

# Condição térmica em sala de aula no semiárido paraibano

Wilma Fernandes Pinheiro<sup>1,2</sup> e Joel Silva dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. Campus Cajazeiras. Rua José Antônio Pessoa, 300. Loteamento dos Médicos. Cajazeiras-PB, Brasil (CEP 58900-000). E-mail: arquitetawilma@gmail.com.

<sup>2</sup>Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Campus I. João Pessoa-PB, Brasil (CEP 58051-900).

**Resumo.** Com um olhar sobre o microclima, a saúde dos estudantes e a arquitetura do edifício escolar, este trabalho teve como objetivo identificar condições térmicas locais em uma sala de aula e comparar as relações entre as temperaturas horárias dentro e fora desta sala de aula localizada em uma escola pública na Região Semiárida do Nordeste brasileiro, especificamente no Município de Cajazeiras, Estado da Paraíba. Foram registradas temperaturas do ar, em sete dias do período chuvoso (1 a 7 de fevereiro de 2022), através de aparelhos termo higrômetros HOBO Data Logger U-10, instalados em uma sala de aula e em dois pontos externos, sendo um descoberto e outro embaixo de uma árvore. Com os resultados, foi possível verificar, em maior número de horários, temperaturas do ar mais elevadas no interior da sala de aula, com valores médios superiores de até 6 °C a mais que o ponto externo descoberto e de até 3 °C a mais que o ponto externo sombreado por árvore, o que representa aumento da carga térmica necessária para resfriamento artificial. Essa constatação sugere um aprofundamento sobre as soluções possíveis para melhoria da eficiência energética e das condições térmicas no interior da sala de aula analisada.

**Palavras-chave:** Temperatura do ar; Sala de aula; Eficiência energética; Conforto térmico.

**Abstract.** *Thermal condition in a classroom in the Semi-Arid Region of Paraíba.* With a look at the microclimate, students' health and the architecture of the school building, this work aimed to identify local thermal conditions in a classroom and compare the relationships between hourly temperatures inside and outside this classroom located in a public school in the semi-arid Region Northeast, Brazil, specifically in the Municipality of Cajazeiras, State of Paraíba. Air temperatures were recorded on seven days of the rainy season (February 1 to 7, 2022), using HOBO Data Logger U-10 thermohygrometer devices, installed in a classroom and in two external points, one uncovered and the

Recebido  
18/09/2022

Aceito  
15/12/2022

Publicado  
31/12/2022



Acesso aberto



ORCID

0000-0001-7148-7213

Wilma Fernandes  
Pinheiro

0000-0002-8068-630X

Joel Silva dos Santos

other under a tree. With the results, it was possible to verify, in a greater number of times, higher air temperatures inside the classroom, with higher average values of up to 6 °C higher than the uncovered external point and up to 2 °C higher than the external tree-shaded point, which represents an increase in the thermal load required for artificial cooling. This finding suggests an in-depth look at the possible solutions to improve the thermal conditions inside this classroom and for energy efficiency.

**Keywords:** Air temperature; Classroom; Energy efficiency; Thermal comfort.

## Introdução

Este trabalho parte da compreensão de que a arquitetura possui um papel importante na redução dos impactos ambientais e sanitários gerados pelo ambiente construído. O fato da construção civil ser um segmento que explora bens e serviços naturais, reforça a responsabilidade da arquitetura nos problemas ambientais atuais e na necessidade de se pensar em ambientes saudáveis adequados às condições climáticas locais, pois construções inadequadas ao clima aumentam a temperatura local e estimulam o uso de ar condicionado o que provoca altoconsumo de energia.

Estudos sobre o clima urbano, a exemplo de Gartland (2010), destacam algumas características que influenciam no aumento do calor nas áreas construídas, como a falta de vegetação, utilização de superfícies impermeáveis, baixa refletância solar dos materiais, aumento da poluição, aumento do uso de energia, geometrias que aprisionam calor e diminuem a velocidade dos ventos.

Na perspectiva de diminuir as temperaturas no clima quente e seco, Frota e Schiffer (2001) apontam recomendações de como construir edificações. Dentre as sugestões, essas autoras destacam: aberturas com pequenas dimensões; edificações compactas para obter menores superfícies expostas à radiação, proximidade entre as edificações para fazer sombras uma às outras, uso de vegetação como barreira aos ventos quentes, uso da água nos espaços abertos para umidificação e preferência ao uso de cores claras no exterior das edificações.

Contudo, a necessidade de maiores conhecimentos sobre as particularidades construtivas das edificações adaptadas ao microclima e as lacunas nas pesquisas sobre adequação da edificação escolar ao contexto bioclimático local, configuraram-se como razões para explicar a escolha do tema e, diante disso, esta pesquisa parte do seguinte questionamento: como se encontram as condições térmicas em ambientes escolares localizados no semiárido?

Pesquisas acadêmicas têm revelado interesse nos estudos sobre as condições de conforto térmico em ambientes escolares (Grzybowski, 2004; Tibiriçá, 2008; Moraes, 2009; Costa, 2012; Tondo, 2017) apontando causas e consequências diversas em função da bioclimatologia local.

Marçal et al. (2018), em pesquisa de campo observando a percepção ambiental dos estudantes em uma instituição de ensino superior de Belo Horizonte-MG, verificaram o desconforto térmico como um dos fatores destacados pelos usuários como prejudicial no processo de ensino e aprendizagem.

De forma semelhante, Jiang et al. (2018) investigaram a temperatura e o desempenho de aprendizagem no noroeste da China, e, com isso, observaram que o desconforto térmico com altas e baixas temperaturas impactam negativamente no desempenho dos estudantes.

