



**DANIELLE MACHADO SILVEIRA
PÉROLA CAROLINA MOREIRA DE ASSIS BORGES**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM SALAS DE
AULAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**

**LAVRAS - MG
2023**

**DANIELLE MACHADO SILVEIRA
PÉROLA CAROLINA MOREIRA DE ASSIS BORGES**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM SALAS DE AULAS 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. M.e Giovanni Salomão Teixeira
Coorientador

**LAVRAS - MG
2023**

**DANIELLE MACHADO SILVEIRA
PÉROLA CAROLINA MOREIRA DE ASSIS BORGES**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO AMBIENTAL EM SALAS DE AULAS DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**

**EVALUATION OF THERMAL COMFORT IN CLASSROOMS AT 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

Profa. Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro
Orientadora

Prof. M.e Giovani Salomão Teixeira
Coorientador

**LAVRAS - MG
2023**

RESUMO

Na contemporaneidade, a valorização adequada do clima local é imprescindível para garantir à arquitetura uma identificação com o local, de forma que levar em consideração o conforto térmico dos usuários permite projetar edificações eficientes e eficazes. O conhecimento das condições climáticas locais é, portanto, essencial para a definição de quesitos básicos para a execução de projetos termicamente eficientes. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico dos ambientes internos em três pavilhões diferentes do câmpus Sede da Universidade Federal de Lavras por meio do levantamento de dados climáticos, a fim de obter conclusões a respeito das condições de conforto térmico desses ambientes com base nos textos normativos contemplados pela NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), pela NBR 15575 – Edificações Habitacionais - Desempenho (ABNT, 2021) e, ainda, pela NR 17 – Ergonomia (BRASIL, 2018). Nesse sentido, as medições realizadas *in loco* no período de 3 meses do ano em 6 salas de aula permitiu que as condições analisadas pudessem ser verificadas durante o inverno, de modo que as coletas foram realizadas em intervalos de duas horas, nos períodos matutino e vespertino. Além disso, durante a coleta dos dados climáticos, observaram-se as condições de aberturas e sombreamento das salas de aula, possibilitando a análise dessas condições de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2021). Em vista disso, as salas de aula avaliadas atendem, em sua maioria, às recomendações normativas para a zona bioclimática definida para a cidade de Lavras, de maneira que duas salas apresentam limites de umidade inferiores ao recomendado pela norma no mês de Agosto, período final do inverno.

Palavras- chave: Conforto térmico. Dados climáticos. Universidade Federal de Lavras. NBR 15220. NBR 15575. NR 17.

ABSTRACT

In contemporary times, the appropriate appreciation of the local climate is essential to ensure that architecture is identified with the place, so that considering the thermal comfort of users allows efficient and effective buildings to be designed. Knowledge of local climatic conditions is, therefore, essential for the definition of basic requirements for the execution of thermally efficient projects. In this context, this work aims to evaluate the thermal performance of indoor spaces in three different pavilions of the Headquarters campus of the Federal University of Lavras through a survey of climatic data in order to draw conclusions about the thermal comfort conditions of these environments based on the normative texts contemplated by NBR 15220 - Thermal Performance of Buildings (ABNT, 2005), by NBR 15575 - Residential Buildings - Performance (ABNT, 2021) and also by NR 17 - Ergonomics (BRASIL, 2018). In this sense, the measurements performed in loco over a period of 5 months of the year in 6 classrooms allowed the analyzed conditions to be verified in two different seasons of the year: autumn and winter, so that the collections were performed at two-hour intervals, in the morning and afternoon periods. In addition, during the collection of climatic data, the conditions of openings and shading of the classrooms were observed, enabling the analysis of these conditions in accordance with NBR 15220 (ABNT, 2005) and NBR 15575 (ABNT, 2021).

Keywords: Thermal comfort. Climate Data. Federal University of Lavras. NBR 15220. NBR 15575. NR 17.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	6
1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Justificativa	7
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivo geral	8
1.2.2 Objetivos específicos	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Conforto ambiental	9
2.1.1 Conforto térmico em salas de aulas	10
2.1.1.1 Índice de conforto térmico	10
2.2 Transmissão de calor em materiais de construção	12
2.3 Normas técnicas	13
2.3.1 NBR 15220/2005	14
2.3.2 NBR 15575/2021	15
2.3.3 NR 17	16
2.4 Condicionamento térmico passivo	16
2.4.1 Ventilação natural	17
2.4.2 Isolamento térmico	17
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
REFERÊNCIAS	20
SEGUNDA PARTE – ARTIGO	22

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Muitos dos preceitos que envolvem soluções termicamente mais eficientes e adequadas em relação ao clima demonstram a preocupação com o desempenho térmico das edificações e, conseqüentemente, com o consumo de energia. A qualidade do ambiente interior é uma preocupação que acompanha o ser humano há muito tempo. Entretanto, o aumento do tempo de permanência nos edifícios provoca uma crescente problemática, e com isso, a necessidade de edificações eficientes, que proporcionam o conforto ambiental sem causar danos no meio ambiente, sendo algo a ser pensado nos dias atuais.

O conceito de conforto térmico se refere ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor trocado com o ambiente. Sendo assim, é imprescindível que haja consciência sobre a importância das condições dos espaços construídos na promoção da qualidade de vida e os benefícios para a saúde dos usuários, de forma que projetar e executar as construções realizando estudos sobre o melhor aproveitamento dos recursos naturais disponíveis e sobre a promoção do bem estar dos indivíduos é uma maneira de avaliar as condições de conforto e consumo de energia, reduzindo gastos energéticos e impactos ambientais expressivos.

O ambiente escolar é um local de convívio e integração sociocultural, que contribui para o desenvolvimento dos indivíduos que o frequentam. Nas universidades, além dessa integração, há a preparação de futuros profissionais. Para que os ambientes tenham condições físicas favoráveis para atenderem aos usuários, é necessário que as construções propiciem aos ocupantes condições de conforto térmico adequadas, visto que isto pode influenciar diretamente no desempenho das atividades em salas de aula.

No Brasil, a ausência desse conforto, em virtude dos sistemas construtivos mal planejados aliados ao clima tropical, confere às edificações condições que interferem negativamente em aspectos como a motivação e a concentração dos usuários, visto que o calor excessivo provoca efeitos sobre o indivíduo, deixando-o cansado, reduzindo sua atenção e aumentando as tendências em incorrer em erros ou acidentes (GRZYBOWSKY, 2004).

Tendo em vista a importância do estudo do conforto térmico das construções, este trabalho analisa o conforto térmico para estudantes e professores em salas de aula e demais

ambientes de trabalho da Universidade Federal de Lavras, objetivando subsidiar propostas para uso eficiente da energia elétrica.

1.1 Justificativa

O *campus* universitário e, de forma específica, a sala de aula são os ambientes onde discentes de diferentes níveis de ensino dedicam parcela expressiva dos dias de um ano letivo. É nesse ambiente em que é possível realizar trocas e formar profissionais das mais diversas áreas que, *a posteriori*, contribuirão para a harmonia social de acordo com os conhecimentos provenientes dos anos dedicados à profissionalização.

Neste cenário, o *campus* Sede da Universidade Federal de Lavras recebe mais de quinze mil alunos, na cidade de Lavras-MG, onde as temperaturas apresentam variações elevadas na maior parte do ano, dado o clima subtropical úmido desta cidade. Dessa maneira, avaliar a contribuição da disposição atual dos pavilhões na promoção do conforto térmico faz-se relevante, visto que a ineficácia desse conforto fazem com que haja a necessidade de emprego de artefatos como a climatização artificial para o verão e, ainda, de vedações que garantam a inércia térmica desses edifícios durante o inverno. Dessa problemática, portanto, surge a necessidade de redução de consumo de energia gerada por meio do uso acessório de mecanismos de climatização nos prédios do *campus*.

Nessa orientação, a referida problemática se faz presente nos resultados de avaliações internas aplicadas pela reitoria da universidade, a fim de obter indicadores acerca das áreas do ensino, pesquisa e extensão e, ainda, percepções a respeito da infraestrutura e administração da instituição. Os relatórios da Autoavaliação Institucional da UFLA contemplam percepções dos usuários, que relatam problemas de conforto nas salas de aula. Segundo o relatório parcial do triênio 2018-2020 da Comissão Própria de Avaliação (2019), existem reclamações recorrentes referentes à ambiência das salas de aula, de forma que as condições de ventilação destes ambientes internos é um ponto de atenção indicado pelo público alvo da pesquisa.

De maneira síncrona aos fatos mencionados, e de acordo com a hierarquia de necessidades de Maslow (1958), os seres humanos interagem com níveis de esforço e, para tanto, precisam percorrer a pirâmide da hierarquia de necessidades, para atingir a sua plena autorrealização, compreendida como o estado em que as necessidades pessoais e profissionais são satisfeitas. É nesse estado de autorrealização em que o indivíduo consegue desfrutar da plena compreensão das diversas temáticas a que é exposto diariamente e, portanto, obter o melhor aproveitamento da experiência acadêmica, no caso de estudantes.

Nessa perspectiva, edificações que proporcionem conforto térmico aos usuários estão compreendidas dentro das necessidades básicas da estrutura de Maslow (1958), uma vez que o ser humano percebido como ser biológico apresenta necessidades de se sentir confortável. Ainda, de acordo com a temática, é válido que as necessidades básicas possam ser satisfeitas a partir de estímulos extrínsecos ao ser humano, ou seja, o ambiente a que este está inserido.

Nesse contexto, a partir da demanda de fornecimento de condições favoráveis ao atendimento das necessidades básicas dos discentes e da indispensabilidade de encontrar alternativas que promovam redução do consumo de energia no *campus*, o estudo justifica-se por avaliar o desempenho térmico dos ambientes internos para que sejam buscados meios de intervenção no espaço estudado, de forma a obter o objetivo almejado e, ainda, garantir o melhor aproveitamento das edificações.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho térmico das salas de aula e ambientes de trabalho em três pavilhões diferentes do *campus* Sede da Universidade Federal de Lavras, escolhidos mediante cronograma letivo das autoras, e verificar se as condições vigentes atendem aos requisitos mínimos estabelecidos nas normas técnicas.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Realizar o levantamento dos dados ambientais de temperatura e umidade relativa do ar nos pavilhões 02, 03 e 06 do *campus* Sede da universidade;
2. Listar os elementos críticos observados durante a coleta dos dados, que contribuem para situações de desconforto térmico;
3. Propor adequações para melhorar as condições de conforto nos pavilhões estudados e indicar meios para a concepção de projetos de edificações termicamente eficientes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conforto ambiental

Com a crise de energia na década de 70, foi indispensável a tendência de projetar edificações considerando o clima do local, estabelecendo critérios que proporcionam uma identificação com o ambiente, levando em consideração o conforto térmico e a economia de energia. A estética arquitetônica desse período se preocupava com os desafios estruturais utilizando elementos de combustíveis fósseis sem preocupação com o esgotamento desses materiais. Com isso, foram surgindo intensas cargas térmicas e energéticas advindas dessas construções (Lamberts *et al.*, 1997).

Nos dias atuais, após a crise energética brasileira, a temática da sustentabilidade tem sido buscada frequentemente. Nesse sentido, a arquitetura sustentável é a tentativa de continuidade natural da bioclimática considerando a integração do edifício ao meio ambiente e fazendo com que ambos se interliguem em um conjunto maior (CORBELLA; YANNAS, 2003). Sendo assim os projetistas são responsáveis por escolher as condicionantes adequadas para o projeto, como o controle da ventilação e o posicionamento solar, com o objetivo de buscar a renovação do ar e a remoção de calor no ambiente.

Neste seguimento, o conforto ambiental caracteriza-se pela ciência que relaciona a neutralidade sensorial dos usuários com o ambiente ao qual interagem. O ambiente térmico interno é responsável por afetar o consumo energético e, ainda, a forma como os indivíduos interagem entre si e recebem informações e novas experiências. Em vista disso, essa neutralidade sensorial é de suma importância no ambiente acadêmico para garantir o bom desempenho de docentes e discentes inseridos na rotina de salas de aula.

De acordo com Fanger (1970), a neutralidade térmica é a condição na qual uma pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente a seu redor. Nessa perspectiva, a definição supracitada é condição necessária, mas não suficiente para que uma pessoa encontre-se em conforto térmico, pois a mesma pode encontrar-se em neutralidade térmica e estar sujeito a algum tipo de desconforto localizado, isto é, sujeita a uma assimetria de radiação significativa, sujeita a alguma corrente de ar localizada, ou ainda estar sobre algum tipo de piso frio ou aquecido, e assim sendo, não estar em condição de conforto térmico (LAMBERTS; XAVIER, 2002).

