

A importância da ventilação natural para melhoramento da qualidade do ar em salas de aula – experiência de um mundo pós-covid-19

The importance of natural ventilation to improve air quality in classrooms – experience from a post-covid-19 world

La importancia de la ventilación natural para mejorar la calidad del aire en las aulas – experiencia de un mundo post-covid-19

Wisley Vieira Paiva

Mestrando, UFES, Brasil
Wisley.paiva@edu.ufes.br

Cristina Engel de Alvarez

Professora Doutora, UFES, Brasil
engelalvarez@hotmail.com

RESUMO

A qualidade do ar interior (QAI) é um tema que vem sendo estudado desde a década de 70 do século passado, com o surgimento de edifícios cada vez mais vedados e ganhou principal notoriedade após o surgimento da pandemia da covid-19 no ano de 2020. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi estabelecer e analisar as principais estratégias adotadas para o enfrentamento da crise no período pós retorno às aulas (2021) e para melhoramento da qualidade do ar interno. Para isso, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) e foram considerados trabalhos publicados entre os anos de 2021 e 2023. Os principais resultados apontam a ventilação natural cruzada e a redução do contingente de pessoas/m² como estratégias mais eficazes tanto para contenção da crise quanto para melhoramento da qualidade do ar interior.

PALAVRAS-CHAVE: Estratégias de ventilação natural. Qualidade do ar interior (QAI). Monitoramento de CO₂.

SUMMARY

Indoor air quality (IAQ) is a topic that has been studied since the 1970s, with the emergence of increasingly sealed buildings and gained greater notoriety after the emergence of the Covid-19 pandemic in 2020. In this sense, the objective of this work was to establish and analyze the main strategies adopted to face the crisis in the period after returning to school (2021) and to improve indoor air quality. To this end, a Systematic Literature Review (RSL) was carried out and works published between 2021 and 2023 were considered. The main results point to natural cross ventilation and the reduction of the number of people/m² as more effective strategies for both containment crisis and to improve indoor air quality.

KEYWORDS: Natural ventilation strategies. Indoor air quality (IAQ). CO₂ monitoring.

RESUMEN

La calidad del aire interior (IAQ) es un tema que ha sido estudiado desde la década de 1970, con el surgimiento de edificios cada vez más sellados y que ganó mayor notoriedad tras el surgimiento de la pandemia de Covid-19 en 2020. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue Establecer y analizar las principales estrategias adoptadas para afrontar la crisis en el periodo posterior al regreso a clases (2021) y mejorar la calidad del aire interior. Para ello se realizó una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) y se consideraron trabajos publicados entre 2021 y 2023. Los principales resultados apuntan a la ventilación cruzada natural y la reducción del número de personas/m² como estrategias más efectivas tanto para la contención de crisis. y mejorar la calidad del aire interior.

PALABRAS CLAVE: Estrategias de ventilación natural. Calidad del aire interior (CAI). Monitoreo de CO₂.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar interior (QAI) é um tema que vem sendo estudado desde a década de 70 do século passado, com o surgimento de edifícios cada vez mais vedados, que permitiam uma otimização dos mecanismos de refrigeração e aquecimento por meio da recirculação do ar interno. A intensa utilização de estratégias para conservação de energia e espaços cada vez mais fechados atrelada à presença de substâncias voláteis em materiais de acabamento, mobiliário e forros, evidenciou o acúmulo de poluentes prejudiciais à saúde e destacou os problemas relacionados à concentração e desempenho de aprendizagem em alunos (DA COSTA *et al.*, 2019; BOGDANOVICA; ZEMITIS; BOGDANOVICS, 2020; GAWANDE *et al.*, 2020; GABRIEL *et al.*, 2021).

A pandemia da covid-19 foi reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) no dia 11 de março de 2020 – ainda que houvesse um alerta internacional emitido pela própria organização no dia 30 de janeiro de 2020 relatando casos em 19 países – e seu reconhecimento fez com que estudos sobre a qualidade do ar interior ganhassem especial relevância. A covid-19 é uma doença infecciosa causada pelo coronavírus SARS-CoV-2 cuja contaminação ocorre através de relações diretas, seja por gotículas expelidas e dispersas no ar ou pelo contato, como por exemplo, toque nos olhos, bocas ou nariz após tocar uma superfície contaminada, sendo os principais sintomas da doença a febre, cansaço, tosse seca e falta de ar, que em muitos casos leva o indivíduo a óbito (OPAS, 2020; AAP, 2021; CDC, 2021; MS, 2021; WHO, 2021; OPAS, 2024).

Para evitar o avanço do vírus pelo mundo, houve o fechamento de fronteiras, locais públicos, ambientes de trabalho e, dentre os vários tipos de usos, os edifícios escolares. Os ambientes escolares foram classificados como oportunos a propagação da doença, já que em parte das escolas as aberturas não proporcionavam ventilação ou até mesmo eficiência na renovação do ar, além de concentrarem os ocupantes por longos períodos de permanência em espaços confinados, indo, portanto, no caminho contrário às estratégias conhecidas para mitigar a exposição a poluentes voláteis e partículas em suspensão. Dentre as medidas desejáveis, destacam-se as condições de arejamento adequadas, ventilação, exaustão de gases, controle da temperatura e umidade (FERREIRA; CARDOSO, 2014; SILVA *et al.*, 2020; KULO *et al.*, 2021; KAPOOR *et al.*, 2021).

Por conseguinte, principalmente no que diz respeito aos edifícios educacionais, estudos eclodiram trazendo à tona dados que não só contribuem para o conforto ambiental dos ocupantes, mas, também, destacam a preocupação em relação à transmissão do vírus para a saúde e o processo de aprendizagem dos alunos, evidenciando que atingir uma qualidade do ar interior considerada admissível através da presença de ventilação apropriada e taxas de renovação do ar adequadas é de fundamental importância para o funcionamento das escolas (FRANCESCHINI; LIGUORI; DE OLIVEIRA NEVES, 2021; GETTINGS *et al.*, 2021; XU *et al.*, 2021; TEKIN; ARIKAN, 2023).

No Brasil, a maioria das unidades escolares, especialmente as públicas das redes estaduais (55,2%) e municipais (53,5%), enfrenta inadequações nos sistemas de ventilação – que estão diretamente ligados a problemas de infraestrutura dos colégios – onde a presença de janelas fixas impossibilita a melhor circulação do ar e, conseqüentemente, torna o ambiente inadequado à utilização, fazendo com que as aulas fossem suspensas em março de 2020 (iniciado o processo de ensino remoto e/ou híbrido de acordo com a infraestrutura de cada escola) e seu retorno ocorrendo cerca de um ano depois, em 2021. (SALDAÑA; YUKARI, 2021; DE OLIVEIRA SILVA; PAGEL, 2023).

