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.v21i1.8690

Exposição térmica em salas de aula de escola pública: simulação EnergyPlus e faixas de risco cognitivo

Thermal Exposure in Public School Classrooms: EnergyPlus Simulation and Cognitive Risk Ranges

Ana Carla Lara Nobre
Unicamp| Campinas | Brasil | acnobre76@gmail.com
Lucila Chebel Labaki
Unicamp| Campinas | Brasil | lucila@fec.unicamp.br

Resumo

A infraestrutura de escolas públicas brasileiras frequentemente gera desconforto térmico, associado na literatura à redução do desempenho cognitivo. Este estudo analisa a exposição térmica no período letivo em três salas de aula de uma escola estadual em Igarapava–SP, por meio de simulações no EnergyPlus, avaliando a concentração das temperaturas operativas em faixas relacionadas a prejuízos ao desempenho. Foram analisadas 2.549 horas de ocupação, classificadas segundo faixas de referência baseadas em modelo proxy derivado de meta-análise. Os resultados indicam predomínio de temperaturas acima de 26 °C, com parcela significativa superior a 30 °C em todas as salas. A similaridade entre ambientes com diferentes orientações e pavimentos sugere um padrão estrutural de superaquecimento, reforçando a necessidade de incorporar métricas de exposição térmica e seus impactos na aprendizagem na avaliação de escolas naturalmente ventiladas.
Palavras-chave: Conforto térmico. Infraestrutura escolar. Desempenho cognitivo. Simulação.

Abstract

The infrastructure of Brazilian public schools often leads to thermal discomfort, which the literature associates with reduced cognitive performance. This study analyzes thermal exposure during the school period in three classrooms of a public state school in Igarapava–SP, using EnergyPlus simulations to evaluate the concentration of operative temperatures within ranges associated with performance impairment. A total of 2,549 occupied hours were analyzed and classified according to reference ranges based on a proxy model derived from meta-analysis. The results indicate a predominance of temperatures above 26 °C, with a significant proportion exceeding 30 °C in all classrooms. The similarity between environments with different orientations and floor levels suggests a structural pattern of overheating, reinforcing the need to incorporate thermal exposure metrics and their impacts on learning into the assessment of naturally ventilated school buildings.

Keywords: Thermal comfort. School infrastructure. Cognitive performance. Simulation.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8690

INTRODUÇÃO

A qualidade do ambiente construído escolar é reconhecida como fator condicionante do processo de aprendizagem. Entre as variáveis ambientais, a temperatura interna das salas de aula ocupa posição central: a exposição prolongada ao calor é um dos mecanismos mais documentados de degradação do desempenho cognitivo, atuando tanto de forma aguda, durante a realização de tarefas, quanto, ao longo do ano letivo. A literatura experimental sobre o tema foi sistematizada por Wargocki, Porras-Salazar e Contreras-Espinoza [11], cuja meta-análise de 18 estudos conduzidos entre 1967 e 2018 derivou uma relação quantitativa entre temperatura e desempenho escolar: a redução de 30 °C para 20 °C está associada a um aumento médio de 20% no desempenho em testes cognitivos e tarefas escolares. A temperatura ótima para aprendizagem, segundo esse modelo, é inferior a 22 °C , valor substancialmente mais baixo do que os padrões de conforto estabelecidos para adultos em escritórios [11]. Estudos experimentais de campo, como o de Wargocki e Wyon [13], realizados com crianças de 10 a 12 anos na Dinamarca, confirmaram que a redução de temperatura de 25 °C para 20 °C produziu melhoras estatisticamente significativas na velocidade de execução de tarefas escolares.

O ensaio clínico controlado cruzado realizado especificamente em clima tropical é o de Porras-Salazar et al. [8], conduzido em escola pública da Costa Rica. A redução de aproximadamente 5 °C na temperatura da sala (de 30 °C para 25 °C) resultou em melhoras significativas nas tarefas de linguagem e raciocínio lógico, com efeito mais pronunciado nos alunos de menor desempenho, sugerindo que o calor amplifica desigualdades educacionais preexistentes. Esses autores estimaram que, para crianças tropicalmente aclimatadas, a temperatura ótima para aprendizagem se aproxima de 25 °C, superior ao valor indicado para climas temperados, mas ainda substancialmente abaixo das temperaturas habitualmente registradas em escolas sem condicionamento mecânico nas regiões tropicais e subtropicais.

