

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO**  
**AGRÍCOLA**

**DISSERTAÇÃO**

**Conforto Térmico, Lumínico e Eficiência Energética: Análise de  
Projeto Padrão de Salas de Aula**

**Dalila Silva Rabelo**

**2024**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO AGRÍCOLA**

**CONFORTO TÉRMICO, LUMÍNICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ANÁLISE DE  
PROJETO PADRÃO DE SALAS DE AULA**

**DALILA SILVA RABELO**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Argemiro Sanavria**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Educação**, no Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola, Área de Concentração em Educação Agrícola.

Seropédica, RJ  
Maio de 2024

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R114c Rabelo, Dalila Silva, 1977-  
Conforto térmico, luminico e eficiência energética:  
Análise de projeto padrão de salas de aula / Dalila  
Silva Rabelo. - Seropédica, 2024.  
53 f.: il.

Orientador: Argemiro Sanavria.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Educação  
Agrícola, 2024.

1. Conforto térmico. 2. Conforto luminico. 3.  
Eficiência energética. 4. Ambiente educacional. I.  
Sanavria, Argemiro, 1949-, orient. II Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós  
Graduação em Educação Agrícola III. Título.

\*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. \*This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO AGRÍCOLA



HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 49 / 2024 - PPGEA (11.39.49)

Nº do Protocolo: 23083.027381/2024-82

Seropédica-RJ, 11 de junho de 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO AGRÍCOLA

**Dalila Silva Rabelo**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Educação, no Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola, Área de Concentração em Educação Agrícola.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 29/05/2024

---

Dr. Argemiro Sanavria - UFRRJ  
Orientador,

---

Dra. Sandra Maria Gomes Thomé - UFRRJ  
Membro interno

---

Dr. Ricardo Diogenes Dias Silveira - IFgoiano  
Membro externo

*(Assinado digitalmente em 11/06/2024 16:22 )*  
ARGEMIRO SANAVRIA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DESP (12.28.01.00.00.00.52)  
Matricula: 387181

*(Assinado digitalmente em 11/06/2024 10:48 )*  
SANDRA MARIA GOMES THOME  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DESP (12.28.01.00.00.00.52)  
Matricula: 1125765

*(Assinado digitalmente em 27/06/2024 15:00 )*  
RICARDO DIOGENES DIAS SILVEIRA  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 006.130.731-93

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp>  
informando seu número: **49**, ano: **2024**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **11/06/2024** e o código de verificação: **f737a7cf4e**

*Dedico este trabalho em especial à minha melhor amiga e filha, Camila Rabelo Terra, às minhas irmãs queridas, Lílian Rosana Silva Rabelo e Dianina Raquel Silva Rabelo e aos meus pais, João Alberto Rabelo e Terezinha Silva Rabelo, principalmente pelo incentivo e apoio para a realização deste trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que em sua infinita bondade me concedeu a vida e a oportunidade de ter saúde e paz para desenvolver esse trabalho que contribuirá para a qualidade de vida dos alunos e docentes.

Agradeço ao meu Orientador, Professor Argemiro Sanavria, que com muita paciência e zelo me auxiliou nessa caminhada, com sugestões e orientação valiosas.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola (PPGEA), da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), que se disponibilizaram a ministrar as disciplinas valiosíssimas em uma cidade do interior de Goiás, levando sabedoria não apenas acadêmica, mas de vida para todos os presentes. Cada um contribuiu muito com minha formação e evolução durante o período do mestrado.

Ao Instituto Federal Goiano, pelo incentivo tanto profissional quanto financeiro, bem como, pela iniciativa de capacitação do seu quadro de técnicos administrativos.

À minha família que me acolheu e me deu todo o suporte emocional necessário durante essa jornada. Eu tenho a melhor família do mundo que, com muito carinho, me auxiliou em todas as etapas para esta conquista.

Aos meus amigos que entenderam as ausências e em momentos importantes me lembraram do grande tesouro que eu tenho em forma de amizades, amigos são a família que a gente escolhe e eu tive a sorte de também construir uma família de laços afetivos tão grandes quanto os laços sanguíneos.

Aos colegas do Instituto Federal Goiano, *Campus* Hidrolândia, e chefia, que sempre apoiaram e entenderam os momentos de dificuldades e ausências, sempre me incentivando a persistir no meu objetivo de concluir este trabalho.

À minha turma do Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola (PPGEA), por todas as interações e contribuições que fizeram na minha vida.

Enfim, agradeço a todos, sem exceção, que foram extremamente atenciosos, torceram por mim e me auxiliaram, de maneira direta ou indireta, meu muito obrigada!

## RESUMO

RABELO, Dalila Silva. **Conforto Térmico, Lumínico e Eficiência Energética: Análise de Projeto Padrão de Salas de Aula**. 2024. 53p. Dissertação (Mestrado em Educação). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2024.

Considerando a importância do conforto para o desenvolvimento das atividades acadêmicas, principalmente permitindo condições adequadas para ensino e aprendizagem, há a necessidade de verificar a adequabilidade dos ambientes existentes e construir ou reformar em atendimento aos critérios normativos de conforto térmico e lumínico, bem como, de avaliar o atendimento à normatização existente é o suficiente para garantir satisfação aos usuários. Alinhado a este tema, é necessário que se estabeleça um parâmetro de eficácia energética, para que a utilização de equipamentos permita o equilíbrio entre consumo e conforto nas salas de aula. Desta forma, o objetivo principal deste trabalho foi verificar a conformidade de um projeto de salas de aula desenvolvido para o Instituto Federal Goiano, *Campus Hidrolândia*, com relação à atualização de 2024 da norma de conforto térmico e lumínico das edificações, com o intuito de analisar se o projeto de instalações de climatização e iluminação permitiriam a melhor eficácia energética dos ambientes. Foi possível perceber que o atendimento à norma não é suficiente para a utilização das salas de aula, sem o uso do ar condicionado, nos períodos mais quentes do ano, enquanto que, devido à região de localização, durante o inverno há garantia de conforto aos usuários. Além disso, destaca-se a necessidade de se estabelecer critérios específicos para construção de ambientes escolares por meio de diretrizes ou legislações específicas para este fim.

**Palavras-Chave:** Conforto térmico. Conforto lumínico. Eficiência energética. Ambiente educacional.

## ABSTRACT

RABELO, Dalila Silva. **Thermal Comfort, Lighting and Energy Efficiency: Standard Design Analysis of Classrooms**. 2024. 53p. Dissertation (Master Science in Education). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2018.

Considering the importance of comfort for the development of academic activities, especially allowing adequate conditions for teaching and learning, there is a need to verify the suitability of existing environments and to build or renovate in compliance with the normative criteria of thermal and light comfort, as well as, to evaluate compliance with the existing regulations is sufficient to ensure satisfaction to users. In line with this theme, it is necessary to establish a parameter of energy efficiency, so that the use of equipment allows a balance between consumption and comfort in classrooms. Thus, the main objective of this work was to verify the compliance of a classroom project developed for the Instituto Federal Goiano, Campus Hidrolândia, with respect to the 2024 update of the thermal and lighting comfort standard for buildings, with the aim of analyze whether the design of air conditioning and lighting installations would allow for better energy efficiency in environments. It was possible to perceive that compliance with the standard is not sufficient for the use of classrooms, without the use of air conditioning, in the hottest periods of the year, while, due to the region of location, during the winter there is a guarantee of comfort to users. In addition, there is a need to establish specific criteria for the construction of school environments by means of specific guidelines or legislation for this purpose.

**Keywords:** Thermal comfort. Lighting comfort. Energy efficiency. Educational environment.



## LISTA DE ABREVIACOES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
$A_{p,APP}$	rea de piso do APP
APO	Avaliação Ps-Ocupação
APP	Ambientes de Permanência Prolongada
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
$A_{t,APP}$	rea de superfície dos elementos transparentes
$A_{v,APP}$	rea de abertura para ventilação do APP
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
Covid-19	<i>Corona Virus Disease 19</i>
CT <sub>par</sub>	Capacidade Térmica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FDE	Fundação para o Desenvolvimento da Educação do Estado de São Paulo
IDRS	ndice de Desempenho de Resfriamento Sazonal
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia.
INMETRO	Instituto Nacional de Meteorologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISO/CIE	<i>International Organization for Standardization/International Commission on Illumination</i>
MME	Ministério das Minas e Energias
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PPD	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>
PPGEA	Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola
$P_{t,APP}$	Percentual de elementos transparentes
$P_{v,APP}$	Percentual de Abertura para Ventilação
Retrofit	Reforma e/ou reabilitação
SVVE	Sistemas de Vedaao Vertical Exterior
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UGR <sub>L</sub>	ndice de Ofuscamento Global Limite
$U_{cob}$	Transmitância Térmica de Coberturas
$U_{par}$	Transmitância Térmica de Paredes
$\alpha_{cob}$	Absortância  Radiação Solar da Superfície Externa da Cobertura
$\alpha_{par}$	Absortância  radiação solar da superfície externa da parede

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Gráfico <i>Predicted Mean Vote (PMV) x Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)</i> .....	6
<b>Figura 2.</b> Níveis de temperaturas operacionais aceitáveis para espaços naturalmente condicionados .....	7
<b>Figura 3.</b> Zoneamento Bioclimático Brasileiro .....	8
<b>Figura 4.</b> Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno .....	9
<b>Figura 5.</b> Dados históricos de temperatura mínima na cidade de Bom Jesus - RS .....	10
<b>Figura 6.</b> Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão .....	11
<b>Figura 7.</b> Dados históricos de temperatura máxima na cidade de Teresina, Piauí .....	11
<b>Figura 8.</b> Dados históricos de temperatura máxima na cidade de Parnaíba, Piauí .....	12
<b>Figura 9.</b> Análise do dia típico de inverno para a zona bioclimática 1 .....	13
<b>Figura 10.</b> Níveis de desempenho térmico obtidos a partir da variação do período de simulação .....	14
<b>Figura 11.</b> Procedimento de avaliação de desempenho térmico .....	15
<b>Figura 12.</b> Equipamentos no consumo residencial de energia elétrica .....	23
<b>Figura 13.</b> Posse e consumo médio anual por equipamento .....	23
<b>Figura 14.</b> Zona Bioclimática 6 .....	25
<b>Figura 15.</b> Vista aérea do <i>Campus</i> Avançado Hidrolândia .....	26
<b>Figura 16.</b> Planta baixa, pavilhão de salas de aula .....	27
<b>Figura 17.</b> Fachada nordeste da edificação - salas de aula .....	34
<b>Figura 18.</b> Detalhe elemento construtivo – bloco cerâmico (dimensões em cm) .....	35
<b>Figura 19.</b> Subdivisões da parede de alvenaria .....	37
<b>Figura 20.</b> Corte demonstrando alturas da cobertura .....	40
<b>Figura 21.</b> Disposição de luminárias na sala de aula para 50 alunos .....	41

<b>Figura 22.</b> Distribuição de iluminação na sala para 80 alunos .....	42
<b>Figura 23.</b> Iluminação concluída na sala com capacidade para 80 alunos .....	42
<b>Figura 24.</b> Temperaturas máximas registradas em Goiânia .....	43

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Escala Térmica .....	4
<b>Tabela 2.</b> Iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade de cor para ambientes escolares .....	18
<b>Tabela 3.</b> Linha do tempo das políticas de eficiência energética .....	22
<b>Tabela 4.</b> Transmitância térmica de referência para paredes externas .....	28
<b>Tabela 5.</b> Capacidade térmica de referência para paredes externas .....	29
<b>Tabela 6.</b> Proporção de referência dos elementos transparentes .....	30
<b>Tabela 7.</b> Percentual de elementos transparentes em função do fator solar ou do nível de etiqueta da esquadria .....	31
<b>Tabela 8.</b> Transmitância térmica de coberturas .....	32
<b>Tabela 9.</b> Índices de condutividade térmica dos materiais utilizados .....	34
<b>Tabela 10.</b> Dados e cálculo da resistência térmica do bloco cerâmico .....	36
<b>Tabela 11.</b> Dados e cálculo da resistência térmica da seção A da parede .....	36
<b>Tabela 12.</b> Dados e cálculo da resistência térmica da seção B da parede .....	36
<b>Tabela 13.</b> Dados e cálculo da capacidade térmica total .....	37
<b>Tabela 14.</b> Dados e cálculo do percentual de abertura para ventilação .....	38
<b>Tabela 15.</b> Proporção dos elementos transparentes no bloco construído frente às normalizações da NBR 15575 .....	38
<b>Tabela 16.</b> Dificuldade no atendimento dos critérios de ventilação e elementos transparentes .....	39
<b>Tabela 17.</b> Resistência térmica de espaços localizados na cobertura, conforme NBR 15575-2 .....	40
<b>Tabela 18.</b> Classes de eficiência energética para condicionadores de ar tipo Split até junho/2024 .....	44
<b>Tabela 19.</b> Novos limites para classificação INMETRO (equipamentos adquiridos a partir de junho de 2024) .....	44
<b>Tabela 20.</b> Consumo unitário e total dos equipamentos de ar condicionado .....	45

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	3
2.1 Desempenho térmico .....	3
a) Voto Médio Preditado (PMV) .....	4
b) Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD) .....	5
2.2 Desempenho lumínico .....	15
2.3 Conforto no ambiente escolar .....	17
2.4 Desempenho energético das edificações .....	21
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	25
3.1 História do <i>Campus</i> Hidrolândia .....	25
3.2 Avaliação dos Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE) .....	27
a) Critério - Transmitância Térmica de Paredes ( $U_{par}$ ) .....	28
b) Critério - Capacidade Térmica ( $CT_{par}$ ) .....	29
c) Critério - Percentual de Abertura para Ventilação ( $P_{V,APP}$ ) .....	29
d) Critério - Elementos Transparentes .....	30
3.3 Avaliação da cobertura .....	31
3.4 Avaliação do desempenho lumínico .....	32
3.5 Avaliação da eficiência energética .....	33
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	34
4.1 Transmitância térmica .....	34
4.2 Capacidade térmica .....	37
4.3 Percentual de abertura para ventilação .....	38
4.4 Elementos transparentes .....	38
4.5 Coberturas .....	39
4.6 Iluminação .....	41
4.7 Avaliação global da edificação .....	43
4.8 Eficiência energética .....	43
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	46
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	47

# 1 INTRODUÇÃO

Nas discussões sobre o processo de ensino e aprendizagem, são vários os aspectos que influenciam a assimilação dos conteúdos por parte dos alunos. Em meio às questões pedagógicas, o fator conforto dos ambientes de ensino é muitas vezes negligenciado nas discussões. O conforto ambiental tem forte influência sobre o desempenho dos alunos e não deve ser deixado de lado na hora de planejar uma unidade de ensino.

A principal função da edificação é propiciar a seus usuários proteção e conforto para o desenvolvimento de suas atividades. No ambiente escolar, as edificações têm papel fundamental para garantir condições adequadas para a aprendizagem e o ensino. A qualidade das edificações é fator determinante para a saúde e bem-estar dos usuários em consonância com um consumo energético adequado.

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2024), a avaliação de desempenho das edificações busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou processo construtivo destinado a atender uma função, independente da solução técnica adotada. A norma também preconiza que, para atingir a esta finalidade, sejam limitados os requisitos que devem ser considerados em um contexto de uso definido.

Neste sentido, Dalvite *et al.* (2007) salientaram a importância e preocupação com o conforto nas edificações escolares, já que possuem relevância indiscutível na formação do ser humano e importância vital para o contexto social, cultural e econômico de um país. É na escola que passamos boa parte do nosso tempo, especialmente quando crianças e jovens, no momento de maior evolução, tanto intelectual como social.

A partir da década de 1960, o Brasil passou por um crescimento no número de vagas nas escolas (Xavier, 1999). Devido à grande necessidade de se expandir o número de salas de aulas no Brasil, aliado a escassez de recursos para atender tal demanda, iniciaram-se e implementaram-se em grande escala os projetos de edificações escolares padrões, isto é, o mesmo tipo de escola construída no Sul do Brasil era também construída no norte, com as mesmas especificações, sem levar em consideração as diferenças regionais (Xavier, 1999).

Pesquisas relacionadas ao conforto ambiental de seus usuários, mostraram como o mau desempenho dos ambientes de salas de aula influenciam diretamente na prática do ensino e não facilitam o aprendizado escolar, bem como, enfatizaram a dissonância entre o clima regional e o processo de planejamento das construções voltadas para os espaços educativos (Araújo, 1996; Xavier, 1999).

Neste sentido, estudos de Avaliação Pós-Ocupação (APO) buscam uma crítica à realidade de determinado local, urbano ou edificação, com relação aos aspectos técnicos, físicos, funcionais e comportamentais, a partir de medições e verificações *in loco*, e da percepção dos usuários a partir destes mesmos aspectos (Ornstein; Romero, 1992). Os resultados permitem aos pesquisadores diagnosticarem a situação do ambiente construído e proporem soluções a curto, médio ou longo prazo, visto que estes espaços deveriam passar por contínuos programas de manutenção e adequação às necessidades dos usuários.

É importante salientar que os espaços escolares construídos no *Campus* Hidrolândia, bem como em outros *Campi* do Instituto Federal Goiano, têm passado por constantes reformas e adequações nos últimos anos, para o atendimento às exigências dos novos conceitos de ensino. Este fato evidencia a relevância do presente estudo, por um lado, para a ampliação da literatura acerca de adaptações prediais, e, por outro, para a instituição em questão, marcada por um contexto de planejamento e previsão de novos espaços didáticos.

A avaliação do conforto ambiental em espaços de ensino pode ser vista como uma alternativa para se aprofundar conhecimentos sobre a realidade das condições nas edificações escolares. E, ainda, possibilitar às futuras construções e reformas contribuições para que adequadas condições de conforto térmico e lumínico sejam incorporadas aos requisitos de projeto.

O desempenho ambiental proporcionado pelas edificações foi amplamente discutido e é o objeto de normas brasileiras e internacionais, destacando-se a NBR 10151 (ABNT, 2000), NBR 15575 (ABNT, 2024) e ISO 7730 (2005) e abrange, dentre outros, parâmetros para conforto térmico e lumínico, os quais são objeto de estudo desta pesquisa.

No ambiente escolar, a infraestrutura deve estar adaptada a cada realidade, proporcionando bem-estar e conforto aos usuários (Barbosa; Agualar; Sales, 2021). Atingir um desempenho ambiental satisfatório envolve um correto planejamento arquitetônico, diante das diferentes condições climáticas que influenciarão nas condições térmicas e nas condições ideais de visão e iluminação (Ochoa; Araújo; Sattler, 2012).

Estudos demonstram que podem existir divergências entre os valores preditos para a zona de conforto e os valores reais, em função das condições de cada localidade (Becker; Goldberger; Paciuk, 2007). Ainda, segundo Fransson, Västfjäll e Skoog (2007) as medições técnicas podem falhar na captura de experiências subjetivas de dimensão simples sensorial, justificando a importância de obter-se uma avaliação sob o ponto de vista do usuário no ambiente interno.

A possibilidade de se obter conhecimento sobre o desempenho ambiental em construções com tipologias arquitetônicas diferentes, e principalmente, as preocupações com o pleno desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem dos usuários do espaço escolar, juntamente com as questões relacionadas ao conforto ambiental, motivaram este estudo.

Desta forma, o objetivo principal desta pesquisa foi analisar a conformidade de um projeto de salas de aula desenvolvido para o Instituto Federal Goiano, *Campus* Hidrolândia, com relação à atualização de 2024 da norma NBR 15575 (ABNT, 2013a) de conforto térmico e lumínico das edificações, com o intuito de analisar se o projeto de instalações de climatização e iluminação permitiriam a melhor eficácia energética dos ambientes após a conclusão da edificação.

No decorrer das avaliações realizadas também foram verificados: se o atendimento aos critérios normativos foi suficiente para proporcionar uma temperatura interna que gerasse conforto aos alunos e professores, sem a utilização de climatização adicional; e, se a distribuição das luminárias no projeto elétrico foi capaz de fornecer iluminação confortável para as aulas no período sem iluminação externa. Por fim, este trabalho também apresenta um comparativo de consumo dos equipamentos previstos para garantia de conforto térmico e lumínico, a fim de indicar soluções sustentáveis e substituições que podem ser realizadas para otimizar o desempenho energético da edificação.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão dos trabalhos publicados por diversos autores quanto aos estudos relacionados ao conforto ambiental. O foco principal é o conforto térmico e lumínico no ambiente escolar.

