

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COBERTURAS

EVALUATION OF THERMAL PERFORMANCE OF ROOFS

ZANELLA, Andreina; ALMEIDA, Gabriele; FERREIRA, Wilker¹; TENÓRIO, Helen Oliveira².

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo apresentar uma análise comparativa entre os principais sistemas de coberturas usados em residências de médio padrão na região de Goiânia, além de verificar se estão em conformidade com a norma de desempenho térmico vigente. O estudo foi realizado por meio de medições no local e de cálculos baseados na norma, considerando o sistema de cobertura telhado fibrocimento com laje e uma alternativa com PVC e o telhado cerâmico com laje. Por meio da pesquisa, foi constatado que a combinação com o telhado cerâmico teve uma redução nas temperaturas internas em comparação com a combinação com o fibrocimento. Tal resultado foi evidenciado por meio das medições no local, atestando, assim, essa diferença. Dessa maneira, comprova-se uma menor transferência de calor no telhado no sistema com o telhado cerâmico, porém, os sistemas de cobertura testados não atenderam ao quesito transmitância térmica da norma. Portanto, recomenda-se a utilização de algum isolante térmico, proporcionando, assim, ambientes mais confortáveis e com menor utilização de refrigeradores.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Temperatura. Cobertura. Eficiência energética.

ABSTRACT

This article aims to present a comparative analysis between the main roofing systems used in medium-standard homes in the region of Goiânia, in addition to verifying whether they are in compliance with the current thermal performance standard. The study was carried out using on-site measurements and calculations based on the standard, considering the fiber cement roof covering system with slab and an alternative with PVC and the ceramic roof with slab. Through research, it was found that the combination with the ceramic roof had a reduction in internal temperatures compared to the combination with fiber cement. This result was evidenced by means of on-site measurements, thus attesting to this difference. In this way, a lower heat transfer on the roof was verified in the system with the ceramic roof, however, the roofing systems tested did not meet the thermal transmittance requirement of the standard. Therefore, it is recommended to use some thermal insulation, thus providing more comfortable environments and less use of refrigerators.

Keywords: Thermal performance. Temperature. Roof. Energy efficiency.

¹ Discentes do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Unida de Campinas – FacUnicamps. *E-mail:* deinazanella@gmail.com; almeidagabriele44@gmail.com; wilkerferreiradesouza@gmail.com.

² Docente do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Unida de Campinas – FacUnicamps. *E-mail:* helen.tenorio@facunicamps.edu.br.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, há um crescente consumo de energia nas edificações devido à variação das mudanças climáticas e do baixo número de construções eficientes em termos de energia. A demanda por eletricidade também está aumentando devido ao crescimento populacional nos grandes centros urbanos, resultando, em épocas de seca, em altas tarifas na conta de luz da população. Segundo a Empresa de Consumo Energética, cerca de 29% de toda a energia consumida no Brasil, no ano de 2019, foi consumida pelo setor residencial. Nota-se, dessa maneira, que o consumo de eletricidade do setor residencial aumentou, acentuadamente, na última década em mais de 69,7%.

Em geral, a maioria das edificações residenciais brasileiras é construída em concreto e alvenaria de tijolo cerâmico, em contrapartida, ainda há algumas pequenas unidades antigas de barro; e nos telhados é mais comum a utilização de telhas cerâmicas e fibrocimento, com forro de gesso, PVC ou madeira. Embora hoje haja uma grande conscientização com relação à construção eficiente, a maior parte das antigas edificações residenciais não foram construídas de maneira eficiente em termos de energia.

Nesse sentido, as coberturas residenciais estão expostas a uma quantidade significativa de incidência de radiação solar que aumenta a temperatura na superfície do telhado e, conseqüentemente, a temperatura e a sensação térmica no interior. Com isso, é esperado um aumento significativo na demanda de energia utilizada para resfriamento nas regiões de altas temperaturas.

No Brasil, relacionados a desempenho e a conforto térmico, temos a NBR 15575 (ABNT, 2013), que é a Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais, e a NBR 15220 (ABNT, 2005), sob o título geral Desempenho Térmico de Edificações, que engloba métodos de cálculos que permitem avaliar o desempenho térmico da edificação. Portanto, com essas normas, é possível avaliar conjuntos de materiais que possam melhorar o conforto interior das moradias e possibilitar a diminuição do uso de climatizadores.

Coberlla e Yannas (2003, p. 17) reforçam a preocupação, na arquitetura, com o conforto e com o baixo consumo de energia, visando edificações voltadas para o clima regional. No cenário atual do setor imobiliário, em geral, há uma necessidade por técnicas construtivas e materiais que possam equilibrar custos tanto na fase construtiva como quando já houver residentes; ademais, com a construção eficiente, é possível buscar a economia e ter um maior aproveitamento dos recursos naturais já disponíveis no ambiente. Logo, para

reduzir o consumo de energia residencial e as emissões de gases associados a climatizadores, o desempenho térmico da cobertura de uma edificação deve ser altamente considerado.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o desempenho térmico de coberturas em edificações residenciais de médio padrão com telhado duas águas que são empregadas nas combinações de telhado fibrocimento com laje ou PVC e o telhado cerâmico com laje.

2.2. Objetivos específicos

- Comparar os sistemas para cobertura de telhado de fibrocimento com laje, de telha de fibrocimento com PVC e de telhado cerâmico com laje utilizados para coberturas residenciais, e avaliar por meio de cálculos a resistência e a transmitância térmica;
- Realizar a medição da temperatura interna e externa dos sistemas de cobertura supracitados;
- Apresentar qual conjunto de cobertura tem o melhor conforto térmico e se atende a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013).

3. JUSTIFICATIVA

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), os elementos e materiais construtivos se comportam de acordo com as suas propriedades térmicas, então a eficiência energética de uma residência é diretamente afetada pelo tipo de material usado na cobertura. Porém, o mesmo tem que ter ventilação e isolamento térmico adequados, para que não seja extremamente frio no inverno ou quente no verão, pois um sistema de cobertura deficiente pode gerar impactos negativos na vida útil do telhado e nos custos com energia elétrica.

Seja qual for a extremidade do calor ou do frio, o ser humano sempre irá buscar meios para se proteger desses extremos, normalmente recorre-se a alternativas em que há um grande

gasto energético, por exemplo, o uso de ar condicionado, de climatizadores e de aquecedores, normalmente, com a falta de manutenção adequada, torna-se prejudicial à saúde. Nesse prisma, “o uso no natural é sustentável ‘será sempre melhor’ preservar e manter a eficiência de uma cobertura a favor do homem”.