Em outubro de 2020, foi divulgado pelo Ministério da Educação (MEC) do Brasil um guia para a implementação de protocolos de retorno as atividades presenciais nas escolas de

Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 12, número 33, 2024

educação básica, contendo normas técnicas de segurança em saúde e recomendações de ações sociais pedagógicas a serem implementadas pelos integrantes das comunidades escolares a fim de garantir maior segurança ao retorno dos alunos aos espaços físicos. As principais estratégias adotadas foram: limpeza das superfícies, do ambiente e das mãos, distanciamento social, utilização de máscaras e manutenção de portas e janelas abertas, com a finalidade de auxiliar a circulação do ar nos espaços (MEC, 2020; INEP, 2022).

Neste sentido, reforçando a importância dos sistemas de ventilação para garantia da qualidade do ar e, conseqüentemente, os benefícios trazidos para evitar a disseminação de doenças transmitidas pelo ar, além de contribuir com os avanços das pesquisas relacionadas à covid-19, uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) foi utilizada como metodologia com o objetivo de estabelecer e analisar as estratégias adotadas pelas escolas para garantir uma qualidade do ar interna adequada no período pós-pandemia do covid-19 (2021-2023), uma vez que existe “uma lacuna de trabalhos que visam debater e agrupar, em um só documento, essas principais ações e métodos indicados pela literatura” (BECERRA *et al.*, 2020; ASANATI; VODEN; MAJEED, 2021; RIBEIRO *et al.*, 2022).

2 METODOLOGIA

Buscando estabelecer e analisar estratégias a respeito da qualidade do ar interior no que tange aos trabalhos publicados em relação às escolas no período pós-pandemia do COVID-19 (2021-2023) e fixando como marco o retorno as aulas em unidades físicas, ainda que parcial no ano de 2021, utilizou-se como métrica metodológica para obtenção de resultados uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) que tem por finalidade garantir uma seleção e avaliação crítica de trabalhos relevantes ao objeto de estudo (GALVÃO *et al.*, 2019; DORSA, 2020; RIBEIRO *et al.*, 2022).

Desta maneira, baseando-se no processo metodológico de De Oliveira Silva e Pagel (2023), a metodologia da pesquisa foi realizada de acordo com as seguintes etapas:

1. Seleção de artigos para estabelecer o cenário a respeito da covid-19 no período pós-pandemia nas escolas (2021-2023) e bases indexadas de busca;
2. Seleção das palavras-chaves através do resultado realizada na etapa 1;
3. Avaliação e seleção de trabalhos que estivessem relacionados às recomendações de organizações de saúde nacional e internacionalmente conhecidas de acordo com a etapa 2;
4. Seleção de trabalhos que estivessem alinhados à etapa 3, considerando como foco principal a qualidade do ar interior;
5. Seleção de trabalhos que atendessem aos critérios da etapa 3 e etapa 4, considerando o objetivo da pesquisa em estabelecer e avaliar estratégias adotadas pelas escolas;
6. Leitura integral dos artigos selecionados na etapa 5.

Para estabelecer as bases indexadas de pesquisa foram realizadas buscas por materiais que estivessem alinhados ao objetivo do trabalho, selecionados através da leitura dos títulos e resumos e considerados aptos aqueles que obtiveram seus resultados através de experimentos realizados *in loco*, principalmente no ambiente sala de aula (BIENVENIDO-HUERTAS *et al.*, 2023; FANG; LOU; LU, 2023; NORAZMAN; NASHRUDDIN; ANI, 2023).

A partir da busca realizada nas etapas 1 e 2, verificou-se o método utilizado por De Oliveira Silva e Pagel (2023) e foi estabelecido que os esforços para encontrar publicações relacionadas a temática que dizem respeito as salas de aula no período de pós-pandemia da

Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 12, número 33, 2024

COVID-19 deveriam ser as bases de periódicos CAPES e Pubmed, em função de o acervo CAPES abranger mais de “38 mil periódicos com textos completos e cerca de 396 bases de dados de conteúdo” e a plataforma Pubmed contar com acerto de “36 milhões de citações para literatura biomédica, periódicos de ciências e livros online”. Entende-se, portanto, que ambas as plataformas representam grande confiança e relevância para o tema pandemia da COVID-19. (PM, 2024; CAPES; 2024).

Assim, através da consulta a documentos publicados por organizações da área da saúde de relevância nacional e internacional, artigos que tratassem sobre o vírus e sua forma de disseminação, além da forma de dispersão de partículas contaminantes em ambientes fechados, foi gerado Quadro 1 como síntese proveniente das etapas metodológicas 1 e 2 (MEC; 2020; AAP, 2021 CDC,2021; MS, 2021; WHO, 2021; SAILUNAZ *et al.*, 2023).

