



**HAYSA MOREIRA FRANCO ROCHA**  
**JÚLIO GABRIEL TRINDADE DE OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO EM SALAS DE AULA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**

**LAVRAS – MG**  
**2021**

**HAYSA MOREIRA FRANCO ROCHA  
JÚLIO GABRIEL TRINDADE DE OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO EM SALAS DE AULA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**

TCC apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro  
Orientadora

Prof. Dra. Luana Elis de Ramos e Paula  
Coorientadora

**LAVRAS – MG  
2021**

**HAYSA MOREIRA FRANCO ROCHA  
JÚLIO GABRIEL TRINDADE DE OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO EM SALAS DE AULA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**

**EVALUATION OF THERMAL ENVIRONMENT IN CLASSROOMS OF THE  
FEDERAL UNIVERSITY OF LAVRAS**

TCC apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 19 de novembro de 2021.

Dra. Pablyne Sant'Ana Cristeli – CEFET-MG (Campus Curvelo)



Profa. Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro  
Orientadora



Prof. Dra. Luana Elis de Ramos e Paula  
Coorientadora

**LAVRAS – MG  
2021**

## RESUMO

A principal função da edificação, sendo esta escolar ou não, é proporcionar aos usuários proteção e conforto para o desenvolvimento de suas atividades. A produtividade e a qualidade do trabalho realizado por uma pessoa estão diretamente relacionadas com as condições do ambiente, e condições térmicas adequadas podem influenciar positivamente. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo monitorar as salas de aula do Pavilhão 9 da Universidade Federal de Lavras para avaliar as condições de conforto ambiental destas, verificando quanto ao atendimento da norma NBR 15575 – Edificações Habitacionais - Desempenho (ABNT, 2021) e também análise dos limites estabelecidos pela NR 15 – Atividades e operações insalubres (BRASIL, 2021) e NR 17 – Ergonomia (BRASIL, 2018) voltadas para as condições adequadas de trabalho. Assim, com o auxílio de um medidor de estresse térmico foram coletados dados de temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo, índice de temperatura de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG), além disso, para a coleta dos dados referente a umidade foi utilizado um termo-higrômetro digital. Com isso, foi realizada uma análise de dados com os valores encontrados para temperatura efetiva, que é determinada utilizando-se de um ábaco que leva em consideração temperatura de bulbo úmido, temperatura de bulbo seco e velocidade do ar. Ademais, também foram analisadas as variáveis de umidade e IBUTG, em que, pelo IBUTG foi verificado o atendimento quando ao valor limite para rotinas de trabalho leve com as mãos estabelecido pela NR 15. As variáveis de temperatura efetiva e umidade foram analisadas segundo os limites estabelecidos pela NR 17. Assim, os resultados encontrados mostram que as salas de aula analisadas atendem normas como a NR 15 e NBR 15575, a NR 17 não foi atendida ao se tratar da temperatura efetiva, apenas quanto à umidade. Desse modo, tais análises atuam como parte de um estudo piloto das edificações da Universidade Federal de Lavras, podendo ser ampliadas, objetivando definir uma ordem de prioridade para os edifícios que necessitem de ventilação mecânica e climatização.

Palavras-chave: Conforto térmico. Conforto ambiental escolar. NR 15. NR 17. NBR 15575.

## ABSTRACT

The main function of the building, whether it is school or not, is to provide users with protection and comfort for the development of their activities. The productivity and quality of work performed by a person are directly related to the environmental conditions, and appropriate thermal conditions can have a positive influence. Therefore, this work aims to monitor the classrooms of Pavilion 9 of the Federal University of Lavras to assess their environmental comfort conditions, checking for compliance with standard NBR 15575 - Housing Buildings (ABNT, 2021) and also analysis of the limits established by NR 15 - Unhealthy activities and operations (2021) and NR 17 - Ergonomics (2018) aimed at adequate working conditions. Thus, with the aid of a thermal stress meter, data on air temperature, wet bulb temperature, globe temperature, wet bulb temperature index globe thermometer (IBUTG) were collected, furthermore, with a digital thermo-hygrometer, data on humidity was collected. Thus, a data analysis was performed with the values found for effective temperature, which is determined using an abacus that takes into account wet bulb temperature, dry bulb temperature and air velocity. Furthermore, the variables of humidity and IBUTG were also analyzed, in which, by the IBUTG, compliance with the limit value for light work routines with the hands established by NR 15 was verified. The variables of effective temperature and humidity were analyzed according to the limits established by NR 17. Thus, the results found show that the analyzed classrooms meet standards such as NR 15 and NBR 15575, NR 17 was not met when dealing with the effective temperature, only regarding humidity. Thus, such analyzes act as part of a pilot study of the buildings of the Federal University of Lavras, which can be expanded, aiming to define a priority order for buildings that need mechanical ventilation and air conditioning.

Keywords: Thermal comfort. School environmental comfort. NR 15. NR 17. NBR 15575.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Exemplos de ventilação cruzada .....	12
Figura 2 - Troca de calor através de superfícies opacas. ....	15
Figura 3 - Troca de calor através de superfícies transparentes.....	16
Figura 4 - Zonas Bioclimáticas.....	18
Figura 5 - Ábaco para a determinação da temperatura efetiva.....	20
Quadro 1 – Condições de conforto segundo a NR 17. ....	20
Tabela 1 - absorvância ( $\alpha$ ) para radiação solar e emissividade( $\epsilon$ ).....	13
Tabela 2 - Limites de tolerância máximos do IBUTG.....	19
Tabela 3 - Taxa metabólica por tipo de atividade.....	19

## SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE.....	7
1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Justificativa.....	8
1.2 Objetivos.....	9
1.2.1 Objetivo geral.....	9
1.2.2 Objetivos específicos.....	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1 Conforto ambiental.....	10
2.1.1 Conforto térmico em salas de aula.....	10
2.2 Clima.....	11
2.2.1 Elementos climáticos.....	11
2.2.2 Propriedades dos materiais.....	14
2.3 Arquitetura bioclimática.....	16
2.4 Normas e requisitos técnicos.....	17
2.4.1 NBR 15220.....	17
2.4.2 NBR 15575.....	18
2.4.3 NR 15.....	19
2.4.4 NR 17.....	20
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
REFERÊNCIAS.....	22
SEGUNDA PARTE – ARTIGO.....	25

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

As principais funções de uma edificação é dar abrigo, conforto e segurança a seus ocupantes. Visando atingir tais funções, as construções passaram por constantes evoluções ao longo dos séculos.

A análise da arquitetura, do clima, do relevo e dos materiais utilizados é de extrema importância para projetar uma construção que atenda a requisitos mínimos de habitabilidade, ou seja, condições mínimas necessárias para abrigar o homem.

Considerando o aspecto de conforto térmico, a edificação precisa ofertar bem-estar a seus ocupantes para que estes possam desenvolver bem suas atividades, sejam elas de descanso, lazer, trabalho ou estudo. Sendo assim, ao projetar as edificações devem ser consideradas as condições locais do clima e as características dos materiais quanto a transmissão do calor, para que atendam aos requisitos mínimos de conforto térmico sem necessidade de sistemas mecânicos de climatização.

O uso de climatização mecânica nos edifícios é algo bastante comum, e esta prática acarreta em um elevado consumo de energia elétrica, o que contribui para o agravamento da crise energética. Visto isso, é de suma importância pensar em maneiras mais eficientes de projetar os novos edifícios e adotar medidas para amenizar os problemas dos edifícios existentes.

A escolha dos materiais de construção pode interferir diretamente na eficiência energética dos edifícios, uma vez que, materiais com características térmicas adequadas podem contribuir na eficácia das trocas de calor entre o ambiente interno e externo. Outra medida eficiente é a escolha da posição das aberturas dos cômodos, que contribuem para a entrada, ou não, de ventilação e insolação nos ambientes, fazendo com que a climatização mecânica possa ser menos utilizada ou até dispensada.

No caso de construções existentes, a redução no uso de aparelhos condicionadores de ambiente pode ser feita com o auxílio de medidas paliativas como, por exemplo, a instalação de *brise-soleil*, de películas protetoras nas aberturas, e arborização do entorno quando possível.

A avaliação do conforto térmico nas construções é essencial para auxiliar na promoção do bem-estar de seus ocupantes e contribuir para a redução do consumo de energia, favorecendo assim, o crescimento do número de edifícios termicamente eficientes.



Sendo assim, os ambientes escolares necessitam de atenção especial com relação ao conforto térmico, uma vez que, estes têm a função de preparar os indivíduos para desempenharem funções importantes na sociedade. Visto isso, precisam proporcionar um cenário adequado para a realização das atividades de seus usuários.

Portanto, nesta pesquisa, foram estudadas variáveis relacionadas ao conforto térmico em salas de aula, com o intuito de identificar se os ambientes atendem ou não a requisitos mínimos de conforto térmico para seus usuários.

## 1.1 Justificativa

O ambiente escolar é um local de convívio e integração sociocultural, que contribui para o desenvolvimento dos indivíduos que o frequenta. Nas universidades, além desta integração sociocultural, há também a preparação de futuros profissionais, sejam eles de base intelectual, científica ou técnica.

Para que escolas e universidades possam cumprir seu papel, é necessário que tais ambientes tenham condições físicas favoráveis para atenderem seus usuários. Tais condições estão diretamente ligadas ao conforto que as construções propiciam aos ocupantes, sendo o conforto térmico condição importante.

O conforto térmico nas salas de aula pode interferir consideravelmente no desempenho das atividades, de modo que os alunos tenham melhores ou piores rendimentos em suas tarefas conforme a temperatura do ambiente varia. Segundo a norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013), em condições de estresse térmico, o desempenho pode cair cerca de 11% em relação ao desempenho em ambientes com condições térmicas adequadas ou neutras. Desta forma, é importante buscar maneiras de proporcionar o conforto térmico adequado aos estudantes e professores sem aumentar o consumo energético, uma vez que, a universidade possui uma coordenadoria que objetiva, dentre outras coisas, minimizar o consumo energético e torna-lo mais eficiente.

Posto isso, justifica-se a avaliação do conforto térmico das salas de aula do pavilhão 9 da Universidade Federal de Lavras, o mesmo foi escolhido devido ao seu posicionamento e condições de sombreamento inexistentes em seu entorno, representando assim, uma local favorável para o estudo. Com o estudo, espera-se contribuir para a concepção de projetos de edificações termicamente eficientes e adequados ao clima local, além de colaborar com outros pesquisadores para a elaboração de trabalhos futuros em outras localidades.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho térmico das salas de aula do pavilhão 9 da Universidade Federal de Lavras e verificar se as condições atuais atendem aos requisitos mínimos estabelecidos nas normas técnicas.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- i) Caracterizar a edificação quanto ao uso dos materiais de construção e suas especificações técnicas sobre transmissão de calor;
- ii) Caracterizar a edificação e as interferências do projeto e entorno em suas condições térmicas.;
- iii) Realizar comparação dos dados térmicos coletados entre as salas de aulas;
- iv) Verificar adequação dos dados coletados às normas técnicas NBR15575 (ABNT, 2021) e NBR15220 (ABNT, 2005)
- v) Verificar adequação dos dados coletados às normas regulamentadoras NR 15 (BRASIL, 2021) e NR 17 (BRASIL, 2018).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Conforto ambiental

O conforto ambiental pode ser descrito como a sensação de bem-estar do ser humano em relação ao ambiente no qual ele está. Sendo assim, este ambiente deve fornecer condições favoráveis de conforto térmico, acústico e lumínico, bem como, qualidade do ar interno e ergonomia, contribuindo assim, para a satisfação de seus ocupantes.

#### 2.1.1 Conforto térmico em salas de aula

A satisfação do homem quanto à sensação térmica no ambiente onde ele se encontra está relacionada a fatores físicos e psicológicos. Desta forma, a norma ASHRAE 55 (2013, p. 4), define conforto térmico como uma “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”.

As condições de conforto térmico no ambiente escolar estão diretamente relacionadas ao desempenho dos estudantes. Segundo Zeiler e Boxem (2009), a capacidade de compreensão, concentração e destreza manual dos alunos podem ser afetadas com mudanças moderadas de temperatura no ambiente escolar.