Brito e Silva (2019), numa investigação em salas de informática climatizadas de sete instituições brasileiras, através da medição das variáveis térmicas e de um modelo matemático, verificaram a relação entre o aumento da temperatura e o desempenho dos estudantes em laboratórios de João Pessoa-PB.

As críticas aos espaços educacionais apontam responsabilidades, sobretudo, nas políticas públicas. A industrialização e a urbanização acelerada aumentaram a necessidade quantitativa das escolas e, visando a diminuir os gastos públicos, evidenciou-se uma maior racionalização construtiva no setor da educação que, segundo Kowaltowski (2011), condicionavam os arquitetos a seguirem manuais e normas num sistema de padronização com definição de dimensões, técnicas construtivas e materiais.

Para Elali (2002) e Kowaltowski (2011), a padronização e as normas impostas pelos órgãos públicos atendem a funcionalidade e a racionalidade construtiva e econômica, sem a preocupação com os fatores climáticos e as situações locais específicas. Dessa forma, o estado desenvolve uma arquitetura escolar simplificada, com formas padronizadas, seguindo uma limitação ao investimento público.

Costa (2009), ao realizar uma análise climática de três instituições de ensino implantadas em localidades distintas no Município de Maceió-AL, verificou aspectos desfavoráveis quanto à utilização de ventilação e da iluminação e apontou que as unidades estudadas poderiam ter apresentado melhor desempenho se tivessem sido implantadas com a adequada orientação em relação ao sol e aos ventos e se observado, em cada caso, o entorno próximo.

A padronização do edifício escolar pode explicar o porquê de muitas escolas públicas apresentarem problemas relacionados ao conforto térmico, uma vez que são construídas sem levar em consideração as condições do microclima local. Diante desta problemática, as condições térmicas na edificação escolar devem ser estabelecidas como um campo a ser investigado.

Para Marçal (2016), a sala de aula, onde a sensação de desconforto ou de conforto térmico podem influenciar no aprendizado, é um ambiente que carece de pesquisas para a identificação das necessidades de estudos que relacionem o conforto térmico e a percepção dos estudantes no exercício de suas atividades e de estabelecimento de critérios para futuras intervenções no espaço.

Perillo (2017) realizou revisão sistemática da literatura e verificou muitos estudos realizados em países em desenvolvimento, sobretudo no sudoeste asiático, contudo poucos estudos foram realizados no Brasil e nenhuma avaliação em clima quente e seco.

Zomorodian et al. (2016) analisaram 48 artigos publicados entre 1969 e 2015 e constataram que a partir de 2000 um número maior de pesquisas sobre esse tema em escolas vem sendo publicado no Mundo, mas alertam para a necessidade de mais estudos sobre a satisfação do usuário no ambiente construído, considerando as características arquitetônicas dos edifícios escolares.

A situação provocada pela pandemia da COVID-19 tem estimulado ainda mais as pesquisas sobre as edificações e suas alterações nos elementos climáticos, dentre outros motivos, devido aos problemas respiratórios provenientes dos ambientes fechados associados à aglomeração de pessoas e ao uso de climatização artificial, que dificulta a renovação do ar, aumenta a concentração de poluentes, facilita a transmissão de patógenos e diminui a umidade relativa do ar.

Lamberts et al. (2014) associam a densidade de usuários nos espaços internos a uma forte influência na quantidade de calor produzido no interior da edificação, que leva ao consumo elevado do ar-condicionado e da iluminação artificial. Os autores verificaram essa relação, mesmo quando o clima externo indicou conforto térmico.

Ainda para Lamberts et al. (2014), a arquitetura bioclimática pode contribuir não só na saúde humana, mas na eficiência energética, porque reduz o consumo energético, podendo diminuir ou evitar o uso de dispositivos artificiais para refrigeração. Esses

autores também destacam que a arquitetura bioclimática tem como objetivo o projeto de edificações de modo a adaptá-lo de maneira eficaz ao contexto climático, sem ignorar as condições do lugar, considerando fatores, como topografia, orientação solar, especificação dos materiais, disposição das aberturas, uso de elementos de proteção solar, entorno e paisagismo. Todos esses fatores, de forma conjugada, podem reduzir a sensação de desconforto térmico.

Diante do exposto, o enfoque bioclimático da arquitetura, por tratar de pontos importantes como a eficiência energética, a adaptação dos elementos construtivos ao contexto climático e o conforto e satisfação dos usuários, constituem em um dos caminhos para uma arquitetura em direção à sustentabilidade.

Baseado nesse enfoque da bioclimatologia humana aplicada à Arquitetura, este artigo tem como objetivos identificar as condições térmicas no interior de uma edificação escolar pública, localizada no Município de Cajazeiras-PB, Região Semiárida do nordeste brasileiro, e comparar as relações entre as temperaturas horárias dentro e fora da edificação.

## **Material e métodos**

### **Procedimentos metodológicos**

Para a realização da pesquisa, foram realizados registros da temperatura do ar em uma sala de aula de uma escola federal, através de aparelhos do tipo termo higrômetro HOBO Data Logger U-10, durante sete dias do período chuvoso da região (1 a 7 de fevereiro).

A coleta de dados verificou uma realidade sem ocupação dos espaços, por causa da situação específica do momento da realização da pesquisa imposta pela pandemia de COVID-19, que impossibilitou atividades presenciais nas escolas desde março de 2020. Tal condição possibilitou registrar dados sem a influência do calor interno produzido pela ocupação, pela iluminação artificial e pelo sistema de resfriamento, além de outros equipamentos, o que se mostra favorável para compreensão das características físicas que influenciam no conforto térmico.

Vale salientar que as janelas, as cortinas e a porta não foram acionadas durante o monitoramento. As janelas com folhas móveis permaneceram abertas e a porta foi mantida fechada, considerando o conforto acústico durante as aulas e também por causa da presença de cães na escola.

