




**(DES)CONFORTO EM SALAS DE AULA: ESTUDO EM ESCOLA PÚBLICA DE
ARAPIRACA-AL**

**(DIS)COMFORT IN CLASSROOMS: STUDY IN A PUBLIC SCHOOL IN
ARAPIRACA-AL**

**(DES)CONFORT EN AULAS: ESTUDIO EN ESCUELA PÚBLICA DE
ARAPIRACA-AL**

 <https://doi.org/10.56238/levv17n56-043>

Data de submissão: 20/12/2025

Data de publicação: 20/01/2026

Sabrina Lúcia Oliveira Silva de Farias

Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Instituição: Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

E-mail: sabrinafarias9597@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-2885-6332>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9764076648138744>

Juliana Oliveira Batista

Doutora em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

E-mail: juliana.batista@fau.ufal.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0397-1614>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5219320875826842>

RESUMO

O conforto térmico em ambientes escolares é um dos fatores determinantes para a saúde, o bem-estar e o desempenho dos estudantes. Modelos de avaliação de conforto térmico podem ser aplicados em edificações existentes para viabilizar propostas de adequação arquitetônica, ampliando o entendimento acerca da percepção de conforto dos usuários. O objetivo deste trabalho é investigar o ambiente térmico de salas de aula de uma escola pública de ensino médio, localizada em Arapiraca, no agreste alagoano, com base na percepção de estudantes e na aplicação do modelo adaptativo de conforto. Os resultados demonstraram a inadequação dos ambientes, com predominância do desconforto térmico ao longo de todo o experimento, bem como a diversidade das respostas térmicas dos estudantes, o que ressalta a importância de estudos de campo para compreender as necessidades dos usuários e as possibilidades de adequação climática das edificações.

Keywords: Conforto Térmico. Escolas. Arquitetura. Adequação Climática. Arapiraca.

ABSTRACT

Thermal comfort in school environments is one of the determining factors for students' health, well-being, and performance. Thermal comfort assessment models can be applied to existing buildings to enable proposals for architectural adjustments, enhancing the understanding of users' comfort perception. The aim of this study is to investigate the thermal environment of classrooms in a public high school located in Arapiraca, in the Agreste region of Alagoas, based on students' perception and the application of the adaptive comfort model. The results showed the inadequacy of the environments,

with a predominance of thermal discomfort throughout the experiment, as well as the diversity of students' thermal responses, highlighting the importance of field studies to understand users' needs and the possibilities for climate adaptation of buildings.

Keywords: Thermal Comfort. Schools. Architecture. Climate Adaptation. Arapiraca.

RESUMEN

El confort térmico en entornos escolares es uno de los factores determinantes para la salud, el bienestar y el rendimiento de los estudiantes. Se pueden aplicar modelos de evaluación del confort térmico en edificios existentes para posibilitar propuestas de adecuación arquitectónica, ampliando la comprensión sobre la percepción de confort de los usuarios. El objetivo de este trabajo es investigar el ambiente térmico de las aulas de una escuela pública de educación media, ubicada en Arapiraca, en el agreste alagoano, basándose en la percepción de los estudiantes y en la aplicación del modelo adaptativo de confort. Los resultados mostraron la inadecuación de los ambientes, con predominio del malestar térmico a lo largo de todo el experimento, así como la diversidad de las respuestas térmicas de los estudiantes, lo que resalta la importancia de estudios de campo para comprender las necesidades de los usuarios y las posibilidades de adecuación climática de los edificios.

Palabras clave: Confort Térmico. Escuelas. Arquitectura. Adecuación Climática. Arapiraca.

1 INTRODUÇÃO

A arquitetura escolar no Brasil reflete as transformações educacionais, sociais e políticas do país ao longo das décadas, especialmente desde os anos 1930 até os tempos atuais (Bencostta, 2005). Tais transformações impactaram a qualidade do ambiente escolar proporcionada para professores e estudantes, sendo esta qualidade resultado de um conjunto de requisitos diretamente afetados pelo grau de adequação da edificação ao clima. O resultado da relação edifício/clima interfere no conforto dos ocupantes e, por conseguinte, na capacidade de concentração e no rendimento das atividades escolares.

Há um significativo estoque de edificações escolares que carecem de adequações para que seus espaços sejam funcionais, inclusivos e favoreçam o aprendizado e o bem-estar dos alunos e profissionais da educação. Dentre os elementos indispensáveis à qualificação do ambiente escolar, pode-se destacar o conforto térmico, que está diretamente relacionado com a configuração arquitetônica do edifício. Regionalidade, clima, estações do ano e variabilidade de chuvas são fatores determinantes no conforto térmico dentro das escolas, afetando diretamente a aprendizagem e o bem-estar dos alunos.

As escolas são ambientes propícios para investigação do conforto térmico por reunirem grupos de pessoas de mesma faixa etária, desempenhando a mesma atividade sob as mesmas condições ambientais. Também são objetos de estudo relevantes devido ao seu papel social, especialmente as escolas públicas, que comumente não dispõem da mesma infraestrutura da rede privada. Além disso, há uma carência de estudos de conforto que definam métodos de investigação adequados ao clima tropical, como é o caso do semiárido nordestino, visto que diversas pesquisas têm constatado divergência entre condições de conforto preditas e reais.

O objetivo deste trabalho é investigar o ambiente térmico de salas de aula de uma escola pública de ensino médio, localizada em Arapiraca, no agreste alagoano, com base na percepção de estudantes e na aplicação do modelo adaptativo de conforto.

Arapiraca, localizada no agreste de Alagoas, dista 125 km da capital Maceió (Figura 1). Suas coordenadas geográficas são latitude 9°55'25" Sul e longitude 36°60'11" Oeste, com altitude variando entre 200 e 300 metros. Por situar-se no centro geográfico de Alagoas, a cidade se constitui em um entreposto de comércio e serviços entre o Sertão e o Litoral, assumindo um relevante papel econômico. Com área territorial de 345,655 km², atualmente é a segunda maior cidade alagoana, possuindo 234,696 habitantes e densidade demográfica de 678.99 hab./km² (IBGE, 2022).

Figura 1 – Localização dos municípios de Arapiraca e Maceió em Alagoas.



Fonte: Adaptado de https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Alagoas_Municip_Arapiraca.svg. Acesso em 12 jan. 2026.