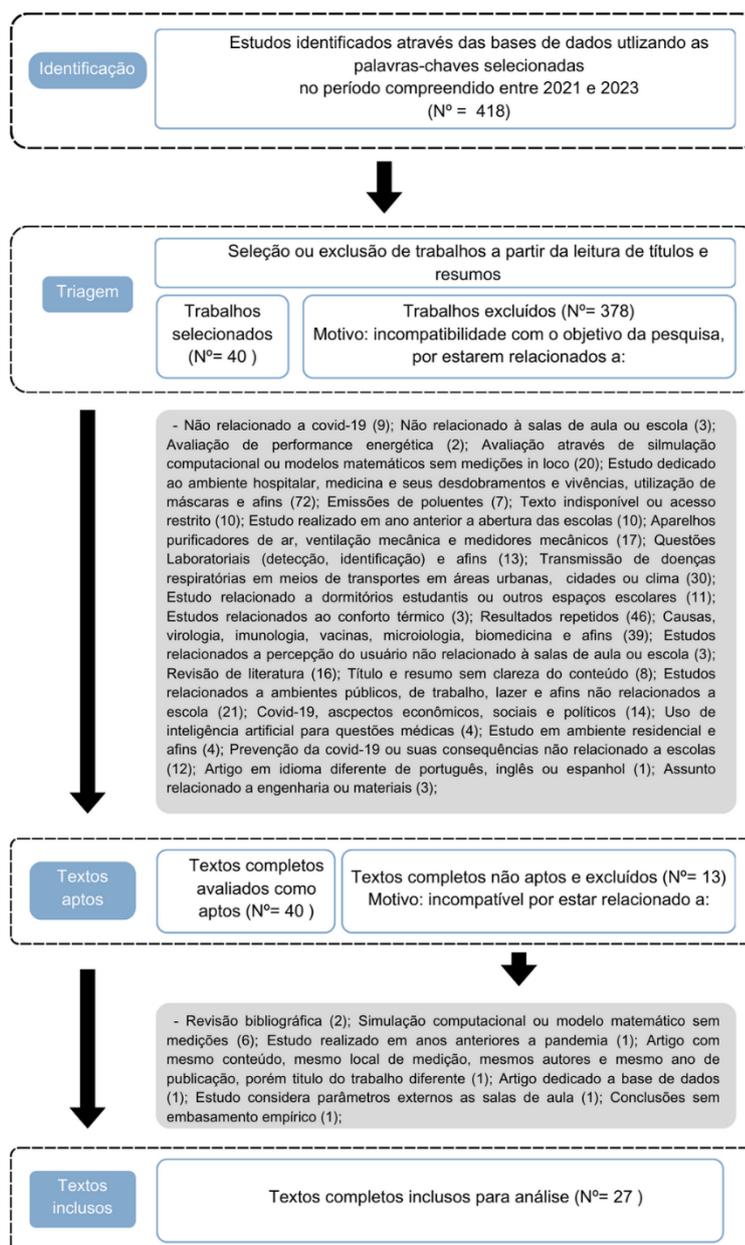
Quadro 1- Base de Pesquisa

Item	Conteúdo
Objtivos	- Resivão sistemática de publicações científicas com objetivo de compreender o cenário a respeito da COVID-19 no que tange a transmissão em ambientes escolares - Agrupar trabalhos que apresentem resultados que dizem respeito as estratégias encontradas para promover melhor qualidade interna no ambiente escolar, mais precisamente nas salas de aula.
Palavrsa-chaves	"covid-19" AND "school" AND "natural ventilation"AND "CO2" (Plataforma CAPES) ((covid-19) AND (school)) AND (CO2) AND (ventilation) (Plataforma PubMed) (("SARS-CoV-2") AND (school)) AND (ventilation) NOT patient NOT hospital (PubMed)
Base de dados	CAPES e Pubmed
Crítérios de inclusão	Data: 2021 à 2023; Local: salas de aula; Tipo de ventilação: Natural; Coleta de dados: monitoramento de salas de aula no período de retorno às atividades escolares pós-covid-19 e revisões de literatura
Crítérios de exclusão	Não dizer respeito às salas de aula; Experimentos computacionais/simulações/modelagens;
Questões de pesquisa	- Quais estratégias podem ser adotadas para promover maior ventilação nos ambientes de sala de aula ? - Essas estratégias podem contribuir para a redução ao risco de contaminação nas escolas ? -Além das medidas de ventilação, quais fatores contribuem para menor disseminação da doença no ambiente escolar?

Fonte: o autor, com base em De Oliveira Silva e Pagel (2023).

O processo de pesquisa teve início a partir da utilização dos termos em inglês estabelecidos de acordo com o Quadro 1, considerando pertinente aqueles que apresentaram resultados referentes às medições e aspectos de ventilação natural no ambiente sala de aula (espaço físico). Também foram considerados artigos que tratassem a respeito da segurança (relacionado à saúde) dos alunos no ambiente sala de aula de acordo com o manual disponibilizado pelo Ministério da Educação e organizações nacionais e internacionais de saúde, conforme indicado pela Figura 1 (MEC; 2020; AAP, 2021 CDC,2021; MS, 2021; WHO, 2021).

Figura 1 – Fluxo de seleção dos trabalhos



Fonte: o autor, 2023.

Para todos os artigos considerados aptos de acordo com a Figura 1, foram catalogados os seguintes dados: data, país, informações relevantes referentes as estratégias adotadas para o enfrentamento da COVID-19 e resultados sobre a qualidade do ar em ambientes internos de ensino e aprendizagem. Alguns estudos utilizaram como indicador de qualidade a concentração de dióxido de carbono, taxas de ventilação e número de trocas de ar praticados nos experimentos ou sugeridos pela literatura, além de informações adicionais que contribuíssem para o risco de transmissão do vírus SARS-CoV-2 em salas de aula.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

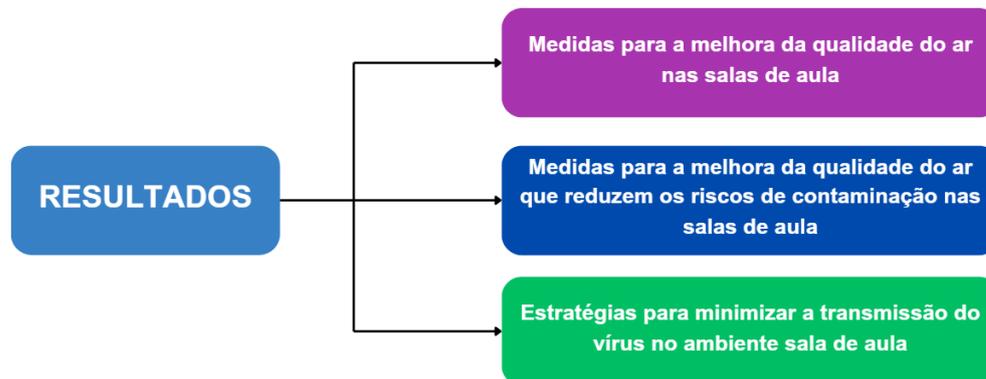
Os resultados foram classificados em três categorias: medidas para melhora da qualidade do ar; medidas para a melhora da qualidade do ar para reduzir o risco de

Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 12, número 33, 2024

contaminação; e estratégias para minimizar a transmissão do vírus no ambiente sala de aula. Os resultados serão apresentados por seções conforme Figura 2.

Figura 2 – Apresentação dos resultados



Fonte: o autor, com base em De Oliveira Silva e Pagel (2023).

3.1 Medidas para a melhora da qualidade do ar nas salas de aula

Para que seja atingida uma melhor qualidade do ar em salas de aula, utilizar de ventilação natural e climatizar ambientes de forma mecânica e automatizada (considerando acionamento de acordo com concentrações de gás carbônico) são alternativas indispensáveis para o futuro das escolas (ZIVOLONGHI; LAI, 2021; ZAND *et al.*, 2023; EICHHOLTZ; KOK; SUN, 2023). Em 2014, a Rede de Observatórios de Poluição do Ar Interno e Saúde em Escolas na Europa, ao conduzir um estudo com 337 salas de aula, 112 escolas em 23 países no continente europeu, identificou que dos edifícios que utilizavam ventilação mecânica como forma de climatização, apenas 47% contavam com acionamento baseado nos níveis de gás carbônico no ambiente, acendendo um sinal de alerta para a situação, já que estudos publicados sete anos após a coleta dos dados, ainda chamam atenção para a mesma temática (CSOBOD *et al.*, 2014). Na Suíça, foi verificado que 2 em cada 10 novos edifícios contam com sistema de ventilação mecânica e que 4 em cada 63 edifícios antigos que passaram por retrofit também fazem utilização do mesmo sistema, indicando a necessidade de implementação de normas de ventilação e verificação por parte das autoridades no processo construtivo, onde normas vigentes são muitas vezes ignoradas (VASSELLA *et al.*, 2021).

Não à toa, são sugeridos aparelhos de ventilação mecânica com acionamento baseados em níveis de gás carbônico, isso porque para estabelecer a qualidade do ar e, por conseguinte, a eficiência na renovação do mesmo, muitos autores utilizam a concentração de gás carbônico (CO₂) como indicativo de medição (BAIN-REGUIS *et al.*, 2022; DE OLIVEIRA SILVA, 2022). Neste sentido, Rodríguez-Vidal (2022) estabelece que a concentração de gás carbônico para validar uma melhora da qualidade do ar pode adotar o valor padrão de 900 partes por milhão (ppm) para níveis de CO₂ a classificá-lo “bom”. Para Vassella *et al.*, (2021) salas de aula devem permanecer com valores entre 400-1000 ppm de concentração de gás carbônico para que sejam consideradas excelente, e abaixo de 1,400 ppm para serem aceitáveis a utilização dos alunos, sendo nesta faixa indicado a troca da renovação do ar para um novo ciclo de aulas. O Grupo de Assessoria Científica para Emergências do Reino Unido (sigla em inglês SAGE) estabelece que valores de concentração de gás carbônico de até 800 ppm indicam que o ambiente possui uma boa ventilação, enquanto valor superior a 1500 ppm indicam superlotação do espaço ou má ventilação (SAGE, 2020; AGUILAR *et al.*, 2021; PISCITELLI, 2022).