Para abordar o tema, foi realizada uma avaliação dos estudos e normas sobre desempenho térmico e lumínico das edificações, de maneira geral e no ambiente escolar, que podem fornecer dados sobre a realidade histórica e balizar diretrizes a serem seguidas nas instituições de ensino.

### 2.1 Desempenho térmico

Conforto térmico é a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente” (NBR, 15220-1; ABNT, 2005a). Esse conceito, adotado também por normativas internacionais, como a ASHRAE 55 (2013), implica que o estabelecimento das condições ideais de conforto envolve não só aspectos objetivos, como também subjetivos dos usuários, e dependem da percepção, expectativa e preferência do indivíduo (De Vecchi, 2011). Quando não há um balanço térmico estável, sente-se desconforto pela sensação de frio ou calor.

Lamberts *et al.* (2016) apontaram que as variáveis do conforto térmico estão divididas entre dois grupos. O primeiro refere-se às variáveis humanas (metabolismo, gerado pela atividade física, e resistência térmica, oferecida pela vestimenta), enquanto o segundo relaciona-se com os fatores ambientais (temperatura, velocidade e umidade relativa do ar e temperatura radiante média).

Frota e Schiffer (2001) descreveram as exigências humanas quanto ao conforto térmico evidenciando as questões biológicas, que envolvem o funcionamento do organismo humano e seu metabolismo, a termorregulação, as reações ao frio e ao calor, bem como os mecanismos de trocas entre corpo e ambiente evidenciando que o ideal é que o ambiente proporcione condições favoráveis que não promovam fadiga resultante do trabalho excessivo do aparelho termorregulador.

Sendo assim, considerando as particularidades de cada indivíduo, balizadas pelas necessidades específicas do organismo humano que deverá ser mantido em equilíbrio, o conforto térmico pode ser definido como um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa e, em ambientes com uma diversidade maior de usuários torna-se impossível, devido às diferenças individuais, projetar um local que satisfaça a totalidade dos usuários. Lamberts *et al.* (2016) destacaram, entretanto, que é possível especificar ambientes que sejam aceitáveis para a maioria dos seus ocupantes.

Coelho (2014) reforçou que o conforto térmico em si é extremamente complexo de analisar devido ao elevado número e diversidade de parâmetros que o influenciam. Diversos estudos feitos nas últimas décadas permitiram que hoje em dia seja possível aplicar dois modelos distintos na medição do conforto térmico de um ou vários indivíduos localizados num determinado ambiente.

Na mesma linha, Lamberts *et al.* (2016) realizaram uma coletânea de métodos apresentados por diversos pesquisadores e normas ao longo dos anos em todo o mundo, demonstrando os índices de conforto térmico, obtidos a partir destes estudos. Os autores sugerem uma classificação do conforto térmico em dois grupos: o primeiro, um modelo estático, em que o usuário é um receptor passivo do ambiente, limitado a câmaras



climatizadas com variáveis controláveis; e o segundo, um modelo adaptativo, considerando o homem como um agente ativo, que interage com o ambiente em estudos de campo.

O trabalho de Fanger (1970) trouxe um estudo que abrangeu uma gama de detalhes correlacionando as variáveis que afetam o conforto, servindo como referência para diversos autores e para normas como a ISO 7730 (2005) e a ASHRAE 55 (2013).

O resultado da pesquisa culminou em uma equação de conforto que resume os processos de troca de calor do corpo com o meio, baseado na experiência e simulações, a fim de obter valores preditivos para as condições do ambiente em condição ideal, obtendo-se os seguintes dados:

#### a) Voto Médio Predito (PMV)

O PMV (*Predicted Mean Vote*), obtido a partir de dados coletados pelos usuários como a atividade desempenhada pelo indivíduo e a carga térmica atuante sobre o corpo (que considera a taxa metabólica, o trabalho mecânico, a resistência térmica das roupas, temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, pressão parcial de vapor de água, coeficiente de transferência de calor por convecção, a temperatura superficial das roupas e a razão entre a área superficial do corpo vestido pela área do corpo nu).

O índice consiste em um valor numérico que representa as respostas subjetivas de sensação de desconforto por frio e calor, utilizando uma escala de sete pontos a fim de prever um valor médio de sensação térmica de um grande número de pessoas, seguindo a escala de 7 pontos (Tabela 1) da ASHRAE 55 (2013).

**Tabela 1.** Escala Térmica.

Escala	Sensação
+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Levemente Quente
0	Neutro
-1	Levemente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

Fonte: ASHRAE 55 (2013).

O uso do índice do PMV é recomendado apenas para valores entre +2 e -2 (ISO 7730, 2005) e seu cálculo é realizado a partir da seguinte equação:

$$PMV = (0,303 \times e^{-0,036M} + 0,028) \times L$$

Onde:

PMV é o voto médio estimado, ou voto de sensação de conforto térmico (adimensional);

M é a atividade desempenhada pelo indivíduo;

L é a carga térmica atuante sobre o corpo.

A equação de carga térmica sobre o corpo é assim expressa:

$$L = M - 3,05 \times (5,73 - 0,007 \times M - Pa) - 0,42 \times (M - 58,15) - 0,0173 \times M \times (5,87 - Pa) - 0,0014 \times M \times (34 - ta) - 3,96 \times [10^{(-8)}] \times fcl \times [(tcl + 273)^4 - (tr + 273)^4] - fcl \times hc \times (tcl - ta)$$

Onde:

M é a taxa metabólica (W/m<sup>2</sup>);

W é o trabalho mecânico (W/m<sup>2</sup>), sendo nulo para a maioria das atividades;

Icl é a resistência térmica das roupas (m<sup>2</sup>°C/W);

fcl é a razão entre a área superficial do corpo vestido pela área do corpo nu;

Ta é a temperatura do ar (°C);

Tr é a temperatura radiante média (°C);

Var é a velocidade do ar (m/s);

Pa é a pressão parcial de vapor d'água (Pa);

Hc é o coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>°C);

Tcl é a temperatura superficial das roupas (°C);

L é a carga térmica atuante sobre o corpo.

De acordo com a ISO 7730 (2005) os valores aceitáveis em ambientes termicamente confortáveis são aqueles em que o PMV está entre -0,5 e 0,5.

#### **b) Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD)**

O PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) quantifica a estimativa de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente. O mesmo é obtido considerando a participação dos usuários com relação à sensação de conforto térmico utilizando uma escala de notas que varia de muito frio a muito quente. O índice pode ser determinado de maneira analítica, conforme equação a seguir:

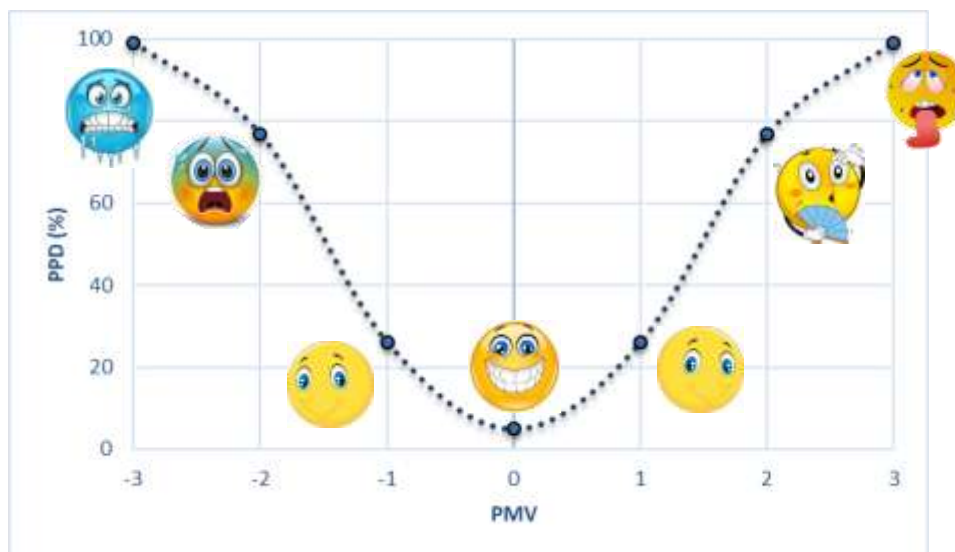
$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0,03353 \times PMV^4 + 0,2179 \times PMV^2)}$$

Onde:

PPD é a porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico;

PMV é o voto médio estimado, ou voto de sensação de conforto térmico.

O PPD também pode ser representado graficamente na Figura 1, quanto menor o valor do PMV maior a insatisfação pelo frio enquanto que, quanto maior o índice PMV maior o desconforto pelo calor, de forma que quanto mais próximo de zero mais neutro é o ambiente e, conseqüentemente, maior conforto para os usuários.



**Figura 1.** Gráfico *Predicted Mean Vote (PMV) x Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)*.  
 Fonte: ASHRAE (2004).

Existem três categorias apresentadas na norma ISO 7730 (2005) para classificar ambientes de acordo com a avaliação de porcentagem de insatisfeitos com a sensação térmica: categoria A (6,00% de PPD máximo); categoria B (10,00% de PPD máximo) e categoria C (15,00% de PPD máximo).

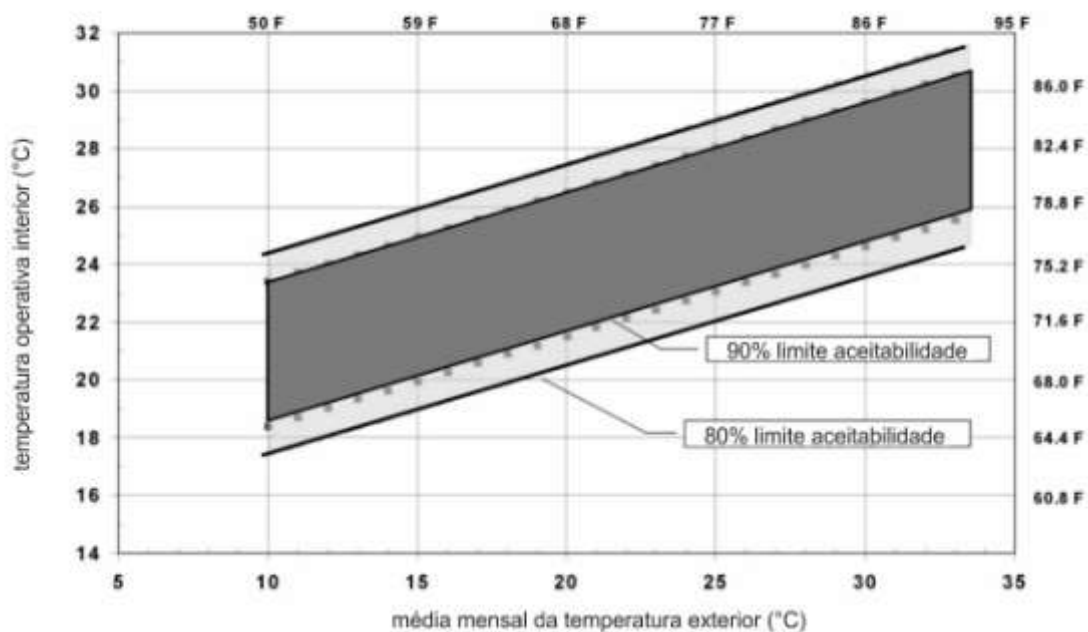
Entretanto, diversos autores demonstram que pode haver diferenças significativas entre os valores obtidos pelas fórmulas propostas e o índice real de satisfação dos usuários, visto que aspectos locais e adaptativos podem afetar a sensação de conforto dos usuários.

Neste aspecto, no Brasil, Baldini e Tavares (1985) testaram as propostas de índices apontados por pesquisadores à época, utilizando critérios de temperatura e umidade para balizar o conforto térmico, verificando que os mesmos não poderiam ser generalizados, visto que as sensações variavam de acordo com os climas regionais. Os valores obtidos, mesmo que dentro dos parâmetros definidos, divergiam das sensações apresentadas pelos usuários não eram coincidentes com os valores obtidos.

No diagnóstico realizado por Coelho (2014) em Portugal, o autor indicou que com a avaliação dos índices PMV e PPD, as condições no interior dos ambientes foram consideradas insatisfatórias e, na aplicação da abordagem adaptativa a pesquisa *in loco* apontou resultados ligeiramente inferiores às exigências estabelecidas, ou seja, pela avaliação computacional, em ambas as hipóteses não estariam adequadas, em contrapartida, na análise das sensações de conforto térmico dos usuários houve predominância na resposta para manutenção da temperatura dos ambientes da forma que estava.

Segundo Pereira e Assis (2010) como alternativa ao uso do PMV, alguns autores brasileiros vêm adotando diferentes índices adaptativos. Esses índices caracterizam-se por sua simplicidade: de modo geral, apresentam apenas uma temperatura de conforto térmico em função da temperatura média mensal registrada. Por esse motivo, servem como modelo exploratório nas etapas iniciais do projeto arquitetônico, nas quais o projetista possui poucos dados e necessita de informações objetivas para direcionar as estratégias que adotará. Contudo, não existe consenso sobre qual índice adaptativo usar, visto que existem vários modelos desenvolvidos no mundo, mas nenhum modelo desenvolvido ou validado para o país, considerando que nos modelos adaptativos, a variação da temperatura de neutralidade depende das possibilidades de adaptação do usuário existentes no período de medição.

A norma ASHRAE 55 (2013) trouxe valores de temperaturas considerados confortáveis. É importante ressaltar que a norma americana se baseia no modelo adaptativo de conforto térmico, ou seja, considera as alterações efetuadas pelo usuário no sistema, tais como, abertura e fechamento de janelas, roupas, entre outros. As zonas de conforto térmico determinadas na referida norma, com 80,00% e 90,00% de aceitabilidade dos usuários, podem ser observadas na Figura 2.

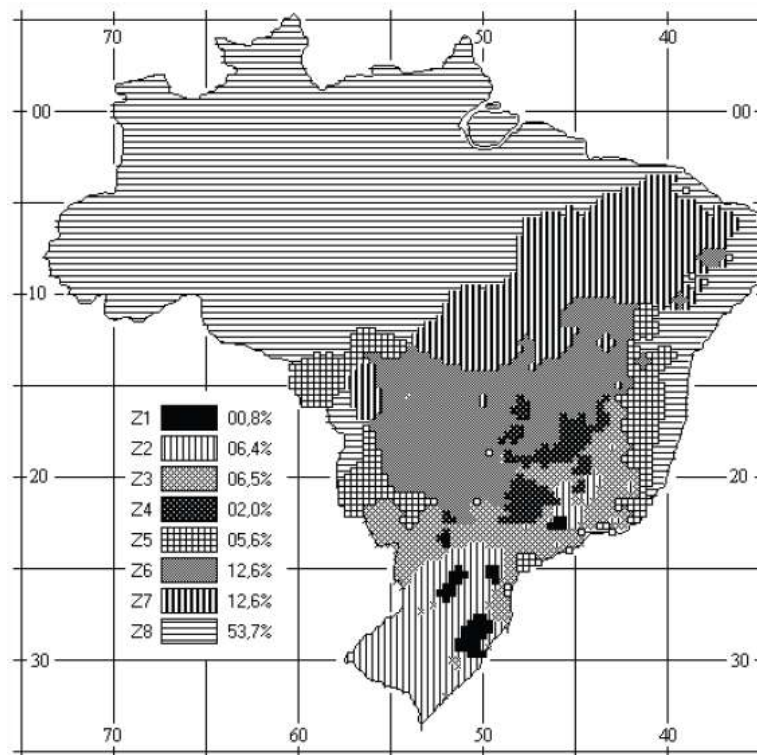


**Figura 2.** Níveis de temperaturas operacionais aceitáveis para espaços naturalmente condicionados.

Fonte: ASHRAE (2004).

Em nível nacional, a norma de Desempenho Térmico de Edificações NBR 15220-3, (ABNT, 2005c) abrangeu um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares e de interesse social e estabeleceu recomendações e diretrizes construtivas, sem caráter normativo, para adequação climática de habitações unifamiliares de interesse social, com até três pavimentos.

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) estabeleceu uma subdivisão das condições climáticas brasileiras para projeto em oito Zonas Bioclimáticas (Figura 3), que foram caracterizadas pela posição geográfica e pelas variáveis climáticas de médias mensais para umidades relativas do ar e temperaturas máximas e mínimas.



**Figura 3.** Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

Fonte: ABNT (2005c).

Nas diretrizes construtivas para cada uma das oito Zonas Bioclimáticas que compõe o território nacional, estão presentes os aspectos de tamanho de aberturas para ventilação, proteção das aberturas, vedações externas, e estratégias para o condicionamento térmico passivo.

Nesse sentido, esteve em discussão durante uma década, pelo meio científico, sobre a definição de condições térmicas definidas pela NBR 15575 (ABNT, 2013a), que trazia parâmetros térmicos baseados nas zonas bioclimáticas definidas na NBR 15220-3 (ABNT, 2005c). Com relação às vedações verticais, a norma estabelecia parâmetros de transmitância térmica (taxa de transferência de calor que passa por um material, seja por convecção, condução ou radiação) e capacidade térmica (quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema em  $\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  das paredes externas). É importante ressaltar que eram estabelecidos três procedimentos para avaliação do desempenho das edificações:

- Procedimento 1 - Simplificado (normativo): verificação do atendimento aos requisitos e critérios para fachadas e coberturas, para os sistemas de vedação e para os sistemas de cobertura, respectivamente;
- Procedimento 2 - Simulação: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na parte 1, por meio de simulação computacional do desempenho térmico do edifício;
- Procedimento 3 – Medição: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na parte 1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.

Com relação ao procedimento 1, a norma estabelecia requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas que não foram alterados pela versão atualizada em 2024, havendo, apenas, a inclusão do critério de elementos transparentes. Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013a), os Sistemas de Vedação Vertical Exterior (SVVE) devem ser analisados primeiramente por esse procedimento e, caso os critérios estabelecidos não sejam atendidos, recomenda-se a aplicação dos procedimentos 2 e 3, para os quais a NBR 15575 (ABNT, 2013a) apresenta como exigência de desempenho para o verão, que as condições térmicas no interior do edifício habitacional sejam melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de verão, e como exigência de desempenho para o inverno, que as condições térmicas no interior do edifício habitacional sejam melhores que do ambiente externo, no dia típico de inverno. Em determinadas regiões do país, os requisitos estabelecidos na versão de 2013 da norma, não eram suficientes para gerar conforto térmico aos usuários, o que acontece tipicamente nas regiões norte e sul, devido às temperaturas muito elevadas e muito baixas, respectivamente.

Com relação às temperaturas, a referida norma preconiza que o resultado obtido na simulação computacional atinja um valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior para o verão e os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como por exemplo, salas e dormitórios, no dia típico de inverno, devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C para o inverno.

Na Figura 4 pode-se observar os requisitos relativos às temperaturas mínimas no interior da edificação para condições de inverno, considerando-se o processo de simulação computacional, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013a).

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3 \text{ } ^\circ\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5 \text{ } ^\circ\text{C})$	
S	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7 \text{ } ^\circ\text{C})$	
<p><math>T_{i,mín.}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.  <math>T_{e,mín.}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.            NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

**Figura 4.** Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.  
 Fonte: ABNT (2013a).

Em relação aos métodos de análise por simulação e medição e seus critérios, é importante salientar que em muitas regiões do Brasil as análises por esses procedimentos poderão levar a construções que não atendam aos requisitos de conforto térmico para os usuários.