Sendo assim, uma cobertura eficiente é aquela capaz de suportar as intempéries. Nesse sentido, ao se relacionar a variação climática, o desempenho satisfatório de uma cobertura é alcançado quando ela é submetida a intérpretes do clima frio ou quente e consegue isolar termicamente, trazendo conforto no interior da residência. Logo, para que um ambiente tenha um desempenho térmico adequado, é necessário que o sistema usado na cobertura seja adequado para as variabilidades climáticas de forma que possa minimizar o consumo com eletricidade e manter o conforto térmico do usuário.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Conforto térmico

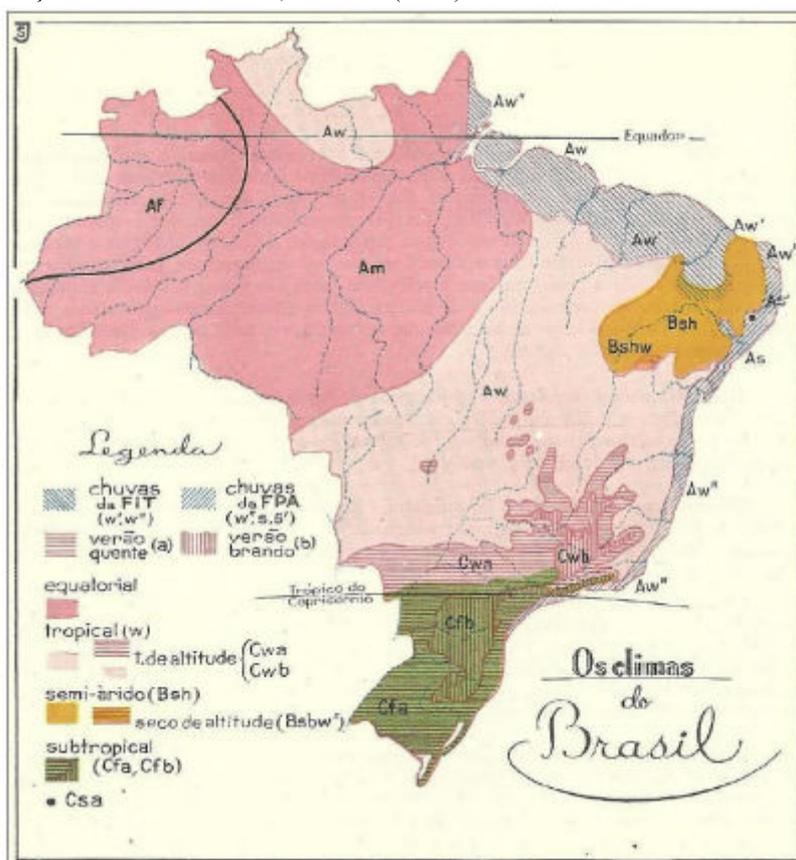
Segundo o especialista na área de conforto térmico, Fanger (1970), o conforto térmico pode ser considerado como o estado de satisfação do corpo humano com as condições térmicas do ambiente circundante. De acordo com Lamberts (2011), além da temperatura interna de uma moradia, existem variáveis externas que podem afetar diretamente no conforto térmico do corpo humano, é esse choque de temperaturas que gera o desconforto térmico.

Ademais, pode-se dizer que as condições ambientais e climáticas têm um impacto significativo na qualidade de vida e no bem-estar das pessoas, especialmente em espaços fechados; dessa forma, a partir da busca por conforto térmico e pela garantia do bem-estar dos habitantes de uma edificação, é necessário compreender as complexas interações entre o clima e o ser humano. Nesse contexto, surgiu a bioclimatologia, uma ciência interdisciplinar que estuda como as condições climáticas afetam o corpo humano e as estratégias de construção que podem minimizar o uso de sistemas artificiais de aquecimento ou de resfriamento.

4.2. Caracterização climática do estado de Goiás

A cidade de Goiânia, localizada no estado de Goiás, no Brasil, apresenta um clima tropical, com variações climáticas de acordo com a altitude e a topografia da região. Segundo a classificação climática de Köppen, Figura 1, o clima da região é do tipo Aw tropical com inverno seco.

Figura 1 – Classificação climática do Brasil, Andrade (1972)



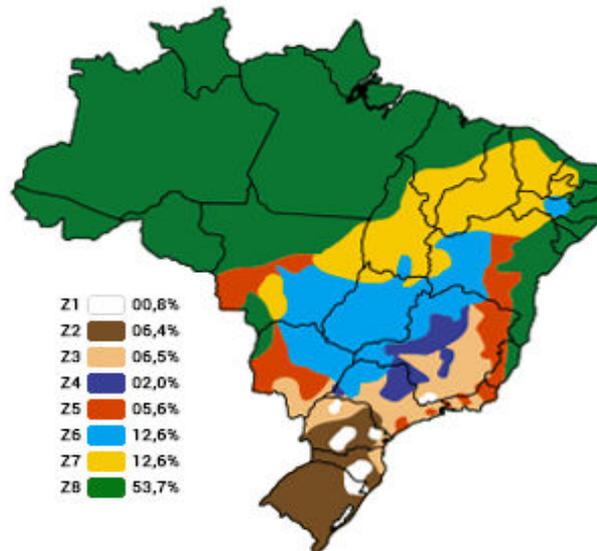
Fonte: Zavattini e Fratianni (2012).

Segundo Nimer (1989), no estado de Goiás, o clima é considerado quente e subúmido, normalmente, a umidade do ar atinge no máximo 70%, sendo de maio a setembro os meses mais secos, e o período de chuvas, em sua maioria, ocorrendo de novembro a março. Em resumo, a região de Goiás apresenta um clima tropical, com variações de acordo com a altitude e a topografia da região. A região apresenta períodos distintos de chuva e tempo seco ao longo do ano.

4.3. Estratégias bioclimáticas, zona 6 da NBR 15220-3

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005d), que descreve o zoneamento bioclimático do Brasil, limita o zoneamento bioclimático em oito diferentes zonas, conforme indicado na Figura 2.

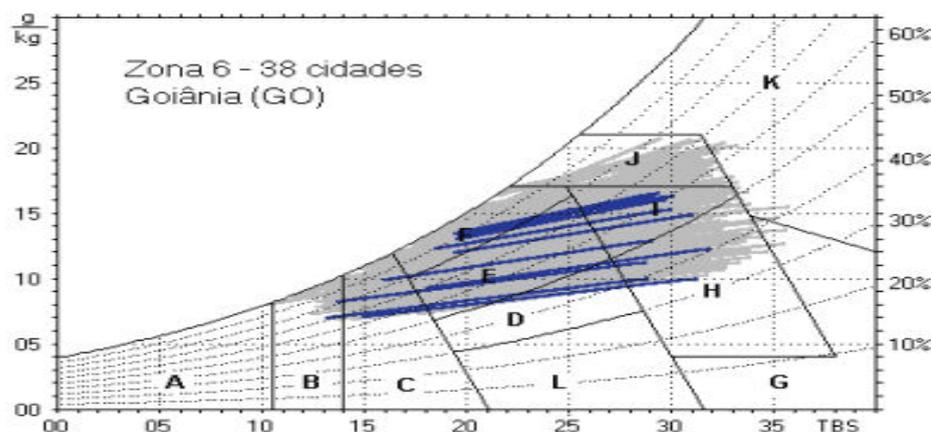
Figura 2 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: Adaptado da NBR 15220-3. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/desempenho-termico>. Acesso em: 27 maio 2023.

Na Figura 3, temos um exemplo da carta bioclimática da zona 6, que contempla 38 cidades da zona do estado de Goiás, com predominância da capital do estado: Goiânia. Essa figura mostra o diagrama da carta bioclimática, o qual faz uma relação entre umidade relativa, temperatura do ar e umidade absoluta, determinando que, quanto maior a temperatura, maior a capacidade do ar em reter o vapor d'água sem saturar.

Figura 3 – Carta bioclimática



Fonte: NBR 15220-3 (2005d).

A fim de traçar uma estratégia para melhorar o desempenho térmico, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) orienta a utilizar as seguintes estratégias, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Aberturas e sombreamento

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Sombrear aberturas

Fonte: Adaptado da NBR 15220-3 (2005d).

Já para o sistema de cobertura, é orientado que ele contenha materiais leves e isolamento adequado, visando a diminuição de umidade e entrada de pequenos animais, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 6

Vedações externas	
Parede	Pesada
Cobertura	Leve isolada

Fonte: Adaptado da NBR 15220-3 (2005d).

