

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MATHEUS MACHADO DE SOUZA

**INFLUÊNCIA DO USO DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS NAS CONDIÇÕES DE
CONFORTO DE AMBIENTES INTERNOS**

FRANCISCO BELTRÃO

2025

MATHEUS MACHADO DE SOUZA

**INFLUÊNCIA DO USO DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS NAS CONDIÇÕES DE
CONFORTO DE AMBIENTES INTERNOS**

**influence of the use of thermal insulation on the comfort conditions of indoor
environments**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Engenheiro Ambiental e Sanitarista da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof^a Dr^a Cleila Cristina Navarini
Valdameri

FRANCISCO BELTRÃO

2025



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MATHEUS MACHADO DE SOUZA

**INFLUÊNCIA DO USO DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS NAS CONDIÇÕES DE
CONFORTO DE AMBIENTES INTERNOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Engenheiro Ambiental e Sanitarista da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Cleila Cristina Navarini Valdameri
Coorientador(a): Denise Andreia Szymczak

Data de aprovação: 24/novembro/2025

Cleila Cristina Navarini Valdameri
Titulação (Doutorado)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Denise Andreia Szymczak
Titulação (Doutorado)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marlise schoenhals
Titulação (Mestrado,)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

FRANCISCO BELTRÃO

2025

RESUMO

O aumento da frota de veículos, a expansão industrial e as atividades agrícolas intensificam a emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para o aumento da temperatura global e formação de ilhas de calor nas áreas urbanas. O conforto térmico é fundamental para a saúde e produtividade, sendo essencial implementar estratégias que garantam o bem-estar dos ocupantes das edificações. Este estudo visou investigar o desempenho térmico de diferentes materiais isolantes, como lã de ovelha e manta térmica, no clima subtropical brasileiro. Foram construídos protótipos em compensado no campus da UTFPR, em Francisco Beltrão, para monitoramento das variações térmicas. A análise comparativa permitiu identificar os isolantes mais eficientes na retenção de calor no inverno e no controle térmico no verão. Os resultados obtidos visam contribuir para a adoção de soluções sustentáveis, promovendo maior eficiência energética, conforto ambiental e redução da dependência de sistemas artificiais de climatização em edifícios como o uso de ar condicionado.

Palavras-chave: conforto térmico; isolantes; lã de ovelha; sustentabilidade.

ABSTRACT

The increase in the vehicle fleet, industrial expansion, and agricultural activities intensify the emission of greenhouse gases, contributing to the rise in global temperature and the formation of heat islands in urban areas. Thermal comfort is fundamental for health and productivity, making it essential to implement strategies that guarantee the well-being of building occupants. This study aimed to investigate the thermal performance of different insulating materials, such as sheep's wool and thermal blankets, in the Brazilian subtropical climate. Prototypes were built in plywood on the UTFPR campus in Francisco Beltrão to monitor thermal variations. Comparative analysis allowed the identification of the most efficient insulators in heat retention in winter and thermal control in summer. The results obtained aim to contribute to the adoption of sustainable solutions, promoting greater energy efficiency, environmental comfort, and reduced dependence on artificial climate control systems in buildings, such as the use of air conditioning.

Keywords: thermal comfort; insulation; sheep's wool; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição do consumo de energia em setores produtivos.....	13
Figura 2 - Matriz Energética Mundial.....	14
Figura 3 - Localização do município de Francisco Beltrão - PR.....	20
Figura 4 - Planta baixa dos protótipos.....	21
Figura 5 - Vista frontal protótipo.	22
Figura 6 - Temperatura interna e externa no ambiente controle.	25
Figura 7 - Temperatura interna e externa no ambiente controle do dia 31.....	26
Figura 8 - Temperatura interna e externa no ambiente com manta de alumínio	27
Figura 9 - Temperatura interna e externa no ambiente controle do dia 31.....	28
Figura 10 - Temperatura interna e externa no ambiente com manta de lã de ovelha.....	29
Figura 11 - Temperatura interna e externa no ambiente com lã de ovelha do dia 31.	30
Figura 12 - Temperatura interna dos ambientes.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos materiais e suas condutividades.....	17
Tabela 2 - Temperatura superficial interna.....	27
Tabela 3 - Temperatura superficial interna.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NR	Normas Regulamentadora
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