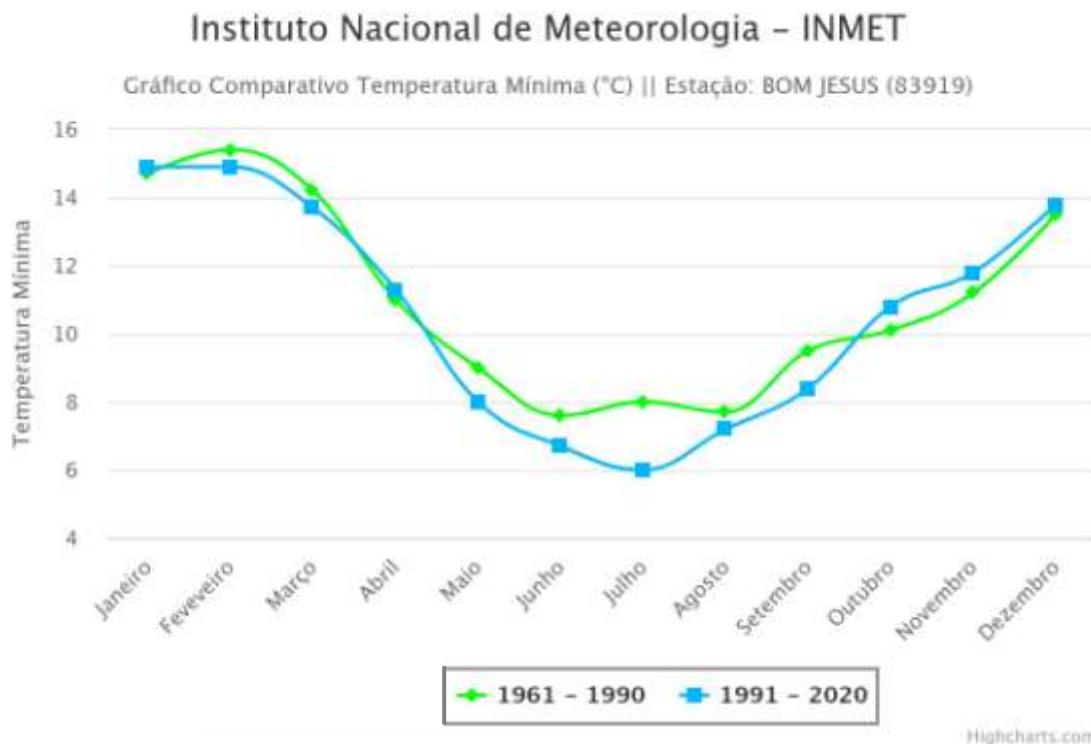
a) Conforme a NR-17 (Norma Regulamentadora 17, 2022) as organizações devem atender as condições ideais de conforto térmico nas situações de trabalho, observando-se o parâmetro de faixa de temperatura do ar entre 18 e 25°C;

b) A NBR 16401-2 (ABNT, 2008) indica que, em ambientes climatizados, durante o inverno a temperatura operativa e umidade relativa (UR) devem permanecer dentro da zona delimitada de: 21°C a 23,5°C e UR de 60,00%; ou 21,5°C a 24°C e UR de 30,00%;

c) De acordo com Pagnossin, Buriol e Graciolli (2001) os limites da zona de conforto térmico são obtidos em temperaturas entre 18,9°C e 25,6°, de forma que, valores iguais ou inferiores a 18,9°C indicam uma condição de stress ao frio e superior a 25,6°C stress ao calor;

d) Os valores recomendáveis para os parâmetros físicos de temperatura estabelecidos pelo Ministério da Saúde (Brasil, 2003) são, para condições internas para inverno, variam entre 20°C a 22°C.

Como por exemplo, o gráfico histórico (Figura 5) com as temperaturas mínimas para a cidade de Bom Jesus, no Rio Grande do Sul, fornecido pelo INMET (2024).



**Figura 5.** Dados históricos de temperatura mínima na cidade de Bom Jesus – RS.  
Fonte: INMET (2024).

É possível notar que as temperaturas durante os meses de maio a agosto ficam abaixo dos 8°C, chegando a 6°C no mês de julho. Considerando que a região está inclusa na Zona Bioclimática Z1 da NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), supondo-se uma edificação construída nessa cidade que busque atender ao nível Superior de desempenho segundo o método de simulação computacional da NBR 15575 (ABNT, 2013a), teríamos uma temperatura interna de 13°C (6°C + 7°C) que não representa condições ideais de conforto térmico, mesmo atendendo ao parâmetro normativo.

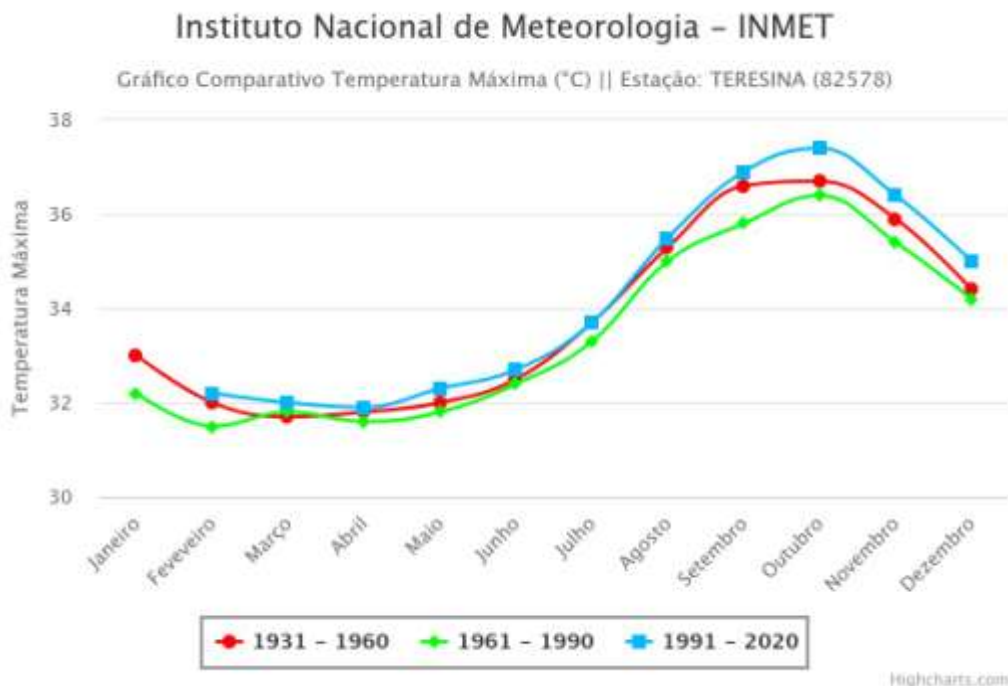
Os requisitos relativos às temperaturas máximas no interior da edificação para condições de verão, considerando-se o processo de simulação computacional, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013a), podem ser verificados na Figura 6. Cabe ressaltar que os níveis de desempenho estabelecidos são: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1\text{o C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2\text{o C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1\text{o C})$

$T_{i,max}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  
 $T_{e,max}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;  
 $T_{i,min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  
 $T_{e,min}$  é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;  
 NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

**Figura 6.** Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.  
 Fonte: ABNT (2013a).

A mesma análise pode ser desenvolvida para as regiões norte e nordeste do país. Na cidade de Teresina, no Piauí, por exemplo, a Zona Bioclimática atribuída pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) é a Z7, porém, as temperaturas máximas ultrapassam  $37^\circ\text{C}$  (conforme Figura 7) (INMET, 2024). Mesmo que o requisito de desempenho superior seja atendido, as temperaturas internas seriam da ordem de  $33^\circ\text{C}$  ( $37^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}$ ).

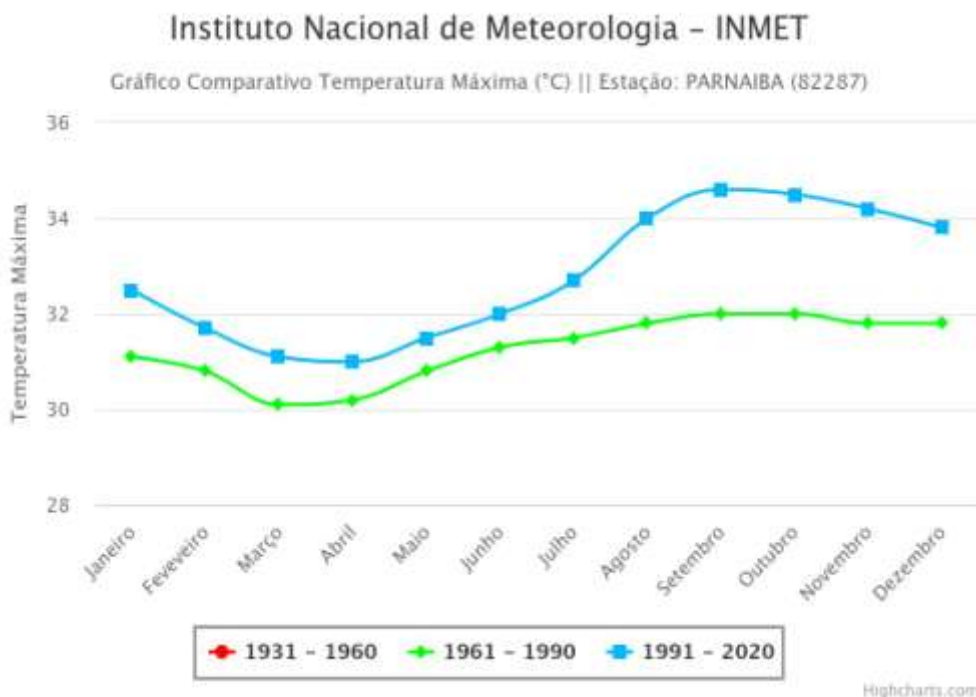


**Figura 7.** Dados históricos de temperatura máxima na cidade de Teresina, Piauí.  
 Fonte: INMET (2024).

Interessante perceber que no mesmo estado do Piauí está situada a cidade de Parnaíba, cuja classificação no Zoneamento Climático pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) é o Z8, para o qual o critério Superior de desempenho seria a redução de  $2^\circ\text{C}$  na temperatura interior do ambiente quando comparada à temperatura exterior. Porém, a temperatura máxima na cidade

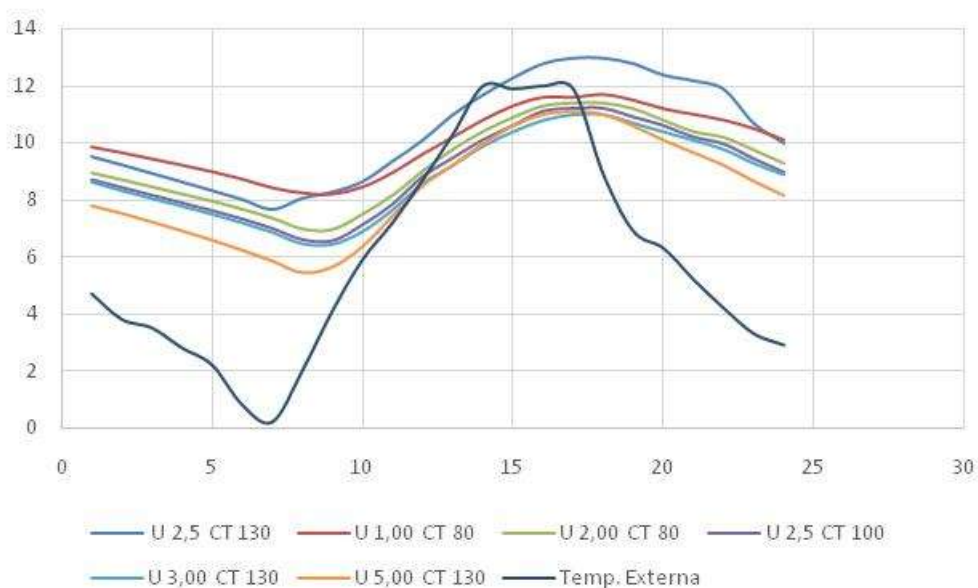


atinge 34,6°C (Figura 8), ou seja, de acordo com o critério normativo um ambiente com temperatura igual a 32,6°C estaria confortável para os usuários.



**Figura 8.** Dados históricos de temperatura máxima na cidade de Parnaíba, Piauí.  
Fonte: INMET (2024).

Outros autores também desenvolveram pesquisas que avaliam o conforto térmico dos usuários. Soares e Silva (2009) realizaram uma pesquisa na qual avaliaram as prescrições da norma quanto às características dos fechamentos opacos (paredes e coberturas) das zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 (apresentam grande variação de temperatura entre verão e inverno), com base em simulações computacionais. Os autores concluíram que, na análise para o dia típico, configurações que não seriam indicadas para essas regiões conseguem obter aprovação de desempenho segundo os critérios da norma. Nas análises computacionais feitas, algumas configurações simuladas registraram temperaturas internas abaixo de 6°C e mesmo assim foram aprovadas. Os resultados obtidos pelos autores ao avaliarem a zona bioclimática 1 são apresentados na Figura 9.

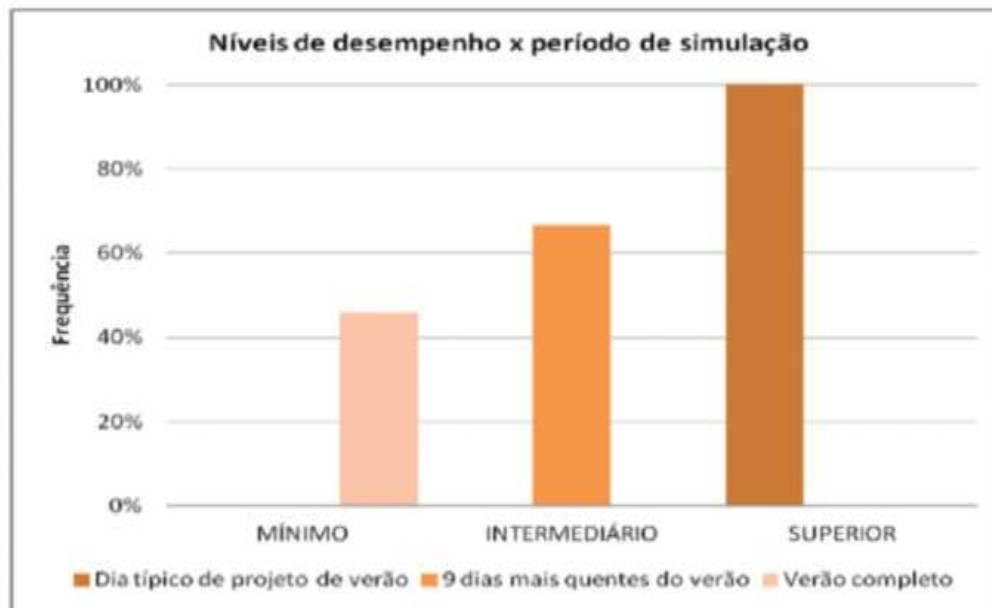


**Figura 9.** Análise do dia típico de inverno para a zona bioclimática 1.  
 Fonte: Soares e Silva (2009).

Santo, Alvarez e Nico-Rodrigues (2013) enfatizaram que a NBR 15575 (ABNT, 2013a) não levava em consideração o usuário como fator decisivo na classificação dos seus níveis de desempenho. As autoras realizaram simulações computacionais a partir de três enfoques específicos: a variação do período de simulação; a variação de ocupação e de ganhos térmicos internos; e, os critérios de avaliação de desempenho térmico; e obtiveram resultados que comprovam a vulnerabilidade da norma.

As simulações que tiveram como foco a variação do período de simulação, por exemplo, mostraram que a análise preconizada pela norma, referente ao dia típico de projeto de verão, não é consistente, pois o nível de desempenho oscilou quando da variação desse período. Na Figura 10 estão representados os resultados obtidos pelas autoras.

Nota-se que a edificação classificada com nível superior de desempenho para o dia típico de projeto de verão foi classificada em níveis inferiores de desempenho, quando analisou-se intervalos de tempo maiores (nove dias e verão completo), ao contrário do que se esperava, dado que as demais situações apresentaram temperaturas mais amenas, o que reforçou, mais uma vez, a necessidade de revisão dos parâmetros da norma.



**Figura 10.** Níveis de desempenho térmico obtidos a partir da variação do período de simulação.

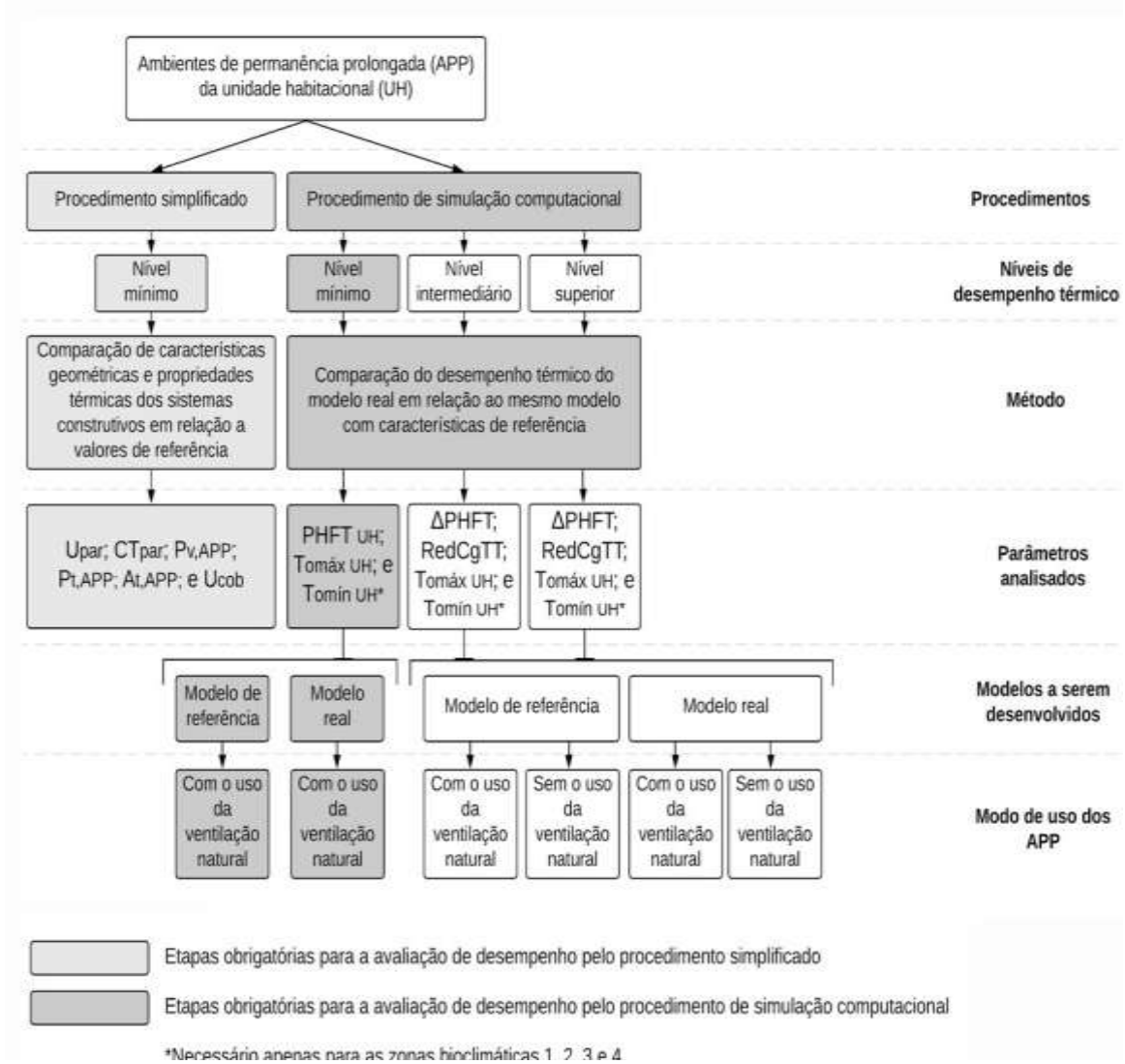
Fonte: Santo, Alvarez e Nico-Rodrigues (2013).

Diante das inconsistências entre os aspectos da normatização brasileira e a realidade do país, que possui grande variedade climática, houve uma atualização em 2024 da NBR 15575 (ABNT, 2024). Retificando os critérios a serem seguidos pelas unidades habitacionais, mantendo-se a delimitação dos níveis de desempenho em mínimo, intermediário e superior, sendo de caráter obrigatório o atendimento mínimo. Os procedimentos foram atualizados para:

a) Procedimento simplificado: avalia o desempenho térmico por meio da comparação de características geométricas dos ambientes de permanência prolongada (APP) e de propriedades térmicas dos sistemas construtivos em relação aos valores de referência destes parâmetros. Este procedimento estabelece o atendimento aos requisitos e critérios para sistemas de vedações verticais externas (SVVE) e de coberturas. No caso de não atendimento de algum dos critérios do procedimento simplificado toda a avaliação deverá ser realizada por procedimento de simulação computacional. Foi incluída, neste procedimento simplificado, a análise de elementos transparentes nas fachadas das edificações.

b) Procedimento de simulação computacional: avalia o desempenho térmico da unidade por meio do desenvolvimento dos modelos real e de referência, que devem ser comparados com os critérios estabelecidos na norma. É avaliado o desempenho térmico anual da envoltória da edificação em relação às características de referência.