2.1.1 Conforto térmico em salas de aulas

A concepção e a arquitetura das edificações universitárias são agentes relevantes na harmonização da interação espaço-usuário, uma vez que satisfazer as necessidades básicas de conforto em salas de aula reflete na forma como os professores e alunos compartilham e adquirem aprendizados. Os estudos sobre conforto térmico têm como objetivo o estabelecimento de formas de avaliação das condições primordiais para que o ambiente se adeque às atividades de ocupação humana com o propósito de satisfazer termicamente a relação do indivíduo com o ambiente a fim de aumentar a conservação da energia (VERGARA, 2001).

Segundo o estudo de Grzybowski (2004), sobre índices de conforto térmico por meio de medições “in-loco” em escolas públicas de Cuiabá - MT, a análise do desempenho térmico de edificações objetiva produzir a disposição arquitetônica conformada ao clima, de maneira que esta análise atente-se às variações climáticas, humanas e arquitetônicas.

A arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, o que abrange o seu conforto térmico. O homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido a fadiga ou estresse, inclusive térmico. A arquitetura, como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas (FROTA e SCHIFFER, 2001, p.17).

Nesse sentido, admite-se a disposição de construções confortáveis, principalmente no aspecto térmico, como fator fundamental na promoção da qualidade de vida e suporte ao trabalho, de forma que variações significativas de temperatura que prejudiquem o conforto em edificações podem influenciar o comportamento e afetar a eficiência dos ocupantes. Através de normas, pode-se julgar se o ambiente oferece ou não o conforto térmico adequado para as pessoas que o frequentam, diminuindo a variação da percepção térmica entre os indivíduos (REVEL; ARTESANO, 2014).

2.1.1.1 Índice de conforto térmico

O bem estar de uma população pode ser diretamente afetado pelo clima local. Essa influência pode se dar por meio de diversas variáveis, como a velocidade do vento, a temperatura e a umidade do ar, ou a intensidade da radiação solar. Esses elementos climáticos possuem relação direta com o conforto térmico e, então, com a qualidade de vida da população (ANDRADE, 2005).

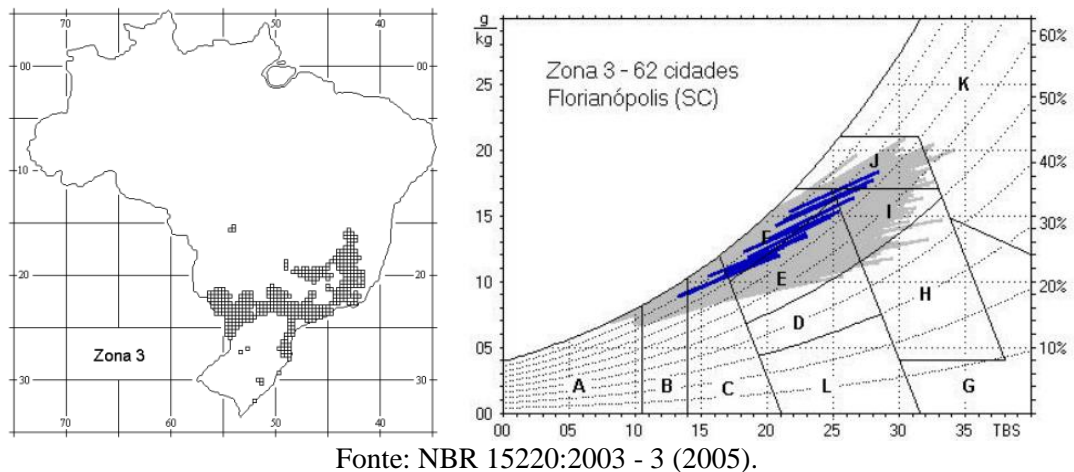
Existem diversos métodos de determinação do índice de conforto térmico de edificações, de forma que a obtenção de dados de temperatura e umidade do ar, quando parametrizados, podem ser empregados na análise do conforto térmico interno das edificações. Com o intuito de classificar os ambientes, foram desenvolvidos diversos índices de conforto térmico que propõem incluir o efeito conjunto dos elementos meteorológicos e do ambiente construído sobre o indivíduo estudado, como o Índice de Temperatura e Umidade (ITU).

Fanger (1972) desenvolveu uma equação de conforto que resume os processos de troca de calor do corpo com o meio. A pesquisa foi desenvolvida com estudantes da mesma faixa etária e é considerado um dos estudos mais detalhados sobre o assunto. A equação de conforto gerada é bastante complexa e gerou uma série de diagramas comparativos, que exemplificam, por meio de linhas de conforto ótimo, as variáveis que afetam o conforto.

O método de graus-dia, segundo a ASHRAE (1993), é um método simplificado para análise do consumo de energia necessária para aquecer ou refrigerar um ambiente. Segundo Morello (2005), é um parâmetro que pode ser definido através do somatório das diferenças de temperatura-base (T_b), quando a temperatura média diária encontra-se acima ou abaixo desta. Assim, sempre que o valor médio diário for menor, ou maior que a temperatura-base, calcula-se a diferença em graus ($T_b - T_{med}$) e soma-se cada um dos 365 valores do ano. Este conceito é utilizado como forma de representar de forma mais clara a redução do desconforto proporcionada pela envoltória da edificação.

A carta bioclimática, proposta por Givoni (1992), é uma metodologia que disponibiliza dados sobre estratégias adequadas de projeto, para melhor adaptação da edificação às condições climáticas da região na qual está inserida. Ele estabelece estratégias de climatização para diferentes zonas, conforme a temperatura e umidade relativa do ar, mostrando, para cada condição, a estratégia necessária para se atingir uma situação de conforto térmico. Considerando que a cidade de Lavras-MG está situada na zona bioclimática 3, como ilustrado na Figura 2.1, a carta bioclimática para esta geografia, de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), apresenta as normas climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis-SC.

Figura 2.1 - Zona Bioclimática 3 e Carta Bioclimática.



Para a zona bioclimática analisada, portanto, o aquecimento solar da edificação e o emprego de vedações internas pesadas que garantam a inércia térmica são as estratégias de condicionamento térmico passivo recomendadas, definidas pelas letras B e C da carta.

Nesse sentido, existem procedimentos simplificados, realizados por meio de metodologia de cálculo e capazes de fornecer informações importantes a respeito do desempenho das edificações, ainda que sejam métodos menos precisos. Além disso, existem procedimentos de simulação computacional, realizados por meio de *softwares* capazes de fornecer maior precisão no sentido de obtenção de parâmetros térmicos de um edifício, por meio da análise detalhada, que considera as condições climáticas da região, as propriedades térmicas dos materiais e os elementos construtivos utilizados no projeto.

2.2 Transmissão de calor em materiais de construção

O calor é caracterizado por uma energia transmitida entre dois corpos devido à diferença de temperatura entre eles. Essa energia se propaga por diferentes processos, como a condução, a convecção e a irradiação. A irradiação é o processo de transmissão de calor através de ondas eletromagnéticas como a luz, as ondas de rádio e o infravermelho. Essas ondas transmitem energia e refletem o processo de aquecimento do planeta por meio dos raios solares. A transferência de calor ocorre, espontaneamente, de um corpo com maior temperatura para outro corpo com menor temperatura. Esse processo cessa quando os corpos envolvidos nas trocas de energia térmica alcançam a mesma temperatura, atingindo assim o equilíbrio térmico (MARTINI *et al.*, 2016).

No processo de condução térmica, as partículas recebem calor e aumentam a sua agitação e, dessa forma, a energia é transmitida pelo material. Nesse sentido, para que haja a

condução térmica é necessário que exista um meio material que permite que a propagação de energia por meio de vibração aconteça. Além disso, os materiais diferem entre si de acordo com a capacidade ou não de conduzir calor, sendo classificados por isolantes ou condutores térmicos. Esse tópico reflete nas propriedades dos materiais e na promoção do conforto térmico, dado que 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 (ROCHA; OLIVEIRA, 2021, p. 15).

Os metais, classificados como materiais condutores térmicos, conduzem calor, sobretudo, em virtude da presença de elétrons livres, que conseguem facilmente propagar energia por sua estrutura. Em contrapartida, materiais como a borracha, a madeira, o vidro, o plástico e o isopor são considerados isolantes térmicos e apresentam dificuldade para propagar energia por condução. Isso acontece devido à condutividade térmica, propriedade dos materiais que remete à quantidade de calor capaz de ser transmitida em um meio.

Nessa lógica, espera-se que a temperatura interna dos ambientes seja regida pela maior ou menor capacidade dos materiais de construção de isolar o calor proveniente do ambiente externo, de forma que os materiais que apresentam elevada condutividade térmica são, portanto, excelentes propagadores de calor. Logo, a transmissão de calor desempenha importante papel na construção civil, visto que a escolha dos componentes desde a etapa de concepção do projeto deve levar em consideração as propriedades desses materiais, a fim de atingir edificações termicamente eficientes.

2.3 Normas técnicas

Desempenho é o comportamento de um produto em utilização. Os primeiros históricos de desempenho testemunhados na construção civil refletem os anos do pós segunda guerra mundial, quando cidades europeias estavam totalmente destruídas e, nesse sentido, havia uma necessidade emergencial de reconstrução desses locais. Desse contexto, fez-se necessário fomentar as principais inovações tecnológicas e, para que isso fosse possível, surgiram as primeiras normas de desempenho que continham os requisitos mínimos para soluções inovadoras que eram pioneiras no mercado.

Ainda que a discussão da temática de desempenho seja recente, no Brasil trabalha-se na elaboração da norma de desempenho desde 1981, quando o Banco Nacional de Habitação apresentou a necessidade de critérios técnicos para avaliar as propostas de empreendimentos recebidas pela instituição. Alguns anos depois, instituições como a Caixa Econômica Federal,

por meio do Instituto de Pesquisa de São Paulo, estabeleceram critérios de avaliação que caracterizaram-se como precursor para a criação de uma comissão de estudos com o objetivo de coordenar a discussão sobre o assunto no meio técnico de forma a buscar consenso para transformação do produto final em norma brasileira, no âmbito da ABNT.

O desempenho térmico de edifícios apresenta relevância no contexto de conforto dos usuários e da eficiência energética, de forma que esse conjunto é capaz de promover a redução dos custos com as edificações. O desempenho térmico, portanto, está diretamente ligado a fatores de influência que, de forma singular e coletiva, afetarão o estudo do desempenho das edificações, de forma que a geometria do edifício, os dados climáticos da região e as propriedades térmicas dos materiais empregados na construção apresentam influência direta na análise.

Ao analisar um prédio é possível verificar que os ambientes internos estão sujeitos a diferentes contribuições dos elementos que compõem os edifícios. Nesse sentido, o pavimento de cobertura das edificações recebe contribuição significativamente maior quando comparado àqueles inferiores a ele, uma vez que este estará sujeito às contribuições dos elementos de cobertura, das paredes e do pavimento inferior.

As propriedades dos materiais influenciam nas propriedades térmicas, caracterizadas pela transmitância térmica, o atraso térmico e o fator solar. As normas NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2021) tratam do desempenho térmico e utilizam os parâmetros supracitados a fim de orientar os projetistas na escolha dos materiais. Sendo assim, é possível projetar edificações termicamente eficientes com diferentes materiais desde que os parâmetros preconizados pelas normas sejam atendidos, de forma que a combinação do tipo de material e da espessura da combinação de camadas atenda aos parâmetros exigidos para a propriedade analisada.

2.3.1 NBR 15220/2005

A NBR 15220 (ABNT, 2005) é uma norma prescritiva de desempenho térmico de edificações, que apresenta propriedades térmicas dos materiais e definições acerca de zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas que devem ser tomadas como base para a execução do projeto. A norma é dividida em quatro partes e discorre acerca de propriedades térmicas dos materiais, incluindo a condutividade térmica, o calor específico e a densidade dos materiais. Com base nas propriedades citadas, é possível calcular a transmitância e a capacidade térmica.

A terceira parte do texto define oito zonas bioclimáticas no Brasil, com base em critérios de referência que diferem entre cada zona e, nesse sentido, apresenta recomendações de vedação para cada zona bioclimática, o que inclui a definição de cada recomendação de acordo com valores de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar. Além disso, a normativa estabelece recomendações de aberturas para ventilação e estratégias de condicionamento térmico passivo que podem ser empregadas em cada uma das zonas bioclimáticas.

2.3.2 NBR 15575/2021

A NBR 15575 (ABNT, 2021) apresenta requisitos e critérios de classificação e aborda o tópico de desempenho térmico nas partes quatro e cinco do texto. A norma usa a mesma classificação de zoneamento bioclimático da NBR 15220 (ABNT, 2005) e as mesmas propriedades térmicas, ainda que ligeiramente diferentes, além de lançar mão de critérios antes não abordados, estipulando níveis de desempenho. Nesse sentido, para cada zona bioclimática brasileira há a instauração de técnicas de condicionamento térmico passivo. É importante compreender que a norma adotada contém requisitos enquadrados no nível qualitativo, critérios em termos quantitativos e métodos de avaliação para verificação ou não do atendimento dos critérios.