Quanto ao clima, possui um clima tropical semiárido, caracterizado por temperaturas elevadas, cujas médias anuais variam de 23°C a 28°C, com picos de calor que podem superar os 33°C nos meses mais quentes e variações sazonais entre períodos secos (outubro a março) e chuvosos (abril a setembro), com predominância de períodos de estiagem prolongada. A umidade relativa do ar alcança médias entre 70% e 80% durante o período chuvoso, enquanto durante a estação seca esses valores caem para 50% ou menos, gerando desconforto e aumentando a sensação de calor. A ventilação predominante é advinda do leste e sudeste (Silva, 2019).

Segundo dados da Prefeitura Municipal de Arapiraca, a cidade possui um total de 158 escolas. Entre essas instituições, 34 oferecem especificamente o ensino médio regular, sendo 16 delas estaduais, abrangendo um público jovem que se prepara para a continuidade dos estudos ou o ingresso no mercado de trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ARQUITETURA ESCOLAR E ADEQUAÇÃO AO CLIMA

O Estado, como agente promotor da educação, influenciou a produção da arquitetura escolar ao longo dos anos no Brasil. Por exemplo, na década de 60, a educação constituía-se como ferramenta de controle social e propaganda ideológica do governo militar (Melo, 2012). Já nos anos 1970 e 1980, com o crescimento das periferias urbanas e a expansão da rede pública de ensino, a demanda por escolas aumentou de forma exponencial, especialmente em áreas carentes. Em resposta, o Estado optou por soluções arquitetônicas padronizadas e de baixo custo. A adoção de técnicas construtivas rápidas, que incluíam a pré-fabricação e o uso de técnicas tradicionais como a alvenaria estrutural e o concreto armado, visavam atender a urgência da demanda (Bencostta, 2005). No entanto, essas soluções resultaram em espaços educacionais muitas vezes inadequados, uma vez que não eram consideradas as práticas pedagógicas e os condicionantes ambientais, o que comprometia o conforto ambiental dos usuários. A precariedade dessas construções evidenciava a desigualdade social e as dificuldades enfrentadas pelo sistema público de ensino no Brasil.

A partir dos anos 1990, com a redemocratização e a promulgação da nova Constituição em 1988, a educação passou a ser reconhecida como um direito fundamental, e novos programas e políticas

públicas começaram a ser implementados para melhorar a qualidade do ensino e, conseqüentemente, dos espaços educacionais (Ribeiro, 1993). A arquitetura escolar passou a valorizar a inclusão, com ambientes adaptados para alunos com necessidades especiais, e a sustentabilidade, com o uso de materiais ecológicos e a preocupação com o impacto ambiental das construções. Além disso, houve uma ênfase maior na integração da escola com a comunidade, com a criação de espaços multiuso que poderiam ser utilizados tanto para fins educacionais quanto comunitários.

No início dos anos 2000 o Brasil viveu um período de crescimento econômico e investimentos significativos em infraestrutura educacional (Bencostta, 2001). O Governo Federal, por meio de programas como o Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica (FUNDEB) e o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), destinou recursos para a construção e reforma de escolas em todo o país. A arquitetura escolar dessa época, segundo o autor, foi marcada pela diversidade de projetos, que variavam de acordo com as especificidades regionais e as demandas das comunidades locais. Algumas escolas passaram a adotar modelos arquitetônicos mais ousados e inovadores, incorporando elementos de bioclimatismo e tecnologias sustentáveis, enquanto outras mantiveram um caráter mais tradicional, mas com melhorias significativas em termos de conforto e funcionalidade. A partir de 2010, a arquitetura escolar no Brasil começou a incorporar de forma mais sistemática conceitos de sustentabilidade e tecnologia.

Projetos adaptados bioclimaticamente à região em que estão inseridos proporcionam melhor conforto ambiental aos ocupantes. Além disso, tendem a ser mais econômicos, visto que reduzem a dependência de sistemas de climatização artificial, que são onerosos e demandam manutenções periódicas. Atualmente não existe norma brasileira que defina recomendações específicas para a construção de ambientes escolares, mas a adoção de princípios bioclimáticos para a adaptação da arquitetura é vastamente documentada na literatura. Entre as adaptações mais comuns estão o uso de ventilação cruzada, sombreamento, materiais de construção que melhoram o isolamento térmico, além da integração de sistemas de captação de energia solar e reaproveitamento de água da chuva.

A pandemia da COVID-19, a partir de 2020, trouxe novos desafios para a arquitetura escolar no Brasil, destacando a importância de espaços flexíveis e adaptáveis, reafirmando também a importância de princípios bioclimáticos como o aproveitamento da ventilação natural como forma de manter a renovação do ar dos ambientes internos.

A adequação climática de projetos de escolas depende do estudo cuidadoso do clima local para a proposição das soluções arquitetônicas. Em um país de dimensões continentais como o Brasil, a diversidade climática exige soluções específicas, de modo que o emprego de estratégias bioclimáticas varia conforme o clima. Ferramentas como o *Projeteer* - *Projetando Edificações Energeticamente*

Eficientes¹ e o Climate Consultant² possibilitam a análise de dados climáticos e identificação de estratégias projetuais aplicáveis, considerando as variações climáticas ao longo do ano.

2.2 CONFORTO TÉRMICO E O AMBIENTE ESCOLAR

A falta de adaptação da arquitetura escolar às particularidades climáticas de cada região compromete a criação de ambientes saudáveis e produtivos, que possibilitem aos estudantes se concentrarem nas atividades acadêmicas sem o desconforto causado por temperaturas extremas (Godoi, 2010). No atual contexto de aumento da temperatura global, o risco de desconforto por calor é constante e tem levado ao aumento do uso de ar condicionado, que acarreta o aumento no consumo de energia. Portanto, há uma demanda crescente para a adequação climática dos edifícios, adotando estratégias que minimizem a dependência da climatização artificial.

Segundo a ASHRAE Standard 55 (2017), o conforto térmico pode ser definido como o estado mental responsável por expressar a satisfação do ser humano em relação ao ambiente térmico que o cerca. Quando não satisfeito termicamente, o indivíduo pode expressar a sensação de desconforto por frio ou por calor. De acordo com Lamberts, Ghisi e Papst (2000) o conforto térmico, quando representado como uma sensação humana, entra no campo da subjetividade e passa a depender de fatores físicos (trocas de calor), fisiológicos (organismo) e psicológicos (percepção).