Na Figura 11 estão resumidas as principais características dos procedimentos de avaliação de desempenho térmico, observados os procedimentos de avaliação de desempenho térmico estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2024).



**Figura 11.** Procedimento de avaliação de desempenho térmico.  
Fonte: ABNT (2024).

## 2.2 Desempenho lumínico

No sistema construtivo, a luz natural, direta ou indireta, é obtida por intermédio das esquadrias, geralmente janelas. Baker, Fanchiotti e Steemers (2013) retrataram a evolução histórica das edificações para adaptação dos ambientes às necessidades humanas, os autores enfatizaram como a revolução industrial aprimorou a utilização de vidros e modificou a arquitetura voltada para a passagem de ventilação e iluminação naturais. Abrahão *et al.* (2019) apresentaram uma discussão sobre a padronização de esquadrias e como sua utilização deve ser adequada a cada realidade bioclimática.

A luz natural foi, até a metade do século XX, a principal fonte luminosa das edificações (Danieleski, 2018). Entretanto, a partir da revolução elétrica, houve a integração de sistemas de iluminação artificial nos edifícios, que permite uma iluminação constante e facilmente quantificada, além de maior flexibilidade no desenho de espaços construídos, de forma que, com o avanço tecnológico, todas as edificações passaram a contar com iluminação suficiente para funcionamento ininterrupto, em caso de necessidade (Costa, 2013).

A iluminação, assim como o conforto térmico, está ligada à necessidade humana de conforto e bem-estar, visto que a maior parte da percepção humana ocorre de maneira visual. A subjetividade do conforto lumínico é demonstrada pelas sensações de angústia e tristeza em lugares pouco iluminados, enquanto que ambientes coloridos e bem iluminados provocam sensações de alegria e prazer (Brauwerts; Oliveira, 2015).

Nas edificações, as mudanças de iluminação alteram o entendimento e as experiências dos indivíduos no ambiente, envolvendo parâmetros simples, como percepção visual e complexos, como as variações hormonais no ritmo circadiano (Tamura, 2017; Tamiosso, 2015). Para Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o conforto visual é obtido a partir de um conjunto de critérios que permitem a realização de atividades visuais com precisão, acuidade, redução no risco de acidentes e menores esforços da visão. Destaque-se que a quantidade de iluminação natural dependerá da trajetória solar e dos entornos da construção, pois não haverá luz suficiente se há algum obstáculo, como uma grande edificação, ao lado do ambiente.

Os resultados do estudo de Carvalho (2014) comprovaram que a obtenção de uma iluminação natural com qualidade depende de atendimento de critérios relacionados ao mínimo de iluminância (200 lux), ofuscamento (nível de iluminância acima de 2000 lux) e uniformidade na distribuição da luz natural. Tais elementos podem ser controlados por meio de sombreamento das aberturas por algum tipo de sistema de proteção, como marquises e brises com diferentes disposições. A autora enfatizou que aberturas grandes e sombreadas parcialmente (com incidência de radiação solar direta na abertura) resultam em iluminâncias muito acima do critério de aceitação, enquanto que o aumento da eficiência do sombreamento em aberturas de tamanho médio reduzem ou eliminam o ofuscamento sem comprometer a profundidade do vão iluminado.

Já a tese defendida por Pereira (2017) acrescentou a necessidade de avaliação do desempenho da iluminação natural, considerando as questões de disponibilidade de luz natural, conforto visual e economia de energia, juntamente com a influência dos usuários, que podem interferir na admissão de luz através do acionamento dos dispositivos de proteção solar internos. A autora indicou que os critérios mínimos para aprovação dos ambientes devem considerar a disponibilidade de luz natural de, no mínimo, 300 lux durante 50,00% do período de ocupação para 55,00% da área do ambiente, e que o ofuscamento máximo permitido deve ser abaixo de 6,00% no período de ocupação.

Tamura (2017) afirmou que há pouca produção brasileira relacionada ao tema de iluminação e conforto, mencionando alguns trabalhos publicados evidenciando a necessidade de ampliação da inclusão do conforto lumínico nas análises e discussões das edificações.

Quando se trata de iluminação artificial, Baker, Fanchiotti e Steemers (2013) consideraram que a iluminação fluorescente, difundida na década de 1970, capaz de gerar até quatro vezes mais eficácia na iluminação, reduzindo assim os custos de funcionamento e o ganho de calor dos ambientes, mudou o direcionamento da arquitetura e os grandes panos envidraçados foram substituídos por materiais com melhor desempenho térmico, reduzindo o consumo energético das edificações.

Moura *et al.* (2009) defenderam que o aproveitamento da iluminação natural em correspondência com o sistema artificial demonstra significativo impacto na eficiência energética dos edifícios, mesmo considerando-se a sazonalidade própria da luz natural, implicando períodos com excesso de iluminação, a eficácia luminosa da luz natural supera a das fontes artificiais mais eficientes utilizadas em escritórios.

Além do aproveitamento da iluminação natural, indicado como um fator primordial na economia de energia das edificações, o posicionamento das luminárias, bem como, de suas especificações, pode contribuir para o conforto ambiental e a conservação de energia (Moraes; Claro, 2013).

Para Faria (2014), a evolução dos sistemas de iluminação e a adoção de luminárias com tecnologias mais sustentáveis, como o LED, pode contribuir na redução da poluição luminosa, devido ao foco direcional na iluminação pública, na diminuição do consumo energético em até 80,00% quando comparada a outros modelos, menor emissão de calor, o que, conseqüentemente, reduz a necessidade de resfriamento dos ambientes, além de contribuir para a redução dos gases do efeito estufa.

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2024) durante o dia, as dependências da edificação devem receber iluminação natural conveniente, oriunda diretamente do exterior ou indiretamente, através dos recintos adjacentes. Para o período noturno, o sistema de iluminação artificial deve proporcionar condições internas satisfatórias para ocupação dos recintos e circulação nos ambientes, com conforto e segurança.

De acordo com a ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013b), todas as salas de aula comuns são consideradas uma área de trabalho cuja iluminância deve ser mantida em 300 lux para escolas primárias e secundárias e 500 lux para aulas noturnas e educação de adultos.

### **2.3 Conforto no ambiente escolar**

De acordo com Graça *et al.* (2001) projetar o ambiente de ensino é uma tarefa complexa e necessita de discussão ampla e multidisciplinar para a sua realização, tendo como principal objetivo dar suporte aos objetivos educacionais de uma sociedade ou comunidade. O ensino acontece em situações variadas e com suporte e participação de múltiplos elementos. A atividade de ensinar é geralmente composta por dois grupos de sujeitos: os professores e os alunos. Na maioria das vezes, estes trabalham juntos num programa de área de conhecimento. O programa tem como objetivo modificar de alguma maneira o comportamento do aluno ou a sua experiência e percepção. Assim, esses sujeitos desenvolvem uma série de atividades em conjunto em grande parte no mesmo ambiente: a sala de aula.

Os valores mínimos de iluminação em cada ambiente escolar estão apresentados na Tabela 2, que contém a lista de ambientes, a iluminância mantida na superfície de referência para um ambiente ( $E_{LUX}$ ), tarefa ou atividade, e são estabelecidos os índices de ofuscamento unificado,  $UGR_L$  (Índice de Ofuscamento Global Limite), o índice de reprodução de cor mínimo ( $R_a$ ) e as observações com recomendações, exceções e aplicações especiais referentes à atividade típica realizada em cada um dos ambientes.

**Tabela 2.** Iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade de cor para ambientes escolares.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Em lux	$UGR_L$	$R_a$	Observações
Brinquedoteca	300	19	80	
Berçário	300	19	80	
Sala dos profissionais do berçário	300	19	80	
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Salas de aulas noturnas, classes de educação de adultos	500	19	80	
Sala de leitura	500	19	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.
Quadro negro	500	19	80	Prevenir reflexões especulares.
Mesa de demonstração	500	19	80	Em salas de leitura 750 lux.
Salas de arte e artesanato	500	19	80	
Salas de arte em escolas de arte	750	19	90	$T_{cp} > 5000$ K.
Salas de desenho técnico	750	16	80	
Salas de aplicação e laboratórios	500	19	80	
Oficina de ensino	500	19	80	
Salas de ensino de música	300	19	80	
Salas de ensino de computador	500	19	80	Para trabalho com VDT, ver 4.10.
Laboratório linguístico	300	19	80	
Salas de preparação e oficinas	500	22	80	
Salas comuns de estudantes e salas de reunião	200	22	80	
Salas dos professores	300	22	80	
Salas de esportes, ginásios e piscinas	300	22	80	Para as instalações de acesso público, ver CIE 58–1983 e CIE 62–1984.

Fonte: ABNT (2013b).

A qualidade do desempenho escolar é influenciada pelo edifício e suas instalações. A edificação deve relacionar a disposição dos ambientes, ainda na fase de concepção do projeto, a fim de alinhar as práticas pedagógicas com as necessidades dos usuários (Kowaltowski, 2011). Deste modo, os prédios e salas de aulas das escolas deveriam satisfazer os alunos, sobretudo quanto às condições térmicas (Feltrin, 2016).

Nogueira, Durante e Nogueira (2005) afirmaram que é importante que se dê relevância à incorporação dos condicionantes térmicos, lumínicos e acústicos, e sua relação com o consumo de energia da edificação, na busca pelo atendimento das condições adequadas de conforto ambiental no ambiente escolar, espaço este de trabalho, considerado também como um espaço de transformação social.

A partir das informações coletadas por Castro, Oliveira e Costa (2012), bem como, no referencial teórico e nos dados analisados, os autores identificaram que quanto maior a temperatura mais desfavorável se torna a aprendizagem dos alunos.

Corbella e Yannas (2003) observaram que uma pessoa está confortável em relação a um acontecimento ou fenômeno quando pode observá-lo ou senti-lo sem preocupação ou incômodo. Abrantes (2004) afirmou que variáveis como características das edificações, arranjos físicos inadequados, poeiras, calor, radiação e iluminação, dentre outras, podem interferir de maneira negativa ou positiva no comportamento de uma pessoa.

Wargocki e Wyon (2007) demonstraram que, para crianças do Ensino Fundamental, a sensação de maior conforto térmico está diretamente relacionada à redução de erros e aumento de desempenho para a realização de atividades das disciplinas básicas de leitura e

matemática. Destaque-se que, no ambiente escolar, há uma gama de usuários dos mais diversos tipos e com grande variabilidade de sensações térmicas, provenientes dos fatores pessoais, como relatado por De Vecchi (2011).

No Brasil, Baldini e Tavares (1985) já buscavam elucidar a relação entre o conforto térmico em salas de aula e sua influência no aproveitamento escolar. Os autores apontavam que as condições oferecidas pelas salas de aula, na época da pesquisa, eram inadequadas, tornando, muitas vezes, ambientes desconfortáveis, com calor excessivo mesmo durante o período de inverno (a pesquisa relatava condições ambientais em regiões com clima quente a maior parte do ano).

A partir da análise realizada, Viana e Amorim (2012) verificaram situações de conforto térmico, desconforto térmico para o frio e desconforto térmico para o calor, dependendo do horário de avaliação. As autoras pontuaram que as edificações devem ser construídas com materiais apropriados para o isolamento, seja para o ganho ou perda de calor e, também, devem levar em consideração a exposição de vertentes dos terrenos, em virtude da orientação geográfica dos prédios, para garantir luminosidade e aporte de calor quando necessário, principalmente no período da manhã.

Santos (2018) abordou a temperatura das salas de aula em regiões semiáridas do Brasil como sendo um dos fatores de maior destaque quando se trata de desconforto ambiental. Segundo a autora, o aumento de equipamentos de ar condicionado ou ventiladores poderia reduzir as dificuldades de concentração e os possíveis impactos fisiológicos como dor de cabeça, cansaço e fadiga oriundos da ventilação inadequada e das altas temperaturas no ambiente escolar.

Em estudos realizados com crianças, Souza (2020) enfatizou que no estado da Paraíba, os modelos de conforto PMV e Adaptativo falharam na predileção dos usuários. A autora, ao comparar escolas com ventilação natural e climatizadas ponderou que os usuários associam os ambientes climatizados a conforto e que, durante os períodos mais quentes, no ambiente sem climatização, há predominância na sensação de desconforto pelo calor. Ademais, mesmo em ambientes climatizados, o índice de satisfação dos usuários foi de 71,84%, sugerindo que o desempenho térmico não pode ser considerado satisfatório.

Tavares *et al.* (2021) afirmaram que nas salas climatizadas onde a temperatura do ar condicionado está entre 21°C e 23°C, as respostas quanto a preferência e sensação térmica sugerem desconforto para o frio, devendo-se aumentar a temperatura interna do ambiente, reduzindo, inclusive, o consumo de energia elétrica decorrente do funcionamento dos equipamentos de climatização.

Reis (2022) apontou em estudo de caso realizado no estado do Tocantins, que pelo desconforto dos estudantes durante o período de calor, seria necessária a utilização de equipamentos de ar condicionado nas salas de aula, e o diagnóstico realizado comprovou que existiam dificuldades relacionadas diretamente ao estresse térmico e fadiga que os alunos sentiam, o que os prejudicam em atividades do cotidiano.

Quando se parte para estados com temperaturas mais amenas, como o caso do Rio Grande do Sul, observa-se a pesquisa de Gemelli (2009), a qual identificou que no período do verão havia satisfação dos usuários, enquanto que, nas épocas mais frias do ano, as salas de aula estudadas apontavam insatisfação dos usuários devido ao desconforto em relação ao frio.

Na avaliação de Peglow *et al.* (2016), também na região Sul do país, com relação ao nível de conforto dos ambientes de permanência prolongada na época mais quente do ano, havia indicação de um baixo nível de conforto térmico e que o maior desconforto seria decorrente do calor. Desta forma, os autores sugeriram medidas de otimização do desempenho da edificação, e evidenciaram a importância do projeto padrão estar adaptado ao contexto climático local.



Na mesma linha de avaliação de projetos padrão, Gouveia (2021) sugeriu um novo olhar para a prática do projeto escolar padronizado, visto que o mesmo afeta o desempenho do edifício, elevando os níveis de desconforto oferecidos aos usuários; sem a climatização adequada, alunos, professores e demais usuários se submetem a ambientes desconfortáveis termicamente diariamente. O ponto fundamental sugerido pela autora para a obtenção de maiores índices de conforto, é que as particularidades regionais do local de implantação da escola, sejam levadas em consideração durante a fase de projeto, assim como a finalidade da edificação.

Houve uma mobilização nacional dos técnicos de 32 Tribunais de Contas brasileiros, que realizaram em 2023 a Operação Educação - Fiscalização Ordenada Nacional (2023), com base nos dados do Censo Escolar de 2022 (Brasil, 2023), com um levantamento inédito demonstrando que 57,00% das salas de aula visitadas em todos os estados, ainda são inadequadas, de forma que os principais problemas encontrados nas instituições foram janelas, ventiladores e móveis quebrados, bem como, iluminação e ventilação insuficientes.

Com relação ao conforto térmico, o último Censo Escolar publicado com dados de 2022 (Brasil, 2023), apontou que 70,00% das escolas públicas do país não possuem climatização. É definido como salas de aula climatizadas pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), aquelas que possuem equipamentos (ar condicionado, aquecedor ou climatizador) em funcionamento para manter a temperatura da sala agradável (Brasil, 2022).

Franceschini, Liguori e Neves (2022) apontaram que a pandemia da *Corona Virus Disease 19* (Covid-19) despertou uma discussão sobre as condições da qualidade de ar interior para o funcionamento de escolas. Considerando que as principais medidas para evitar a possibilidade de transmissão do vírus foram a abertura das janelas e das portas, bem como, a redução dos números de usuários, os autores concluíram que, além da redução de concentração de CO<sub>2</sub> e da probabilidade de infecção, houve uma melhora no conforto térmico da sala de aula analisada.

O Relatório *Learning to Realize Education's Promise*, publicado pelo Banco Mundial, em 2018, enfatizou a importância das escolas na qualidade da Educação, e apontou a necessidade de aplicar eficientemente os recursos públicos, considerando-se uma relação de causalidade entre infraestrutura escolar, investimentos em Educação e desempenho educacional (Vasconcelos *et al.*, 2021).

Menezes (2006) afirmou que o conforto ambiental está relacionado às condições de habitabilidade oferecidas por determinado ambiente. A relevância do conforto ambiental em relação ao bom desempenho das atividades no espaço laboral depende, em primeiro lugar, do projeto do edifício e de suas adequações às atividades dos usuários (Kowaltowski, 2011). O convívio diário dos usuários em instituições de ensino, principalmente alunos e professores, demanda a qualidade dos espaços didáticos para alcançar-se o bom desempenho escolar.

Vários estudos, como os citados anteriormente, já comprovaram a necessidade de adaptação dos ambientes escolares a fim de garantir conforto aos usuários, não se limitando aos valores normativos, mas buscando uma metodologia eficaz para predizer quais elementos deverão ser incorporados à edificação, a fim de garantir o conforto dos usuários.

No ambiente escolar, Tamiosso (2015) avaliou cursos superiores, evidenciando a importância da verificação da iluminação natural em ambientes de Instituições de Ensino, visto que uma boa iluminação natural está diretamente relacionada com o conforto visual, integridade física e aprendizagem dos usuários.

O estudo do conforto lumínico, com foco no usuário em salas de aula de escolas de Ensino Fundamental, foi realizado por Quirino (2018), cuja análise demonstrou que na maioria das salas a iluminação era insuficiente, não atingindo o mínimo normativo. Este autor também observou que existiam salas com iluminação excessiva e não distribuída

adequadamente. Porém, o ponto de maior destaque citado pela autora, foi com relação às falhas de manutenção das lâmpadas, gerando áreas com iluminação inadequada e fora dos padrões de conforto lumínico.

Silva e Laranja (2022) apontaram o uso de prateleiras de luz com o objetivo de melhorar o desempenho luminoso nas salas de aula. O desafio encontrado balizava-se na distribuição desigual da luminosidade nos ambientes internos, gerando ofuscamento por iluminação excessiva das salas de aula. Por meio de simulações computacionais verificou-se que as utilizações de prateleiras de luz eram suficientes para reduzir o problema, desde que o dimensionamento das mesmas fosse realizado para cada situação de orientação solar específica.

## **2.4 Desempenho energético das edificações**

No Brasil, o Plano Nacional de Eficiência Energética, Ministério das Minas e Energias (MME, 2011), teve sua última atualização em outubro de 2011, o documento informou que, historicamente, a manutenção do conforto no ambiente construído era obtida através da prática da arquitetura regionalista, onde os projetos eram adequados ao clima e paisagem locais e necessitavam de poucos mecanismos artificiais para a garantia do conforto ambiental. Em contrapartida, com a criação de tecnologias aplicáveis a qualquer parte do mundo, houve a criação de um novo estilo arquitetônico globalizado, sem que as características climáticas locais fossem consideradas, subordinando as edificações à necessidade de utilização de mecanismos artificiais, oriundos do desenvolvimento tecnológico advindo da revolução industrial.

De acordo com Tirone (2010), o setor dos edifícios (residencial e serviços), durante a sua exploração e utilização ao longo dos anos, contribuiu significativamente para o problema das alterações climáticas e, portanto, deve ser elemento central para uma solução. A fase de utilização dos edifícios é responsável por 85,00% dos impactos ambientais associados a este setor, sendo merecedora de uma maior atenção.

O potencial de conservação de energia deste setor é expressivo. A economia pode chegar a 30,00% para edificações já existentes, se estas passarem por uma intervenção do tipo retrofit (reforma e/ou reabilitação). Nas novas edificações, ao se utilizar tecnologias energeticamente eficientes desde a concepção inicial do projeto, a economia pode superar 50,00% do consumo, comparada com uma edificação concebida sem uso dessas tecnologias (Nanotech do Brasil, 2014).