Válida desde 19 de julho de 2013 para projetos de edificações residenciais, a norma é dividida em seis partes que contemplam requisitos gerais, requisitos para os sistemas estruturais, para sistemas de pisos internos, de vedações verticais internas e externas, de cobertura e, por fim, requisitos para os sistemas hidrossanitários. O principal foco é obter resultados satisfatórios para o bem-estar do usuário, sendo assim, a edificação deve reunir características que atendam às exigências de desempenho, considerando-se a região de implantação da edificação e as características bioclimáticas (ROMERO E RODRIGUES, 2009). Em todas as partes do texto, são especificados os requisitos dos usuários dos imóveis, divididos em segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Os requisitos de habitabilidade são expressos, dentre outros fatores, pela estanqueidade, desempenho térmico, funcionalidade e saúde, higiene e qualidade do ar.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2021) é a parte particular da Norma dedicada ao desempenho térmico das vedações verticais externas, ou seja, das fachadas. Ela apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas e internas. Quanto às diretrizes construtivas do zoneamento bioclimático 3, caracterizam-se pelo tipo de vedação externa e também pelas estratégias de condicionamento

térmico passivo. As vedações verticais externas e internas limitam os cômodos e ambientes de uma edificação, criam condições confortáveis, protegendo do frio, do calor, da chuva e de outros agentes indesejáveis. De acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2021) as paredes devem ser levemente refletoras e a cobertura leve isolada. Sendo assim, deve-se analisar a transmitância térmica, o atraso térmico e o fator solar para as paredes externas e coberturas. As aberturas para ventilação devem ser médias e o sombreamento deve permitir a entrada de sol durante o inverno, correspondendo de 15% a 20% da área do piso da edificação.

Os requisitos de desempenho definem as condições que devem ser atendidas pela edificação, em termos qualitativos e os critérios de desempenho traduzem os requisitos em parâmetros quantitativos. Por fim, os métodos de avaliação, como ensaios laboratoriais, provas de cargas, cálculos e a análise de projeto permitem a identificação do atendimento às condições iniciais prescritas pela norma.

2.3.3 NR 17

A NR 17 - Ergonomia (BRASIL, 2018) tem por objetivo estabelecer parâmetros que regem a harmonia entre as condições de trabalho e às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a garantir condições ideais de conforto, segurança e desempenho eficiente por meio da adaptação das condições de trabalho. As condições de trabalho incluem, dentre outros aspectos, as condições ambientais do posto de trabalho.

Nos ambientes onde acontecem trabalhos que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, recomenda-se que, além da promoção das condições de conforto quanto aos níveis de ruído, garanta-se índices de temperatura efetiva entre 20°C e 23°C e umidade relativa do ar não inferior a 40% (BRASIL, 2018).

2.4 Condicionamento térmico passivo

O condicionamento térmico passivo é um dos parâmetros indicados pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) como parte das diretrizes construtivas específicas para cada zona bioclimática (LAMBERTS *et al.*, 2010) e proporciona condições de temperatura agradáveis e luminosidade natural dentro de um ambiente, uma prática altamente sustentável. Ao pensar em um projeto, deve-se ter sempre o cuidado de estudar as condições naturais do ambiente, de forma que o primeiro dos condicionantes se relaciona ao entorno, ou seja, a orientação solar, a incidência de ventos e as áreas sombreadas, e o segundo está ligado ao tipo de clima na região, logo devem

ser analisadas as temperaturas, incidência de chuvas, umidade, entre outros. Com o resultado destas análises, determinam-se quais as possíveis problemáticas relacionadas ao conforto térmico e lumínico da edificação a fim de dispor das características climáticas locais para prever as estratégias de condicionamento passivo que devem ser adotadas e obter o melhor aproveitamento das condicionantes térmicas (CÂNDIDO, 2006). Sendo assim, é possível dividir a temática em estudos acerca da ventilação natural e do isolamento térmico.

2.4.1 Ventilação natural

De acordo com Frota e Schiffer (2001) a ventilação natural promove a renovação do ar do ambiente e comporta-se como um importante fomentador do conforto térmico de verão em regiões de clima temperado e de clima quente e úmido. Essa ventilação consiste na subdivisão de dois fatores, a ventilação cruzada e a quebra de ventos.

A maioria das edificações apresentam temperaturas internas elevadas no verão e/ou baixas no inverno, o que gera o desconforto térmico aos usuários, por calor e/ou por frio. Nesses casos, verifica-se normalmente utilização inadequada das características climáticas locais na fase de projeto da edificação. O uso favorável da ventilação natural e a seleção adequada de materiais de construção e sistemas construtivos podem determinar que o ambiente construído possua desempenho térmico favorável (MACIEL, 2013). A adoção de estratégias que possibilitam a circulação de ar em ambientes internos em regiões de clima quente mantendo a temperatura em níveis agradáveis caracteriza-se como ventilação cruzada, de forma que a entrada do ar nos ambientes seja planejada por meio de, pelo menos, duas janelas e/ou portas posicionadas paralelamente. A quebra de ventos, por sua vez, é caracterizada pela adoção de medidas que objetivam amenizar a entrada de ventos fortes e indesejados na edificação. A vegetação, brises, cobogós ou outros elementos que atuem como barreiras físicas transponíveis podem ser utilizados como artifícios para filtrar o vento, deixando-o mais suave.

2.4.2 Isolamento térmico

Nos dias atuais, durante o verão, tem-se observado que os dias ficam cada vez mais quentes e conforme o tempo passa, isso se agrava, o que gera sérios problemas em questões térmicas dentro dos ambientes, prejudicando muito o rendimento do trabalho, da produção, ou até mesmo do bem estar no momento de lazer e descanso. Com isso, aumenta-se abundantemente o uso de condicionadores de ar para tornar o ambiente mais agradável e

confortável e proporcionar conforto aos usuários. Por outro lado, conseqüentemente, aumenta-se o consumo de energia. No verão os gastos são mais expressivos que no inverno pois os aparelhos ficam ligados por longos períodos (MOTTIN, 2015).

O isolamento térmico consiste na escolha correta do material com bons índices de isolamento, garantindo que a edificação mantenha a temperatura desejada. Em locais muito frios, utiliza-se a incidência solar para aquecer os ambientes. Os telhados verdes também contribuem para uma série de benefícios, absorvendo o calor, não deixando que ele seja transferido para o ambiente interno da edificação. Os estudos de conforto térmico têm como objetivo a análise e estabelecimento das condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, além de estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente (LAMBERTS, 2008).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste contexto, notou-se que a temática aborda importantes etapas e elementos de projeto e tem ganhado espaço nas pesquisas a respeito do conforto térmico. Isso se dá em razão do conjunto de condições climáticas de um país predominantemente tropical somadas à crescente demanda por edificações eficientes e confortáveis. Nesse sentido, foi possível mapear as edificações, com o intuito de avaliar o desempenho térmico das salas de aula no *campus* sede da Universidade Federal de Lavras e verificar se as condições vigentes atendem aos requisitos prescritos pelas normas técnicas.

Portanto, espera-se que este estudo contribua com futuras pesquisas no campo do conforto térmico e promova a consciência a respeito do espaço e dos elementos que compõem as edificações, de maneira que seja possível projetar edificações que sejam capazes de obter o melhor aproveitamento dos elementos naturais, reduzindo a necessidade de intervenção por meio da climatização artificial.

REFERÊNCIAS

- AMARO, A. N. **Zoneamento bioclimático do conforto humano para o estado de Minas Gerais com base no índice de temperatura e umidade** - Dissertação para obtenção de título de mestre - Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, 2016.
- ANDRADE, H. **O clima urbano- natureza, escalas de análise e aplicabilidade**. Finisterra. Revista Portuguesa de Geografia, XL, 80, p.66-91, 2005.
- 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.
- 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.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora n° 17. **NR 17 – Ergonomia**. Brasília, DF, 2019.
- CORBELLA, O; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos - conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; Ferreira, E. **Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG**. Ciência e Agrotecnologia [online]. 2007, v. 31, n. 6 [Acessado 24 Outubro 2022], pp. 1862-1866. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>>. Epub 03 Jan 2008. ISSN 1981-1829. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>.
- FANGER, P. O. **Near future prospects of the meteorological environment in Developing Countries in deserts and tropical areas**. 1972. Improvement of human comfort and resulting efforts on working capacity, *Biometeorology*, 5, 11.
- FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970. Technical University of Denmark, Laboratory of heating and Air Conditioning.
- FANGER, P.O. et al. **The Effect on Man's Comfort of a Uniform Air Flow from Different Directions**. ASHRAE Transactions. vol. 80, Part 2, New York, 1974.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 244 p., 2001.
- GIVONI, B. **Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines**. *Energy and Buildings*, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.
- GRZYBOWSKY, G. T. **Conforto térmico nas escolas públicas em Cuiabá – MT: estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em física e meio ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2004.

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.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** PW Editores. São Paulo. 1997.

LAMBERTS, R. **Conforto e Stress Térmico.** 1. ed. Florianópolis, 2008.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. **Conforto térmico e stress térmico.** Apostila da disciplina de Conforto Ambiental. Florianópolis, 2002.

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

MACIEL, A. C. F. (2013). **Energia Incorporada de Fachadas Ventiladas. Estudo de Caso para Edificação Habitacional em Brasília-DF.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-018A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 146p

MARTINI, G. et al. **Conexões com a Física,** 3. ed. São Paulo: Moderna, 2016, 287p, v2.

MASLOW, A. H. **A Dynamic Theory of Human Motivation.** In: Stacey, C.L. and DeMartino, M., Eds., Understanding Human Motivation, Howard Allen Publishers, 26-47. <https://doi.org/10.1037/11305-004>. 1958

MORELLO, A. **Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada.** 2005. Dissertação de Mestrado, NORIE - UFRGS, Porto Alegre.

MOTTIN, Maurício H. **Isolamento térmico em fachadas pelo exterior: Redução do consumo energético da edificação para fins de conforto térmico.** 2015. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Univates, UNIVATES, Lajeado – RS.

REVEL, G.M.; ARNESANO, M. Perception of the thermal environment in sports facilities through subjective approach. **Building and Environment,** v.77, p. 12-19, jul. 2014

ROCHA, H. M. F.; OLIVEIRA, J. G. T. de. **Avaliação do ambiente térmico em salas de aula da Universidade Federal de Lavras.** Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, 2021.

ROMERO, M. A.; RODRIGUES, E. J., 2009. **Evento abre caminho para construção de Zero Energy Building; Sistemas Prediais,** São Paulo, V. 2, ISSN: 1981-4240.

TEIXEIRA, G. S., 2015. **Avaliação Acústica Pós-Ocupação em Ambientes de Ensino. Dissertação de Mestrado em Construções e Ambiência.** Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 172p. 2021.

VERGARA, L. G. L. **Análise das condições de conforto térmico de hospital universitário de Florianópolis. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis,** 2001.

Relatórios | **Comissão Própria De Avaliação – CPA.** Disponível em: <http://www.cpa.ufla.br/relatorios/>. Acesso em: nov. 2022.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Elaborado conforme o Template da Revista

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM SALAS DE AULAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Danielle Machado Silveira¹
Pérola Carolina Moreira de Assis Borges¹

1. Universidade Federal de Lavras (UFLA)

RESUMO: Na contemporaneidade, a valorização adequada do clima local é imprescindível para garantir à arquitetura uma identificação com o local, de forma que levar em consideração o conforto térmico dos usuários permite projetar edificações eficientes e eficazes. O conhecimento das condições climáticas locais é, portanto, essencial para a definição de quesitos básicos para a execução de projetos termicamente eficientes. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico dos ambientes internos em três pavilhões diferentes do câmpus Sede da Universidade Federal de Lavras por meio do levantamento de dados climáticos, a fim de obter conclusões a respeito das condições de conforto térmico desses ambientes com base nos textos normativos contemplados pela NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), pela NBR 15575 – Edificações Habitacionais - Desempenho (ABNT, 2021) e, ainda, pela NR 17 – Ergonomia (BRASIL, 2018). Nesse sentido, as medições realizadas in loco no período de 3 meses do ano em 6 salas de aula permitiu que as condições analisadas pudessem ser verificadas durante o inverno, de modo que as coletas foram realizadas em intervalos de duas horas, nos períodos matutino e vespertino. Além disso, durante a coleta dos dados climáticos, observaram-se as condições de aberturas e sombreamento das salas de aula, possibilitando a análise dessas condições de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2021). Em vista disso, as salas de aula avaliadas atendem, em sua maioria, às recomendações normativas para a zona bioclimática definida para a cidade de Lavras, de maneira que duas salas apresentam limites de umidade inferiores ao recomendado pela norma no mês de Agosto, período final do inverno.

