XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Análise de parâmetros de abertura para a ventilação natural de salas de aula

Analysis of opening parameters for the natural ventilation of classrooms

Maria Luiza Santos Geraldini
Universidade Estadual de Maringá | Maringá | Brasil | malusantos13.mls@gmail.com
Michele Marta Rossi
Universidade Federal do Piauí | Teresina | Brasil | michele.marta.rossi@gmail.com
Marieli Azoia Lukiantchuki
Universidade Estadual de Maringá | Maringá | Brasil | malukiantchuki2@uem.br

Resumo

A ventilação natural é uma das estratégias projetuais mais eficientes para alcançar o conforto térmico dos usuários, contribuindo na Qualidade do Ar Interno. Diante disso, o objetivo deste artigo é avaliar, de modo qualitativo, como a alteração de parâmetros das aberturas pode influenciar na ventilação natural em sala de aulas, levando em consideração a importância da renovação do ar no cenário de pandemia atual. O método foi composto da definição de um modelo genérico de uma sala de aula e ensaios na mesa d'água. Os resultados apontam que a posição e a dimensão das aberturas influenciam significativamente na distribuição do fluxo de ar interno.

Palavras-chave: Ventilação natural. Aberturas. Salas de aula. Arquitetura escolar.

Abstract

The natural ventilation is one of the most effective strategies to achieving thermal comfort for users, contributing for Indoor Air Quality. Therefore, this article objective is to evaluate, in qualitative terms, how shifting the openings parameters can influence in classroom's natural ventilation, considering the air renovation's importance to the pandemic context nowadays. The method was composed by a generic classroom model definition ant its tests in the water table. The results show that the openings position and dimension influence significantly on the indoor air flow.

Keywords: Natural ventilation. Openings. Classrooms. Educational architecture.

Como citar:
GERALDINI, M. L. S.; ROSSI, M. M; LUKIANTCHUKI, M. A. Análise de parâmetros de abertura para a ventilação natural de salas de aula **In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.**

INTRODUÇÃO

A ventilação natural é uma importante estratégia de resfriamento das edificações por meios passivos, configurando-se em uma das mais efetivas para o alcance do conforto térmico em regiões de clima quente e úmido, como característico na maior parte do território brasileiro [1][2][3]. Além de estar altamente associada à qualidade do ar, bem-estar e produtividade dos usuários.

A composição do ar interno é alterada pelas atividades humanas e pela emissão dos compostos orgânicos voláteis através dos materiais que compõem as edificações [4][5]. Em média, as pessoas permanecem de 80% a 90% do tempo nos ambientes internos, assim é importante proporcionar uma boa qualidade através de sua renovação, dispersão de poluentes, remoção e/ou transporte de odores, partículas, entre outros micro-organismos.

A qualidade do ar interno se torna ainda mais significativa no cenário atual com a pandemia da COVID-19. Diversas pesquisas têm apontado que ambientes fechados e sob certas condições - pouca ventilação, atividades de longa duração, usuários falando em voz alta ou fazendo exercícios físicos de alta intensidade - possibilitam uma transmissão aérea virulenta propícia para a disseminação do SARS-Cov-2 [6][7]. A *European Centre for Disease Prevention and Control* (ECDC) reconheceu que sistemas simples de ventilação natural e artificial, que promovam a renovação do ar interno pelo externo com frequência, podem contribuir para a redução do contágio [8]. Além disso, com a retomada das atividades presenciais, os órgãos públicos e educacionais e os projetistas devem reconhecer a importância que a estrutura e o planejamento dos ambientes têm para a segurança dos estudantes [9].

Atualmente, as principais questões são: qual é a caracterização das salas de aula no cenário brasileiro? Como retomar as atividades presenciais de forma segura? Como promover e/ou garantir ventilação natural nestes espaços? Quais estratégias projetuais devem ser consideradas em ambientes escolares para reduzir a transmissão?

