ANÁLISE DA VENTILAÇÃO NATURAL EM SALAS DE AULA DE UM CENTRO MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO INFANTIL: USO DE MODELOS FÍSICOS REDUZIDOS

Amanda Karoline Santana Cassula (PIC/CNPq/UEM), João Gabriel Sass (PIC/CNPq/UEM), Beatriz Arantes Martinez (Co-orientadora) Email: bamartinez2@uem.br, Marieli Azoia Lukiantchuki (Orientadora). E-mail: malukiantchuki2@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Arquitetura e Urbanismo – Tecnologia de Arquitetura e Urbanismo

Palavras-chave: Ventilação natural; Salas de aula; Modelos físicos reduzidos.

RESUMO

A ventilação natural é estratégia eficiente para o condicionamento térmico passivo, especialmente em ambientes com alta densidade ocupacional, como salas de aula. O objetivo da pesquisa foi analisar qualitativamente o desempenho da ventilação natural em salas de aula. O método baseou-se na caracterização climática, análise projetual e experimentos qualitativos com modelo físico reduzido simplificado e na mesa d´água. Os resultados indicaram que a configuração das aberturas influenciou a distribuição do fluxo de ar, e que os ensaios realizados por duas ferramentas foram complementares para sua compreensão. O estudo reforçou o uso de modelos físicos como ferramentas de apoio à análise e à compreensão de um fenômeno invisível de difícil representação gráfica, evidenciando seu potencial de aplicação didática.

INTRODUÇÃO

A ventilação natural é uma estratégia passiva para o alcance do conforto térmico dos usuários e para melhorar a qualidade do ar interno (Givoni, 1976). No Brasil, a ventilação natural tem se mostrado uma solução aplicável, sendo que o seu controle e/ou incremento pode ser feito por meio do projeto, buscando sua adequação a diferentes regiões (Lamberts *et al.,* 2014). Além disso, a ventilação está altamente associada à qualidade do ar e à saúde humana. A consideração dessa estratégia torna-se indispensável desde a concepção de projeto. No entanto, a sua incorporação ao projeto é complexa devido à dificuldade de representação e compreensão visual (Kowaltowski *et al.,* 1998). Desta forma, o uso de modelos físicos reduzidos pode atuar como ferramenta didática e de apoio ao processo projetual aproximando o conceito teórico da experimentação prática e possibilitando a visualização desse fenômeno. Tendo em vista a difundida importância da ventilação natural para a renovação do ar em ambientes escolares e sua contribuição para a qualidade do ambiente interno, a presente pesquisa objetivou

