

LEOPOLDO EURICO GONÇALVES BASTOS

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Professor Titular Universidade Vila Velha - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade-PPGAC/UVV. Docente Colaborador Voluntário PROARQ-FAU/UFRJ. Professor Titular aposentado da Escola Politécnica e COPPE-UFRJ. Cientista do Nosso Estado-FAPERJ 2021. Agraciado em 2015 Grande Prêmio CAPES Antônio Houaiss, como orientador de tese de doutorado em Arquitetura. Pós-Doutorado LAAS-Toulouse / CNRS 1977. DSc e MSc em Engenharia Mecânica 1975 e 1969 pela COPPE/UFRJ. Engenheiro Industrial Mecânico pela Universidade Federal Fluminense 1967.

Full Professor Universidade Vila Velha – Graduate Program in Architecture and City-PPGAC/UVV. Volunteer Collaborating Professor PROARQ-FAU/UFRJ. Retired Full Professor at the Polytechnic School and COPPE-UFRJ. Scientist of Our State-FAPERJ 2021. Awarded in 2015 Grand Prize CAPES Antônio Houaiss, as advisor of doctoral thesis in Architecture. Post-Doctorate LAAS-Toulouse /CNRS 1977. DSc and MSc in Mechanical Engineering 1975 and 1969 from COPPE/UFRJ. Mechanical Industrial Engineer from Universidade Federal Fluminense 1967.

Profesor Titular Universidad Vila Velha - Programa de Postgrado en Arquitectura y Ciudad-PPGAC/UVV. Profesor Colaborador Voluntario PROARQ-FAU/UFRJ. Profesor Titular Jubilado de la Escuela Politécnica y del COPPE-UFRJ. Científico de Nuestro Estado-FAPERJ 2021. Otorgado en 2015 Gran Premio CAPES Antônio Houaiss, como asesor de tesis doctoral en Arquitectura. Postdoctorado LAAS-Toulouse /CNRS 1977. Doctorado y Máster en Ingeniería Mecánica 1975 y 1969 por la COPPE/UFRJ. Ingeniero Mecánico Industrial de la Universidad Federal Fluminense 1967.

leopoldobastos@gmail.com

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

Resumo

A qualidade do ar em salas de aulas de escolas públicas, é um tema que requer contínua atenção para fins de saúde e conforto olfativo dos ocupantes. A pandemia recente impactou sobremodo a Qualidade do Ar Interior-QAI nas edificações, impondo desafios principalmente pela contaminação aérea pelo vírus. Tornaram-se insuficientes os critérios de projeto, a ergonomia dos espaços, e as tecnologias dos sistemas de ventilação para prevenção da Síndrome dos Edifícios Doentes-SED. Desde então, um grande esforço tem sido realizado em pesquisa e desenvolvimento para manter a QAI para fins de saúde, por meio de estratégias de adequadas de ventilação. Atualmente, tem sido verificado como necessária a análise das normas, legislações e procedimentos de projeto sobre a ventilação, para que seja alcançada adequada QAI no ambiente construído não industrial. O presente artigo é constituído de duas partes. Na Parte I objetiva-se obter o número adequado de renovações para o ar interior em uma sala de aulas de edificação escolar pública brasileira conforme a especificação do FNDE (2023, p.82)¹. Para tanto, procede-se a uma análise de documentos relativos à renovação do ar para mitigação de contaminantes gerados em um ambiente interior, como a norma brasileira ABNT NBR16401/2008; as recentes normas norte-americanas ANSI /ASHRAE/ 2022 e ASHRAE 241/2023; a norma europeia EN 16798-1/2019; os procedimentos institucionais da ANVISA (2003)²; OPAS (2021)³; REHVA (2022)⁴, e os trabalhos de Fanger (1934-2006). Como resultado apresenta-se um quadro comparativo sobre as renovações de ar horárias estabelecidas para esse ambiente escolar sob uma ocupação máxima, visando a qualidade olfativa do ar, ou à mitigação da contaminação aérea do vírus sob um período de pandemia. Na Parte II estuda-se a possibilidade de fenestração mantidas em duas paredes opostas da sala de aulas em viabilizar a ventilação natural por diferencial térmico, e reduzir a concentração de CO₂ no ambiente, de modo a atender às normas relacionadas com a SED. Verifica-se a partir dos resultados com o emprego de uma formulação empírica que a vazão de ar pelo efeito térmico pode contribuir para a QAI na sala de aulas considerada, desde que seguidos alguns condicionantes de projeto para a edificação.

Palavras-chave: Qualidade do ar interior. Ventilação para renovação do ar. Qualidade do ar em sala de aulas. Ventilação natural por efeito térmico. Normas de ventilação para prédios não industriais.

1 FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DE EDUCAÇÃO.

2 AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA.

3 ORGANIZAÇÃO PANAMERICA DE SAÚDE.

4 FEDERATION OF EUROPEAN HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING ASSOCIATIONS.

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de clase de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

Abstract

Indoor Air Quality in public school classrooms is a topic requiring continuous attention for the health and olfactory comfort of the occupants. The recent pandemic greatly affected the indoor air posing challenges mainly due to the airborne virus contamination among people. The design criteria, space ergonomics, and ventilation system technologies previously established and aimed at preventing the Sick Building Syndrome have become insufficient. Since then, there is a great effort of research and development to maintain an indoor air quality for health purposes, through ventilation strategies to mitigate the forms of contamination. Nowadays, is need an analysis and review of normative documents, legislation and design procedures on ventilation to provide a better air quality for the non-industrial built environment. This paper consists of two parts. Part I considers the indoor ventilation for a classroom of a Brazilian public school defined by the FNDE (2023, p.82). For this, is considering the seminal research from Fanger (1934-2006) beside an analysis of standards and procedures aimed at renewing the indoor air. As, the Brazilian standard ABNT NBR 16401: 2008, the recent North American Standard ANSI/ASHRAE 62.1: 2022, and the European standard EN 16798-1:2019. The documents ANVISA (2003), and those related with the pandemic period as OPAS (2021), REHVA (2021, 2022) and ASHRAE 241:2023. A comparative table presents the ventilation requirements aiming at olfactory comfort in the classroom, as well a reflection on the progress made to the occupant health under pandemics. In Part II is seeking to verify whether fenestrations designed on two opposite classroom walls could enable the natural ventilation by thermal effect and thus to provide an indoor air quality in compliance with standards, as well as through reducing CO₂ indoor concentration. It can be seen with help of an empirical formulation that the airflow by thermal effect can provide a required indoor air quality, as long as some design conditions are also followed.