Conforme as Tabelas 1 e 2, nota-se que a estratégia adotada para a região 6 da zona bioclimática permite a utilização da telha cerâmica ou fibrocimento, no entanto, precisa-se incrementar algum tipo de isolante, como uma pintura do telhado com a cor branca, ou lâmina polida de vidro, que trabalha com um sistema a fim de adquirir um bom isolamento térmico. Para a cidade de Goiânia, a NBR 15220-3 (ABNT, 2005d) adota mais algumas estratégias climáticas que devem ser seguidas com o intuito de obter um melhor conforto térmico, sendo classificadas nas letras CDFHI, conforme descrito a seguir:

C – A utilização de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação protegido do frio.

D – Qualifica a zona de conforto térmico (a baixas umidades).

F – As condições térmicas são melhoradas por meio da desumidificação dos ambientes, que, por sua vez, é uma estratégia alcançada mediante a renovação do ar interno pelo ar externo, usando-se da ventilação dos ambientes.

H e I – Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas com o uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado no interior durante o dia retorne para o exterior durante a noite quando a temperatura externa diminui.

4.4. Transmitância térmica

No Brasil, a NBR 15575 (ABNT, 2013) é a norma técnica que estabelece requisitos mínimos para o desempenho de edificações habitacionais. Para avaliar o desempenho térmico de coberturas, de acordo com essa NBR, é necessário seguir algumas etapas e utilizar alguns métodos de cálculo, dentre eles, o cálculo da transmitância térmica (U).

A transmitância térmica é um parâmetro que mede a quantidade de calor que passa através de um material, como uma cobertura, em um determinado período de tempo. É importante para o projeto de edifícios, pois afeta o consumo de energia e o conforto térmico dos ocupantes. Para calcular a transmitância térmica de uma cobertura, é necessário considerar vários fatores, como a espessura e a condutividade térmica dos materiais utilizados, a geometria da cobertura, a ventilação e as condições climáticas locais, adotando como base o desempenho descrito de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de transmitância para zona bioclimática de Goiás

Transmitância térmica (U) W/m ² K	
Zonas 3 a 6	
$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
$U \leq 2,3$	$U \leq 1,5$

Fonte: Adaptado da NBR 15575-5 (2013 p.26).

O cálculo da transmitância térmica é determinado pela equação 1:

$$(1) U = \frac{1}{RT}$$

Nessa equação, o U refere-se à transmitância térmica e a RT refere-se à resistência térmica total, esta é calculada somando todas as resistências térmicas ao longo do percurso do calor, desde as superfícies interna e externa, até o material isolante e o ar. Essa resistência total é inversamente proporcional à transmitância térmica, ou seja, $U = 1 / (R \text{ total})$. Quanto maior a resistência térmica total, menor será a transmitância térmica e, conseqüentemente, menor será a quantidade de calor transmitida por meio do elemento construtivo por unidade de área e diferença de temperatura.

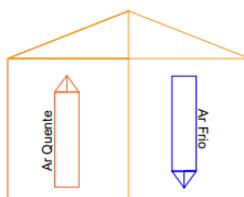
4.5. Tipos de transmissão de calor

Um tipo de transmissão de calor é um mecanismo específico pelo qual o calor é transferido de um lugar para outro. A condução, a convecção e a radiação são os três principais mecanismos de transferência de calor que podem ocorrer em uma cobertura ou telhado. Esses tipos descrevem diferentes processos físicos pelos quais a energia térmica é transferida entre objetos ou meios.

A condução de calor, em um sistema de cobertura, ocorre por intermédio dos materiais sólidos, como telhas, lajes, vigas e isolamento térmico. Quando há uma diferença de temperatura entre o lado externo e o lado interno da cobertura, o calor se propaga por condução ao longo dos materiais, por exemplo: se o sol aquece as telhas do lado de fora da cobertura, o calor é conduzido através das telhas para o lado interno, aquecendo a área abaixo da cobertura.

A convecção de calor pode ocorrer em espaços que ocorrem a ventilação, como os beirais e a cumeeira presentes na cobertura. Desse modo, se houver uma cavidade de ar entre as camadas da cobertura, a convecção pode ocorrer nesse espaço; e se o ar for aquecido, ele torna-se menos denso e sobe, criando correntes de convecção. Essas correntes de ar quente sobem, enquanto o ar frio desce para ocupar seu lugar, conforme a Figura 4, promovendo a transferência de calor por convecção. Isso pode ocorrer, por exemplo, em telhados com telhas sobrepostas ou em coberturas com espaço de ar ventilado.

Figura 4 – Representação da convecção



Fonte: Autor (2023).

A radiação térmica ocorre quando os materiais da cobertura emitem e absorvem ondas eletromagnéticas, como a radiação solar. Nesse sentido, as telhas podem absorver a radiação solar, transferir esse calor para o interior da cobertura e transmitir parte da radiação solar. Em sistemas de cobertura eficientes, geralmente são empregados materiais com propriedades isolantes para reduzir a condução de calor. Além disso, estratégias de ventilação podem ser utilizadas para promover a circulação de ar e dissipar o calor por convecção. O *design* e a

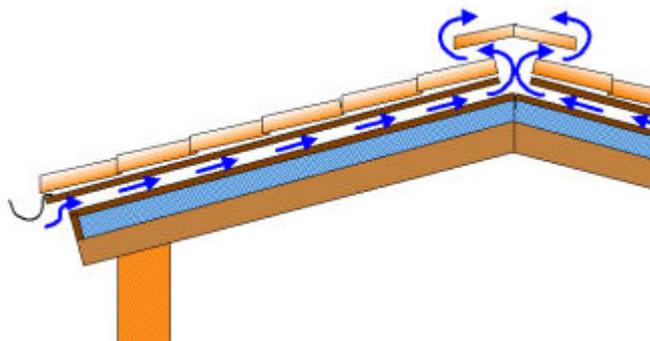
seleção adequada dos materiais na cobertura desempenham um papel importante no controle da transferência de calor, garantindo conforto térmico e eficiência energética no ambiente interno.

4.6. Ventilação e isolamento

Quando se trata de telhados com eficiência energética, o telhado em si não é a única parte da casa que causa impacto. Para um bom desempenho térmico de uma residência, são necessários a ventilação e o isolamento. A NBR 15575-5 (ABNT, 2013d) define a cobertura como a parte superior da edificação que tem como função a proteção contra intempéries e protege a estrutura de radiações solares aumentando o nível de isolamento térmico e acústico da edificação, visando o conforto do usuário e incluindo também o desempenho estético e econômico. Segundo Castro (2003), os materiais da cobertura impedem o calor interno, como cor, reflectância, resistência ao calor e resistência térmica. Ao considerar a espessura do material que compõe o sistema construtivo na cobertura, a inércia da luz é maior que o efeito da cor.

O objetivo da ventilação é gerenciar, adequadamente, o fluxo de ar na residência; se um telhado for mal ventilado, pode fazer com que o ático ou forro fique extremamente quente no verão ou frio no inverno. Isso também pode levar ao acúmulo excessivo de umidade durante os meses mais frios e chuvosos, e pode afetar não apenas os custos de energia, como também pode causar danos ao telhado ou encurtar sua vida útil. A Figura 5 mostra uma ventilação pela cumeeira.

Figura 5 – Telhado inclinado com ventilação natural e saída pela cumeeira



Fonte: A. Muscio; C. Ferrari (2019).

4.7. Características de coberturas

Uma das preocupações da construção é a escolha da cobertura, fica então a dúvida: Qual a melhor escolha? Fibrocimento ou cerâmica? O engenheiro responsável tende a sempre se atentar ao clima da região para realizar a melhor escolha para a edificação. Conforme Bueno (1994), a maioria dos estudos se preocupa apenas com as transferências de calor e deixa de lado a umidade, ou seja, desconsiderando a umidade transferida na cobertura. A cobertura cerâmica tem uma transferência significativa de umidade durante a noite, fazendo com que, durante o período do dia, o calor dos raios solares evapore a umidade contida, resultando assim em uma menor temperatura interna em relação à temperatura externa.