Com o retorno presencial é importante adotar precauções dentro e fora da sala de aula para evitar a propagação da COVID-19 e, nesse aspecto, a ventilação natural ganha destaque. O adequado uso da ventilação natural representa a redução de ausência dos alunos devido a doenças infecciosas e o aumento da capacidade de ensino e aprendizagem [10]. A Universidade de Harvard, também considerando o retorno presencial, elaborou um manual em 2020 com recomendações para reduzir o risco de transmissão da COVID-19. Dentre as cinco principais (fique em casa quando estiver doente; use máscara o tempo todo; uso de purificador de ar nas salas de aula; transformação de salas de aulas temporárias e renovação do ar interno), a renovação do ar interno se insere como um importante recurso para reduzir as taxas de transmissão [11]. Além disso, alterações simples de projeto, como a utilização do peitoril ventilado, podem elevar a velocidade interna do ar de 33% até 220% [2].

O ambiente escolar é imprescindível para a formação educacional e social de crianças e adolescentes, por isso considerando a quantidade de pessoas e o tempo que

permanecem nesses espaços é fundamental manter uma boa qualidade do ar interno (QIA). A QIA consiste no conjunto de fatores que o ar interno deve ter para não causar ou agravar doenças nos usuários e garantir o alto desempenho das atividades executadas [12]. Esse conceito é muito relevante para a salubridade de uma sala de aula, no sentido higiênico e de conforto [9][12].

Portanto, objetiva-se neste trabalho avaliar de modo qualitativo como a alteração de parâmetros das aberturas pode influenciar na ventilação natural em salas de aula, visando colocar em discussão o impacto que as decisões projetuais têm na qualidade do ambiente [13].

MÉTODO

O método desta pesquisa foi dividido em 4 etapas: (1) fundamentação teórica; (2) definição do modelo genérico; (3) seleção da ferramenta de análise; e (4) ensaios em mesa d´água, descritas detalhadamente a seguir.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A primeira etapa consistiu em uma revisão bibliográfica para o embasamento teórico dos temas abordados: 1. A ventilação Natural; 2. Conforto ambiental nas escolas; e 3. Ferramentas de avaliação da ventilação natural. Essa etapa foi realizada a partir de pesquisa bibliográfica nas principais bases e publicações científicas (artigos recentes em periódicos e congressos; livros de referência; discussões de tópicos específicos encontrados na literatura técnica especializada).

DEFINIÇÃO DO MODELO GENÉRICO

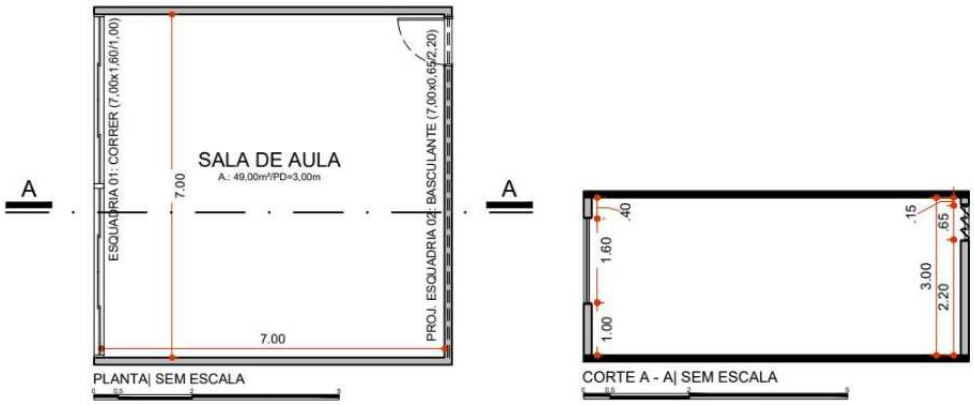
O modelo genérico de uma sala de aula padrão foi definido com base em parâmetros arquitetônicos (fixos e variáveis) que influenciam no fluxo de ar interno. Objetivou-se a seleção de projetos que embasassem um modelo representativo do ambiente escolar de ensino no atual cenário brasileiro. A etapa de fundamentação teórica contribuiu para identificar parâmetros influentes no padrão de ventilação interna em ambientes escolares, tais como: (a) dimensões da sala de aula: pé direito, largura, profundidade, área; (b) proporção geométrica; (c) localização das aberturas: opostas, adjacentes, unilateral ou sem aberturas; (d) tipologia e dimensionamento das aberturas; área efetiva de abertura, proporção entre área de abertura e área de piso; e altura do peitoril; (e) fator porosidade: referente ao item d; (f) presença de elementos externos: beiral, platibanda, brises, pátios internos, vegetação, elementos vazados, edificações do entorno e; (g) outras características relevantes como presença de ventilação mecânica, abertura zenital, entre outras [14][15][16][17][18][1].