EPS	Poliestireno expandido
EPX	Poliestireno extruturado
Ti	Temperatura intera
Te	Temperatura externa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Panorama do uso de energia	13
3.2 Transferência de calor	14
3.3 Transferência de calor em cobertura.....	15
3.4 Estratégias visando o aumento do conforto térmico em edificações	15
3.5 Isolantes térmicos	16
3.5.1 Lã de ovelha como isolante térmico	17
3.5.2 Manta térmica.....	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 Descrição da área de estudo	20
4.2 Protótipos experimentais	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1 Temperatura interna externa controle	24
5.2 Temperatura interna e externa manta de alumínio	26
5.3 Temperatura interna e externa manta lã.....	28
5.4 Comparativos entre os 3 ambientes	30
6. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

O aumento da frota de automóveis, a expansão industrial e as atividades agrícolas são os principais responsáveis pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa. O crescimento populacional intensifica essa demanda, aumentando a necessidade de produção e consumo de bens industrializados e alimentos, agravando os impactos ambientais.

O aumento da temperatura global afeta diretamente o ambiente construído, principalmente nas áreas urbanas, onde a formação de ilhas de calor intensifica a sensação térmica. Esse fenômeno reduz o conforto ambiental e pode comprometer a qualidade de vida das pessoas (OLIVEIRA, 2003).

O conforto térmico refere-se às condições ambientais que asseguram o bem-estar, promovem a saúde e permitem o desempenho eficiente das atividades diárias e laborais (OLIVEIRA, 2003). As altas temperaturas em ambientes fechados podem prejudicar a saúde, o comportamento e a produtividade do ser humano. A exposição prolongada às condições de calor e umidade pode desencadear problemas como fadiga e redução da produtividade

Dentre essas soluções, a ventilação cruzada e as mantas térmicas são as mais utilizadas no Brasil, enquanto as paredes verdes ainda têm aplicação limitada, apesar de sua comprovada eficiência. A ventilação cruzada consiste em aberturas em paredes opostas dentro de um ambiente, promovendo a circulação de ar e reduzindo a temperatura interna (SOUZA e RODRIGUES, 2012). As mantas térmicas, por sua vez, minimizam a transferência de calor para o interior das edificações por meio da redução da emissividade térmica, contribuindo para a diminuição da temperatura interna (ZANELLA, FOIATO E CARELLI, 2022).

Os isolantes naturais como a lã de ovelha, podem ser uma alternativa interessante para a construção civil como um material natural e renovável para a utilização nas edificações. As fibras da sua composição auxiliam na retenção de ar que reflete na temperatura estável do ambiente, vale ressaltar também que esse material é resistente ao fogo o que a torna um material seguro de ser utilizado (HETIMY et al., 2024)

No Brasil poucos são os estudos sobre a efetividade da lã de ovelha como isolante térmico. Dessa forma, o presente estudo visa investigar o desempenho térmico desses sistemas isolantes no clima subtropical do país, onde temos verões muito quentes e invernos com temperaturas extremamente baixas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a influência do uso de isolamentos térmicos nas condições de conforto térmico dos ambientes internos protegidos por esses sistemas.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar e selecionar diferentes sistemas de isolamentos térmicos a serem avaliados;
- Definir o modelo do protótipo e os materiais a serem utilizados na análise;
- Monitorar as variações de temperatura em ambientes protegidos por cada sistema de isolamento;
- Realizar uma comparação entre os sistemas de isolamento térmico quanto à eficiência no conforto térmico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Panorama do uso de energia

No Brasil 18,4 % da energia elétrica gerada é consumida pelas edificações comerciais, 35,4 % pela indústria, 31 % pelas residências, 5,7 % pelo meio rural, 3,1 % pelo poder público, 2,6% pela iluminação pública, 3,2 % serviços públicos e 0,6 % o consumidor próprio. Todos tiveram alta em relação ao ano anterior, exceto a iluminação pública que obteve uma redução no consumo de - 4,7 % (EPE, 2023).