analisar qualitativamente seu desempenho em salas de aula do CMEI Dilce de Lima Ramalho.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método da pesquisa é composto pela caracterização climática e bioclimática da cidade de Maringá através da análise dos dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2018), pela plataforma digital ProjetEEE (2018) e pelo *software* Climate Consultant 6.0 (2021). Posteriormente, realizou-se a caracterização do objeto de estudo, o CMEI Professora Dilce de Lima Ramalho, cujo projeto foi desenvolvido pelo escritório de arquitetura Verri & Galvão. A escolha por analisar este edifício foi devido ao seu projeto de arquitetura diferenciado, em relação as edificações padrões. Nesta edificação, a análise foi direcionada para as salas de aula situadas no segundo pavimento do edifício. A escolha desses ambientes baseou-se nos seguintes critérios: alta densidade ocupacional e elevado tempo de permanência dos usuários (nos períodos matutino e vespertino); configuração das aberturas que possibilita ventilação natural cruzada; e adoção de estratégias passivas, como dispositivos de sombreamento. Para a construção dos modelos físicos, foram realizadas a planificação e a modelagem tridimensional no AutoCAD e no SketchUp, respectivamente, considerando a possibilidade de diferentes configurações das aberturas. A partir desses arquivos, foi produzido um modelo físico simplificado em escala reduzida, confeccionado em acrílico com aberturas flexíveis, permitindo o fechamento das janelas por meio de ímãs, de acordo com as configurações avaliadas. Os brises, também ajustáveis, possibilitam a variação de sua distância em relação às aberturas. Em cada abertura foi colocado um plástico colorido, simulando uma cortina, para a visualização da trajetória do fluxo de ar durante os ensaios realizados com apoio de um ventilador. As salas foram analisadas em seis configurações: 1) todas as janelas abertas (barlavento e sotavento) e porta de acesso fechada; 2) todas as janelas abertas (barlavento e sotavento), com uso de brise na janela superior e porta de acesso fechada; 3) todas as janelas abertas (barlavento e sotavento) e porta de acesso aberta; 4) todas as janelas abertas (barlavento e sotavento), com uso de brise na janela superior e porta de acesso aberta; 5) apenas a janela a barlavento aberta, com janela a sotavento e porta de acesso fechadas; 6) apenas a janela a barlavento aberta, com janela a sotavento fechada e porta de acesso aberta. Para a execução dos ensaios simplificados foi utilizado um ventilador de diâmetro maior que a dimensão lateral da maquete, para simular o efeito do vento tangenciando as faces laterais do edifício. O modelo foi posicionado com sua face menor voltada para o ventilador, localizado a 0,50 m da maquete. Posteriormente, modelos físicos em escala reduzida foram construídos em corte através da impressão 3D para a realização de experimentos na mesa d´água com o objetivo de analisar o fluxo de ar e comparar os resultados com o modelo simplificado. Os ensaios foram registrados por meio de fotografias e vídeos e analisados qualitativamente e de forma comparativa, considerando a trajetória e a distribuição do fluxo de ar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise objetivou verificar o desempenho qualitativo da ventilação natural nos ambientes selecionados a partir de diferentes disposições das aberturas. Para a comparação entre as ferramentas, foram consideradas configurações equivalentes das aberturas, observando-se a trajetória do fluxo de ar no interior das salas. No modelo simplificado, considerando as diferentes configurações analisadas, notou-se que a configuração das aberturas influenciou diretamente o desempenho da ventilação natural. A posição, a orientação e a diferença de altura entre as aberturas favoreceram a ocorrência de ventilação cruzada nas salas analisadas. Entretanto, considerando a situação atual dos ambientes, em que a abertura superior tem seu funcionamento comprometido pela má execução dos brises, a ventilação cruzada depende da abertura das portas de acesso para funcionar de maneira efetiva. No entanto, por se tratar de ambientes de ensino, as portas permanecem fechadas em função dos ruídos externos, o que prejudica a continuidade do fluxo de ar entre os ambientes, comprometendo a ventilação natural da sala à sotavento (Figura 1).

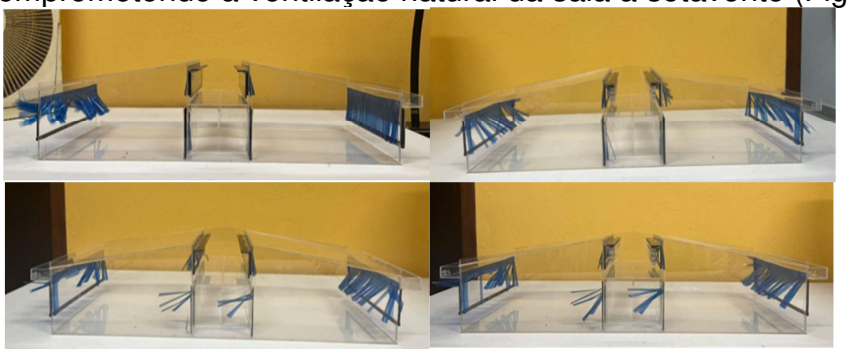


Figura 1 – Ensaios dos Modelo Físico em escala reduzida: (a) janelas inferiores abertas; (b) janelas abertas e portas de acesso fechadas; (c) portas de acesso e janelas inferiores abertas; (d) janelas e portas de acesso abertas.