Em seguida, com os parâmetros de análise definidos, as edificações foram selecionadas, analisadas e um banco de dados foi gerado. Quatorze projetos escolares (paulistas e maringaenses) compuseram esse banco de dados. Majoritariamente, os projetos seguem como base as diretrizes da Fundação Nacional

de Desenvolvimento da Educação (FNDE) e da Fundação de Desenvolvimento da Educação (FDE). Assim, foram levantados um projeto padrão da FNDE; um da FDE; quatro projetos paulistas que seguem diretrizes do FDE e; oito projetos escolares maringaenses. Posteriormente, análises comparativas foram realizadas para a proposição de um modelo genérico representativo da tipologia estudada.

O modelo genérico (Figura 1) possui dimensões de 7,0 m x 7,0 m x 3,0 m (largura x profundidade x pé direito), totalizando 49m²; duas aberturas localizadas em faces opostas, sendo: (a) uma basculante de 7,0 m x 0,65 m (largura x altura), peitoril de 2,20 m, localizada na parede do corredor e com percentual de abertura 70% (área efetiva de 3,18m²), ou seja, uma janela composta por 3 folhas com ângulo de abertura de 45º e; (b) uma de correr de 7,0 m x 1,60 m (largura x altura), peitoril de 1,00 m, localizada na parede externa, com percentual de abertura de 40% (área efetiva de 4,48m²) sendo 4 folhas fixas e 4 folhas móveis divididas em duas unidades. Assim, o modelo genérico possui área total efetiva de abertura de 7,66 m², correspondendo a 15,46% da área do piso. Os percentuais de abertura foram definidos pelas diretrizes do [19].

Figura 1: Planta e corte do modelo genérico desenvolvido



Fonte: as autoras.

SELEÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE

A escolha da ferramenta de análise para a avaliação do desempenho da ventilação natural em edificações deve considerar: o objetivo da análise (qualitativa e/ou quantitativa); o parâmetro a ser investigado; nível de precisão requerido; tempo e custo de acesso à ferramenta, de preparação de modelos físicos, computacionais ou treinamento do usuário e, obtenção e pós-processamento da variável estudada.

A mesa d'água foi selecionada por sua disponibilidade, fácil acesso e baixo custo, visto que o Laboratório de Conforto Ambiental e Ergonomia da Universidade Estadual de Maringá (LACAE-UEM) dispõe de tal equipamento. A sua área de ensaio (1,53 m x 0,82 m) é revestida por material autoadesivo preto para melhorar o contraste durante os ensaios. Essa área conecta dois tanques de água com capacidade de 110 litros cada. A mesa apresenta um inversor de frequência, modelo CFW08 da WEG e uma bomba Famac 0,75C V e 60 Hz (Figura 2). Na mesa d'água, as análises qualitativas da influência das características das aberturas na distribuição do

ar interno são possíveis a partir de modelos reduzidos bidimensionais dispostos na área de ensaio. Adiciona-se à água, um indicador (sabão líquido) para melhorar a qualidade das visualizações.