Palavras- chave: Conforto térmico. Dados climáticos. Universidade Federal de Lavras. NBR 15220. NBR 15575. NR 17.

EVALUATION OF THERMAL COMFORT IN CLASSROOMS AT THE FEDERAL UNIVERSITY OF LAVRAS

ABSTRACT: In contemporary times, the appropriate appreciation of the local climate is essential to ensure that architecture is identified with the place, so that considering the thermal comfort of users allows efficient and effective buildings to be designed. Knowledge of local climatic conditions is, therefore, essential for the definition of basic requirements for the execution of thermally efficient projects. In this context, this work aims to evaluate the thermal performance of indoor spaces in three different pavilions of the main campus of the Federal University of Lavras through a survey of climatic data in order to draw conclusions about the thermal comfort conditions of these environments based on the normative texts contemplated by NBR 15220 - Thermal Performance of Buildings (ABNT, 2005), by NBR 15575 - Residential Buildings - Performance (ABNT, 2021) and also by NR 17 - Ergonomics (BRASIL, 2018). In this sense, the measurements performed in loco over a period of 3 months of the year in 6 classrooms allowed the analyzed conditions to be verified during the winter, so that the collections were performed at two-hour intervals, in the morning and afternoon periods. In addition, during the collection of climatic data, the conditions of openings and shading of the classrooms were observed, enabling the analysis of these conditions in accordance with NBR 15220 (ABNT, 2005) and NBR 15575 (ABNT, 2021). Therefore, most of the classrooms assessed meet the normative recommendations for the bioclimatic zone defined for the city of Lavras, in such a way that two classrooms present humidity limits lower than those recommended by the norm in August, the final winter period.

Keywords: Thermal comfort. Climate Data. Federal University of Lavras. NBR 15220. NBR 15575. NR 17.

EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO EN LAS AULAS DE LA UNIVERSIDAD FEDERAL DE LAVRAS

RESUMEN: En la contemporaneidad, la adecuada valorización del clima local es esencial para garantizar a la arquitectura una identificación con el lugar, de modo que la consideración del confort térmico de los usuarios permita diseñar edificios eficientes y eficaces. El conocimiento de las condiciones climáticas locales es, por tanto, esencial para la definición de los requisitos básicos para la ejecución de proyectos térmicamente eficientes. En este contexto, este trabajo tiene como objetivo evaluar el desempeño térmico de los ambientes interiores en tres diferentes pabellones del campus Sede de la Universidad Federal de Lavras a través del levantamiento de datos climáticos con el fin de obtener conclusiones sobre las condiciones de confort térmico de estos ambientes con base en los textos normativos contemplados por la NBR 15220 - Desempeño térmico de edificios (ABNT, 2005), por la NBR 15575 - Edificios Habitacionales - Desempeño (ABNT, 2021) y también por la NR 17 - Ergonomía (BRASIL, 2018). En este sentido, las mediciones realizadas in loco durante un período de 3 meses al año en 6 aulas permitieron verificar las condiciones analizadas durante el invierno, de modo que las colectas fueron realizadas en intervalos de dos horas, en los períodos de la mañana y de la tarde. Además, durante la recolección de los datos climáticos, se observaron las condiciones de abertura y sombreado de las aulas, permitiendo el análisis de estas condiciones de acuerdo con las normas NBR 15220 (ABNT, 2005) y NBR 15575 (ABNT, 2021). Así, la mayoría de las aulas evaluadas atiende a las recomendaciones normativas para la zona bioclimática definida para la ciudad de Lavras, de forma que dos aulas presentan límites de humedad inferiores a los recomendados por la norma en agosto, período final del invierno.

Palabras clave: Confort térmico. Datos climáticos. Universidad Federal de Lavras. NBR 15220. NBR 15575. NR 17.

INTRODUÇÃO

A concepção e a arquitetura das edificações universitárias são agentes relevantes na harmonização da interação espaço-usuário, uma vez que satisfazer as necessidades básicas de conforto em salas de aula reflète na forma como os professores e alunos compartilham e adquirem aprendizados. O bem estar dos docentes e discentes da universidade é diretamente afetado pelas condições climáticas e pelo conforto térmico proveniente dos ambientes a que os seres humanos estão inseridos e essa influência pode se dar por meio de diversas variáveis, como a velocidade do vento, a temperatura e a umidade do ar, ou a intensidade da radiação solar. Essas variáveis possuem relação direta com o conforto térmico e, portanto, com a qualidade de vida da população. Segundo Turmena (2017), uma das funções da engenharia é oferecer ao interior dos edifícios condições ambientais compatíveis às exigências que o ser humano demanda, ainda que as condições externas sejam extremamente desfavoráveis.

Nessa perspectiva, o conforto térmico é definido pela ASHRAE (2005) como o estado de espírito que reflète a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Entende-se, portanto, que a promoção do conforto térmico é um fator de extrema relevância nas edificações, de forma que o estudo das variáveis de conforto térmico se baseiam na premissa de que existe uma correlação entre conforto e consumo energético (LAMBERTS, 2014). Nesse sentido,

utiliza-se a bioclimatologia a fim de empregar os conhecimentos sobre o clima no entendimento da interação entre o ambiente e o ser humano (OLGYAY, 1968).

Pensando nisso, a Universidade Federal de Lavras, reconhecida por ser a 2º universidade mais sustentável do Brasil, se preocupa com a eficiência energética do câmpus e o modo como as condições de conforto térmico das salas de aula podem interferir de maneira significativa na utilização da energia elétrica no Campus. Dessa maneira, o câmpus Sede, que está localizado em uma zona bioclimática caracterizada por um período de muita chuva durante o verão e clima predominantemente seco durante o inverno, como enuncia a NBR 15220 (ABNT, 2005), demanda atenção no sentido de conceber e executar projetos de engenharia que proporcionem conforto aos usuários.

Diante disso, esta pesquisa tem por objetivo avaliar o desempenho térmico das salas de aula em três pavilhões diferentes do câmpus Sede da Universidade Federal de Lavras e verificar se as condições vigentes atendem aos requisitos mínimos estabelecidos nas normas técnicas de desempenho de edificações.

OBJETIVO

Este estudo visa avaliar o desempenho térmico dos ambientes internos em três pavilhões diferentes do câmpus Sede da Universidade Federal de Lavras por meio do levantamento de dados de temperatura e umidade relativa do ar e posterior verificação das condições vigentes perante os requisitos mínimos estabelecidos pelas normas técnicas NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), NBR 15575 - Edificações habitacionais - Desempenho (ABNT, 2021) e NR 17 - Ergonomia (BRASIL, 2018).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforto térmico em pavilhões da universidade

Os estudos acerca do conforto térmico em ambientes internos, conceito definido pela ASHRAE Standard 55 (2013, p. 4) como o estado da mente onde a percepção de satisfação com o ambiente térmico se expressa, são importantes na promoção do bem-estar dos usuários. Isso se justifica pelo fato de que avaliar as condições necessárias para a promoção de um ambiente térmico adequado às atividades humanas baseia-se na satisfação do homem em se sentir confortável termicamente, na performance humana, que pode ser afetada pelas condições de desconforto causadas pelas condições externas e, por fim, na conservação de energia, dada a

atual necessidade do uso de climatização artificial que pode ser minimizada quando conhecidas as condições de conforto térmico dos usuários (LAMBERTS, 2013).

Inúmeras pesquisas com o intuito de definir os parâmetros de conforto térmico e a influência das condições ambientais externas na promoção de ambientes termicamente confortáveis foram desenvolvidas. Atualmente, a capacidade de aprendizagem, que em décadas passadas não levava em consideração o ambiente construído, tem ganhado relevância no sentido de obter o melhor aproveitamento dos ambientes internos, dado que estudos acerca da temática em instituições públicas de educação superior próximas às cidades de Belo Horizonte e Ouro Preto indicam que a capacidade atencional e de aprendizagem dos discentes é afetada pelo meio externo e pelas condições climáticas (MARÇAL, 2019). Avaliações acerca do conforto térmico realizadas por Grzybowski (2004) relatam que o calor excessivo é capaz de provocar efeitos negativos sobre a capacidade do indivíduo no desenvolvimento de tarefas, o que reduz a atenção dos ocupantes e aumenta os riscos de erros ou acidentes.

Nesse sentido, é imprescindível garantir que a arquitetura atenda às exigências dos usuários promovendo conforto habitacional (SOUSA, 2020), de modo que as edificações sejam capazes de atuar de maneira eficiente, a partir dos recursos empregados para tal e, ainda, eficaz, cumprindo os objetivos propostos. De acordo com Teixeira (2015), em estudo realizado na Universidade Federal de Lavras, a identificação de elementos que corroboram para as condições térmicas dos ambientes internos torna-se relevante nesse contexto, como propriedades geométricas, condições climáticas e localização. O estudo mostra, ainda, que os ambientes internos que possuem condições problemáticas de conforto térmico e, portanto, necessitam da intervenção de ventiladores podem não satisfazer a interação entre conforto acústico e térmico de forma adequada.

Índices de conforto térmico e normas técnicas de desempenho

Ainda que os estudos no campo do conforto térmico tenham experienciado um aumento de interesse por parte dos pesquisadores e as normas sejam capazes de englobar estudos acerca de todas as variáveis que influenciam na promoção do conforto térmico (LAMBERTS, 2002), Fanger (1972) apresentou uma equação de conforto pioneira, há 50 anos, que resume os processos de troca de calor do corpo com o meio. A pesquisa foi desenvolvida com estudantes da mesma faixa etária e é considerada um dos estudos mais detalhados sobre o assunto, de forma que através de linhas de conforto ótimo em diagramas comparativos, é possível exemplificar e identificar as variáveis que afetam o conforto.

Além disso, as normativas NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), NBR 15575 - Edificações habitacionais - Desempenho (ABNT, 2021) e NR 17 - Ergonomia (BRASIL, 2018) permitem que os projetistas sirvam-se das especificações prescritas no texto a fim de atender aos requisitos mínimos de conforto, considerando o objetivo a que cumpre a edificação.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) é uma norma prescritiva que apresenta propriedades térmicas dos materiais e definições acerca de zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas que devem ser tomadas como base para a execução do projeto. A NBR 15575 (ABNT, 2021), por sua vez, apresenta critérios de classificação para a utilização dos recursos disponíveis na construção e utiliza-se da classificação de zoneamento bioclimático da NBR 15220 (ABNT, 2005) para definir níveis de desempenho. Além disso, a NR 17 (BRASIL, 2018) define os parâmetros ergonômicos a serem seguidos, de modo a garantir condições ideais de conforto, segurança e desempenho eficiente por meio da adaptação das condições de trabalho.

Transmissão de calor e propriedades dos materiais de construção

Segundo Martini (2016), o calor é a energia transferida de um corpo para outro devido à diferença de temperatura entre corpos e essa transferência ocorre de forma espontânea, partindo do corpo com maior temperatura para o corpo de menor temperatura.

Além dos estímulos provenientes do clima e da localização das edificações, as propriedades dos materiais e suas formas de transmitir energia térmica interferem nas condições de conforto nas edificações (OLIVEIRA; ROCHA, 2021). Frota e Schiffer (2001) refletem acerca da incidência do sol sobre os edifícios como um ganho de calor em função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos parâmetros do edifício, de maneira que os materiais que compõem os edifícios, quando expostos aos raios solares diretos ou difusos, sofrerão trocas de calor que variam, não somente, mas de acordo com a capacidade desses materiais de conduzir energia, ou seja, em função da condutividade térmica desses elementos.

Nessa perspectiva, a NBR 15220 (ABNT, 2005) caracteriza a condutividade térmica como a propriedade física dos materiais homogêneos e isotrópicos, de conduzir energia térmica em um fluxo constante quando submetidos a um gradiente de temperatura por metro quadrado. Diante disso, os elementos de vedação externa, como paredes e coberturas e os materiais empregados para cumprir a função de vedação atuam na transmissão de energia térmica e consequente promoção do conforto térmico (ABNT, 2005).

Condicionamento térmico passivo

Quando a desarmonia entre a arquitetura da obra e o clima ocorre, ainda que sejam empregados outros tipos de sistema para a correção do problema, como sistemas eletromecânicos de ventilação, estes podem não ser suficientes para solucioná-lo (TURMENA, 2017). Além disso, o emprego desses mecanismos alternativos pode incumbir na elevação do consumo de energia da edificação. Nesse sentido, Goulart (2014) defende que a preocupação com a obtenção de níveis adequados de conforto térmico nos edifícios visa, além de garantir o bem-estar dos usuários, minimizar os gastos de energia por meio do uso de refrigeração artificial, ou seja, incorporando a eficiência energética à construção civil.