A energia elétrica consumida no Brasil em 2012, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), foi de cerca de 498 bilhões de kWh. A economia teórica em edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, poderia chegar aos 67 bilhões de kWh caso fosse adotada uma política agressiva para a questão do déficit habitacional brasileiro. Esta energia economizada seria suficiente para suprir anualmente cerca de 3,4 milhões de residências.

Segundo Lee e Tiong (2007), por ser a primeira linha de defesa das construções contra as agressões do ambiente externo, as fachadas apresentam um papel muito importante na determinação das condições térmicas internas, no consumo de energia necessário aos sistemas mecânicos e, conseqüentemente, na deterioração ambiental resultante dos edifícios.

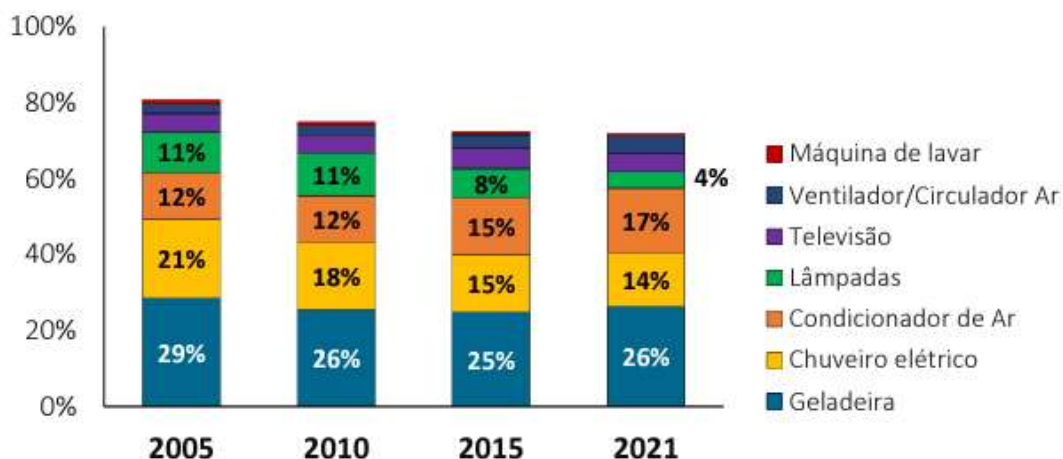
De acordo com o Atlas da Eficiência Energética do Brasil, emitido pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2023), a evolução histórica brasileira com a políticas de eficiência energética, iniciou-se em 1981, com a portaria MIC/GM 46 (Programa CONSERVE indústria e substituição de energéticos importados). A linha do tempo completa pode ser verificada na Tabela 3.

**Tabela 3.** Linha do tempo das políticas de eficiência energética.

Ano	Evento
1981	Portaria MIC/GM46 1982 Programa CONSERVE Indústria e substituição de energéticos importados
1982	Decreto 87.079 PME: Programa de Mobilização Energética
1984	Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) INMETRO
1985	Portaria Interministerial nº 1.877 - Institui o PROCEL
1990	Decreto 99.656 CICE - Comissão Interna de Conservação de Energia (revogado pelo Decreto 10473/2020)
1991	Decreto Federal 18/07/1991 – Institui o CONPET
1993	Decreto Federal 08/12/1993 Selo de Eficiência
1997	Lei 9.478 (Conselho Nacional de Política Energética – CNPE e Agência Nacional do Petróleo – ANP)
2000	Lei 9.991 PEE ANEEL: Investimentos em P&D e Eficiência
2001	Lei 10.295 Lei da Eficiência Energética (Índices mínimos - <i>Minimum Energy Performance Standards</i> [MEPS]) e Decreto 4.059 - republicado pelo Decreto 9.864/2019 CGIEE/GT Edificações
2002	Procel Indústria
2003	Procel EDIFICA e Procel SANEAR
2004	Lei 10.847, Decreto 5.184 - criação da EPE
2005	Criação do Selo Conpet
2007	Publicação do Primeiro Plano Nacional de Energia – PNE 2030
2009	Etiquetagem de Veículos e Edificações Comerciais Decreto 6.996 (revogado), Decreto 11158/2022 (vigente), Redução de IPI para produtos com índice de eficiência energética A e B
2010	Etiquetagem Residencial
2011	Portaria MME 594 PNEF: Indicação de metas para Eficiência
2014	IN 02 MPOG - Requisitos para edificações públicas federais e compras Selo Procel Edificações Não Residenciais
2016	ProEESA: Projeto de EE em Sistemas de Abastecimento de Água Lei 13.280 Realocação de recursos do PEE para o Procel Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC)
2017	Lei 13.576 Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) Programa Aliança
2018	Decreto 9.557 - Programa Rota 2030
2019	Programa Brasil Mais Produtivo - Eficiência Energética (B+P EE)
2020	Selo Procel Edificações Residenciais RedEE Indústria e RedEE Edifícios Públicos
2021	Decreto 10.791 Criação da ENBPAr PotencializEE
2022	FG Energia - Fundo Garantidor para Crédito a EE (BNDES e recurso do PROCEL)
2023	Portal da Eficiência Energética (MME)

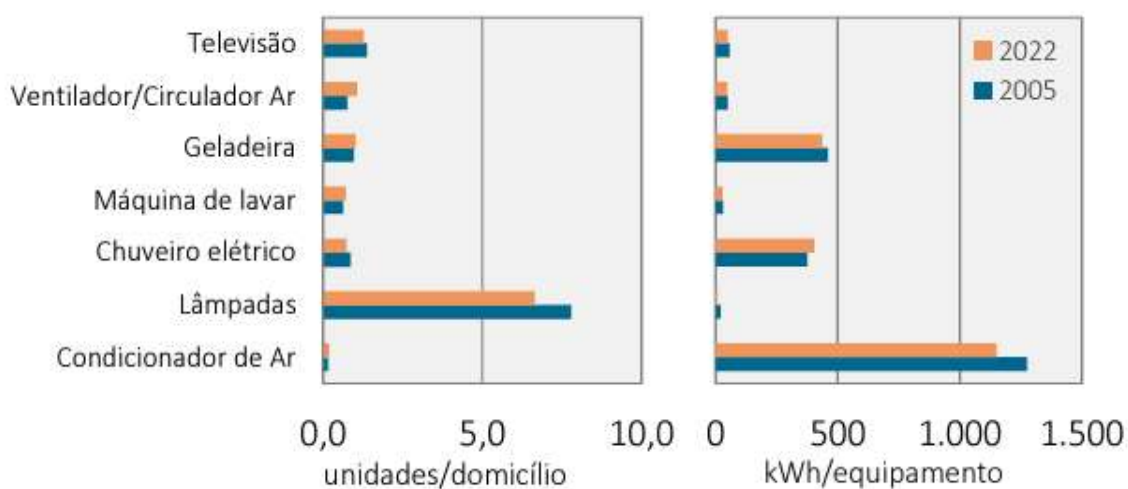
Fonte: Adaptado de Brasil (2023).

O Brasil ainda se destaca mundialmente por ser um país com alto percentual de fontes renováveis de energia. A eletricidade é a principal fonte de energia utilizada nas edificações (MME, 2023), enquanto que os equipamentos como geladeira, chuveiro elétrico e condicionadores de ar, representam o maior consumo histórico nas residências, conforme dados apresentados na Figura 12.



**Figura 12.** Equipamentos no consumo residencial de energia elétrica.  
Fonte: Brasil (2023).

Em contrapartida ao quantitativo de consumo residencial por tipo de equipamento, o relatório anual com o consumo histórico emitido pelo MME indicou que os condicionadores de ar são os itens de posse mais baixa (0,18 equipamentos por domicílio), mas que consomem mais energia, sendo o consumo inferior, em 2021, apenas ao dos refrigeradores, que é o uso final com maior consumo por domicílio no país, considerando que praticamente todas as residências possuem geladeira e as mesmas ficam em funcionamento 24 horas por dia. Na Figura 13 está representado a posse e o consumo médio anual por equipamento da população brasileira em 2005 e 2022.



**Figura 13.** Posse e consumo médio anual por equipamento.  
Fonte: Brasil (2023).

De acordo com Porto *et al.* (2020), a avaliação dos projetos urbanos deve incorporar estratégias que tenham o objetivo de promover, entre outras coisas, a eficiência energética, mobilidade, acessibilidade, saúde e conforto. Para que este objetivo seja atingido, as edificações devem ser previstas de forma que consigam atender as necessidades da sociedade em transformação, alinhando, ao mesmo tempo, as rápidas transformações tecnológicas e das mudanças climáticas. Neste cenário, os autores apontaram o desafio da multidisciplinaridade, a fim de trabalhar de maneira sinérgica os profissionais envolvidos na produção das cidades com a sociedade, resultando em cidades (ou edificações) mais resilientes, sustentáveis, humanas, criativas e inteligentes.

Sobre o uso racional de energia elétrica em escolas, Silva (2015) destacou que a eficiência energética caminha para a padronização de indicadores e a criação de níveis aceitáveis de eficiência energética para edificações públicas. Porém, atingi-los não é o bastante, em virtude do desafio ambiental que os sistemas têm a caminho da sustentabilidade. As edificações escolares visitadas pelo autor, em sua maioria, possuíam equipamentos elétricos que necessitavam de substituição e/ou recuperação.

Diversos estados brasileiros apresentaram projetos de eficiência energética em escolas, nas últimas décadas, com meta de reduzir o consumo anual de energia nos prédios, é o caso da Fundação para o Desenvolvimento da Educação do Estado de São Paulo (FDE) e dos programas das companhias de distribuição de energia elétrica nos estados de Goiás e Paraná.

Diante do exposto e da atual preocupação com as questões que envolvem o meio ambiente, torna-se necessário o desenvolvimento de mecanismos e tecnologias capazes de reduzir o consumo energético das edificações sem prejuízos de conforto para os usuários.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia empregada na pesquisa a fim de determinar os níveis de conforto térmico obtidos em salas de aula do IFGOIANO, *Campus* Hidrolândia, utilizando-se um projeto de salas de aula elaborado pela equipe técnica da instituição e que foi construído na cidade de Hidrolândia.

Foram realizadas as análises simplificadas preconizadas na NBR 15575 (ABNT, 2024), a fim de compreender se há o atendimento ao mínimo exigido pelo método simplificado e verificar se o atendimento a estas condições é suficiente para o mínimo de conforto térmico interno, comparando com os resultados esperados na avaliação computacional, prevista em norma. Ressalta-se que não foram realizadas avaliações computacionais, apenas verificados os atuais parâmetros normativos, comparando-os com a versão anterior da norma.

O estado de Goiás está incluído nas zonas bioclimáticas 4, 6, e 7; enquanto que, a cidade de Hidrolândia pertencente à região metropolitana de Goiânia, e está no zoneamento climático Z6 (Figura 14), conforme definições da NBR 15220-3 (ABNT, 2005c).



**Figura 14.** Zona Bioclimática 6.

Fonte: ABNT (2005c).

#### 3.1 História do *Campus* Hidrolândia

O *Campus* Hidrolândia está localizado na Estrada São Braz, Km 4, zona rural do município de Hidrolândia e a uma distância de, aproximadamente, 45 km da região central de Goiânia-GO, seguindo para a região sul do estado. Criado em 2013 com a doação de uma área rural de 47,25 hectares (ha), por meio da Lei Municipal nº 442/2013 (Hidrolândia, 2023). Por se tratar de uma unidade em zona rural o *Campus* é contemplado com grande vegetação

natural do cerrado, cercado por diversas árvores que propiciam um clima mais ameno no local. A imagem aérea do *Campus Hidrolândia* pode ser verificada na Figura 15.

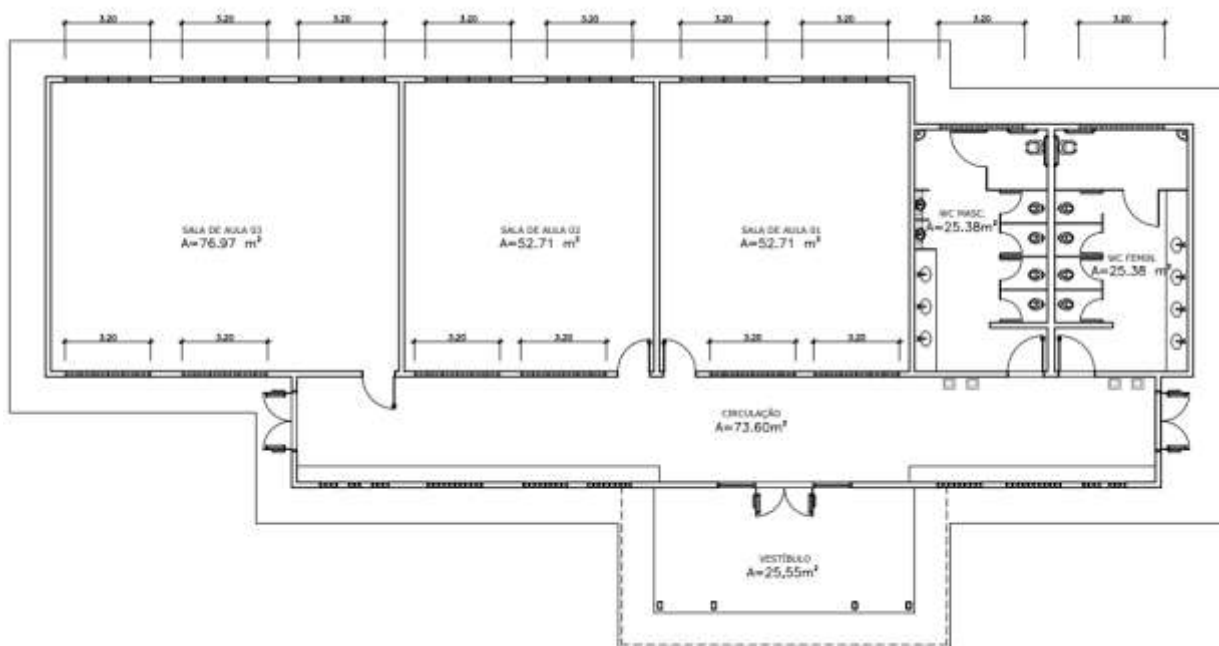


**Figura 1.** Vista aérea do *Campus Hidrolândia* (em vermelho a edificação em estudo)  
Fonte: Google Maps (2024).

A criação do *Campus Hidrolândia* visou atender ao plano de expansão da Rede Federal, atualmente com um quadro de 20 docentes, 13 técnicos administrativos e um total de oito colaboradores terceirizados. O *Campus* atende cerca de 420 alunos com os seguintes cursos: Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio; Técnico em Manutenção e Suporte em Informática Integrado ao Ensino Médio; Técnico em Desenvolvimento de Sistemas Integrado ao Ensino Médio; assim como, o curso superior de Bacharelado em Agronomia e a Pós-Graduação *Lato Sensu* em Ensino de Humanidades; na modalidade a distância, por sua vez, a Licenciatura em Pedagogia e o Programa Mulheres Mil. A quantidade de cursos ofertados se mostra bem diversificada, abrangendo diferentes áreas temáticas, ofertando desde cursos técnicos até tecnólogos, licenciaturas e especializações, demonstrando, assim, oferecer uma educação que atenda de forma ampla o município e regiões circunvizinhas.

Com a abertura de novos cursos, como o curso de Agronomia, foi realizado o projeto técnico para construção de um bloco novo de salas de aulas, o qual foi elaborado pela equipe técnica de engenharia do IF Goiano e que foi utilizado nesta pesquisa.

Para realização dos estudos foi utilizado o projeto de bloco de salas de aula (grifado em vermelho na Figura 15), construído à direita do *Campus*. A edificação é composta por três salas de aula, sendo duas com capacidade para 50 alunos e uma com capacidade para 80 alunos, corredor e sanitário masculino e feminino. A planta baixa da edificação pode ser verificada na Figura 16.



**Figura 16.** Planta baixa, pavilhão de salas de aula.  
 Fonte: Autoria da pesquisa (2024).

A fachada da edificação ficou voltada para o oeste, de forma que as janelas das salas de aula recebem incidência solar nordeste, ou seja, no período matutino que, geralmente, tem temperaturas mais amenas. As salas foram planejadas de forma a atender o preconizado pela NBR 15575 (ABNT, 2013a) e NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) que indicam que as edificações da Z6 devem possuir aberturas para ventilação médias com sombreamento, as paredes devem ser do tipo pesada e a cobertura leve isolada. Além disso, a indicação da norma de estratégias de condicionamento térmico passivo inclui o resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa) para o verão, enquanto que, para o inverno as vedações internas sejam pesadas a fim de garantir a inércia térmica.

Os blocos cerâmicos utilizados possuem dimensões nominais de 9 cm x 14 cm x 19 cm, e a espessura das juntas de argamassa entre os blocos é de, aproximadamente, 1 cm. Após o levantamento da alvenaria foi aplicado reboco em ambas as faces, utilizando argamassa de cimento, cal e areia, e, como camada de acabamento, utilizou-se a pintura de cor clara, erva doce. Todas essas informações são relevantes para a caracterização da edificação, conforme determinado na NBR 15575 (ABNT, 2024)

O procedimento simplificado avalia os sistemas de vedações verticais externas (SVVE) e coberturas.

### 3.2 Avaliação dos Sistemas de Vedações Verticais Externas (SVVE)

Os SVVE foram avaliados quanto aos valores de transmitância térmica ( $U_{par}$ ), capacidade térmica ( $CT_{par}$ ), percentual de abertura para ventilação ( $P_{V,APP}$ ), percentual de elementos transparentes ( $P_{t,APP}$ ) e área de superfície dos elementos transparentes ( $A_{t,APP}$ ), em relação aos critérios que indicam valores de referência para estes parâmetros.



### a) Critério - Transmitância Térmica de Paredes ( $U_{par}$ )

As paredes externas da edificação foram analisadas para verificação do valor de transmitância térmica ( $U_{par}$ ) para fins de atendimento aos valores de referência, conforme Tabela 4.

**Tabela 4.** Transmitância térmica de referência para paredes externas.

Transmitância térmica de paredes ( $U_{par}$ ) W/(m <sup>2</sup> .K)	
Zonas bioclimáticas 3 a 8	
$\alpha_{par} \leq 0,6$	$\alpha_{par} > 0,6$
$U_{par} \leq 3,7$	$U_{par} \leq 2,5$

Fonte: ABNT (2021).

Os limites de absorvância à radiação solar da superfície externa da parede ( $\alpha_{par}$ ) estabelecem a transmitância térmica de referência que deve ser considerada nas paredes externas. A NBR 15575 (ABNT, 2021) recomendou a consideração da degradação do desempenho desta superfície.

As edificações que adotarem valores de transmitância térmica de paredes externas superiores aos limites da Tabela 4 devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional. Esta não é a situação da presente pesquisa, que se limita a avaliação simplificada da edificação, sendo assim, a transmitância térmica é dada pela equação:

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

Onde:

$U$  é a transmitância térmica, expressa em W/(m<sup>2</sup>.K);

$R_{tot}$  é a resistência térmica total, expressa em (m<sup>2</sup>.K)/W.

A Resistência Térmica Total ( $R_{tot}$ ) é obtida a partir do somatório das resistências térmicas individuais ( $R_{IND}$ ) de cada um dos elementos que compõe o SVVE. Para o cálculo da resistência térmica da parede externa foi considerado o bloco cerâmico, com 14 cm de espessura, o revestimento de argamassa de cimento, cal e areia, com 2,5 cm de espessura e a pintura externa na cor erva doce (cor clara). A fórmula utilizada nesta pesquisa é apresentada na equação a seguir:

$$R_{tot} = R_{AL} + R_{RA}$$

Onde:

$R_{tot}$  é a resistência térmica total (m<sup>2</sup>.K/W);

$R_{AL}$  é a resistência térmica da Alvenaria (m<sup>2</sup>.K/W);

$R_{RA}$  é a resistência térmica do Revestimento de Argamassa (m<sup>2</sup>.K/W).