Figura 2: Mesa d'água do LACAE - UEM



Fonte: as autoras.

A visualização a partir de modelos físicos bidimensionais (corte ou planta) da distribuição é uma das limitações do equipamento. Logo, é indicado para estudos qualitativos, visto que facilita e simplifica o entendimento da ventilação natural.

CONSTRUÇÃO DO MODELO FÍSICO REDUZIDO

O modelo físico reduzido (escala 1:25) foi confeccionado em acrílico (espessura de 3 mm) por ser um material resistente, impermeável e facilitar o contraste com o fundo preto da mesa e, assim, a visualização durante os ensaios (Figura 3). Considerou-se as dimensões da área de seção de ensaio da mesa d´água para definir a escala do modelo físico. Na sequência, representações gráficas bidimensionais e tridimensionais foram elaboradas com auxílio dos *softwares AutoCAD ® e SketchUp ®*, respectivamente, e permitiram a visualização e o entendimento do modelo. Então suas peças puderam ser planificadas para a fabricação e cortadas à laser.

Como citado, na mesa d'água a visualização do fenômeno da ventilação natural é bidimensional. Desta forma, devido à diferença de altura entre as aberturas da sala, optou-se por uma avaliação em corte longitudinal. A porta de entrada foi desconsiderada, visto que é comum seu fechamento durante as aulas devido à acústica e privacidade. O modelo foi constituído de 10 peças retangulares com altura fixa de 5,0 cm, nas quais a espessura do material (3 mm) foi desconsiderada para a posterior montagem. A fixação das peças foi realizada com o auxílio de clorofórmio, com a intenção de formar arestas bem definidas e, assim, menores interferências na fidelidade das representações do fluxo de ar (Figura 3).

Figura 3: O modelo físico reduzido



Fonte: as autoras.

ENSAIOS EXPERIMENTAIS NA MESA D´ÁGUA

A matriz de ensaios foi caracterizada por quatro configurações, as quais foram segmentadas em dois blocos de análise. No primeiro bloco (casos 1 e 2), objetivou-se analisar o impacto da alteração das dimensões das aberturas (de entrada e saída, locadas em faces opostas) no desempenho da ventilação natural no interior do modelo genérico. Assim, o caso 1 foi caracterizado com as aberturas de maior e menor dimensões nas faces barlavento e sotavento, respectivamente. O caso 2 ilustrou o inverso da situação anterior, ou seja, abertura de menor e maior área dispostas nas faces barlavento e sotavento, respectivamente. No segundo bloco, adicionou-se um elemento externo (varanda) a face barlavento dos modelos anteriores (casos 1 e 2), resultando consequentemente nas configurações 3 e 4.

Como citado anteriormente, priorizou-se uma análise qualitativa a partir do corte longitudinal do modelo físico reduzido, sendo disposto no ponto médio da base de ensaio. Embora seja interessante analisar diferentes ângulos de incidência dos ventos externos, esse não foi o objetivo da presente pesquisa. Em todos os casos considerou a incidência perpendicular à face barlavento.

Para a realização dos ensaios na mesa d'água, os reservatórios foram preenchidos com 125 litros de água no total. Posteriormente, adicionou-se o sabão líquido (200 ml) para possibilitar a criação da espuma e, assim, facilitar o contraste (espuma e fundo da base de ensaio) e, consequentemente, as visualizações. 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 é indicado como adequada para visualizações analógicas de fluxo laminar, no entanto é necessário o aumento periódico da frequência do inversor e, assim, do turbilhonamento durante os testes, devido à rápida perda de consistência da espuma. [20].

