



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS EM CFD DE JANELAS ACÚSTICAS COM ABERTURAS PARA VENTILAÇÃO NATURAL¹

COUTINHO, Laís de Gusmão (1); SHIMOMURA, Alessandra Rodrigues Prata (2);
MICHALSKI, Ranny Loureiro Xavier Nascimento (3); NAZARETH, Samuel
Bertrand Melo (4)

(1) Universidade de São Paulo, lais.gusmao@usp.br

(2) Universidade de São Paulo, arprata@usp.br

(3) Universidade de São Paulo, rannym@usp.br

(4) Universidade Presbiteriana Mackenzie, samuel.nazareth@outlook.com

RESUMO

O presente trabalho avalia os fluxos de vento de janelas com tratamento acústico e abertas para o aproveitamento da ventilação natural. Essa análise é realizada através de simulação computacional em modelo CFD (Dinâmica dos Fluidos Computacional), utilizando o software ANSYS CFX. Ao final, são comparados os resultados quantitativos e qualitativos obtidos nas simulações com as análises acústicas realizadas nas janelas. Enfatiza-se a possibilidade de se obter ventilação natural adequada e controle de ruídos de forma conjunta e equilibrada, contribuindo para a melhoria da eficiência energética nas edificações, bem como para a qualidade ambiental interna. Após análises quantitativas e qualitativas dos resultados obtidos com as simulações em CFD, conclui-se que é possível aliar aspectos de ventilação natural e de acústica.

Palavras-chave: Ventilação Natural. Controle de Ruído. Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD).

ABSTRACT

The present work evaluates the wind flows of windows with acoustic treatment and open to natural ventilation. This analysis is performed through computational simulation in a Computational Fluid Dynamics (CFD) model, using the ANSYS CFX software. At the end, the quantitative and qualitative results obtained in the simulations are compared with the acoustic analysis of these windows. The possibility of obtaining adequate natural ventilation and noise control in a joint and balanced way is emphasized, contributing to the energy efficiency improvement in buildings, as well as to the internal environmental quality. After quantitative and qualitative analysis of the results obtained in the CFD simulations, it is concluded that it is possible to combine aspects of natural ventilation and acoustics.

Keywords: Natural Ventilation. Noise Control. Computational Fluid Dynamics (CFD).

¹ COUTINHO, Laís de Gusmão; SHIMOMURA, Alessandra Rodrigues Prata; MICHALSKI, Ranny Loureiro Xavier Nascimento; NAZARETH, Samuel Bertrand Melo. Simulações Computacionais em CFD de Janelas Acústicas com Aberturas para Ventilação Natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a ventilação natural se configura como a estratégia bioclimática mais eficiente para prover conforto térmico nos espaços arquitetônicos localizados em clima predominantemente quente e úmido como no Brasil. Apesar das vantagens oferecidas pela ventilação natural, Bittencourt e Cândido (2010) evidenciam que uma das maiores fontes de desperdício em regiões de climas tropicais resulta da utilização de sistemas de ar condicionado em edificações que poderiam ser naturalmente ventiladas.

Por outro lado, ao abrir a janela para a ventilação natural, um problema relacionado à entrada de ruídos é criado. Assim, a necessidade de um desenvolvimento sustentável traz a importância da aplicação de tecnologias voltadas para melhorar as condições acústicas de edifícios naturalmente ventilados.

A envoltória da edificação protege o ambiente interno e influencia diretamente na qualidade ambiental interna, englobando o conforto térmico, o conforto acústico, a iluminação e a ventilação. SALIS *et al.* (2001) enfatizam que o ideal para qualquer construção é tratar sua envoltória. Diante disso, os projetistas devem conciliar e compatibilizar os diferentes aspectos envolvidos. Uma alternativa é buscar uma relação ótima entre os elementos de fachada menos isolantes e os mais isolantes acusticamente, utilizando sistemas ou dispositivos que permitam a passagem da ventilação natural ao mesmo tempo em que bloqueiem os ruídos externos (PATRÍCIO, 2018).