Keywords: Indoor air quality. Ventilation for air renewal. Indoor air quality in classrooms. Natural ventilation due thermal effect. Ventilation standards for non-industrial buildings

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de clase de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

Resumen

La calidad del aire en el salón de clases de las escuelas públicas es un tema que requiere una atención continua para la salud y el confort olfativo de los ocupantes. La reciente pandemia afectó en grand medida la calidad del aire interior en los edificios, planteando desafíos principalmente debido a la contaminación del aire por el virus. Los criterios de diseño, la ergonomía de los espacios y las tecnologías de ventilación establecidos para prevenir el Síndrome del Edificio Enfermo-SED, se han vuelto insuficientes. Desde entonces, se ha realizado un grand esfuerzo en investigación y desarrollo para mantener la IAQ con fines de salud, mediante estrategias de ventilación adecuadas. Actualmente se ha considerado necesario un análisis de las normas, la legislación, y los procedimientos de diseño sobre ventilación para poder lograr una calidad del aire adecuada en los edificios no industriales. Este artículo consta de dos partes. En la Parte I, el objetivo es obtener tasas de ventilación de aire adecuadas para un salón de clases en un edificio de escuela pública brasileña qui sigue la especificación FNDE (2023,p.82). Para ello se realiza un análisis de documentos relativos a la renovación del aire para mitigar los contaminantes generados en el ambiente interior, como la norma brasileña ABNT NBR16401:2008; las recientes normas americanas ANSI /ASHRAE: 2022 y ASHRAE Standard 241:2023; la norma europea EN 16798-1:2018. Como también los procedimientos institucionales de ANVISA (2003), OPS (2021), REHVA (2022); y los trabajos de P.O. Fanger (1934-2006). Como resultado se presenta un cuadro comparativo sobre las renovaciones horarias del aire calculadas para este ambiente escolar bajo ocupación máxima, apuntando a la calidad olfativa, o la mitigación de contaminación aérea del virus durante un periodo pandémico. En la Parte II, la intención es verificar la posibilidad de mantener las ventanas diseñadas en dos paredes opuestas del salón para permitir la ventilación por diferencial térmico y reducir la concentración de CO2 en el ambiente, con el fin de cumplir con los estándares relacionados con la SED. Se puede ver a partir de los resultados utilizando una formulación empírica que el flujo de aire debido al efecto térmico puede contribuir para la calidad del aire interior en el salón considerado, siempre que se sigan algunas condiciones de diseño para el edificio.

Palabras clave: Calidad del aire interior. Ventilación para renovación de aire. Calidad del aire en el salón de clases. Ventilación natural por efecto térmico. Normas de ventilación para edificios no industriales.

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de clase de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

Introdução

Os ambientes de uma edificação devem apresentar condições adequadas de qualidade do ar para proporcionar condições de salubridade e conforto olfativo às pessoas. A boa qualidade do ar interior pode ser mantida através da redução da concentração de poluentes voláteis que se originam dos materiais e produtos utilizados, da forma de ocupação do espaço, como também pelas características do sistema de ventilação para renovação do ar (natural, mecânico e/ou híbrido). Ao considerarem a Qualidade do Ar Interior- QAI, Borsboom et al. (2016) comentam que a ventilação tem historicamente desempenhado um papel importante para a salubridade dos espaços, e que há normas direcionadas para as edificações de modo a prover aceitável ou boa qualidade do ar. No entanto, há uma insuficiência de informações sobre as fontes poluentes no ambiente interior e seus impactos sobre a saúde, o que acarreta normas de ventilação baseadas em critérios da engenharia. Assim, torna-se preponderante a definição de prioridades para os poluentes que ocorrem em um ambiente interior para melhor estabelecer um sistema de ventilação adequado. Conforme indicam Coggins e Jones (2021), foram identificados no ar ambiente doméstico ao menos 23 poluentes devidos às emissões de materiais construtivos, de acabamento, processos de limpeza, ocupação humana, tintas, vernizes, material do piso, tais como: diclorobenzeno, 2 etilhexanol – acetaldeído, acetona, alfa-pireno, CO₂, etanol, etilbenzeno, formaldeído, limoneno, naftaleno, fenol, ftalatos, partículas PM_{2,5}µm-PM₁₀µm, estireno, tetra-cloro etileno, tolueno, tricloro-eteno, e partículas ultrafinas < 100µm.

A poluição atmosférica também pode ser influenciar a QAI quando há infiltrações no envelope ou se utilizada na edificação a ventilação natural, o que concorre para que os poluentes externos interajam com os gerados internamente. Portanto, para o projeto arquitetônico faz-se necessário considerar as condições de poluição do ar atmosférico do local de implantação do projeto. CONAMA (2018, 2024) regulamenta as concentrações e tempos de exposição para os poluentes atmosféricos: Partículas Totais em Suspensão (PTS); Partículas Inaláveis (MP₁₀); Partículas Respiráveis (MP_{2,5}); Fumaça; Dióxido de Enxofre (SO₂); Monóxido de Carbono (CO); Ozônio (O₃); Dióxido de nitrogênio (NO₂); e Chumbo (Pb). Grande parte desses poluentes ocorrem no ambiente urbano devido ao tráfego de veículos com motores a combustão.

Caso a edificação esteja em um ambiente livre de poluentes atmosféricos, a renovação do ar interior poderá se dar via processo natural (por diferencial térmico ou pela ação dos ventos), mas em outra situação será necessária a ventilação mecânica com a filtração do ar externo poluído. O ar atmosférico que é admitido pelo sistema de ventilação mecânico tem como uma das funções extrair ou diluir a concentração dos poluentes gerados internamente. Ambientes que apresentam altas densidades de ocupação e de permanência prolongada, como as salas de aula de prédios escolares públicos, requerem maior atenção, pois uma renovação de ar insuficiente resultará em baixa qualidade do ar e assim comprometer a aprendizagem e a saúde dos alunos. A qualidade do ar interior é uma temática de importância e objeto de normas, legislações, e de procedimentos de projeto.

A Resolução-RE N°9 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA,2003) estabelece padrões referenciais de QAI para os ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. São apresentadas definições, recomendações, para poluentes biológicos e químicos. A Taxa de renovação do ar adequada para ambientes climatizados será, no mínimo, de **27 m³/(h.pessoa)**. Não sendo admitido em qualquer situação ambientes com concentrações de CO₂ ≤ 1000ppm, e de aerodispersóides ≤ 80ppm.

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de clase de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

A norma ABNT NBR 17037: 2023 aperfeiçoa essa resolução acima, tendo em consideração a eficiência energética em edificações não residenciais. Estabelece alguns padrões referenciais. A diferença máxima admitida entre as concentrações de CO₂ entre o ar interior e exterior é de 700ppm; as concentrações de MP_{2,5}µm (= 25µg/m³), MP₁₀µm (= 50µg/m³); bactérias (≤ 500 UFC/m³ de ar); fungos ≤ 750 UFC/m³. Enfoca também um plano de gerenciamento da QAI sob um monitoramento contínuo.

