XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8300

Qualidade do ar em ambientes de ensino do Instituto de Arquitetura e Urbanismo e Design da Universidade Federal do Ceará

Air quality in teaching environments at the Institute of Architecture and Urbanism and Design of the Federal University of Ceará

Renan Cid Varela Leite
Universidade Federal do Ceará| Fortaleza | Brasil | renancid@daud.ufc.br
Micaele Lima
Universidade Federal do Ceará| Fortaleza | Brasil | micaelesousa@alu.ufc.br
Ana Beatriz Mourão
Universidade Federal do Ceará| Fortaleza | Brasil | beatriz.mourao@alu.ufc.br

Resumo

A longa permanência em ambientes de ensino fechados pode elevar a concentração de dióxido de carbono (CO_2) e a exposição a material particulado em suspensão (PM2,5 e PM10). Selecionou-se três ambientes do Instituto de Arquitetura e Urbanismo e Design da Universidade Federal do Ceará com o objetivo de monitorar os níveis de CO_2, PM2,5 e PM10 durante dois episódios. O laboratório de computação (LABCAD) apresentou maiores concentrações de CO_2, ultrapassando o valor de referência adotado (1.000 ppm) em 93% do tempo, enquanto que as salas 1 e 7 mantiveram-se abaixo. O material particulado manteve-se dentro dos limites aceitáveis nos três ambientes, sendo mais baixo no LABCAD e mais alto nas salas 1 e 7. Evidencia-se a influência da densidade de ocupação, as dimensões espaciais das salas e características das esquadrias como determinantes para a qualidade do ar interno.
Palavras-chave: Qualidade do ar. Dióxido de carbono. Material particulado. Ambientes de ensino. Conforto ambiental.

Abstract

Long-term occupancy of enclosed educational environments may increase the concentration of carbon dioxide (CO_2) and exposure to suspended particulate matter (PM2.5 and PM10). Three spaces at the Institute of Architecture, Urbanism and Design of the Federal University of Ceará were selected for monitoring CO_2, PM2.5, and PM10 levels during two monitoring episodes. The computer laboratory (LABCAD) showed higher CO_2 concentrations, exceeding the adopted reference value (1,000 ppm) for up to 93% of the monitored time, whereas classrooms 1 and 7 remained below this threshold. Particulate matter concentrations remained within acceptable limits in all three environments, with lower levels observed in the LABCAD and higher levels in classrooms 1 and 7. The findings highlight the influence of occupancy density, room spatial dimensions, and window characteristics as determining factors for indoor air quality.
Keywords: Air quality. Carbon dioxide. Particulate matter. Teaching environments. Environmental comfort.

INTRODUÇÃO

O conforto ambiental e a qualidade do ar constituem aspectos fundamentais em Arquitetura. Recentemente, em virtude da pandemia da COVID-19 e o maior nível de

exigência dos usuários em relação ao desempenho do ambiente construído, preocupações sobre a saúde e o bem-estar dos ocupantes de edifícios ganharam posição de destaque na agenda da sustentabilidade na construção civil. No contexto atual e mesmo antes da recente pandemia, a permanência cada vez mais prolongada em recintos fechados, superior a 90% do tempo [1], reforça a necessidade de avaliação da qualidade do ar interno.

A concentração de dióxido de carbono (CO_2) e de material particulado em suspensão (PM 2.5ug/m³ e PM 10 ug/m³) constituem alguns dos principais indicadores da salubridade do ar. O dióxido de carbono, também denominado gás carbônico, consiste em um composto químico gasoso constituído por um átomo de carbono e dois átomos de oxigênio. Em condições ambientais normais, apresenta-se como um gás incolor, inodoro e insípido, características que dificultam sua percepção pelos indivíduos expostos [2].

Níveis adequados de CO_2 para espaços internos, como residências, escolas e escritórios, são definidos por recomendações e diretrizes internacionais, como em [3] [4], e nacionais, como em [5] e [6]. No contexto brasileiro, [7] evidenciou, por meio do levantamento histórico de normas e legislações relacionadas à qualidade do ar no ambiente construído, o desenvolvimento gradual dessas regulamentações e sua importância para o monitoramento e melhoria das condições ambientais internas.