Ainda que a concentração de gás carbônico seja um índice adotado por muitos autores e autoridades de saúde ao redor do mundo para verificar a qualidade do ar, não se pode descartar a relação existente entre temperatura e umidade para considerar um ambiente

Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 12, número 33, 2024

relativamente saudável, já que restrições de conforto térmico estão diretamente ligadas a baixas taxas de ventilação (MIRANDA, *et al.*, 2022; VIGNOLO *et al.*, 2022; LOVEC; PREMROV; LESKOVAR, 2021).

Não obstante a este pensamento, outros autores consideram não somente a concentração de CO₂, temperatura e umidade para avaliar a qualidade do ar em um ambiente, mas indicam ainda a importância da concentração de materiais particulados em suspensão e concentração de matéria orgânica volátil em suspensão, quantificadas em µg/m³ e mg/m³ ou partes por bilhão (ppb) ou partes por milhão (ppm), respectivamente (VILLANUEVA *et al.*, 2021).

Em estudo realizado na Espanha, Meiss *et al.*, (2021) constataram que os níveis matéria orgânica volátil em suspensão ou TVOC (sigla em inglês), decaíram de 421 ppm em um período pré-pandemia para 320 ppm em período pós-pandemia, indicando a ventilação natural como uma causa para essa redução e, conseqüentemente, um ar mais limpo, – uma vez que essas partículas oferecem riscos à saúde dos usuários. Apesar da presença de ventilação natural proporcionar diminuição dos níveis de matéria orgânica volátil em suspensão, as condições ambientais externas às escolas devem ser consideradas, visto que em áreas altamente adensadas e com grande presença de veículos atrelados a abertura de janelas pode haver aumento gradual e acima dos limites toleráveis para um ambiente classificado como adequado (KONSTANTINO *et al.*, 2021).

Outro fator importante para uma boa qualidade do ar interior são as taxas de renovação do ar, ou seja, quantas vezes o ar que se acumula no espaço interno deve ser trocado em um intervalo de uma hora. Em estudo elaborado para verificar diferentes configurações de aberturas de portas e janelas a fim de assegurar constante ventilação das salas de aula, Aguilar *et al.*, (2022) constatou que aberturas unilaterais (aquelas que consideram apenas portas ou apenas janelas abertas para promover ventilação natural do espaço) se mostram menos eficientes se comparadas a aberturas de ventilação cruzada (considerando portas e janelas abertas simultaneamente) para promover ciclos adequados de renovação de ar (5 ciclos de renovação em um intervalo de uma hora), podendo produzir duas vezes mais ciclos além do recomendado e ser até duas vezes mais eficientes se comparadas à ventilação mecânica (MEISS *et al.*, 2021; EICHHOLTZ; KOK; SUN, 2023; REY-HERNÁNDEZ *et al.*, 2023). Porém, é válido ressaltar que existem evidências que comparam o período pré-pandêmico e pós pandêmico e associam que o aumento das taxas de renovação do ar pode estar, na verdade, ligado à redução do número de aluno em aula e não necessariamente às configurações de aberturas de portas e janelas (DING *et al.*, 2023).

Portanto, pode-se concluir que para uma correta qualificação da qualidade do ar interno de forma mais contundente e precisa, é indicado que os parâmetros de concentração de CO₂, taxa de renovação do ar, temperatura, umidade, materiais particulados em suspensão e materiais orgânicos voláteis sejam quantificados com a finalidade de indicar pureza apropriada ou inapropriada para um ambiente, onde ao desconsiderar ao menos um desses parâmetros, a análise de uma amostra pode ter seu resultado comprometido que não refletem a realidade.

3.2 Medidas para a melhora da qualidade do ar que reduzem os riscos de contaminação nas salas de aula

Para Zivelonghi e Lai (2021) a mitigação dos riscos de infecções por vias aéreas e partículas dispersas no ar está ligada ao maior e principal objetivo que é manter a maioria das escolas abertas e seguras em períodos pandêmicos, ao mesmo tempo que busca estratégias para zerar números de infecções. Neste caminho, muitas escolas adotaram protocolos emergenciais comum – baseados em dados empíricos auxiliados por modelos computacionais e matemáticos – que consistiam em manter distanciamento mínimo de 1 metro, higienização das superfícies, utilização de máscaras e portas e janelas abertas, visto que esta configuração permite uma ventilação cruzada e, conseqüentemente, maior taxa de renovação do ar em

Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 12, número 33, 2024

espaços confinados (DONOVAN, *et al.*, 2022; FERRARI *et al.*, 2023). Quando portas e janelas se encontram abertas promovendo ventilação cruzada, também é verificado menor concentração de CO₂ nos ambientes – o que não ocorre quando portas e janelas permanecem fechadas com a finalidade de garantir maior conforto térmico aos usuários através de, por exemplo, aparelhos de ar-condicionado (DE OLIVEIRA SILVA, 2022; RODRÍGUEZ-VIDAL *et al.*, 2022).

Este dado é corroborado por Vignolo *et al.*, (2022) em estudo conduzido no Uruguai em duas escolas onde foram selecionadas uma sala em cada unidade. O trabalho indicou que o risco de transmissão para a SARS-CoV-2 apresentou um decréscimo constante, à medida que se aproximava das estações mais quentes, ou seja, em direção à primavera/verão, fator positivo no que diz respeito aos riscos de transmissão já que possibilita a abertura das janelas. O mesmo estudo indicou ainda que a melhora do clima externo e abertura das janelas também contribuíram para maiores taxas de renovação do ar, sendo este um fator positivo para qualidade do ar nas salas de aula, além de contribuir para maior conforto térmico dos ocupantes. Esta verificação vai de encontro ao estudo realizado por Alosso *et al.*, (2021), ao constatar que a ventilação cruzada possibilitou que os níveis de CO₂ em períodos de pandemia permanecessem dentro dos padrões de qualidade classificados como “bom” (em torno de 600-750 ppm), portanto, garantindo a qualidade do ar interno.

Apesar da ventilação cruzada ser considerada efetiva para mitigar a presença de poluentes no ar e evitar o espalhamento do vírus SARS-CoV-2 no que tange ao ambiente interno, é verificada uma lacuna que não relaciona a qualidade do ar interno à qualidade do ambiente interno, sendo, portanto, um campo com potencial de exploração se considerado, por exemplo, o conforto dos ocupantes em relação à configuração das aberturas de portas e janelas no ambiente para proporcionar ventilação cruzada (DE LA HOZ-TORRES *et al.*, 2021).