Os efeitos do calor sobre a aprendizagem também foram documentados em escala macrossocial. Park (2016), analisando 4,6 milhões de provas de ensino médio em Nova York, estimou que realizar um exame em dia com temperatura de 32 °C, comparado a 22 °C, reduz o desempenho em 0,19 desvios-padrão e aumenta a probabilidade de reprovação em 12,3%. Roach e Whitney [9], utilizando dados longitudinais de estudantes do ensino fundamental nos EUA, confirmaram que cada dia adicional acima de 38 °C reduz o desempenho em testes padronizados de matemática e leitura. Akesaka e Shigeoka [1], com dados de 22 milhões de estudantes japoneses, demonstraram que o calor penaliza desproporcionalmente os alunos de menor rendimento, e que o investimento em ar-condicionado escolar mitiga esses efeitos com maior benefício para os grupos mais vulneráveis.

No contexto brasileiro, a questão adquire relevância particular. As escolas foram historicamente concebidas tendo a ventilação natural como principal estratégia de condicionamento térmico. Nas instituições públicas de ensino, as restrições orçamentárias comumente tornam proibitivo o uso da climatização artificial, fazendo com que o conforto térmico dependa primordialmente de estratégias passivas [10]. Esse modelo é evidenciado nos projetos padrão do governo federal: Lamenha [6]

demonstra, ao avaliar o Projeto Padrão de Escola Técnica do MEC (PPET-MEC), desenvolvido pelo Programa Brasil Profissionalizado para ser implantado em todo o território nacional, que o bloco pedagógico foi concebido tendo a ventilação natural e o sombreamento como estratégias centrais de desempenho térmico, com as principais aberturas posicionadas nas fachadas opostas para favorecer a movimentação do ar nas salas de aula [6]. Correia, Amorim e Santamouris [5], ao avaliarem o conforto térmico desse mesmo modelo padrão em oito zonas climáticas brasileiras, confirmam que o projeto foi estruturado sobre estratégias passivas, identificando a ventilação natural como a segunda técnica mais eficaz em sete dos oito climas analisados, embora concluam que, sem adaptações adicionais, o modelo não atende plenamente à normativa de conforto vigente [5].

A tipologia construtiva amplamente adotada, lajes de concreto, coberturas de telha metálica ou de fibrocimento sem forro isolante, janelas basculantes com área de abertura restrita, orientação solar nem sempre favorável, frequentemente resulta em temperaturas operativas internas substancialmente superiores às externas nos períodos de maior irradiação solar.

O objetivo deste trabalho é analisar a exposição térmica durante o período letivo em três salas de aula de uma escola estadual no município de Igarapava–SP, por meio de simulações computacionais no programa EnergyPlus, e classificar as temperaturas operativas simuladas em faixas de risco para o desempenho cognitivo, com base no modelo proxy derivado da meta-análise de Wargocki et al. [11] e dos achados de Porras-Salazar et al. [8] para clima tropical.

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como quantitativa, de natureza aplicada e caráter explicativo, baseada em simulação termoenergética computacional e análise comparativa com modelo empírico consolidado na literatura científica. A estratégia metodológica combina simulação no EnergyPlus com a aplicação de uma relação temperatura–desempenho como proxy comparativo, sem mensuração direta do desempenho dos alunos do estudo de caso.

OBJETO DE ESTUDO

O estudo analisa uma escola estadual de ensino fundamental e médio localizada no município de Igarapava, estado de São Paulo (20°04'S, 47°45'W). O município localiza-se no Triângulo Mineiro paulista, região caracterizada por clima subtropical de altitude com verões quentes e úmidos (Cwa), com temperatura média anual de aproximadamente 23 °C e temperatura máxima mensal superando 32 °C entre outubro e março.