A Resistência Térmica de cada parte termicamente homogênea ou não homogênea dos elementos da edificação, é calculada de acordo com a equação:

$$R_{EL} = \frac{d}{\lambda}$$

Onde:

$R_{EL}$  é a resistência térmica de cada elemento ( $m^2.K/W$ );

$d$  é a espessura da camada de material do componente, expressa em metro (m);

$\lambda$  é a condutividade térmica de projeto para o material, expressa em Watt por metro Kelvin [ $W/(m.K)$ ].

Quando a camada é heterogênea, como no caso do bloco cerâmico, a resistência térmica total do elemento é calculada pela média ponderada dos constituintes das camadas, conforme equação a seguir:

$$R_{TOT,EL} = \frac{n_a \times A_{na} + n_b \times A_{nb} + (...) + n_n \times A_{nn}}{\frac{n_a \times A_{na}}{R_a} + \frac{n_b \times A_{nb}}{R_b} + (...) + \frac{n_n \times A_{nn}}{R_n}}$$

Onde:

$R_{TOT,EL}$  é a resistência térmica total do elemento ( $m^2.K/W$ );

$n$  é a quantidade de elementos idênticos em área e resistência térmica;

$A$  é a área de cada camada constituinte ( $m^2$ );

$R$  é a resistência térmica de cada camada constituinte ( $m^2.K/W$ ).

### b) Critério - Capacidade Térmica ( $CT_{par}$ )

As paredes externas dos APP devem possuir valor de capacidade térmica igual ou superior ao valor de referência, de acordo com a Tabela 5.

**Tabela 5.** Capacidade térmica de referência para paredes externas.

Capacidade térmica de paredes ( $CT_{par}$ ) kJ/( $m^2.K$ )
Zonas bioclimáticas 1 a 7
$CT_{par}^3$ 130

Fonte: ABNT (2021).

### c) Critério - Percentual de Abertura para Ventilação ( $P_{V,APP}$ )

O percentual de abertura para ventilação deve ser calculado de acordo com a equação:

$$P_{V,APP} = 100 \times \frac{A_{V,APP}}{A_{P,APP}}$$

Onde:

$P_{V,APP}$  é o percentual de abertura para ventilação do APP, expresso em porcentagem (%);

$A_{V,APP}$  é a área efetiva de abertura para ventilação do APP, expressa em metros quadrados ( $m^2$ );

$A_{P,APP}$  é a área de piso do APP, expressa em metros quadrados ( $m^2$ ).

A área de piso do APP ( $A_{p,APP}$ ) deve considerar todo o ambiente delimitado por este APP. Em espaços internos integrados, sem a presença de divisões por paredes ou portas, deve-se considerar a soma das áreas de piso desses espaços, resultando na área de piso do ambiente. Podem ser considerados espaços integrados: salas e cozinhas conjugadas, salas com corredor ou hall de entrada, ou condições similares, desde que compreendidas por um único ambiente.

Para o cálculo da área efetiva de abertura para ventilação do APP, devem ser consideradas as aberturas que permitam a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, de vidros e de qualquer outro obstáculo.

No cálculo da área efetiva de abertura para ventilação do APP não podem ser consideradas as áreas de portas internas.

Quando o APP possuir portas balcão ou semelhantes, com elementos transparentes e fixados na parede externa, toda a área de abertura resultante do deslocamento da folha móvel da porta deve ser considerada.

#### d) Critério - Elementos Transparentes

O cálculo dos elementos transparentes foi inserido na versão atualizada da norma e é calculado de acordo com a equação:

$$P_{t,APP} = 100 \times \frac{A_{t,APP}}{A_{p,APP}}$$

Onde:

$P_{t,APP}$  é o percentual de elementos transparentes, expresso em porcentagem (%);

$A_{t,APP}$  é a área de superfície dos elementos transparentes, expresso em metros quadrados;

$A_{p,APP}$  é a área de piso do APP, expresso em metros quadrados.

Para os APP com duas ou mais aberturas com elementos transparentes, o valor de  $A_{t,APP}$  é o resultado do somatório das áreas de superfície dos elementos transparentes de todas as aberturas.

As aberturas de cada APP devem atender ao percentual de elementos transparentes ou à área de superfície dos elementos transparentes, conforme os limites de área de piso descritos na Tabela 6.

**Tabela 6.** Proporção de referência dos elementos transparentes<sup>1</sup>.

Percentual de elementos transparentes ( $P_{t,APP}$ ) (%)	Área de superfície dos elementos transparentes ( $A_{t,APP}$ ) (m <sup>2</sup> )
$A_{p,APP} \leq 20,0 \text{ m}^2$	$A_{p,APP} > 20,0 \text{ m}^2$
$P_{t,APP} \leq 20\%$	$A_{t,APP} \leq 4,0 \text{ m}^2$

<sup>1</sup> Unidades habitacionais com APP que adotarem em valores de  $P_{t,APP}$  ou  $A_{t,APP}$  que ultrapassem os limites desta tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, caso não considerem vidros de alto desempenho ou elementos de sombreamento horizontal.

Fonte: ABNT (2021).

De acordo com a Norma, nas cidades localizadas nas zonas bioclimáticas 3 a 8, de latitudes inferiores a  $-15^\circ$ , as aberturas orientadas para o sul dos APP podem possuir percentual de elementos transparentes de até 30%, desde que o APP possua apenas esta abertura com elementos transparentes, limitando-se a área a  $6,0 \text{ m}^2$ .

No caso em estudo, a cidade de Hidrolândia se localiza no intervalo de latitude entre  $-15^\circ$  e  $-25^\circ$  ( $-16,97^\circ$  aproximadamente), sendo assim, o percentual de elementos transparentes pode ser avaliado a partir do fator solar máximo permitido, ou por meio do nível mínimo da etiqueta de desempenho da esquadria, estabelecido pela NBR 10821 (ABNT, 2017). Avaliações a partir do nível da etiqueta não implicam no atendimento do fator solar tabelado, assim como a análise do fator solar não exige a especificação de esquadria etiquetada, os valores utilizados como parâmetros estão compilados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Percentual de elementos transparentes em função do fator solar ou do nível de etiqueta da esquadria.

Percentual de elementos transparentes ( $P_{t,APP}$ )(%)	Fator solar (FS) máximo	Nível da etiqueta de desempenho da esquadria		
		Latitudes $> -15^\circ$	$-15^\circ \geq$ Latitudes $\geq -25^\circ$	Latitudes $< -25^\circ$
$\leq 20$	Sem limites	Sem limites	Sem limites	Sem limites
21	0,64	D	D	E
22	0,61	D	D	E
23	0,58	D	D	E
24	0,55	D	D	E
25	0,52	C	D	E
26	0,50	C	D	E
27	0,47	C	C	E
28	0,45	C	C	E
29	0,40	B	C	D
30	0,38	B	B	D
31	0,36	B	B	D
32	0,34	B	B	D
33	0,32	A	A	D
34	0,30	A	A	D
35	0,28	A	A	C
36	0,26	A	A	C
37	0,24	A	A	C
38	0,22	A	A	C
39	0,20	A	A	C
$\geq 40$	Avaliação pelo procedimento de simulação computacional			

Fonte: ABNT (2021).

### 3.3 Avaliação da cobertura

Os sistemas de cobertura são avaliados de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021), devendo atender ao desempenho térmico mínimo, cujo parâmetro é a transmitância térmica de coberturas, que deve ser igual ou inferior ao limite apresentado na Tabela 8.

**Tabela 8.** Transmitância térmica de coberturas.

Transmitância térmica de coberturas ( $U_{cob}$ ) W/(m <sup>2</sup> .K)				
Zonas bioclimáticas 1 e 2	Zonas bioclimáticas 3 a 6		Zonas bioclimáticas 7 e 8	
$U_{cob} \leq 2,30$	$\alpha_{cob}^1 \leq 0,6$ $U_{cob} \leq 2,3$	$\alpha_{cob} > 0,6$ $U_{cob} \leq 1,5$	$\alpha_{cob} \leq 0,4$ $U_{cob} \leq 2,3.FT$	$\alpha_{cob} > 0,4$ $U_{cob} \leq 1,5.FT$

<sup>1</sup> $\alpha_{cob}$  é absorptância à radiação solar da superfície externa da cobertura.  
Fonte: ABNT (2021).

A transmitância térmica é obtida a partir da equação:

$$U_{cob} = \frac{1}{R_{tot}}$$

Onde:

$U_{cob}$  é a transmitância térmica da cobertura, expressa em W/(m<sup>2</sup>.K);

$R_{tot}$  é a resistência térmica total, expressa em (m<sup>2</sup>.K)/W.

Considerando que a face externa da cobertura não é isolada, recebendo incidência solar direta, a resistência térmica poderá ser avaliada de maneira simplificada, utilizando-se a equação:

$$R_{EL} = \frac{d}{\lambda}$$

Onde:

$R_{EL}$  é a resistência térmica de cada elemento (m<sup>2</sup>.K/W);

$d$  é a espessura da camada de material do componente, expressa em metro (m);

$\lambda$  é a condutividade térmica de projeto para o material, expressa em Watt por metro Kelvin [W/(m.K)].

E a resistência total é obtida pelo somatório da Resistência de cada um dos elementos constituintes da cobertura.

### 3.4 Avaliação do desempenho lumínico

Para o cálculo de conforto lumínico é necessário considerar o mínimo de iluminância média de 500 lux por m<sup>2</sup>, conforme especificado na NBR ISO/CIE 8995-1 (dados compilados na Tabela 2).

O fluxo luminoso é calculado pelo produto entre a iluminância média e a área do ambiente, conforme equação:

$$\phi = \overline{E_M} \times A_p$$

Onde:

$\phi$  é o fluxo luminoso necessário, em lúmens (lm);

$\overline{E_M}$  é a iluminância média necessária, em lux;

$A_p$  é a área de piso do ambiente, em metros quadrados (m<sup>2</sup>).

A quantidade mínima de lâmpadas para iluminação adequada do ambiente é obtida pela razão entre o fluxo luminoso necessário pela potência da lâmpada escolhida e sua eficiência luminosa, conforme equação:

$$Q_{min} = \frac{\phi}{P_l \times EL}$$

Onde:

$Q_{min}$  é a quantidade mínima de lâmpadas necessárias para o ambiente;

$\phi$  é o fluxo luminoso necessário, em lúmens (lm);

$P_l$  é a potência unitária da lâmpada escolhida, em Watt (W);

$EL$  é a eficiência luminosa em lúmens por Watt (lm/W).

### **3.5 Avaliação da eficiência energética**

Na verificação da eficiência energética foram avaliados os itens elétricos necessários para iluminação e condicionamento de ar do ambiente, garantindo o conforto ideal para os ocupantes durante o período de aulas, matutino, vespertino e noturno, gerando um comparativo entre as opções disponíveis no mercado e as melhores opções para garantir conforto com maior eficiência.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os dados obtidos e a análise dos resultados de conforto térmico da edificação seguindo os parâmetros da atualização normativa de janeiro de 2024, que determina:

### 4.1 Transmitância térmica

As constantes utilizadas para o cálculo da transmitância térmica foram obtidas por intermédio do Anexo B da NBR 15220-2 (ABNT, 2005b) e são apresentadas na Tabela 9.

**Tabela 9.** Índices de condutividade térmica dos materiais utilizados.

Material	Condutividade térmica $\lambda$ (W/(m.K))
Argamassa e reboco comum	1,15
Tijolo	0,9

Fonte: ABNT (2005b).

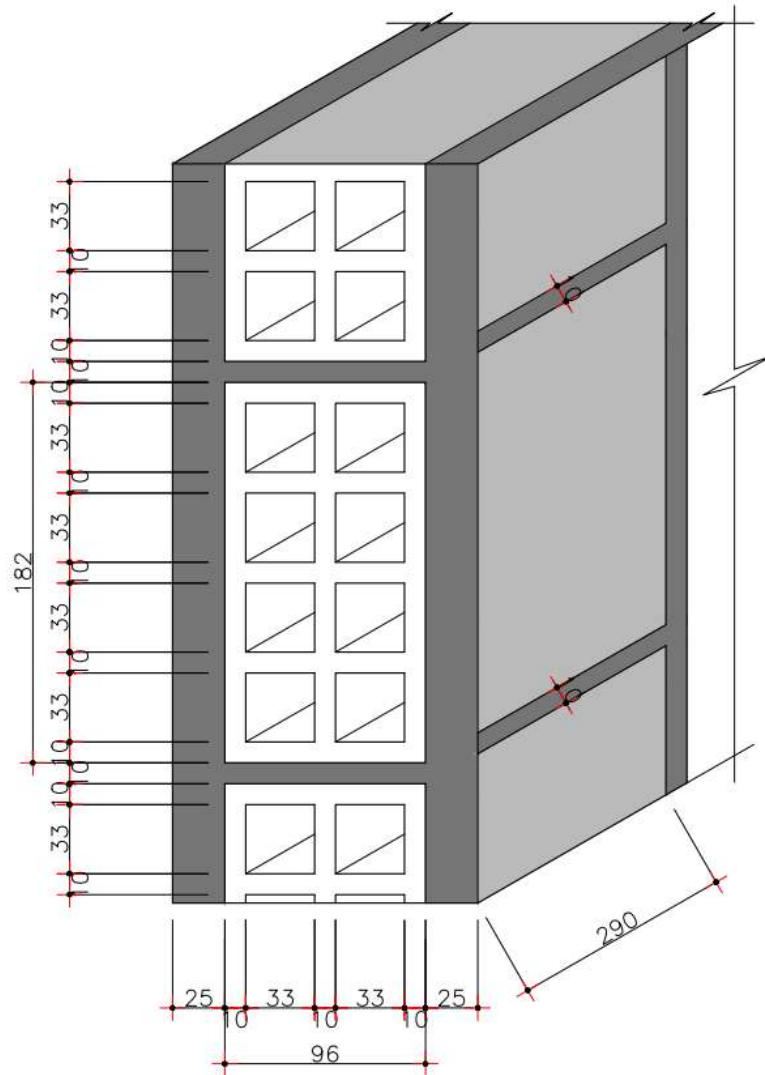
A partir das constantes obtidas, foram realizados os cálculos para a resistência térmica da parede da fachada nordeste da edificação (Figura 17), onde estão localizadas as salas de aula.



**Figura 17.** Fachada nordeste da edificação - salas de aula.

Fonte: Autoria da pesquisa (2024).

Para o cálculo da resistência térmica (da qual depende a transmitância térmica) foi utilizado o particionamento dos elementos constituintes das paredes externas da edificação em estudo, conforme representação gráfica presente na Figura 18.



**Figura 18.** Detalhe elemento construtivo – bloco cerâmico (dimensões em cm).  
 Fonte: Autoria da pesquisa (2024).

A parede é um elemento heterogêneo como pode ser percebido na ilustração da Figura 18. Na camada mais externa utilizou-se o revestimento de argamassa, cuja espessura executada foi de 2,5 cm em ambos os lados da parede. Após o calor atravessar o revestimento o mesmo irá se deparar com três elementos distintos: Argamassa nas junções dos blocos tanto na horizontal quanto na vertical; argila (tijolo cerâmico) maciça nas extremidades e nas subdivisões internas do bloco cerâmico; e, a junção de bloco cerâmico e câmaras de ar. Sendo assim, para a resistência térmica da parede acabada, foram utilizados os procedimentos de cálculo individuais de cada elemento constituinte.

Na Tabela 10 estão demonstrados os valores e a base de cálculo da resistência térmica do bloco cerâmico, cujo valor final obtido foi de 0,1838 m<sup>2</sup>K/W.

Na Tabela 11 estão demonstrados os valores e a base de cálculo da resistência térmica da seção A da parede que inclui o reboco externo, a argamassa de assentamento e reboco interno.



**Tabela 10.** Dados e cálculo da resistência térmica do bloco cerâmico.

Material	Bloco cerâmico Face superior e inferior	Bloco cerâmico Fases intermediárias	Câmara de Ar
Espessura (m)	0,0115	0,0115	0,033
Comprimento bloco (m)	0,29	0,29	0,29
Largura total da camada (m)	0,09	0,0115	0,09
Área (m <sup>2</sup> )	0,00334	0,00334	0,00957
λ(Tabela 3)	0,9	0,9	-
R (m <sup>2</sup> .K/W)	0,1	0,0128	0,16
R <sub>total da camada</sub> (m <sup>2</sup> .K/W)	0,1	0,0128 x 3 + 0,16 x 2 = 0,3584	
R <sub>total do bloco cerâmico</sub> (m <sup>2</sup> .K/W)	$\frac{5 \times 0,00334}{0,1} + \frac{3 \times 0,00957}{0,3584} = \frac{0,045385}{0,333626} = 0,1838$		

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

**Tabela 11.** Dados e cálculo da resistência térmica da seção A da parede.

Material	Argamassa Assentamento horizontal	Argamassa Assentamento vertical	Reboco interno e externo
Espessura (m)	0,01	0,01	0,025
Comprimento Assentamento (m)	0,29	0,2	-
Largura total da camada (m)	0,09	0,09	0,05
Área (m <sup>2</sup> )	0,0029	0,00334	-
Área total (m <sup>2</sup> )	0,00624		-
λ(Tabela 3)	1,15		1,15
R (m <sup>2</sup> .K/W)	0,07826087		0,043478261
R <sub>total da camada</sub> (m <sup>2</sup> .K/W)	0,1217		

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Na Tabela 12 estão demonstrados os valores e a base de cálculo da resistência térmica da seção B da parede que inclui o reboco externo, o bloco cerâmico e o reboco interno.

**Tabela 12.** Dados e cálculo da resistência térmica da seção B da parede.

Material	Bloco cerâmico	Reboco interno e externo
Espessura (m)	-	0,19
Comprimento (m)	-	0,29
Largura (m)	-	0,05
Área (m <sup>2</sup> )	-	0,0551
Área total (m <sup>2</sup> )	-	-
λ (Tabela 3)	-	1,15
R (m <sup>2</sup> .K/W)	0,1838	0,0435
R <sub>total da camada</sub> (m <sup>2</sup> .K/W)	0,2273	

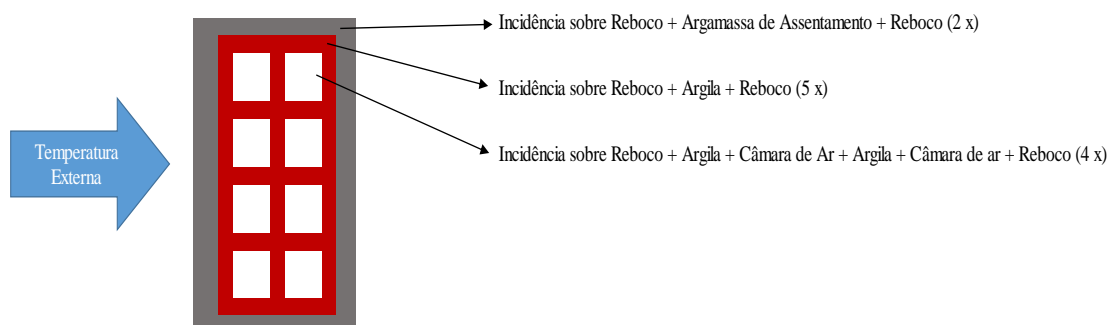
Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Assim, a resistência térmica total do sistema foi de 0,5328 m<sup>2</sup>.K/W. De maneira que, a transmitância térmica obtida foi da ordem de 1,87 W/(m<sup>2</sup>.K). Dessa forma, a edificação pode receber pintura de cor clara (com absorvância à radiação solar menor ou igual a 60,00%) ou escura, com absorvância maior que 60,00%.

No caso em estudo, foi utilizada a pintura na cor erva doce que, conforme Dornelles (2008), possui absorvância ( $\alpha_{par}$ ) de, aproximadamente, 26,40%. Sendo assim, para o critério de transmitância térmica o sistema adotado na edificação está adequado pelo procedimento simplificado na normatização.

## 4.2 Capacidade térmica

A capacidade térmica total da vedação externa foi de 211,24 kJ/m<sup>2</sup>.K, calculada em seções, seguindo as mesmas subdivisões do cálculo de transmitância térmica. A representação gráfica das subdivisões pode ser observada na Figura 19.



**Figura 19.** Subdivisões da parede de alvenaria.

Fonte: Autoria da pesquisa (2024).

Os cálculos realizados para a obtenção da capacidade térmica total da vedação externa estão compilados na Tabela 13.