Diversos estudos apontam que altos índices de calor dificultam a concentração, causam inquietação, fadiga, cansaço, irritação e afetam o desempenho de alunos e professores em sala de aula. Quando o desconforto é por frio, pode causar coriza, dores de cabeça, calafrios, além de falta de concentração e estresse. Essas condições podem provocar estresse térmico e, a longo prazo, causar doenças de maior complexidade (Coutinho Filho et al, 2007).

Segundo Paes e Bastos (2013), as reações fisiológicas de conforto e bem-estar dos usuários ao ambiente estão diretamente vinculadas ao processo de ensino-aprendizagem adequado, evidenciando a importância de projetar espaços que favoreçam o conforto do seu público alvo.

Cruz e Silva (2023), destacam que a priori o conforto térmico precisa ser uma condição antes mesmo de ser uma necessidade, principalmente em salas de aula, onde a temperatura do ambiente pode afetar diretamente o desempenho dos estudantes. Quando a sala de aula não oferece as condições necessárias ao aprendizado, o ambiente externo à sala passa a ser mais procurado pelos alunos, causando grande número de evasão durante o horário de aula e prejuízo ao aprendizado.

Santos (2018) destaca a necessidade de considerar o conforto térmico como uma variável importante para o projeto de ambientes voltados ao ensino-aprendizagem, para minimizar os impactos do desconforto sobre o rendimento acadêmico e melhorar a qualidade do ensino, favorecendo a

¹ Disponível em <https://projeteec.mme.gov.br/>. Acesso em 14 jan. 2026.

² Disponível em <https://www.sbse.org/resources/climate-consultant>. Acesso em 14 jan. 2026.

capacidade cognitiva dos alunos. De acordo com a autora, o desempenho acadêmico dos alunos é diretamente prejudicado pelo desconforto térmico nas salas de aula, principalmente na região do semiárido alagoano, onde as altas temperaturas dos períodos mais quentes do ano aumentam a sensação de fadiga, irritabilidade e falta de concentração dos estudantes. Isto interfere de maneira negativa na retenção de informação e na participação ativa nas atividades propostas durante as aulas, acarretando em distração, lentidão de raciocínio e desmotivação, falta de foco em avaliações, além de reduzir o tempo efetivo de aprendizado dado ao aumento de pausas e dispersão decorrente da necessidade de se ausentar da sala de aula.

Segundo Rocha e Nachez (2023), atualmente as escolas estão caminhando em sua grande maioria para o regime de tempo integral, se tornado assim um abrigo temporário para os alunos, onde estes passarão a maior parte de seu dia. Dessa forma, as variações do ambiente térmico afetam a percepção dos usuários ao longo de períodos extensos. Para melhorar as condições de conforto térmico em salas de aula, a intervenção mais comum adotada pelas políticas públicas quando são feitas reformas é o uso do ar condicionado, desconsiderando o uso de estratégias bioclimáticas. Com isso, têm-se o aumento no consumo de energia elétrica, nem sempre satisfazendo as preferências de conforto dos usuários e acarretando em um consumo exacerbado de energia.

Diante do exposto, evidencia-se que o conforto térmico constitui um elemento indispensável para a promoção de ambientes escolares saudáveis, produtivos e propícios ao processo de ensino-aprendizagem, sendo condicionado por fatores como regionalidade, clima, ventilação e soluções arquitetônicas adequadas. A ausência de atenção a essas variáveis compromete não apenas o bem-estar e a saúde de alunos e professores, como impacta de forma significativa o desempenho cognitivo e o rendimento escolar, além de acarretar consequências ambientais, como o aumento do consumo energético decorrente do uso excessivo de sistemas de climatização artificial.

2.3 MODELOS DE AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

A avaliação do conforto térmico em ambientes internos envolve a compreensão dos mecanismos físicos e subjetivos que determinam a percepção do conforto pelos indivíduos. Duas abordagens de avaliação são consolidadas na literatura científica: o modelo PMV/PPD (Predicted Mean Vote/ Predicted Percentage of Dissatisfied), desenvolvido pelo pesquisador dinamarquês Povl Ole Fanger e baseado em estudos em câmaras climáticas (Fanger, 1970); e o modelo adaptativo, baseado em resultados de pesquisas de campo, com destaque para os estudos de Humphreys no Paquistão (Nicol, 2001).

O modelo PMV inclui de uma série de variáveis que afetam a sensação de conforto, caracterizando de forma abrangente o meio ao qual o indivíduo encontra-se submetido (Fanger; Toftum, 2002). As variáveis ambientais são: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar e

temperatura radiante média. As variáveis humanas são o isolamento da vestimenta e a taxa metabólica referente a atividade desempenhada. A resposta de conforto ou desconforto depende diretamente das trocas de calor realizadas entre o corpo e o meio, considerando as variáveis relacionadas. Essa resposta é expressa de acordo com uma escala numérica que varia de -3 (muito frio) a +3 (muito calor), sendo o 0 correspondente a condição de neutralidade térmica, quando o indivíduo não preferiria nem mais calor ou mais frio no ambiente. Associado ao PMV, o índice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) estima o percentual de insatisfação térmica em um ambiente. Para um PMV próximo de 0 o PPD corresponde a 5%.

O modelo adaptativo, diferente do PMV, parte da premissa de que as pessoas reagem às situações de desconforto para restaurar o conforto (Nicol; Humphreys, 2002). As pesquisas de campo que subsidiaram o desenvolvimento deste modelo indicaram que as pessoas se adaptam ao clima local e ajustam suas expectativas de conforto com base nas variações sazonais e nas condições ambientais externas. Assim, para edifícios não climatizados artificialmente, a temperatura interna aceitável varia conforme a temperatura externa. Consequentemente, observa-se que expressar as sensações unicamente em função da carga térmica atuando sobre o corpo não representa muito bem as situações encontradas no cotidiano, observando-se dispersões elevadas nas correlações efetuadas entre as sensações térmicas relatadas pelos indivíduos e os valores estimados do PMV (Xavier, 2000).

Diferente do modelo PMV/PPD, o modelo adaptativo considera que os seres humanos se ajustam às variações climáticas, tanto através de mudanças comportamentais quanto fisiológicas. O modelo adaptativo é particularmente aplicável em edifícios onde a ventilação natural é utilizada e as pessoas têm algum controle sobre o ambiente interno. Ele estabelece que as faixas de temperatura aceitáveis variam de acordo com a temperatura externa média. A adequação ou não do ambiente térmico é verificada por meio da comparação da temperatura operativa registrada com as faixas de temperatura aceitáveis, que por sua vez consideram percentuais de aceitabilidade de 80% e 90%. Assim, há uma maior flexibilidade nas definições de conforto térmico, o que pode reduzir a necessidade de aquecimento ou resfriamento artificial.