Segundo o estudo de Corgnati, Filippi e Viazzo (2007) sobre percepção do ambiente térmico em salas de aula, de acordo com as preferências subjetivas dos usuários, os ambientes considerados neutros ou quentes foram aceitos, os considerados ligeiramente quentes foram os preferidos e quando medidos como ligeiramente quentes, as pessoas optaram por não mudar a temperatura do ambiente. Já no caso dos medidos como ligeiramente frios, as pessoas optaram por esquentar o ambiente. As análises foram feitas entre final de janeiro e abril, período que compreende inverno e primavera na Itália.

Gupta, Howard e Zahiri (2019) investigaram a relação entre o ambiente interno e a produtividade no ambiente de trabalho quando os escritórios são naturalmente ventilados e mecanicamente ventilados. Segundo os autores, quando os ocupantes dos escritórios acharam as temperaturas desconfortáveis ou o ar insatisfatório, eles perceberam que sua produtividade foi afetada negativamente. De acordo com os ocupantes, quando o ar estava abafado, a produtividade diminuía, e quando as condições gerais de conforto aumentavam, a produtividade tendia a aumentar. Por fim, a pesquisa mostrou que os ocupantes dos espaços naturalmente ventilados foram mais tolerantes às mudanças no ambiente quando comparados os ocupantes

dos espaços mecanicamente ventilados, que foram mais sensíveis a pequenas mudanças. A pesquisa mencionada não contempla salas de aula, porém, as atividades nos ambientes analisados são bastante semelhantes às desenvolvidas em sala de aula.

## 2.2 Clima

A caracterização de uma determinada região se dá principalmente devido ao clima, que pode ser definido como o conjunto de fenômenos meteorológicos como chuva, umidade e temperatura (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Neste sentido, há alguns fatores que interferem diretamente nos variados tipos de clima da Terra, como a latitude, longitude, altitude e vegetação.

Longitude e latitude definem aspectos da localização e incidência dos raios solares, respectivamente. Deste modo, quanto maior a latitude, menor será a radiação solar recebida no determinado local (PALHARES, 2005).

Ao se relacionar o clima com a altitude, diretamente estamos interligando a aspectos de temperatura, já que, a altitude é definida segundo o nível do mar. Assim, quanto maior a altitude, menor será a temperatura e vice-versa.

Por fim, a vegetação também é uma influência sobre o clima dos variados locais, e afeta diretamente no conforto térmico dos edifícios, devido ao fato, de possibilitar a renovação do ar com o processo de respiração celular, além de proporcionarem sombreamento nos diversos ambientes (PALHARES, 2005).

### 2.2.1 Elementos climáticos

As edificações interagem diretamente com fatores externos do meio ambiente, sofrendo interferência direta de elementos climáticos como ventilação e radiação, que influenciam e afetam o conforto térmico na edificação.

#### 2.2.1.1 Ventilação

Segundo LabEEE (2016) ventilação corresponde a uma estratégia de substituição do ar interno (quente) pelo ar externo (frio). Deste modo, devido as substituições do ar, o referido elemento climático afeta diretamente o conforto térmico, trazendo grandes benefícios para os

ambientes internos de uma edificação, além de proporcionar o bem estar dos indivíduos que ocupam o ambiente.

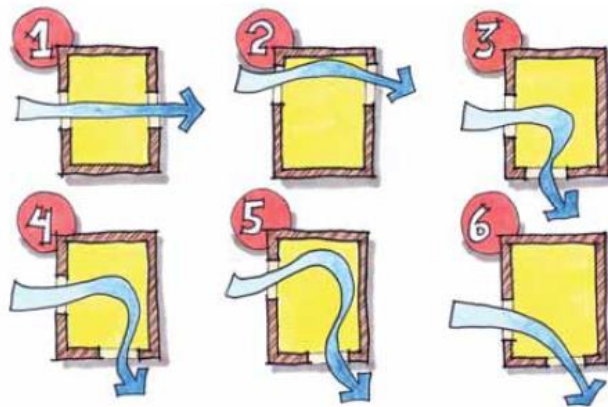
Amaral (2008) diz que a troca do ar interno de um edifício pelo ar externo, é proveniente do resultado da diferença de pressão entre o interior e o exterior, provocando escoamentos em locais que possuem aberturas ou frinchas que permitem a movimentação do ar.

Silva (2012) relata que a ventilação de um edifício pode ser obtida por meios naturais com as diferenças de pressão, assim como supracitado; por meios mecânicos, com o auxílio de ventiladores que funcionam a base de energia elétrica, ou meios híbridos quando ambos coexistem na mesma zona de ventilação.

Uma das estratégias comumente utilizadas para a movimentação do ar dentro de uma edificação, é a ventilação cruzada (FIGURA 1).

Explicado por Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a ventilação cruzada ao ser analisada, se trata basicamente de duas aberturas em paredes distintas, selecionadas de acordo com a orientação dos ventos, além disso, tal composição é considerada uma das técnicas mais eficazes de ventilação.

Figura 1- Exemplos de ventilação cruzada



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

### 2.2.1.2 Radiação

A radiação é um fenômeno que ocorre quando uma parte do calor de um corpo de maior temperatura se converte em energia e chega ao corpo de menor temperatura se transformando novamente em calor, já que, a energia é absorvida pela superfície receptora (LabEEE, 2016).

Siqueira *et al.* (2005) relata que a radiação solar que atinge a superfície de uma edificação, varia com a orientação e com as épocas do ano.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a característica determinante para o processo de absorção, é a cor do material, um material mais escuro absorve uma maior parte da radiação incidente em relação a um material mais claro. A radiação aquece o material, e em seguida é emitida para o meio, pelo processo que denominamos emissividade. Alguns valores de absortância e emissividade, relacionados com os diferentes tipos de materiais e cores, são apresentados na (TABELA 1).

Segundo Moraes *et al.* (2021), a radiação solar incidente em edificações contribui para o aumento do consumo de energia, principalmente nas que possuem vedações de baixa resistência térmica.

Tabela 1 - absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar e emissividade ( $\varepsilon$ ).

Tipo de superfície	$\alpha$	$\varepsilon$
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiacção nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:		
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
"Alumínio"	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

### 2.2.1.3 Umidade/temperatura do ar

Umidade relativa do ar, pode ser definida como a quantidade de vapor de água presente em um determinado ambiente. Está diretamente interligada com a radiação solar incidente sobre uma região, fazendo que haja a evaporação de água e, conseqüentemente, a retenção em forma de vapor pela atmosfera, até que seja atingido a saturação de retenção (BISCARO, 2007).

Neste sentido, a umidade do ar também é influenciada pela temperatura do ar, que nada mais é do que a energia cinética, associada a vibração das partículas, já que, quanto maior for a temperatura do ar, mais será a habilidade do ar em manter o vapor de água (SOUZA *et al.*, 2017).

Tanto a umidade quanto a temperatura do ar, influenciam diretamente o conforto de um indivíduo num determinado edifício. Ademais, Rijal, Humphreys e Nicol (2015) relacionam a umidade do ar à umidade da pele, sendo assim, tal elemento climático está diretamente associado com as variáveis sensações térmicas, que variam de indivíduo para indivíduo.

Além das questões apresentadas, a umidade influencia nas condições de saúde do ser humano, visto que, quando está muito baixa num determinado ambiente, torna-se propício o desenvolvimento de problemas oculares, e desconforto respiratórios.

## 2.2.2 Propriedades dos materiais

Além dos elementos climáticos, as propriedades dos materiais e suas formas de transmissão de calor, como a condutividade térmica e a resistência térmica também interferem nas condições de conforto nas edificações.

### 2.2.2.1 Condutividade Térmica

A condutividade térmica ( $\lambda$ ) de um material indica sua capacidade em conduzir calor, sendo assim, um bom condutor de calor possui condutividade térmica elevada, já os materiais conhecidos como isolantes térmicos possuem baixa condutividade.

Além disso, a condutividade térmica é uma característica de transporte, na qual ocorre transferência de calor, que depende diretamente da estrutura física, atômica e molecular da matéria. (INCROPERA *et al.*, 2008).

Na construção civil, tal parâmetro é importante, pois influencia na energia associada com o aquecimento e resfriamento dos edifícios. Assim, a escolha dos materiais a serem utilizados, bem como a análise bioclimática do local pode contribuir significativamente na construção de edifícios termicamente eficientes.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) traz alguns valores de condutividade térmica, calor específico e densidade aparente relacionados com os diferentes tipos de materiais empregados em uma edificação.

Assim sendo, materiais com alta condutividade térmica tendem a aquecer mais os ambientes, devido ao agitação das suas moléculas, causando uma maior geração de energia e conseqüentemente propagação do calor.

### 2.2.2.2 Resistência e transmitância térmica

A resistência térmica é uma propriedade que mede o quanto o material resiste ao fluxo de calor, que se altera quando superfícies são colocadas em contato, onde tais superfícies são influenciadas diretamente pelas propriedades físicas e térmicas desses materiais (GARCIA; CARAJILESCOV, 1988)

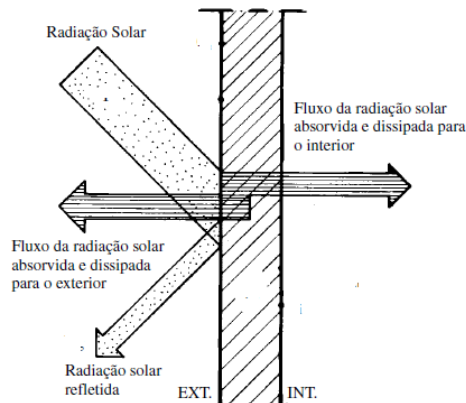
Já o inverso da resistência térmica é definido como transmitância térmica, segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005).

Deste modo, explicado por André (2019, p.10):

A transmitância térmica ( $U$ ), é uma variável importante para a avaliação de desempenho de fechamentos opacos. Dentre os fatores que podem influenciar esses índices encontram-se radiação solar, fechamentos opacos e transparentes. A principal diferença entre os dois é sua capacidade (transparentes) ou incapacidade (opacos) de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

Em superfícies opacas, somente uma pequena parte da radiação incidente é absorvida pelo meio interno, e o restante é refletido (FIGURA 2).

Figura 2 - Troca de calor através de superfícies opacas.

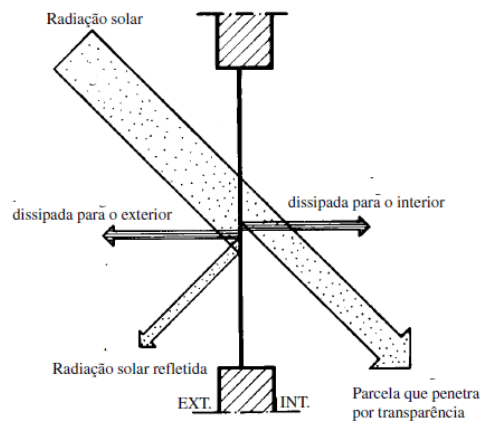


Fonte: Frota e Schiffer (2001).

Já em superfícies transparentes uma parcela da radiação é absorvida, outra refletida e a maior parte é transmitida diretamente para o meio interno devido a transparência, podendo causar em alguns casos um aquecimento demasiado (FIGURA 3).



Figura 3 - Troca de calor através de superfícies transparentes.



Fonte: Frota e Schiffer (2001).

### 2.3 Arquitetura bioclimática

De acordo com Neves (2006, p.21) “a arquitetura bioclimática procura minimizar os impactos resultantes de uma intervenção no meio e obter uma relação harmônica entre a paisagem e a construção.”

Kunen e Davaglio (2020), trazem que a arquitetura bioclimática apresenta alta eficiência energética, pois nela há uma captação e conservação de energia, devido ao fato de serem utilizados aspectos naturais como vento, sol e vegetação, na própria edificação, permitindo condições adequadas de conforto físico e mental. Além de possibilitar uma redução da poluição ambiental. Logo, que tal modelo de arquitetura está diretamente relacionado com a sustentabilidade.

Sousa (2020) afirma que, a inserção das estratégias relacionadas a arquitetura bioclimática se baseia na redução das cargas térmicas internas das edificações e suas consequências se relacionam ao fato do elevado consumo energético mundial.

A arquitetura bioclimática possibilita melhorias nas edificações a partir de estratégias simples, como o fato de projetar levando em consideração a posição solar sobre a edificação, as cores utilizadas, posicionamento correto das aberturas para controle das correntes de ar, dentre outros.