O modelo térmico da edificação foi estruturado em 14 zonas, distribuídas em seis no pavimento térreo, sete no pavimento superior e uma correspondente à cobertura. Para a análise, foram selecionadas três salas de aula representativas, definidas a partir de diferentes orientações solares e posições no edifício. A sala 5 localiza-se no pavimento térreo, com orientação leste, enquanto a sala 8 situa-se no pavimento

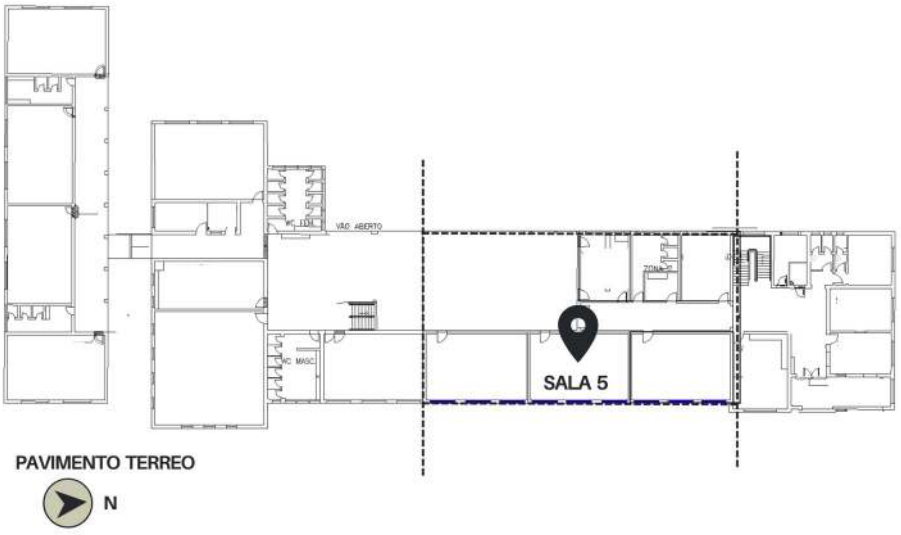
superior, voltada para oeste, e a sala 12, também no pavimento superior, apresenta orientação leste. As três salas possuem dimensões semelhantes, com planta retangular de aproximadamente 6,0 m × 9,0 m e pé-direito variando entre 3,40 m e 3,50 m.

As salas de aula analisadas apresentam três janelas localizadas em uma única fachada, não permitindo a ocorrência de ventilação cruzada. As esquadrias são compostas por vidro canelado de 6 mm e possuem sistema de abertura do tipo maxim-ar. Cada janela é subdividida em seis módulos de abertura, totalizando uma área envidraçada correspondente a aproximadamente 39% da área da fachada de cada sala. Essas características foram consideradas na modelagem termoenergética, influenciando as condições de ventilação natural e as trocas térmicas entre os ambientes internos e o meio externo.

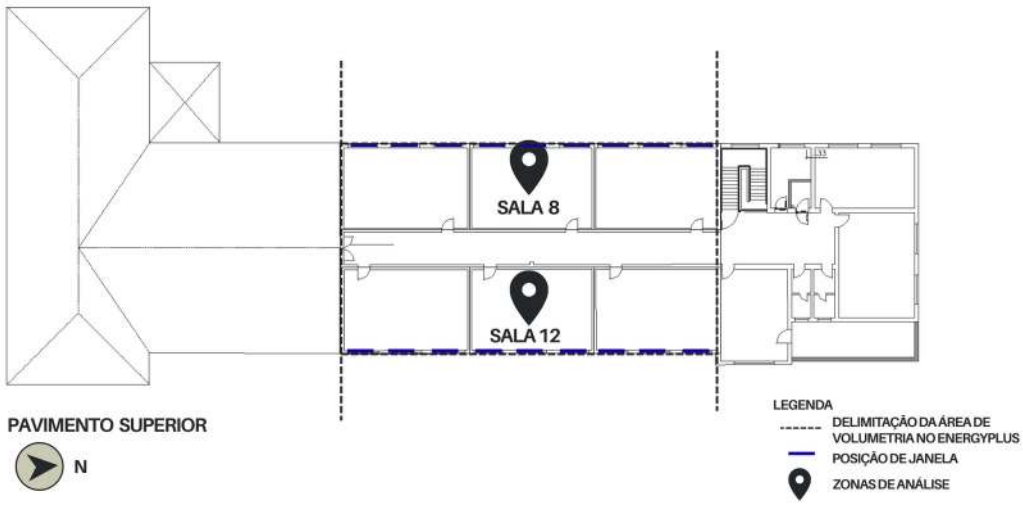
SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