Muito embora altas concentrações de dióxido de carbono não constituam um risco significativo à saúde, é sabido que a exposição prolongada a níveis elevados CO_2 produz impactos na saúde e no desempenho cognitivo dos ocupantes em espaços confinados. O estabelecimento de um valor limítrofe ou aceitável para o CO_2 em 1.000 partículas por milhão (ppm) pode ser encontrado na abordagem da norma ANSI/ASHRAE Standard 62 [8], que estabelecia a taxa de ventilação for definida de modo que a concentração de CO_2 não excedesse tal limite, tendo, em seu apêndice a descrição matemática da relação entre as taxas de ventilação e os níveis internos de dióxido de carbono (CO_2) em regime permanente. Contudo, a recomendação referente ao CO_2 sofreu alterações ao longo dos anos, sendo substituído o limite original por uma diretriz que estabelecia que as concentrações internas de CO_2 deveriam permanecer em até 700 ppm acima dos níveis de concentração verificados no ambiente externo. Posteriormente, a versão Standard 62.1 de 2019 [9] removeu integralmente a diretriz e o apêndice. Ao longo dos anos, muitos pesquisadores continuaram, ainda que de forma equivocada, a utilizar o limite absoluto de 1.000 ppm de CO_2 como indicador de qualidade aceitável do ar interior [10]. Por outro lado, atualmente, pondera-se sobre a pertinência e a adoção deste valor [11].

Partículas e gases constituem os principais poluentes atmosféricos. Alguns destes têm origem natural, porém a maior parte decorre de combustões de processos industriais e tráfego veicular, geração de energia e outras atividades humanas [12]. O material particulado total (MPT), por sua vez, compreende uma mistura de partículas sólidas e líquidas dispersas no ar, que variam quanto à origem, composição e tamanho. Este conjunto de partículas, também denominado, partículas totais em suspensão (PTS), são classificadas segundo suas dimensões, sendo as denominadas grossas com 2,5 µm

< MP ≤ 10 µm), finas (0,1 µm < MP ≤ 2,5 µm) e ultrafinas (MP ≤ 0,1 µm), denominadas, respectivamente, MP_{10}, $MP_{2,5}$ e $MP_{0,1}$ [13]. Essas frações diferem em comportamento atmosférico e efeitos à saúde, sendo as partículas mais finas capazes de penetrar profundamente no sistema respiratório e causar impactos significativos sobre o bem-estar humano e ambiental [14].

Importa notar também que, no panorama recente, evidencia-se um aumento expressivo de sistemas de condicionamento do ar para ambientes de ensino. A alternativa de climatização é considerada, em muitos casos, como a principal ou mesmo única estratégia para promoção do conforto térmico em ambientes internos, sobretudo na realidade quente e úmida. Por outro lado, a utilização de sistemas de mecânicos de condicionamento têm comprometido a qualidade do ar interno ao diminuir a possibilidade de renovação do ar que ocorreria com a abertura de janelas e portas, promovendo a diluição do CO_2 e a redução da concentração de partículas contaminantes e patógenos em suspensão.

Considerando que os estudantes permanecem confinados por longos períodos durante dias letivos, em espaços que, comumente, operam com densidade ocupacional elevada, associada à insuficiente renovação de ar fresco, torna-se fundamental avaliar a qualidade do ar em ambientes de ensino artificialmente climatizados. Tais condições podem resultar na acumulação de dióxido de carbono e material particulado, como investigado recentemente em publicações científicas [15], [16], [17] e [18].

A medição dos níveis de dióxido de carbono e material particulado em suspensão são aspectos em consonância com diretrizes da Organização Mundial da Saúde [19] e, também, nacionais [20], sendo, portanto, fundamentais para a preservação da saúde e do bem-estar dos ocupantes em ambientes de aprendizagem. Este estudo aborda a qualidade do ar em ambientes de ensino do Instituto de Arquitetura e Urbanismo e Design (IAUD) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

OBJETIVO

Avaliar, através de medições *in loco*, a relação entre a qualidade do ar interior e características arquitetônicas tais como dimensões espaciais, de esquadrias e taxa de ocupação de três ambientes de ensino do IAUD-UFC.