Segundo NBR 15220-3 (ABNT, 2005d), no mesmo momento que a cobertura recebe grande quantidade de calor, a noite também irradia esse calor acumulado. Isso se dá pelo completo sistema de cobertura, pois a laje em concreto auxilia na transferência do calor durante o dia, e a noite auxilia na radiação do calor acumulado, resultando, assim, em um ambiente favorável tanto à noite quanto ao dia. Entretanto, percebe-se que a cobertura fibrocimento não tem tanta retenção da temperatura, mesmo sendo uma das coberturas mais utilizadas em residências. Devido ao seu baixo custo, sua composição consiste em cimento sem a presença de agregados, resultando em uma baixa porosidade em relação à cobertura cerâmica, tornando-se um condutor de calor.

Apesar de ser um material leve e ter uma boa resistência mecânica contra intempéries, granizo e chuvas, o estudo de Diedrich (2018), em relação à transmitância térmica, apresenta que, na mudança de cor, a cobertura fibrocimento mostra-se mais eficiente, reduzindo o desconforto causado pelo calor ao longo do dia. Contudo, a composição do sistema de fibrocimento com a laje em concreto ajuda com o atraso térmico do calor no interior da residência, devido sua espessura e sua composição, que tendem a conter EPS ou telas cerâmicas.

Outro conjunto de cobertura, que se encontra em residências, é o fibrocimento com forros PVC. Em relação à condução de calor, torna-se menos eficiente que a laje em concreto, entretanto, ainda contém uma resistência na transferência da temperatura externa, e, juntamente com a cobertura, contribui com a redução da transportação de calor. No entanto, para que atenda o requisito da transmitância térmica, conforme a NBR 15575-5 (ABNT, 2013), é necessário que esse conjunto de cobertura resulte em um valor menor que $1.5 \text{ w/m}^2.\text{k}$, para casos em que o material usado no telhado contenha absorvância à radiação solar superior a 0,6.

Conforme a Tabela 4, percebe-se que a laje pré-moldada, com utilização de EPS 12 cm, tem uma contribuição significativa para isolamento térmico, visto que atende os requisitos exigidos, além de que o EPS (isopor) é um ótimo isolante térmico, pois dificulta a eliminação de calor e permite manter a temperatura do ambiente. Segundo o que exige a norma, podemos citar: câmara de ar > 5 cm e telha cerâmica 1 cm, esse conjunto apresenta transmitância térmica $1,2 \text{ w/m}^2.\text{k}$, a norma pede uma transmitância térmica $< 1,5$.

Tabela 4 – Comparação de transmitância térmica entre componentes

Telhado	Tipo de forro ou laje	Câmara de ar	U	Atraso térmico
Telha fibrocimento 0,8 cm	Laje pré-moldada 12 cm	(> 5.0 cm)	1.26 W/m ² .K	5.8 h
Telha cerâmica 1 cm	Laje pré-moldada EPS 12 cm	(> 5.0 cm)	1.26 W/m ² .K	5.7 h
Telha fibrocimento 0.8 cm	Laje maciça 10 cm	(> 5.0 cm)	2.06 W/m ² .K	5.1 h
Telha cerâmica 1 cm	Laje maciça 10 cm	(> 5.0 cm)	2.05 W/m ² .K	5.2 h
Telha fibrocimento 0.8 cm	Forro PVC 1 cm	(> 5.0 cm)	2.07 W/m ² .K	0.84 h

Fonte: Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteec/componentes-construtivos>. Acesso em: 29 maio 2023.

Logo, a contribuição da laje é uma estratégia adotada para uma boa eficiência do desempenho térmico e fator decisivo, uma vez que apenas a cobertura não consegue atender os requisitos exigidos pela norma.

4.8. Método de avaliação – NBR 15575

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), a edificação deve possuir características que possam atender aos requisitos de desempenho térmico, levando em consideração a área bioclimática em que está localizada, analisada abaixo da condição natural da casa. Nesse sentido, a norma apresenta dois métodos de avaliação do desempenho térmico: no primeiro, denominado simplificado (normativo), são estabelecidos valores limites de transmitância térmica (U) para cada tipo de cobertura, com base na sua localização geográfica e nas características climáticas da região. Em caso de mau desempenho, a norma recomenda a aplicação de métodos de simulação numérica para isso. O segundo método, denominado método informativo, verifica o cumprimento dos requisitos e dos critérios, feitos por meio de

medições *in loco* (ou protótipo), que já estão construídos. No caso do descumprimento desses parâmetros, a norma exige a utilização de análise computadorizada.

Por fim, o procedimento 1 (simplificado) é recomendado para uso em procedimentos formais, desde que resultados satisfatórios sejam encontrados, outros não são impedidos. Quanto ao método 2 (estudos *in loco*), ele deve ser realizado quando a casa já estiver totalmente pronta, pois o final da obra afeta o efeito final para análise de desempenho.

4.9. Método simplificado

Para utilização do método simplificado, será necessário determinar a localização da edificação e a zona bioclimática correspondente. Logo após, serão consultados os valores tabelados da transmitância térmica (U) para o material usado na cobertura, no telhado, na laje ou no revestimento. Caso a transmitância térmica da cobertura seja menor ou igual ao valor limite estabelecido na tabela, a cobertura é considerada satisfatória em termos de desempenho térmico. Caso contrário, é necessário adotar medidas de melhorias na cobertura, como a adoção de isolamento térmico ou a utilização de materiais mais eficientes em termos de desempenho térmico.

4.10. Medição *in loco*

As recomendações de medição *in loco* permitem verificar o atendimento aos requisitos e aos critérios estabelecidos na NBR 15575-1 (ABNT, 2013), por meio de medições de temperatura em edificações existentes ou mesmo em modelos construídos (protótipos). De acordo com a norma, o valor máximo diário de ventilação interna de longa duração, como sala e quarto, sem a presença de fontes de calor (residentes, lâmpadas, outros eletrodomésticos em geral), será sempre menor ou igual ao valor diário máximo do ar externo para atingir as características mínimas de desempenho.

Desse modo, os critérios apresentados pela norma para um dia típico de verão são considerados uma sala voltada para o oeste e uma parede voltada para o norte. E, para atender aos níveis de desempenho, a norma estabelece o critério de temperatura entre níveis, sendo eles mínimo, médio e máximo. Buscando o melhor conforto para o residente, normalmente é

recomendado o nível intermediário, conforme apresentado na Tabela 5, de acordo com as zonas bioclimáticas.

Tabela 5 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério
	Zonas 1 a 7
Mínimo	$T_{\text{interior,máx.}} \leq T_{\text{exterior,máx.}}$
Intermediário	$T_{\text{interior,máx.}} \leq (T_{\text{exterior,máx.}} - 2 \text{ } ^\circ\text{C})$
Superior	$T_{\text{interior,máx.}} \leq (T_{\text{exterior,máx.}} - 4 \text{ } ^\circ\text{C})$

Fonte: Adaptado da NBR 15575-1 (ABNT, 2013, p. 62).

5. METODOLOGIA

5.1. Procedimento

Para a avaliação de desempenho térmico que será realizada neste trabalho, considera-se o procedimento simplificado para o cálculo da transmitância térmica e o procedimento informativo, no qual a edificação onde será feita as medições já deve estar executada, cujos dados serão coletados a partir dos materiais construtivos da residência. Portanto, com base nas especificações, é possível calcular os valores de transmitância e resistência térmica.