As plantas arquitetônicas fornecidas pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE) foram vetorizadas no AutoCAD e exportadas para o SketchUp, com posterior conversão para IDF por meio do plugin Euclid, viabilizando a simulação no EnergyPlus (Figura 1). A Escola Estadual Martinho Sylvio Bizutti, em Igarapava–SP, foi subdividida em 14 zonas térmicas para análise no EnergyPlus. Para a análise de resultados, foram selecionadas três salas de aula (zonas 5, 8 e 12), com o objetivo de observar diferenças potencialmente associadas à orientação solar e à posição vertical no edifício.

Figura 1: Planta da Escola Estadual Martinho Sylvio Bizutti com apontamentos das salas analisadas.



DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8690



Fonte: plantas FDE – Fundação para o Desenvolvimento da Educação, alterado pela autora.

Em função da inexistência de arquivo climático específico para Igarapava, adotou-se o arquivo EPW de Ribeirão Preto, considerando proximidade geográfica, climática e altimétrica. As agendas operacionais foram configuradas conforme o funcionamento real das escolas estaduais do Estado de São Paulo, considerando calendário anual com férias nos meses de janeiro, julho e dezembro.

No quadro 1 é possível observar os dados de entrada de todas as classes utilizados para gerar a simulação.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8690

Quadro 1: Dados de entrada no EnergyPlus .

Classe	Descrição	Valor
Calendário	Faixa de análise.	Janeiro-Junho, Agosto-Novembro Horário letivo das 7h às 18h
Arquivo climático	EPW adotado por ausência de arquivo local.	Ribeirão Preto (EPW)
Geometria e zoneamento	Subdivisão do edifício para simulação	14 zonas térmicas; análise com foco nas zonas 5, 8 e 12
Pipeline de modelagem	Etapas de preparação do modelo	AutoCAD - SketchUp - Euclid (IDF) - EnergyPlus
Ocupação	Perfis e densidades	31 alunos por sala, 108 W por pessoa.
Iluminação	Potência instalada e agenda	9 W/m²
Equipamentos	Ganhos internos	400 W
Ventilação natural	Estratégia e parâmetros do AirflowNetwork	As aberturas como elementos operáveis, com coeficiente de descarga de 0,6 para janelas e de 0,001 para portas, além dos fatores complementares de 0,5 e 0,6, respectivamente.

Fonte: os autores

Para a representação da ventilação natural, utilizou-se o módulo AirflowNetwork do EnergyPlus. As janelas e portas foram definidas como elementos operáveis, adotando-se coeficientes de descarga de 0,6 e 0,001, respectivamente. O comportamento das aberturas foi modelado em dois estágios, com fatores de largura e altura iguais a 1. A operação das janelas foi condicionada ao horário de ocupação da escola (6h às 18h) e à ocorrência de temperatura operativa interna superior a 19 °C, permitindo a estimativa das trocas de ar entre os ambientes e o exterior.

No que se refere às variáveis de saída, foram solicitadas as séries de temperatura do ar interna, temperatura externa, temperatura operativa, bem como variáveis do modelo adaptativo ASHRAE 55 (80% de aceitabilidade) e taxa de renovação de ar por ventilação.

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO PELO MODELO ADAPTATIVO ASHRAE 55

A avaliação das condições de conforto térmico foi realizada com base no modelo adaptativo da norma ASHRAE Standard 55 [2], amplamente empregado para edificações naturalmente ventiladas. As temperaturas operativas obtidas por meio da simulação termoenergética foram comparadas aos limites de conforto estabelecidos pela norma, calculados em função da temperatura média externa predominante. Para a análise, foi considerada a faixa de aceitabilidade de 80%, recomendada pela ASHRAE 55, correspondente a diferentes níveis de satisfação térmica dos ocupantes. A partir dessa comparação, foi possível identificar os períodos em que as salas de aula permaneceram dentro ou fora dos limites de conforto térmico, permitindo avaliar o desempenho ambiental dos ambientes durante o período letivo analisado.