As pesquisas de campo realizadas para investigar as condições de conforto térmico em ambientes internos costumam adotar a aplicação de questionários sobre sensações e preferências térmicas, em conjunto com o monitoramento das variáveis ambientais e com a estimativa de índices de conforto, como o PMV/PPD e a definição de temperaturas de conforto segundo o modelo adaptativo. A norma brasileira NBR 16401-2 (ABNT, 2024) apresenta os métodos de cálculo para determinação do conforto térmico,

3 METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em duas salas de aula de uma escola pública de ensino médio localizada

em Arapiraca-AL. Foram realizadas medições de variáveis ambientais, coleta de dados da estação meteorológica do INMET e pesquisa qualitativa por meio da aplicação de questionários junto aos estudantes, conforme detalhado nos próximos tópicos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A escola Estadual de Educação Básica Professor José Quintella Cavalcanti (EJQC) foi escolhida para o estudo por ser um exemplo representativo da arquitetura escolar construída entre as décadas de 1960 e 1980, caracterizada por soluções arquitetônicas padronizadas visando redução de custo diante da expansão da rede pública de ensino em todo o território brasileiro. Construída em 1964, a EJQC fica localizada no Bairro Eldorado (Figura 2). Sua planta original possuía formato em U, entretanto ao longo do tempo a escola passou por reformas e ampliações para atender à crescente demanda do sistema educacional, sendo a última reforma iniciada em 2019, para implantação de três equipamentos de apoio educacional nos arredores da instituição: teatro, biblioteca e ginásio. A planta atual está ilustrada na Figura 3, com destaque para as salas 8 e 19, onde foi realizado o monitoramento das variáveis ambientais e aplicação dos questionários.

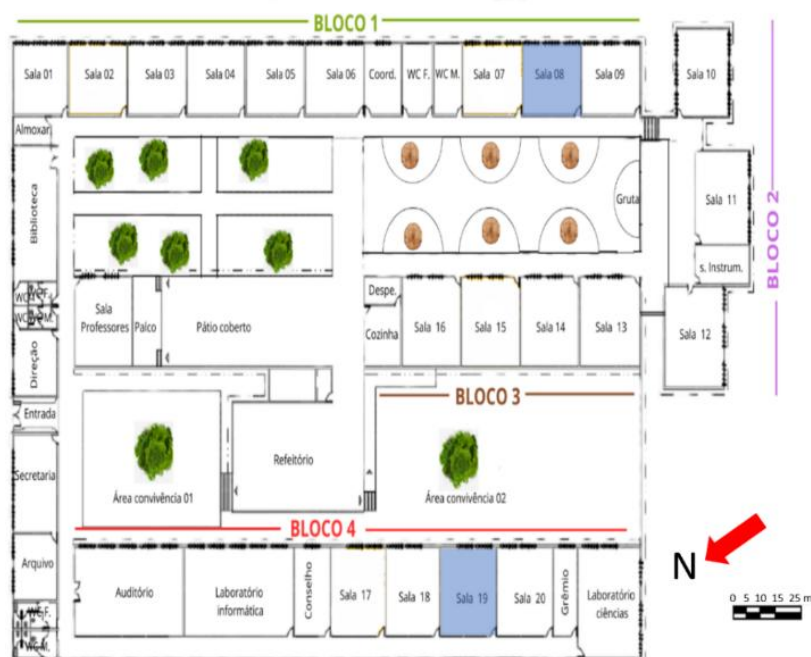
A Tabela 1 apresenta a caracterização das salas monitoradas, que se distinguem pela condição de exposição à insolação e ventilação natural, as quais são mais favoráveis para a sala 8 em comparação a sala 19. Entretanto, ambas possuem o mesmo sistema de climatização artificial, sendo que a utilização cotidiana das salas ocorre com o ar-condicionado e ventiladores ligados, janelas abertas e porta fechada. As salas possuem aberturas altas na parede oposta às janelas, mas as mesmas encontram-se lacradas (Figura 4). Com relação a ocupação das salas, o FNDE (2017) recomenda uma área mínima de 1,20 m²/aluno e a área recomendável de 1,50 m²/aluno para salas de aula. Portanto, a sala 8 apresenta uma densidade de ocupação inadequada considerando ambas referências.

Figura 2 – Localização da Escola José Quintella Cavalcanti.



Fonte: Google Earth, 2024; modificado pelas autoras, 2024.

Figura 3 – Planta-baixa da Escola José Quintella Cavalcanti.



Fonte: Vasconcelos, 2018; modificado pelas autoras, 2026.

Tabela 1 – Caracterização das salas de aula avaliadas.

| Características | Sala 8 | Sala 19 |
|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Área | 47,80 m ² | 59,79 m ² |
| No. de ocupantes/ matutino | 52 | 39 |
| Área/aluno (matutino) | 0,92 m ² | 1,53 m ² |
| No. de ocupantes/ vespertino | 45 | 32 |
| Área/aluno (vespertino) | 1,06 m ² | 1,87 m ² |
| Orientação das janelas | Nascente | Poente |
| Exposição à ventilação | Leste e Sudeste | Não exposta |
| Climatização | Split 18.000 Btus + ventiladores | Split 18.000 Btus + ventiladores |

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2026.

Figura 4 – Vistas internas das salas de aula.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2026.

O período de monitoramento in loco ocorreu durante a estação seca, entre os dias 27 de novembro a 2 de dezembro de 2024. Dados da estação meteorológica do INMET localizada em Arapiraca indicaram temperaturas do ar mínima e máxima respectivamente iguais a 27,8°C e 35,2°C

nesse período³. Considerando bases de dados climáticos de Arapiraca⁴, a temperatura externa nesse período varia entre 20°C e 35°C.