Também foram definidos dois pontos externos (um descoberto e um sombreado por árvore). Cada aparelho foi programado para registrar 24 medições diárias da temperatura do ar. As medições ocorreram no intervalo de uma hora, de forma ininterrupta e simultânea para os três pontos de coleta de dados.

O sensor instalado na sala de aula foi fixado no centro do sala, em mesa posicionada na altura da área de trabalho. A porta da sala de aula, durante as medições, foi identificada com fita zebra e com a informação sobre o monitoramento da pesquisa. Dessa forma, nos dias de monitoramento, não houve acionamentos nos aparelhos condicionadores de ar, nem nas portas e janelas.

No ponto descoberto e no ponto sombreado, a estação instalada foi fixada a aproximadamente 1,5 m acima do chão e protegidas do sol e chuva com caixa plástica furada para permitir a ventilação. Nos pontos sombreados essas caixas foram amarradas com arames em postes e nos pontos ensolarados foram pregadas em uma haste plástica que foi inserida na terra e em um tijolo de oito furos para maior sustentação.

Visando a uma melhor compreensão dos ambientes monitorados, também foram realizadas leituras documentais do projeto de arquitetura da escola selecionada e foram realizadas visitas na instituição para acompanhamento das medições, observações e registros fotográficos.

Os dados de temperatura do ar extraídos das miniestações foram tratados em planilhas do Excel.

### **Caracterização da área de estudo**

O semiárido brasileiro tem uma área de 982.563,3 km<sup>2</sup>, que corresponde a 1.133 municípios espalhados por nove estados (Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe), que correspondem a 53% da Região do Nordeste. Nessa região, vivem mais de 22 milhões de habitantes com a maior concentração de população rural do Brasil (IBGE, 2018). Além do déficit hídrico (precipitação pluviométrica média inferior a 800 mm anuais), o semiárido brasileiro é marcado por grandes desigualdades sociais.

Conforme os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), o Município de Cajazeiras, no semiárido nordestino, explorado nesta pesquisa, apresenta população estimada de 61.776 habitantes, trata-se do sétimo município mais populoso do Estado da Paraíba, com uma superfície de 565,899 km<sup>2</sup>, que corresponde a pouco mais de 1% da área total do território paraibano.

De acordo com o Plano de Educação do Município de Cajazeiras (Cajazeiras, 2015) o município conta, na educação infantil, com 24 escolas públicas municipais, quatro creches, sendo três municipais e uma filantrópica, bem como 24 escolas privadas. O Ensino Fundamental é oferecido por 25 escolas públicas municipais, 16 estaduais e 24 privadas, perfazendo um total de 65 escolas. No Ensino Médio, Cajazeiras possui 11 escolas, sendo cinco estaduais, duas federais e quatro privadas. Existem também cinco instituições de educação superior, sendo duas federais. Esse aparato educacional é responsável por um importante fluxo de estudantes procedentes de municípios paraibanos e de outros estados.

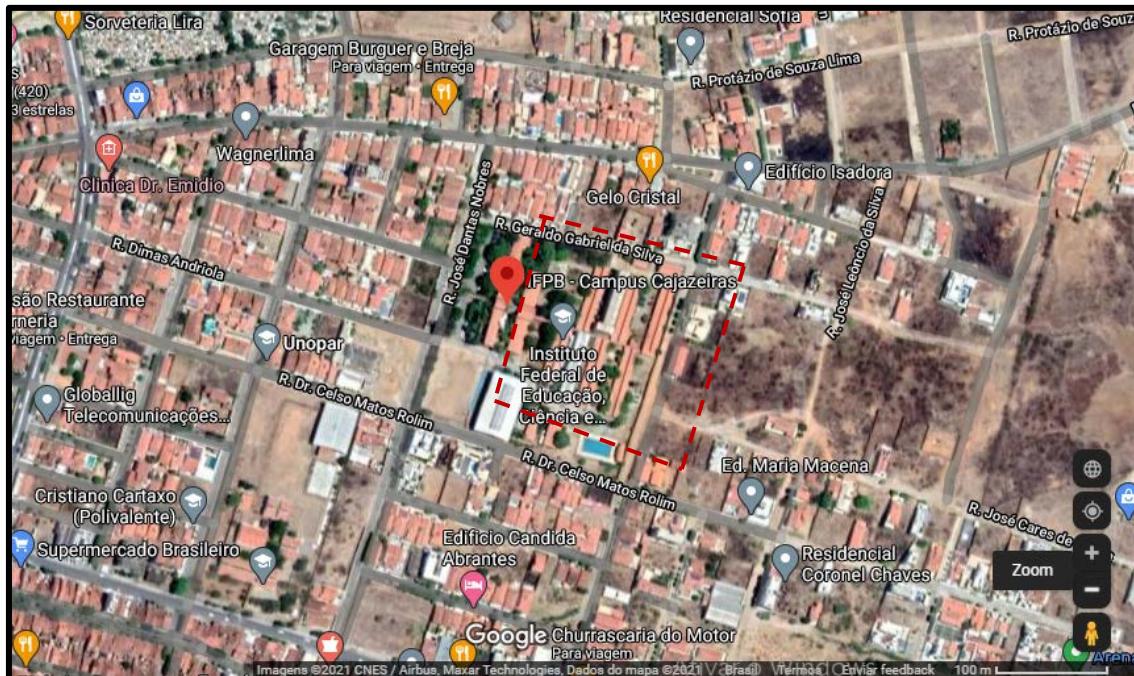
Para a realização deste estudo, foi definida uma escola pública federal localizada em Cajazeiras, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB (inaugurado em 1994). A escolha dessa instituição de ensino deu-se devido à segurança para a instalação dos equipamentos (sensores climáticos) e a facilidade de acesso aos projetos arquitetônicos disponíveis para consulta.