CLASSIFICAÇÃO DE FAIXAS DE CRITICIDADE PARA O DESEMPENHO COGNITIVO

As faixas de criticidade foram estabelecidas com base na convergência entre dois referenciais:

1. Modelo proxy de Wargocki et al. [11]: meta-análise derivada de 18 estudos, que estabelece relação entre temperatura do ar na sala de aula e desempenho em testes cognitivos e tarefas escolares. Embora o modelo original use temperatura do ar, a temperatura operativa, utilizada neste trabalho, foi adotada como proxy mais adequada para climas tropicais, nos quais a carga radiante é relevante.

2. Porras-Salazar et al. [8]: estudo de intervenção em clima tropical (Costa Rica), que documentou melhoras significativas de desempenho na faixa de 25 °C, com temperatura de neutralidade térmica estimada em 26,9 °C para crianças tropicalmente aclimatadas.

Com base nesses referenciais, foram definidas quatro faixas de temperatura operativa para a análise:

Quadro 2: Classificação de horas por faixa de temperatura.

Faixa	Temperatura Operativa	Classificação	Referencial
F1 — Ótima/Próxima ao ótimo.	< 24 °C	Desempenho próximo ao máximo; conforto térmico aceitável	Wargocki et al. (2019)
F2 — Transição/Declínio inicial	24 °C – 26 °C	Início de declínio de desempenho; zona de atenção.	Wargocki et al. (2019); Porras-Salazar et al. (2018)
F3 — Crítica	26°C A 29.9°C	Declínio significativo de desempenho; temperatura acima da neutralidade térmica tropical	Porras-Salazar et al. (2018)
F4 - Máxima criticidade	> 30 °C	Alerta: grande perda de desempenho.	Wargocki et al. (2019)

Fonte: os autores

A faixa 4, de máxima criticidade (> 30 °C), corresponde ao limiar a partir do qual a curva de Wargocki et al. (2019) indica platô de degradação máxima, e no qual estudos de macrodados documentam aumento da probabilidade de reprovação [7].

TRATAMENTO DE DADOS

A base de dados contém registros horários das temperaturas operativas das três zonas para o período letivo simulado. O total de horas de ocupação analisadas é de 2.549 horas por zona, correspondendo ao horário de 07h às 18h nos dias letivos do calendário escolar paulista de 2025. Cada registro foi classificado em uma das quatro faixas definidas (F1, F2, F3 e F4) a partir da temperatura operativa simulada. Os

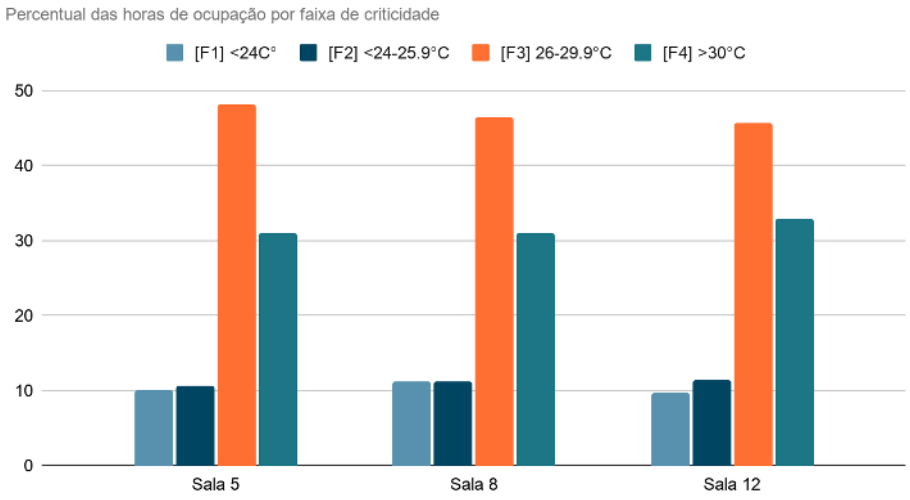
resultados foram agregados por faixa, por zona e por mês, para análise das variações sazonais dentro do período letivo.

