

AVALIAÇÃO DA VENTILAÇÃO NATURAL E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR EM SALAS DE AULA DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19

Palavras-Chave: VENTILAÇÃO NATURAL, SALA DE AULA, COVID-19

Autores/as:

VINICIUS LIMA OLIVEIRA [UNICAMP]

Prof.^a Dr.^a LETICIA DE OLIVEIRA NEVES (orientador/a) [UNICAMP]

INTRODUÇÃO:

As crianças passam a maior parte do seu tempo em ambientes internos, como na sala de aula, e são mais vulneráveis e suscetíveis a poluentes ambientais do que os adultos, pois respiram maior volume de ar em relação aos seus pesos corporais (FAKHOURY, 2017). Alunos e professores são expostos a concentrações constantes de poluentes provenientes do próprio ambiente, devido às ações e liberação de CO₂ pelos ocupantes, aos materiais e ao mobiliário do edifício, que liberam substâncias tóxicas, e agentes biológicos (FERREIRA, 2014). Assim, os efeitos da má qualidade interna das salas de aula podem ter consequências imediatas e a longo prazo, tanto para os alunos, como para a sociedade (FAKHOURY, 2017).

É notável a grande quantidade de estudos sobre o impacto do comportamento do usuário nas edificações voltados para edifícios residenciais e comerciais (O'BRIEN et al., 2020; WAGNER; O'BRIEN, 2018; YAN et al., 2017), faltando estudos focados em edificações escolares (FRANCESCHINI; NEVES, 2020).

No Brasil, a maioria das escolas, principalmente as públicas, possuem salas de aula naturalmente ventiladas, sendo que a ventilação é inadequada na metade das redes estaduais e municipais do país, sendo que as escolas das regiões Norte e Nordeste encontram-se em situação mais desfavorável, considerando a avaliação dos docentes (SALDAÑA; YUKARI, 2021). No estado de São Paulo, apenas 54,6% das escolas apresentam ventilação adequada (SALDAÑA; YUKARI, 2021). Sem investimento em infraestrutura e com número elevado de alunos por turma, muitas escolas apresentam janelas fixas, que não abrem ou não permitem a abertura completa (SALDAÑA; YUKARI, 2021). Assim, o estudo sobre a qualidade do ar e a ventilação natural em salas de aula de edificações escolares no cenário da pandemia de COVID-19 têm o objetivo de trazer informações sobre a operação de janelas e ventiladores para auxiliar na nova realidade e no cotidiano com mais segurança para os alunos e professores.

METODOLOGIA:

Esta é uma pesquisa descritiva baseada em um estudo de caso. Desenvolveu-se em três etapas principais detalhadas a seguir.

Revisão Bibliográfica:

Foi realizada a busca de literaturas que tratassem sobre qualidade do ar interior, ventilação natural e operação de janelas em salas de aula e a disseminação do vírus SARS-CoV-2 em ambientes fechados. Nos resultados, destacam-se estudos internacionais (ALONSO et al., 2021; ASCIONE et al., 2021), que, em comparação com o cenário nacional, possuem climas semelhantes, mas arquitetura escolar com diferenças significativas. No contexto nacional, foram selecionadas pesquisas que utilizaram simulações computacionais para a análise do conforto e do desempenho térmico em escolas (RACKES et al., 2015) e para a análise da qualidade do ar interior em escolas durante a pandemia de COVID-19 (FRANCESCHINI; LIGUORI; NEVES, 2021).

Simulação Computacional:

A Escola Estadual Professora Adriana Cardoso (Vila Esperança), de ensino fundamental I e II, construída e administrada pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE) do estado de São Paulo e localizada na cidade de Campinas, foi selecionada como estudo de caso. A escola possui dez salas de aula, distribuídas em dois pavimentos e com dimensões padrão da FDE (Figura 1).

Para a realização de simulações computacionais, as salas de aula, desenvolvidas como zonas térmicas, corredores, elementos de sombreamento e o entorno imediato da escola foram modeladas no software SketchUp através do *plug-in* Euclid (Figura 2). Após a modelagem, a volumetria com entorno foi enviada no site CpSimulator para a obtenção de coeficiente de pressão (BRE; GIMENEZ, 2022).