Diferentes pesquisadores, sobretudo da Europa e da Ásia, têm produzido estudos com o intuito de desenvolver sistemas ou dispositivos capazes de equilibrar o uso de ventilação natural com o controle de ruídos. Alguns deles são: janelas com vidro duplo (TONG *et al.*, 2015; LI *et al.*, 2019) e com metassuperfícies (YU, 2019), fachadas duplas (BAJRAKTARI *et al.*, 2015), peitoris ventilados (OITICICA, 2010) e sacadas (LO *et al.*, 2014). Entretanto, identificou-se na literatura uma forte tendência a se avaliar preferencialmente a questão acústica, colocando a ventilação natural para um segundo plano e, em muitos casos, esta variável nem é considerada.

Portanto, o presente trabalho objetiva avaliar os fluxos de ventos, através do *software* ANSYS CFX, proporcionados por um sistema muito estudado nos últimos anos, as janelas com vidro duplo e uma câmara entre esses vidros (denominadas em inglês, de *plenum windows*). Como referência, foi selecionado um artigo atual (LI *et al.*, 2019), no qual foram testadas acusticamente 14 configurações de *plenum windows*, com e sem inclusão de material de absorção acústica na moldura interna da janela.

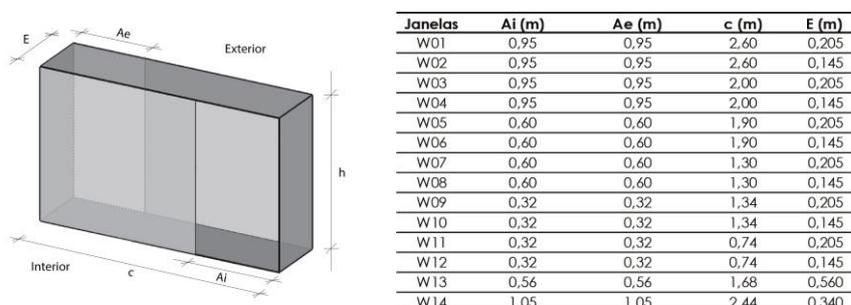
2 METODOLOGIA

O trabalho consistiu no estudo e simulação para avaliar a ventilação natural de 14 janelas desenvolvidas por Li *et al.* (2019). A Figura 1 apresenta a estrutura e as dimensões das janelas. O *software* ANSYS CFX destina-se à simulação de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) e foi utilizada a versão 15.0. As janelas foram inseridas em um modelo genérico, com base de dimensões 3,00 m x 3,00 m e 2,70 m de altura (ACCIOLY *et al.*, 2016) e a simulação foi realizada em etapas organizadas na plataforma *Workbench*, presente no *software*.

Cada janela foi simulada para ventilação natural em quatro cenários distintos: sem rugosidade e com rugosidades de 5 mm, 15 mm e 25 mm, sendo estas rugosidades

inseridas na moldura interna da estrutura da janela. Após revisão bibliográfica, não foram encontrados dados técnicos acerca da influência gerada pela rugosidade de materiais de absorção acústica na passagem da ventilação natural. Dessa forma, com as três rugosidades inseridas, objetiva-se avaliar se este material proporciona impacto significativo nos fluxos de vento dentro do ambiente.

Figura 1 – Estrutura e dimensões das janelas desenvolvidas por Li *et al.* (2019).



Fonte: Li *et al.* (2019), adaptado pelos autores.

A metodologia utilizada na pesquisa abrange cinco etapas. A primeira é a modelagem da geometria (I), seguida da geração da malha e da definição das *parts* (II). Na etapa seguinte são determinadas as condições iniciais (III) para que a simulação seja realizada (IV) e os resultados visualizados (V). Ao final, os resultados de ventilação natural foram analisados e comparados com os resultados de perda de transmissão sonora apresentados por Li *et al.* (2019).

2.1 Modelagem da geometria

Esta etapa compreende a modelagem do que se pretende simular (Figura 2) e do domínio por onde o fluido irá passar. Apesar do ANSYS CFX possuir um módulo para o desenho do modelo, a geometria foi desenvolvida na plataforma Rhinoceros, devido à facilidade de trabalhar o modelo em 3 dimensões neste programa, e em seguida importada para o ANSYS CFX.