Compreende-se ao realizar o presente estudo que há historicamente três tempos a considerar: o período anterior à pandemia, pandemia e pós-pandemia. As normas e documentos para ventilação e QAI do primeiro período, estabelecem critérios para ocupação do espaço, sistemas de ventilação, e procedimentos de projeto baseados na qualidade olfativa do ar interior, e como prevenção da Síndrome dos Edifícios Doentes-SED, (Niven et al. 2000): norma brasileira ABNT NBR 16401-3:2008⁵; norma europeia EN 16798-1:2019⁶; a antiga norma América ANSI/ASHRAE: 2004; e os artigos seminais de Fanger (1988,1989). Quando da pandemia e após são considerados as normas ANSI /ASHRAE 62.1: 2022⁷, e a ASHRAE Standard 241: 2023⁸; além de procedimentos institucionais: OPAS (2021)⁹, e REHVA (2021,2022)¹⁰.

Os critérios estabelecidos de projeto para a ventilação no ambiente construído tornaram-se com a pandemia insuficientes em manter condições de salubridade, (Silva et al.,2022). Portanto, em resposta ao novo desafio foram realizadas muitas pesquisas científicas e tecnológicas para o conhecimento do vírus Covid-19, sobre as suas formas de contaminação e de mitigação, além de novas orientações para os projetos de engenharia e arquitetura. Sobressaiu-se o método de avaliação do risco de infecção para pessoas devido a aerossóis contaminados, com base no modelo de Wells-Riley. Para tanto, é preciso indicar a dose quanta do vírus, além de outros dados como o percentual de pessoas suscetíveis de contaminação, a taxa de emissão do vírus etc, (Kurnitski et al., 2021; Bazant e Bush, 2021; Decker e Atem, 2022; REHVA, 2021, 2022). Face ao período tão grave vivido, compreende-se como necessário proceder à uma análise sobre os fundamentos inerentes aos documentos normativos indicados, legislação e procedimentos. O intuito é de contribuir para a fase de concepção do projeto de arquitetura, ocasião em que o projetista procura estabelecer condições adequadas para a qualidade do ar, especificamente em salas de aula de escolas públicas brasileiras de ensino fundamental II.

Metodologia

O artigo compõe-se de duas partes. Na Parte I são examinadas normas, legislações e procedimentos de ventilação relativos à qualidade olfativa e de saúde do ar interior em um ambiente construído não industrial. Considera-se para análise uma sala de aulas do ensino fundamental II de escola pública, conforme as condições de projeto definidas pelo FNDE (2023, p.82), e que comporta um alto número de alunos por m².

5 Instalação de ar condicionado, sistemas centrais e unitários -Parte 3: Qualidade do Ar Interior.

6 Energy performance of buildings. Ventilation for buildings Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Module M1-6.

7 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality.

8 Control of Infectious Aerosols.

9 ORGANIZAÇÃO PANAMERICA DE SAÚDE.

10 FEDERATION OF EUROPEAN HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING ASSOCIATIONS.

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de clase de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

Para fins conceptuais são considerados os artigos seminais de Fanger (1988,1989) sobre a QAI com base na percepção olfativa de pessoas não adaptadas ao ambiente. As emissões poluentes se referem a ocupantes e materiais constituintes do ambiente interior. Objetiva-se quantificar as taxas de renovação de ar necessárias para manter uma qualidade do ar na sala de aulas a partir das normas, legislação e procedimentos. Após, apresenta-se para o ambiente escolar examinado um quadro comparativo das taxas de renovação de ar calculadas com base nos documentos relacionadas com a prevenção à SED, como também para o caso de pandemia, complementando com uma breve discussão.

A Parte II do artigo tem como referência as indicações de projeto da norma ANSI/ASHRAE 62.1: 2022 que permite a ventilação natural por diferencial térmico na edificação para renovação do ar interior, desde que as condições regionais e do sítio de projeto apresentem admissíveis concentrações de poluentes atmosféricos. Deseja-se verificar por meio da aplicação da formulação empírica indicada por CIBSE (2015), se a ventilação natural por efeito térmico sob o diferencial de temperatura interior-exterior de 1°C estabelecido pela norma, e aberturas apropriadas na sala de aulas, poderiam atender aos requerimentos de qualidade olfativa do ar interior.

Parte I – Qualidade do Ar Interior e Ventilação mínima necessária para a sala de aulas

Caracterização do espaço escolar

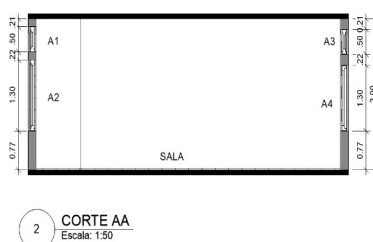
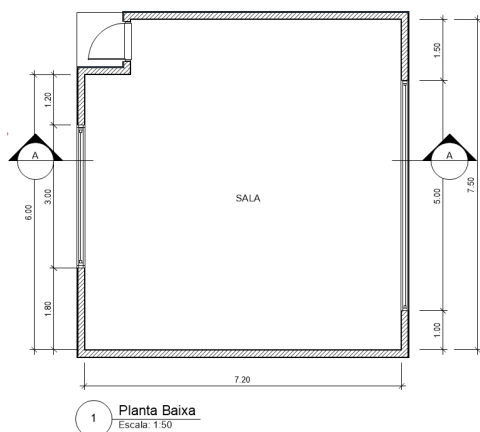
O FNDE (2023, p.82) estabelece para uma sala de aulas do Ensino Fundamental II - (6º ao 9º ano, alunos de 11 a 14 anos) a ocupação máxima de 35 alunos, com área recomendada de 1,5m² por aluno, e pé-direito de 2,7 - 3 m. Aberturas para ventilação com 1/10 da área do piso e para luz natural com 1/5. Para fins de cálculo considera-se a sala com as seguintes dimensões: comprimento 7,5 m; largura 7,2m; pé-direito 3m; ou seja, área de piso de 54m², e volume de 162 m³, Figura [1]. As dimensões e posições das janelas foram estabelecidas de acordo com a densidade de ocupação, geometria da sala e a relação com a área do piso para fins de ventilação e iluminação natural. A altura entre os centros das janelas é de 1,15 m. As esquadrias são do tipo maxim-ar, com as seguintes dimensões em metros: A1(3 x 0,5), A2(3 x 1,3), A3(5 x 0,5), A4(5x1,3). As posições das aberturas estão indicadas em corte na Figura [2]:

FIGURA 1 – Planta baixa da sala de aulas

Fonte: Adaptado de FNDE (2023) pelo autor.

FIGURA 2 – Corte transversal da sala de aulas com as janelas nas duas fachadas principais.

Fonte: Adaptado de CIBSE (2015).



Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de clase de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

A percepção pelo olfato e o método de FANGER

O olfato humano pode identificar 4000 odores e suas intensidades, seguindo as etapas: detecção e reconhecimento; avaliação da intensidade; caráter e apreciação, (ASHRAE,1989). A característica olfativa do ar no ambiente construído foi pesquisada por Pov Ole Fanger (1934-2006), que estabeleceu um modelo teórico-empírico, que relaciona o percentual de insatisfação das pessoas com a qualidade do ar interior percebida, em um ambiente não industrial. A sua pesquisa sobre a percepção olfativa do ar foi fundamental para o desenvolvimento das normas direcionadas à prevenção da SED. A unidade Olf quantifica a intensidade da fonte de poluição olfativa. Sendo 1 olf = intensidade de contaminação do ar gerada por um indivíduo padrão, adulto médio, sedentário, em equilíbrio térmico ($1\text{met} = 58,2\text{W}/\text{m}^2$). Os valores em olf também caracterizam a emissão dos materiais de construção, acabamentos, mobiliário, e servem para o cálculo da carga olfativa total do ambiente edificado. Define-se também a unidade pol, como o nível percebido de poluição do ar em um ambiente sob uma fonte poluidora equivalente à 1 Olf, e quando ventilado por uma vazão de ar novo não poluído de 1 L/s: $1\text{ pol} = 1\text{ olf} / 1\text{ L/s}$; $1\text{ pol} = 10\text{ decipol}$; $1\text{ decipol} = 0,1\text{ olf} / (\text{L/s})$. A correlação original de Fanger (1988) permite obter o percentual de pessoas insatisfeitas com a qualidade olfativa do ar quando entram em um ambiente, Equação [1]:

$$\text{PPD} = 395 \exp[-3,255 (C_i - C_e)^{-0,25}] ; (C_i - C_e) \leq 31,3 \text{ decipol}$$

$$\text{PPD} = 100\% ; (C_i - C_e) \geq 31,3 \text{ decipol} \quad [1]$$

Onde:

C_e : qualidade olfativa do ar percebida no ambiente externo, (decipol); Quadro [1].

C_i : qualidade olfativa do ar percebida no ambiente interno, (decipol); Quadro [1].

PPD: percentagem de pessoas insatisfeitas, em (%).

A vazão volumétrica de ar externo necessária para manter a qualidade do ar desejada no ambiente, depende da carga de poluição total, do grau de percepção entre as qualidades do ar no interior e exterior, e da eficiência de ventilação, expressa pela relação, (Fanger, 1989):

$$Q = 10 \frac{G}{C_i - C_e} \frac{1}{\epsilon} \quad [2]$$

Onde:

G : carga total de poluição no ambiente interior, (olf),

Q : vazão de ar para a qualidade olfativa desejada, (L/s)

ϵ : eficiência da ventilação no ambiente, (=1 para ar com mistura).

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

QUADRO 1 – Valores para a seleção da qualidade olfativa do ambiente

Fonte: (Fanger,1988,1989), (ABRAVA,1992).

Os dados necessários para os cálculos estão indicados no Quadro [1].

Característica do ambiente externo		Ce (Decipol)
Local com episódios de fumaças		> 1
Cidade com moderada poluição do ar		0,05 - 0,3
Mar aberto ou montanhas		0,01
Qualidade do ar no ambiente interior	PPI (Percentual de insatisfação)	Ci (Decipol)
Alta	10	0,50
Qualidade Padrão de Ar	20	1,4
Mínima	30	2,5
Tipo de pessoa	Metabolismo (1 met= 58W/m ²)	Olf/pessoa
Adulto sedentário	1 – 1,2 met	1
Crianças pré-escola 3-6 anos	2,7	1,2
Jovens 14-16 anos	1 - 1,2 met	1,3
Ginastas iniciantes	3	4
Fontes de poluição		Carga de poluição (Olf/m ²)
Sala de aulas		0,3
Locais de reuniões		0,5

O cálculo da vazão de ar requer a seleção de valores do Quadro [1], e após aplicação nas Equações [1] e [2]. Considera-se a sala de aulas com ventilação natural, ou seja, não há filtragem do ar exterior admitido, caso comum nas escolas públicas brasileiras. Considera-se a qualidade do ar exterior $C_e = 0,05$ decipol, e na sala de aulas $C_i = 1,4$ decipol. A carga poluente (G) deve-se a emissão dos 36 ocupantes (35 alunos+ 1 professor) somada com as emissões dos materiais da sala. Assim, resulta: $G = 63$ olf. Substituindo na Equação [2] resulta a vazão de ar de 466,7 L/s, e pela Equação [1] resulta $PD = 19,5$ %, com o índice de renovação do ar de $10,4 \text{ h}^{-1}$.

O índice de renovação de ar por hora (N) é dado pela relação:

$$N = Q/V \quad [3]$$

Sendo:

N: unidade (1/h);

Q: Vazão total de ar externo suprida na zona de ventilação, (m³/h);

V: Volume do ambiente, (m³).

Análise das normas e procedimentos de ventilação para a QAI

As normas examinadas que estabelecem procedimentos de cálculo para o índice de renovação do ar interior para fins de Conforto Olfativo e Qualidade do Ar Interior-QAI, são as seguintes: ABNT-NBR 16401-3:2008; ANSI-ASHRAE 62.1:2022; e EN 16798-1:2019. Em geral, para auxílio ao projetista, essas normas apresentam valores de taxas

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

de ventilação em default relacionadas com uma densidade de ocupação específica. O objeto dessas normas é a prevenção da SED.

A Norma ABNT-NBR 16401-3: 2008 é baseada na antiga ASHRAE 62.1: 2004, e trata a ventilação para a Qualidade do Ar Interior-QAI nas edificações dotadas de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. A norma está em processo de revisão, e difere em vários pontos da ANSI-ASHRAE 62.1:2022. Considera-se a parte relativa ao cálculo da vazão de ar exterior com qualidade aceitável, a ser suprida pelo sistema mecânico para fins de renovação do ar interior, mantendo no ar níveis aceitáveis de concentrações de poluentes biológicos, físicos e químicos. Pela norma, a vazão eficaz (V_{ef}) é constituída pela soma de dois termos: a vazão correspondente ao número de pessoas adaptadas ao recinto; e a vazão relacionada com a área ocupada, Equação [4]:

$$V_{ef} = Pz \cdot Fp + Az \cdot Fa \quad [4]$$

Onde:

V_{ef} : vazão eficaz de ar exterior, em litros por segundo (L/s); **Fp :** vazão por pessoa, L/(s.pessoa); **Fa :** vazão por área útil ocupada, L/(s.m²); **Pz :** número máximo de pessoas na zona de ventilação; **Az :** área útil ocupada pelas pessoas, (m²).