METODOLOGIA

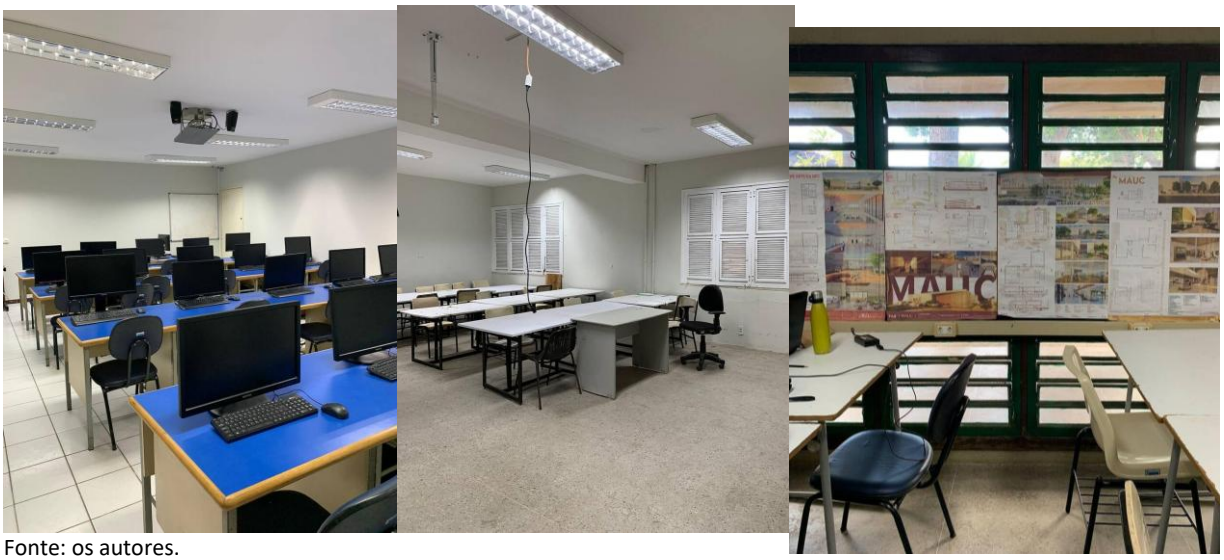
Trata-se de um estudo de caso, no qual foram monitorados os níveis de dióxido de carbono (CO_2) e de material particulado em suspensão (PM 2,5 ug/m³ e PM 10 ug/m³) durante atividades didáticas em três diferentes ambientes de ensino.

As medições ocorreram em dois dias distintos como forma de monitorar o espaço em diferentes condições de ocupação e avaliar a influência das características arquitetônicas do espaço, como as dimensões espaciais das salas, os tipos de esquadrias e a infiltração de ar.

Os ambientes de ensino selecionados para as medições foram o laboratório de computação (LABCAD), uma sala de aula (sala 1) e um ateliê de projeto (sala 7). Todos os espaços são utilizados pelos estudantes e professores durante os períodos da manhã e tarde em suas atividades acadêmicas. A escolha destas deveu-se às diferenças existentes entre os três ambientes em relação à características como dimensões dos espaços, a tipologia, tamanho e a condição das esquadrias existentes.

No cotidiano, durante as atividades didáticas, todos os recintos utilizam condicionadores de ar do tipo *split*, que permaneceram em operação durante todos os períodos de medições.

Figura 1: LABCAD (a), Sala de aula 1 (b) e Sala 7 (c)



Fonte: os autores.

O equipamento utilizado para a medição da qualidade do ar foi o medidor da marca Temtop, modelo *M2000 2nd GenerationMonitor.* O aparelho detecta partículas finas em suspensão (PM2.5 e PM10), além de CO_2, HCHO, umidade relativa e temperatura do ar.

Para a coleta de dados, dispôs-se o aparelho a 0,80 m do solo, apoiado sobre prancheta ou bancada disponíveis e em posição central em cada um dos ambientes monitorados. As medições foram programadas para ocorrer a cada cinco minutos de forma ininterrupta.

As medições ocorreram em dias diferentes em cada ambiente e, para cada espaço, foram realizadas duas rodadas de monitoramento, tendo o início previsto para antes das aulas começarem, por volta das 8:00. O equipamento permaneceu ligado durante todo o período e somente foi desativado cerca de dez minutos após a saída de todos os estudantes do recinto. As portas e janelas permaneceram fechadas durante praticamente todo o período de medições, sendo abertas somente no trânsito de pessoas. Durante os dias de medição das variáveis, não ocorreram chuvas ou episódios climáticos atípicos que alterassem significativamente a dinâmica térmica diária.