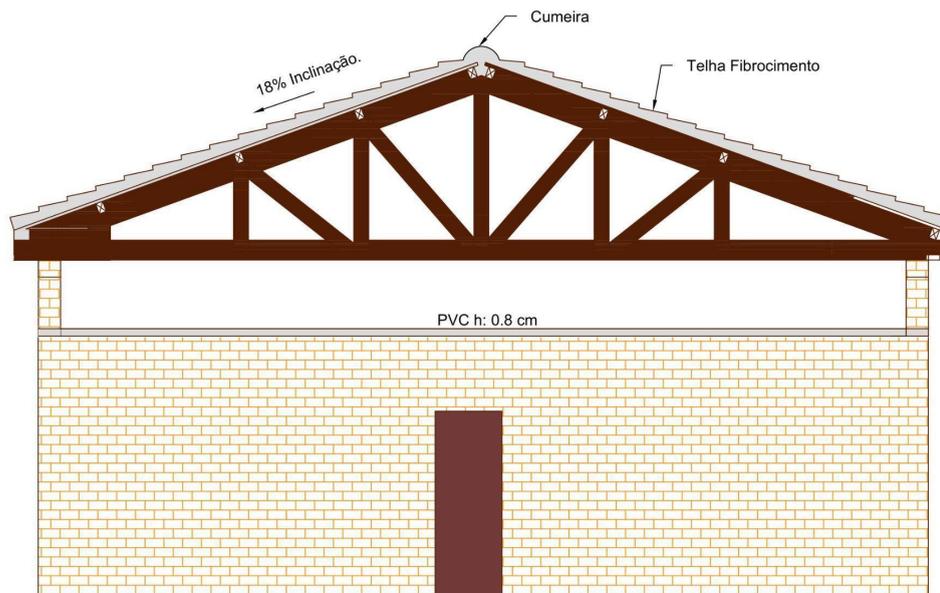
Para a análise do desempenho térmico, segundo o procedimento de medição *in loco*, a norma exige que o período de medição corresponda à análise de um dia típico de verão, antes de pelo menos um dia com características semelhantes. O padrão também suporta, como regra geral, trabalhar em um sistema de três dias e analisar os dados a partir do terceiro dia. Para fins de estimativa de medições, o dia típico é simplesmente a temperatura do ar medida no local.

Para o desenvolvimento da avaliação de desempenho térmico que será abordada nesta pesquisa, será realizado um estudo de caso na zona bioclimática do estado de Goiás, os testes serão feitos nos tipos de coberturas mais comuns para residências da região.

5.2 Tipos de coberturas

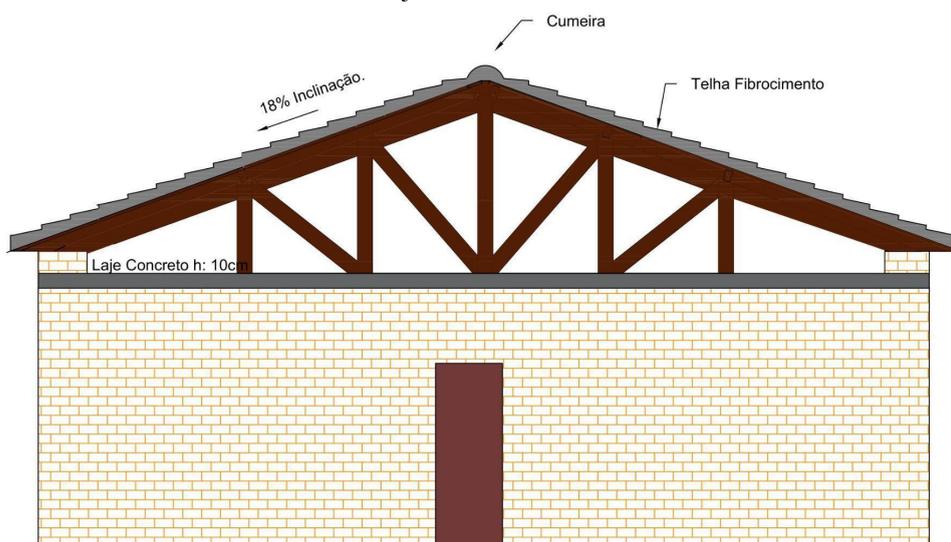
O estudo será realizado em três residências, sendo todas no estilo telhado duas águas com alvenaria de tijolo cerâmico, conforme Figuras 6, 7 e 8:

Figura 6 – Caso 1: Telhado de fibrocimento com forro PVC



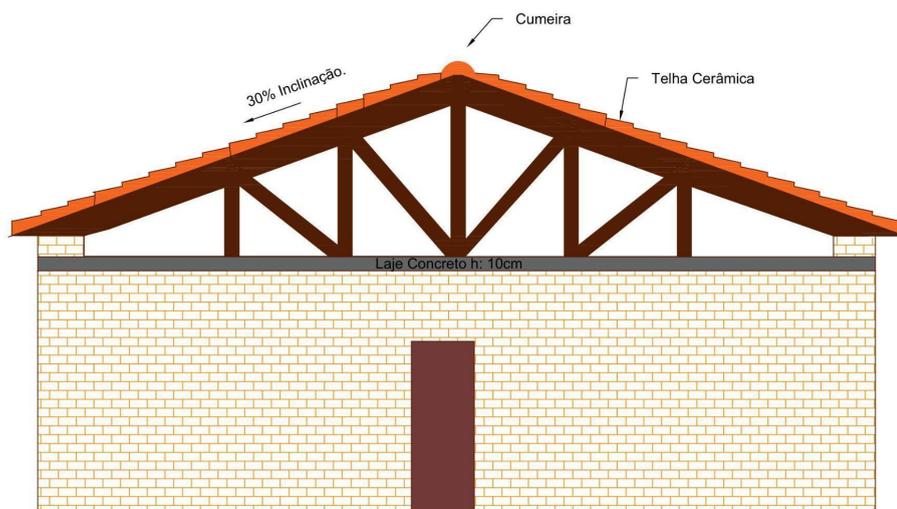
Fonte: Autor (2023).

Figura 7 – Caso 2: Telhado de fibrocimento e laje



Fonte: Autor (2023).

Figura 8 – Caso 3: Telhado cerâmico e laje



Fonte: Autor (2023).

5.3. Medição

Para o estudo do caso, primeiramente, foi observada a orientação do nascer do sol ao leste com relação ao local da residência para a escolha da posição de medição, sendo escolhida uma água do telhado que estava entre o norte e o oeste. Foram realizadas medições de temperatura superficial no local tanto da parte interna quanto da parte externa da cobertura, usando um termômetro digital a *laser*, conforme Figura 9, com precisão de 3 a 5 cm.

Figura 9 – Termômetro digital a *laser*

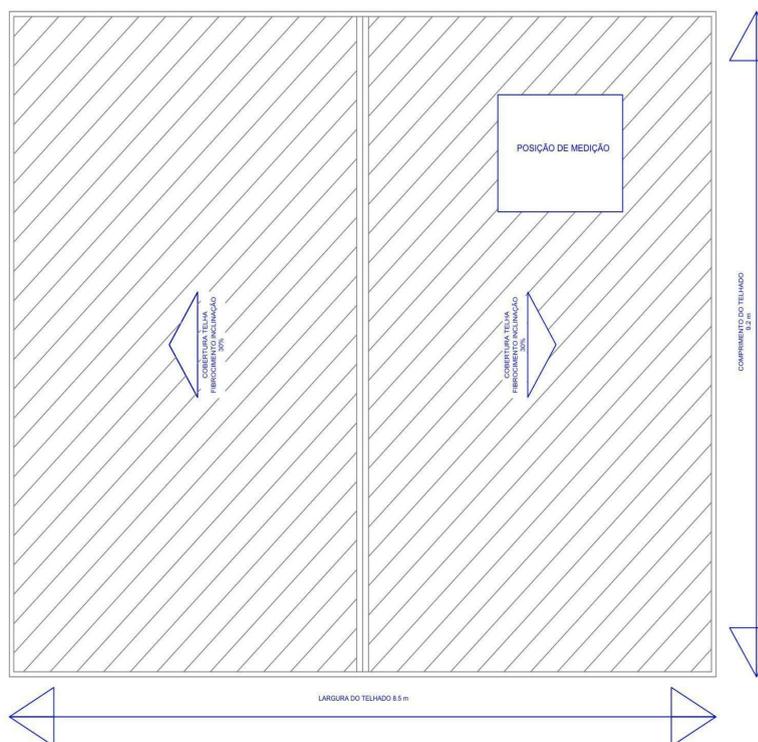


Fonte: Leroy Merlin. Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/termometro-digital-laser-infravermelho-temperatura-mecedor>. Acesso em: 18 maio 2023.