A vazão de ar (V_z) a ser suprida na zona de ventilação será:

$$V_z = V_{ef} / E_z \quad [5]$$

E_z é a eficiência da ventilação, relação entre as concentrações do ar poluído na boca de exaustão (= 1 para o ar misturado).

São considerados pela norma três níveis para o cálculo da vazão eficaz: “sendo a escolha do nível definida como resultado de concordância entre o projetista e o contratante”. Nível 1: vazão mínima de ar exterior; Nível 2: valor intermediário para a vazão; Nível 3: existem evidências de redução de reclamações e de manifestações alérgicas. Para o caso de uma sala de aulas, as taxas de ventilação requeridas estão indicadas no Quadro [2] em função do nível desejado de qualidade do ar para o ambiente.

QUADRO 2 – Vazão de ar exterior conforme o nível de QAI

Fonte: NBR 16401-3/2008.

Nível de QAI desejado no ambiente	L/(s.pessoa)	L/(s.m ²)
1	5	0,6
2	6,3	0,8
3	7,5	0,9

A norma ANSI-ASHRAE 62.1: 2022 estabelece valores mínimos para as taxas de ventilação, além de outras medidas para prover uma qualidade do ar interior aceitável para os ocupantes, e que minimizem os efeitos adversos à saúde. As pessoas são consideradas adaptadas ao recinto. Os requerimentos de ventilação são baseados em contaminantes químicos, físicos, e biológicos que afetam a qualidade do ar interior, e que são classificados em 4 classes. Classe 1: o ar contém baixa concentração de contaminantes, há pequena sensibilidade sensorial, o odor é inofensivo. O percentual de pessoas insatisfeitas é PPD=20%. Classe 2: há moderada concentração de contaminantes, percebida alguma intensidade de irritação, ou alguns odores. Classe 3:

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

ar ambiente com significativa concentração de contaminantes, alta irritação sensorial e, muitos odores. As salas de aula estão classificadas na Classe 1, e quanto à vazão de ar mínima para a sala de aula com alunos de idades iguais ou maiores de 9 anos, 5 L/s por pessoa + 0,6 L/s por m². Valor esse idêntico ao nível 1 estabelecido pela atual norma brasileira. Permite-se a utilização da ventilação natural na edificação sob a avaliação comprovada das condições de qualidade do ar exterior da região, e do local do projeto, em termos das concentrações de materiais particulados com diâmetros 2,5 e 10 µm; CO 1h/8h; ozônio; NO₂; Chumbo; e SO₂. As janelas devem ser operáveis e projetadas somente para a ventilação por efeito térmico em atendimento à vazão mínima estabelecida. Somente após essa comprovação é que poderá ser realizado o cálculo da ventilação natural por diferencial de pressão devido aos ventos.

A norma EN 16798-1: 2019 é equivalente a ISO 17772:2017. Considera as condições de uso da edificação e relevantes objetivos como o desempenho energético, conforto ambiental e a qualidade do ar interior. Pela norma, o espaço se refere a parte da edificação sob uma condição uniforme. A vazão de ar externo para fins de projeto, corresponde a uma ocupação máxima para o espaço em questão. Os níveis estabelecidos são definidos em função da categoria do espaço, e diferem conforme seja a pessoa adaptada ou não ao recinto. Categoria I – Alto nível de expectativa, sendo recomendado para espaços ocupados por pessoas sensíveis e frágeis, com necessidades especiais como cadeirantes, doentes, crianças muito pequenas e pessoas idosas. Os ambientes devem ter materiais com baixo potencial de emissão de poluentes. Categoria II – Nível normal de expectativa e deveria ser utilizado para novas edificações e reabilitações. Categoria III – Nível moderado de aceitação e deve ser usado para edificações existentes. Categoria IV – Valores fora dos critérios das outras categorias, e somente deveria ser aceita em uma limitada parte do ano. Os critérios de ventilação são apresentados em termos de valores mínimos de vazão de ar. Os parâmetros de projeto para a qualidade do ar interno variam conforme o método utilizado para projeto ou análise. O método baseado na percepção olfativa do ar considera a vazão de ar na zona de respiração pela associação das emissões das pessoas e da edificação, Quadro [3]. Devem ser considerados os valores das taxas de renovação do ar conforme as diferentes categorias, correspondentes às pessoas e ao edifício. A taxa mínima de ventilação em qualquer categoria para pessoas adaptadas é de 4L /s por pessoa. Pela norma, para a edificação pouco poluída são consideradas as seguintes taxas de emissão em (µg/m³): compostos orgânicos totais TCOV < 1000; formaldeído < 100; COV carcinogênico < 5, e um PPD = 20%. A taxa de ventilação para diluição das emissões dos materiais do prédio (L /s.m²) corresponde a um ambiente categoria II pouco poluída, caso das salas de aulas.

QUADRO 3 – Componentes da vazão em relação a pessoas e condições da edificação

Fonte: Excerto da norma EN 16798-1/2019.

Categoria	L / (s.pessoa)	Edificação muito pouco poluída	Edificação pouco poluída	Edificação poluída	PPD(%)
		L/ (s.m ²)	L/ (s.m ²)	L/(s.m ²)	
I	10	0,5	1	2	15
II	7	0,3	0,7	1,4	20
III	4	0,2	0,4	0,8	30
IV	2,5	0,25	0,3	0,6	40

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

A quantificação da taxa de ventilação para manter a qualidade do ar interior no ambiente construído que é estabelecida em cada norma, se refere a um dado ambiente, em função de suas características físicas e operacionais, além da percepção sobre o grau de poluição, e da densidade de ocupação.

Procedimentos no período de pandemia e a norma para o após

Durante a pandemia foi mantida em vigência a Resolução nº9 da ANVISA. Enquanto a OPAS considerou necessária a taxa de 10 L/s por pessoa para os projetos e processos de avaliação sobre as condições de ventilação em ambientes construídos não industriais. Para a retomada das aulas nas escolas, a FIOCRUZ (2021) recomendou alguns procedimentos para a proteção individual, e um índice de renovação de ar nos ambientes de 3 a 4 (1/h), considerando como ideal 6 (1/h).