A ventilação natural promove a renovação do ar do ambiente e comporta-se como um importante fomentador do conforto térmico de verão em regiões de clima temperado e de clima quente e úmido (FROTA; SCHIFFER, 2001). Nesse sentido, um estudo elaborado por Cerqueira (2012) analisou o atendimento das horas térmicas por meio da ventilação natural e concluiu que a ventilação constante atuando no resfriamento da temperatura interna dos edifícios é de extrema importância em municípios cujo desconforto por calor é bem mais considerável que o desconforto por frio, diminuindo a carga. Para Cerqueira (2012), nesses municípios, as estratégias de ventilação apresentam alta demanda de ventilação constante para a diminuição da carga térmica interna.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa abarcou o monitoramento de variáveis ambientais por meio da coleta de dados de temperaturas internas e externas e umidade relativa do ar, utilizando-se de um aparelho termo-higrômetro digital, em 6 salas divididas em três diferentes pavilhões do *campus* Sede da Universidade Federal de Lavras, localizado na cidade de Lavras/MG.

O monitoramento foi realizado nos pavilhões 2, 3 e 6 da universidade, durante 5 meses de 2022, com início em abril e fim da coleta em agosto. Nesse período, portanto, foi possível realizar a coleta de dados em duas diferentes estações do ano: outono e início do inverno. As medições *in loco* ocorreram em dois diferentes períodos - matutino e vespertino -, nos intervalos de 8h às 12h e 14h às 18h, de acordo com os horários de aulas das disciplinas cursadas pelas autoras.

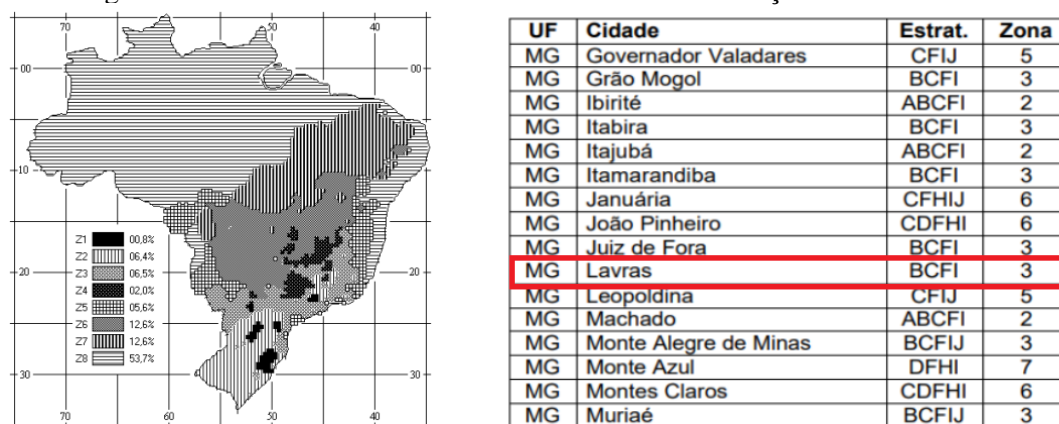
Dados climáticos da cidade de Lavras-MG

Para caracterização do clima da região foram consultados panoramas sobre o regime de chuvas, estações que definem o local, temperatura média e umidade que marcam a região, de

acordo com as diretrizes da NBR 15220-3 (ABNT, 2005) baseadas nas características do zoneamento climático em que a cidade de Lavras está inserida. Essa divisão do território brasileiro em zoneamentos, ilustrada na Figura 1 e especificada pela NBR 15220-3 (ABNT,2005) é dada em função das médias mensais de temperaturas mínimas e máximas e, ainda, em função das médias mensais das umidades relativas do ar. Dessa forma, as prescrições apresentadas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) conduziram a pesquisa.

Nesse sentido, Lavras é uma cidade localizada no Sul de Minas Gerais, com coordenadas geográficas de latitude 21° 14' S, longitude 45° 00' W Gr. e 918 metros de altitude (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). Dantas, Carvalho e Ferreira (2007) concluíram que, para uma série observada entre 1991 e 2004, a temperatura média anual da cidade varia entre de 22,8°C em fevereiro a 18,6°C em agosto. O método utilizado para definir essas temperaturas é baseado na suposição de que o nível de frequência de uma temperatura específica em um determinado período se repetirá no futuro. Durante o período de inverno, é encontrada a direção do vento predominante e seu nível de frequência é de 97,5%. Para o período de verão, é encontrada a direção do vento predominante e sua frequência é de 2,5%. De acordo com análises realizadas, a classificação climática da cidade, baseada no método de Köppen descreve a fórmula climática como Cwa, ou seja, um inverno seco e um verão chuvoso.

Figura 1 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro e classificação climática de Lavras/MG.



Fonte: ABNT, 2005

Equipamento utilizado

O termo-higrômetro digital portátil HT-7020 foi o equipamento utilizado para a pesquisa. Este dispositivo mede valores de temperatura e de umidade do ar presentes na atmosfera, de forma bastante exata, sendo utilizado em estudos de clima. O dispositivo possui escalas de umidade que medem de 0% a 100% e as escalas de temperatura, por sua vez, de -20°C a 60°C, de maneira que a precisão da umidade é de $\pm 2\%$ U.R e a precisão da temperatura é de $\pm 0,5$ °C, segundo o fabricante. Por ser portátil e de fácil transporte, o instrumento garantiu

à pesquisa viabilidade e agilidade na coleta de dados em salas de aula e ambientes externos aos pavilhões analisados.

Medições *in loco* com o equipamento

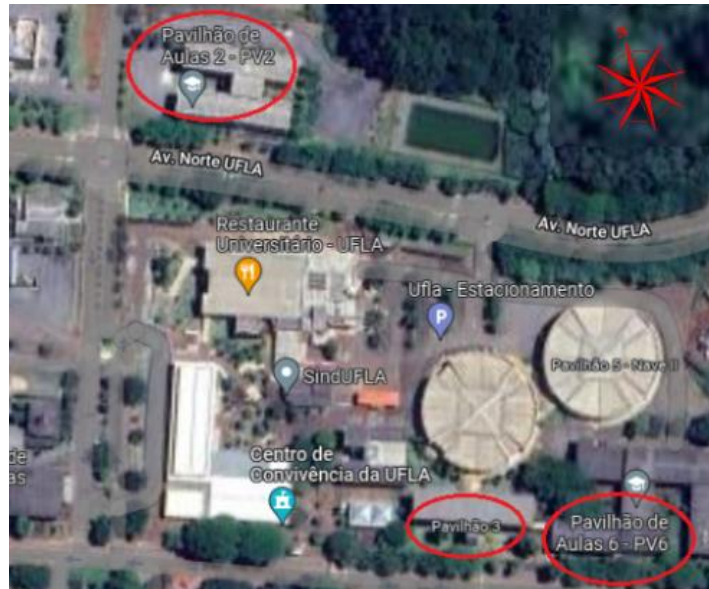
Os valores de temperatura e de umidade do ar foram coletados por meio do dispositivo em apenas um ponto no interior das salas de aula, com a média de 5 medições em intervalos de 15 a 20 minutos durante duas horas e calculou-se, então, a média dos dados colhidos para esse período. As coletas foram realizadas durante o período letivo, ou seja, as salas utilizadas como objeto de estudo apresentavam lotação entre 75% e 100% da capacidade, situação que tem potencial para influenciar os resultados obtidos. Simultaneamente a esse processo, foram anotados os dados de temperatura e umidade do ar no exterior das edificações analisadas.

As informações foram coletadas nos pavilhões 2 e 6 durante os meses de junho, julho e agosto e no pavilhão 3 durante os meses de abril, junho, julho e agosto. Nesse sentido, foi possível parametrizar as informações obtidas, com o intuito de traduzi-las em conclusões acerca do conforto térmico nas edificações, por meio do cálculo das médias de temperatura e umidade a cada mês do estudo. Uma vez que a NR 17 (BRASIL, 2018) estabelece um limite para temperatura efetiva com o intuito de proporcionar maior conforto e segurança aos usuários para a execução das atividades (ROCHA; OLIVEIRA, 2021), as condições vigentes observadas a partir dos dados foram analisadas.

Zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas

De forma concomitante à coleta de dados, as normas NBR 15220 (ABNT, 2005), NBR 155757 (ABNT, 2021) e NR 17 (BRASIL, 2018) foram analisadas, levando em consideração o zoneamento bioclimático descrito pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e as diretrizes construtivas descritas para os edifícios analisados. Sabendo, portanto, que a cidade de Lavras-MG está localizada na zona bioclimática 3, observaram-se as estratégias indicadas na norma para tal área e a concordância das condições vigentes dos pavilhões analisados com as prescrições normativas. Nesse sentido, a orientação e a implantação da edificação, identificadas na Figura 2 apresentaram-se como dados para a presente análise.

Figura 2 - Vista aérea da localização dos Pavilhões Analisados



Fonte: Adaptado de Google Maps (2022)

Além disso, a fim de entender o impacto dos materiais empregados na execução das edificações na promoção do conforto térmico dos ambientes internos, foram analisadas as disposições construtivas e os recursos utilizados para tal. Portanto, caracterizando as condições ambientais e construtivas dos ambientes, foi possível identificar elementos que atuam ativamente na promoção do conforto dos pavilhões da universidade.

Análise das estratégias construtivas

O pavilhão 2 está localizado na Avenida Norte do *campus* como identificado na Figura 8, e foi construído em concreto armado, paredes de alvenaria com reboco e pintura, esquadrias de metalon pintado com vidro de 6 mm e laje pré-moldada, rebocada e pintada. A edificação de três pavimentos é composta por 30 salas de aula dispostas em dez salas por pavimento, cujo pé direito é de aproximadamente 3,10 metros. Algumas características estratégicas construtivas e de entorno podem contribuir e melhorar a eficiência térmica do pavilhão. A Figura 3 revela a existência de aberturas centrais que promovem maior circulação do ar nas regiões das salas de aula. Ademais, dentro destas salas, há abertura nas duas laterais, o que garante a ventilação cruzada delas.

Figura 3 – Fachada e vista aérea da localização Pavilhão de Aulas 2.



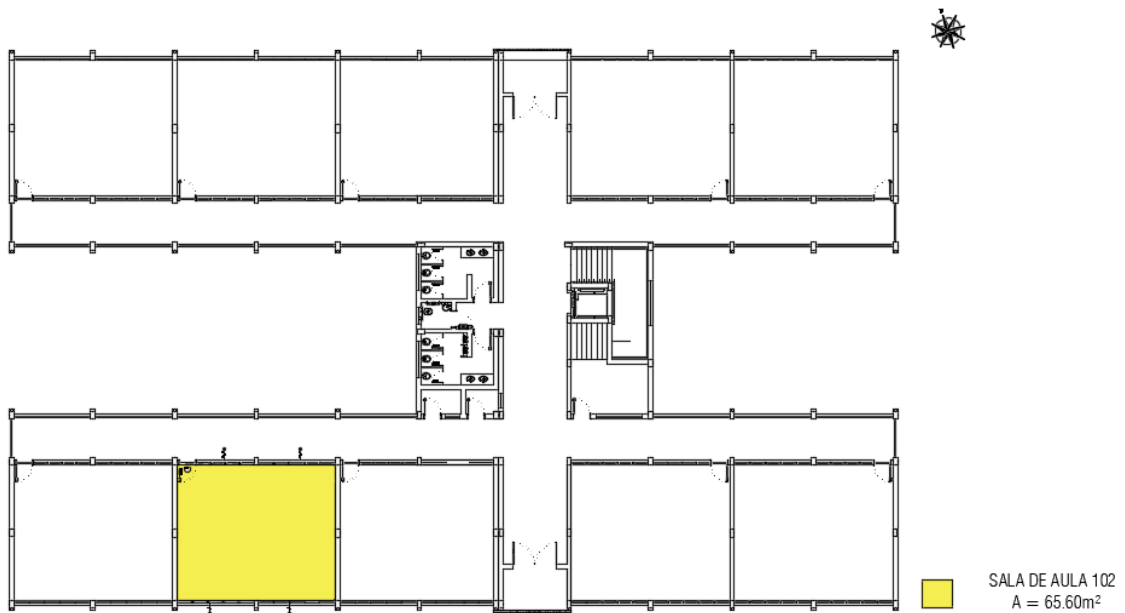
Fonte: Dos autores (2022).



Fonte: Adaptado de Google Maps (2022).

A disposição das salas, para este pavilhão, pode ser analisada a partir da planta baixa dos pavimentos onde houve coleta de dados, ou seja, o pavimento térreo (FIGURA 4) e o último pavimento (FIGURA 5).

Figura 4 - Planta baixa do pavilhão 2 – Térreo.



Fonte: Adaptado de PROINFRA (2022).

Figura 5 - Planta baixa do pavilhão 2 - 3º Pavimento.



Fonte: Adaptado de PROINFRA (2022).