Figura 2: Equipamento utilizado na medição (esq.) e a posição durante as medições na sala 7.



Fonte: os autores.

Em relação às características arquitetônicas, é importante destacar a diferença existente entre as esquadrias de cada um dos ambientes analisados, sendo tal aspecto importante para a escolha de cada um dos ambientes. No LABCAD (Figura 3a) as esquadrias são do tipo basculante com maior capacidade de isolamento. Na sala 01 (Figura 3b) as venezianas em madeira comprometem a estanqueidade, uma vez que as frestas são significativas para a infiltração de ar. As esquadrias da sala 07 (Figura 3c), apesar de serem do tipo basculante, encontram-se, em sua maioria, danificadas ou com vidros ausentes, impedindo uma vedação mais efetiva deste espaço.

Figura 3: Janelas do LABCAD (a), janelas da sala 1 (b) e janelas da sala 7 (c)



Fonte: Os autores.

Tabela 1: Área e ocupação média de cada ambiente monitorado

Ambiente	Área do ambiente (m²)	Área total das esquadrias (m²)	Condicionadores de ar (BTU´s)	Ocupação média (pessoas)
Sala 1	61.76	10.13	2 splits 36.000	32
Sala 7	94.92	30.88	1 split 60.000	25
LABCAD	36.63	3.00	2 splits 36.000	25

Fonte: os autores.

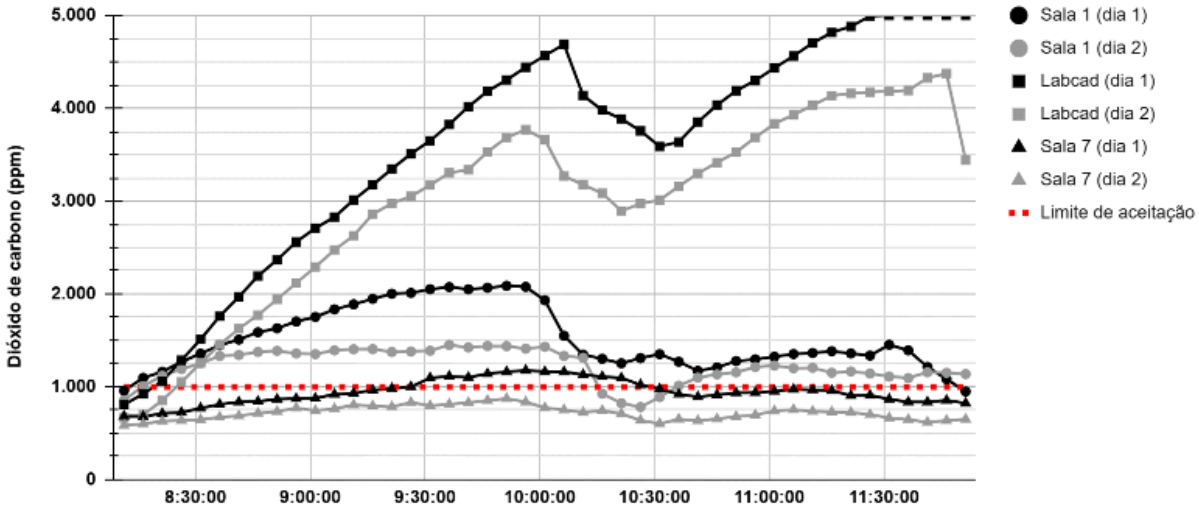
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8300

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em cada ambiente analisado, durante os dois dias de medições, é possível perceber o aumento gradual nos valores de CO_2 à medida que os espaços são ocupados pelos estudantes durante as aulas, como esperado. O gráfico a seguir (figura 4) demonstra o comportamento dos níveis de CO_2 ao longo do tempo.

Neste artigo, utiliza-se o valor de 1.000 ppm como valor de limiar de referência, acima dos quais podem estar associadas as sensações de "ar viciado", fadiga, queda de performance cognitiva e desconforto.

Figura 4: Níveis de CO_2 nos três ambientes monitorados durante os dois dias de medições



Fonte: Os autores.