A vazão de ar necessária para a saúde nos ambientes, com base no risco de infecção, tem sido calculada pelo modelo de Wells-Riley com taxas de emissão quanta calibradas para o Covid-19. O quantum é definido como a dose de partículas aerossóis para causar infecção em 63% de pessoas suscetíveis. Para o ar ambiente homogêneo sob mistura, a vazão de ar em regime permanente pode ser escrita, (Kurnitski et al., 2021):

$$Q = (1-\eta_i) I q Q_b (1-\eta_s) D / \ln (1 / 1-p) - (\lambda_{dep} + k + k_f + k_{UV}) V \quad [6]$$

Q : Vazão de ar do exterior (m^3/h); p probabilidade de infecção para uma pessoa suscetível (%); q : taxa de emissão virótica quanta por pessoa infectada (quanta/(h.pessoa)); Q_b : taxa volumétrica de respiração de um ocupante (= 0,57 m^3/h em sala de aula); I : número de pessoas que infectam (-), valor em default $I = 1$; η_s : eficiência da máscara facial para uma pessoa suscetível (= 0,3); η_i : eficiência da máscara facial para uma pessoa infectada (= 0,5); D : duração da ocupação (h); λ_{dep} : deposição sobre superfícies (= 0,24/h); k : decaimento do vírus (= 0,621/h); k_f : filtragem por limpador portátil do ar (1/h); k_{UV} : desinfecção na parte superior do aposento por germicida por irradiação ultravioleta UVGI (1/h); V : volume do aposento (m^3).

Em 2022, a REHVA com base na aplicação do modelo de Wells-Riley, além de experimentos em escala real, estabeleceu para fins de projeto um método de cálculo das taxas de ventilação para a saúde, pela redução da exposição aos aerossóis respiratórios contaminados, sendo aplicável a um ambiente com uso específico e área em torno de 50 m^2 . O método proposto enfoca duas situações: (i) O ar ambiente encontra-se sob mistura, há 1 pessoa infectada e não há o uso de máscaras pelas demais; (ii) Há mistura do ar, 1 pessoa infectada, uso de máscaras e desinfecção do ar. Para o caso de uma sala de aulas, o cálculo da vazão de ar que atende à primeira situação (i) é dada pela relação, (REHVA,2022):

$$Q (L/s) = \frac{1}{\varepsilon} [10 (N-1) - 0,24 V] \quad [7]$$

N : número de ocupantes da sala de aula; V : volume do ambiente (m^3); ε : efetividade pontual da ventilação para a zona de respiração considerada (0,8 – 1,2).

O cálculo da vazão para o caso (ii) requer a utilização da Equação (8), sendo necessário estabelecer o valor característico de filtragem k_f (1/h) do equipamento portátil de purificação do ar a ser utilizado.

$$Q(L/s) = 10(N-1) - 10 (0,87 + k_f) V/3,6 \quad [8]$$

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

Considerando o primeiro caso, é possível calcular a vazão de ar necessária em um ponto da sala de aula onde a ventilação se faz mais necessária ($\epsilon = 0,8$), para os seguintes dados: ocupação de 36 pessoas, área da sala 55 m², volume 162 m³, obtendo-se: $Q = 388,6$ L/s; ($8,6$ h⁻¹).

O documento REHVA (2022) ainda enfatiza que para fins de saúde, o ambiente deve dispor de sensores e controles para temperatura e CO₂, para regular a ventilação em valor máximo.

A norma **ASHRAE Standard 241: 2023** enfoca o controle de infecções por aerossóis aplicável para vasta gama de edifícios e tipos de espaços. Apresenta requisitos adicionais à ANSI/ASHRAE 62.1: 2022, ao visar o modo de gerenciamento de operação sob uma situação de risco de infecção (IRMM). Os procedimentos são aplicáveis em períodos de altíssimos níveis de infecção para mitigar os riscos de contaminação. Considera uma vazão equivalente de ar limpo (ECAi) em L/(s.pessoa), sendo que o ar externo fornecido ao ambiente deve ser filtrado e desinfetado por tecnologias apropriadas. Para uma sala de aulas é exigido na zona de respiração o valor ECAi = 20 L/(s.pessoa). Ou seja, valor quase o dobro daquele apresentado pela REHVA (2022). Observa-se com a criação do modo de operação especial (IRMM) que há a introdução do conceito de resiliência para as normas direcionadas à qualidade do ar interior. Resultados de experimentos em um ambiente escolar realizados por Mcleod et al. (2023) corroboram, segundo esses autores, para a aplicabilidade dessa norma. Pois, permite associar os benefícios de alta vazão de ar com o uso de diversas medidas profiláticas, em caso de altas taxas de transmissão viróticas que podem ocorrer em uma comunidade.

Discussão sobre os resultados da Parte I

O Quadro [4] apresenta a seguir, com base nas normas e documentos examinados, os valores obtidos para a vazão mínima requerida em (L /s), e do índice de renovação de ar por hora (h⁻¹) para a sala de aulas do ensino Fundamental II, sob os parâmetros estabelecidos pelo FNDE (2023, p.82). As cinco primeiras linhas se referem especificamente à qualidade do ar no ambiente da sala de aulas com base no conforto olfativo. As três linhas finais dizem respeito à qualidade do ar para a saúde, com vazões estabelecidas como reação à situação de pandemia. Observa-se que a norma ANSI-ASHRAE 62.1:2022 considera os alunos adaptados ao recinto, sendo especificado uma vazão de ar mínima e que coincide com o nível 1 da ABNT NBR 16401-3: 2008. Já o nível 2 da norma tem o mesmo valor estabelecido pela ANVISA (2003). A norma europeia indica um percentual de 20% de pessoas insatisfeitas, e a categoria II de ambiente pouco poluído, e resulta em um valor 8% maior que o nível 2 da norma brasileira. Quanto ao método de Fanger, a escolha do nível intermediário para a qualidade olfativa do ar interior em 1,35 decipol, resultou em PPD = 19,6%. O índice de renovação calculado de 10,4 h⁻¹ se sobrepõe aos valores das normas para a situação de operação normal. A partir da análise realizada considera-se como pertinente sob condições usuais para prevenção da SED, a taxa de ventilação pela ANVISA (2003) de 27 m³/ (h. pessoa), e que resulta para a sala de aulas examinada em 6 h⁻¹. Em caso de pandemia, a aplicação da ASHRAE Standard 241: 2023 concorrerá para uma renovação do ar de 16 h⁻¹, sendo o ar ministrado ao ambiente interior livre de poluentes externos e desinfetado.

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

QUADRO 4 – Vazão requerida de ar exterior em (L/s), e (h^{-1}) com base documentos analisados para a sala de aulas do Ensino Fundamental II.

Fonte: Autor.