Para a janela, foram respeitadas todas as dimensões testadas por Li *et al.* (2019), inserindo-se, ainda, um caixilho de 3 cm. Esta geometria foi colocada dentro do modelo genérico e duplicada para a face oposta desse cubo. Posteriormente, foi gerado um domínio retangular, respeitando as sugestões de dimensões feitas por Cost (2004). Como o intuito é a análise de apenas uma direção de vento incidente, utilizou-se um domínio retangular, diminuindo o número de elementos, o que facilitou a geração das malhas (LEITE, 2015).

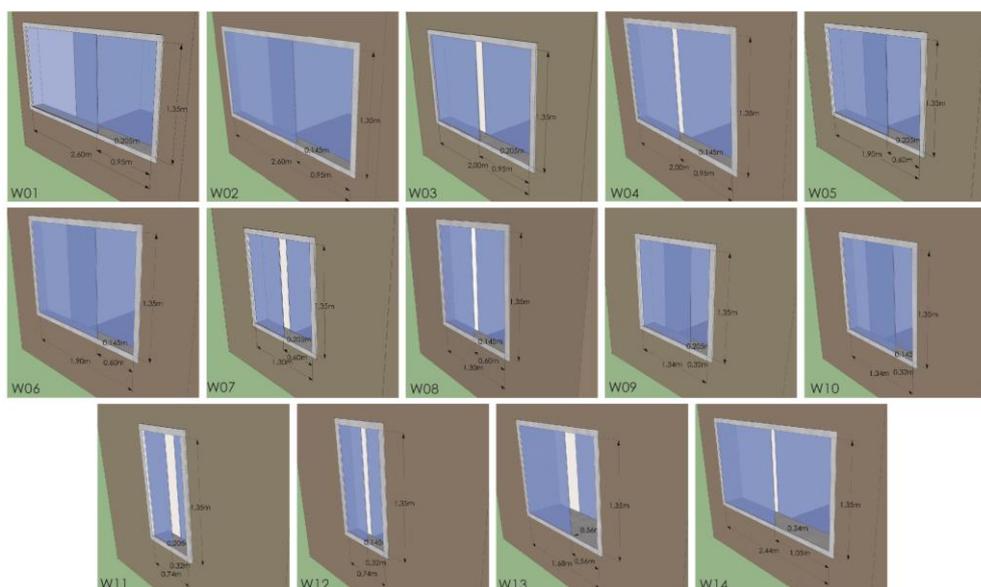
2.2 Definição das *parts* e geração da malha

Após a importação do modelo para dentro da plataforma *Workbench* foram definidas as *parts* do modelo. De acordo com Luckiantchuki (2015), as superfícies que forem receber o mesmo tratamento na definição das condições iniciais devem ser agrupadas em *parts*. Dessa forma, foram definidas as seguintes *parts*: *INLET*, face do domínio por onde o fluido entra; *OUTLET*, face do domínio por onde o fluido sai; e *ROUGHIN*, moldura interna da janela de entrada do vento.

Já a malha representa os obstáculos presentes na geometria e no entorno, sendo a divisão do modelo em partes menores (LEITE, 2015). Neste estudo, foram geradas

malhas desestruturadas compostas, em sua maioria, por tetraedros. No entorno das geometrias, foram inseridos elementos prismáticos, em cinco camadas, para se entender o impacto do desprendimento da camada limite.

Figura 2 – Geometrias e dimensões das 14 janelas modeladas.



Fonte: Os autores.

Também foi realizado o teste de independência da malha das cinco primeiras janelas (de W01 a W05), que significa simular o mesmo elemento, inicialmente com uma malha mais grosseira e depois esta malha vai sendo refinada até que se atinja uma invariabilidade dos resultados (LUKIANCHUKI, 2015). Como explica Leite (2015), este teste objetiva atribuir malhas adequadas às simulações, sem que isso signifique uma quantidade exagerada de elementos e de tempo de processamento.