Por outro lado, em países com invernos rigorosos cujas temperaturas costumam ser negativas, essa característica de abertura das janelas para promoção de conforto térmico e diminuição da concentração de gás carbônico não se aplica. De acordo com Vassella *et al.*, (2021), um estudo aplicado à 100 salas de aulas conduzido na Suíça, foi verificada a presença de maior concentração de CO₂ quando aplicados protocolos padrões emergenciais para manutenção da ventilação natural sem que houvesse rigor por parte dos alunos para que fossem seguidos. Este fato seria explicado pela falta de proteção térmica nas aberturas e, conseqüentemente, os estudantes optavam pela manutenção do fechamento das janelas devido ao desconforto térmico, fazendo com que os níveis de CO₂ fossem maiores no ambiente sala de aula. Em mesmas condições de clima, um estudo conduzido em 36 salas de aula do Reino Unido, corrobora a hipótese de que em países de inverno mais rigoroso, os níveis de CO₂ tendem a ser maiores nos ambientes de sala de aula ainda que a manutenção da ventilação seja mantida, mas destaca que “as influências climáticas devido às estações parecem insuficientes para explicar as discrepâncias nos níveis de CO₂ monitorados” (BURRIDGE *et al.*, 2023, p. 12) e essas discrepâncias podem estar associadas à pandemia, à experiência da população escolar e às atitudes em relação à doença, no que diz respeito às orientações e protocolos de segurança associados que estavam em vigor (BURRIDGE *et al.*, 2023).

Avaliar os riscos de contaminação pelo vírus SARS-CoV-2, tomando como base os protocolos adotados por escolas para garantir ventilação cruzada nas salas de aula, é tarefa complexa. Variáveis como CO₂, temperatura, umidade, presença de materiais particulados e voláteis deve ser muito bem analisada. Villanueva *et al.*, (2021) em seu estudo conduzido em 19 escolas na Espanha, identificou que, apesar da ventilação cruzada promover menor risco de contaminação em períodos de pandemia, mais atenção deveria ser dada ao fator poluição do ar por material particulado, já que em 12 das 19 salas de aula analisadas apresentaram níveis de contaminação para materiais particulados em suspensão superior à 25 µg/m³ para 8 horas de exposição Formato: Subscrito (limite permitido por lei). Alerta similar é feito por Zand *et al.*, (2023), ao apontar a existência de correlação entre altos níveis de CO₂ e a contaminação pelo vírus SARSCoV-2, já que em seu estudo foi verificado, através de análise estatística, aumento do

Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 12, número 33, 2024

número de casos de COVID-19 em detrimento do aumento da concentração de CO₂ para valores superiores ou iguais a 1000 ppm.

Esta ideia, porém, é contraposta por Meiss *et al.*, (2021, p. 10) que diz que “apesar de os aerossóis serem vetores do SARS-CoV-2, a presença deles não implica necessariamente uma maior probabilidade de infecção, uma vez que se presume que as partículas externas não estejam contaminadas” sendo a transmissão operada por meio dos bioaerossóis aquosos produzidos pelos usuários, fato que também é corroborado por Zand *et al.*, (2023) e Jonker *et al.*, (2023). Desta maneira, é necessário que maiores estudos sejam elaborados para estabelecer a existência de relação entre taxa de contaminação por vias aéreas e presença de materiais particulados em suspensão e aerossóis (AGUILAR *et al.*, 2023).

Conclui-se, em caráter preliminar, que estudos parecem divergir no que diz respeito à influência de materiais particulados e matérias orgânicas voláteis no aumento ou diminuição dos casos de covid-19. Entretanto, considera-se consenso entre a comunidade científica que a ventilação cruzada, distanciamento mínimo de 1 metro entre pares e manutenção da limpeza das superfícies contribuem de forma positiva e significativa para a diminuição dos casos de contaminação pelo vírus SARS-CoV-2 em salas de aula.

3.3 Estratégias para minimizar a transmissão do vírus no ambiente sala de aula

A profundando a discussão sobre as estratégias de transmissão, Zivelonghi e Lai (2021) em estudo realizado na Itália, conclui que reduzir pela metade a densidade populacional em salas de aula com mais de 25 ocupantes, utilizar máscaras atreladas a sistemas de ventilação natural são medidas que, de fato, proporcionam redução no risco de contaminação em aproximadamente 85% de chance de não contrair infecções por partículas suspensas no ar, sendo que estas estratégias funcionam em caráter emergencial, inferindo que num período de médio e longo prazo, o ideal é que escolas sejam equipadas com sistemas de climatização voltados ao aquecimento, ventilação e ar-condicionado que sejam acionados por sensores de medição de gás carbônico (CO₂) com o intuito não apenas de mitigar riscos de infecções, mas de forma a contribuir para qualidade do ar interno, conforto térmico e eficiência energética do ambiente (FERRARI *et al.*, 2023).

Este dado é corroborado por Vassella *et al.*, (2021) ao concluir que em países que possuem inverno rigoroso, a presença de ventilação natural, apesar de adequada para evitar riscos de contaminação, não é suficiente devido às questões climáticas, uma vez que o vento que adentraria o interior das salas proporcionaria extremo desconforto aos usuários, indicando que para contingência de espalhamento de infecções pelo ar seria necessário unir ventilação natural – em períodos específicos do dia, como por exemplo no intervalo entre aulas – à utilização de máscaras e aparelhos de condicionamento de ar.

Não obstante a este pensamento, Bain-Reguis *et al.*, (2022) e Jonker *et al.*, (2023) reiteram em seus estudos que a utilização de ventilação mecânica em países de inverno rigoroso se mostra mais eficiente para melhor controle da qualidade do ar interior no que tange à concentrações de CO₂ e, para além das questões de conforto, é de grande importância reduzir o número de ocupantes dentro das salas de aula, proporcionar, sempre que possível renovação de ciclos de ar durante intervalos e horário de almoço (ausência de usuários nas salas de aula) mantendo janelas e portas abertas a fim de estimular a ventilação cruzada.

Para Vignolo *et al.*, (2022) a ventilação natural com aberturas cruzadas aplicada de forma periódica às salas de aula é uma estratégia extremamente valiosa para reduzir os riscos de transmissão, além de permitir um melhor conforto térmico em espaços naturalmente ventilados, mesmo durante estações de período frio. No entanto, essa estratégia pode precisar de soluções complementares de redução de risco para alcançar resultados ainda mais significativos, como por exemplo, aberturas fixas com possibilidade de regulação posicionadas estrategicamente de modo que minimize o fluxo de ar em contato com os alunos, já que em um

Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 12, número 33, 2024

ambiente onde o fluxo de ar não é bem definido poderia potencializar o espalhamento de gotículas contaminadas (FIRATOGLU, 2023).

De forma análoga, Meiss *et al.*, (2021) dizem que a ventilação natural com aberturas cruzadas se mostrou mais eficiente quando aplicada de forma contínua para a remoção de poluentes do meio e que este método pode ser alcançado utilizando diferentes tamanhos de abertura, contribuindo para uma qualidade do ar adequada ao uso do espaço, entretanto, por questões de conforto térmico, precisa ser repensada para situações que não envolvam caráter emergencial (situações cotidianas fora de períodos pandêmicos), mas que a situação de desconforto térmico pode ser contornada, por exemplo, através da regulação do fluxo de ar (AGUILAR *et al.*, 2023).