## **Resultados e discussão**

### **Descrição dos pontos monitorados**

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras (IFPB), oferece cursos superiores de Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Engenharia de Controle e Automação, Bacharelado em Engenharia Civil e Licenciatura em Matemática. Também conta com cursos técnicos de Informática (Integrado ao Ensino Médio), Meio Ambiente (Projeja), Eletromecânica e Edificações (Integrados ao Ensino Médio e Subsequentes) e ainda com um Curso de Especialização em Matemática. Para atender todos esses cursos de forma presencial, a sua estrutura física é utilizada nos três períodos do dia (manhã, tarde e noite), por aproximadamente 1.150 estudantes e 256 servidores.

O IFPB está localizado em área de expansão urbana do Município de Cajazeiras, em um bairro com predominância de edificações residenciais terreas com cobertura de cerâmica (Figura 1).



**Figura 1.** Localização do IFPB. Fonte: *Google Earth* em 12/02/2021.



**Figura 2.** Vista aérea do IFPB, *Campus Cajazeiras*, mostrando árvores plantadas. Fonte: Arquivo fotográfico publicado nas redes sociais do IFPB em 2021.

Com a observação do entorno da escola, pode-se perceber poucas árvores nos quintais das casas e uma quantidade reduzida de plantas nos jardins residenciais, o que coaduna com os estudos de Fernandes et al. (2014) sobre a vegetação no Município de Cajazeiras-PB, onde foi verificado uma média de 1,21 plantas por residência. Somado a

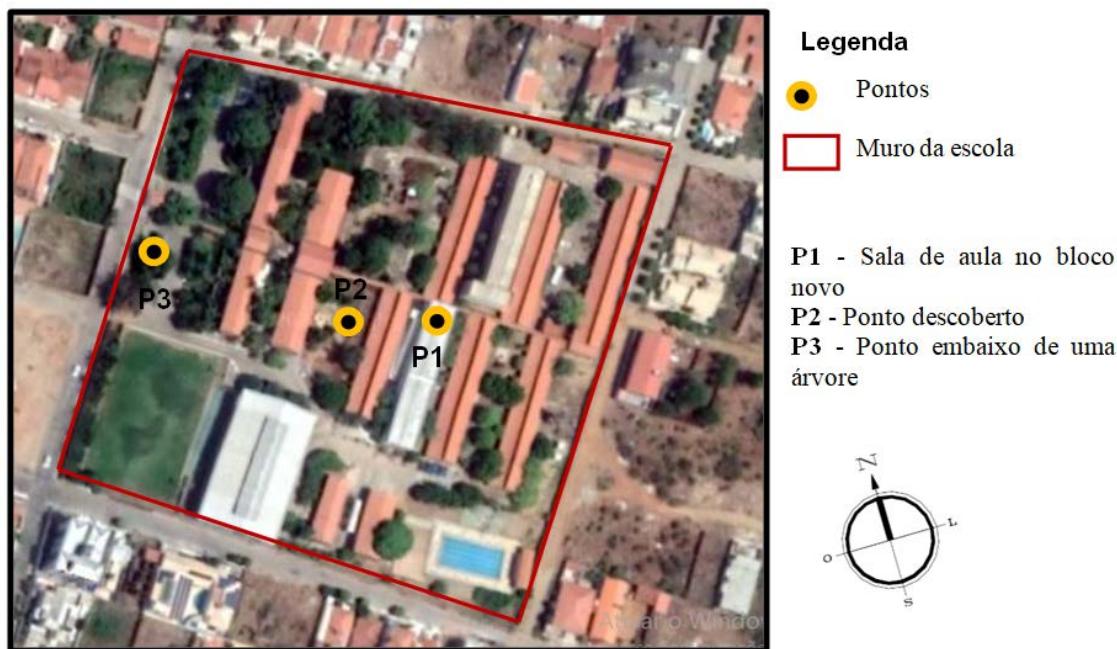
isso, esses autores, ao verificarem que a maioria das árvores introduzidas eram de ficos (*Ficus benjamina*) e nim indiano (*Azadirachta indica*), evidenciaram outros problemas na vegetação presente nas ruas dos bairros de Cajazeiras, a maior presença de espécies exóticas em detrimento das nativas e a pouca biodiversidade (Figura 2).

Oliveira et al. (2019) realizaram a identificação das árvores existentes no IFPB de Cajazeiras e registraram 39 espécies e 335 indivíduos arbóreos, concentrados, principalmente, em cinco espécies, 52 nim indiano, 40 cássia-desídio, 40 goiabeiras, 28 figueiras e 23 mangueiras. Portanto, esses autores também evidenciaram baixa heterogeneidade arbórea e uma predominância de 27 espécies arbóreas de origem exótica, o que representa 82,93% das espécies identificadas.

Vale destacar que esse *campus* do IFPB teve, nos últimos anos, uma expansão, com retirada de vegetação para ampliação de cursos e construções novas. A maioria das construções são térreas, apenas o setor administrativo e os blocos novos foram construídos com dois pavimentos. Além de uma maior altura, os blocos novos com salas de aula possuem tipologia construtiva distinta dos blocos construídos no período de implantação do *campus*, na década de 1990, do século XX.

O IFPB possui um terreno de aproximadamente 38.000 m<sup>2</sup>, ocupada por um conjunto de 10 edificações com formas retangulares disposto, linearmente distribuídas, atualmente, em um setor administrativo, um bloco destinado ao pátio coberto, auditório e biblioteca, dois blocos de salas de aula e seis blocos com salas e laboratórios. Além desses 10 blocos, a instituição conta também com uma quadra poliesportiva, um campo de futebol e uma piscina.