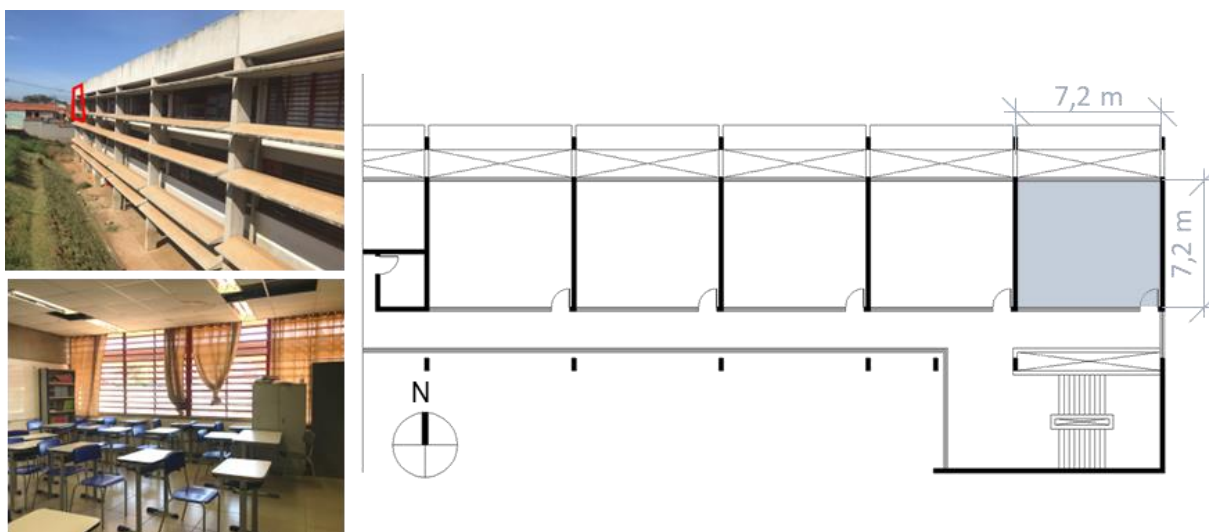


Figura 1: Fachada (à esquerda e acima), sala de aula (à esquerda e abaixo) e seção da planta do pavimento superior (à direita) da escola selecionada para estudo de caso, com destaque para a sala de aula analisada (em azul). Fonte: Paula Brumer Franceschini Kagan.