Lançando luz sobre os aspectos de restauração, já que em continente europeu é comum a utilização de prédios históricos com funções do cotidiano contemporâneo, intervenções utilizando a técnica de retrofit (processo de restauração objetivando preservação da arquitetura original), Aguilar *et al.*, (2022) alertam que a utilização de ventilação mecânica, além de necessária, deve ser cuidadosamente estudada para garantir que trocas de ar e taxas de renovação sejam alcançadas em cenários de futuras pandemias, já que existe indicativo de melhores resultados quando o mecanismo é utilizado com filtros adequados (ZIVOLONGHI; LAI, 2021; ZAND *et al.*, 2023).

Um estudo realizado na Itália em com dados de 316 salas de aula em 56 unidades escolares, indicou que a utilização de ventilação mecânica se faz necessária não só para promoção de qualidade do ar, conforto térmico, controle de odores e eficiência energética, mas também para controlar infecções de caráter respiratório, devido ao menor registro sobre casos de covid-19 se comparado à ventilação natural (BOUNANNO *et al.*, 2022).

Porém, esta ideia é contraposta por Yifang *et al.*, (2021) em estudo realizado com dados de 111.485 escolas nos Estados Unidos da América, onde constatou que apenas escolas de nível fundamental 1 apresentaram melhor eficiência para ventilação mecânica, desde que o aparelho estivesse equipado com filtro adequado (filtro MERV 13), onde os demais níveis de educação apresentaram taxas igualmente perigosas para o espalhamento do vírus SARS-CoV-2.

Ainda que a renovação do fluxo de ar seja uma estratégia comum sugerida pelos pesquisadores, Miranda *et al.*, (2022) constataram que, ainda que a normativa ASHRAE indique como adequada uma renovação de ar em espaços confinados com o valor definido entre 5-6 renovações de ar por hora, para ambientes cuja densidade de ocupantes é considerada baixa, este parâmetro não expressa caráter representativo para avaliar a qualidade do ar interior.

Aguilar *et al.*, (2021) em seu estudo conduzido em ambiente universitário na cidade de Granada (Espanha), constataram que, assim como sugerido pelas normativas, a taxa de renovação de ar por hora defina por 6 renovações, se mostrou um instrumento que deve ser melhor explorado como estratégia e que para isso, os ambientes educacionais, devem garantir configurações de portas, janelas e layouts que possibilite a utilização deste mecanismo sem afetar os aspectos relacionados ao conforto térmico e acústico dos usuários, já que esses aspectos são diretamente influenciados e estão diretamente ligados às questões de ventilação (ALONSSON *et al.*, 2021).

Das várias soluções com intenção de mitigar o espalhamento da covid-19, é inegável que a obtenção de bons resultados através da utilização da redução de densidade populacional em salas de aula e ambiente escolar, fluxos de direcionados e da utilização de ventilação natural cruzada como estratégia adequada ao enfrentamento da COVID-19, ainda que com ressalvas, utilizada também para promoção e manutenção de ambientes com qualidade de ar interior mais higiênicos e livres de cepas do vírus SARS-CoV-2. Indaga-se, por outro lado, a eficácia da ventilação mecânica para esta mesma finalidade, visto que estudos conduzidos de forma semelhante em localidades diferentes, chegaram às conclusões que podem ser consideradas, pelo menos parcialmente, opostas.

4 CONCLUSÕES

Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 12, número 33, 2024

Dos estudos analisados, fica evidente a contribuição científica na adoção de estratégias para o ambiente escolar frente a pandemia da COVID-19 após reabertura das escolas, mas para além deste resultado, evidencia-se também os esforços em continuar avançando, conhecendo e sugerindo ideias para o aprimoramento de novas técnicas e estratégias que possam auxiliar em crises futuras.

De forma concisa, fica estabelecido que, para contingência de crises futuras que dizem respeito aos vírus do trato respiratório e em caráter emergencial, após a identificação da crise, deve ser realizada a diminuição do número de pessoas por m² em espaços fechados com a finalidade de reduzir a taxa de transmissão entre pares, até que se conheça mais profundamente as características do vírus e novos protocolos sejam implementados.

Em mesmo caráter de importância, fica estabelecida a ventilação natural cruzada como forma de reduzir a contaminação entre pares através de dispersão aérea de gotículas do vírus e promover maior taxa de renovação do ar interno nos ambientes, visto que estas medidas se mostraram eficazes tanto para manutenção da qualidade do ar interior quanto para a prevenção de contaminações.

Indica-se, por outro lado, o aprofundamento dos estudos em sistemas de ventilação mecânica para que se obtenham mais dados relacionados não somente a qualidade do ar, mas, principalmente, a eficácia deste mecanismo para evitar contaminações por vírus do trato respiratório, visto que estudos realizados de modo semelhante parecem ter resultados convergentes.

REFERÊNCIAS

- AAP. **AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS**. COVID-19 Guidance for Safe Schools. 2021. Disponível em: <<https://services.aap.org/en/pages/2019-novel-coronavirus-Covid-19-infections/clinical-guidance/Covid-19-planningconsiderations-return-to-in-personeducation-in-schools/>>. Acesso em: 06 jan. 2024.
- AGUILAR, Antonio J. *et al.* Assessment of ventilation rates inside educational buildings in Southwestern Europe: Analysis of implemented strategic measures. **Journal of Building Engineering**, v. 51, p. 104204, 2022.
- AGUILAR, Antonio J. *et al.* Monitoring and assessment of indoor environmental conditions after the implementation of COVID-19-based ventilation strategies in an educational building in southern Spain. **Sensors**, v. 21, n. 21, p. 7223, 2021.
- ALONSO, Alicia *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**, v. 13, n. 5, p. 2699, 2021.
- ASANATI, Kaveh; VODEN, Louise; MAJEED, Azeem. Healthier schools during the COVID-19 pandemic: ventilation, testing and vaccination. **Journal of the Royal Society of Medicine**, v. 114, n. 4, Feb. 2021.
- BAIN-REGUIS, Natalie *et al.* Indoor CO₂ and thermal conditions in Twenty Scottish Primary School Classrooms with different Ventilation Systems during the COVID-19 pandemic. **Pollutants**, v. 2, n. 2, p. 180-204, 2022.
- BECERRA, Jose A.; LIZANA, J.; GIL, M.; BARRIOS-PADURA, A.; BLONDEAU, P.; CHACARTEGUI, R. Identification of potential indoor air pollutants in schools. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, Jan. 2020.
- BIENVENIDO-HUERTAS, David *et al.* Holistic overview of natural ventilation and mixed mode in built environment of warm climate zones and hot seasons. **Building and Environment**, p. 110942, 2023.
- BOGDANOVICA, Snezana; ZEMITIS, Jurgis; BOGDANOVICS, Raimonds. The Effect of CO₂ Concentration on Children's Well-Being during the Process of Learning. **Energies**, v. 13, n. 22, Nov. 2020.
- BUONANNO, Giorgio *et al.* Increasing ventilation reduces SARS-CoV-2 airborne transmission in schools: A retrospective cohort study in Italy's Marche region. **Frontiers in public health**, v. 10, p. 1087087, 2022.
- BURRIDGE, Henry C. *et al.* Variations in classroom ventilation during the COVID-19 pandemic: Insights from monitoring 36 naturally ventilated classrooms in the UK during 2021. **Journal of Building Engineering**, v. 63, p. 105459, 2023.