O pavilhão 3, por sua vez, é uma edificação de três pavimentos e 12 salas de aulas, localizada na região central da universidade, como mostrado na figura 10. As salas possuem janelas amplas, tendo algumas delas voltadas para as áreas de circulação de estudantes (TEIXEIRA, 2015). A edificação, construída em concreto armado e alvenaria de vedação, possui 4 salas por andar, com paredes de alvenaria em reboco e pintura, piso cerâmico, esquadrias de metalon pintado com vidro de 6mm e laje pré-moldada, rebocada e pintada. Cada sala possui dimensões de 13,60 metros de comprimento, 7,50 metros de largura e 3,28 metros de pé-direito. Por estar localizado no centro da universidade, o fluxo de alunos que circulam no local é intenso, logo, as trocas térmicas entre o corpo e o ambiente também se intensificam. A figura 6 mostra algumas características deste pavilhão, assim como suas condições de entorno. As árvores ao redor promovem um melhor sombreamento e ventilação para as salas de aula.

Figura 6 – Fachada e vista aérea da localização Pavilhão de Aulas 3.



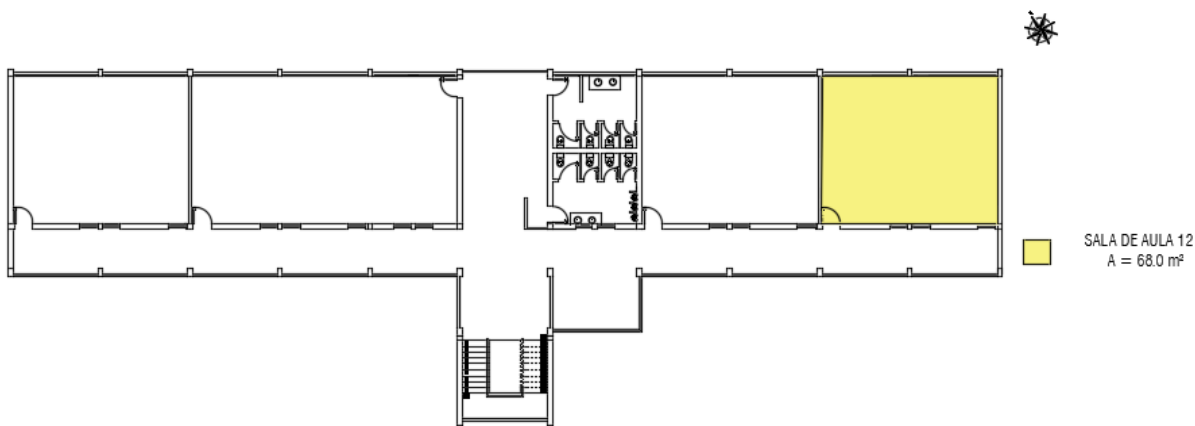
Fonte: Dos autores (2022).



Fonte: Google Maps (2022).

A disposição das salas, para este pavilhão, pode ser analisada a partir da planta baixa do pavimento onde houve coleta de dados, ou seja, o último pavimento da edificação (FIGURA 7).

Figura 7 - Planta baixa do pavilhão 3 - 3º pavimento



Fonte: Adaptado de PROINFRA (2022).

O pavilhão 6, por fim, constituído de dois pavimentos, está localizado próximo à Avenida Central e adjacente ao pavilhão 3, como mostrado na figura 12, e pode ser acessado por esses dois locais e, ainda, pelo estacionamento localizado em 21°13'36.7"S 44°58'32.4"W. A partir de um estudo realizado por Teixeira (2015), utilizando-se da metodologia *walkthrough*, notou-se relatos acerca da ausência de laje de cobertura, de forma que o pavilhão é composto apenas por um forro de PVC. Dessa forma, as altas temperaturas irradiadas pelas telhas de fibrocimento fazem com que o forro de PVC seja insuficiente para bloqueá-las e, para tanto, é fundamental que os ventiladores sejam mantidos ligados durante os períodos mais quentes, problema comum nas salas orientadas para o oeste (TEIXEIRA, 2015). A figura 8 mostra algumas condições e entorno deste pavilhão, que, assim como o Pavilhão 3, é rodeado de árvores que promovem um melhor sombreamento e ventilação para as salas de aula.

Figura 8 – Fachada e vista aérea da localização Pavilhão de Aulas 6.



Fonte: Dos autores (2022).



Fonte: Google Maps (2022).

A disposição das salas, para este pavilhão, pode ser analisada a partir da planta baixa do pavimento onde houve coleta de dados, ou seja, o último pavimento da edificação (FIGURA 9).

Figura 9 - Planta baixa do pavilhão 6 - 2º pavimento



Fonte: Adaptado de PROINFRA (2022).

Condições de entorno

As estratégias de condicionamento térmico passivo foram analisadas, de acordo com as instruções normativas, de forma que o tamanho das aberturas para ventilação, a ventilação natural, as vedações externas e a orientação solar vigentes nos prédios estudados foram tomadas como parâmetros para entender as condições de conforto térmico proporcionadas por essas edificações (ABNT, 2005; ABNT, 2021). Nesse sentido, as condições supracitadas, observadas durante as coletas de dados *in loco* somadas à verificação das plantas das edificações com o intuito de identificar as condições de entorno e os materiais de construção empregados na obra, permitiram a identificação e a avaliação dos elementos que afetam as condições internas dos pavilhões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desempenho térmico

O planejamento de condicionamento térmico passivo e sua classificação são abordados nas normas NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1 (ABNT, 2021) e trazem informações relacionadas aos valores de temperatura para cada zona bioclimática ligada aos níveis de

desempenho. O desempenho térmico para a cidade de Lavras, localizada na zona bioclimática 3, é classificado como 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 reduzida de 2°C; para um desempenho térmico superior, a temperatura interna da construção deve ser menor ou igual à temperatura externa diminuída de 4°C. Durante o inverno, por sua vez, 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 acrescido de 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.

Diante disso, para a cidade de Lavras-MG, as estratégias indicadas na norma remetem à forma, à orientação e à implantação da edificação, uma vez que tais estratégias podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. Além disso, a cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar e a adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido (ABNT, 2005).

De acordo com a norma, as sensações térmicas podem ser melhoradas através da desumidificação dos ambientes (ABNT, 2005). Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo por meio da ventilação dos ambientes. Nesse sentido, a ventilação cruzada torna-se uma estratégia relevante, visto que obtém-se tal alternativa através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que, em ambientes compostos por janelas em apenas uma fachada, a porta deve ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Por fim, deve-se atentar ao perfil dos ventos predominantes da região e às condições do entorno, uma vez que o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.

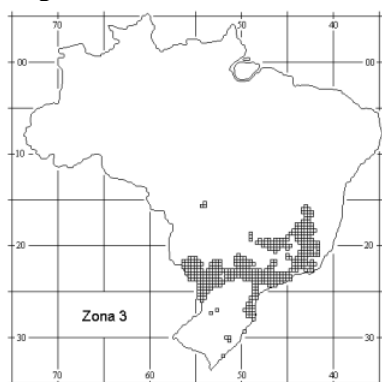
Zoneamento bioclimático

A bioclimatologia tem como objetivo empregar os conhecimentos sobre o clima em relação à interação com o ser humano (OLGYAY, 1968). O Brasil tem seu clima mapeado e dividido em 8 zonas bioclimáticas, de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005). Estas zonas se relacionam com as características climáticas das áreas do país. Com isso, é possível obter o clima de cada cidade e relacioná-lo através de tabelas que indicam as estratégias e diretrizes construtivas bioclimáticas recomendadas para cada local, onde será projetada e construída uma edificação. A edificação, portanto, deve reunir características que atendam às exigências de

desempenho térmico prescritas pela norma, de maneira que a zona bioclimática definida no texto seja considerada.

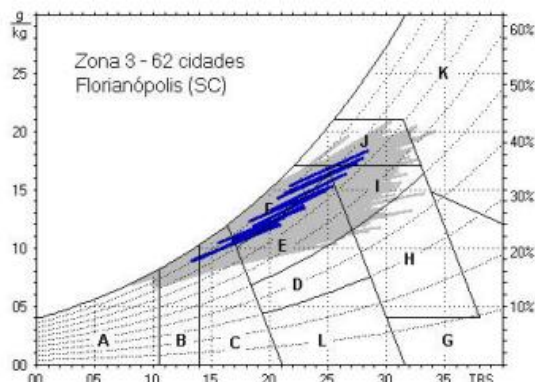
A cidade de Lavras/MG, em consonância com a terceira parte da NBR 15220 (ABNT, 2005), se enquadra na Zona Bioclimática 3, como mostram as figuras 10 e 11. De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), para a Zona Bioclimática 3, a norma indica que no verão seja adotada a ventilação cruzada nos ambientes, que durante o inverno haja aquecimento solar da edificação e que as vedações internas sejam pesadas para contribuir com a inércia térmica.

Figura 10 - Zona Bioclimática 3



Fonte: ABNT, 2003

Figura 11 - Carta Bioclimática 3



Fonte: ABNT, 2003

Análise dos dados climáticos

Com o intuito de sumarizar os resultados encontrados a partir da análise descritiva das estratégias construtivas dos pavilhões e embasar as conclusões deste trabalho, as coletas de dados climáticos realizadas nos ambientes internos e externos dos pavilhões estudados obtiveram como produto médias aritméticas de temperaturas e umidade do ar

A partir dos dados de umidade e temperatura coletados no período de inverno e de posse do texto normativo prescrito pelas normas técnicas NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), NBR 15575 - Edificações habitacionais - Desempenho (ABNT, 2021) e NR 17 - Ergonomia (BRASIL, 2018), foi possível avaliar as condições de conforto proporcionadas pelas edificações analisadas. Nessa perspectiva, de acordo com as estratégias construtivas recomendadas pela NBR 15220 (ABNT, 2005) e pela NBR 15575 (ABNT, 2021) somadas às faixas de classificação de desempenho térmico prescritas pela normativa NBR 15575 (ABNT, 2021) para o inverno, foi possível fazer comparações entre as características das edificações e as recomendações dos textos normativos estudados. Além disso, os valores de umidade relativa do ar foram observados, conforme os parâmetros de ergonomia descritos na NR 17 (BRASIL, 2018) para trabalhos que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, situação habitual em ambientes escolares.

Nesse sentido, para os valores médios de temperatura do ar encontrados em todas as salas analisadas do Pavilhão de Aulas 2 - sala 102 (TABELA 1), sala 302 (TABELA 2) e sala 306 (TABELA 3), o desempenho térmico no trimestre de inverno é classificado como mínimo de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021), uma vez que as temperaturas internas não excedem as temperaturas externas acrescidas de 3°C. Ademais, as médias dos valores de umidade relativa superam o mínimo de 40% prescrito pela NR 17 (BRASIL, 2018), com exceção do observado no mês de Agosto para a sala 102, cuja média de umidade relativa equivale a 36,1% e nos meses de Julho e Agosto na sala 306, cujas médias de umidade relativa equivalem a 29,7% e 34,7%, respectivamente.

Tabela 1: Valores médios de temperatura e umidade relativa do ar PV2-102

Dados coletados no período da tarde								
Mês	Temp. ar interna (°C)	Desvio padrão	Temp. ar externa (°C)	Desvio padrão	Umidade interna (%)	Desvio padrão	Umidade externa (%)	Desvio padrão
Junho	21,6	0,3	21,5	0,0	55,0	1,6	51,9	0,0
Julho	21,2	0,3	22,3	0,0	45,6	4,4	43,2	0,0
Agosto	21,4	0,4	22,4	1,8	36,1	5,6	36,7	4,8

Fonte: Autores (2022).

Tabela 2: Valores médios de temperatura e umidade relativa do ar PV2-302

Dados coletados no período da manhã								
Mês	Temp. ar interna (°C)	Desvio padrão	Temp. ar externa (°C)	Desvio padrão	Umidade interna (%)	Desvio padrão	Umidade externa (%)	Desvio padrão
Junho	16	0,5	15,6	0,0	57,8	3,2	58,5	0,0
Julho	18,6	0,5	17	0,0	57,2	2,2	50,4	0,0
Agosto	19,4	2,8	19,2	1,4	42,4	5,5	41,4	1,5

Fonte: Autores (2022).

Tabela 3: Valores médios de temperatura e umidade relativa do ar PV2-306

Dados coletados no período da tarde								
Mês	Temp. ar interna (°C)	Desvio padrão	Temp. ar externa (°C)	Desvio padrão	Umidade interna (%)	Desvio padrão	Umidade externa (%)	Desvio padrão
Junho	23,5	1,3	21,5	0,0	48,7	2,9	51,9	0,0

Julho	20,7	0,1	21,2	0,0	29,7	0,4	29,9	0,0
Agosto	23,6	1,3	22,8	1,7	34,7	5,9	34,8	5,7

Fonte: Autores (2022).