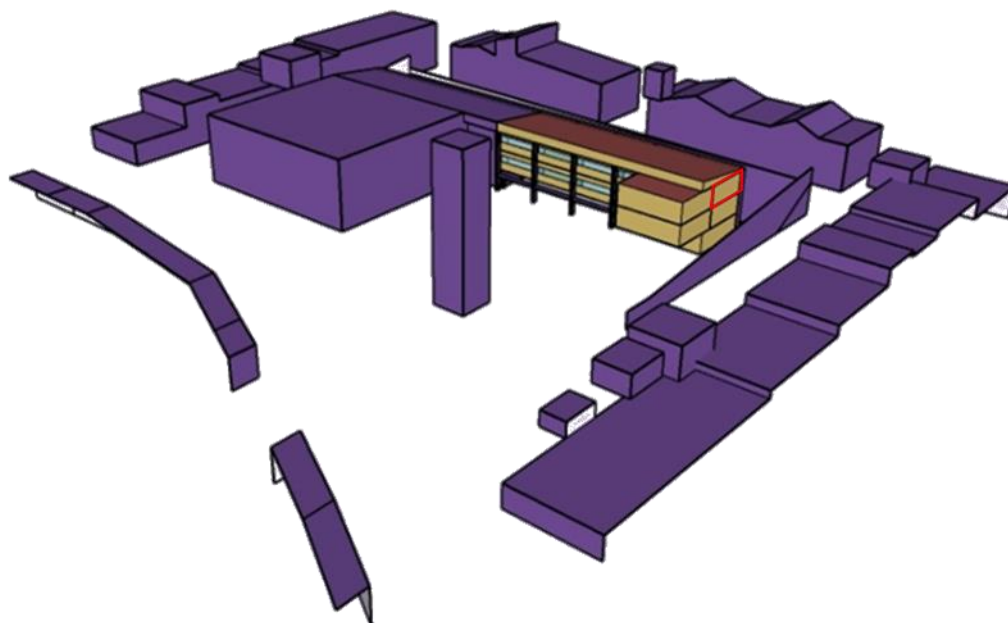


Figura 2: Geometria do modelo, com destaque para a sala de aula analisada (em vermelho). Fonte: os autores.

Com a geometria finalizada, o modelo foi calibrado no software EnergyPlus versão 9.4, que teve como dados de entrada para as simulações as propriedades térmicas dos componentes construtivos (Tabela 1) e as características das esquadrias (Tabela 2), levantadas com base na leitura do projeto arquitetônico da escola e em observações *in loco*, realizadas por Paula Brumer Franceschini Kagan, doutoranda do programa de pós-graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade da FEC-UNICAMP, intitulada *Assessing the impact of occupant behaviour on the energy performance of AQUA-certified school buildings* (processo FAPESP 2019/13474-7), orientada pela profa. Dra. Leticia de Oliveira Neves.

O modelo Kusuda e Achenbach de temperatura do solo não perturbado foi utilizado para simular as trocas de calor pelo solo (ELI *et al.*, 2019) e o módulo *AirFlow Network* foi utilizado para simular o sistema de ventilação natural, utilizando como coeficiente de descarga o valor de 0,6 (FLOURENTZOU; VAN DER MAAS; ROULET, 1998).

Tabela 1: Propriedades térmicas dos componentes construtivos.

Componente	Descrição	Transmitância térmica - U (W/m ² . K)	Capacidade térmica - C (kJ/m ² . K)	Absortância solar da sup. externa - α	Fator solar - FS
Parede externa	Bloco de concreto 190x190x390 mm	2,8	202,2	0,19	-
Janela	Vidro incolor 3 mm	5,4	-	-	0,87
Laje	Laje de concreto 150 mm + argamassa de assentamento + piso cerâmico	2,7	243	-	-
Cobertura	Telha cerâmica	1,1	164,2	0,25	-

Tabela 2: Características das esquadrias.

Item	Descrição	Área útil de abertura para ventilação
Porta	Porta de giro – 90 cm x 210 cm	1,0
Janela fachada	Janela com 20 folhas pivotantes e 8 fixas – 180 cm x 210 cm / peitoril 80 cm (4 unidades)	0,4
Janela circulação	Janela com 4 folhas pivotantes – 180 cm x 80 cm / peitoril 220 cm (4 unidades)	0,6

O modelo foi calibrado utilizando dados medidos na sala de aula selecionada durante o período de 15 a 23 de fevereiro de 2022. As variáveis climáticas internas monitoradas incluíram: temperatura do ar, temperatura de globo, concentração de CO₂ e umidade relativa do ar. A temperatura radiante média e a temperatura operativa interna foram calculadas utilizando os dados de temperatura do ar e temperatura de globo, de acordo com a ASHRAE 55 (ASHRAE, 2020). As variáveis climáticas externas do mesmo período de medição foram obtidas do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da Unicamp.

Para minimizar as incertezas, foram utilizados os dados coletados no período noturno durante o período, por não terem influência da radiação solar e das cargas térmicas internas. Com isso, o erro médio absoluto (*Mean Absolute Error* – MAE) foi utilizado para avaliar a precisão do modelo com intenção de selecionar o modelo com valores de temperatura operativa interna mais próximos dos dados medidos.

Após a calibração do modelo físico da escola, as condições internas durante o dia foram calibradas inserindo os padrões de ocupação obtidos a partir dos dados monitorados (período de ocupação, número de ocupantes, *status* da porta e das janelas, cargas internas de iluminação e equipamentos). O MAE foi calculado novamente e junto com o erro médio normalizado (*Normalised Mean Bias Error* – NMBE) e o coeficiente de variação da raiz quadrada do erro médio (*Coefficient of Variance of Root Mean Square Error* – CV(RMSE)) foram usados para avaliar a precisão da calibração do modelo.