As influências dos parâmetros variados (dimensão das aberturas e existência ou não de varanda) no desempenho qualitativo da ventilação natural nos ambientes internos foram analisadas a partir de vídeos e fotografias. Ambos os produtos foram

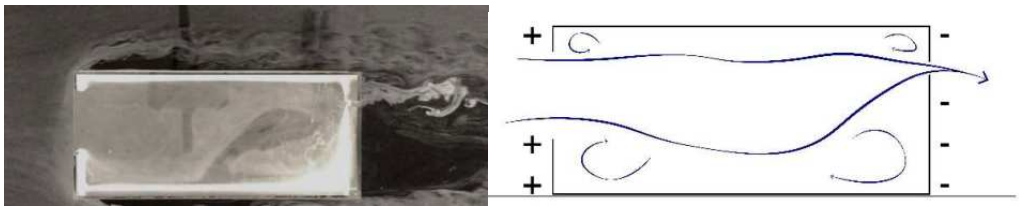
garantidos a partir da instalação (a uma altura de 60 cm acima do nível da área de ensaio) de um *smartphone (Iphone 8 plus*). Posteriormente, dos vídeos foram geradas imagens de alta qualidade, do instante que melhor ilustrasse o comportamento do fluxo de ar em cada ensaio, a partir da exportação de cenas. As imagens foram editadas no próprio editor do *smartphone*, com o intuito de ampliar o contraste para melhor visualização.

RESULTADOS

Os resultados são apresentados em dois blocos (bloco 1: casos 1 e 2 e, bloco 2: casos 3 e 4). A partir dos casos 1 e 2, analisa-se a influência da dimensão das aberturas na ventilação natural interna. Nos casos 3 e 4, a complexidade destas análises é incrementada ao adicionar, aos casos anteriores, a varanda na face a barlavento.

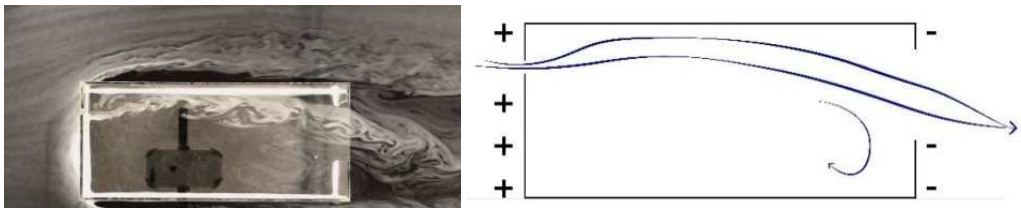
Em todas as análises, o desempenho da ventilação natural nos ambientes internos foi observado de forma qualitativa e comparativa. Aspectos como a caracterização dos jatos de entrada e de saída, distribuição do fluxo de ar no ambiente e existência ou não de sombras de vento embasaram as análises e, consequentemente, as comparações. As figuras 4 e 5 apresentam as distribuições do fluxo de ar no ambiente interno para os casos 1 e 2, respectivamente.

Figura 4: Bloco 1, caso 1



Fonte: as autoras.

Figura 5: Bloco 1, caso 2



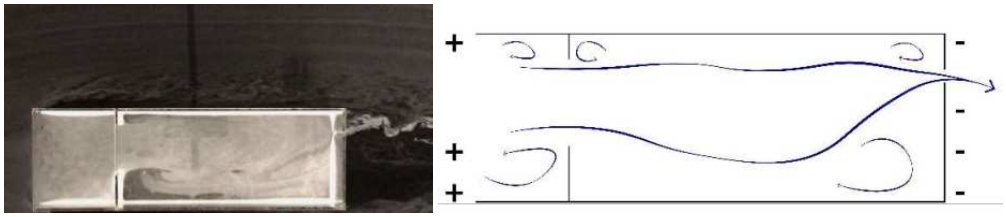
Fonte: as autoras.