A localização dos pontos selecionados para registro e monitoramento dos dados microclimáticos podem ser vistos na Figura 3.



**Figura 3.** Localização dos pontos monitorados. Fonte: *Google Earth*, em 27/10/2021.

O ambiente interno monitorado (P1) trata-se de uma sala de aula situada no primeiro pavimento de um dos blocos construídos nos últimos anos (Figuras 4 e 5).



**Figura 4.** Interior da sala de aula.



**Figura 5.** Vista da fachada sudoeste da edificação onde se localiza a sala de aula monitorada.

Nesta sala de aula existem quatro janelas, duas voltadas para a fachada sudeste e duas voltadas para a fachada noroeste, todas em um sistema de abertura de correr e bandeiras com abertura maxim-ar. Dessa forma, essa sala de aula permite circulação ou renovação do ar.

Quanto ao material utilizado nas janelas, é de alumínio e de vidro laminado com espessura de 6 mm. Apontado por Lamberts et al (2014) como uma escolha baseada no baixo custo de aquisição e manutenção, o vidro nas janelas dessa sala de aula, e de todas as outras salas de aula desta escola, foi usado em uma grande extensão, independente da orientação. A área de janelas translúcidas dessa sala de aula contraria a recomendação da norma ABNT NBR 15.220 (ABNT, 2005) para essa zona climática, uma vez que a norma recomenda aberturas pequenas entre 15% e 25% da superfície das paredes. Por outro lado, comprehende-se que salas de aula necessitam da iluminação natural para as

atividades escolares, estabelecendo, portanto, um conflito entre a necessidade de luz e a redução do calor.

Quanto ao uso de elementos construídos para sombreamento, o corredor de acesso possibilita o prolongamento da coberta para além da parede, o que permite recuo das janelas localizadas na fachada noroeste.

Na fachada sudeste existe uma arborização próxima às aberturas, contudo a presença de cortina tipo blecaute, verificada nas visitas *in loco*, indica a incidência da radiação solar e a necessidade de iluminação artificial que, por sua vez, aumenta o ganho térmico devido à fonte interna de calor.

O ponto externo descoberto está situado entre um bloco de salas de aula e o bloco destinado ao pátio coberto, auditório e biblioteca, próximo também à quadra poliesportiva (Figura 6). Nesse ponto observou-se uma área aberta menos sombreada, onde foram plantadas cinco árvores da espécie *Azadirachta indica*, popularmente conhecida como nim indiano. Verificou-se pisos e bancos de concreto, além de árvores em diferentes estágios de desenvolvimento.



**Figura 6.** Ponto descoberto no terreno do IFPB.

O ponto externo sombreado consiste em um ponto embaixo de uma árvore nativa da espécie monguba (*Pachira aquatica*) no estacionamento da escola, com uma copa medindo 12 m de diâmetro (Figura 7).



**Figura 7.** Vista do estacionamento no IFPB mostrando o ponto sombreado por árvore.

#### **Avaliação do comportamento horário da variável temperatura do ar nos pontos monitorados**

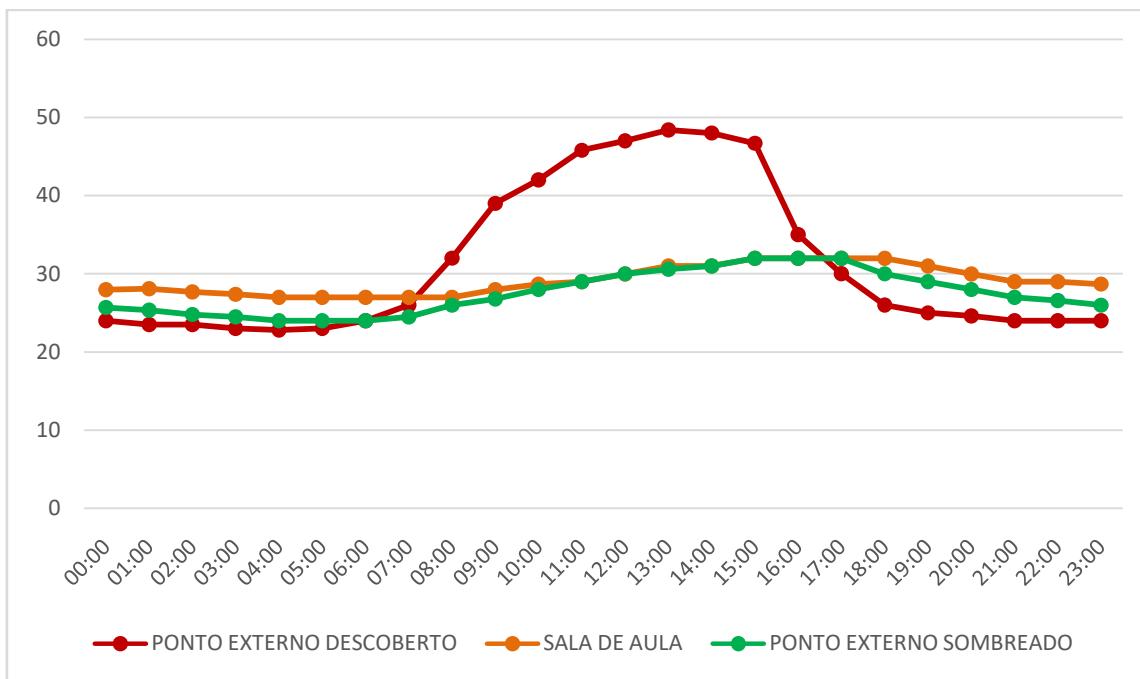
Na Figura 8 é possível visualizar a variação de temperatura do ar na sala aula monitorada e nos pontos externos. Percebe-se que, à noite e nas primeiras horas do dia, enquanto ocorre uma redução acentuada da temperatura, sobretudo no ambiente descoberto, devido à perda de calor para a atmosfera e à ausência de radiação solar, a temperatura do ar no interior da sala de aula registra menor redução da temperatura, comprovando a retenção do calor pela massa da edificação, mesmo com as janelas abertas permitindo troca de calor com o ambiente externo.