Ao analisarmos os dados medidos, percebe-se que no LABCAD, os valores situam-se abaixo de nível considerado limítrofe (1.000 ppm) somente até por volta de vinte minutos após o início do período da aula (8:20), atingindo próximo de 4.000 ppm antes do intervalo, às 10:00. Com o retorno dos alunos após cerca de vinte minutos, os valores voltam a elevar-se até atingir os maiores níveis, acima de 3.000 ppm durante todo o tempo até o pico de 5.000 ppm no dia 1. Importa frisar que o intervalo máximo registrado pelo aparelho é de 5.000 ppm, não indicando, no caso, se valores mais altos foram atingidos. Com o término da aula é possível perceber a tendência de queda nos valores à medida que o laboratório vai sendo desocupado. Salienta-se, ainda, que os valores no laboratório permanecem acima de 1.000 ppm durante 95,6% do tempo no primeiro dia de medições e durante 93,4% do intervalo medido durante o segundo dia. A dimensão reduzida das esquadrias do LABCAD (3,00 m²), mantidas fechadas durante todo o tempo explicam, em parte, os valores mais elevados.

Na sala 1, os valores permanecem acima dos 1.000 ppm durante 93,4% do tempo no primeiro dia e durante 89,1% do período medido no segundo dia. Muito embora os níveis permanecem acima do limite considerado aceitável pela literatura, no primeiro dia de medição, os valores superam os 1.500 ppm em cerca de 39% do tempo e situam-

se acima de 2.000 em pouco mais de 17,3% do período analisado, situação bastante diferente do que é verificado no LABCAD. No segundo dia de medições, apesar de níveis acima dos 1.000 ppm na sala 1 em quase 90% do tempo, não são verificados níveis acima de 1.500 ppm. Tal aspecto se deve, possivelmente, ao processo de renovação do ar permitido pelas esquadrias, cujas venezianas dificultam um maior isolamento deste espaço. São três grandes janelas do tipo veneziana, tendo cada uma 1,50m x 2,10 m e quatro menores 0,60 m x 0.57 m, parte em vidro e venezianas.

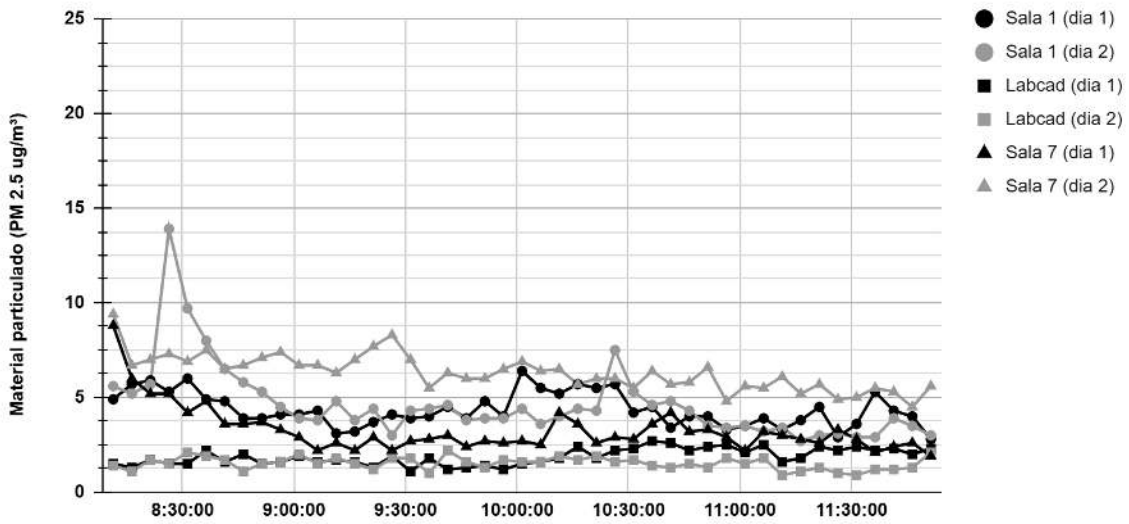
Na sala 7, os valores de dióxido de carbono são significativamente mais baixos do que o que foi verificado no LABCAD e, também, menores do que aqueles registrados na sala 1. No primeiro dia de medição, os valores ultrapassam 1.000 ppm em pouco mais de 26% do período, porém, sempre abaixo de 1.200 ppm. No segundo dia, por sua vez, em nenhum momento foi ultrapassado o valor de referência. Possivelmente, a menor capacidade de isolamento das esquadrias, que totalizam mais de 30 m² de área de abertura, o que, atrelado à significativa dimensão da sala (95m², aproximadamente), contribuíram para a manutenção de níveis baixos de concentração deste gás.