3.2 PESQUISA EXPERIMENTAL: LEVANTAMENTO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS E DADOS QUALITATIVOS

A pesquisa realizada na escola Estadual de Educação Básica Professor José Quintella Cavalcanti (EJQC) contemplou o monitoramento de variáveis ambientais e a aplicação de questionários para a obtenção dos votos de sensação térmica. Foram registradas as seguintes variáveis: temperatura do ar; umidade relativa do ar; velocidade do ar e temperatura de globo. A temperatura radiante média foi calculada utilizando as Equações 1 e 2 e a temperatura operativa foi calculada utilizando a Equação 3 (ABNT, 2024).

$$T_{rm} = ((T_G + 273)^4 + 0.4 \times 10^8 \times |T_G - T_a|^{\frac{1}{4}} \times (T_G - T_a))^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (1)$$

$$T_{rm} = ((T_G + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 \times V_a^{0.6} \times (T_G - T_a))^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (2)$$

Onde:

T_{rm} : temperatura radiante média (°C);

T_G : temperatura de globo (°C);

V_a : velocidade do ar (m/s);

T_a : temperatura do ar (°C).

$$T_o = A \times T_a + (1 - A) \times T_{rm} \quad (3)$$

Onde:

T_o : temperatura operativa (°C);

T_a : temperatura do ar (°C).

A : coeficiente adimensional recomendado de acordo com a velocidade do ar ($A=0,5$ para $V_a < 0,2$ m/s; $A=0,6$ para, $0,2 < V_a < 0,6$ m/s; e $A=0,7$ para, $0,6 < V_a < 1,0$ m/s).

Utilizando a abordagem adaptativa de conforto, foram calculados os limites de aceitabilidade

³ Os dados registrados pela estação meteorológica do INMET referentes ao período de monitoramento apresentaram muitas lacunas, correspondendo apenas a 36h de um total de 144h. Entretanto, são os únicos dados externos disponíveis para o período.

⁴ Arquivo climático TMY BRA_AL_Arapiraca.AP.819960_TMYx.2009-2023.zip obtido no repositório Climate.OneBuilding.Org, disponível em https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html. Acesso em 14 jan. 2026.

para a temperatura operativa, com base na temperatura média predominante do ar externo $t_{mpa(out)}$, conforme a Equação 4. Os limites inferior e superior de aceitabilidade de 80% foram calculados conforme as Equações 5 e 6, enquanto os limites de 90% são estabelecidos pela diferença de 1°C em relação aos limites de 80%. As temperaturas operativas obtidas no interior das salas de aula foram comparadas a faixa de temperatura calculada para o período de 27/11 a 02/12 em Arapiraca, a fim de verificar o enquadramento das condições internas dentro dos limites recomendados pela NBR 16401-2 (ABNT, 2024).

$$t_{mpa(out)} = 0,34t_{od-1} + 0,23t_{od-2} + 0,16t_{od-3} + 0,11t_{od-4} + 0,08t_{od-5} + 0,05t_{od-6} + 0,03t_{od-7} \quad (4)$$

$$\text{Limite superior de 80\% de aceitabilidade (}^{\circ}\text{C)} = 0,31t_{pma(out)} + 21,3 \quad (5)$$

$$\text{Limite inferior de 80\% de aceitabilidade (}^{\circ}\text{C)} = 0,31t_{pma(out)} + 14,3 \quad (6)$$

Onde:

$t_{pma(out)}$: temperatura média predominante do ar externo ($^{\circ}\text{C}$);

t_{od-1} : temperatura média anterior ao dia em questão ($^{\circ}\text{C}$);

t_{od-2} : temperatura média anterior ao dia anterior, e assim por diante ($^{\circ}\text{C}$).

Quanto aos questionários, foram aplicados duas vezes em cada sala e em cada turno, no início da primeira aula e no final da última aula, totalizando 444 questionários respondidos, nos seguintes horários de referência: 7h10; 11h35; 13h10 e 17h35. As perguntas destinavam-se a coletar os votos de conforto, ou seja, a sensação e a preferência térmica no momento e o julgamento da condição de conforto do ambiente, incluindo também questões abertas para avaliação qualitativa do ambiente. A amostragem compreendeu 79 alunos divididos em 2 salas por turno, sendo 37 do sexo feminino e 42 do sexo masculino, com idade variando entre 15 e 21 anos. Em relação à altura dos estudantes, variou entre 1.52m e 1.96m enquanto o peso teve variação entre 41kg e 120kg. Quanto ao isolamento da vestimenta, variou entre 0,35clo e 0,95clo.

Os votos de sensação térmica foram confrontados com as temperaturas operativas verificadas em cada coleta de dados, a fim de observar a tolerância dos estudantes às condições ambientais às quais estavam submetidos. Esses votos também foram utilizados na estimativa da temperatura de conforto segundo o método de Griffiths, que combina os votos de conforto declarados pelos usuários e a temperatura operativa interna. Segundo Custódio *et al* (2024), esse método é amplamente utilizado em estudos sobre conforto térmico realizados em ambientes escolares. A temperatura de conforto (TC) é calculada pela Equação 7 e foi confrontada com as temperaturas operativas obtidas nas salas de aula durante o experimento. Desse modo, buscou-se investigar as condições térmicas sob uma abordagem

alternativa ao modelo adaptativo, cujos limites de aceitabilidade dependem exclusivamente da temperatura média predominante do ar externo.

$$T_c = T_o + \frac{0-TSV}{G} \quad (7)$$

Onde:

T_c: temperatura de conforto (°C);

T_o: temperatura operativa (°C);

TSV: voto de sensação térmica do usuário;

G: constante de Griffith (C°⁻¹), igual a 0,5 C°⁻¹

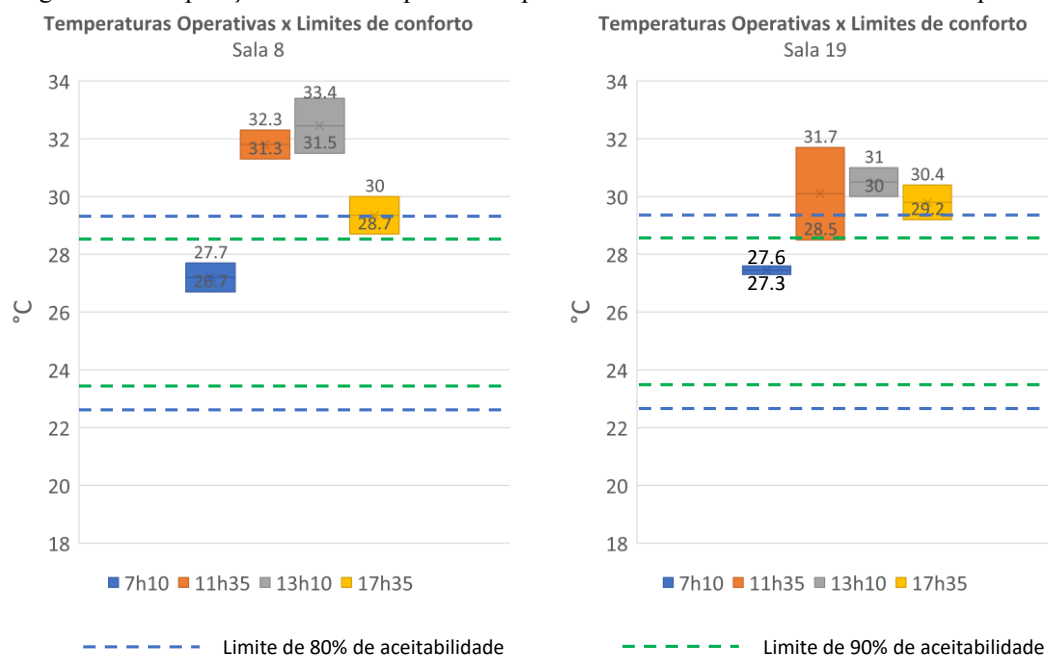
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 AVALIAÇÃO SEGUNDO A ABORDAGEM ADAPTATIVA DE CONFORTO