A sala de aula marcou uma média de temperatura mínima de 27 °C (das 3:00 às 8:00 h) e máxima de 32 °C (às 16:00 e às 17:00 h). No período das 13:00 h às 19:00 h, registrou temperaturas acima de 30 °C.

O ponto externo descoberto registrou uma média de temperatura mínima de 23 °C (das 3:00 h às 5:00 h) e máxima de 48 °C (às 13:00 h e às 14:00 h), indicando uma amplitude térmica horária de 25 °C.

O ponto externo sombreado registrou temperatura média mínima de 24 °C (das 4:00 h às 6:00 h) e máxima de 32 °C (das 15:00 h às 17:00 h), indicando uma amplitude térmica horária de 8 °C.

As mais altas temperaturas foram registradas no ponto descoberto, acima dos 40 °C, no período das 10:00 h às 15:00 h.



**Figura 8.** Registro da média de temperatura do ar (°C) na sala de aula e nos pontos externos.

Comparando os resultados registrados no interior da sala de aula com os dados do ponto externo descoberto, observou-se que os valores internos são mais elevados das 17:00 h às 7:00 h, totalizando 15 horários, com diferenças térmicas variando entre 4 °C e 6 °C a mais que o ponto externo descoberto. Contudo no período das 8:00 h às 16:00 h, a situação inverteu-se e o ponto externo descoberto registrou altas temperaturas com uma diferença térmica significativa, chegando a marcar 17 °C a mais em relação ao ambiente interno, das 11:00 h às 14:00 h.

**Tabela 1.** Principais resultados da comparação das médias de temperaturas horárias internas e externas.

Ponto	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Nº de horas mais quente	Nº de horas menos quente
Sala de aula	32 °C	27 °C	15 em relação ao descoberto. 17 em relação ao arborizado.	9 em relação ao descoberto. 0 em relação ao arborizado.
Descoberto	48 °C	23 °C	9 em relação a sala de aula. 10 em relação ao arborizado.	15 em relação a sala de aula. 14 em relação ao arborizado.
Arborizado	32 °C	24 °C	0 em relação a sala de aula. 14 em relação ao descoberto.	17 em relação a sala de aula. 10 em relação ao descoberto.

Ao comparar as temperaturas no interior da sala de aula com os dados do ponto externo sombreado por árvore também foi verificado que dentro da sala de aula há um predomínio de temperaturas mais elevadas. O interior da sala de aula registrou maiores temperaturas, em 17 horários, com diferenças térmicas variando entre 1 °C e 3 °C a mais que o ponto externo sombreado. Contudo, no período das 11:00 h às 17:00 h, a situação térmica ficou semelhante no ponto externo sombreado e na sala de aula, uma vez que registram as mesmas temperaturas.

Essa constatação revela a atuação da árvore como modificador do microclima, de forma mais favorável ao conforto térmico do que o ambiente construído, mostrando o quanto o processo de resfriamento nas áreas externas consegue reduzir de forma mais eficiente o calor e o quanto a envolvente do edifício, as paredes e suas propriedades de inércia térmica concedem uma capacidade de estabilizar a temperatura interior.

Souza et al. (2018), ao compararem áreas arborizadas e áreas não arborizadas em quatro escolas públicas localizadas na área urbana de uma cidade do semiárido, também constaram a contribuição da arborização na atenuação da incidência da radiação solar ao verificar melhor resultado nos locais onde havia arborização.

O ponto externo descoberto está mais exposto às variações do tempo, por isso se destaca com altas temperaturas. Nesta investigação, o ponto descoberto teve um aquecimento a partir das 8:00 h, enquanto na madrugada a temperatura diminuiu e registrou diferenças térmicas de até 5 °C a menos que o ambiente interno e de até 2 °C a menos que o ponto externo sombreado, por causa do processo de resfriamento que se inicia às 17:00 h.

Vale salientar também que as maiores temperaturas registradas no ponto descoberto foram das 11:00 h às 15:00 h, enquanto que na sala de aula e no ponto sombreado por árvore, as maiores temperaturas ocorreram das 15:00 h às 17:00 h. Isso demonstra que a copa da árvore de grande porte atrasa o ganho térmico, assim como a sala de aula.

Ao observar os dados nos diferentes turnos de aula, manhã (7:00 h às 12:00 h), tarde (13:00 h às 17:00 h) e noite (19:00 h às 22:00 h), é possível perceber o quanto, no período da manhã e tarde, durante a incidência da radiação solar até às 15:00 h, o entorno descoberto acumula calor resultando em um ambiente térmico muito desconfortável, o que repercute nos outros pontos investigados.

Nos horários das aulas da tarde, a sala de aula apresentou temperaturas semelhantes ao ponto arborizado, contudo, em horários das aulas da manhã entre 7:00 h e 10:00 h, a sala de aula registrou temperaturas mais elevadas do que ponto sombreado por árvore com diferenças térmicas de até 3 °C. Isso indica que, no momento da exposição à radiação solar diurna, quando o sol está mais baixo, o sombreamento da árvore e do seu entorno imediato contribuiu para uma menor absorção de calor, enquanto que a envoltória da edificação que compõe a sala de aula monitorada não evitou uma maior radiação térmica para o interior do ambiente em relação ao ponto arborizado.