A partir da calibração do modelo, a avaliação de ventilação natural e qualidade do ar da sala de aula será realizado por meio da simulação de três cenários: o primeiro (Cenário 1) considerando a operação de janelas e porta da medição (i.e., comportamento do usuário real); o segundo (Cenário 2) mantendo as janelas e portas sempre abertas, inclusive no período noturno (i.e., sem a influência do usuário) e o terceiro (Cenário 3) mantendo janelas e portas sempre abertas, com exceção do período noturno (i.e., sem a influência do usuário).

Análise dos Resultados:

Os resultantes das simulações serão analisados em termos de média e desvio padrão dos valores de taxas de renovação de ar, levando em consideração apenas o período de ocupação da sala de aula (dias da semana das 7 h às 16 h). Os valores serão comparados com os valores de referência das literaturas publicadas durante a pandemia de Covid-19, com o propósito de avaliar se a ventilação e a qualidade do ar interior atendem às necessidades trazidas pela pandemia.

BIBLIOGRAFIA

- ALONSO, A. et al. Effects of the covid-19 pandemic on indoor air quality and thermal comfort of primary schools in winter in a mediterranean climate. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 5, p. 1–17, 1 mar. 2021.
- ASCIONE, F. et al. The design of safe classrooms of educational buildings for facing contagions and transmission of diseases: A novel approach combining audits, calibrated energy models, building performance (BPS) and computational fluid dynamic (CFD) simulations. **Energy and Buildings**, v. 230, 1 jan. 2021.
- ASHRAE. **Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy**. ANSI/ ASHRAE Standards Committee, 2020.
- BRE, F.; GIMENEZ, J. M. A cloud-based platform to predict wind pressure coefficients on buildings. **Building Simulation**, v. 15, n. 8, p. 1507-1525, 2022.
- ELI, L. G. *et al.* **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto Ground Domain no programa EnergyPlus**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEE), Florianópolis, 2019.
- FAKHOURY, N. A. Estudo da qualidade do ar interior em ambientes educacionais. 2017.
- FERREIRA, A. M. DA C. Qualidade do Ar Interior em Escolas e Saúde das Crianças. p. 1–393, 2014.
- FRANCESCHINI, P. B.; LIGUORI, I. N.; NEVES, L. O. **Avaliação da qualidade do ar interior durante a pandemia de covid-19 em salas de aula naturalmente ventiladas**. [s.l: s.n.].
- FLOURENTZOU, F.; VAN DER MAAS, J.; ROULET, C. A. Natural ventilation for passive cooling: measurement of discharge coefficients. **Energy and Buildings**, v. 27, n. 3, p. 283–292, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00043-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00043-1)
- FRANCESCHINI, P; NEVES, L. O impacto da operação de janelas no desempenho térmico de edificações escolares. In: **XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2020. Anais do XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC 2020, 2020.
- O'BRIEN, W. et al. Introducing IEA EBC annex 79: Key challenges and opportunities in the field of occupant-centric building design and operation. **Building and Environment**, v. 178, n. February, p. 106738, 2020.
- RACKES, A. et al. Avaliação do potencial de conforto térmico em escolas naturalmente ventiladas. [s.l: s.n.].
- SALDAÑA, P ; YUKARI, D. Ventilação de salas de aula é inadequada em mais da metade das escolas públicas. **Folha de São Paulo**. São Paulo, 21 de mar. de 2021. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/educacao/2021/03/ventilacao-de-salas-e-inadequada-em-mais-da-metade-das-escolas-publicas.shtml>>. Acesso em: 14 de abr. de 2021.
- WAGNER, A.; O'BRIEN, L. EBC Annex 79: Proposal:Occupant behaviour-centric building design and operation. **Iea Ebc**, n. October, 2018.
- YAN, D. et al. IEA EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings. **Energy and Buildings**, v. 156, p. 258–270, 2017.