Portanto, arquitetura bioclimática tende a trazer benefícios às edificações, aproximando cada vez mais o ser humano com o meio ambiente, e aproveitando o máximo possível dos recursos naturais oferecidos.

## 2.4 Normas e requisitos técnicos

Normas técnicas são documentos elaborados e aprovados por organizações conhecidas, com o intuito de estabelecer padrões, limites, regras e diretrizes para obter maior eficiência, qualidade e segurança de produtos e serviços diversos.

No Brasil, a avaliação do desempenho térmico de edificações leva em consideração prescrições normativas das normas NBR 15220 – Desempenho Térmico em Edificações (ABNT, 2005) e NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2021).

Também podem ser utilizadas como referências as normas regulamentadoras de Atividades e Operações Insalubres (NR15, 2021) e de Ergonomia (NR17, 2018), que estabelecem os limites de temperatura, umidade e índice de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG).

### 2.4.1 NBR 15220

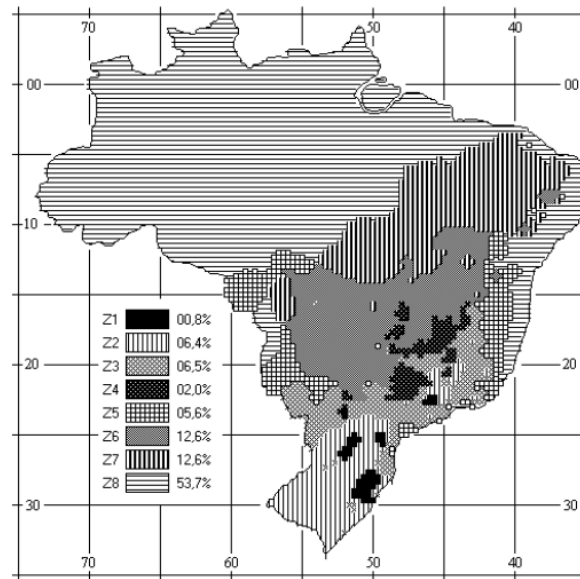
A NBR 15220 (ABNT, 2005) tem o objetivo de caracterizar aspectos relacionados ao desempenho térmico das edificações. Tal norma é dividida em 5 partes, em que a primeira visa definições, símbolos e unidades.

Já a segunda parte evidencia os cálculos das propriedades térmicas, como transmitância e resistência térmica, capacidade térmica e atraso térmico. Além de estabelecer alguns valores padronizados das propriedades dos materiais como absorvância, emissividade, densidade, condutividade térmica e calor específico, quando estes não são disponibilizados pelos fabricantes.

A parte três da norma divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas (FIGURA 4), com o intuito de realizar estratégias de condicionamento térmico passivo, podendo utilizar os conceitos da arquitetura bioclimática, haja vista que, os edifícios tendem a apresentar características térmicas similares quando estão dentro da mesma zona bioclimática.

As partes quatro e cinco mostram os passos para realizar a medição das devidas propriedades térmicas.

Figura 4 - Zonas Bioclimáticas.



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Deste modo, Pereira (2019) traz que a norma, além de objetivar a melhora do desempenho térmico, evidencia as estratégias levando em consideração o zoneamento, para a elaboração de diretrizes construtivas, baseando-se em alguns parâmetros como, tamanho de aberturas para ventilação, tipo de paredes, e estratégias de condicionamento térmico passivo, para aquecimento e resfriamento das edificações.

#### 2.4.2 NBR 15575

A NBR 15575 (ABNT, 2013), é uma norma que visa atender os usuários quanto a utilização de uma edificação, e não a prescrição dos sistemas construtivos. Dentre os aspectos de atendimento aos indivíduos, estão envolvidos o desempenho térmico, acústico e lumínico.

Para a avaliação do desempenho térmico segundo a norma, existem três procedimentos: o simplificado, o de medição *in loco* e a simulação computacional. Todos esses procedimentos devem levar em consideração a zona bioclimática definida na NBR 15220 (ABNT, 2005).

A recomendação normativa prevê requisitos mínimos referentes a aberturas nas fachadas, levando em consideração a correta ventilação dos ambientes internos da edificação.

Ademais, a referida norma estabelece critérios de valores de temperatura para condições de verão e para condições de inverno, estabelecendo limites máximos e mínimos para esse fator, todos levando em consideração o zoneamento bioclimático.

### 2.4.3 NR 15

A norma regulamentadora 15 (BRASIL, 2021) trata das atividades e operações insalubres, estabelecendo assim limites de tolerância para ruídos e de exposição ao calor, por exemplo

Assim, para a determinação dos limites de tolerância máximos para exposição ao calor, deve ser considerado o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG), que leva em consideração a taxa metabólica (TABELA 2).

Tabela 2 - Limites de tolerância máximos do IBUTG.

M [W]	IBUTG <sub>MÁX</sub> [°C]	M [W]	IBUTG <sub>MÁX</sub> [°C]	M [W]	IBUTG <sub>MÁX</sub> [°C]
100	33,7	186	30,6	346	27,5
102	33,6	189	30,5	353	27,4
104	33,5	193	30,4	360	27,3
106	33,4	197	30,3	367	27,2
108	33,3	201	30,2	374	27,1
110	33,2	205	30,1	382	27,0
112	33,1	209	30,0	390	26,9
115	33,0	214	29,9	398	26,8
117	32,9	218	29,8	406	26,7
119	32,8	222	29,7	414	26,6
122	32,7	227	29,6	422	26,5
124	32,6	231	29,5	431	26,4
127	32,5	236	29,4	440	26,3
129	32,4	241	29,3	448	26,2
132	32,3	246	29,2	458	26,1
135	32,2	251	29,1	467	26,0
137	32,1	256	29,0	476	25,9
140	32,0	261	28,9	486	25,8
143	31,9	266	28,8	496	25,7
146	31,8	272	28,7	506	25,6
149	31,7	277	28,6	516	25,5
152	31,6	283	28,5	526	25,4
155	31,5	289	28,4	537	25,3
158	31,4	294	28,3	548	25,2
161	31,3	300	28,2	559	25,1
165	31,2	306	28,1	570	25,0
168	31,1	313	28,0	582	24,9
171	31,0	319	27,9	594	24,8
175	30,9	325	27,8	606	24,7
178	30,8	332	27,7		
182	30,7	339	27,6		

Fonte: NR15 (BRASIL, 2021).

Neste seguimento, para a determinação da taxa metabólica, deve ser levado em consideração a atividade exercida pelo usuário (TABELA 3).

Tabela 3 - Taxa metabólica por tipo de atividade.

Atividade	Taxa metabólica (W)
<b>Sentado</b>	
Em repouso	100
Trabalho leve com as mãos	126
Trabalho moderado com as mãos	153
Trabalho pesado com as mãos	171
Trabalho leve com um braço	162
Trabalho moderado com um braço	198
Trabalho pesado com um braço	234
Trabalho leve com dois braços	216
Trabalho moderado com dois braços	252
Trabalho pesado com dois braços	288
Trabalho leve com braços e pernas	324
Trabalho moderado com braços e pernas	441
Trabalho pesado com braços e pernas	603
<b>Em pé, agachado ou ajoelhado</b>	
Em repouso	126
Trabalho leve com as mãos	153
Trabalho moderado com as mãos	180

Fonte: Adaptado de NR15 (BRASIL, 2021).

#### 2.4.4 NR 17

A NR 17 (BRASIL, 2018) estabelece limites e padrões que permitem a adaptação as variadas condições de trabalho, com o intuito de proporcionar maior conforto, desempenho e segurança aos indivíduos, ou seja, relaciona-se à ergonomia.

De acordo com Ferreira *et al.* (2017), ergonomia é o estudo entre o ser humanos e outros elementos de um determinado sistema, buscando a otimização do bem estar do ser humano e o máximo desenvolvimento do sistema ao qual ele está inserido. Além disso, ainda de acordo com o autor, a ergonomia objetiva primordialmente a satisfação e a saúde dos indivíduos.

Segundo a NR 17 (BRASIL, 2018), para os locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, tais como: salas de controle, laboratórios, escritórios, salas de desenvolvimento ou análise de projetos, dentre outros, são recomendadas as condições de conforto apresentadas no Quadro 1.

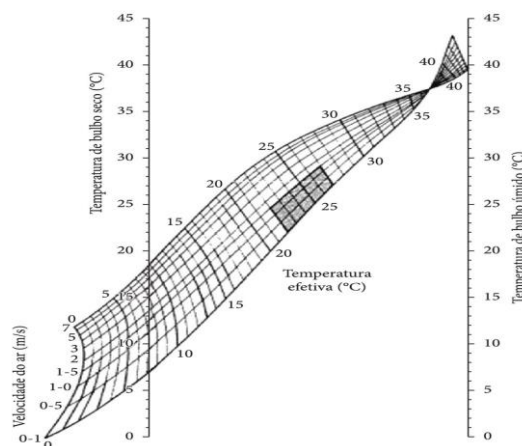
Quadro 1 – Condições de conforto segundo a NR 17.

Índice de temperatura efetiva	Velocidade do ar	Umidade relativa do ar
20°C – 23°C	≤ 0,75 m/s	≥ 40%

Fonte: NR 17 (BRASIL, 2018).

Deste modo, para a obtenção da temperatura efetiva, deve-se utilizar de um ábaco (FIGURA 5), que leva em consideração os valores obtidos a partir de uma medição *in loco*, da temperatura de bulbo úmido (°C), temperatura de bulbo seco (°C), e velocidade do ar (m/s). Além disso, têm-se para a velocidade do ar o valor estimado de 0,1 m/s quando não é possível obter o referido parâmetro na edificação analisada.

Figura 5 - Ábaco para a determinação da temperatura efetiva.



Fonte: Silva e Teixeira (2014).

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A preocupação com o conforto ambiental dos edifícios, que influenciam diretamente na qualidade e eficiência das atividades exercidas pelos indivíduos, tem impulsionado o desenvolvimento de pesquisas, com o intuito de projetar edificações que utilizem de aspectos naturais, visando adquirir maior conforto e consequente redução de energia.

Acredita-se que o presente trabalho poderá contribuir, para um modelo de mapeamento das edificações, tencionando estabelecer uma ordem de predileção para as edificações que necessitam de equipamentos que amplifiquem o conforto dos ambientes, quando não for possível utilizar de aspectos naturais como sol e vento.

## REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, M. E. I. **ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL COM O USO DE FERRAMENTAS BIM**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers, 2013. **Ansi/Ashrae Standard 55-2013**. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE, Atlanta, USA.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.
- BISCARO, G. A. Meteorologia Agrícola Básica. Cassilândia: 1ª ed. UNIGRAF. 2007. 87p. Disponível em: <[www.do.ufgd.edu.br/guilhrmebiscaro/arquivos/meteorologia.pdf](http://www.do.ufgd.edu.br/guilhrmebiscaro/arquivos/meteorologia.pdf)>. Acesso em: ago. 2021.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 15. **NR 15 – Atividades e operações insalubres**. Brasília, DF, 2021.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 17. **NR 17 – Ergonomia**. Brasília, DF, 2018.
- CORGNATI, S. P.; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, v. 42, p. 951-959, 2007.
- FERREIRA, Alais Souza; MERINO, Eugenio Andrés Díaz; FIGUEIREDO, Luiz Fernando Gonçalves de. Métodos utilizados na Ergonomia Organizacional: revisão de literatura. **Human Factors In Design**, [S.L.], v. 6, n. 12, p. 58-78, 12 dez. 2017. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/2316796306122017058>.
- FROTA, A.B; SCHIFFER, S.R. **MANUAL DE CONFORTO TÉRMICO**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 244 p., 2001.
- Garcia, E. C. e Carajilescov, P., “Medidas de Condutividade Térmica de Sólidos e Resistência Térmica de Contato sob Vácuo”, Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, Vol. 8, Nº 1 e 2 Outubro, pp. 141-145, 1988.
- GUPTA, R.; HOWARD A.; ZAHIRI, S. Investigating the relationship between indoor environment and workplace productivity in naturally and mechanically ventilated office environments. **Building Services Engineering Research & Technology**, v. 41, n. 3, p. 280-304, 2019.