No caso 1, o fluxo de ar adentra o ambiente pela abertura de maior dimensão (barlavento), localizada na altura do usuário (peitoril de 1,00 m) sendo extraído pela abertura de menor dimensão localizada na parte superior da face oposta (sotavento). Devido à grande dimensão da abertura de entrada, o fluxo de ar entra de forma mais difusa no ambiente interno, sendo direcionado para a região inferior do espaço e, posteriormente, extraído pela região superior, onde se localiza a abertura de saída do ar, com pressão negativa. Já para o caso 2, acontece uma inversão entre as janelas. Nesta situação, nota-se claramente o fluxo de ar concentrado na parte superior da sala de aula e pouco influente na altura dos usuários, ao contrário do

caso 1. Percebe-se pela Figura 5, que isso decorre da altura da janela 02 (peitoril de 2,25m) a barlavento. Uma sombra de vento ao longo de toda a parte inferior do ambiente (altura dos usuários) é representada pela ausência de espuma. Assim, temos uma ventilação de conforto, atingindo diretamente os usuários, e uma ventilação higiênica, atingindo a região superior do espaço, respectivamente para os casos 1 e 2.

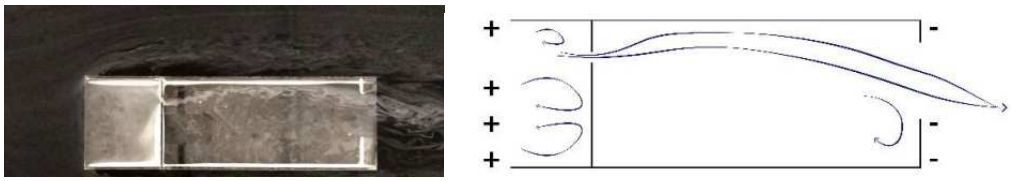
A seguir, as figuras 6 e 7 apresentam os casos 3 e 4, respectivamente, cuja varanda foi acrescentada na fachada de incidência dos ventos externos (face a barlavento), para os casos 1 e 2. Com essa inclusão, tem-se um prolongamento, ocasionado pelas projeções horizontais (inferior e superior), da distância horizontal que o fluxo de ar percorre até encontrar a abertura de entrada. Assim, a varanda localizada à barlavento, torna-se um dispositivo de captação de ar, redirecionando o fluxo para o interior do ambiente. No entanto, a inclusão desse elemento promove uma concentração do fluxo de ar na parte inferior, não contemplada pela abertura, visível pelo acúmulo de espuma. Assim, ao contrário do caso 1, a projeção da varanda impede que o deslocamento de ar recupere sua trajetória após interceptar a janela, formando uma área de sombra de vento próxima ao piso e ao plano dos estudantes.

Figura 6: Bloco 2, caso 3



Fonte: as autoras.

Figura 7: Bloco 2, caso 4



Fonte: as autoras.

No caso 4 (variação do caso 2), a inclusão da varanda também auxilia no redirecionamento do fluxo de ar para o interior da edificação. Entretanto, a abertura de entrada com menor área direciona o jato de entrada para a zona superior do espaço. Nota-se que grande parte do volume de ar fica concentrado no ambiente externo (Figura 7), visível pela espuma acumulada na varanda. Quanto à distribuição do fluxo de ar interno apresenta efeito semelhante ao caso 2, na qual o percurso do vento é concentrado na parte superior do ambiente sem atingir o plano do usuário.

CONCLUSÕES

Este artigo teve como objetivo avaliar o desempenho da ventilação natural em sala de aulas, de forma qualitativa, a partir da alteração de parâmetros das aberturas. Os

resultados apontam que o tamanho e a localização das aberturas influenciam significativamente na distribuição do fluxo de ar interno e determinam o uso de ventilação de conforto ou ventilação higiênica. Quando a abertura de entrada apresenta maior dimensão e localização mais baixa, tem-se um fluxo de ar pelo ambiente interno na zona de ocupação dos usuários, ocasionando uma ventilação de conforto. Esse caso seria recomendado para uma situação de verão, cujo fluxo de ar incide diretamente no usuário, melhorando a sensação do conforto térmico. Já quando essa abertura tem menor dimensão e com localização mais alta, tem-se um fluxo de ar na região superior do espaço, auxiliando em uma ventilação higiênica. Assim, essa configuração seria melhor para situação de inverno, cuja ventilação interna teria como objetivo a renovação do fluxo de ar interno. Por fim, a inclusão de uma varanda na região a barlavento, tem-se um dispositivo de captação de ar, redirecionando o fluxo para o interior do ambiente.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Laboratório de Conforto Ambiental e Ergonomia da Universidade Estadual de Maringá por viabilizar a infraestrutura necessária para a realização dos ensaios e à Fundação Araucária pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

[1] LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3 ed. São Paulo: PW, 2014.