RESULTADOS

DISTRIBUIÇÃO GERAL DAS TEMPERATURAS POR FAIXA DE CRITICIDADE

A figura 2 apresenta a distribuição percentual das horas de ocupação por faixa de criticidade para cada uma das três salas analisadas.

Quadro 2: Percentual das horas de ocupação por faixa de criticidade.



Fonte: os autores

Os dados (Figura 2) evidenciam que, em todas as três salas, a condição predominante durante o período letivo situa-se na faixa de criticidade máxima para o desempenho cognitivo. Aproximadamente 4 em cada 5 horas de aula ocorrem acima de 26 °C, temperatura que, segundo Porras-Salazar et al. [8], já supera a neutralidade térmica de crianças tropicalmente aclimatadas e está associada a declínio mensurável no desempenho de tarefas de linguagem e raciocínio lógico. A proporção de horas na faixa ótima (< 24 °C) não alcança 15% em nenhuma das três salas.

VARIAÇÃO ENTRE ZONAS

A diferença entre a sala mais quente (sala 5 com 79,2% na faixa crítica) e a mais fria (Sala 8 com 77,5%) é de apenas 1,7 ponto porcentual. Essa convergência é relevante porque as três salas diferem em orientação solar e localização na edificação. A pequena variação entre zonas com diferentes configurações sugere que o padrão de superaquecimento não é determinado primariamente pela orientação ou pelo pavimento, mas por características estruturais do sistema construtivo, cobertura, massa térmica, e ausência de ventilação mecânica, que afetam homogeneamente todo o edifício.

Essa uniformidade tem implicação importante: ela indica que intervenções pontuais em salas específicas teriam impacto limitado, e que a solução efetiva requer

abordagem sistêmica, envolvendo retrofit da envoltória, melhoria da ventilação ou climatização mecânica.

PERFIL DIÁRIO TÍPICO

A análise dos registros horários permite identificar o padrão temporal do aquecimento. Nos dias mais quentes do período letivo (especialmente entre fevereiro e março e entre outubro e novembro), a temperatura operativa já supera 26 °C por volta das 8h–9h, atingindo picos entre 31 °C e 36 °C nas horas da tarde (14h–17h). As temperaturas abaixo de 24 °C ocorrem predominantemente na primeira hora do turno (7h), nos dias mais frescos associados a eventos de chuva ou frentes frias. O período de maior impacto sobre as atividades escolares é portanto a segunda parte do turno diurno.

CONFORTO TÉRMICO PELO MODELO ADAPTATIVO ASHRAE 55

Os resultados do modelo adaptativo da ASHRAE 55 (índice de aceitabilidade de 80%) corroboram os dados de temperatura operativa. A proporção de horas em que as três salas atendem ao critério de aceitabilidade de 80% é reduzida, especialmente nos meses de verão. Registros de não-aceitabilidade (valor 0 no índice ASHRAE) predominam nos horários da tarde em quase todos os dias letivos de fevereiro, março, outubro e novembro. Nos meses de maio a agosto, a condição de aceitabilidade é mais frequente, mas ainda representa a minoria das horas no período das 10h às 17h nos dias de maior temperatura.

DISCUSSÃO

O achado central deste estudo, de que mais de 78% das horas letivas ocorrem acima de 26 °C em todas as salas analisadas, deve ser interpretado à luz das magnitudes de efeito documentadas na literatura experimental. Wargocki et al. [11], com base em meta-análise de 18 estudos, estimam que a redução de temperatura de 30 °C para 20 °C produz incremento médio de 20% no desempenho de testes cognitivos e tarefas escolares. Adotando uma interpolação linear conservadora, a diferença entre 26 °C (limiar crítico adotado neste estudo) e 20 °C (temperatura ótima estimada para climas temperados) corresponderia a uma redução de desempenho da ordem de 12%. Para climas tropicais, nos quais a temperatura ótima se aproxima de 25 °C [8], a degradação estimada a partir de 26 °C é menor, porém ainda mensurável, confirmada pelo experimento de campo de Porras-Salazar et al. (2018), que documentou melhorias significativas com redução de apenas 5 °C (de 30 °C para 25 °C).