Todas as medições foram feitas na mesma região do telhado, como mostra a Figura 10, e foi adotado o mesmo dia e horário para evitar divergências nos resultados. Assim, os testes foram realizados no dia 20 de maio, em três momentos no decorrer do dia: a primeira medição ocorreu no período da manhã; a segunda, no período da tarde, quando são registradas as

temperaturas mais elevadas; e a última medição, quando o sol estava quase se pondo, no final do dia.

Figura 10 – Posição na qual serão feitas as medições



Fonte: Autor (2023).

No período das medições, também foi verificada a temperatura registrada em geral na cidade de Goiânia, de acordo com o canal do tempo (Tabela 6).

Tabela 6 – Temperatura da região

Horário	09:30	14:30	17:30
Temperatura (C)	19.0°	28.0°	27.0°

Fonte: Canal do tempo. Disponível em: <https://weather.com/weather/today/>. Acesso em: 20 maio 2023.

5.4. Características dos materiais

Para o cálculo da resistência térmica, foram coletados os dados dos materiais usados no sistema construtivo, sendo a espessura a mesma usada no telhado e no forro das residências; enquanto para os dados de condutividade térmica, de densidade e de calor

específico, foram adotados os valores especificados em norma. A seguir, na Tabela 7, são apresentados os dados obtidos.

Tabela 7 – Propriedades térmicas dos materiais e espessura

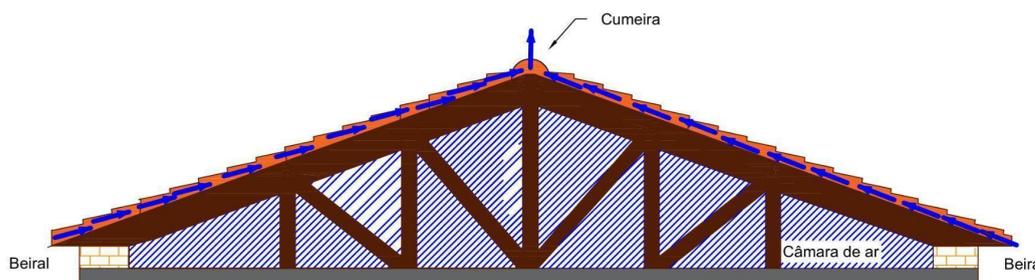
Material	Espessura (m)	Condutividade (W/m.k)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/Kg.K)
Telha fibrocimento	0,006	0,65	1700	0,84
Telha cerâmica	0,015	1,05	1800	0,92
Laje concreto normal	0,1	1,75	2200	1
Policloreto de vinila (PVC)	0,008	0,2	1200	0,88

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

5.5. Dimensões e abertura de ventilação

Na análise do sistema construtivo, além da coleta de dados dos materiais utilizados na cobertura, foram registradas as dimensões das residências e a dimensão da abertura de ventilação pelo beiral. Esses dados são necessários para determinar as condições da câmara de ar, que é o espaço compreendido entre o telhado e o forro, conforme Figura 11.

Figura 11 – Câmara de ar



Fonte: Autor (2023).

A Tabela 8, a seguir, apresenta os dados relacionados às dimensões de cada residência e às medidas de abertura de ventilação.

Tabela 8 – Resumo dos dados das residências

Casa 1: Telhado fibrocimento + Forro PVC	
Comprimento	9,2 m
Largura	8,5 m

Casa 1: Telhado fibrocimento + Forro PVC	
Abertura de ventilação	5,5 cm
Cumeeira	1,2 m
Casa 2: Telhado de fibrocimento + Laje concreto convencional	
Comprimento	9,2 m
Largura	8,5 m
Abertura de ventilação	5,5 cm
Cumeeira	1,2 m
Casa 3: Telhado cerâmico + Laje concreto	
Comprimento	13,45 m
Largura	7,4 m
Abertura de ventilação	5,5 cm
Cumeeira	2 m

Fonte: Autor (2023).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A medição no local foi realizada dia 20 de maio, no domingo, com início às 09h30; a segunda medição foi realizada às 14h; e, por fim, a última, às 17h30.

Ao longo do dia, foi possível perceber que a transferência de calor proveniente da radiação solar, através da cobertura, tende a ter uma variação constante; contudo, alguns sistemas tendem a apresentar temperaturas maiores que os outros quando comparada a temperatura da região externa com a interna do sistema, conforme descrito na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Temperatura e medições

Sistema	Temperaturas		
	09:30:00	14:30:00	17:30:00
(fibrocimento+PVC)	25,4	28	26,7
Externa (telha fibrocimento)	29	28,8	23
(fibrocimento+laje)	23,2	28,5	27,6
Externa (telha fibrocimento)	29	28,8	23
(cerâmica+laje)	22,4	27,4	24,9
Externa (telha cerâmica)	36,5	53,2	21,9

Fonte: Autor (2023).

Percebe-se que, de acordo com a Tabela 9, quando se compara a temperatura da superfície externa do telhado, a telha cerâmica tende a apresentar temperaturas mais altas do que a telha de fibrocimento. Isso ocorre devido às propriedades térmicas de ambas, pois, como a telha cerâmica tem uma espessura maior do que a de fibrocimento, ela tende a absorver mais calor, enquanto a fibrocimento não absorve tanto, porque sua espessura é mais fina e, por isso, ela libera o calor mais rápido.

De acordo com Bueno (1994) em seu estudo sobre transferência de calor e umidade em telha, o sistema de cobertura composta por telha cerâmica apresenta uma baixa convecção térmica para o interior do ambiente, em razão de seus componentes de fabricação, quanto ao clima da região, contendo uma boa umidade atmosférica. Nesse cenário, a porosidade da composição da telha cerâmica, que auxilia na absorção da umidade do ar, durante a noite, fica com maior temperatura, perdendo a umidade durante o dia, resultando em uma menor temperatura, ou seja, resultando em uma amplitude térmica, que, juntamente à laje em concreto, torna-se um sistema de cobertura, contribuindo para o atraso de calor interno ambiente.