Fontes examinadas	Vazão mínima requerida de ar exterior em (L/s)	Renovação de ar por hora (h^{-1})
ABNT NBR 16401-3:2008	Nível 1: 212,4 Nível 2: 270 Nível 3: 318,6	4,7 6,0 6,5
ANSI-ASHRAE 62,1: 2022	Pessoas adaptadas: 212,4	4,7
EN 16798-1: 2019	PPI=20%, categoria II Pouco poluída: 290	6,4
ANVISA (2003)	270	6,0
Fanger (1988,1989)	Qualidade Padrão do ar 466,7	10,4
OPAS (2021)	360	8,0
REHVA (2022)	Sem máscaras ou desinfecção 382,4	8,6
ASHRAE Standard 241:2023	Ar limpo e desinfecção: 720	16

Parte II – O papel da ventilação natural por efeito térmico para a QAI

A norma ANSI/ASHRAE: 2022 permite a ventilação natural por efeito térmico para carrear poluentes gerados no ambiente interior, como prevenção à SED. Considera que as condições ambientais externas devem ser propícias a esse processo de ventilação. Portanto, procura-se verificar em auxílio ao projeto, se aberturas dispostas em duas fachadas da sala de aulas examinada poderiam contribuir para a ventilação por efeito térmico, sob um diferencial de temperaturas entre o ar interior e o meio exterior de 1°C, conforme estabelece a norma acima. Para tanto, considera-se a disposição das aberturas indicadas na Figura [2] e a formulação empírica Equação [9], (CIBSE,2015; BS 5925 *apud* Allard,1998, p.65):

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0,61 A \sqrt{2\Delta Tgh/\Theta} \quad [9]$$

A: área equivalente para as aberturas: $1/A^2 = 1/(A1^2 + A3^2) + 1/(A2^2 + A4^2)$ em (m²);

g: aceleração da gravidade, (9,8m/s²);

h: altura entre centros das janelas, (m);

ΔT: diferença entre temperaturas do ar interior t_i e a externa t_o , (K);

Θ: Média aritmética entre as temperaturas do ar interior e externa, (K).

Outra verificação pode ser realizada, quando se assume como permanente a taxa de ventilação na sala de aulas, para manter a diferença entre as concentrações de CO₂ nos ambientes interior e exterior em 700 ppm, conforme ABNT NBR 17037: 2023. Assim, para uma produção de CO₂ por pessoa estimada em 20 L/h, obtém-se a vazão de ar necessária através da Equação [10], (Costa,2005, p.24):

$$Q_{CO_2} \text{ (m}^3\text{/h)} = \frac{N.c}{\Delta C} \quad [10]$$

c: taxa de geração de CO₂ por pessoa/h, (20 L/h = 20000 ppm/h);

N: número de pessoas, (= 36);

ΔC: diferença das concentrações de CO₂ no interior e exterior, (700 ppm).

$$1\text{ppm} = 10^{-6} \text{ m}^3\text{/m}^3$$

Apresentação dos resultados da Parte II

Os valores das áreas das janelas da sala de aulas definidos anteriormente, são corrigidos pelo fator de redução de 83% para janelas do tipo maxim-ar (ANSI/ASHRAE 62.1: 2022, apêndice K). Assim as áreas efetivas (em m²) para ventilação serão: A1:(1,25); A2:(3,24); A3:(2,10); A4:(5,40), respectivamente, perfazendo 1/4,5 da área do piso. Desta forma a área equivalente resulta em A = 2,27 m². Considera-se o ar interior do ambiente com temperatura de 27°C, e no exterior de 26°C. A altura entre os centros das janelas é de 1,15m. Substituindo os valores na Equação [9] obtém-se a vazão de ar de 380 L/s; (8,4 h⁻¹). A comparação desse valor calculado para a vazão de ar pelo efeito térmico, com os valores apresentados na segunda coluna da Figura [6], permite verificar que satisfaz aos requerimentos de prevenção à SED definidos pelas normas, e pelos documentos da OPAS e ANVISA.

Quanto à diluição da concentração de CO₂, a aplicação dos valores numéricos na Equação [9] resulta a vazão de ar necessária de 1028,6 m³/h = 285,7 L/s; (6,3 h⁻¹). Assim, verifica-se que a vazão pela ventilação natural por efeito térmico, e para as aberturas definidas com área equivalente de 2,7m², possibilitam manter a concentração do gás carbônico na sala de aulas dentro do limite estabelecido.

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

Considerações Finais

A análise, realizada com base nas normas, legislações e procedimentos sobre a ventilação e QAI para uma sala de aulas do ensino público, indica que a taxa de ventilação por pessoa estabelecida pela resolução da ANVISA é plenamente adequada para o conforto olfativo e a prevenção da Síndrome do Edifício Doente-SED. Verificou-se que a ventilação natural por diferencial térmico é um recurso importante a considerar na sala de aulas quando do projeto das aberturas. Estudos adaptados às condições climáticas regionais poderão melhor quantificar as trocas de ar e avaliar a qualidade do ar resultante. Considera-se ainda que a ventilação por diferencial de pressão devida aos ventos, poderá se somar ao recurso natural examinado, a depender da correta orientação das aberturas aos ventos, e assim concorrer para a qualidade ambiental na edificação. A partir dos cálculos realizados identifica-se que a relação de aberturas/área de piso de 1/10, estabelecida pelo FNDE (2023, p.82) está aquém do necessário para promover ventilação natural por efeito térmico para a sala de aulas com a ocupação estabelecida, ao se seguir a indicação da norma ANSI/ASHRAE: 2022 para o diferencial de temperatura de 1°C.

A ASHRAE Standard 214: 2023 passa a exercer um papel importante para as edificações em períodos de pandemia, ao direcionar esforços tecnológicos e de gestão para mitigar a contaminação aérea por aerossóis infectados. A ideia é manter instalada na edificação, em modo de espera, toda uma tecnologia de ventilação, climatização, filtragem e purificação do ar interior. Sendo os sistemas acionados caso necessário. Tecnologia que demandará altos custos e todo um esforço para atualização dos sistemas de ventilação vigentes nas edificações, e compreende-se que encontrará maior receptividade pelo setor corporativo.

Ainda considerando o caso das escolas públicas brasileiras, face aos poucos recursos financeiros destinados ao setor, a solução paliativa para proteção em uma pandemia continuaria pelo incremento da ventilação natural nas salas de aulas, através de um projeto novo de arquitetura ou de renovação, além da redução do número de alunos por classe, e a utilização de máscaras para a proteção individual. Considera-se também que a vacinação em massa da população contribui para a continuidade de atenuar a propagação aérea de um vírus, como já observado, o que pode garantir garantia contra uma suspensão das aulas, se ao menos a questão da QAI como prevenção à SED estiver sendo tratada no espaço escolar.

Agradecimentos

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro-FAPERJ. Processo E-26/201.082/2021. À Patrícia Di Trapano pela gentileza dos desenhos da sala de aula.

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. **Resolução-RE N°09 – Orientação Técnica sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Artificialmente Climatizados de Uso Público e Coletivo**, 2003.

ALLARD, Francis (editor). **Natural Ventilation in Buildings. A Design Handbook**. James & James Science Publishers. London, 1998. p.65.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. ANSI/ASHRAE 62.1- **Ventilation for Acceptable Indoor Air**, 2022.