Devido à simplicidade das formas, optou-se por utilizar o nível mais alto de refinamento da malha testado, com o parâmetro *Relevance* igual a 80, o *Relevance Center* em *Fine* e o *Num Cells Across Gap* igual a 7 (Figura 3A). Assim, objetivou-se garantir uma boa confiabilidade dos resultados para todas as janelas e a possibilidade de compará-las.

2.3 Determinação das condições iniciais

Neste terceiro módulo do ANSYS CFX, foram introduzidas informações sobre a entrada e a saída do vento que passa pelo domínio. Dessa forma, definiu-se que a *part INLET* seria um *boundary* de *inlet*², inserindo-se um vento de velocidade fixa de 2 m/s. Na *part OUTLET* foi definido um *boundary* de *outlet*³, com uma pressão nula (0 Pa), para que os ventos escoassem na direção desejada e pudesse ser avaliada a passagem deles pelas janelas e pelo ambiente criado (Figura 3B). Para o segundo, terceiro e quarto cenários também foram inseridas as informações de rugosidade, na *part* denominada *ROUGHIN*, onde foi colocado um *boundary* de *wall* e, assim,

² O termo *inlet* representa a condição inicial referente à fronteira pela qual o fluido entra no domínio – barlavento (LUKIANCHUKI, 2015).

³ O termo *outlet* representa a condição inicial referente à fronteira pela qual o fluido sai do domínio – sotavento (LUKIANCHUKI, 2015).

modificada a sua rugosidade, de 5 mm, 15 mm e 25 mm, dependendo do cenário.

Nesta etapa, também foram fornecidas informações para o controle da simulação, como o intervalo de tempo, o número máximo de iterações e o critério de convergência a ser utilizado para a solução do modelo. Sendo assim, foi indicado um máximo de 400 iterações e um nível de resíduos igual a 10^{-4} e, visto que, segundo Lukiantchuki (2015), convergências acima de 10^{-4} e são superficiais e pouco confiáveis.

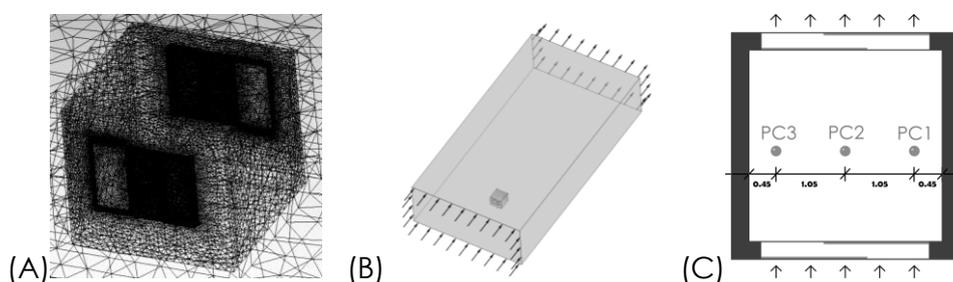
2.4 Simulação

Para a simulação, foram utilizados 4 núcleos do processador da máquina, onde as cinco primeiras janelas foram simuladas cinco vezes (teste de independência da malha) e as janelas restantes foram simuladas apenas uma. Todas apresentaram gráficos de momento e massa estáveis e alcançaram o nível de resíduos pretendido antes de chegar a 400 iterações.

2.5 Visualização dos resultados

Para visualizar os resultados de forma quantitativa, três pontos de controle, equidistantes entre si e colocados a 0,45 m das paredes no eixo central do ambiente, na altura de 1,5 m, foram avaliados quanto à velocidade do ar (m/s). A Figura 3C ilustra os três pontos de controle (PC1, PC2 e PC3). Além disso, foi inserido um plano horizontal na mesma altura para a visualização qualitativa das simulações.

Figura 3 – (A) Malha gerada; (B) Domínio com direção do vento; (C) Planta do modelo com os pontos de controle.



Fonte: Os autores.

3 RESULTADOS

Com os resultados qualitativos provenientes das simulações (Figura 4), foi possível perceber que o vento tende a entrar no ambiente de forma diagonal, contornando a parede da esquerda e gerando uma zona de baixa velocidade de vento no centro do ambiente. O tamanho desta zona varia dependendo da janela analisada.

