícios com maior gabarito na região posterior, há maior incidência dos ventos nos edifícios a sotavento e nota-se penetração do fluxo de ar entre as edificações, especialmente quando a diferença de altura entre elas é maior, uma vez que o fluxo laminar de vento é barrado pelo edifício posterior. Por sua vez, se a variação de gabarito entre a construção a barlavento

e a sequente é pouca – a Figura 11b demonstra diferença de 3H –, a penetração da ventilação não é significativa, pois é prejudicada pelo efeito de borda do primeiro. Se as edificações forem implantadas adequadamente, a ventilação será mais eficiente, pois a renovação do ar interno – com a dispersão de impurezas presentes no ar e a manutenção de níveis de oxigênio aceitáveis – e o resfriamento do ambiente tornam-se mais constantes.



(a) (b)

Figura 11 – Configurações urbanas de edifícios, com alteração no gabarito das edificações (a) edifícios mais altos na região a barlavento e (b) edifícios mais altos a sotavento.

A Figura 12 apresenta o desempenho do fluxo de ar para edifícios alinhados sem pilotis e com pilotis. Essa estratégia projetual pode ser utilizada para incrementar a velocidade dos ventos no interior dos ambientes, pois a elevação das aberturas de entrada de ar proporciona uma captação do vento com velocidades acima daquelas encontradas no pavimento térreo. Além disso, por possibilitar movimento dos ventos das zonas de sobrepressão para as de subpressão (efeito de pilotis), auxilia na ventilação das edificações localizadas a sotavento dos pilotis, permitindo a passagem dos ventos na altura dos usuários, o que proporciona trocas de calor por convecção com os corpos e efeito refrescante pela evaporação do suor (ASHLEY; SHERMAN 1984; GIVONI 1991 *apud* BITTENCOURT; CÂNDIDO 2010). Em arranjos construtivos densos, em novas implantações em locais já edificados e em orlas, esse dispositivo pode ser interessante para permitir maior porosidade aos ventos dominantes, além de possibilitar a utilização dos espaços sombreados pela edificação para o desenvolvimento de atividades.



(a) (b)

Figura 12 – Configurações urbanas de edifícios (a) edifícios sem pilotis e (b) com pilotis.

5. CONCLUSÕES

A mesa d'água demonstrou-se uma ferramenta útil para análise qualitativa de diversas configurações edificadas em relação aos conceitos básicos de ventilação natural em meio urbano, de modo que pode orientar a tomada de decisões ao longo do processo projetual. Um projeto, seja arquitetônico ou urbano, deve se preocupar com a ventilação natural, uma vez que a estratégia é capaz de proporcionar a renovação do ar de um espaço e o fluxo do ar sobre as pessoas, sendo fundamental para o alcance do conforto térmico. Como o conceito de ventilação natural é considerado complexo por alunos e profissionais, especialmente por exigir conhecimentos específicos e ser invisível, o contato com uma ferramenta que permite a visualização do fenômeno de escoamento do ar auxilia a compressão do tema durante o ensino de conforto ambiental, visando a formação de arquitetos e urbanistas atentos ao uso da estratégia bioclimática. Ademais, a mesa d'água apresenta resultados visuais correlacionados à literatura para modelos simples, e pode ser usada durante as primeiras etapas da concepção de um projeto, como escolhas de implantação e afastamento em relação ao entorno que tornem o ambiente urbano e os ambientes internos das edificações mais agradáveis para os ocupantes.

Verifica-se também a facilidade de operação e o baixo custo do equipamento, se comparado às simulações por CFD ou túneis de vento, incompatíveis com a realidade de muitas universidades no Brasil. A mesa d'água é uma alternativa para visualizar a ventilação natural por ação dos ventos em maquetes, sendo

uma ferramenta capaz de balizar decisões projetuais com confiabilidade. Por fim, o uso de modelos físicos reduzidos na mesa d'água representa outro facilitador do equipamento, visto que este permite ensaios e comparações entre variadas disposições e aqueles estão presentes no dia-a-dia de graduandos e arquitetos. O estudo também contribuiu com a definição e a confecção de diversos modelos genéricos para ensaios de variadas composições urbanas que poderão ser utilizados em disciplinas de projeto e conforto ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOCA, C.; CHEN, Q.; GLICKSMAN, L. R. Design analysis of single-sided natural ventilation. **Energy and Buildings**, London, v. 35, n. 8, p. 785-795, set. 2003. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/S0378-7788(02)00239-6.

ANDERSEN, A.; BJERRE, M.; CHEN, Z. D.; HEISELBERG, Per; LI, Y. Experimental Study of Wind-Opposed Buoyancy-Driven Natural Ventilation. **Dept. of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg University**, Aalborg, Indoor Environmental Engineering, v. R0037, n. 114, 2000. ISSN 1395-7953.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Ventilação Natural em Edificações**. Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA, 2010.

CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L.; DEAR, R. Aplicabilidade dos Limites de Velocidade do Ar Para Efeito de Conforto Térmico em Climas Quentes e Úmidos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 59-68, out./dez. 2010.