_____. **ASHRAE STANDARD 241 – Control of Infections Aerosols. Minimum Equivalent Clean Airflow**. 2023.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **Handbook Fundamentals**, (SI edition). 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT-NBR 16401-3 Instalação de ar-condicionado, sistemas centrais e unitários - Parte 3: Qualidade do Ar Interior**, 2008.

_____. **ABNT-NBR 17037- Qualidade do ar interior em ambientes não residenciais climatizados artificialmente**, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO-ABRAVA. **Projetando a boa qualidade do ar em edifícios com ar-condicionado. Revista ABRVA**. N.6, agosto, 1992, p. 55-56.

BAZANT, M.Z., BUSH, W.M. A guideline to limit indoor airborne transmission of Covid 19. **PNAS**, 2021, Vol.118, n° 17, 12p.e2018995118.

BORSBOOM, W., De GIDES, W., LOGUE, J., SHERMAN, M., WARGOCKI, P. Technical Note AIVC 68 - **Residential Ventilation and Health**. AIVC- Air Infiltration and Ventilation Centre, Brussels, Belgium, 2016. <https://www.aivc.org/resource/tn-68-residential-ventilation-and-health?volume=33978>. Acesso em 12/01/2022.

CIBSE. **Guide B: Heating, Ventilating, Air Conditioning and Refrigeration**. 2005. UK.

COGGINS, M., JONES, S. **Ventilation and Health**. AIVC- Air Infiltration and Ventilation Centre. Ventilation Information Paper n°43, July 2021. [aivc.org/resource/vip-43-residential-ventilation-and-health](https://www.aivc.org/resource/vip-43-residential-ventilation-and-health). Acesso em: 12/01/2022.

COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO – CEN, **EN 16798-1:2019. Energy performance of buildings. Ventilation for buildings Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics**. Module M1-6.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA (2018). **Dispõe sobre padrões nacionais de qualidade do ar**. Resolução CONAMA n°491, de 19 de novembro de 1918. Diário Oficial da União: n° 223, de 21/11/2018, Seção 01, Página 155-156. Brasília, DF, 21 nov. 2018b.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA (2024). **RESOLUÇÃO N° 506, DE 5 DE JULHO DE 2024 Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação**.

COSTA, E. C. **Ventilação**. São Paulo. Editora Edgard Blucher. 1° Edição, 2005. p.24.

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de clase de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

DECKER, P.H.B.; ATEM, C.G. Ventilação natural como na redução da propagação do Covid-19 em salas de aula. **Ambiente Construído**. Porto Alegre. v.22, n.4 p.233-253, out-dez 2022.

FANGER, P. Ole. Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. **Energy and Buildings**, 12(1988) 1-6.

_____. The new comfort equation for indoor air quality. **IAQ 89. The Human Equation**: Health and Comfort, San Diego, Ca. April 17-20, 1989.

FEDERATION OF EUROPEAN HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING ASSOCIATIONS- REHVA. **REHVA COVID-19 Guidance**. Version 4.1, 15 April 2021. Brussels.

FEDERATION OF EUROPEAN HEATING VENTILATION AND AIR CONDITIONING ASSOCIATIONS- REHVA. **REHVA Proposal for post-Covid target ventilation. Health-based ventilation rates and design method for reducing exposure to airborne respiratory infection diseases**. 21 Dec. 2022.Brussels.

FUNDAÇÃO OSVALDO CRUZ - FIOCRUZ. **Recomendações para o planejamento de retorno às atividades escolares no contexto da pandemia de Covid -19**. (2021). Versão atualizada em 15/08/21.

FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DE EDUCAÇÃO – FNDE. **Manual de orientações técnicas** Vol.3. Elaboração de projetos de edificações escolares: Ensino Fundamental, Brasília –DF, p.82. 2023.

KURNITSKI, J., KILL, M., WARGOCKI, P., BOERSTRA, A., SEPPANEN, O. Respiratory infection risk-based ventilation design method. **Building and Environment**, 206 (2021) 108387. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108387>.

MCLEOD, R.; HOPFE, C., POLLOZHANI, F. Can ventilation combat airborne infection risks in schools?. **The REHVA European HVAC Journal**, V.60, Issue 5, October 2023, p. 11.

NIVEN, R. Mcl.; FLETCHER, A.M.; PICKERING, C.A.L.; FARAGHER, G.B.; BLOOTH, W.B.; JONES, T.J.; POTTER, P.Q.R. Building sickness syndrome in health and unhealthy buildings: An epidemiological and environmental assessment with cluster analysis. **Occupational and Environmental Medicine**. 2000; 57:627-634.

ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DE SAÚDE-OPAS. **Roteiro para melhorar e garantir a boa ventilação de ambientes fechados no contexto da doença causada pelo novo corona vírus, Covid-19**. 2021. ISBN 978-92-75-72380-7.

SILVA, S.V.O., PAGEL, E.C., BASTOS, L.E.G., MARCONSINI, C. Ventilação natural e qualidade do ar em salas de aula: revisão sistemática da literatura. **PARC. Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas-SP, 2022. v.13, p. e022021. <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v.13i00.8666284.ISSN1980-6809>.

Análise de normas e procedimentos para a qualidade do ar por ventilação em sala de aulas do ensino público, e o potencial uso da ventilação natural por efeito térmico

Analysis of standards and procedures for air quality through ventilation in a public education classroom, and the potential use of natural ventilation due to thermal effect

Análisis de normas y procedimientos para la calidad del aire por ventilación en salón de classe de educación pública, y el potencial uso de la ventilación natural por efecto térmico

RESPONSABILIDADE INDIVIDUAL E DIREITOS AUTORAIS

A responsabilidade da correção normativa e gramatical do texto é de inteira responsabilidade do autor. As opiniões pessoais emitidas pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade, tendo cabido aos pareceristas julgar o mérito das temáticas abordadas. Todos os artigos possuem imagens cujos direitos de publicidade e veiculação estão sob responsabilidade de gerência do autor, salvaguardado o direito de veiculação de imagens públicas com mais de 70 anos de divulgação, isentas de reivindicação de direitos de acordo com art. 44 da Lei do Direito Autoral/1998: “O prazo de proteção aos direitos patrimoniais sobre obras audiovisuais e fotográficas será de setenta anos, a contar de 1º de janeiro do ano subsequente ao de sua divulgação”.

O CADERNOS PROARQ (ISSN 2675-0392) é um periódico científico sem fins lucrativos que tem o objetivo de contribuir com a construção do conhecimento nas áreas de Arquitetura e Urbanismo e afins, constituindo-se uma fonte de pesquisa acadêmica. Por não serem vendidos e permanecerem disponíveis de forma *online* a todos os pesquisadores interessados, os artigos devem ser sempre referenciados adequadamente, de modo a não infringir com a Lei de Direitos Autorais.

Submetido em 21/02/2024

Aprovado em 12/07/2024