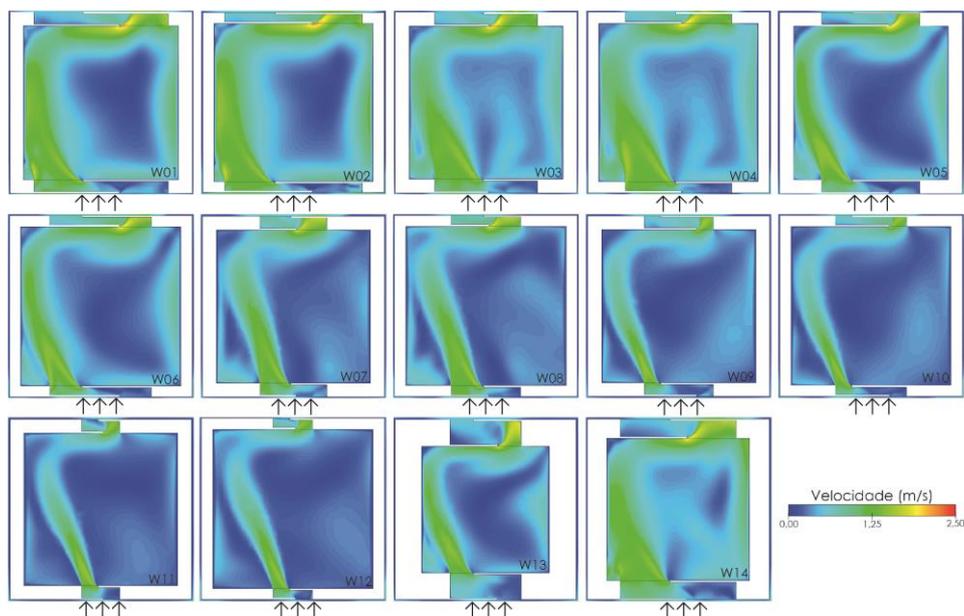
Como esperado, aberturas maiores geraram resultados melhores nos fluxos de vento, verificando-se também que, quanto maior é a velocidade com que o vento entra no ambiente, maior é a zona de baixa velocidade de vento e maior é a diferença entre os três pontos de controle. A melhor opção, sob as condições avaliadas, para proporcionar boa distribuição do vento é que não haja uma diferença tão grande nas dimensões de aberturas, comprimento e espessura das janelas, como é possível notar na janela W14, onde há um maior equilíbrio entre estas dimensões, e, de forma mais sutil, nas janelas W01, W02, W03 e W04.

Foram também obtidos resultados interessantes em relação à distribuição de

ventilação no ambiente, quando a abertura interna (A_i) não era muito pequena (0,60 m) e não estava tão próxima às paredes laterais. Neste caso foi constatado que o vento teve uma menor tendência a contornar a parede esquerda, perceptível nas janelas W07 e W08.

As janelas W09, W10, W11 e W12, conforme previsto, devido às dimensões mais reduzidas de suas aberturas (0,32 m), foram as que apresentaram a maior zona de baixa velocidade, o que demonstra uma baixa distribuição de vento proporcionada pelo dispositivo no ambiente.

Figura 4 - Simulações computacionais em CFD das 14 janelas analisadas, considerando a direção do vento de baixo para cima, representada pelas setas.