INCROPERA, Frank P. *et al.* **FUNDAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E DE MASSA**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

KUNEN, A.; DAVOGLIO, J. C. Análise da aplicabilidade dos parâmetros bioclimáticos no desenvolvimento de projetos arquitetônicos residenciais. **Akrópolis Umuarama**, v. 28, n. 1, p. 9-18, jan./jun. 2020.

LABEE. **Desempenho Térmico de Edificações (LabEEE)** - Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia Civil - Desempenho Térmico de Edificações, 2016. Disponível em: <[https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/apostilaecv5161\\_v2016.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/apostilaecv5161_v2016.pdf)>. Acesso em: 27 jun. de 2021.

LAMBERTS R., DUTRA, L. E PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura** [Livro]. ELETROBRAS/PROCEL. 3 ed. 2014.

MORAES, Márcio Ribas; SANTOS, Evafran Moreira dos; RAELE, Marcus Paulo. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS ALVENARIAS DE UMA EDIFICAÇÃO EM REGIÃO DE CLIMA QUENTE E SECO / EVALUATION OF THE THERMAL PERFORMANCE OF MASONRY IN A BUILDING IN A REGION OF HOT AND DRY CLIMATE. **Brazilian Journal of Development**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 15205-15216, 2021. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n2-238>.

NEVES, L. O. Arquitetura Bioclimática e a obra de Severino Porto: estratégias de ventilação natural. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PALHARES, F. B. **Introdução ao Conforto Ambiental**, Versão Digital, 2005. Disponível em: [http://www.fec.unicamp.br/~luharris/galeria/ic042\\_05/TIDIA-ae\\_TopicoA\\_mat-apoio\\_S04\\_C-Termico.pdf](http://www.fec.unicamp.br/~luharris/galeria/ic042_05/TIDIA-ae_TopicoA_mat-apoio_S04_C-Termico.pdf). Acesso em: 15 de outubro de 2021.

PEREIRA, Adriana Rodrigues. **Análise do conforto térmico para usuários de uma moradia universitária e do desempenho térmico de sua envoltória**. 2019. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, CEFET - Mg, Belo Horizonte, 2019.

RIJAL, H. B.; HUMPHREYS, M.; NICOL, F. Adaptive thermal comfort in japanese houses during the summer season: behavioral adaptation and the effect of humidity. **Buildings**, v. 5, n. 3, p. 1037-1054, 2015.

Silva, J. **A ventilação natural como melhoria do desempenho energético de edifícios residenciais**. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 2012.

SILVA, José Reinaldo Moreira da; TEIXEIRA, Renilson Luiz. Sobrecarga térmica em fábrica de móveis. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 494-500, 10 out. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.004012>.

SIQUEIRA, T. C. P. A.; AKUTSU, M.; LOPES, J. I. E.; SOUZA, H. Ar. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Rem: Rev. Esc. Minas**. v.58, n.2, p.133-138, 2005.



SOUSA, Jurema Porto. Conforto térmico e ambiental em edificações. In: CONGRESSO ARAGUAIENSE DE CIÊNCIAS EXATA, TECNOLÓGICA E SOCIAL APLICADA, p. 1-7, 2020, Santana do Araguaia. **Anais...** Santana do Araguaia: II CONARA, 2020.

Souza, R. B.; Reboita, M. S.; Werle, A. P.; Costa, E. B. C. Influência das variáveis atmosféricas na degradação dos materiais da construção civil. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.13, n.1, 2017. p. 1-19.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**, Versão Digital 2, 2006. v. 1. Disponível em:

<[https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA\\_E\\_CLIMATOLOGIA\\_VD2\\_Mar\\_2006.pdf](https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf)>. Acesso em: 15 out. de 2021.

ZEILER, W.; BOXEM, G. Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. **Building and Environment**, v. 44, p. 2308-2317, 2009.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGO**

Elaborado conforme o Template da Revista

## Avaliação do Ambiente Térmico em Salas de Aula da Universidade Federal de Lavras

### Evaluation of Thermal Environment in Classrooms of the Federal University of Lavras

Haysa Moreira Franco Rocha <sup>1</sup>, Júlio Gabriel Trindade de Oliveira <sup>2</sup>, Priscilla Abreu Pereira Ribeiro <sup>3</sup>, Luana Elis de Ramos e Paula <sup>4</sup>

Espaço restrito aos editores de layout da REEC.

#### **PALAVRAS CHAVE:**

Conforto ambiental;  
Salas de aula;  
Ambiente;  
Temperatura;  
Umidade;

#### **KEYWORDS:**

*Environmental comfort;*  
*Classrooms;*  
*Environment;*  
*Temperature;*  
*Humidity.*

**RESUMO:** Uma das principais funções de uma edificação é proporcionar proteção e conforto para os indivíduos realizarem as suas atividades. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo monitorar as salas de aula do Pavilhão 9 da Universidade Federal de Lavras para avaliar as condições de conforto ambiental destas, verificando quanto ao atendimento das normas NBR 15575 – Edificações Habitacionais (ABNT, 2021) e também análise dos limites estabelecidos pela NR 15 – Atividades e operações insalubres (Brasil, 2021) e NR 17 – Ergonomia (Brasil, 2018) voltadas para as condições adequadas de trabalho. Com o auxílio de um medidor de estresse térmico foram coletados dados de temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, índice de temperatura de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG), utilizou-se também um termo-higrômetro digital para a coleta dos dados de umidade do ar. Referente ao IBUTG, este foi verificado quanto ao valor limite estabelecido para rotinas de trabalho leve com as mãos estabelecido pela NR 15. As variáveis de temperatura efetiva e umidade foram analisadas segundo os limites estabelecidos pela NR 17. Assim, os resultados encontrados mostram que as salas de aula analisadas atendem as normas NBR 15575, NR 15. Já a NR 17, foi atendida quanto à umidade, mas não, quanto à temperatura efetiva. Assim, tal estudo contribui para possíveis melhorias no conforto dos ambientes.

**ABSTRACT:** One of the main functions of a building is to provide protection and comfort for individuals to carry out their activities. Therefore, this work aims to monitor the classrooms of Pavilion 9 of the Federal University of Lavras to assess their environmental comfort conditions, checking for compliance with standards NBR 15575 - Housing Buildings (ABNT, 2021) and also analysis of limits established by NR 15 - Unhealthy activities and operations (Brazil, 2021) and NR 17 - Ergonomics (Brazil, 2018) aimed at adequate working conditions. With the aid of a thermal stress meter, data on air temperature, wet bulb temperature, wet bulb temperature index globe thermometer (IBUTG) were collected, and a digital thermo-hygrometer was also used to collect the data on air humidity. Regarding the IBUTG, this was verified as to the limit value established for light work routines with the hands established by NR 15. The variables of effective temperature and humidity were analyzed according to the limits established by NR 17. Thus, the results found show that the analyzed classrooms meet the standards NBR 15575, NR 15. On the other hand, the NR17 was met in terms of humidity, but not in terms of effective temperature. Thus, this study contributes to possible improvements in the comfort of environments. Thus, this study contributes to possible improvements in the comfort of environments.

#### **\* Contato com os autores:**

<sup>1</sup> e-mail: [haysamf@gmail.com](mailto:haysamf@gmail.com) (H. M. F. Rocha)

Engenharia Civil, Bacharel, Estudante, UFLA

<sup>2</sup> e-mail: [jgabriel0499@gmail.com](mailto:jgabriel0499@gmail.com) (J. G. T. de Oliveira)

Engenharia Civil, Bacharel, Estudante, UFLA

<sup>3</sup> e-mail: [priscilla.ribeiro@ufla.br](mailto:priscilla.ribeiro@ufla.br) (P. R. de Abreu)

Arquitetura e Urbanismo, Doutora, Professora, UFLA

<sup>4</sup> e-mail: [luana.paula@ufla.br](mailto:luana.paula@ufla.br) (L. E. R. Paula)

Engenharia Florestal, Doutora, Professora, UFLA

ISSN: 2179-0612

© 2017 REEC - Todos os direitos reservados.

## 1. INTRODUÇÃO

O conforto térmico dos ambientes habitados é uma questão importante visto que as construções precisam oferecer condições favoráveis para seus usuários. O bem-estar dos ocupantes é primordial para que estes possam desempenhar bem suas atividades, sejam elas de descanso, lazer, trabalho ou estudo.

No ambiente escolar, o conforto térmico está diretamente ligado ao desempenho dos estudantes, podendo interferir de maneira positiva ou negativa na capacidade de compreensão, concentração e destreza manual dos alunos (ZEILER; BOXEM, 2009).

Atualmente é comum a utilização de mecanismos de climatização para promover conforto térmico aos usuários das edificações, o que culmina em um elevado gasto energético. Visto isto, faz-se necessário buscar alternativas para a redução do uso de climatização mecânica, em alguns casos, a solução pode vir da escolha dos materiais de construção e de uma arquitetura pensada para otimizar elementos locais como relevo e clima, por exemplo.

Esta arquitetura pensada em conjunto com o entorno, com a finalidade de aumentar o conforto de seus ocupantes, reduzir os gastos energéticos e promover a construção de edifícios mais sustentáveis e termicamente eficientes é conhecida como arquitetura bioclimática. Esse viés da arquitetura está cada vez mais presente nas construções atuais, e contribui com a redução do consumo de energia elétrica na pós-ocupação dos edifícios (DIAS, 2009; KUNEN; DAVOGLIO, 2020; SOUSA, 2020).

Pensar em minimizar a utilização de recursos naturais para que as próximas gerações tenham recursos suficientes é uma maneira sustentável de pensar as novas construções e conduzir a ocupação e uso eficiente das existentes. Sendo assim, as universidades, por serem geradoras e divulgadoras de conhecimentos, estão cada vez mais empenhadas em contribuir para o desenvolvimento sustentável do planeta.

O ambiente escolar é um local de convívio e integração sociocultural, que contribui para o desenvolvimento dos indivíduos que o frequenta. Nas universidades, além desta integração sociocultural, há também a preparação de futuros profissionais, sejam eles de base intelectual, científica ou técnica.

Para que escolas e universidades possam cumprir seu papel de preparar os indivíduos para desempenharem funções importantes na sociedade, é necessário que tais ambientes tenham condições físicas favoráveis para atenderem seus usuários. Tais condições estão diretamente ligadas ao conforto que as construções propiciam aos ocupantes, sendo o conforto térmico condição importante.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) ocupa o 2º lugar referente as universidades mais sustentáveis do Brasil, no UI GreenMetric World University Ranking, que avalia ações sustentáveis desenvolvidas por instituições de ensino no mundo inteiro (PORTAL UFLA, 2020). A UFLA implantou projetos referentes a estações de tratamento de água e de esgoto, manejo de energia, proteção de matas ciliares, entre outros (SILVA; BAHIA, 2019). A eficiência energética da universidade é uma questão que vem sendo analisada e estudada nos últimos anos, e as condições de conforto térmico das salas de aula podem interferir de maneira significativa na utilização da energia elétrica no campus.

O desempenho dos estudantes pode ser bastante influenciado pelo conforto térmico nas salas de aula, de modo que estes tenham melhores ou piores rendimentos em suas tarefas conforme a temperatura do ambiente varia (AZEVEDO, 2012). Desta forma, é importante buscar maneiras de proporcionar o conforto térmico adequado aos estudantes e professores sem aumentar o consumo energético.

A UFLA possui vários pavilhões de aulas, dentre eles, o pavilhão 9, que se encontra em uma região do campus onde não há elementos de sombreamento para o mesmo, fazendo com que este receba bastante insolação durante o dia.

Posto isso, justifica-se a avaliação do conforto térmico das salas de aula do pavilhão 9 da Universidade Federal de Lavras. Com o estudo, espera-se contribuir para a concepção de projetos de edificações termicamente eficientes e adequados ao clima local, colaborar com outros pesquisadores para a elaboração de trabalhos futuros em outras localidades, além de auxiliar a gestão da UFLA na definição de prioridades para instalação de climatização mecânica e uso eficiente de energia elétrica.