Os dados do horário das aulas noturnas também chamam atenção, pois a sala de aula apresentou situação menos favorável ao conforto térmico com temperaturas próximas dos 30 °C e diferenças térmicas de 2 °C a mais que o ponto arborizado e entre 5 °C e 6 °C a mais que o ponto descoberto. Essas constatações demonstram que ao invés de ser um local protegido, a sala de aula analisada permitiu condições térmicas mais desconfortáveis em relação aos pontos externos.

Vale salientar que a sala de aula encontrava-se sem ocupação, com as quatro janelas abertas e a porta fechada. Tal condição permitiu a ventilação natural, defendida como estratégia bioclimática para climas tropicais úmidos, porém, neste caso, parece ter superaquecido o ambiente interno ao invés de resfriar. Esse raciocínio coaduna com Lamberts et al. (2014), quando eles afirmam que, para temperaturas acima de 32 °C, a

ventilação pode funcionar mais como aquecimento do que como resfriamento do ambiente.

Levando em conta esses efeitos de movimento do ar quando a temperatura está muito elevada associada a baixa umidade, característica de clima semiárido, a norma ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2005), ao definir diretrizes construtivas para a região analisada nesta pesquisa, a zona bioclimática 7, não recomenda a ventilação natural.

Outro aspecto que contribui para registros de maiores temperaturas na sala de aula investigada é a orientação das janelas, uma vez que as duas janelas voltadas para a fachada noroeste expõem a edificação a um período de sol forte e baixo. A respeito disso, Heywood (2015) alerta que as aberturas voltadas para fachada oeste causam superaquecimento difícil de ser controlado através de elementos externos como o corredor presente no edifício onde se localiza a sala de aula analisada.

Corbella e Yannas (2009) também alertam sobre a complexidade em proteger as aberturas voltadas para essa orientação, ao analisarem uma escola em Porto Alegre com salas de aulas voltadas para a face leste e oeste e perceberem que o uso de proteção através de elementos vazados de cimento não obteve sombreamento eficiente quando o sol está baixo na posição leste e oeste.

Romero (2013) e Kowaltowski (2001) recomendam, em regiões de clima quente, a orientação norte-sul para a maior fachada da edificação, por causa da menor incidência da radiação solar e, consequentemente, menor acúmulo de carga térmica e menor consumo de energia.

As considerações desses autores e as temperaturas verificadas, no período noturno e nas primeiras horas do dia, no interior da sala de aula monitorada, demonstram a necessidade de estudos sobre adaptações construtivas para melhoria das condições térmicas no interior do ambiente analisado. Além disso, as temperaturas acima dos 45 °C, no período das 11:00 h às 15:00 h, verificadas no ponto descoberto, revelam também necessidade de adequações nas áreas externas descobertas dessa região do semiárido para que possam permitir condições de uso no período da tarde.

Pensando nesses espaços coletivos da escola, Kowaltowski (2001) e Paes (2016) valorizam a presença da vegetação não só para o conforto térmico, mas também como um elemento pedagógico e de humanização da arquitetura. Nas pesquisas realizadas por essas autoras, foram identificadas situações desconfortáveis e um desprezo na elaboração, uso e manutenção dos espaços descobertos. Kowaltowski (2001), em seus estudos desenvolvidos nas escolas paulistas, evidenciou a necessidade de proteger as áreas externas da insolação excessiva, principalmente, à tarde, com um projeto paisagístico de fácil manutenção que incentive a convivência.

Mascaró e Mascaró (2002) também apontam a vegetação, através do sombreamento, como estratégia para amenizar as condições térmicas e permitir a economia de energia, porque diminui as temperaturas dos pisos pavimentados e das fachadas da edificação. Somado a isso, a retenção da água e o aumento da umidade relativa do ar proporcionado por árvores, arbustos e outras plantas demonstram a contribuição desses elementos para melhorar as condições térmicas em áreas de clima quente e seco.

## Conclusões

Com os dados das temperaturas horárias e as constatações decorrentes das análises, foi possível verificar, do ponto de vista térmico, as condições oferecidas aos estudantes e professores em três ambientes localizados em uma escola pública de uma região de clima quente e seco, no mês de fevereiro de 2022.

Os resultados apontam temperaturas mais baixas na madrugada, 23 °C no ponto descoberto, 24 °C no ponto arborizado e 27 °C na sala de aula. A sala de aula apresentou um aquecimento às 9:00 h (28 °C) até atingir 32 °C das 15:00 h às 18:00 h, mantendo-se

com temperaturas próximo dos 30 °C durante o período noturno. Dessa forma, nos horários das aulas, os dados não apresentaram situações favoráveis ao conforto térmico.

Contatou-se que a sala de aula, com menor capacidade de perder calor interno, registrou, em maior número de horários, temperaturas mais elevadas que os ambientes externos, com valores médios superiores de até 6 °C a mais que o ponto descoberto e de até 3 °C a mais que o ponto externo sombreado por árvore.

Sobre as características arquitetônicas que contribuem para o aumento das temperaturas no interior do ambiente interno analisado, foi possível identificar as quatro janelas da sala de aula por não permitir o controle da ventilação que, nesta região, com temperaturas acima dos 32 °C, parece contribuir para o aquecimento ao invés de resfriar. Além disso, duas dessas janelas voltadas para a fachada noroeste expõe o ambiente a um período de sol forte e baixo.

Os atributos arquitetônicos apontados e os dados microclimáticos desta pesquisa confirmam a necessidade do uso de elementos complementares para proteção solar nas aberturas da sala de aula investigada, bem como um maior controle das trocas térmicas. Além disso, percebe-se a necessidade de estudos sobre o sombreamento de árvores e sua influência em fachadas de edificações com mais de um pavimento.