No LABCAD, cabe destacar que os valores mais altos devem-se, também, à menor dimensão da sala, que consequentemente gera uma maior densidade de ocupação ao receber turmas de 32 alunos. Muito embora todos os ambientes monitorados sejam climatizados durante as atividades didáticas, a sala 1 possui janelas do tipo venezianas, que permitem maiores infiltrações, assim como a sala 7, que, com basculantes em parte danificadas e muitas com dificuldade de fechamento total, garantem certa renovação do ar e a possibilidade de diluição do dióxido de carbono.

Em relação aos níveis de Partículas Totais em Suspensão medidos nos três ambientes, destaca-se que estes não ultrapassam valores significativos difundidos pela literatura. Muito embora o LABCAD tenha registrado valores elevados de CO_2, os níveis de material particulado registrados durante as medições foram os mais baixos em comparação às salas 1 e 7, que apresentaram valores um pouco mais elevados, porém ainda que distantes de níveis preocupantes, situados, comumente, acima de 15 µg/m³ para PM 2.5 e 45 µg/m³ para PM 10.

Como demonstrado pelo gráfico a seguir (figura 5), os valores de PM 2.5 nos três ambientes situam-se abaixo de 10 µg/m³ durante praticamente todo o período.

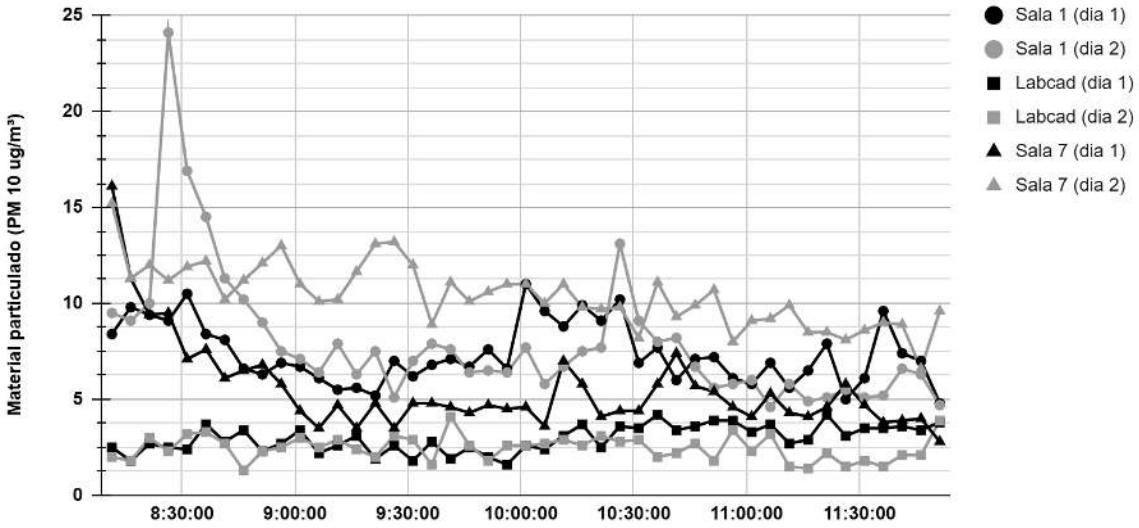
Figura 5: Níveis de material particulado PM 2.5 µg/m³ nos três ambientes monitorados durante os dois dias de medições



Fonte: Os autores.

Em relação ao material particulado de maior dimensão (PM 10 µg/m³), predominaram registros abaixo de 15 µg/m³. Como verificado para material particulado mais fino, as salas 1 e 7, com maior liberdade para o movimento do ar, os valores são mais elevados do que o verificado no LABCAD.

Figura 6: Níveis de material particulado PM 10 µg/m³ nos três ambientes monitorados durante os dois dias



Fonte: Os autores.