A Figura 5 mostra os intervalos de temperatura operativa verificados em ambas as salas de aula, nos quatro horários de coletas de dados, considerando o período completo de monitoramento. Também estão indicados os limites de aceitabilidade de 80% e 90% calculados de acordo com o modelo adaptativo, os quais correspondem respectivamente a 22,4°C e 29,4°C e 21,4°C e 28,4°C.

Em ambas as salas verifica-se que somente no início da manhã (7h10) as temperaturas operativas internas mantiveram-se enquadradas na faixa recomendável. Observa-se um comportamento distinto das salas, sendo que a sala 8 apresentou condições mais desfavoráveis, alcançando um temperatura operativa máxima de 33,4°C às 13h10. Já na sala 19 o período mais crítico ocorreu às 11h35, quando a temperatura operativa máxima foi igual a 31,7°C. Tal diferença pode estar relacionada a densidade de ocupação da sala 8, que possui um número maior de ocupantes e área menor que a sala 19 (Ver Tabela 1).

Figura 5 – Comparação entre as temperaturas operativas internas e a faixa de conforto adaptativo



Fonte: Autoras (2024).

Outro aspecto a ser observado é que mesmo possuindo climatização artificial foram registradas temperaturas elevadas em ambas as salas. Os dados apresentados na Figura 5 demonstram que as salas de aula avaliadas apresentam condições de conforto térmico prioritariamente inadequadas de acordo com o modelo adaptativo. Entretanto, esse resultado não incorpora a opinião dos usuários do ambiente, que além da influência do ambiente térmico está sujeita também a fatores subjetivos como características físicas pessoais e expectativas individuais. Ao confrontar os votos de conforto referentes às sensações térmicas com as temperaturas operativas internas é possível identificar as variações nas respostas e buscar possíveis correlações entre esses dados, caracterizando o grau de inadequação dos ambientes a partir das respostas individuais dos estudantes.

4.2 VOTOS DE CONFORTO X TEMPERATURAS OPERATIVAS

A Figura 6 mostra os percentuais de votos de sensação térmica declarados pelos estudantes da sala 8 considerando a seguinte escala de valores: 0 – neutro; 1 – levemente com calor; 2 – com calor e 3 – com muito calor. Os votos foram agrupados em função da temperatura operativa correspondente no momento da resposta, verificando-se a ocorrência de 2 a 3 temperaturas operativas registradas em cada horário. Convém salientar que trata-se de duas turmas distintas, uma no turno matutino e outra no turno vespertino.

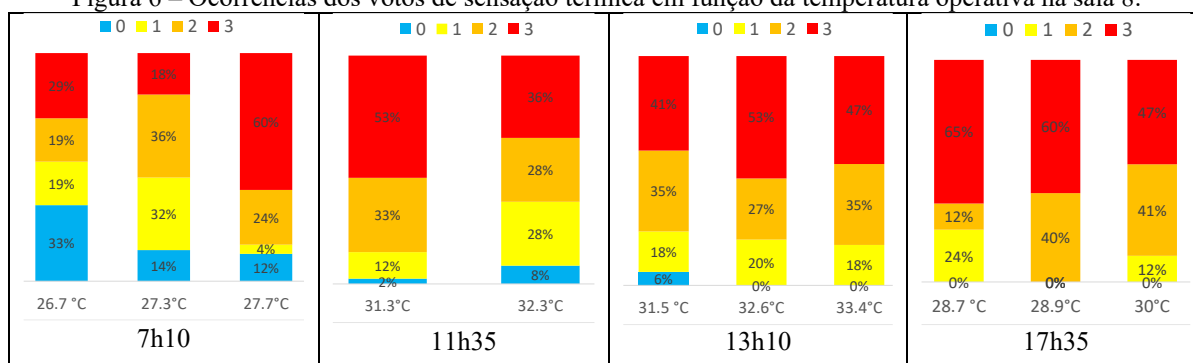
No turno matutino, o aumento da temperatura resultou na redução das respostas indicativas de neutralidade térmica e na preponderância das respostas referentes a “muito calor” (3). No horário das 7h10 foi verificado o maior percentual de respostas “muito calor” dentre todo o turno matutino, para uma temperatura operativa de 27,7°C, mesmo tendo sido obtidas temperaturas operativas mais

elevadas às 11h35. Isto sugere que, pela manhã, a expectativa é de temperaturas mais baixas, influenciando a percepção do desconforto pelos indivíduos.

No turno vespertino, as temperaturas operativas no horário das 13h10 foram semelhantes aquelas registradas às 11h35, sendo que a turma de estudantes era outra. Os votos correspondentes a “com muito calor” (3) foram a maioria, para temperaturas operativas variando entre 31,5°C e 33,4°C. Já no horário das 17h35 não houve nenhum voto correspondente a neutro (0) e foram registrados os maiores percentuais de votos referentes a “muito calor” (3), variando de 47% a 65%, mesmo com temperaturas menores que aquelas registradas às 13h10. Neste caso, a tolerância ao calor pode ter sido influenciada pela fadiga, considerando tratar-se já do final do turno de aulas.