## 2. OBJETIVO

Diante do exposto, este trabalho teve como finalidade monitorar as salas de aula do pavilhão 9 da Universidade Federal de Lavras para avaliar as condições de conforto ambiental destas, verificando se as condições atuais atendem aos requisitos mínimos estabelecidos nas normas NBR15220 – Desempenho térmico em edificações (ABNT, 2005) e NBR15575 – Edificações habitacionais – Desempenho e também análise dos limites estabelecidos (ABNT, 2021) pela NR 15 (Atividades e operações insalubres) (BRASIL, 2021) e NR 17 (Ergonomia) (BRASIL, 2018) voltadas para as condições adequadas de trabalho.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E CONTEXTUALIZAÇÃO**

#### **3.1 CONFORTO TÉRMICO EM SALAS DE AULA**

A satisfação do homem quanto à sensação térmica no ambiente onde ele se encontra está relacionada a fatores físicos e psicológicos. Desta forma, a norma ASHRAE 55 (2013, p. 4), define conforto térmico como uma “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”.

As condições de conforto térmico no ambiente escolar estão diretamente relacionadas ao desempenho dos estudantes. As variações de temperatura e umidade no interior das salas de aula podem influenciar na capacidade de realização das atividades propostas, interferindo na concentração, entendimento e até mesmo na destreza manual dos alunos (AZEVEDO, 2012; FARIA, 2013; ZEILER; BOXEM, 2009).

Vários estudos estão sendo realizados por todo o mundo com o intuito de avaliar as condições de conforto térmico em salas de aula, a influência das variáveis térmicas sobre os estudantes, bem como maneiras de otimizar a eficiência energética dos prédios escolares (CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO, 2007; JING et al., 2019; KIM; DEAR, 2006).

De acordo com a pesquisa realizada por Marçal et al. (2019) em duas instituições públicas de educação superior em Minas Gerais, nota-se que as variações de temperatura no ambiente escolar interferem no rendimento dos estudantes. Os resultados apontaram que na instituição de Belo Horizonte, 70% dos discentes declararam ter a atividade de estudo prejudicada no ambiente de sala de aula. Já na instituição de Ouro Preto, 79% dos alunos afirmaram conseguir desenvolver a atividade de estudo normalmente no interior das salas de aula. Os autores analisaram as sensações percebidas pelos estudantes após um tempo de permanência em sala de aula, com base nestas informações, os autores afirmaram que há significativa incidência de impaciência, sonolência e dificuldade de concentração devido à falta de conforto térmico no ambiente, sendo estas sensações determinantes para baixa na atenção.

#### **3.2 DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES E PROJETOS BIOCLIMÁTICOS**

O desempenho térmico de uma edificação está relacionado com diversos fatores, dentre eles, sua arquitetura e seu entorno. Conhecer o clima local é de suma importância para a elaboração de um projeto arquitetônico que viabilize o conforto ambiental da edificação (DIAS, 2009).

Dessa maneira, a arquitetura bioclimática contribui significativamente para a criação de ambientes termicamente eficientes, uma vez que, o conhecimento das variáveis climáticas e de sua influência na construção, auxilia na concepção de projetos que permitem a implantação de sistemas passivos de resfriamento (MACIEL, 2002). Sendo assim, torna-se possível a eliminação de mecanismos de climatização dos ambientes, o que favorece para a redução no consumo de energia elétrica destes edifícios.

Visto isso, nota-se que a utilização de princípios bioclimáticos para projetar as edificações escolares é um instrumento indispensável para a obtenção de construções que promovam conforto térmico a seus ocupantes.

#### **3.3 VARIÁVEIS AMBIENTAIS**

Algumas variáveis ambientais estão diretamente ligadas ao conforto térmico dos ambientes construídos, como por exemplo, o vento, a radiação solar, a umidade e temperatura do ar.

Segundo LabEEE (2016) ventilação corresponde a uma estratégia de substituição do ar interno (quente) pelo ar externo (frio). Deste modo, devido as substituições do ar, o referido elemento climático afeta diretamente o conforto térmico, trazendo grandes benefícios para os ambientes internos de uma edificação, além de proporcionar o bem estar dos indivíduos que ocupam o ambiente.

A radiação solar é absorvida pelas paredes externas e cobertura das construções, em seguida, é transmitida para o ambiente interno. Segundo Moraes et al. (2021), a radiação solar incidente em edificações contribui para o aumento do consumo de energia, principalmente nas que possuem vedações de baixa resistência térmica.

Umidade relativa do ar, pode ser definida como a quantidade de vapor de água presente em um determinado ambiente. Está diretamente interligada com a radiação solar incidente sobre uma região, fazendo que haja a evaporação de água e, conseqüentemente, a retenção em forma de vapor pela atmosfera, até que seja atingido a saturação de retenção (BISCARO, 2007).

Neste sentido, a umidade do ar também é influenciada pela temperatura do ar, que nada mais é do que a energia cinética, associada a vibração das partículas, já que, quanto maior for a temperatura do ar, mais será a habilidade do ar em manter o vapor de água (SOUZA et al., 2017).

Tanto a umidade quanto a temperatura do ar, influenciam diretamente o conforto de um indivíduo num determinado edifício. Ademais, Rijal, Humphreys e Nicol (2015) relacionam a umidade do ar à umidade da pele, sendo assim, tal elemento climático está diretamente associado com as variáveis sensações térmicas, que variam de indivíduo para indivíduo.

#### 4. METODOLOGIA

Esta pesquisa consistiu em monitorar as condições de conforto ambiental em salas de aula da Universidade Federal de Lavras, na cidade de Lavras/MG.

O estudo foi realizado no pavilhão de aulas 9 durante os meses de setembro e outubro de 2021, contemplando assim o final do inverno e a primavera.

A obtenção dos dados para a consolidação da pesquisa foi feita com o auxílio de um medidor de estresse térmico, sendo coletados dados de temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo, índice de temperatura de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG). Além de um termo-higrômetro digital, para coleta de dados de umidade. As medições foram realizadas in loco, dois dias por semana, durante cinco semanas, contemplando o final do inverno e início da primavera. Em cada dia de medição as coletas foram realizadas em dois períodos, na manhã, às 10:00 h, e à tarde, às 14:00 h.

##### 4.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA AS MEDIÇÕES *IN LOCO*

Para a coleta dos dados de temperatura foi utilizado o Medidor de Stress Térmico TGD400 da *Instrutherm*, posicionado a uma altura de 1,50 m. De acordo com o manual do equipamento, o mesmo efetua uma medição rápida e precisa do IBUTG, índice que correlaciona diferentes condições ambientais e analisa a sensação térmica efetiva dos ambientes, o que possibilita a determinação um regime apropriado de trabalho e descanso, quando utilizado em conjunto com as normas. O equipamento utiliza um sensor de bulbo seco para medir a temperatura ambiental.

Para a aferição da umidade nos ambientes foi utilizado um termo-higrômetro digital HT-7020 da *Incel Manaus*.

Os equipamentos foram posicionados no centro das salas de aula conforme Figura 1, para a coleta das variáveis de estudo. Devido ao cenário pandêmico, as salas de aula encontravam-se vazias durante o período de coleta dos dados, o que de alguma maneira interferiu nas variáveis coletadas, uma vez que a presença dos alunos e professores pode influenciar no valor destas variáveis.



**FIGURA 1:** Posicionamento dos equipamentos de medição dentro das salas.  
**FONTE:** Autoria Própria (2021).

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE LAVRAS

A cidade de Lavras se encontra na mesorregião do Campo das Vertentes do estado de Minas Gerais, na latitude 21° 14' 43" sul e longitude 44° 59' 59" oeste a uma altitude de 919 metros acima do nível do mar, no bioma Mata Atlântica.

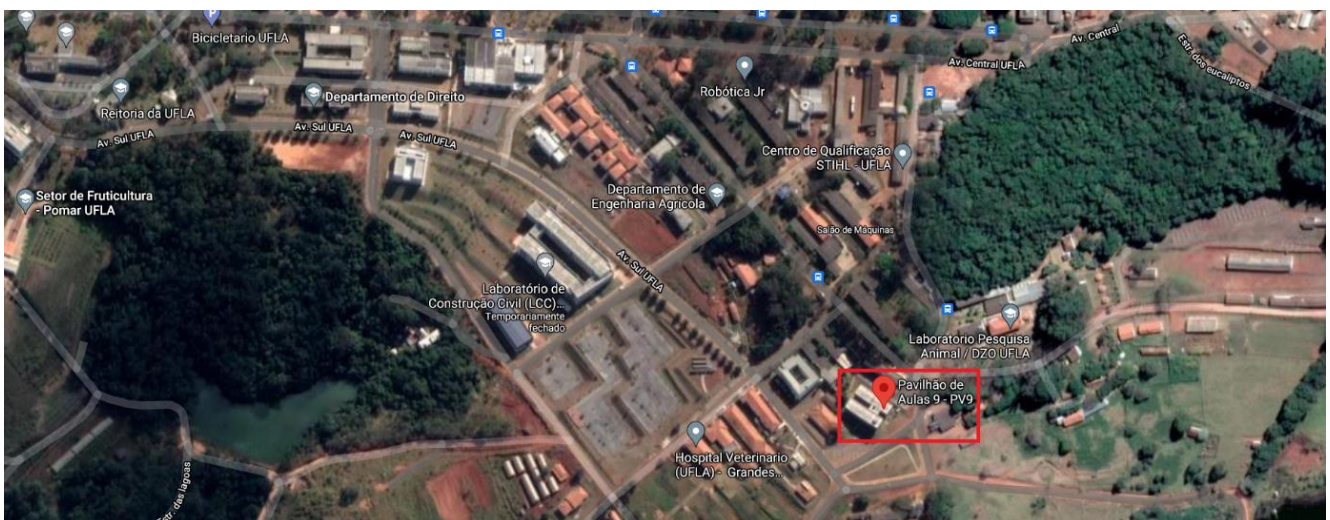
Com área de 564,74 km<sup>2</sup> e população estimada de 104.783 habitantes no ano de 2020, segundo estimativa do IBGE (2021).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Lavras é **Cwa**. Segundo Dantas, Carvalho e Ferreira (2007), esse clima se caracteriza como subtropical com inverno seco e verão chuvoso, e temperatura do mês mais quente maior que 22°C.

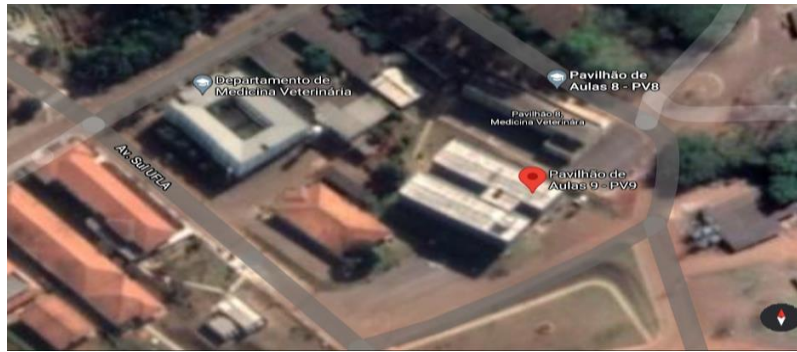
De acordo com o site Climate-data (2021), Lavras tem uma temperatura média de 20.2°C. 1237 mm é o valor da pluviosidade média anual.

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

O pavilhão de aulas 9 está localizado na Avenida Sul do campus da UFLA na latitude 21°13'51.8" sul e longitude 44°58'23.4" oeste e altitude de 924 m (FIGURA 2 e 3).