Em verificação desses resultados, e a realização de cálculos apresentada na Tabela 5, é possível identificar o desempenho em cada sistema; logo, cada respectivo sistema de cobertura poderá atender ou não ao solicitado em norma, conforme apresentado na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Atendimento ao critério temperatura para o período de verão

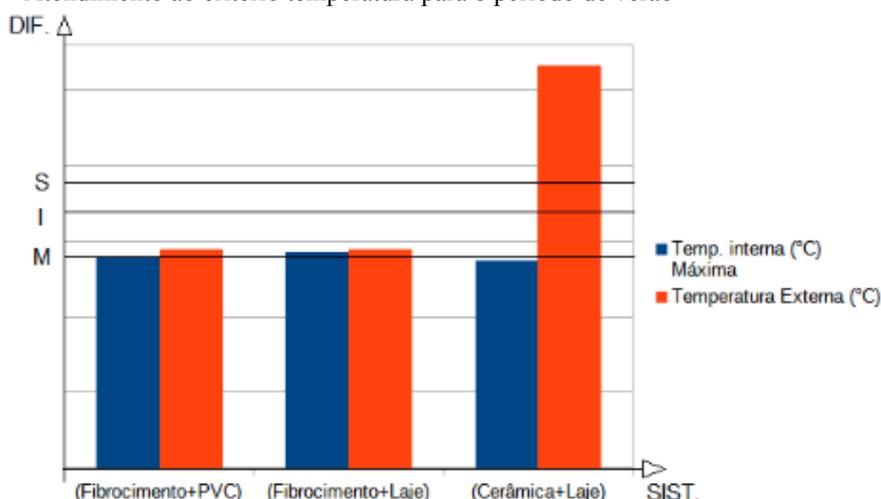
Sistema	Temp. interna (°C) máxima	Temperatura externa (°C)	Atendimento
(fibrocimento+PVC)	28	29	Mínimo
(fibrocimento+laje)	28.5	29	Mínimo
(cerâmica+laje)	27.4	53,2	Superior
Legenda		Verão	
	Não atende ao desempenho mínimo especificado	$T_{m\acute{a}x} \geq T_{ext}$	
	Desempenho mínimo	$T_{m\acute{a}x} \leq T_{ext}$	
	Desempenho Intermediário	$T_{m\acute{a}x} \leq T_{ext} - 2^{\circ}C$	

	Desempenho superior superior	$T_{m\acute{a}x} \leq T_{ext} - 4^{\circ}C$
--	------------------------------	---

Fonte: Autor (2023).

Assim, compreende-se que os sistemas em fibrocimento+PVC e fibrocimento+laje atendem ao mínimo (M) solicitado em norma; enquanto o sistema em cerâmica+laje, apresenta desempenho superior (S), representado no Gráfico 1 a seguir.

Gráfico 1 – Atendimento ao critério temperatura para o período de verão



Fonte: Autor (2023).

Entretanto, mesmo atendendo aos critérios de temperatura para o período de verão, os resultados de cálculos obtidos, que serão apresentados na Tabela 11, identificam que, para a zona 6 em análise, os valores de transmitância térmica obtidos não atendem ao que foi solicitado em norma.

Tabela 11 – Memorial de cálculo

Sistema	Resistência térmica (Rt) (m ² .K)/W	Resistência térmica Total (RT) (m ² .K)/W	Transmitância térmica (U) W/m ² K	Absortância (α)	Atendimento
(fibrocimento+PVC)	0,25923	0,46923	2,13	0,64	Não atende
(fibrocimento+laje)	0,27637	0,48637	2,05	0,64	Não atende
(cerâmica+laje)	0,28142	0,49142	2,03	0,75	Não atende

NOTAS:

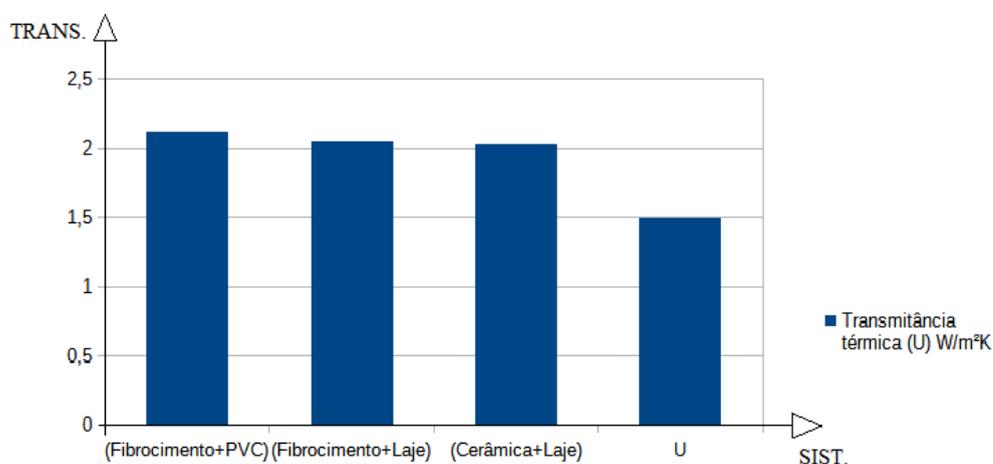
Rt é a soma das resistências térmicas individuais de cada componente dada pela equação: $\frac{e}{\lambda} + R_{ar} + \frac{e}{\lambda}$, sendo a espessura do telhado pela condutividade do material + a resistência da câmara de ar + espessura do material usado no forro pela sua condutividade.

RT, denominada resistência total, é a soma das resistências individuais acrescentadas da resistência superficial externa e a resistência superficial interna, conforme a seguinte equação: $R_{se} R_t + R_{si}$
U: $\frac{1}{RT}$ é a transmitância térmica do sistema de cobertura, que é o inverso da resistência total e representa a quantidade de calor que atravessa pelo sistema.
α : é a absorvância, é a radiação absorvida pelo telhado, para zona 6, representado na Tabela 3.

Fonte: Autor (2023).

Como pode-se analisar na Tabela 3, os dados de transmitância térmica (U) são inferiores aos valores obtidos em cálculo para a região de Goiânia nos três sistemas de cobertura apresentados, como representado no Gráfico 2 a seguir.

Gráfico 2 – Transmitância térmica



Obs: A unidade U representa o limite da zona 6.

Fonte: Autor (2023).

Segundo estabelecido na norma NBR 15575-5 (ABNT, 2013), representada na Tabela 3, nas zonas de 3 a 6 para coberturas que tenham coeficiente com radiação solar da superfície externa maior que 0,6, a transmitância térmica tem que ser menor ou igual a 1,5, entretanto, ao realizar os cálculos, de acordo com a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005), os valores obtidos foram superiores ao estabelecido. Logo, para que esse sistema consiga atender a norma, é necessário um isolante térmico para a zona bioclimática do estado de Goiás.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com as análises em campo e o clima da região composto pelas temperaturas dos materiais da cobertura, a cobertura fibrocimento apresenta uma maior condução de calor, mesmo com forro PVC ou a laje em concreto. Contudo, a cobertura de cerâmica com laje em concreto, melhor resiste ao calor da atmosfera, devido aos seus componentes de fabricação, num âmbito geral no quesito variação entre temperatura externa e interna.

Utilizando-se dos resultados obtidos na realização dos cálculos de transmitância térmica, nota-se uma alta transferência de calor pelos materiais, que é superior ao solicitado na norma 15575 (ABNT, 2013) para a região de Goiânia, porém, essa diferença de valores se dá pela falta de um isolante térmico no sistema, devido à zona climática. Portanto, cada região tende a ter uma diferença climática considerável, podendo definir de forma diferente a melhor escolha para um sistema de cobertura.

A partir da análise de desempenho térmico realizada, nenhum dos sistemas de coberturas apresentou resultado positivo em relação à norma de desempenho 15575 (ABNT, 2013). Há, portanto, a necessidade de estudos mais aprofundados e preocupação referente à transferência de calor em nossas residências, visto que reduziria a utilização de energia elétrica e o custo durante os anos, com a utilização de equipamentos para suprir o que a cobertura não conseguiu atender.

Por fim, como visto nos resultados da análise apresentada, os sistemas de cobertura mais utilizados em residências de classe média na região não atende ao item de transmitância térmica da norma 15575 (ABNT, 2013), com isso, sugere-se para temas futuros estudos voltados a tipos de materiais ou tecnologias que possam atender ao item transmitância térmica da norma, como uso de isolantes térmicos, mudança na cor do telhado ou alteração no sistema de ventilação natural da cobertura.

8. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005c.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2021a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5. Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas**. Rio de Janeiro, 2013.

BIZERRA, A. S. P. *et al.* **Comparativo entre telha cerâmica e telha isotérmica** – análise de parâmetros para conforto térmico. Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edificação. Faculdade de Tecnologia Victor Civita - Fatec Tatuapé. São Paulo, 2021. Disponível em:
https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/8858/1/construcaodeedificios_2021_2_alexandropereirabizerra_comparativoentretelhas.pdf. Acesso em: 27 maio 2023.

BUENO, A. D. **Transferência de calor e umidade em telhas**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil. Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, 1994. Disponível em:
https://labeec.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Andre_Duarte_Bueno.pdf. Acesso em: 20 de maio de 2023.

CASTRO, A. P. A. S. *et al.* **Refletância de cores para pintura externa em função das regiões do espectro solar**. Anais Encac – Cotedi. Curitiba 2003

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

DIEDRICH, C. H. **Análise do comportamento térmico de coberturas em residências de interesse social**. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento de Mecânica. Ponta Grossa, 2018. Disponível em: http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16403/1/PG_DAMEC_2018_1_3.pdf. Acesso em: 27 maio 2023.

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

FANGER, P. O. **Thermal Comfort - Analysis and Applications in Environmental Engineering**. Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.

FERRARI C; MUSCIO A. **Ventilated pitched roof with forced ventilation and flow homogenizer device: testing and performance assessment**. Journal of Physics: Conference Series, 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de edificações. **Cobertura com estrutura de madeira e telhados com telha de cerâmica: manual de execução**. São Paulo: IPT; Sinduscon-SP, 1988.

LAMBERTS, R. *et al.* **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L. **Desempenho térmico de edificações**. Relatório do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf. Acesso em: 20 maio 2023

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ, 1989.

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas**: análise de monitoramento e normalização específica. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-16042007-154420/en.php>. Acesso em: 27 maio 2023.

ANEXOS

Anexo 1 – Memorial de cálculo

Verificação das condições da câmara de ar ou ático das casas 1 e 2 que possuem as mesmas dimensões:

$$\text{Área da cobertura} \Rightarrow (\text{comprimento} \times \text{largura}) \Rightarrow 9,2 \times 8,5 = 78,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total de abertura de ventilação pelo beiral} \Rightarrow 2 (\text{comprimento} \times \text{abertura de ventilação}) \Rightarrow 2 (920 \times 5.5) \Rightarrow 10120 \text{ cm}^2$$

$$\text{Câmara de ar} \Rightarrow S/A \Rightarrow 10120/78,2 \Rightarrow 129.41$$

Como a câmara de ar apresenta $S/A > 30$, logo, é considerada muito ventilada. Para este trabalho, serão apresentados somente cálculos para o período do verão, segundo a NBR

15220-2 para superfície de alta emissividade, e que possua câmara de ar com $e > 5$; no sentido descendente, é adotada resistência térmica 0,21, abaixo será apresentado o cálculo da resistência térmica:

Telhado fibrocimento com forro PVC

$$R_t = \frac{e \text{ fibrocimento}}{\lambda \text{ fibrocimento}} + R_{ar} + \frac{e \text{ PVC}}{\lambda \text{ PVC}}$$

$$R_t = \frac{0,006}{0,65} + 0,21 + \frac{0,008}{0,2} = 0,25923 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$\text{Resistência térmica total: } R_{si} + R_t + R_{se} = 0,17 + 0,25923 + 0,04 = 0,46923$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,46923} = 2,13$$

Telhado fibrocimento com Laje

$$R_t = \frac{e \text{ fibrocimento}}{\lambda \text{ fibrocimento}} + R_{ar} + \frac{e \text{ Laje concreto convencional}}{\lambda \text{ Laje concreto convencional}}$$

$$R_t = \frac{0,006}{0,65} + 0,21 + \frac{0,1}{1,75} = 0,276374 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$\text{Resistência térmica total: } R_{si} + R_t + R_{se} = 0,17 + 0,276374 + 0,04 = 0,486374$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,486374} = 2,05$$

Verificação das condições da câmara de ar da casa 3 que possui as seguintes dimensões:

$$\text{Área da cobertura} \Rightarrow (\text{comprimento} \times \text{largura}) \Rightarrow 13,45 \times 7,4 = 99,53 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total de abertura de ventilação} \Rightarrow 2 (\text{comprimento} \times \text{abertura de ventilação}) \Rightarrow 2 (1345 \times 5,5) \Rightarrow 14795 \text{ cm}^2$$

$$\text{Câmara de ar} \Rightarrow S/A \Rightarrow 14795/99,53 \Rightarrow 148,64$$

Telha cerâmica e laje concreto convencional

$$R_t = \frac{e \text{ Telha Cerâmica}}{\lambda \text{ Telha Cerâmica}} + R_{ar} + \frac{e \text{ Laje concreto convencional}}{\lambda \text{ Laje concreto convencional}}$$

$$R_t = \frac{0,015}{1,05} + 0,21 + \frac{0,1}{1,75} = 0,281428 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$\text{Resistência térmica total: } R_{si} + R_t + R_{se} = 0,17 + 0,281429 + 0,04 = 0,491428$$

Equação 6: telha cerâmica com laje de concreto

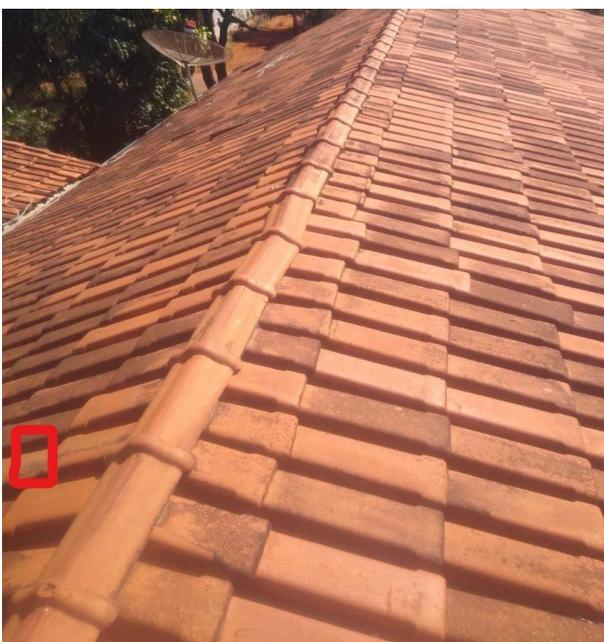
$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,491429} = 2,03$$

Anexo 2 – Aferição de temperatura



Fonte: Autores (2023).

Anexo 3 – Telhados



Fonte: Autores (2023).

Apêndice A**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO**

Eu,

Gabriel Almeida de Sousa RA 3143

Declaro, com o aval de todos os componentes do grupo a:

AUTORIZAÇÃO (x)**NÃO AUTORIZAÇÃO** ()

Da submissão e eventual publicação na íntegra e/ou em partes no Repositório Institucional da Faculdade Unida de Campinas – FACUNICAMPS e da Revista Científica da FacUnicamps, do artigo intitulado: Avaliação de Desempenho Técnico de Coberturas

de autoria única e exclusivamente dos participantes do grupo constado em Ata com supervisão e orientação do (a) Prof. (a): Helen Oliveira Tenório

Curso: Engenharia Civil Modalidade afim Graduação

O presente artigo apresenta dados válidos e exclui-se de plágio.

Gabriel Almeida de Sousa

Assinatura do representante do grupo

Assinatura do Orientador (a):

Goiânia, 07 de Julho de 2023