O comportamento dos dados coletados na sala 12 do Pavilhão 3, ilustrados na Tabela 4, se assemelha ao desempenho das salas de aula do Pavilhão 2 e, portanto, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021), o desempenho térmico dessa edificação pode ser classificado como mínimo. As médias de umidade relativa observadas, por sua vez, superam o mínimo de 40% prescrito pela NR 17 (BRASIL, 2018) e atingem 53,1%, 48,3% e 45,7% nos meses de Junho, Julho e Agosto, respectivamente.

Tabela 4: Valores médios de temperatura e umidade relativa do ar PV3-12

Dados coletados no período da tarde								
Mês	Temp. ar interna (°C)	Desvio padrão	Temp. ar externa (°C)	Desvio padrão	Umidade interna (%)	Desvio padrão	Umidade externa (%)	Desvio padrão
Junho	19,1	1,4	21,2	0,0	53,1	4,7	48	0,0
Julho	21,4	0,8	23,2	0,0	48,3	0,5	40,8	0,0
Agosto	22,3	0,9	22,8	0,0	45,7	2,8	40,1	0,0

Fonte: Autores (2022).

Por fim, os dados de temperatura coletados nas salas de aula 19 (TABELA 5) e 27 (TABELA 6) do Pavilhão 6 apresentam comportamento semelhante aos demais pavilhões analisados, de forma que, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021), a edificação também pode ser classificada em seu desempenho mínimo no trimestre de inverno. Além disso, os valores médios de umidade na sala 27 nos meses de Junho, Julho e Agosto equivalem a 60,9%, 53,1% e 49,1%, respectivamente e, ainda, de forma similar à sala 102 do Pavilhão 2, a sala 19 do Pavilhão 6 apresenta umidade relativa inferior a 40% não excedendo o mínimo apresentado pela NR 17 (BRASIL, 2018) por 0,5%.

Tabela 5: Valores médios de temperatura e umidade relativa do ar PV6-27

Dados coletados no período da manhã								
Mês	Temper. ar interno (°C)	Desvio padrão	Temp. ar externa (°C)	Desvio padrão	Umidade interna (%)	Desvio padrão	Umidade externa (%)	Desvio padrão
Junho	17,5	0,7	16,9	0,0	60,9	2,0	58,4	0,0
Julho	15,6	0,3	14,9	0,0	53,1	2,1	56,6	0,0

Agosto	17,9	1,6	16,8	1,6	49,1	6,2	47,5	5,5
--------	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----

Fonte: Autores (2022).

Tabela 6: Valores médios de temperatura e umidade relativa do ar PV6-19

Dados coletados no período da manhã								
Mês	Temp. ar interna (°C)	Desvio padrão	Temp. ar externa (°C)	Desvio padrão	Umidade interna (%)	Desvio padrão	Umidade externa (%)	Desvio padrão
Junho	21,4	2,2	24,0	0,0	41,2	1,8	40,0	0,0
Julho	19,2	0,4	16,9	0,0	69,0	2,1	62,1	0,0
Agosto	23,3	1,0	22,5	0,0	39,5	6,1	39,8	0,0

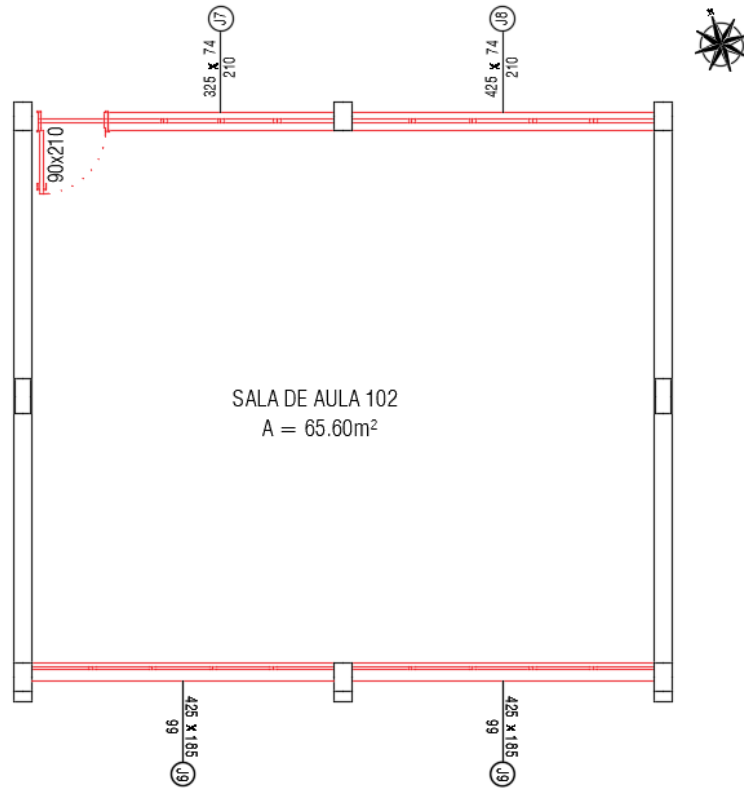
Fonte: Autores (2022).

Verificação de aberturas

Segundo as prescrições da NBR 15220-3 (ABNT, 2005) para a zona bioclimática 3, as aberturas para ventilação devem ser médias, ou seja, superiores a 15% e inferiores a 25% da área de piso.

As salas analisadas no Pavilhão 2 são simétricas e, portanto, compostas por uma porta com abertura correspondente a 0,90m x 2,10m e janelas com dimensões de 3,25m x 0,74m, 4,25m x 0,74m e 4,25m x 1,85m. Para tais salas, a área de piso corresponde a 65,60m² e as aberturas cujas dimensões equivalem a 3,25m x 0,74m e 4,25m x 0,74m estão localizadas na mesma parede da porta que dá acesso à sala de aula. A planta baixa das salas 102, 302 e 306 deste pavilhão apresentadas nas Figuras 12, 13 e 14 identificam as aberturas analisadas.

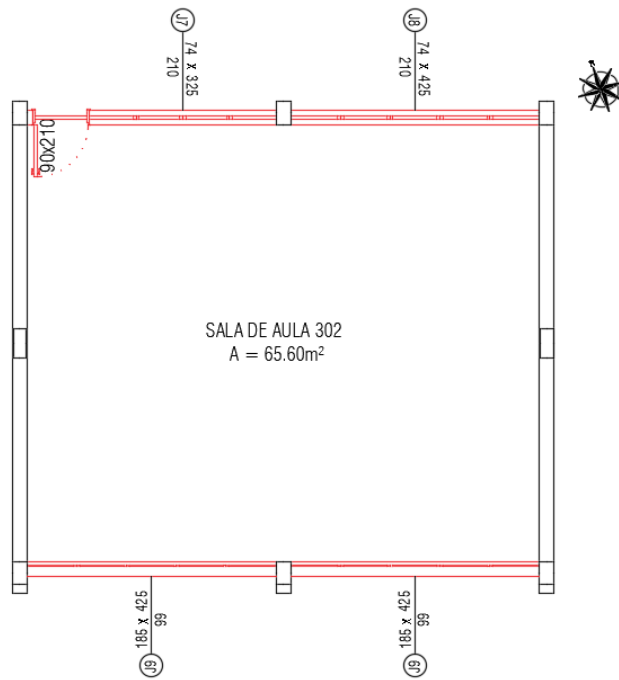
Figura 12 - Planta baixa do pavilhão 2 sala 102



Fonte: Adaptado de PROINFRA (2022).

A sala 302, como mostra a Figura 13, recebe as maiores aberturas, produzidas pelas janelas, à sudoeste e diante da Avenida Norte e do Restaurante Universitário. As janelas adjacentes à porta, portanto, estão diante do corredor de circulação do pavilhão.

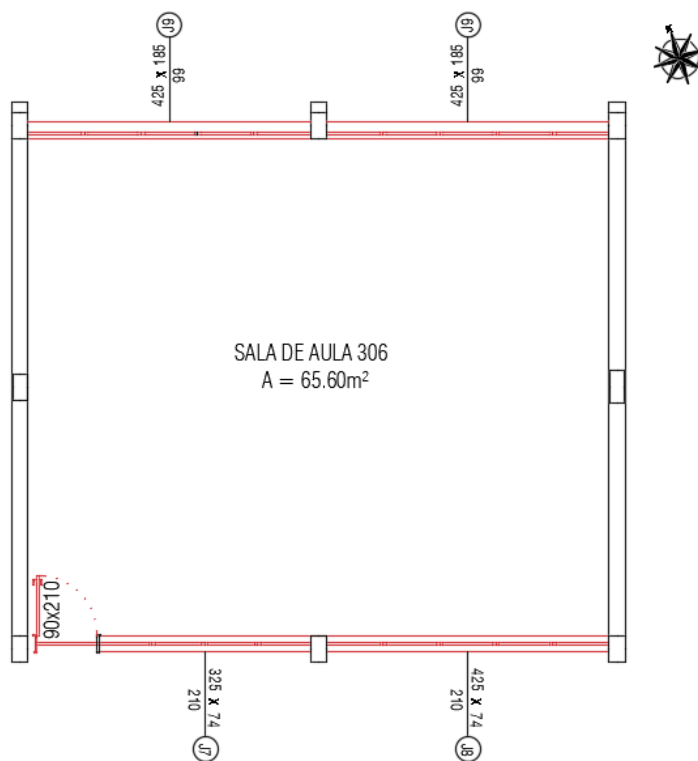
Figura 13 - Planta baixa da sala 302 do pavilhão 2.



Fonte: Adaptado de PROINFRA (2022).

Para a sala 306 do Pavilhão 2, as aberturas a nordeste são compostas por duas janelas, com dimensões iguais a $4,25\text{m} \times 1,85\text{m}$. À sudoeste, por sua vez, duas janelas com dimensões de $4,25\text{m} \times 0,74\text{m}$ e $3,25\text{m} \times 0,74\text{m}$, respectivamente, posicionadas na parte superior da parede, seguidas por uma porta com dimensão igual a $0,9\text{m} \times 2,10\text{m}$ compõem as esquadrias da sala de aula, como mostradas na Figura 14. As aberturas orientadas a sudoeste correspondem ao corredor de circulação e, portanto, recebem a troca de energia proveniente das interações humanas.

Figura 14 - Planta baixa do pavilhão 2- 306



Fonte: Adaptado de PROINFRA (2022).

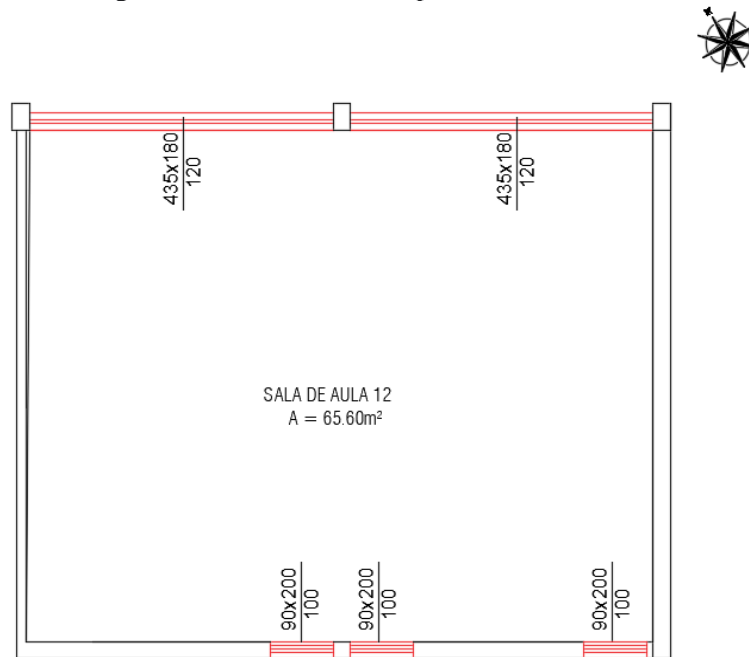
Dessa forma, a área correspondente ao somatório das aberturas que compõem as salas do Pavilhão 2, é de 23 m². Isso significa que a proporção de aberturas com relação à área da sala de aula corresponde a 35% da área de piso. Uma vez que a NBR 15220 (ABNT, 2005) não apresenta faixa de classificação exata para a proporção encontrada, entende-se que os valores encontrados cooperam com as estratégias de ventilação recomendadas pela norma.

Apresentados os critério de projeto, de acordo com a NBR 15220-3, que define as aberturas para ventilação devem ser médias, e as dimensões das aberturas das salas analisadas no Pavilhão 2, destacando a localização das janelas em relação à porta de acesso, pode-se concluir que as aberturas existentes nas salas analisadas atendem às prescrições da norma, permitindo a ventilação adequada dos ambientes. No entanto, outras variáveis, como a orientação solar e a presença de obstáculos externos, também podem influenciar no desempenho das aberturas de ventilação, o que demanda uma análise mais detalhada para garantir o conforto térmico e a qualidade do ar no interior dos edifícios.