[2] BITTENCOURT, L. S; SACRAMENTO, A. da S.; LEAL, T. de A.; CÂNDIDO, C. M. A influência do tipo de fechamento dos peitoris ventilados na velocidade e distribuição da ventilação natural em salas de aula. In: IX ENCONTRO NACIONAL E V LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO – ENCAC, 2007. **Anais...** Ouro Preto, Brasil. 2007. 1 CD ROM 2007.

[3] CANDIDO. C.; LAMBERTS. R.; BITTENCOURT. L.; DEAR R.. Aplicabilidade dos limites de velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos. **Revista Ambiente construído,** Porto Alegre, v.10, n.4, p.59-68, 2010.

[4] ROYAN, M. E.; VAIDYA, P.; MUNDHE, P. **Teaching natural ventilation using water table apparatus:** a classroom teaching, simulation and design tool. [s.l: s.n.]. v. 1

[5] MUNDHE, P.; DAMLE, R. M. A methodology for quantifying flow patterns in a water-table apparatus for naturally ventilated buildings. **Architectural Science Review**, v. 0, n. 0, p. 1–11, 2020a.

[6] BUONANNO, G.; STABILE, L.; MORAWSKA, L. Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment**. Environment International** 141 (2020) 105794.

[7] MILLER, A.; REANDELAR, M. J.; FASCIGLIONE, K.; ROUMENOVA, V.; LI, Y.; GONZALO, H. Correlation between universal BCG vaccination policy and reduced mortality for COVID-19.

[8] EUROPEAN CENTER FOR DESEASE PREVENTION AND CONTROL. **Heating, ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19.** Stockholm: ECDC, nov. 2020.

[9] UNICEF BRASIL; UNESCO; BANCO MUNDIAL E PROGRAMA MUNDIAL DE ALIMENTOS. **Marco de ação e recomendações para reabertura de escolas.** Abril, 2020.

[10] ADDINGTON, D. M. **The history and future of ventilation**. **Indoor Air Quality Handbook.** New York: Mc-Graw-Hill, 2001.

[11] SCHOOLS FOR HEALTH OF HARVARD. **Risk Reduction Strategies for Reopening Schools**. 2020. Disponível em: https://schools.forhealth.org/risk-reduction-strategies-for-reopening-schools. Acesso em 29 mar 2021.

[12] SALES, G. L. **Diagrama de Ventilação Natural:** Ferramenta de análise do potencial da ventilação natural no estudo preliminar de projeto. 2016. 217 f. Tese (Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

[13] KOWALTOWSKI, D. K. **Arquitetura Escolar:** o projeto do ambiente de ensino. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

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

[15] RIVERO, R. **Arquitetura e Clima. Condicionamento Térmico Natural.** Porto Alegre: Luzzato, 1985.

[16] TOLEDO, E. **Ventilação Natural das habitações.** Maceió: Editora da Universidade Federal de Alagoas, 1999.

[17] FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico.** 1 ed. São Paulo: Livros Studio Nobel, 1987.

[18] BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural.** Maceió: EDUFAL, 2008.

[19] MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria INMETRO nº 18:** Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética edificações residenciais. In: Diário Oficial da União. Rio de Janeiro, 2012.

[20] TOLEDO, A. M.; PEREIRA, F. O. R. O potencial da Mesa d'água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios. In: VII ENCAC - Encontros Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2003, Curitiba. **Anais...** do VII ENCAC., 2003.