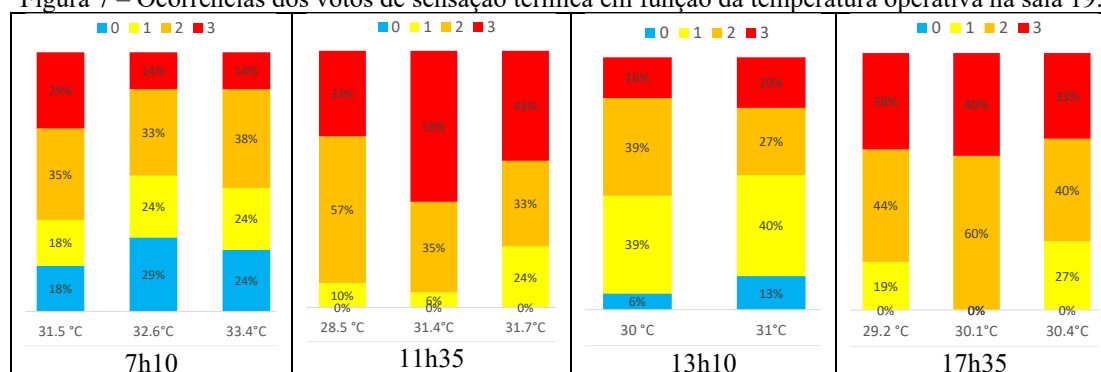
A Figura 7 ilustra os resultados obtidos para a sala 19, que possui área maior e menor densidade de ocupação em comparação a sala 8. No turno matutino observa-se os maiores percentuais de neutralidade (0) obtidos em toda a coleta de dados, no horário das 7h10, mesmo com temperaturas operativas variando entre 31,5°C e 33,4°C. Tal resultado pode ser influenciado pela menor densidade de ocupação da sala 19, contribuindo para a redução do estresse dos estudantes. Por outro lado, nos horários de final de turno, 11h35 e 17h35, foram verificadas as maiores ocorrências de votos “muito calor” (3), mesmo com temperaturas operativas inferiores aquelas verificadas às 7h10 e às 13h10.

Figura 6 – Ocorrências dos votos de sensação térmica em função da temperatura operativa na sala 8.



Fonte: As autoras (2026).

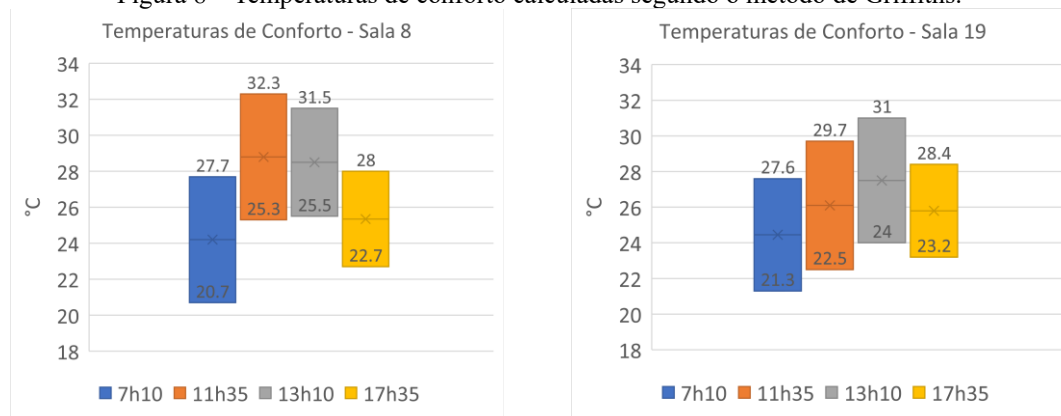
Figura 7 – Ocorrências dos votos de sensação térmica em função da temperatura operativa na sala 19.



Fonte: As autoras (2026).

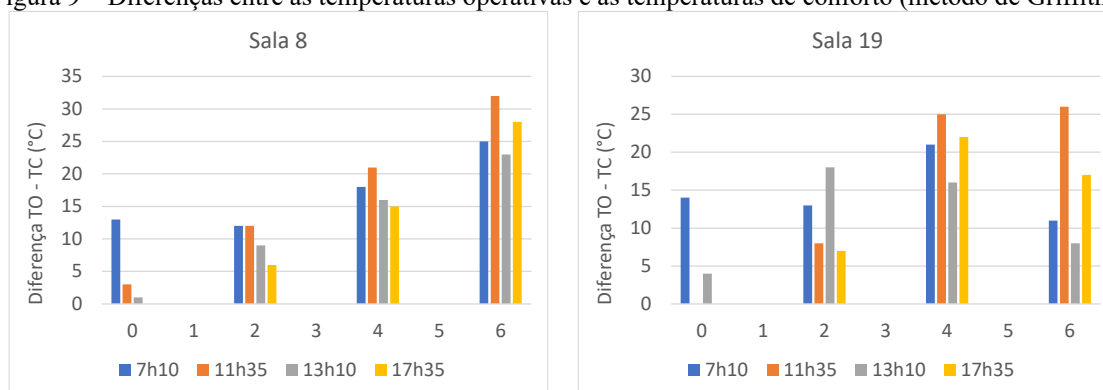
Por fim, foram calculadas as temperaturas de conforto pelo método de Griffiths, considerando os votos de sensação térmica dos estudantes (Figura 8). Diferentemente dos limites de temperatura determinados a partir do modelo adaptativo, as temperaturas de conforto apresentam uma maior variabilidade. Quando comparadas às temperaturas operativas internas, as diferenças em relação as temperaturas de conforto atingiram até 6°C, indicando a severidade do desconforto verificado nas salas de aula estudadas (Figura 9).

Figura 8 – Temperaturas de conforto calculadas segundo o método de Griffiths.



Fonte: As autoras.

Figura 9 – Diferenças entre as temperaturas operativas e as temperaturas de conforto (método de Griffiths).



Fonte: As autoras.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho investigou o ambiente térmico de salas de aula de uma escola pública de ensino médio, localizada em Arapiraca, no agreste alagoano. O estudo foi baseado na percepção dos estudantes e na aplicação do modelo adaptativo de conforto.

Os resultados evidenciaram o quão diversa pode ser a resposta térmica de um grupo de indivíduos sujeitos às mesmas condições ambientais, daí a importância de estudos de campo para compreender as necessidades dos usuários e as possibilidades de adequação das edificações.