**FIGURA 2:** Vista aérea da localização do pavilhão de aulas 9.  
**FONTE:** Google Maps (2021).

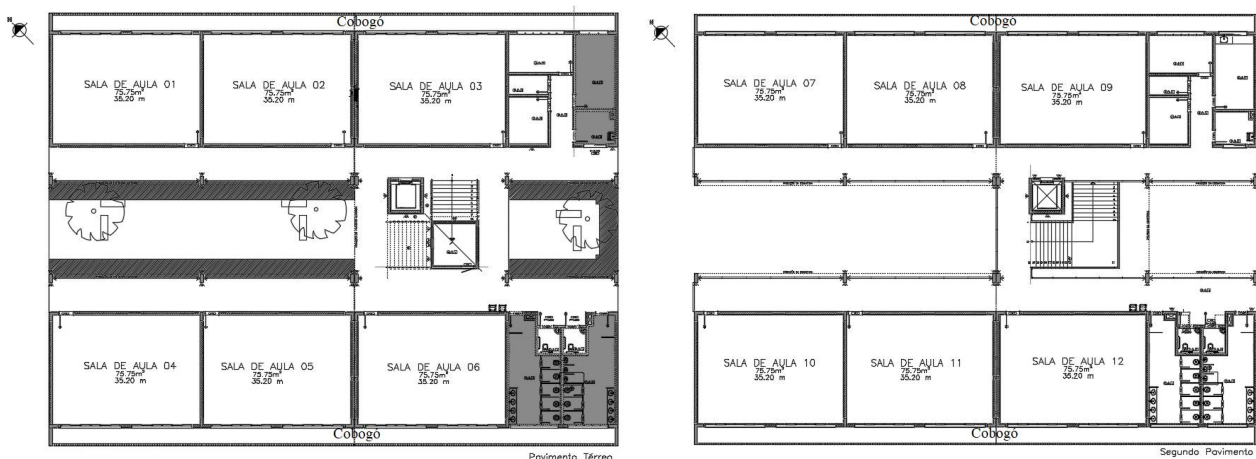


**FIGURA 3:** Vista aérea do pavilhão de aulas 9.

**FONTE:** Google Maps (2021).

A edificação possui elementos estruturais de concreto armado, com paredes em bloco cerâmico furado de 19 cm, argamassa e pintura (cor palha nas paredes internas e paredes externas do corredor, e cor azul nas paredes externas do pavilhão). Os pisos utilizados foram do tipo paviflex, tipo gail e cerâmico, nas salas de aula, corredores e banheiros respectivamente.

A edificação é constituída por dois andares que reúnem 12 salas de aula com área de 75,75 m<sup>2</sup> cada. As 6 salas do primeiro andar possuem pé direito útil de 3,50 m, já as 6 salas do segundo andar possuem pé direito útil de 3,60 m. A planta baixa do pavimento térreo e do segundo pavimento estão representadas nas Figuras 4.



**FIGURA 4:** Planta baixa Pavimento térreo (esq.) Planta baixa Segundo pavimento (dir.).

**FONTE:** Autoria Própria (2021).

#### 4.3.1 Características estratégicas da edificação

Algumas características construtivas e de entorno podem contribuir para a eficiência térmica dos edifícios, tornando-os mais ou menos confortáveis a seus ocupantes.

O pavilhão 9 traz algumas características que serão descritas a seguir, como aberturas para ventilação e ventilação cruzada das salas de aula, cobogó, área de sombreamento e orientação solar.

##### 4.3.1.1 Aberturas

As salas de aula possuem janelas nas duas laterais, sendo as janelas do lado do corredor interno de 3,50x0,80 m com 2,15 m de peitoril e as janelas voltadas para o lado externo de 4,20x1,70 m com 0,90 m de peitoril, conforme a Figura 5.



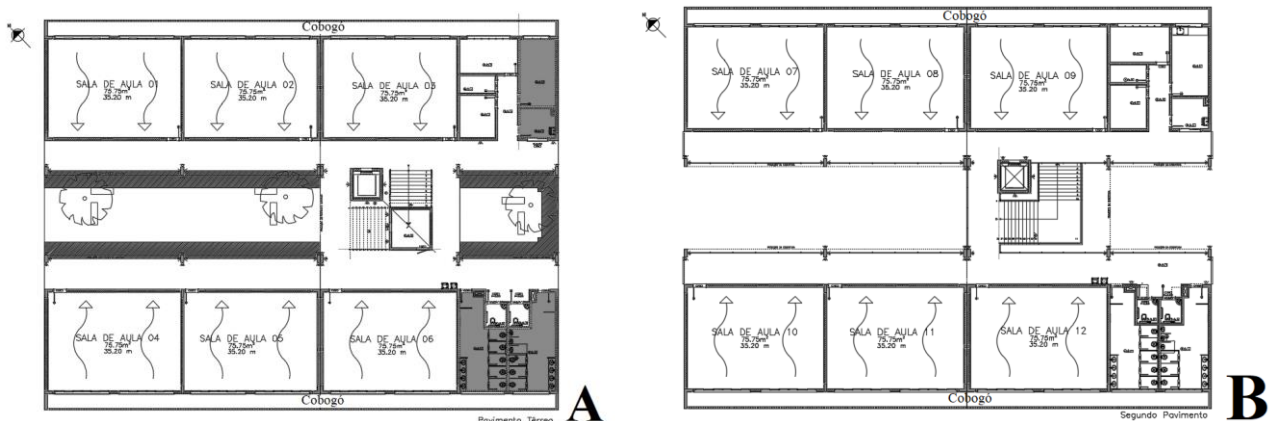


**FIGURA 5:** Aberturas laterais das salas de aula - (A) aberturas para a parte externa (B) aberturas para o corredor.  
**FONTE:** Autoria Própria (2021).

#### 4.3.1.2 Ventilação cruzada

Segundo Posebom et al. (2016) “a ventilação cruzada é o fenômeno da movimentação do ar no interior das edificações sem a indução de nenhum sistema mecânico”, e para que ela ocorra “é necessário que existam duas aberturas em face oposta ou adjacente, assim o ar fluirá pelo ambiente carregando consigo o ar quente e deixando o ar fresco dentro do ambiente”.

Na edificação de estudo, todas as salas de aula possuem aberturas nas duas laterais, propiciando a ventilação cruzada dos ambientes conforme a Figura 6.



**FIGURA 6:** Esquema de ventilação cruzada nas salas de aula – (A) Pavimento térreo (B) Segundo pavimento.  
**FONTE:** Autoria Própria (2021).

A utilização dessa estratégia influencia no conforto térmico dos ambientes, favorecendo as trocas de calor, por meio da circulação e renovação do ar no interior da edificação.

#### 4.3.1.3 Cobogó

Algumas construções utilizam elementos vazados em suas fachadas com o intuito de reduzir a incidência solar, e manter a circulação de ar. Sendo assim, o pavilhão de aulas 9 possui cobogó do tipo colmeia, em alumínio, instalados nas faces nordeste e sudoeste, conforme Figura 7.



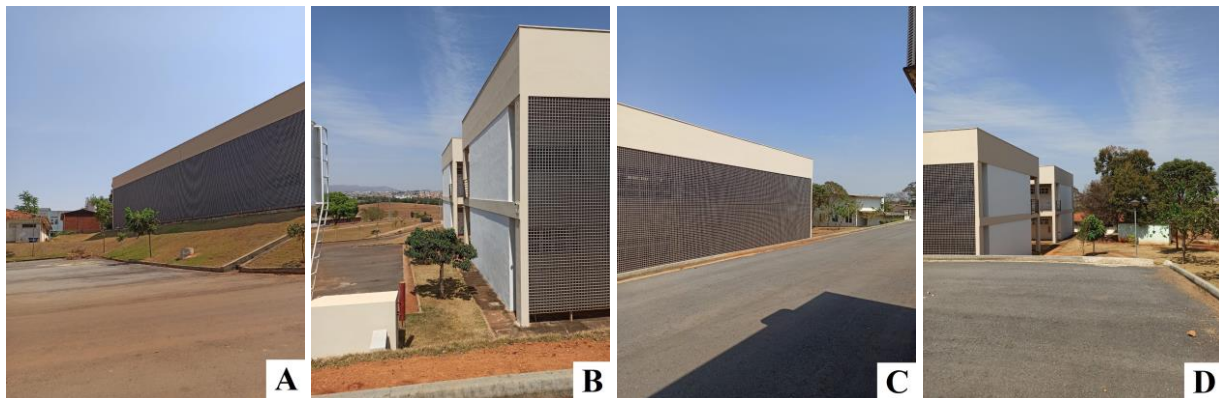
**FIGURA 7:** Cobogó – Fachada Sudoeste.

**FONTE:** Autoria Própria (2021).

O uso do cobogó nas fachadas auxilia na eficiência energética e conforto térmico do edifício, uma vez que impede a radiação solar direta nas salas de aula, permite ventilação constante, favorecendo assim, um melhor controle da temperatura interna, bem como a entrada de iluminação natural.

#### 4.3.1.4 Área de sombreamento

O objeto de estudo não possui elementos de sombreamento em seu entorno além do cobogó das fachadas. Como pode ser observado na Figura 8, o entorno não conta com a presença de árvores grandes ou outros edifícios que possam colaborar com o sombreamento do mesmo.



**FIGURA 8:** Condição de entorno nas quatro fachadas do prédio.

**FONTE:** Autoria Própria (2021).

Assim sendo, o sombreamento das aberturas da edificação é obtido pelo cobogó da fachada e pela própria edificação, que varia com a incidência do sol (FIGURA 9).



**FIGURA 9:** Sombreamento da edificação às 10:30h da manhã – Fachada Noroeste.

**FONTE:** Autoria Própria (2021).

#### 4.3.1.5 Orientação solar realizada com o auxílio do software REVIT

A orientação solar indica a maneira na qual a luz solar incide sobre as construções. Para o edifício de estudo, foram realizadas duas simulações da orientação do sol no dia 22 de setembro de 2021, data na qual ocorreu o equinócio de primavera, fenômeno caracterizado pela equidade de incidência solar nos hemisférios norte e sul. As simulações foram feitas às 10h da manhã e às 16:30h da tarde (FIGURA 10).

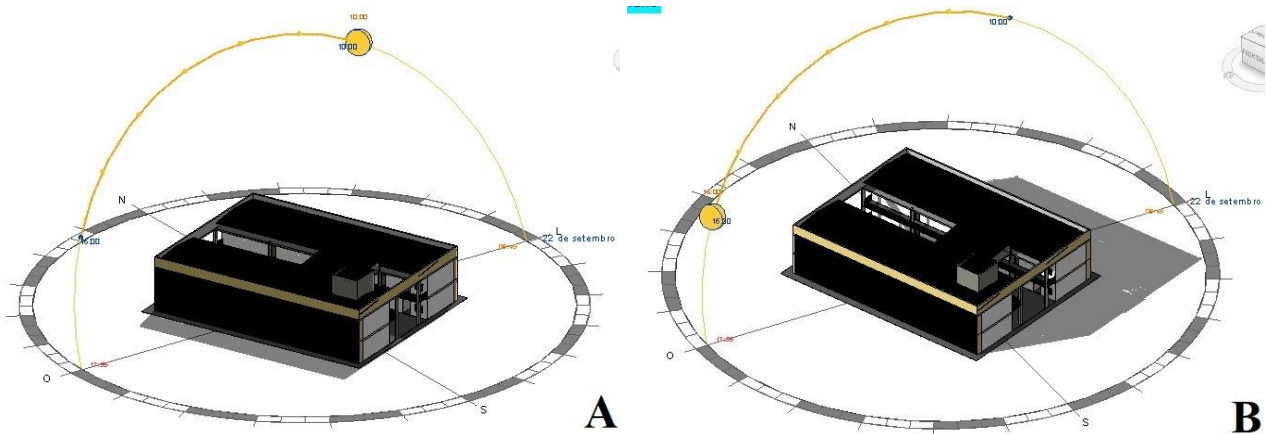


FIGURA 10: Simulação da orientação solar (A) às 10h da manhã (B) às 16:30h.

FONTE: Autoria Própria (2021).

#### 4.4 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO

A NBR15220-3 (ABNT, 2005) estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas para cada uma das oito zonas bioclimáticas, de acordo com a norma, a cidade de Lavras se encontra na Zona Bioclimática 3.

Deste modo, as construções da cidade devem atender aos requisitos estabelecidos para a zona em questão, sendo, as estratégias de condicionamento térmico passivo um destes requisitos.

Para a Zona 3, a norma indica que no verão seja adotada a ventilação cruzada nos ambientes e que durante o inverno haja aquecimento solar da edificação e que as vedações internas sejam pesadas para contribuir com a inércia térmica.

#### 4.5 DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

As normas NBR15220 (ABNT, 2005) e NBR15575 (ABNT, 2021) trazem respectivamente diretrizes relacionadas ao desempenho térmico e desempenho de modo geral das edificações.

A classificação bioclimática e as estratégias de condicionamento térmico passivo são abordadas na NBR15220-3 (ABNT, 2005), já a NBR15575-1 (ABNT, 2021) traz informações relacionadas aos valores de temperatura para cada zona bioclimática bem como os níveis de desempenho.

As tabelas E.1 e E.2 do anexo E da NBR15575-1 (ABNT, 2021) apresentam os critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e inverno respectivamente.