Já os ensaios realizados em corte na mesa d'água (Figura 2) permitiram visualizar de forma mais detalhada o comportamento do fluxo de ar no interior dos ambientes nas diferentes configurações analisadas no modelo físico simplificado. Na situação em que as portas e a abertura superior da sala a barlavento permaneceram fechadas, ficou evidente uma grande concentração de espuma junto à parede paralela à abertura de entrada do ar, caracterizando uma região de baixa circulação do fluxo de ar. Na situação ideal, prevista em projeto pelos arquitetos, a passagem do fluxo de ar ocorreria de forma efetiva entre as duas salas. Entretanto, apesar da passagem de ar pelas duas salas, nessa situação verificou-se que a sala a barlavento apresentou melhores condições de ventilação ao nível do usuário em comparação à sala a sotavento. Nesta situação a abertura superior funcionou como entrada do fluxo de ar e a inferior como saída, configuração que resultou na formação de uma sombra de vento ao nível do usuário. Já quando a porta foi aberta, o conjunto funcionou de forma mais eficiente, intensificando a passagem contínua do ar e reduzindo a formação de zonas de sombra de vento, com exceção da região do peitoril da abertura inferior da sala a barlavento. As duas ferramentas apresentam resultados coerentes e complementares, proporcionando uma análise qualitativa

mais abrangente do comportamento do fluxo de ar nos espaços internos. Os resultados reforçaram que o desempenho da ventilação natural depende da articulação entre concepção, execução e uso.

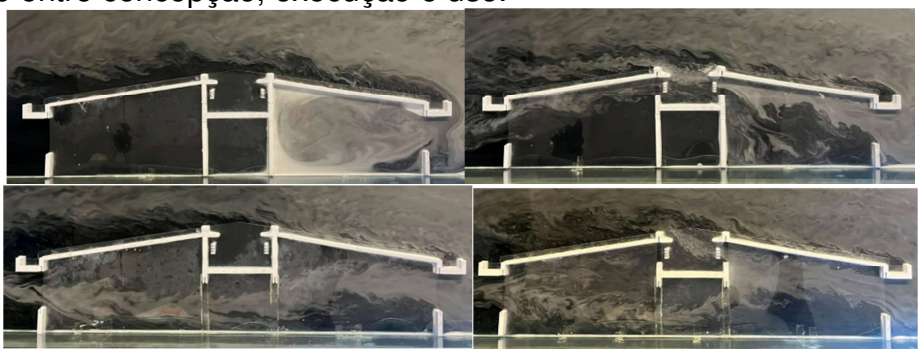


Figura 2 – Ensaios em mesa d'água (a) janelas abertas; (b) janelas abertas e portas de acesso fechadas; (c) portas de acesso e janelas abertas; (d) janelas e portas de acesso abertas.

CONCLUSÕES

Os ensaios permitiram analisar qualitativamente o comportamento da ventilação natural nas salas de aula, evidenciando a influência das aberturas na distribuição do fluxo de ar. Ambos os modelos apresentaram resultados semelhantes, com a mesa d 'água proporcionando visualização mais detalhada da trajetória do ar. Ficou evidente que a alteração na localização dos brises na execução comprometeu a solução prevista no projeto, tornando a abertura das portas importante para a continuidade do fluxo de ar entre os ambientes. Os modelos mostraram-se ferramentas relevantes para o estudo da ventilação natural.

REFERÊNCIAS

GIVONI, B. Man, **Climate and Architecture**. London: Applied Science Publishers, 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** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 1998. p. 371-379.

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

LABEEE. **Arquivos climáticos INMET 2016**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 16 de maio de 2022. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016. Acesso em: mar. 2026.

PROJETEEE. **Projetando edificações energeticamente eficientes**. Disponível em: https://projeteee.mme.gov.br. Acesso em: mar. 2026.