**Tabela 13.** Dados e cálculo da capacidade térmica total.

Material	Camada de argila	Argila + Ar	Reboco + Argila	Reboco + Argamassa + Reboco
Espessura	0,09	0,0345	0,05	0,14
Calor específico (kJ/kg.K)	0,92	0,92	1	1
Densidade ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	1500	1500	2000	2000
Capacidade térmica (kJ/m <sup>2</sup> .k)	124,2	47,61	100	280
Área (m <sup>2</sup> )	0,00334	0,00957	0,00334	0,0551
Capacidade térmica tijolo (kJ/m <sup>2</sup> .k)	61,57412351		-	
Capacidade térmica argamassa+tijolo	161,5741235		-	
Capacidade Térmica Total			211,24	

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A capacidade térmica mínima pelo parâmetro normativo é de 130 kJ/(m<sup>2</sup>K), estando, dessa forma, o valor de 211,34 kJ/(m<sup>2</sup>K), em conformidade com a delimitação normativa.

### 4.3 Percentual de abertura para ventilação

O percentual de abertura para a ventilação, preconizado pela NBR 15575 (ABNT, 2021) para a Zona Bioclimática Z6, exige um percentual de, no mínimo, 7,00% da área total de piso do ambiente. As janelas da fachada analisadas nesta pesquisa são padronizadas com dimensões de 3,20 por 1,20 m com duas folhas de correr, permitindo a livre passagem de ar da metade da área total. As aberturas foram reunidas na Tabela 14.

**Tabela 14.** Dados e cálculo do percentual de abertura para ventilação.

Sala	Área de Piso (m <sup>2</sup> )	Parâmetro normativo (7,00%)	Área de janelas na fachada oeste	Área de abertura na fachada oeste	Percentual de abertura do projeto (%)
1	76,97	5,53 m <sup>2</sup>	11,52 m <sup>2</sup>	5,76 m <sup>2</sup>	7,48%
2	52,71	3,69 m <sup>2</sup>	7,68 m <sup>2</sup>	3,84 m <sup>2</sup>	7,29%
3	52,71	3,69 m <sup>2</sup>	7,68 m <sup>2</sup>	3,84 m <sup>2</sup>	7,29%

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Conforme demonstrado, no procedimento simplificado, o percentual de abertura na fachada nordeste (fachada externa com maior incidência solar) é superior ao exigido pela NBR 15220-4 (ABNT, 2005d).

Destaque-se que a normativa não estabelece critérios para ventilação cruzada ou demais elementos que possam auxiliar no conforto térmico ao ambiente, apenas determina um percentual mínimo de abertura das vedações externas.

No projeto em análise há, além das vedações externas, janelas altas voltadas para o corredor com o objetivo de auxiliar na eliminação do ar mais quente e manter o ambiente naturalmente mais confortável durante os períodos de maior temperatura durante o ano.

### 4.4 Elementos transparentes

Na Tabela 15 foram compilados os dados referentes à área de superfície dos elementos transparentes ( $A_t$ ) e o percentual de elementos transparentes ( $P_t$ ).

**Tabela 15.** Proporção dos elementos transparentes no bloco construído frente às normalizações da NBR 15575 (ABNT, 2024).

Sala	Área de Piso (m <sup>2</sup> )	Área de superfície dos elementos transparentes	Percentual de elementos transparentes
1	76,97	11,52 m <sup>2</sup>	14,97%
2	52,71	7,68 m <sup>2</sup>	14,57%
3	52,71	7,68 m <sup>2</sup>	14,57%

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Observa-se que os percentuais de elementos transparentes foram inferiores a 15,00%. Entretanto, a NBR 15575 (ABNT, 2021) preconiza que pode ser adotada proporção de referência, limitando a 4 m<sup>2</sup> a área de superfície dos elementos transparentes em áreas maiores que 20 m<sup>2</sup>. Podendo chegar a 6 m<sup>2</sup> para aberturas orientadas para o sul.

O item de elementos transparentes foi adicionado na versão atualizada na norma, não existindo na versão anterior para o atendimento simplificado dos sistemas. Importante salientar que nesta avaliação ocorre uma discrepância nos valores apontados pela norma que inviabilizam o atendimento de todos os critérios para a mesma edificação, limitando a utilização do procedimento simplificado para edificações, cujas esquadrias são compostas por vidro, seja de vidro temperado ou alumínio com vidro.

Considerando que o percentual de abertura para a ventilação mínimo estabelecido pela normativa é de 7,00% da área de piso para as Zonas Bioclimáticas de 1 a 7, e o máximo de elementos transparentes que, de acordo com o texto normativo, incluem as aberturas dos ambientes, identificou-se que, utilizando janelas de correr com abertura de 50,00%, o atendimento a ambos os critérios se torna inviável a partir de uma área de piso de 29 m<sup>2</sup>. Se forem utilizadas esquadrias do tipo maxim-ar com abertura para passagem de ventilação de 40,00%, a limitação da área de piso é menor que 23 m<sup>2</sup>, enquanto que, se a abertura for de 30,00% (modelo usual de esquadrias tipo maxim-ar), não será possível o atendimento tanto com relação à área (menor que 4 m<sup>2</sup>), quanto com a análise percentual, limitada a 20,00% da área de piso (Tabela 16).

**Tabela 16.** Dificuldade no atendimento dos critérios de ventilação e elementos transparentes.

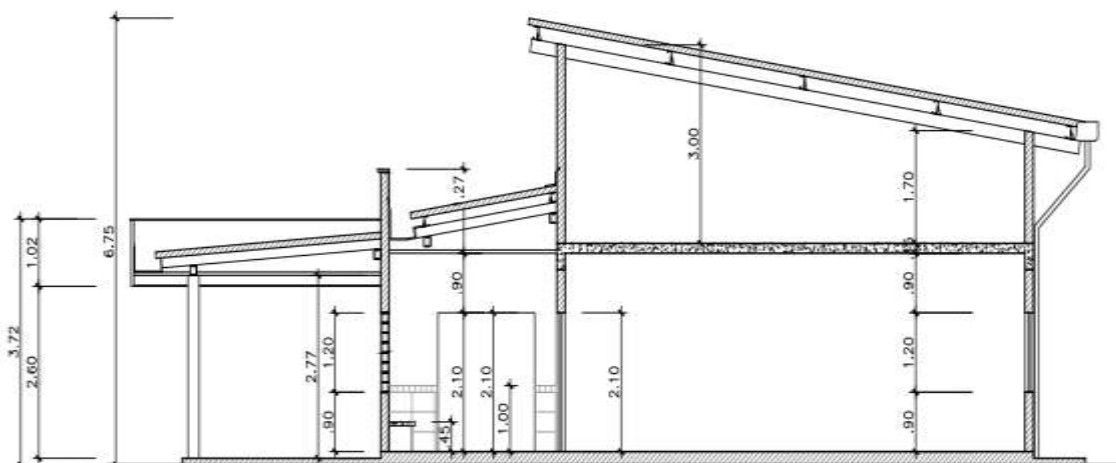
Área de Piso A <sub>p</sub> (m <sup>2</sup> )	Critério Ventilação (7,00%) (m <sup>2</sup> )	Tipo de Esquadria		
		Correr – 50,00% de abertura (m <sup>2</sup> ) – 14,00% A <sub>p</sub>	Maxim-ar – 40,00% de abertura (m <sup>2</sup> ) – 18,00% A <sub>p</sub>	Maxim-ar – 30,00% de abertura (m <sup>2</sup> ) – 23,00% A <sub>p</sub>
20	1,40	2,80	3,50	4,67
21	1,47	2,94	3,68	4,90
22	1,54	3,08	3,85	5,13
23	1,61	3,22	4,03	5,37
24	1,68	3,36	4,20	5,60
25	1,75	3,50	4,38	5,83
26	1,82	3,64	4,55	6,07
27	1,89	3,78	4,73	6,30
28	1,96	3,92	4,90	6,53
29	2,03	4,06	5,08	6,77

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Esta redução na possibilidade de utilização de materiais transparentes para as esquadrias das edificações impacta diretamente o conforto lumínico, sendo necessário o acréscimo de pontos de iluminação e, conseqüentemente, aumento no consumo energético da edificação.

#### 4.5 Coberturas

A telha utilizada na edificação é do tipo isotérmica com a face superior metálica, enchimento em Poliestireno Expandido (EPS) 30 mm e face inferior com alumínio. A edificação possui laje pré-fabricada com enchimento em EPS com espessura de 16 cm, cuja distância da telha é de 1,71 m, conforme pode ser observado na Figura 20.



**Figura 20.** Corte demonstrando alturas da cobertura.

Fonte: Autoria da pesquisa (2024).

Desta forma, considerando que a estrutura de cobertura consiste em uma laje plana e um telhado, o espaço de ar na cobertura, com espessura maior que 30 cm, pode ser considerado como se fosse uma camada termicamente homogênea, com resistência térmica conforme indicado na Tabela 17.

**Tabela 17.** Resistência térmica de espaços localizados na cobertura, conforme NBR 15575-2 (ABNT, 2022).

Característica dos espaços da cobertura	Fluxo ascendente - Ru m <sup>2</sup> .K/W	Fluxo descendente - Ru m <sup>2</sup> .K/W
Alta emissividade ( $\epsilon > 0,8$ )	0,15	0,21
Espacos com baixa emissividade ( $\epsilon > 0,2$ )	0,33	0,69

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Para se obter o valor de transmitância térmica total, foi necessário determinar as resistências térmicas de cada parte do sistema constituinte do telhado, destacando-se que:

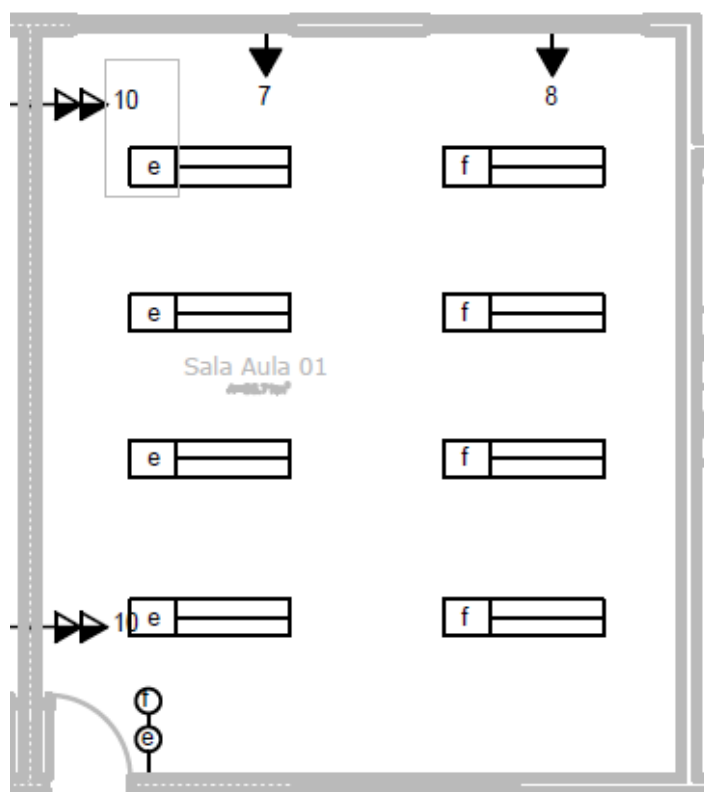
- Para as telhas isotérmicas de 30 mm, adotou-se a informação do fabricante (ISOESTE, 2023), cujo valor de transmitância térmica é de 0,73 W/m<sup>2</sup>.K, o que representa uma resistência térmica de 1,37 m<sup>2</sup>.K/W;
- Para a laje de EPS utilizada, a R<sub>LAJE</sub> é de 0,3115 m<sup>2</sup>.K/W;
- Conforme previsto pela NBR 15575-5 (ABNT, 2022), a resistência térmica da camada de ar adotada é de 0,69 m<sup>2</sup>.K/W, por se tratar de espaço com baixa emissividade e fluxo descendente.

Deste modo, a resistência total do sistema, obtida pelo somatório das resistências unitárias, foi de 2,3715 m<sup>2</sup>.K/W, de forma que a Transmitância Térmica total da cobertura foi de 0,42 W/m<sup>2</sup>.K, que está abaixo do valor mínimo definido em norma. A baixa Transmitância Térmica significa que há pouca passagem de calor pelo sistema avaliado.

## 4.6 Iluminação

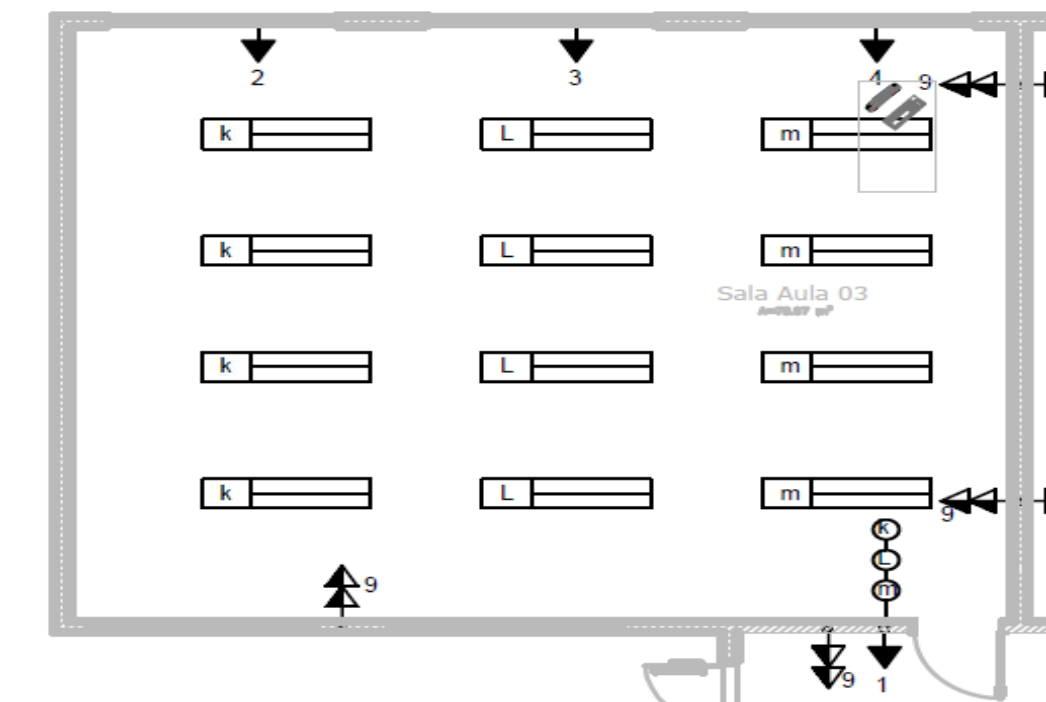
Para o cálculo da necessidade de luminárias em cada sala é considerada a iluminância mínima de 500 lux, conforme definido pela ABNT (2013b), para ambientes de sala de aula no período noturno (dados apresentados na Tabela 2). Sendo assim, para as salas menores, com área de 52,71 m<sup>2</sup>, foram necessários 26.355 lúmens enquanto que, para a sala com capacidade de 80 alunos (área de 76,97 m<sup>2</sup>), 38.485 lúmens.

As lâmpadas projetadas foram do tipo tubulares LED com potência de 18 W cada, com eficiência luminosa de 103 lm/W. Sendo assim, a quantidade mínima de lâmpadas para as salas com capacidade de 50 alunos foi de 14,21 unidades. Foram definidas no projeto oito luminárias com duas lâmpadas, totalizando 16 lâmpadas e um fluxo luminoso instalado de 29.644 lúmens, equivalentes a uma iluminância de 562,78 lux, estando acima do mínimo normativo e sendo suficiente para garantir iluminação sem ofuscamento para os alunos. A localização das luminárias pode ser verificada na Figura 21.



**Figura 21.** Disposição de luminárias na sala de aula para 50 alunos.  
Fonte: Autoria da pesquisa (2024).

Para as salas maiores, com área de 72,97 m<sup>2</sup> a quantidade mínima necessária de lâmpadas do mesmo tipo é de 20,75. De igual modo, no projeto, foram instaladas 12 luminárias com um total de 24 lâmpadas. A distribuição adotada para a iluminação pode ser verificada na Figura 22.



**Figura 22.** Distribuição de iluminação na sala para 80 alunos.  
 Fonte: Aatoria da pesquisa (2024).

A disposição das lâmpadas na edificação concluída é apresentada na Figura 23. É possível observar que no período diurno, onde há incidência solar, a iluminação natural é suficiente para iluminação da sala como um todo, sem ofuscamento, graças à quantidade de elementos transparentes na fachada, que permite a entrada de iluminação distribuída na sala de aula.



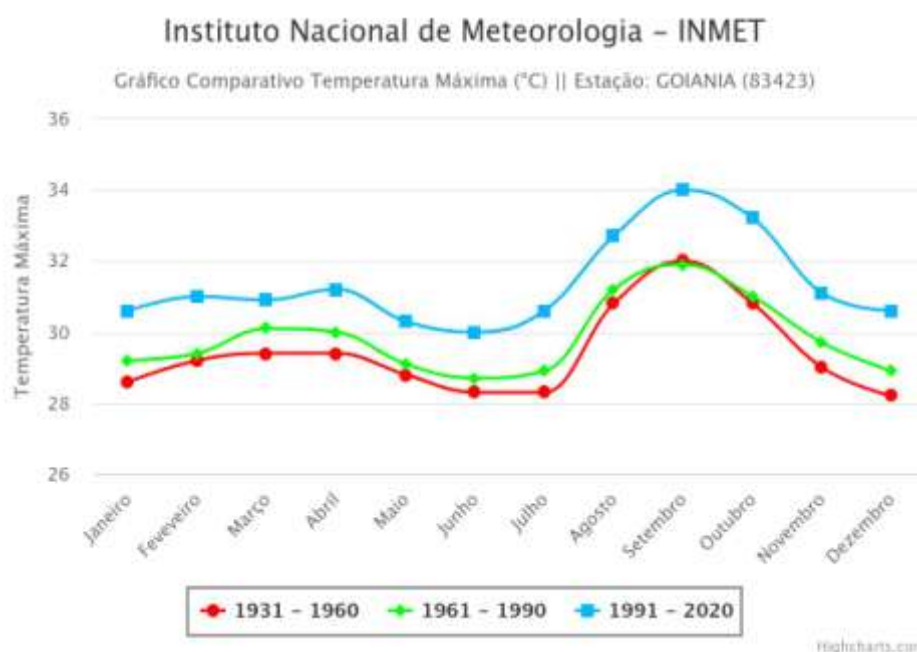
**Figura 23.** Iluminação concluída na sala com capacidade para 80 alunos.  
 Fonte: Aatoria da pesquisa (2024).

## 4.7 Avaliação global da edificação

Conforme exposto em toda a análise e discussão de resultados, a edificação possui todos os critérios para atendimento ao preconizado pelo procedimento simplificado previsto na Norma de Desempenho atualizada em 2024 (NBR 15575 - ABNT, 2024).

Importante salientar que, para a análise dos critérios por meio de simulação computacional os intervalos previstos para utilização como parâmetros estão compreendidos entre 18 e 26°C, o que atenderia à expectativa dos usuários das edificações sem utilização de sistemas de condicionamento de ar, entretanto, esta não é a realidade da edificação.

Nas condições típicas de verão, a cidade de Goiânia registra, conforme dados do INMET (2024), temperaturas da ordem de 34°C, de forma que, mesmo com a utilização de ventilação cruzada, aberturas suficientes e sistemas de vedação com baixa transmitância térmica, as temperaturas internas ainda incomodam os usuários para o calor (Figura 24).



**Figura 24.** Temperaturas máximas registradas em Goiânia.  
Fonte: INMET (2024).

Salienta-se que não há normas específicas para a utilização de ambientes de longa permanência com grande número de usuários, como é o caso das edificações escolares. Os cálculos realizados foram balizados pelas condições exigidas para edificações residenciais.