CAPES. PORTAL DE PERIÓDICOS DA CAPES. **Quem somos**. Periódicos. Brasília: CAPES, 2024. Disponível em: <<https://www-periodicos-capes-govbr.ez1.periodicos.capes.gov.br/index.php/sobre/quem-somos.html>>. Acesso em: 08 jan. 2024.

CDC. CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. **Ventilation in Buildings**. Atlanta: CDC, 02 jun. 2021. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation.html>. Acesso em: 05 jan. 2024.

CJOBOD, E.; Annesi-Maesano, I.; Carrer, P.; Kephelopoulos, S.; Madureira, J.; Rudnai, P.; Fernandes, E.O.; Barrero, J.; Beregszaszi, T.; Hyvarrin, A.; et al. **SINPHONIE—Schools Indoor Pollution and Health Observatory Network in Europe—Final Report**; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2014.

DA COSTA, Rogério Francisco Werly *et al.* A QUALIDADE DO AR EM AMBIENTES COMERCIAIS FECHADOS: PREVENINDO PATOLOGIAS ASSOCIADAS À PERMANÊNCIA DIÁRIA EM ESPAÇOS COM CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAIS. **Revista Científica Doctum Multidisciplinar**, v. 1, n. 2, 2019.

DE LA HOZ-TORRES, María L. *et al.* Analysis of impact of natural ventilation strategies in ventilation rates and indoor environmental acoustics using sensor measurement data in educational buildings. **Sensors**, v. 21, n. 18, p. 6122, 2021.

DE OLIVEIRA SILVA, Saulo Vieira; PAGEL, Érica Coelho. Contribuições para a qualidade do ar interior em salas de aula pós pandemia de COVID-19. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 14, p. e023006-e023006, 2023.

DING, Er *et al.* Ventilation and thermal conditions in secondary schools in the Netherlands: Effects of COVID-19 pandemic control and prevention measures. **Building and Environment**, v. 229, p. 109922, 2023.

DONOVAN, Catherine V. *et al.* An Examination of SARS-CoV-2 Transmission Based on Classroom Distancing in Schools With Other Preventive Measures in Place—Missouri, January–March 2021. **Public Health Reports**, v. 137, n. 5, p. 972-979, 2022.

DORSA, Arlinda Cantero. O papel da revisão da literatura na escrita de artigos científicos. **Interações (Campo Grande)**, v. 21, p. 681-683, 2020.

EICHHOLTZ, Piet; KOK, Nils; SUN, Xudong. The effect of post-COVID-19 ventilation measures on indoor air quality in primary schools. **PNAS nexus**, v. 3, n. 1, p. pgad429, 2023.

FANG, Yuhang; LUO, Xiaoyu; LU, Jiang. A review of research on the impact of the classroom physical environment on schoolchildren's health. **Journal of Building Engineering**, v. 65, p. 105430, 2023.

FERRARI, S. *et al.* Air Change Rates and Infection Risk in School Environments: Monitoring Naturally Ventilated Classrooms in Northern Italy. **Available at SSRN 4375764**, 2023.

FERREIRA, Ana Maria da Conceição; CARDOSO, Massano. Qualidade do ar interno e saúde em escolas. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 40, p. 259-268, 2014.

FIRATOGLU, Z. A. The effect of natural ventilation on airborne transmission of the COVID19 virus spread by sneezing in the classroom. **Science of The Total Environment**, v. 896, p. 165113, 2023.

FRANCESCHINI, Paula Brumer; LIGUORI, Iara Nogueira; DE OLIVEIRA NEVES, Leticia. Avaliação da qualidade do ar interior durante a pandemia de COVID-19 em salas de aula naturalmente ventiladas. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, v. 16, p. 658-667, 2021.

GABRIEL, Marta; PACIÊNCIA, I.; FELGUEIRAS, F.; RUFO, J. C.; MENDES, F. C.; FARRAIA, M.; MOURÃO, Z.; MOREIRA, A.; FERNANDES, E. O. Environmental quality in primary schools and related health effects in children. An overview of assessments conducted in the Northern Portugal. **Energy & Buildings**, v. 250, 111305, Nov. 2021.

GALVÃO, Maria C. B.; RICARTE, Ivan L. M. Revisão Sistemática da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação. **LOGEION Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.

GAWANDE, Sonal *et al.* Indoor air quality and sick building syndrome: Are green buildings better than conventional buildings. **Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 24, n. 1, p. 30, 2020.

Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 12, número 33, 2024

GETTINGS, Jenna *et al.* Mask use and ventilation improvements to reduce COVID-19 incidence in elementary schools—Georgia, November 16–December 11, 2020. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, v. 70, n. 21, p. 779, 2021

INEP. INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Pesquisa Resposta Educacional à Pandemia de Covid-19 no Brasil em 2021**. Brasília: INEP, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/inep/pt-br/assuntos/noticias/censoescolar/pesquisa-revela-resposta-educacional-a-pandemiaem-2021>>. Acesso em: 07 de jan. 2024.

JONKER, Lotte *et al.* SARS-CoV-2 incidence in secondary schools; the role of national and school-initiated COVID-19 measures. **BMC Public Health**, v. 23, n. 1, p. 1243, 2023.

KAPOOR, Nishant Raj; KUMAR, A.; MEENA, C.S.; KUMAR, A.; ALAM, T.; BALAM, N. B.; GHOSH, A. A Systematic Review on Indoor Environmental Quality in Naturally Ventilated School Classrooms: A Way Forward. **Advances in Civil Engineering**, v. 2021, p. 1-19, Feb. 2021.

KONSTANTINOU, Corina *et al.* Assessment of indoor and outdoor air quality in primary schools of Cyprus during the COVID-19 pandemic measures in May–July 2021. **Heliyon**, v. 8, n. 5, 2022.

KULO, Aida *et al.* School children exposure to low indoor air quality in classrooms during COVID-19 pandemic: results of a pilot study. **Psychiatria Danubina**, v. 33, n. suppl 3, p. 83- 95, 2021.

LOVEC, Vesna; PREMROV, Miroslav; LESKOVAR, Vesna Žegarac. Practical impact of the COVID-19 pandemic on indoor air quality and thermal comfort in kindergartens. A case study of Slovenia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 18, p. 9712, 2021.

MEC. Ministério da Educação, Brasil. **Guia de implementação de protocolos de retorno as atividades presenciais nas escolas da educação básica**. Brasília, 07 de outubro de 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mec/ptbr/media/GuiaDeretornodasAtividadesPresenciaisnaEducaoBsica.pdf>>. Acesso em: 08 de jan. 2024.