O Pavilhão 3, por sua vez, é composto por salas de aula cujas áreas equivalentes a 67,50 m² são dispostas com aberturas nas duas laterais, sendo estas, à nordeste duas janelas com dimensões iguais a 4,35m x 1,80m e, à sudoeste, 3 janelas com dimensões iguais a 0,9m x 2,0m

e uma porta com dimensão igual a 0,9m x 3m defronte do corredor de circulação, conforme a Figura 15.

Figura 15 - Planta baixa do pavilhão 3 - 12

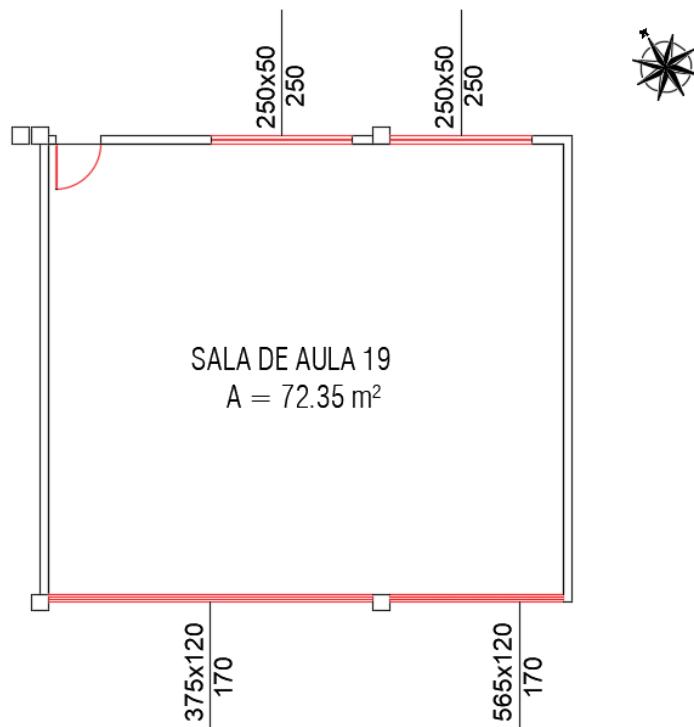


Fonte: Adaptado de PROINFRA (2022).

As aberturas da sala 12, quando somadas, equivalem a 23,76 m² de área e correspondem a 35,2% da área de piso. De forma similar às salas do Pavilhão 2, a sala 12 do Pavilhão 3 apresenta a proporção de aberturas com relação à área de piso superior à recomendação máxima de 25% para a zona bioclimática 3, conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005).

O Pavilhão 6, por fim, possui salas de aula que contemplam aberturas nas duas laterais. À nordeste da sala 19, duas janelas com dimensões iguais a 2,5m x 0,5m são alocadas seguidas de uma porta com dimensão igual a 0,8m x 2,10m e, à sudoeste desta sala, duas janelas com dimensões iguais a 5,70m x 1,20m e 3,05m x 1,20m são dispostas, como identificadas na Figura 16.

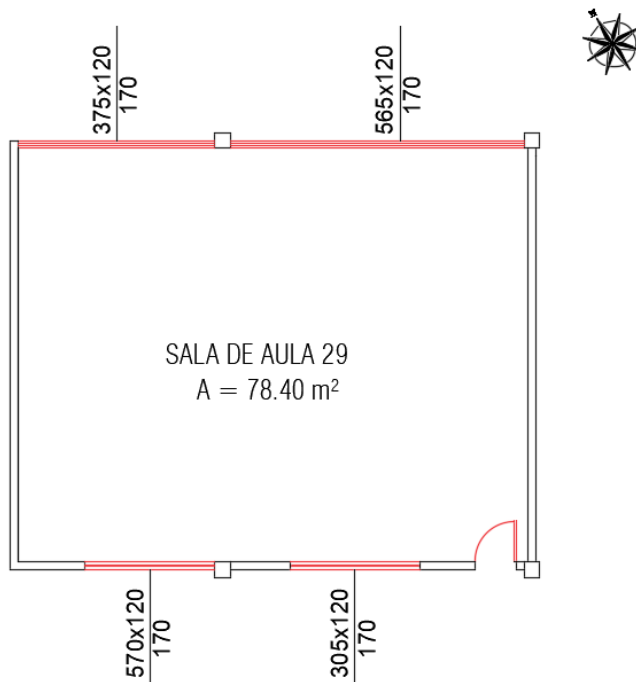
Figura 16 - Planta baixa: Pavilhão VI- Sala de Aula 19



Fonte: Adaptado por alunos de PROINFRA (2022).

As mesmas análises são consideradas para a sala 27, alternando apenas o sentido das aberturas, as quais são espelhadas quando comparadas às aberturas da sala 19, como mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Planta baixa do pavilhão 6 - 27



Fonte: Adaptado de PROINFRA (2022).

As aberturas equivalentes a 14,68 m² em ambas as salas correspondem a 20,2% e 18,7% da área de piso das salas 19 e 27, respectivamente e, portanto, são classificadas como aberturas médias, como prescreve a norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Descritas as características das salas de aula presentes nos Pavilhões 3 e 6 em relação às aberturas para ventilação, percebe-se que enquanto a sala 12 do Pavilhão 3 apresenta aberturas cuja área corresponde a 35,2% da área do piso, excedendo o limite máximo recomendado pela NBR 15220-3 para a zona bioclimática 3, as salas 19 e 27 do Pavilhão 6 possuem aberturas médias, dentro da faixa de 15% a 25% recomendada pela norma. Nesse sentido, a adequação das aberturas para ventilação nas salas de aula é importante para garantir o conforto térmico e a qualidade do ar interno, e deve ser observada de acordo com as prescrições da norma técnica.

Verificação de orientação solar e sombreamento

Segundo as prescrições da NBR 15220-3 (ABNT, 2005) para a zona bioclimática 3, as aberturas para ventilação devem ser médias e o sombreamento das aberturas deve permitir sol durante o inverno.

Para o Pavilhão 2, as análises serão separadas das salas visto que ambas estão em pavimentos diferentes. Para a sala 102, localizada no térreo do pavilhão, as aberturas de porta e janelas de mesmo alinhamento estão localizadas no corredor de circulação, ao nordeste, enquanto as demais janelas apontadas para a Avenida Norte, estão localizadas ao sudoeste. No período que foi realizado as coletas, mais precisamente à tarde, o sol incidente está ao oeste, ou seja, não há abundância de radiação nas aberturas da sala, logo, o ambiente possui um condicionamento térmico favorável. Para as demais salas, localizadas no Pavimento 3, a análise será equipolente. Iniciando pela sala 306, com aberturas de porta e janelas localizadas ao sudoeste e duas janelas localizadas ao nordeste, apesar de ambas favorecer a ventilação cruzada do ambiente, e o pavilhão possuir árvores ao seu redor, há uma incidência direta no período da tarde, ao qual foi realizado as coletas, o que pode acarretar em um certo desconforto para quem está utilizando a sala. Opostamente, para a sala 302, como o período analisado foi pela manhã e, as aberturas serem espelhadas se comparadas a sala 306, não há incidência direta do sol, o que proporciona um conforto para quem utiliza as salas.

O pavimento térreo do pavilhão 3, localizado nas coordenadas -21.227187, -44.976642 possui a característica de confrontar aberturas para dois corredores que são utilizados como áreas de acesso a outros pavilhões. A sala 12, analisada neste pavilhão, está localizada no último pavimento e possui abertura de porta orientada para sudoeste e janelas para nordeste. Com isso,

durante o período da tarde, período ao qual foram realizadas coletas *in loco* e as análises, notou-se que a incidência solar é abundante nas aberturas orientadas para nordeste.

No pavilhão 6, as duas salas analisadas estão localizadas em posicionamentos opostos de maneira que, na sala 27 a porta está localizada ao sudeste, e as aberturas de janelas são similares, promovendo a ventilação cruzada devido aos vãos livres frontais e posteriores que o pavilhão promove trazendo um maior conforto interno do ambiente. Na sala 19, a porta está localizada ao nordeste e suas janelas de maiores aberturas localizadas ao sudeste. A predominância da incidência solar no período analisado é ao leste do pavilhão, logo, não há abundância de incidência solar nestas salas pela manhã, promovendo um maior conforto.

A partir da aplicação da NBR 15220-3 para a zona bioclimática 3, é relevante destacar a importância de considerar a orientação das aberturas e a incidência solar nas análises de conforto térmico. No caso da sala 102, por exemplo, as aberturas de porta e janelas estão localizadas no corredor de circulação, ao nordeste, enquanto as outras janelas apontam para a Avenida Norte, ao sudoeste. Como o sol incide ao oeste no período da tarde em que as coletas foram realizadas, a sala apresenta um condicionamento térmico favorável para o período de inverno.

É importante considerar, ainda, a orientação das aberturas nas outras salas analisadas. Na sala 306, as aberturas estão localizadas ao sudoeste e ao nordeste, o que favorece a ventilação cruzada, mas há incidência direta do sol no período da tarde, o que pode gerar desconforto térmico em períodos de elevadas temperaturas. No entanto, o período de inverno na cidade de Lavras implica baixas temperaturas e a incidência solar, neste caso, pode favorecer a percepção dos usuários a respeito do conforto proporcionado pelas aberturas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi avaliado o desempenho térmico dos ambientes internos dos pavilhões 2, 3 e 6 do câmpus Sede da Universidade Federal de Lavras-MG. Nestes pavilhões, as coletas dos dados de temperatura e umidade relativa do ar objetivaram avaliar as edificações de acordo com os parâmetros de conforto térmico e requisitos mínimos estabelecidos pelas normas NBR 15220 (ABNT, 2005), NBR 15575 (ABNT, 2021), e NR 17 (BRASIL, 2018).

Sendo assim, segundo os limites estabelecidos pela norma NR 17 (BRASIL, 2018) a qual estabelece que as umidades relativas sejam superiores a 40% e avaliando os dados médios de umidade relativa do ar obtidos, é possível constatar que, com exceção das salas 306 do Pavilhão 2 e 19 do Pavilhão 6, as demais salas apresentam índices de umidade superiores a 40% durante todo o período do inverno e, portanto, estão em conformidade com as recomendações da norma de ergonomia. Para os valores de temperaturas obtidos, observou-se que, na maioria das vezes, a temperatura mínima interna das edificações não é superior à temperatura externa acrescida de 3°C e, nesse sentido, as edificações operam em seu desempenho térmico mínimo no inverno, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2021). Ademais, de acordo com os limites estabelecidos pela NBR 15220 (ABNT, 2005), a qual avalia as aberturas para ventilação e entrada do sol, propondo que variem de 15% a 25% da área do piso da edificação para a zona bioclimática 3, observou-se que as aberturas das salas analisadas variam em proporções entre 18% e 35% da área de piso e, nesse sentido, permitem a incidência de luz solar a partir das aberturas das edificações durante o inverno.

Com isso, espera-se contribuir para futuros estudos a respeito do desempenho das edificações da Universidade Federal de Lavras, visando alavancar projetos de melhorias dos espaços internos destinados aos discentes e docentes, de forma que seja possível estabelecer a harmonia entre o conforto dos usuários e o emprego das estratégias de ventilação natural, que possibilitam a redução da necessidade de climatização artificial.

REFERÊNCIAS

1. AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, Atlanta: ASHRAE, 2005.
2. ANDRADE, H. **O clima urbano- natureza, escalas de análise e aplicabilidade**. Finisterra. Revista Portuguesa de Geografia, XL, 80, p.66-91, 2005.
3. ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers, 2013. **Ansi/Ashrae Standard 55-2013**. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE, Atlanta, USA.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.
5. BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora n° 17. **NR 17 – Ergonomia**. Brasília, DF, 2021.
6. CERQUEIRA, R. M.; PEREIRA, I. M. **Análise do Conforto Térmico por meio de Simulação Computacional em Projeto de Escola Padrão do Estado de Minas Gerais**. In: **XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído**, 2013, Brasília. Anais do XII ENCAC e VIII ELACAC, 2013. p. 712-721
7. COSTA, Ana M. V.; BARBIRATO, G. M. **Arquitetura adaptada ao clima: análise comparativa dos Centros de Atenção Integral à criança de Maceió**. In: **X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2009, Natal-RN. Anais do X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009
8. Edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.
9. GOULART, Mariana Fortes. **Conforto térmico no Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá: proposta para melhoria do desempenho térmico de um antigo CAIC**. São Carlos : 2014
10. LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. Rio De Janeiro : 1997.
11. LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª Ed. Rio De Janeiro: Editora ELETROBRAS/PROCEL, 2014.
12. OLGAY, Victor (1968): **Clima y arquitectura en Colombia**. Colombia, Universidad del Vale, 240 p.
13. TURMENA, Michele. **Avaliação do conforto térmico das salas de aula do bloco C da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Toledo**. 92f. Trabalho de Conclusão

de Curso em Engenharia Civil - Coordenação do Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2017.