Faz-se importante acrescentar que, principalmente no caso do LABCAD e também da sala 1, a natureza das atividades didáticas que ocorrem nestes espaços e o cronograma mais rigidamente estabelecido, com horários de início e término bem definidos, corroboram para o estabelecimento de um perfil de ocupação relativamente estável ao longo do período de uso. Essa condição tende a alterar os mecanismos de ventilação interna, uma vez que a menor constância dos fluxos de pessoas pode reduzir a movimentação do ar pelo movimento humano, com consequente diminuição da

mistura do ar e dos níveis de turbulência no ambiente. Em contrapartida, a Sala 7, configurada como ateliê de projeto, caracteriza-se por um regime de ocupação mais dinâmico e não uniforme, aspecto associado à natureza pedagógica mais aberta das atividades ali desenvolvidas, nas quais há maior liberdade de circulação, permanência intermitente e variação no número de usuários ao longo do tempo, abertura e fechamento da porta de acesso. Tal cenário pode alterar o processo de renovação do ar.

Com base nos resultados, é possível inferir que aspectos como a estanqueidade e isolamento proporcionado pelas esquadrias do ambiente são importantes para reduzir a infiltração de ar externo e, consequentemente, a sua movimentação e turbulência, diminuindo sensivelmente os níveis de material particulado em suspensão. Valores relativamente mais elevados verificados nas salas 1 e 7 decorrem, em grande parte, à maior movimentação do ar provocada pela dificuldade de isolamento por parte de suas esquadrias em comparação ao sistema de janelas do LABCAD, o que torna mais difícil a sedimentação das partículas durante o uso contínuo do ar condicionado no cotidiano destes espaço de ensino.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo pretendeu monitorar os níveis de dióxido de carbono e material particulado em três ambientes para avaliar a influência de variáveis como a dimensão, nível de estanqueidade das esquadrias e densidade de ocupação.

A análise comparativa dos níveis de dióxido de carbono nos três ambientes de ensino evidencia diferenças significativas relacionadas à densidade de ocupação e às condições de ventilação e isolamento dos espaços proporcionadas pelos elementos como o tipo de esquadrias. O LABCAD apresentou as maiores concentrações de CO_2 e menores índices de material particulado em suspensão em função da elevada estanqueidade das esquadrias associada à menor dimensão deste ambiente em comparação com os demais e uma maior densidade de ocupação, uma vez que o LABCAD tem área menor e recebe um fluxo de alunos semelhante às demais salas analisadas.

Nas salas 1 e 7, de maiores dimensões, apesar de níveis que excedem o limite de referência adotado para este estudo, as concentrações máximas foram significativamente menores em relação ao que foi verificado no LABCAD, indicando a influência da maior permeabilidade das esquadrias e a menor densidade de ocupação nestes ambientes para uma melhor diluição do gás.

De modo geral, os resultados indicam que, mesmo em ambientes climatizados, fatores como a densidade de ocupação, o grau de vedação das esquadrias e a presença de mecanismos de ventilação influenciam diretamente os níveis de dióxido de carbono e de movimentação do material particulado em suspensão. Assim, destaca-se a necessidade de estratégias de ventilação complementar e controle de ocupação para garantir a qualidade do ar interior e o conforto dos usuários em ambientes de ensino.

O estudo limitou-se a apenas três ambientes com características bastante distintas, além de não levar em consideração variáveis importantes para a mensuração dos níveis de dióxido de carbono e material particulado como a flutuação na ocupação. Tais medidas podem ser aprimoradas em próximas etapas de expansão das análises como forma de garantir maior robustez nos achados.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] MOHAMAD, A., BURCIN, B., SIMI, H; ZHENG, O; PEDRIELLI, G., WEN, J., WU, T., **Ten questions concerning occupant health in buildings during normal operations and extreme events including the COVID-19 pandemic**. Building and Environment, Volume 188, 2021, 107480, ISSN 0360-1323, 'https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107480

[2] ARAÚJO, E.; SANTOS, T. C. de. **Qualidade do ar em alerta: análise comparativa dos níveis críticos e planos de emergência entre o Brasil e oito países**. Instituto Ar, Instituto Alana: São Paulo, 2024.

[3] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE STANDARD 62.1-2013: **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. Atlanta: ASHRAE, 2013. 58 p.