Diante dessas possíveis soluções, dentre outras estratégias bioclimáticas, sugere-se, para os estudos futuros, avaliações em outras salas de aula desocupadas com diferenças nas características arquitetônicas para fins comparativos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o incentivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) e as contribuições dos professores nos seminários de tese realizados no Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA-UFPB).

## Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 15220-3 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- Brito, F. B. R.; Silva, L. B.; Souza, E. L. S.; Barros, T. S. R. Study of Globe temperature relative to air temperature during cognitive activities in information technology laboratories. **Work**, v. 62, n. 3, p. 393-410, 2019. <https://doi.org/10.3233/wor-192877>
- Cajazeiras. **Plano de Educação do Município de Cajazeiras**. Cajazeiras: Cajazeiras, 2015.
- Costa, A. M. V. **Adequação de edificações escolares ao contexto climático de Maceió-AL, com vistas à otimização de seu desempenho térmico**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2012. (Dissertação de mestrado).
- Costa, A. M. V.; Barbirato, G. M. Arquitetura adaptada ao clima: análise comparativa dos Centros de Atenção Integral à Criança de Maceió. Anais do X Encontro Nacional e VI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, p. 883-892, 2009.
- Corbella, O.; Yannas, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

Elali, G. A. **Ambientes para educação infantil:** contribuição metodológica na avaliação pós-ocupação de edificações e na elaboração de diretrizes para projetos arquitetônicos na área. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. (Tese de doutorado).

Fernandes, A. O.; Schwarz, M. L.; Galvão, J. C. A biodiversidade vegetal da Cidade de Cajazeiras-PB nas representações da população local. Anais do XI Congresso de iniciação científica da Universidade Federal de Campina Grande, 2014. Disponível em: <[https://posgraduacao.ufcg.edu.br/anais/2014/resumos/xicicufcg\\_2385.pdf](https://posgraduacao.ufcg.edu.br/anais/2014/resumos/xicicufcg_2385.pdf)>. Acesso em: 06 jun. 2020.

Frota, A. B.; Schiffer, S. R. **Manual de conforto térmico.** 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

Gartland, L. **Ilhas de calor:** como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Grzybowski, G. T. **Conforto térmico nas escolas públicas em Cuiabá-MT:** estudo de caso. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso, 2004. (Dissertação de mestrado).

Heywood, H. **101 regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético.** São Paulo: Gustavo Gili, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Semiárido. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiarido.shtm>>. Acesso em: 9 out. 2018.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Rede de estações automáticas.** 2020. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

Jiang, J.; Wang, D.; Liu, Y.; Xu, Y.; Liu, J. A study on pupils' learning performance and thermal comfort of primary schools in China. **Building and Environment**, v. 134, p. 102-113, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.036>

Kowaltowski, D. C. C. K. **Arquitetura escolar:** o projeto do ambiente de ensino. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

Kowaltowski, D. C. C. K.; Labaki, L. C.; Silva, A.; Pina, S. A. M. G. Conforto e ambiente escolar. **Cadernos de Arquitetura**, n. 3, p. 1-26, 2001.

Lamberts, R.; Dutra, L.; Pereira, F. **Eficiência energética na arquitetura.** 3. ed. rev. São Paulo: Pro Livros, 2014.

Marçal, V. G. **Análise de índices de conforto térmico não convencionais:** uma avaliação em ambiente escola. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2016. (Tese de doutorado).

Marçal, V. G.; Souza, H. A.; Coelho, F. F. M.; Marçal, C. C. S. Relevância e percepção do conforto térmico no processo de aprendizagem em sala de aula. **Boletim Técnico do SENAC**, v. 44, n. 2, 2018. <https://doi.org/10.26849/bts.v44i2.693>

Mascaró, L. E. A. R.; Mascaró, J. L. **Vegetação urbana.** 1. ed. Porto Alegre: UFRGS/FINEP, 2002.

Moraes, C. M. **Conforto térmico em salas de aula no Brasil:** análise experimental e numérica. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2009. (Tese de doutorado).

Oliveira, A. D. S.; Abreu, D. I.; Silva, G. C.; Meneses, S. L. C. Composição arbórea do IFPB - Campus Cajazeiras. **Revista Principia**, n. 44, p. 176-184, 2019. <https://doi.org/10.18265/1517-03062015v1n44p176-184>

Perillo, P. J. L.; Campos, M. A. S.; Abreu-Harbich, L. V. Conforto térmico em salas de aula: revisão sistemática da literatura. **PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 8, n. 4, p. 236-248, 2017. <https://doi.org/10.20396/parc.v8i4.8650268>

Paes, R. F. S. **Conforto ambiental nas escolas públicas de ensino fundamental da Cidade do Rio de Janeiro**: uma contribuição à qualidade arquitetônica a partir da seleção do terreno e da implantação. Rio de Janeiro: Universidade Federal de Rio de Janeiro, 2016. (Tese de doutorado).

Romero, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 2013.

Souza, C. P.; Coelho, W. G.; Saraiva, A. L. B. C. Conforto térmico humano em ambientes escolares de clima semiárido. **Revista GeoInterações**, v. 2, n. 1, p. 95-113, 2018.

Tibiriçá, A. L. S. **Educação e conforto térmico**: questionamentos e interpretações sobre espaço escolar. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2008. (Dissertação de mestrado).

Tondo, G. H. **Influência das estratégias bioclimáticas no desempenho térmico em edifícios escolares**. Joinville: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2017. (Dissertação de mestrado).

Zomorodian, Z. S.; Tahsildost, M.; Hafezi, M. Conforto térmico em edifícios educacionais: um artigo de revisão. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 895-906, 2016.



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.