A faixa de máxima criticidade (> 30 °C), que representa aproximadamente 35%–38% das horas letivas nas salas analisadas, é especialmente preocupante. Park [7], em contexto norte-americano, estimou que cada grau adicional acima de 27 °C no dia de realização de um exame aumenta a probabilidade de reprovação em cerca de 2%. A exposição crônica a temperaturas acima de 30 °C durante o ano letivo, documentada por esse mesmo autor, como redução de 0,022 desvios-padrão por dia adicional acima

de 27 °C, acumula déficits de aprendizagem que afetam os resultados em avaliações de final de ano.

Um aspecto sistematicamente sub representado no debate sobre infraestrutura escolar brasileira é a distribuição desigual dos efeitos do calor sobre os alunos. Porras-Salazar et al. [8] observaram que os alunos do quartil inferior de desempenho se beneficiaram de forma mais pronunciada da redução da temperatura em todas as tarefas, enquanto os alunos de alto desempenho mostraram melhoras menores ou não significativas. Akesaka e Shigeoka [1], em escala nacional japonesa, confirmaram que o calor prejudica desproporcionalmente os alunos de menor rendimento, ampliando a desigualdade de resultados educacionais.

Esse padrão tem implicação direta para escolas públicas brasileiras: a população atendida por essas instituições concentra crianças de menor renda familiar, com menor acesso a ambientes climatizados em casa e, portanto, maior exposição cumulativa ao calor. O superaquecimento estrutural documentado neste estudo representa, portanto, não apenas um problema de desempenho médio, mas um multiplicador de desigualdade educacional que se soma a outras desvantagens socioeconômicas.

Os resultados apresentados oferecem subsídio empírico para dois debates de política pública que permanecem insuficientemente informados no Brasil. O primeiro é o debate sobre climatização de escolas públicas: os dados indicam que a distribuição de temperatura nas salas analisadas é incompatível com condições adequadas de aprendizagem durante a maior parte do ano letivo, e que a magnitude do problema é estrutural, não pontual nem sazonal. O segundo é o debate sobre avaliação de desempenho de edificações escolares: os critérios vigentes de avaliação de conforto térmico (como os da NBR 15575 e da IN 02/2022 do INMETK) concentram-se no desempenho energético e no conforto térmico dos ocupantes, mas não incorporam explicitamente métricas de exposição acumulada ao calor ou limiares associados a prejuízos cognitivos.

As estratégias de mitigação passiva disponíveis para o contexto construtivo das escolas estaduais paulistas incluem: (i) substituição ou adição de forro isolante abaixo de coberturas metálicas; (ii) instalação de brises ou protetores solares externos nas fachadas de maior exposição; (iii) ampliação da área de abertura para ventilação cruzada; (iv) utilização de materiais de maior inércia térmica nas paredes. Em situações de superaquecimento estrutural severo, como o documentado nas salas analisadas, essas medidas passivas podem ser insuficientes, e a implantação de climatização mecânica, com dimensionamento adequado e gestão de qualidade do ar, passa a ser a intervenção mais efetiva, conforme demonstrado pelo experimento e Porras-Salazar et al. [8].

CONCLUSÃO

Este estudo documentou, com base em simulação computacional no EnergyPlus, que as três salas de aula analisadas em escola estadual em Igarapava–SP operam predominantemente acima de 26 °C durante o período letivo, condição associada à literatura experimental ao declínio significativo de desempenho cognitivo em crianças.

A faixa crítica (> 26 °C) representou entre 78,36% e 80,32% das horas letivas nas três zonas; a faixa mais próxima do ótimo térmico para aprendizagem (< 24 °C) permaneceu restrita a aproximadamente 10% das horas letivas em todas as salas analisadas. Parcela considerável do período letivo, estimada em 35% a 38% das horas, ocorreu acima de 30 °C, temperatura associada a risco de déficit de aprendizagem acumulado e a aumento da probabilidade de reprovação em avaliações externas.