No caso das salas de aula analisadas, ficou evidente a inadequação às condições de conforto térmico, o que foi verificado em ambas estimativas de conforto realizadas (modelo adaptativo e método de Griffiths) e manifestado nos votos de sensação térmica. A divergência entre as temperaturas

operativas observadas nos ambientes internos e as estimativas foram altas, atingindo até 6°C de diferença, enquanto os votos de desconforto foram predominantes, principalmente o voto “com muito calor” (3). Convém salientar que tal cenário ocorreu mesmo com o uso de ar-condicionado, porém subdimensionado perante a carga térmica demandada. A incorporação do equipamento às salas dificultou ainda mais a obtenção do conforto térmico, visto que as aberturas de saída de ar foram lacradas e as janelas são mantidas abertas mesmo com o aparelho ligado. Ou seja, criou-se um consumo adicional de energia com um equipamento que opera de modo ineficaz.

Sob tais condições ambientais, 75% dos estudantes respondeu que a atenção às aulas era afetada pelo calor. Durante a aplicação dos questionários, percebeu-se que os estudantes, por iniciativa própria, tomavam algumas medidas adaptativas para melhorar suas condições de conforto dentro das salas de aula. As principais foram: abrir janelas e portas, trocar de lugar, sair para molhar a cabeça nas torneiras do pátio (estratégia observada apenas em estudantes do sexo masculino), sair para tomar água, prender o cabelo (estratégia observada apenas em estudantes do sexo feminino), levar ventiladores portáteis e fazer leques de papel para produzir ventilação. Tais atitudes corroboram os fundamentos do modelo adaptativo, demonstrando diversas ações realizadas pelos indivíduos para restaurar o conforto térmico (Fanger, Toftum, 2002).

Quando questionados sobre quais melhorias gostariam de ver na escola, a maioria respondeu que queriam salas mais ventiladas e com ar condicionado que funcionasse corretamente. Respostas como “diminuir a quantidade de alunos por sala” e “plantar mais árvores” também foram recorrentes. Quando perguntados se o vento na sala de aula causava alguma perturbação ou incômodo, a maioria respondeu que não e justificou dizendo que não entrava vento nas salas. Percebe-se que os usuários possuem bastante clareza sobre as medidas necessárias para melhorar as condições de conforto térmico.

Com relação a aplicabilidade dos modelo adaptativo e do método de Griffiths, ambos expuseram a inadequação das salas de aula estudadas, sendo que os limites das temperaturas de conforto de Griffiths apresentaram maior variabilidade. Já os votos de conforto são essenciais em pesquisas desta natureza, pois possibilitam mapear a frequência de ocorrência de diferentes níveis de desconforto, mapeando a percepção dos usuários.

Diante do exposto, é evidente que a estratégia de climatização a ser adotada em salas de aula deve ser fruto da análise criteriosa dos condicionantes ambientais e também das configuração arquitetônica, sob pena de impor o desconforto térmico aos estudantes e professores. Além disso, o desconforto térmico acarreta no prejuízo do rendimento escolar (distrações, fadiga, irritação, lentidão no raciocínio). Nesse sentido, reforça-se a necessidade de planejamento e gestão das edificações escolares que priorizem estratégias bioclimáticas e soluções adaptadas às especificidades regionais, a fim de garantir espaços mais confortáveis e saudáveis.



AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a FAPEAL – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas pela bolsa de estudos concedida para a realização do mestrado.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-2:2024 — Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2024.
- ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Condition Engineers, Inc. Atlanta, EUA, 2017. ISSN 1041-2336.
- BENCOSTA, M. L. História da educação, arquitetura e espaço escolar. 5 ed. Curitiba: Editora Cortez, 2005.
- COUTINHO FILHO, E. F. et al. Avaliação do conforto ambiental em uma escola municipal de João Pessoa. IX Encontro de Extensão Universitária. Desafios da indissociabilidade entre ensino e extensão. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2007.
- CRUZ, M L, M; SILVA, L, F, G. Influência da vegetação no conforto térmico em Ambientes escolares por meio do envi-met. 2023. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Anais... São Paulo. v. 22, n. 3, p. 57-73, jul./set. 2023.
- CUSTÓDIO, D, A; GHISI, E; RUPP, R, F. Thermal comfort in university classrooms in humid subtropical climate: Field study during all seasons. Building and Environment, v. 258, n. 111544, 2024, p. 1-18.
- FANGER, P.O. Thermal Comfort. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970. Disponível em: <https://archive.org/details/thermalcomfortan0000fang/page/n5/mode/2up>. Acesso em 10 jan. 2026.
- FANGER, P. O.; TOFTUM, J. Extension of the PMV model to non air-conditioned buildings in warm climates. Energy and Buildings, Berkley, n 34, 2002. p. 533-536.
- FNDE. Manual de Orientações Técnicas – Elaboração de Projetos de Edificações Escolares: Ensino Fundamental – Volume III. Brasília: FNDE, 2017
- GODOI, G. Conforto Térmico nas edificações escolares públicas: análise da implantação do projeto padrão 023 da rede pública de ensino do estado do Paraná. 2010. Monografia (Especialização em Construção de Obras Públicas). Universidade Federal do Paraná – UFPR: Curitiba. 67 pgs, 2010.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama das cidades brasileiras. Rio de Janeiro, 2012.
- LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L. Desempenho térmico de edificações. LabEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- MELO, L. G. Arquitetura escolar e suas relações com a aprendizagem. São Gonçalo-SP, 2012. Monografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- NICOL F. Thermal comfort. Notes by Fergus Nicol. School of Architecture, University of North London, UK, 2001.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Energy and Buildings, v. 34, p. 563–572, 2002.

PAES, R. F. S.; BASTOS, L. E. G. Qualidade ambiental na edificação: o caso das escolas públicas da cidade do Rio de Janeiro. Paranoá, Brasília, no 12, p. 131-140, 2014. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/10761/945>. Acesso em: 18 nov. 2022.

RIBEIRO, P. R. M. História da educação escolar no Brasil. Paideia (Ribeirão Preto), USP - Ribeirão Preto, v. 4, p. 15-30, 1993.

ROCHA, A. A. C. N. da; NACHEZ, J. L. School Space and Sustainability in the Tropics: The Case of Thermal Comfort in Brazil. Sustainability, v. 15, n. 18, p. 13596, 2023.

SANTOS, J. O. S. O (Des)conforto térmico na sala de aula: dificuldades de aprendizagem. 2018. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação no Semiárido) - Unidade Delmiro Gouveia - Campus do Sertão, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2018.

SILVA, M.F. Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas: contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local Maceió-AL, 2019. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Alagoas.

XAVIER, A. A. de P. 2000. 247 f. Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias: teoria física aplicada a estudos de campo. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.