Segundo os dados apresentados na NBR15575 (ABNT, 2021), o desempenho térmico da edificação para a zona bioclimática de Lavras (zona 3), é considerado mínimo se no verão o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação for menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação. Para que o desempenho seja intermediário, a temperatura interna deve ser menor ou igual à temperatura externa menos 2°C e para um desempenho térmico superior, a temperatura interna da construção deve ser menor ou igual à temperatura externa menos 4°C.

Já durante o inverno, o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação deve ser maior ou igual ao valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação mais 3°C, para que o desempenho térmico seja considerado mínimo. Para um desempenho intermediário e superior, o acréscimo na temperatura externa deve ser de 5°C e 7°C respectivamente.

## 4.6 CONFORTO TÉRMICO

A norma regulamentadora de Ergonomia (NR17) (BRASIL, 2018), recomenda as seguintes condições de conforto para os locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes.

- Índice de temperatura efetiva entre 20°C e 23°C
- Umidade relativa do ar não inferior a 40%

O anexo 3 da norma regulamentadora de Atividades e operações insalubres (NR15) (BRASIL, 2021) traz os limites de tolerância para exposição ao calor. No quadro 1 estão presentes as temperaturas limites de exposição ocupacional ao calor IBUTG (°C) de acordo com a taxa metabólica (W). Já os valores das taxas metabólicas por tipo de atividade encontram-se no quadro 2 deste anexo.

Conforme as informações do quadro 2 a atividade dos alunos enquadra-se como sentado – trabalho leve com as mãos, o que corresponde a uma taxa metabólica de 126 W, já para os professores, em pé – trabalho leve com as mãos o que corresponde a uma taxa metabólica de 153 W.

Segundo os dados do quadro 1 do anexo 3 da NR15, para uma taxa metabólica média de 127 W, a temperatura máxima de exposição, IBUTG é de 32,5°C. Já para uma taxa metabólica de 152 W, a IBTUG é de 31,6°C.

### 4.6.1 Temperatura Efetiva

A temperatura efetiva foi determinada utilizando-se de um ábaco (FIGURA 11). Deste modo, foi traçada uma linha interligando os valores medidos in-loco, da temperatura de bulbo seco (°C) e temperatura de bulbo úmido (°C). Este valor encontra-se nas linhas que representam a velocidade do ar (m/s). Com isso, é determinado o valor correspondente da temperatura efetiva (°C). Lembrando que, quando não se têm a medição para a variável da velocidade, é utilizado para esse parâmetro 0,1 m/s, que é o menor valor utilizado pelo ábaco.

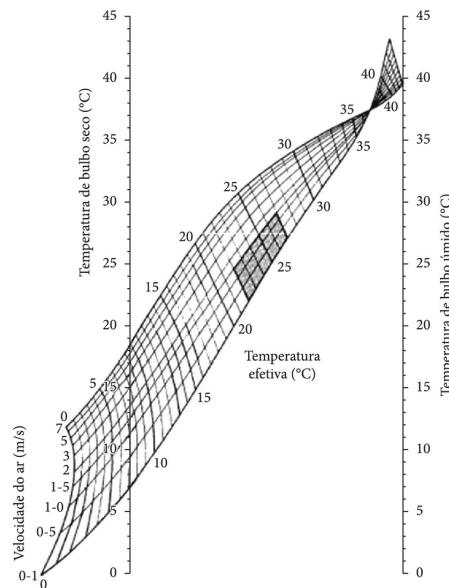


FIGURA 11: Ábaco para determinação da temperatura efetiva.

FONTE: SILVA; TEIXEIRA, 2014

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O comparativo com a norma regulamentadora 15, partiu do valor pré-estabelecido para o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG), definido anteriormente.

Deste modo, é mostrado na Tabela 1, os valores mínimos, máximos e médios do IBUTG encontrado para cada sala, nos períodos da manhã e da tarde.

**TABELA 1: Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo.**

Período	Sala	IBUTG (°C)		
		Mínimo	Máximo	Médio
Manhã	1	18,30	23,90	21,00
	3	17,90	23,30	20,70
	4	17,80	27,70	21,05
	6	17,70	22,50	20,41
	7	18,30	23,20	21,00
	9	18,00	23,40	20,90
	10	17,80	23,30	20,75
	12	17,60	23,00	20,53
Tarde	1	21,40	26,00	23,74
	3	20,60	25,80	22,83
	4	20,70	26,20	22,65
	6	20,40	25,60	22,53
	7	20,50	25,70	22,41
	9	20,40	25,30	22,53
	10	20,70	26,00	22,71
	12	20,40	26,30	22,58

FONTE: Autoria Própria (2021).

A NR 15 (BRASIL, 2021) estabelece o limite de exposição de IBUTG de 32,5°C para alunos e de 31,6°C para professores, mediante as atividades executadas por esses. Assim sendo, observa-se que os valores apresentados na tabela para o período da manhã, e para a tarde são inferiores aos limites. Logo, o pavilhão de aulas 9, atende a NR 15, não representando, portanto, condição insalubre para o período analisado.

A Tabela 2 apresenta os dados referentes a temperatura efetiva e umidade, para cada uma das salas de aulas, nos períodos manhã e tarde.

**TABELA 2: Temperatura efetiva e Umidade relativa do ar.**

Período	Sala	Temperatura efetiva (°C)			Umidade relativa (%)		
		Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média
Manhã	1	19,00	24,00	21,78	31,40	74,00	54,43
	3	18,90	24,10	21,57	32,30	75,10	55,53
	4	18,20	24,00	21,56	32,20	75,40	56,28
	6	18,20	23,50	21,20	33,00	76,10	56,93
	7	19,10	24,10	21,71	31,10	74,40	53,98
	9	19,20	24,50	21,86	30,10	76,50	54,46
	10	18,40	24,10	21,86	29,10	74,80	54,35
	12	18,20	24,10	21,52	29,90	76,20	55,15
Tarde	1	23,10	26,50	24,44	19,40	65,90	40,52
	3	21,00	26,00	23,62	21,80	66,70	42,34
	4	21,50	27,00	24,05	19,60	67,10	41,79
	6	21,00	26,30	23,71	20,80	66,90	42,51
	7	21,20	26,10	23,79	20,30	64,90	41,38
	9	21,70	26,10	23,86	21,40	66,30	42,02
	10	21,90	27,00	24,11	20,90	64,90	41,34
	12	21,10	27,10	23,87	21,50	64,60	41,58

FONTE: Autoria Própria (2021).

A NR 17 (BRASIL, 2018) estabelece um limite para temperatura efetiva que varia entre 20°C e 23°C, com o intuito de proporcionar maior conforto e segurança, para a realização das atividades.

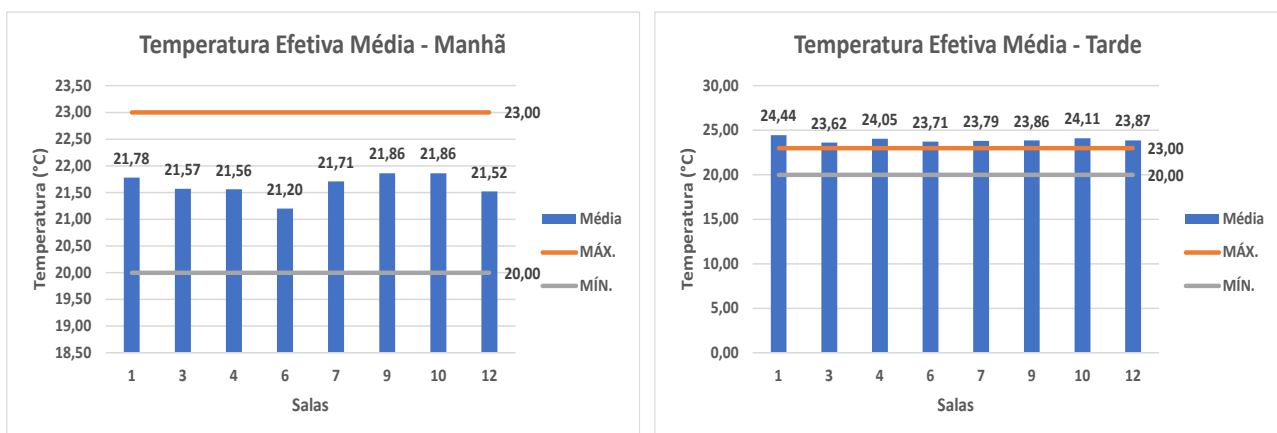
As temperaturas mínimas aferidas no período da manhã apresentaram variações entre 18,2°C e 19,2°C, sendo, portanto, menores que os valores determinados pela norma regulamentadora. Já no período da tarde, as temperaturas mínimas variaram de 21,0°C a 23,1°C, enquadrando-se nos limites da norma, com exceção da sala 1, que ficou 0,1°C acima do limite. Porém, ao analisar o estudo de Gonçalves, Valle e Garcia (2001), percebe-se que a temperatura operativa tida como ótima foi de 23,1°C. Os autores estudaram os índices de conforto térmico para aplicação em Belo Horizonte – MG, com base em pesquisa de população universitária, e estipularam os limites de conforto para temperatura operativa entre 21,1°C e 24,9°C.

Vale ressaltar que as menores temperaturas na parte da manhã foram coletadas nas salas 04, 06, 10 e 12, voltadas para a face sudoeste, tal fato se justifica, pois, estas salas não recebem radiação solar direta no período da manhã.

Os valores máximos de temperaturas no período da manhã, variaram entre 23,5°C a 24,5°C, e no período da tarde entre 26,0°C e 27,1°C, sendo maiores que o limite de 23°C estabelecido.

As maiores temperaturas do período da tarde foram nas salas 12, 10 e 4, com valores de 27,10°C, 27,0°C e 27,0°C respectivamente. As salas 10 e 12 encontram-se no segundo pavimento na fachada sudoeste, portanto, recebem maior radiação solar vindas das paredes externas e cobertura durante o período da tarde, o que explica suas altas temperaturas. Já a elevada temperatura da sala 4 é também pode ser justificada por sua posição no prédio, uma vez que, ela se encontra na extremidade da fachada sudoeste, recebendo, portanto, alta carga solar.

A Figura 12 expõem os valores médios de temperatura efetiva para cada sala nos períodos da manhã e da tarde. O valor mínimo normativo, 20°C, e o valor máximo, 23°C, estão representados pelas linhas cinza e laranja, respectivamente.



**FIGURA 12:** Gráficos de Temperatura Efetiva Média período da manhã e tarde.

**FONTE:** Autoria Própria (2021).

Observa-se que os valores médios no período da manhã se encontram dentro dos limites mínimo e máximo, atendendo, assim, aos requisitos da NR17. Por outro lado, no período da tarde, os limites normativos não foram atendidos, visto que, as médias das temperaturas ficaram acima de 23°C.

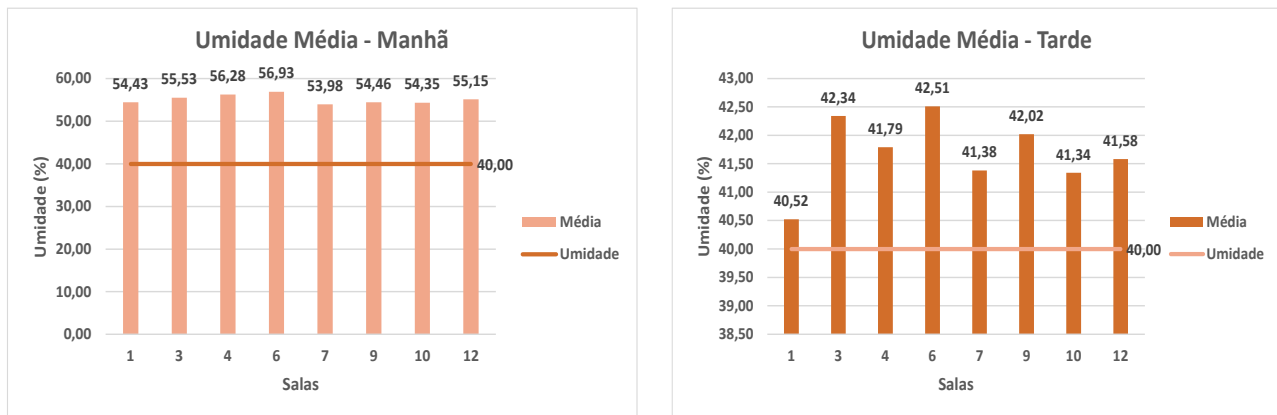
Chaves (2016), analisou estratégias para melhoria do conforto térmico em salas de aulas de uma universidade em Goiânia – GO. Segundo dados do estudo, quando considerada apenas ventilação natural nas salas, as médias de temperatura tanto no período da manhã, quanto no período da tarde, também não atenderam às condições da norma.