[4] _____. **ASHRAE Addendum p to ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. 2015. Disponível em:: https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-standard-241-control-of-infectious-aerosols. Acesso em: 28 de abr. de 2025

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários: parte 3: Qualidade do ar interior**. Rio de Janeiro, 2008.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17037: **Qualidade do ar interior em ambientes não residenciais climatizados artificialmente - Padrões referenciais**. Rio de Janeiro, 2023.

[7] GOBBI, M. E. **Normas e regulamentos brasileiros relacionados com qualidade do ar interior e a construção civil**. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO – ENANPARQ, 8., 2024, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ANPARQ, 2024.

[8] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 62-1989: **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1989.

[9] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 62-1999: **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1999.

[10] PERSILY, A. **Quit blaming ASHRAE standard 62.1 for 1000 ppm CO2**. 16th Conference of the International Society of Indoor Air Quality and ClimateOnline. Paper ID ABS-0445, 2000.

[11] STUMM, R. E. **Revisiting the 1,000 ppm CO_2 limit**. ASHRAE Journal, Atlanta, v. 64, n. 6, p. 18–23, jun. 2022. Disponível em: PDF da technical feature. Acesso em: 13 maio 2026.

[12] FLOSS, M., ZANDAVALLI, R. Bl, LEÃO, J.R.B., CAMILA VESCOVI LIMA CV, VIANNA N, BARROS EF, SALDIVA PHN. **Air pollution: a scoping review for clinical recommendations for family and community medicine**. Rev Bras Med Fam Comunidade. 2022;17(44):3038. https://doi.org/10.5712/rbmfc17(44)3038www.rbmfc.org.brISSN 2197-7994.

[13] U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Particle Pollution (PM) Basics**. Washington, DC, 2016.

[14] SALDIVA P.H.N., LICHTENFELS A.J.F.C., PAIVA P.S.O., BARONE I.A., MARTINS M.A., MASSAD, E., PEREIRA J.C.R., XAVIER V.P., SINGER, J. M., BOHM, G. M. A**ssociation between Air Pollution and Mortality Due to Respiratory Diseases in Children in São Paulo, Brazil: A Preliminary Report**. Environmental Research. 1994, 65(2), 218–225. https://doi.org/10.1006/enrs.1994.1033.

[15] FRANCESCHINI, P. B.; LIGUORI, I. N.; NEVES, L. O. **Avaliação da qualidade do ar interior durante a pandemia de Covid-19 em salas de aula naturalmente ventiladas**. In: Anais do XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído/ XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais...Palmas(TO) online, 2021. Disponível em: https//www.even3.com.br/anais/encac2021/340096-AVALIACAO-DA-QUALIDADE-DO-AR-INTERIOR-DURANTE-A-PANDEMIA-DE-COVID-19-EM-SALAS-DE-AULA-NATURALMENTE-VENTILADAS. Acesso em: 13/10/2025

[16] SILVA, S. V. de O.; PAGEL, E, C.; B, L. E. G.; MARCONSINI, C. **Ventilação natural e qualidade do ar em salas de aula: revisão sistemática da literatura.** PARC Pesq. em Arquit. e Constr., Campinas, SP, v. 13, p. e022021, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8666284

[17] SILVA, S. V. de O.; PAGEL, E. C.; S., A. J. Q.; VELTEN, F. B. **Percepção da qualidade do ar Interior em salas de aula urbanas: estudo de caso em Vitória-ES**. Gestão & Tecnologia de Projetos. São Carlos, v19, n2, 2024. https://doi.org/10.11606/gtp.v19i2.221080

[18] XAVIER, E. L. M.; PAGEL, E. C.; MARTINS, R. S. **Renovação do ar em salas de aula climatizadas com ar-condicionado tipo split**. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes. Vol. 12, N. 39, 2024

[19] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, OMS. **How Air Pollution Is Destroying Our Health**. Disponível em: Climate Change Indicators in the United States. US Environmental Protection Agency, 2016. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-08/documents/climate_indicators_2016.pdf

[20] ANVISA. (2003). Agência Nacional De Vigilância Sanitária. R**esolução - RE Nº 9 de 16 de janeiro de 2003. Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo**. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009_16_01_2003.html. Acesso em: 28 abr. 2025.