## 4.8 Eficiência energética

Com relação ao conforto lumínico e ao consumo energético, verifica-se que a luz natural deve ser utilizada para reduzir o consumo de energia com iluminação, entretanto, deve haver um ponto ótimo de entrada de iluminação e aquecimento do ambiente, visto que a luz solar, incidente diretamente sobre a edificação, pode gerar necessidade de maior utilização de equipamentos condicionadores de ar, principalmente nas regiões mais quentes. Sendo assim, a edificação deve ser analisada de forma a integrar os sistemas de iluminação natural e artificial, em consonância com o conforto térmico necessário.



Nas salas de aula, foram previstas as instalações de 28 luminárias de 18 W com eficiência luminosa de 103 lúmens/W. Mesmo atendendo aos requisitos simplificados da norma para Ambientes de Permanência Prolongada (APP) foram previstos equipamentos de ar condicionado, principalmente porque, nas condições típicas de verão, são diversas as solicitações de alunos e docentes para a instalação de equipamentos em todas as salas existentes na unidade.

De acordo com os dados fornecidos para o Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS) e para o consumo anual, considerando o consumo de energia com base nos resultados do ciclo normatizado pelo INMETRO (2023), de 2.080 horas por ano, é notória a necessidade de especificação não apenas da capacidade de refrigeração dos equipamentos a serem fornecidos para as Instituições de Ensino, mas também é necessário delimitar esses dois parâmetros a fim de garantir uma maior eficiência energética da edificação em sua totalidade.

Como exemplo, um equipamento de 9.000 BTU/h pode oscilar seu IDRS entre 9 Wh/Wh, com um consumo de energia de 273 kWh/ano, e 3,14 Wh/Wh, com um consumo de energia de 694 kWh/ano, indo da etiquetagem A até a F (os limites de etiquetagem com comercialização permitida até junho de 2023 são apresentados na Tabela 18).

**Tabela 18.** Classes de eficiência energética para condicionadores de ar tipo Split até junho/2024.

Classes	Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal - IDRS (Wh/Wh)
A	$\geq 5,50$
B	$\geq 5,00$
C	$\geq 4,50$
D	$\geq 4,00$
E	$\geq 3,50$
F	$\geq 3,14$

Fonte: INMETRO (2023).

Tratando-se do mesmo padrão de etiqueta (eficiência A) a oscilação no consumo de energia ainda é considerável, partindo de 263 kWh e atingindo até 426 kWh, um acréscimo de mais de 60,00% no consumo anual, apenas com condicionamento de ar.

O INMETRO atualizou, em 2020, os critérios para etiquetagem de equipamentos e publicou levantamento quanto à eficiência energética dos equipamentos em comercialização no Brasil, sendo necessária a transição para os novos critérios até junho de 2024 no varejo, tendo o prazo para importação sido encerrado em dezembro de 2022, conforme Portaria Inmetro nº 269, de 2021 (INMETRO, 2021). Na nova padronização, a eficiência passa a ser considerada, nos projetos futuros, conforme disposto na Tabela 19.

**Tabela 19.** Novos limites para classificação INMETRO (equipamentos adquiridos a partir de junho de 2024).

Classes	Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal - IDRS (Wh/Wh)
A	$\geq 7,00$
B	$\geq 6,00$
C	$\geq 5,30$
D	$\geq 4,60$
E	$\geq 3,90$
F	$\geq 3,50$

Fonte: INMETRO (2021).

No caso dos equipamentos instalados na edificação em estudo, a capacidade de refrigeração solicitada foi de 24.000 BTU/h, com exigência de classificação tipo A. Nesta especificação, a variação do consumo anual parte de 700 kWh atingindo 1.080 kWh, ou seja, um incremento equivalente a 64,80% no consumo, da edificação, considerando apenas os equipamentos descritos. Foram considerados três equipamentos na sala maior (capacidade total de refrigeração de 72.000 BTU/h) e dois em cada uma das salas menores (capacidade total de refrigeração de 48.000 BTU/h), visando uma distribuição que permitisse o equilíbrio entre o conforto dos usuários e o consumo energético final. Na Tabela 20 é apresentado um comparativo entre a necessidade das salas menores e as opções disponíveis no mercado, mostrando que, o consumo mínimo é obtido na instalação de equipamentos de 12.000 ou 24.000 BTU/h. A opção por equipamentos de 24.000 BTU/h é mais vantajosa, tanto por sua abrangência para um resfriamento eficiente, considerando o tamanho da sala, quanto pelo menor consumo final.

**Tabela 20.** Consumo unitário e total dos equipamentos de ar condicionado.

Capacidade	Quantidade	Consumo unitário (kWh)		Consumo total (kWh)	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
48.000	1	1.938	2.021	1.938	2.021
24.000	2	700	1.080	1.400	2.160
12.000	4	350	550	1.400	2.200

Fonte: INMETRO (2021).

Salienta-se que, no dimensionamento, tanto das luminárias, quanto dos equipamentos de condicionamento de ar, os projetistas devem atentar-se para a capacidade de refrigeração e a quantidade de equipamentos a serem instalados, visando uma distribuição que não gere um resfriamento pontual no ambiente com pouco conforto para os usuários, equilibrando-se com o consumo total de energia de cada unidade a ser instalada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As salas de aula são o ponto chave para o ensino e resta evidente a necessidade de ser um ambiente acolhedor e confortável, para permitir que o foco dos estudantes e professores seja o aprendizado. Diversos estudos já avaliaram o rendimento escolar baseado nos fatores apontados nesta pesquisa, principalmente quanto ao conforto térmico e lumínico.

O objetivo geral desta dissertação focou na avaliação, com base nos parâmetros normativos, de atendimento das salas de aula às normas brasileiras, com vistas a verificar se é aplicável a última versão da norma de desempenho para ambientes residenciais no caso das edificações escolares. Ficou evidente que o prédio em estudo atende à maior parte dos requisitos normativos; entretanto, o mesmo não é capaz de satisfazer os usuários sem a utilização de sistemas de climatização, para resfriamento do ambiente nas condições de verão.

Na elaboração dos projetos para ambientes escolares, o projetista deve estar ciente de todos os dispositivos existentes e necessários, realizando um dimensionamento adequado e que possibilite a alternância dos parâmetros de iluminação, temperatura e ventilação de acordo com a necessidade momentânea dos usuários, realizando um balanceamento criterioso sobre os ganhos de calor oriundos da luz natural e o condicionamento térmico.

Ainda com relação ao conforto térmico, no dimensionamento dos sistemas de condicionamento de ar, sugere-se que o projetista esteja atento, além da classificação energética do INMETRO, aos requisitos de consumo e eficiência energética que devem ser apontados nos projetos, principalmente nas edificações públicas, considerando que não há possibilidade de delimitação de marcas ou modelos, apenas requisitos a serem atendidos. Conforme ficou demonstrando, mesmo um equipamento com classificação A, pode ter oscilações superiores a 60,00% no consumo energético final, sendo este um dos principais consumidores de energia elétrica nos prédios escolares.

Desta forma, quanto ao desempenho energético das edificações, comprovou-se que o balanço energético deve ser realizado visando a manutenção do conforto e considerando três variáveis principais: entrada de iluminação natural, necessidade de iluminação artificial e necessidade de condicionamento de ar. O equilíbrio entre estas variáveis irá representar o quão eficiente e confortável é a edificação executada.

Em relação à atualização normativa, alguns elementos ainda não foram incorporados e podem auxiliar a qualidade de vida dentro das edificações, tais como, utilização de ventilação cruzada, faixa de altura ideal de pé direito, utilização de sistemas de climatização com exaustores para climas quentes, consideração quanto à vegetação existente ou possível de ser plantada, a fim de aumentar a umidade e reduzir a temperatura em edificações presentes em climas quentes e secos. Há ainda a necessidade de avaliação dos critérios de maneira conjunta, para ambientes com grandes áreas, verificando a viabilidade da aplicação da norma, ou a necessidade de alteração de diretrizes para adequação das necessidades específicas destes locais.

Sugere-se, para trabalhos futuros, a verificação *in loco* da satisfação dos usuários, de edificações que atendam aos parâmetros normativos, a fim de estabelecer se a atualização da norma de desempenho foi capaz ou não de levar o conforto ambiental necessário em prol da melhoria do ambiente de aprendizagem.

Além disso, deve-se discutir parâmetros mínimos para edificações escolares, sendo urgente a criação, via normas ou legislação, de critérios para a construção de tais edificações, a fim de garantir conforto aos estudantes e docentes, elevando a qualidade de vida no ambiente escolar e, conseqüentemente, o nível de aprendizagem no país.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 10151**. Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ABNT. **NBR 15220-1**. Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005a.

ABNT. **NBR 15220-2**. Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005b.

ABNT. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005c.

ABNT. **NBR 15220-4**. Desempenho térmico de edificações. Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005d.

ABNT. **NBR 16401-2**. Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

ABNT. **NBR 15575**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013a. (Coletânea).

ABNT. **NBR ISO/CIE 8995-1**. Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013b.

ABNT. **NBR 10821**. Esquadrias para edificações. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.

ABNT. **NBR 15575**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021. (Coletânea).

ABNT. **NBR 15575**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022. (Coletânea).

ABNT. **NBR 15575**. Requisitos gerais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024. (Coletânea).

ABRAHÃO, K. C. F. J.; MAIRINK, A. J. M.; RODRIGUES, G. M.; SILVA JUNIOR, R. F.; FORTES, B. C. S.; MORAIS, S. K. T. F.; VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G. Desempenho lumínico de janelas idênticas em cidades distintas. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2019, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ENCAC/ELACAC, 2019. p. 2746–2755.

ABRANTES, A. F. **Atualidades em ergonomia** - logística, movimentação de materiais, engenharia industrial, escritório. 1a. ed., São Paulo: IMAM, 2004.

ARAÚJO, V. M. D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. 1996. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

ASHRAE. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2004.

ASHRAE 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2013.

BAKER, N. V.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in architecture: a european reference book**. New York: Routledge, 2013.

BALDINI, M. D. A.; TAVARES, A. C. Conforto térmico em salas de aula e influência no aproveitamento escolar. **Geografia**, Rio Claro, v. 10, n. 19, p. 163-172, abr. 1985.

BARBOSA, P. G.; AGUILAR, M. T. P.; SALES, R. B. C. Conforto térmico do ambiente construído, eficiência energética e difusividade térmica: um estudo interdisciplinar que envolve o Design. **Pensamentos em design**, Belo Horizonte. v. 1, n. 1, p. 95-102, jul. 2021.

BECKER, R.; GOLDBERGER, I.; PACIUK, M. Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation. **Building and Environment**, Lausanne, v. 42, n. 9, p. 3261-3276, set. 2007.

BRASIL. Resolução-Re nº 09, de 16 de janeiro de 2003. Determina a publicação de orientação técnica elaborada por grupo técnico assessor, sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 20 jan. 2003.

BRASIL. **Caderno de Conceitos e Orientações do Censo Escolar 2022**. Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2022.

BRASIL. **Censo Escolar da Educação Básica 2022: Resumo Técnico**. Brasília Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2023.

BRAUWERS, R. W.; OLIVEIRA, T. D. Iluminação Natural: reflexões básicas para o ato de projetar. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XXIII., 2015, Unaí. **Anais...** Unaí: Unijuí, 2015. p. 1-5.

CARVALHO, J. P. V. **Simulação de desempenho luminoso para salas de aula em Natal-RN**. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

CASTRO, F. S.; OLIVEIRA, F. P.; COSTA, R. A. Conforto térmico como indicador de aprendizagem em escolas de Ituiutaba-MG. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 1, n. 5, p. 121-132, out. 2012.

COELHO, D. A. S. **Avaliação do Conforto Térmico em salas de aula**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, 2014.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003.

COSTA, L. L. L. **A luz como modeladora do espaço na Arquitetura**. 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

DALVITE, B.; OLIVEIRA, D.; NUNES, G., PERIUS, M.; SCHERER, M. J. Análise do conforto acústico, térmico e lumínico em escolas da rede pública de Santa Maria, RS. **Disciplinarum Scientia, Série: Artes, Letras e Comunicação**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 1-13, mar. 2007.

DANIELESKI, C. B. **Avaliação do desempenho lumínico de ambientes residenciais**. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

DE VECCHI, R. **Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FARIA, A. C. **Iluminação sustentável: os benefícios do uso da tecnologia LED nos projetos de iluminação**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2014.

FELTRIN, J. C. **Conforto Térmico em salas de aula: Estudo de caso da Escola Polivalente Dante de Mosconi - Jataí (GO)**. 2016. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2016.

FRANCESCHINI, P. B.; LIGUORI, I. N.; NEVES, L. O. Condições de conforto térmico e QAI em salas de aula naturalmente ventiladas durante a pandemia de Covi-19. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 4, p. 217-231, out./dez. 2022.

FRANSSON, N.; VÄSTFJÄLL, D.; SKOOG, J. In search of the comfortable indoor environment: a comparison of the utility of objective and subjective indicators of indoor comfort. **Building and Environment**, v. 42, n. 5, p. 1886-1890, mai. 2007.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GEMELLI, C. B. **Avaliação de conforto térmico, acústico e lumínico de edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GOUVEIA, G. L. O. **Impacto das aberturas no conforto térmico em ambiente escolar padrão por ventilação natural**. 2021. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Cidade) – Universidade Vila Velha, Vila Velha, 2021.

GOOGLE MAPS. **Pesquisa**. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/@-17.0150377,-49.2002143,514a,35y,325.08h/data=!3m1!1e3?entry=tту>>. Acesso em: 29 fev. 2024.

GRAÇA, V. A. C.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; PETRECHE, J. R. D.; CHENG, L. Y. Otimização de projetos das escolas da rede estadual de São Paulo considerando conforto ambiental. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2001.

INMET. **Clima**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

INMETRO. **Portaria nº 269, de 22 de junho de 2021**. Disponível em: <<http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC002783.pdf>>. Acesso: 15 fev. 2024.

INMETRO. **Condicionadores de ar, 2023**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/condicionadores-de-ar>>. Acesso em: 27 mar. 2023.

ISO 7730. **Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Geneva: International Organization for Standardization, 2005.

ISOESTE. **Produtos/serviços**. Disponível em: <<https://kingspan-isoeste.com.br/telha-termica-isotelha-aluminio-trapezoidal-pir/>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

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

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3a. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRASPROCEL, 2014.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C.; BATISTA, J. O.; MARINOSKI, D. L.; NARANJO, A.; DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LEE, I.; TIONG, R. Examining the role of building envelopes towards achieving SU sustainable buildings. *In: HORNER, M.; HARDCASTLE, C.; PRICE, A.; BEBBINGTON, J. (Eds). International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment*. Glasgow, 2007.

MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo - RS**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética, 2011**. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.economia.gov.br/bitstream/123456789/914/2/Plano%20Nacional%20Efici%aancia%20Energ%a9tica%20%28PDF%29.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MME. **Atlas da eficiência energética. Brasil 2023. Relatório de indicadores**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-788/Atlas%20da%20Efici%ancia%20Energ%etica%20Brasil%202023.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2024.

MORAES, L. N.; CLARO, A. Estudo comparativo de sistemas de iluminação artificial considerando luz natural e consumo de energia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 59-74, jul./set. 2013.

MOURA, N. C. S.; MIANA, A. C.; GONCALVES, J. S.; DUARTE, D. S. Arquitetura e desempenho luminoso: CENPES II, o novo centro de pesquisas da Petrobras, no Rio de Janeiro, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 151-172, 2009.

NANOTECH DO BRASIL. **Eficiência Energética: O consumo de Energia no Brasil nas edificações residenciais**. Disponível em: <<http://www.nanotechdobrasil.com.br/eficiencia-energetica-o-consumo-de-energia-no-brasil-nas-edificacoes-residenciais/>> Acesso em: 16 jun. 2014.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, J. S. Conforto térmico na escola pública em Cuiabá-MT: estudo de caso. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Rio Grande, v. 14, p. 37-49, jan./jun. 2005.

NORMA REGULAMENTADORA 17. **Ergonomia, 2022**. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-17-atualizada-2022.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

OCHOA, J. H.; ARAÚJO, D. L.; SATTTLER, M. A. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 91-114, jan./mar. 2012.

ORNSTEIN, S.; ROMERO, M. **Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído**. São Paulo: Studio Nobel, 1992.

PAGNOSSIN, Elaine Medianeira; BURIOL, Galileo Adeli; GRACIOLLI, Michele de Araujo. Influência dos Elementos Meteorológicos no Conforto Térmico Humano: Bases Biofísicas. **Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Biológicas e da Saúde**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 149-161, 2001.



PEGLOW, J. ; RITTER, V. ; RONCA, A. ; PEREIRA, R. ; CUNHA, E. ; RHEINGANTZ, P. Avaliação do conforto térmico de escola municipal de educação infantil em Pelotas/RS – ZB2. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, XVI., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2016.

PEREIRA, D. C. L. **Iluminação natural em edifícios de escritórios: metodologia para avaliação do desempenho luminoso**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 31-51, jan./mar. 2010.

PORTO, A. G.; PORTO, A. F. D.; FREES, C. V.; CAMPOLARGO, M. C. **O futuro é das chics: como construir agora as cidades humanas, inteligentes, criativas e sustentáveis**. 1. ed. Brasília: IBCIHS, 2020.

QUIRINO, L. M. M. **Arquitetura escolar: análise do conforto lumínico em escolas municipais de Ensino Fundamental em João Pessoa/PB**. 2018. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

REIS, M. S. **Estratégias de adaptação para o conforto térmico em ambiente escolar: um estudo em escolas públicas de Porto Nacional – TO**. 2022. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2022.

SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E.; NICO-RODRIGUES, E. A. **Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575**. Rio de Janeiro: Cadernos PROARQ 20, 2013.

SANTOS, J. B. **O uso do PMV para avaliação do conforto térmico em edifício de escritório tipo plano aberto e sua viabilidade de aplicação em clima quente e úmido**. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2018.

SILVA, A. C. S.; LARANJA, A. C. Uso de prateleiras de luz para melhoria do desempenho luminoso em ambiente escolar em Vitória, Espírito Santo. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 6, edição especial, p. 59-68, mar. 2022.

SILVA, G. L. **Avaliação da eficiência energética em escolas públicas municipais e estaduais de Maceió - Alagoas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

SOARES, M. M.; SILVA, A. C. S. B. Avaliação dos parâmetros de desempenho térmico da NBR 15575 para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 para habitações térreas de interesse social no método simplificado. *In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO*, XV., 2009, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPEL, 2009.

SOUZA, J. F. **As crianças e o conforto térmico: sensações e preferências térmicas em escolas de ensino fundamental no clima quente e úmido**. 2020. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

TAMIOSSO, C. D. P. **Avaliação da disponibilidade de iluminação natural em salas de aula de instituição de ensino superior**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2015.

TAMURA, C. A. **Avaliação das relações entre iluminação ambiente e a saúde e bem-estar de usuários: proposta metodológica utilizando câmara climática**. 2017. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

TAVARES, D. F.; CAETANO, M. M. O.; HOLANDA, M. R. A.; BITTENCOURT, L. S. Conforto térmico em salas de aula climatizadas para o clima quente e úmido. **Ciências Humanas e Sociais**, Alagoas. v. 6, n.3, p. 169-184, mai. 2021.

TIRONE, L. **Construção sustentável: Rumo à qualidade total**. In: CONGRESSO LIDERA, Lisboa, 2010. Disponível em: <[http://www.lidera.info/resources/11CongressoLiderA2010\\_ConstrucaoSustentavel\\_LiviaTirone.pdf?phpMyAdmin=77d31a787ce126bb305b5b4b9dcec31c](http://www.lidera.info/resources/11CongressoLiderA2010_ConstrucaoSustentavel_LiviaTirone.pdf?phpMyAdmin=77d31a787ce126bb305b5b4b9dcec31c)>. Acesso em: 20 jan. 2024.

VASCONCELOS, J. C.; LIMA, P. V. P. S.; ROCHA, L. A.; KHAN, A. S. Infraestrutura escolar e investimentos públicos em Educação no Brasil: a importância para o desempenho educacional. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 113, p. 874-898, out./dez. 2021.

VIANA, S. M.; AMORIN, M. C. C. T. Variações de conforto e/ou desconforto térmico nas escolas estaduais de Presidente Prudente/SP. **Geografia em Questão**. v. 5, n. 1, p. 231-254, mai. 2012.

WARGOCKI, P.; WYON, D, P. The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children (RP-1257). **HVAC&R Research**, v. 13, n. 2, p. 193-220, mar. 2007.

XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.