CHVATAL, K. M. S. **A prática do projeto arquitetônico em Campinas, SP e diretrizes para o projeto de edificações adequadas ao clima**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

DE GIDS, W. F. **Barriers to Natural Ventilation Design of Office Buildings**: National Report: The Netherlands. Países Baixos: NatVent, 1998. Disponível em: https://projects.bre.co.uk/natvent/index.html. Acesso em: 24 jun. 2021.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2. ed. Londres: Applied Science Publisher, 1976.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; LABAKI, L. C.; PINA, S. M. G.; BERTOLLI, S. R. A Visualização do Conforto Ambiental no Projeto Arquitetônico. *In*: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO E QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis, 1998. p. 371-379.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

LAWSON, B. **Como Arquitetos e Designers Pensam**. Tradução: Doris C. C. K. Kowaltowski. 1. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2011. Título original: How designers think: the design process demystified.

LUKIANTCHUKI, M. A.; CARAM, R. M.; LABAKI, L. C. A arquitetura bioclimática e a obra de João Filgueiras Lima (Lelé). *In*: KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; MOREIRA, D. de C.; PETRECHE, J. R. D.; FABRÍCIO, M. M. (ed.). **O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2011. p. 323-348.

MEDSHINGE, T.; VAIDYA, P.; ROYAN, M. A study on the effectiveness of wind induced natural ventilation and shading analysis on a residential apartment typology. *In*: IBPSA International Conference and Exhibition, 16, 2019, Roma. ***Proceedings*** […]. Roma: IBPSA, 2019. p. 680-687. DOI 10.26868/25222708.2019.210660.

MUNDHE, P.; DAMLE, R. M.; VAIDYA, P.; APTE, M. G. Quantification of Airflow Patterns in a Naturally Ventilated Building Simulated in a Water Table Apparatus. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE (PLEA), 34., 2018, Hong Kong. **Proceedings** […]. Hong Kong: Chinese University of Hong Kong, v. 1, 2018. p. 19-24. Disponível em: http://web5.arch.cuhk.edu.hk/server1/staff1/edward/www/plea2018/home.html. Acesso em: 24 jun. 2021. ISBN 978-962-8272-36-5.

OLGYAY, V. **Design with Climate**: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton: Princeton University Press, 2015.

PRATA-SHIMOMURA, A. R.; FROTA, A. B.; CELANI, G. Modelos físicos na análise de ventilação urbana: o uso do túnel de vento. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, jan/jun, 2010.

ROMERO, M. A. B.; BAPTISTA, G. M. de M.; LIMA, E. A. de; WERNECK, D. R.; VIANNA, E. O.; SALES, G. de L. **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas**. 1. ed. Brasília: Editora ETB, 2019.

ROSSI, M. M.; VALE, F. I.; SHIMOMURA, A. R. P.; CHVATAL, K. M. S. A mesa d'água como ferramenta de apoio para a caracterização de um modelo genérico a ser ensaiado em túnel de vento. **Revista IPT | Tecnologia e Inovação**, São Paulo, v. 3, n. 10, p. 70-80, abr. 2019. Disponível em: http://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/article/view/83. Acesso em: 8 jun. 2020.

ROYAN, M.; VAIDYA, P. Construction, validation and testing of a water table for natural ventilation analysis. **Energy and Buildings**, v. 226, n. 1, nov. 2020. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2020.110356

ROYAN, M. E.; VAIDYA, P.; MUNDHE, P. Teaching Natural Ventilation Using Water Table Apparatus: A Classroom Teaching, Simulation and Design Tool. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE (PLEA), 34., 2018, Hong Kong. **Proceedings** […]. Hong Kong: Chinese University of Hong Kong, v. 2, 2018. p. 898-903. Disponível em: http://web5.arch.cuhk.edu.hk/server1/staff1/edward/www/plea2018/home.html. Acesso em: 24 jun. 2021. ISBN 978-962-8272-36-5.

SALES, G. de L. **Diagrama de Ventilação Natural**: Ferramenta de Análise do Potencial da Ventilação Natural no Estudo Preliminar de Projeto. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SILVA, J. L. A.; SALAZAR, L. L. A mesa d'água como método de análise e entendimento para os conceitos de ventilação natural. *In*: SIMPÓSIO DE PESSOAS, ARQUITETURA E CIDADE, 4., 2019, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: Even3, 2019. Disponível em: https://www.even3.com.br/anais/artigos_ivsimpac/212479-a-mesa-dagua-como-metodo-de-analise-e-entendimento-para-os-conceitos-de-ventilacao-natural/. Acesso em: 8 jun. 2020.

TOLEDO, A. **Avaliação do desempenho da ventilação natural pela ação do vento em apartamentos**: uma aplicação em Maceió/AL. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TOLEDO, A.; PEREIRA, F. Natural ventilation due to wind action: practice knowledge against experimental airflow visualization. *In*: International Conference ‘‘Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment, Santorini, Greece, 2005, pp. 1009–1014.

TOLEDO, A.; PEREIRA, F. O potencial da mesa d’água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios. *In*: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, 2003, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: ANTAC, 2003. p. 1383-1390.