A estreita variação dos resultados entre salas com diferentes orientações e pavimentos indica que o superaquecimento tem natureza estrutural, determinada pelo sistema construtivo e pela ausência de climatização mecânica, e não por características específicas de cada ambiente. Isso reforça a necessidade de abordagens sistêmicas, de retrofit da envoltória a programas de climatização, para garantir condições mínimas de aprendizagem nas escolas públicas brasileiras.

Futuros estudos deverão incluir medições in loco para validação do modelo simulado, análise de maior número de unidades escolares com diferentes tipologias construtivas e regiões climáticas, e, idealmente, levantamentos de desempenho cognitivo ou escolar que permitam testar empiricamente, no contexto brasileiro, as relações temperatura–aprendizagem documentadas na literatura internacional.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o primeiro autor utilizou o programa Elicit para revisão de ortografia e melhoria de coesão do texto. Após a utilização da ferramenta/serviço, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] AKESAKA, M.; SHIGEOKA, H. Hotter days, wider gap: the distributional impact of heat on student achievement. **Social Science Research Network** (SSRN), 2025. DOI: 10.2139/ssrn.5585199.

[2] ASHRAE. ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**, 2020.

[3] BARBIC, F. et al. Effects of different classroom temperatures on cardiac autonomic control and cognitive performances in undergraduate students. **Physiological Measurement,** v. 40, n. 3, 2019. DOI: 10.1088/1361-6579/ab1816.

[4] BARBIC, F. et al. Effects of a cool classroom microclimate on cardiac autonomic control and cognitive performances in undergraduate students**. Science of the Total Environment**, v. 808, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152005.

[5] CORREIA, Camila Machado de Azevedo; AMORIM, Cláudia Naves David; SANTAMOURIS, Mattheos. Use of passive cooling techniques and super cool materials to minimize cooling energy and improve thermal comfort in Brazilian schools. **Energy and Buildings,** v. 114125, 2024. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.114125.

[6] LAMENHA, Melyna de Almeida. A escola técnica do programa Brasil profissionalizado: um projeto padrão para diferentes zonas bioclimáticas? 2016. Dissertação (Mestrado) – [Universidade Federal de Alagoas], 2016.

[7] PARK, J. Heat stress and human capital production. Working Paper. **Cambridge: Harvard University**, 2016.

[8] PORRAS-SALAZAR, J. A.; WYON, D.; PIDERIT-MORENO, B.; CONTRERAS-ESPINOZA, S.; WARGOCKI, P. Reducing classroom temperature in a tropical climate improved the thermal comfort and the performance of elementary school pupils. **Indoor Air**, v. 28, n. 6, p. 892–904, 2018. DOI: 10.1111/ina.12501.

[9] ROACH, T.; WHITNEY, J. M. Heat and learning in elementary and middle school. **Education Economics**, v. 29, n. 5, p. 537–552, 2021. DOI: 10.1080/09645292.2021.1931815.

[10] VASCONCELOS, D.; SILVA, S. de F.; BATISTA, J.; CAVALCANTI, F. Conforto Térmico em escolas públicas. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 20., 2024. Anais... 2024. DOI: 10.46421/entac.v20i1.6263.

[11] WARGOCKI, P.; PORRAS-SALAZAR, J. A.; CONTRERAS-ESPINOZA, S. The relationship between classroom temperature and children's performance in school. **Building and Environment**, v. 157, p. 197–207, 2019. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.04.046.

[12] WARGOCKI, P.; PORRAS-SALAZAR, J. A.; CONTRERAS-ESPINOZA, S.; BAHNFLETH, W. The relationships between classroom air quality and children's performance in school. **Building and Environment**, v. 173, 2020. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.106749.

[13] WARGOCKI, P.; WYON, D. The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children. **HVAC&R Research**, v. 13, n. 2, p. 193–220, 2007. DOI: 10.1080/10789669.2007.10390951.