MEISS, Alberto *et al.* Indoor air quality in naturally ventilated classrooms. Lessons learned from a case study in a COVID-19 scenario. **Sustainability**, v. 13, n. 15, p. 8446, 2021.

MIRANDA, M. T. *et al.* Ventilation conditions and their influence on thermal comfort in examination classrooms in times of COVID-19. A case study in a Spanish area with Mediterranean climate. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 240, p. 113910, 2022.

MS. Ministério da Saúde, Brasil. **Governo Federal apresenta orientações para volta segura às aulas presenciais**. Brasília, 04 de agosto de 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2021/agosto/governo-federalapresenta-orientacoes-para-volta-segura-as-aulas-presenciais>>. Acesso em: 07 de jan. 2024

NORAZMAN, Norsafiah; NASHRUDDIN, Siti Nurul Asma’Mohd; ANI, Adi Irfan Che. Post Occupancy Evaluation (POE) For Enhancing Satisfaction Level of Comforts in Malaysia’s School Buildings. **Journal of Technology and Operations Management**, v. 18, n. 1, p. 1-11, 2023.

OPAS. **ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE**. Histórico da pandemia de COVID-19. Washington: OPAS, 2024. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/covid19/historicoda-pandemia-covid-19#:~:text=Em%2011%20de%20mar%C3%A7o%20de,pela%20OMS%20como%20uma%20pandemia>>. Acesso em: 06 de jan. 2024.

OPAS. **ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE**. OMS declara emergência de saúde pública de importância internacional por surto de novo coronavírus. Washington: OPAS, 2020. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/news/30-1-2020-who-declares-publichealth-emergency-novel-coronavirus>>. Acesso em: 06 jan. 2024.

PISCITELLI, Prisco *et al.* The role of outdoor and indoor air quality in the spread of SARSCoV-2: Overview and recommendations by the research group on COVID-19 and particulate matter (RESCOP commission). **Environmental Research**, v. 211, p. 113038, 2022.

PM. PUBMED. **About PM**. Bethesda: PMC, 2024. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/about/>>. Acesso em: 08 jan. 2024.

Cidades Verdes

ISSN eletrônico 2317-8604, volume 12, número 33, 2024

REY-HERNÁNDEZ, Javier M. et al. Assessment of natural ventilation strategy to decrease the risk of COVID 19 infection at a rural elementary school. **Heliyon**, v. 9, n. 7, 2023.

RIBEIRO, Henrique César Melo; CORRÊA, ROSANY. Revisão Sistemática da Literatura: Uma Investigação de sua Produção Científica Publicada nos Periódicos Indexados na Scientific Periodicals Electronic Library. **Anais..., XLVI Encontro da ANPAD-EnANPAD**, 2022.

RODRÍGUEZ-VIDAL, Iñigo et al. Response to the COVID-19 Pandemic in Classrooms at the University of the Basque Country through a User-Informed Natural Ventilation Demonstrator. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 21, p. 14560, 2022.

SAGE, EMG, **Role of ventilation in controlling SARS-CoV-2 transmission**, 2020, Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/publications/emg-role-of-ventilation-incontrolling-sars-cov-2-transmission-30-september-2020>>. Acesso em: 16 de jan. 2024.

SAILUNAZ, Kashfia; ÖZYER, Tansel; ROKNE, Jon; ALHAJJ, Reda. A survey of machine learning-based methods for COVID-19 medical image analysis. **Medical & Biological Engineering & Computing**, p. 1-41, 2023.

SALDAÑA, P; YUKARI, D. **Ventilação de salas de aula é inadequada em mais da metade das escolas públicas**. Folha de São Paulo, 21 de mar. de 2021. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/educacao/2021/03/ventilacao-de-salas-e-inadequadaem-mais-da-metade-das-escolas-publicas.shtml>>. Acesso em: 03 de jan. de 2024.

SILVA, Lara Livia Santos da et al. Medidas de distanciamento social para o enfrentamento da COVID-19 no Brasil: caracterização e análise epidemiológica por estado. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, p. e00185020, 2020.

DE OLIVEIRASILVA, Saulo V.; PAGEL, Érica C. Contribuições para a qualidade do ar interior em salas de aula pós pandemia de COVID-19. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, SP, v. 14, p. e023006, 2023.

SILVA, Saulo Vieira de Oliveira. **Qualidade do ar interno em salas de aula naturalmente ventiladas durante a pandemia de COVID-19**. Dissertação de Mestrado. 2022.

TEKİN, Ömer Faruk; ARIKAN, İnci. EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SICK BUILDING SYNDROME PREVALENCE AND INDOOR AIR QUALITY IN SCHOOLS. **ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi**, v. 8, n. 1, p. 42-53, 2023.

VASSELLA, Claudia C. et al. From spontaneous to strategic natural window ventilation: Improving indoor air quality in Swiss schools. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 234, p. 113746, 2021.

VIGNOLO, Andrés et al. Quantitative Assessment of Natural Ventilation in an Elementary School Classroom in the Context of COVID-19 and Its Impact in Airborne Transmission. **Applied Sciences**, v. 12, n. 18, p. 9261, 2022.

VILLANUEVA, Florentina et al. Assessment of CO2 and aerosol (PM2.5, PM10, UFP) concentrations during the reopening of schools in the COVID-19 pandemic: The case of a metropolitan area in Central-Southern Spain. **Environmental Research**, v. 197, p. 111092, 2021.

WHO. **WORLD HEALTH ORGANIZATION**. Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it. Copenhagen: World Health Organization, 2021. Disponível em: <[https://www.who.int/emergencies/diseases/novelcoronavirus-2019/technicalguidance/naming-the-coronavirus-disease-\(Covid-2019\)-and-the-virus-thatcausesit#:~:text=Official%20names%20have%20been%20announced,%2DCoV%2D2D2](https://www.who.int/emergencies/diseases/novelcoronavirus-2019/technicalguidance/naming-the-coronavirus-disease-(Covid-2019)-and-the-virus-thatcausesit#:~:text=Official%20names%20have%20been%20announced,%2DCoV%2D2D2)>. Acesso em: 05 jan. 2024.

XU, Chunwen; LIU, W.; LUO, X.; HUANG, X.; NIELSEN, P. V. Prediction and control of aerosol transmission of SARSCoV-2 in ventilated context: from source to receptor. **Sustainable Cities and Society**, v. 76, 103416, Jan. 2021

YIFANG, X. U. et al. Airborne infection risks of SARS-CoV-2 in US schools and impacts of different intervention strategies. **Sustainable Cities and Society**, v. 74, p. 103188, 2021.

ZAND, Martin S. et al. Ventilation during COVID-19 in a school for students with intellectual and developmental disabilities (IDD). **medRxiv**, 2023.

ZIVELONGHI, Alessandro; LAI, Massimo. Mitigating aerosol infection risk in school buildings: the role of natural ventilation, volume, occupancy and CO2 monitoring. **Building and Environment**, v. 204, p. 108139, 2021.