Já no estudo de Turmena (2017), o qual avaliou o conforto térmico de salas de aula na Universidade Tecnológica do Paraná, na cidade de Toledo, ao analisar a média das temperaturas anuais, a NR17 não foi atendida, pois as médias de todas as salas ficaram acima de 23°C. Porém, quando os dados foram analisados por estações do ano, a média do inverno, que foi de 21,37°C atendeu aos limites.

Ao se tratar da umidade relativa do ar, a NR 17, traz que os valores medidos *in loco* não devem ser inferiores a 40%. Observa-se, pela Tabela 2, que os valores mínimos de umidade encontrados em cada uma

das salas foram inferiores ao limite estabelecido pela NR17. Durante os dez dias de coleta de dados, apenas no dia 14/09/2021, a umidade no período da manhã não atingiu o mínimo necessário. Já para o período da tarde, o limite normativo não foi atendido em seis dos dez dias de coleta.

A Figura 13 apresenta os valores médios encontrados para a umidade no período da manhã e tarde, para cada uma das salas de aula analisadas.



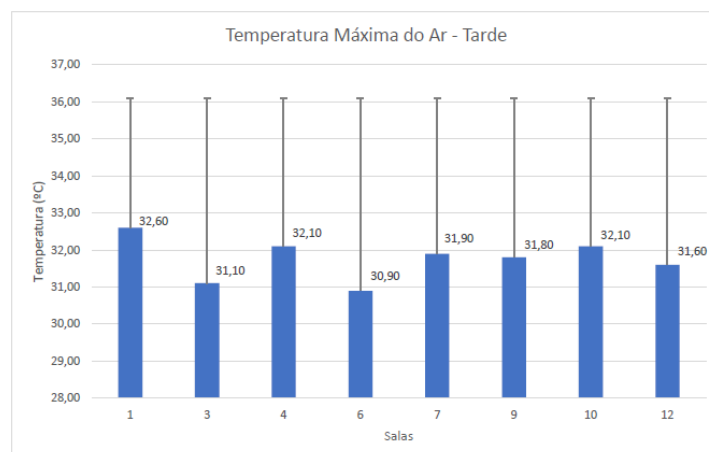
**FIGURA 13:** Gráficos de Umidade Relativa do Ar Média período da manhã e tarde.

**FONTE:** Autoria Própria (2021).

Analisando-se as médias no período da manhã e da tarde, tem-se que as salas do PV9 atendem a NR17, quanto à umidade relativa do ar, visto que, os valores médios são superiores a 40%. Mas, é importante ressaltar que os 4 dias nos quais a umidade foi superior ao limite, contribuíram para que as médias se mantivessem acima do limite estabelecido. Ressalta-se que maior parte da coleta foi realizada antes do período das chuvas, justificando os dados de umidade encontrados próximos ao limite estabelecido.

Os valores médios de umidade relativa do ar na pesquisa de Turmena (2017) também se mantiveram acima de 40%, porém, quando observados os valores mínimos para cada sala, eles estiveram abaixo de 30%, e os valores máximos acima de 80%, o que pode ter contribuído com a elevação das umidades médias.

Para análise de atendimento à NBR 15575 (ABNT, 2021), foram consideradas as temperaturas do ar na situação mais crítica, ou seja, as temperaturas máximas coletadas no período da tarde (FIGURA 14).



**FIGURA 14:** Gráfico da Temperatura Máxima do Ar interna e externa no período da tarde.

**FONTE:** Autoria Própria (2021).

Assim, por norma a temperatura interna deve ser menor ou igual a temperatura externa (ABNT, 2021). Posto isso, observa-se que para a análise da condição extrema que traz as maiores temperaturas, as salas atendem o requisito normativo, visto que, as máximas de todas as salas ficaram abaixo da temperatura máxima externa que foi de 36,1°C.

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho partiu de medições *in loco* com o intuito de analisar as características de conforto das salas de aula, visando maior eficiência no desempenho das atividades exercidas pelos indivíduos que delas ocupam, além de uma verificação quanto ao atendimento dos requisitos normativos.

Deste modo, se tratando da NR 15, as salas encontram-se em conforto térmico, visto que, têm-se como 27,7°C o maior dos dados obtidos para a variável IBUTG, sendo este valor 4,8°C inferior ao limite máximo de 32,5 °C, pensando nas atividades exercidas pelos alunos, e 3,9°C inferior ao máximo de 31,6°C, ao analisar as atividades exercidas por professores.

Ao avaliar a NR 17, têm-se que para a variável relacionada a temperatura efetiva, que os menores valores no período da manhã foram encontrados para as salas 04, 06, 10 e 12, e os maiores no período da tarde para as salas 04, 10 e 12. Além disso em relação as médias analisadas no período da manhã as salas atendem os requisitos normativos, ficando entre 20 e 23°C, fato que não é obtido para o período da tarde, em que, as salas apresentam temperaturas médias superiores a 23°C.

Ainda em relação aos limites estabelecidos pela NR 17, avaliando os dados médios de umidade do ar, observa-se que tanto no período da manhã quanto no da tarde, todas as salas atendem a norma e apresentam valores superiores a 40%. No entanto, tal fato se deve a contribuição de 4 dias, em que a coleta da umidade apresentou elevados valores, influenciados pelo período chuvoso, em que se encontrava os referentes dias.

A análise referente a NBR 15575 (ABNT, 2021), feita para a situação mais crítica, sendo esta o valor máximo de temperatura do ar, no período da tarde, atende os requisitos normativos, visto que, os valores obtidos internamente são menores que os analisados externamente.

Por fim, com a realização do trabalho, espera-se contribuir para um estudo piloto das edificações da Universidade Federal de Lavras, pensando em melhorias dos ambientes, no conforto dos usuários e até mesmo em estabelecer uma ordem de prioridade das edificações, que necessitem de ventilação mecânica (ventiladores) e climatização.

## 7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Universidade Federal de Lavras, da Escola de Engenharia, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers, 2013. **Ansi/Ashrae Standard 55-2013**. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE, Atlanta, USA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

AZEVEDO, G. A. N. (2012). Sobre o papel da arquitetura escolar no cotidiano da educação: análise das interações pessoa-ambiente para a transformação qualitativa do lugar pedagógico. Em: Universidade Federal de Juiz de Fora (Org.), Anais do XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (pp. 3494-3504). Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF.

BISCARO, G. A. Meteorologia Agrícola Básica. Cassilândia: 1ª ed. UNIGRAF. 2007. 87p. Disponível em: <[www.do.ufgd.edu.br/guilhrmebiscaro/arquivos/meteorologia.pdf](http://www.do.ufgd.edu.br/guilhrmebiscaro/arquivos/meteorologia.pdf)>. Acesso em: ago. 2021.



BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 15. **NR 15 – Atividades e operações insalubres**. Brasília, DF, 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora nº 17. **NR 17 – Ergonomia**. Brasília, DF, 2019.

CHAVES, Victor Leandro Arantes. **Análise de Estratégias para Melhoria do Conforto Térmico em Salas de Aulas**. 2016. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

Climate-data. **Clima Lavras**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/lavras-24957/>>. Acesso em: ago. 2021.

CORGNATI, S. P.; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, v. 42, p. 951-959, 2007.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. CLASSIFICAÇÃO E TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS EM LAVRAS, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez., 2007

DIAS, Adriana. **Avaliação das Condições de Conforto Térmico e Acústico de Salas de Aula em Escola de Tempo Integral – Estudo de Caso da Escola Padre Josimo em Palmas (TO)**. 2009. 141 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FARIA, M. A. **Avaliação das Condições de Conforto Térmico nas Salas de Aula do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP**. 2013. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013

GONÇALVES, WILLI DE B.; VALLE, RAMÓN M.; GARCIA, E. S. Estudo de índices de conforto térmico para aplicação em belo horizonte - mg, com base em pesquisa de população universitária. ENCAC 2001 - VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2001.

IBGE. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/lavras/panorama>>. Acesso em: ago. 2021.

JING, S.; LEI, Y.; WANG, H.; SONG, C.; YAN, X. Thermal comfort and energy-saving potential in university classrooms during the heating season. **Energy & Buildings**, v. 202, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109390>

KIM, J.; DEAR, R. de, Thermal comfort expectations and adaptive behavioural characteristics of primary and secondary school students. **Building and Environment**, v. 127, p. 13-22, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.031>

KUNEN, A.; DAVOGLIO, J. C. Análise da aplicabilidade dos parâmetros bioclimáticos no desenvolvimento de projetos arquitetônicos residenciais. **Akrópolis Umuarama**, v. 28, n. 1, p. 9-18, jan./jun. 2020.

LABEE. Desempenho Térmico de Edificações (LabEEE) - **Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia Civil - Desempenho Térmico de Edificações**, 2016. Disponível em: <[https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/apostilaecv5161\\_v2016.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/apostilaecv5161_v2016.pdf)>. Acesso em: 27 jun. de 2021.

MACIEL, Alexandra A. **Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios**. 2002. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MARÇAL, V. G.; SOUZA, H. A. de; CRISTELI, P. S.; MARÇAL, C. C. S. A relação entre capacidade atencional, psicopedagogia e o conforto térmico em salas de aula. **Ciências & Cognição**. v. 24, n. 1, p. 35-49, 2019.

MORAES, Márcio Ribas; SANTOS, Evafran Moreira dos; RAELE, Marcus Paulo. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS ALVENARIAS DE UMA EDIFICAÇÃO EM REGIÃO DE CLIMA QUENTE E SECO / EVALUATION OF THE THERMAL

PERFORMANCE OF MASONRY IN A BUILDING IN A REGION OF HOT AND DRY CLIMATE. **Brazilian Journal of Development**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 15205-15216, 2021. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n2-238>.

PORTAL UFLA. **Ranking GreenMetric: UFLA entre as 30 universidades mais sustentáveis do mundo**. 2020. Disponível em: <https://ufla.br/noticias/institucional/14160-ranking-greenmetric-ufla-entre-as-30-universidades-mais-sustentaveis-do-mundo>. Acesso em: 11 out. 2021.

POSSEBOM, A.; PINHEIRO, A. U.; MULLER, G.; DAI PRAI, J. S.; CONTERARO, L. C. Ventilação Cruzada. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 5, 2016.

RIJAL, H. B.; HUMPHREYS, M.; NICOL, F. Adaptive thermal comfort in japanese houses during the summer season: behavioral adaptation and the effect of humidity. **Buildings**, v. 5, n. 3, p. 1037-1054, 2015.

SILVA, José Reinaldo Moreira da; TEIXEIRA, Renilson Luiz. Sobrecarga térmica em fábrica de móveis. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 494-500, 10 out. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.004012>.

SILVA, Keila Paiva da; BAHIA, Mirleide Chaar. Sustentabilidade na gestão pública: ações socioambientais nas universidades federais da região amazônica. **Papers do Naea**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 541-556, 21 dez. 2019. Universidade Federal do Para. <http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v28i3.8420>.

SOUSA, Jurema Porto, Conforto térmico e ambiental em edificações. In: CONGRESSO ARAGUAIENSE DE CIÊNCIAS EXATA, TECNOLÓGICA E SOCIAL APLICADA, p. 1-7, 2020, Santana do Araguaia. Anais... Santana do Araguaia: II CONARA, 2020.

Souza, R. B.; Reboita, M. S.; Werle, A. P.; Costa, E. B. C. Influência das variáveis atmosféricas na degradação dos materiais da construção civil. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.13, n.1, 2017. p. 1-19.

TURMENA, Michele. **Avaliação do Conforto Térmico das Salas de Aula do Bloco C da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Toledo**. 2017. 92 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2017.

ZEILER, W.; BOXEM, G. Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. **Building and Environment**, v. 44, p. 2308-2317, 2009.