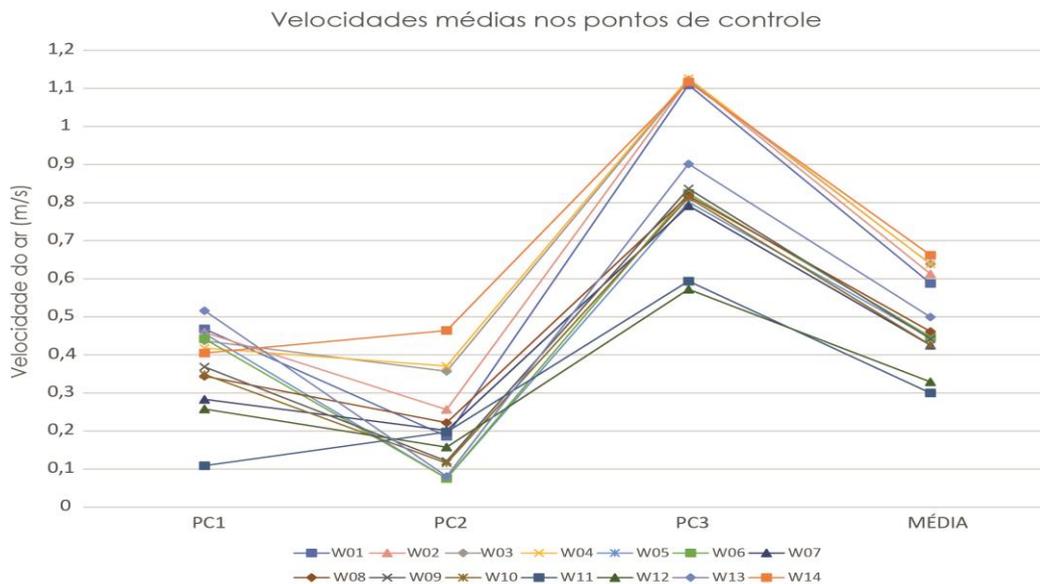
Fonte: Os autores.

Após analisar quantitativamente, concluiu-se que, para estas janelas, as rugosidades aplicadas na moldura interna, na tentativa de simular um material de absorção acústica, não interferiram de forma significativa na ventilação natural. Os cenários com rugosidades de 5, 15 e 25 mm produziram uma diferença média na velocidade do ar de 2,11% quando comparados ao cenário sem rugosidade aplicada.

Nas condições avaliadas e descritas na metodologia, a janela W14 foi a que apresentou melhor desempenho quanto à velocidade e à distribuição do ar, apresentando menor diferença entre os pontos 1 e 2, uma boa ventilação no ponto 3 e a maior média de velocidade do ar dentre todas as janelas analisadas (Gráfico 1). Seguindo a W14, verifica-se que as janelas W01, W02, W03 e W04 também se apresentaram melhores que as demais, avaliando-se a velocidade e a distribuição do vento.

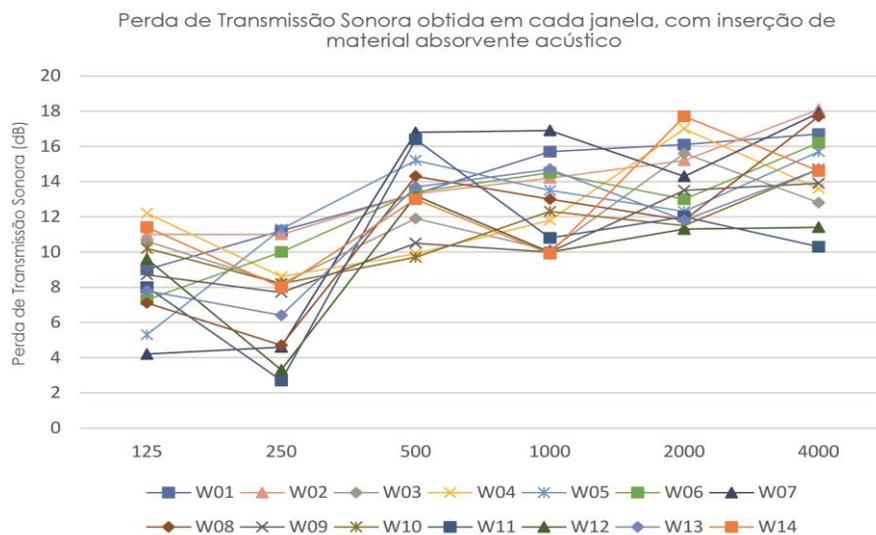
Para comparação entre ventilação natural e acústica, traz-se o Gráfico 2 com os resultados da perda de transmissão sonora obtidos por Li *et al.* (2019) em ensaios laboratoriais acústicos para as 14 janelas, com a inserção de material de absorção acústica. No gráfico, percebe-se, de forma clara, que o dispositivo é mais eficiente nas altas frequências. Além disso, é possível verificar uma média de perda de transmissão maior e mais constante entre as frequências nas janelas W01, W02, W04, W05, W06, W13 e W14, sendo a última (W14), a janela que também apresentou melhor desempenho para a ventilação natural.

Gráfico 1 - Gráfico com as velocidades médias obtidas nos pontos de controle para as simulações de ventilação das 14 janelas, no cenário sem rugosidade



Fonte: Os autores.

Gráfico 2 - Perda de transmissão sonora para as 14 janelas.



Fonte: Li et al. (2019), aptado pelos autores.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram simuladas, em modelo CFD, janelas com aberturas para a passagem de ventilação natural, que já haviam sido testadas acusticamente. Após as análises quantitativa e qualitativa de todos os resultados obtidos nas simulações, conclui-se que é possível aliar os aspectos de ventilação natural e acústica. Apesar de conflitantes, essas variáveis possuem alguns parâmetros que convergem, como o equilíbrio entre as dimensões no caso das janelas testadas (*plenum windows*). Embora sejam necessárias maiores aberturas para um melhor aproveitamento e distribuição dos ventos, a questão acústica pode ser trabalhada com a modificação de outras dimensões e com a inserção de materiais de absorção sonora em pontos estratégicos

do dispositivo.

Outras incidências, velocidades de vento e dimensões do dispositivo ainda precisam ser testadas para resultados mais conclusivos. Dessa forma, poderão ser fornecidas propostas de diretrizes projetuais para diferentes contextos e espaços. É importante também que sejam avaliados maiores valores de rugosidade, já que há uma dificuldade em se encontrar bibliografia específica que embase os valores que foram inseridos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Prof^ª. Dr^ª. Mariele Lukiantchuki, à Prof^ª. Dr^ª. Elcione Moraes e à Prof^ª. Dr^ª. Anésia Barros Frota pelas contribuições feitas durante o exame de qualificação, fundamentais para o prosseguimento da pesquisa de mestrado.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L.; OLIVEIRA, P.; BITTENCOURT, L. A influência da forma de prateleiras de luz na captação e distribuição interna da ventilação natural em um ambiente. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...**São Paulo: ENTAC, 2016, p. 417-427.

ANSYS CFX. Fluids – Computational Fluid Dynamics. ©2020. Disponível em: <<https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-cfx>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

BAJRAKTARI, E.; LECHLEITNER, J.; MAHDAVI, A. Estimating the sound insulation of double facades with openings for natural ventilation. **Energy Procedia**. v. 78, p. 140-145, 2015.

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

COST. European Cooperation in Science and Technology. **Cost Action 14: recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment**. Brussels: COST, 2004.

LEITE, R. C. V. **Cidade, Vento, Energia: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido**. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

LI, Xiaolong *et al.* Empirical prediction of traffic noise transmission loss across plenum windows. **Applied Acoustics**, 151, p. 45-54, 2019.

LO, D.; YIM, S.; LEUNG, K. Design for Noise Mitigation Measures for Public Housing Developments in Hong Kong. In: Inter-noise, Melbourne, 2014. **Anais**.

LUKANTCHUKI, M. A. **Sheds extratores e captadores de ar para indução da ventilação natural em edificações**. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia). Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

OITICICA, M. L. G. da R. **Desempenho acústico de diversas tipologias de peitoris ventilados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. Campinas, 2010.

PATRÍCIO, J. **Acústica nos Edifícios**. 7^ª edição. Editora: Engebook, 2018.

SALIS, M. H. F. de; OLDHAM, D. J.; SHARPLES, S. Noise Control Strategies for Naturally Ventilated Buildings. **Building and Environment**, v. 37, p. 471-484, 2002.

TONG, Y. G. *et al.* Full-scale field study of sound transmission across plenum windows. **Applied Acoustics**. v. 89, p. 244-253, 2015.

YU, Xiang. Design and in-situ measurement of the acoustic performance of a metasurface ventilation window. **Applied Acoustics**, 152, p. 127-132, 2019.