Figura 1 - Distribuição do consumo de energia em setores produtivos.

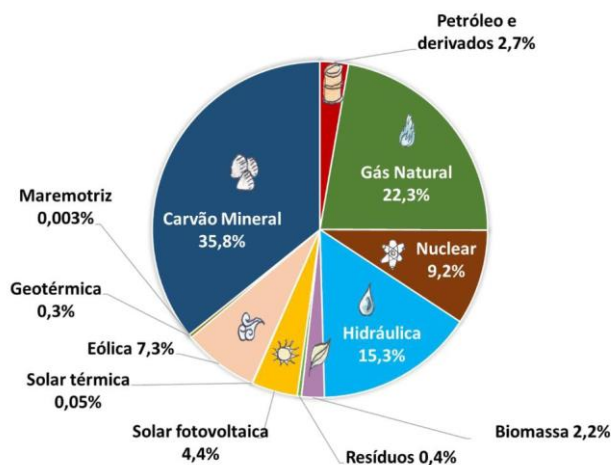


Fonte: EPE, (2024).

No mesmo ano, registou-se um aumento do consumo de energia em quase todas as classes mencionadas: 7,8% no consumo residencial, 2,2% no setor industrial, 5,9% no comercial, 0,8% no rural, 8,5% no poder público, 1,4% nos serviços públicos e 0,5% no consumo próprio. A única classe que registou uma redução do consumo foi a da iluminação pública, que diminuiu 4,7% (EPE, 2023).

A matriz energética mundial apresenta uma realidade preocupante, pois cerca de 66% do total de energia consumida é proveniente de fontes não renováveis. Isso implica a emissão de gases de efeito estufa, que contribuem para o aumento da temperatura média global, impactando diretamente o homem e os animais. Esse aquecimento resulta na redução do conforto térmico, evidenciando a necessidade urgente de adoção de medidas sustentáveis para amenizar os efeitos desse aumento de temperatura (EPE, 2023).

Figura 2 - Matriz Energética Mundial.



Fonte: EPE, (2022).

3.2 Transferência de calor

A transferência de calor é o processo pelo qual a energia térmica se desloca de uma região de maior temperatura para outra de menor temperatura, ocorrendo sempre que existe uma diferença térmica entre dois sistemas. Este fenômeno é fundamental em várias áreas da engenharia, uma vez que influencia diretamente o desempenho e a eficiência de sistemas térmicos e estruturais (QUITES E LIA, 2005).

Segundo os autores supracitados, na engenharia mecânica, a transferência de calor é essencial na concepção de motores, sistemas de ventilação e refrigeração e aparelhos de ar condicionado. Na engenharia metalúrgica, a sua aplicação estende-se ao desenvolvimento de fornos, regeneradores e conversores térmicos. Os engenheiros químicos e nucleares utilizam este princípio nos processos de evaporação e condensação e no funcionamento de reatores e refinarias. Na engenharia eletrotécnica, a dissipação de calor é fundamental para o funcionamento de transformadores, geradores e sistemas de arrefecimento de componentes eletrônicos.

A transferência de calor é fundamental para o desenvolvimento de edifícios energeticamente eficientes em engenharia civil e arquitetura. Um isolamento térmico adequado é essencial para garantir o conforto ambiental e reduzir o consumo de energia associado ao ar condicionado (GABRIELLI, 2014).

A transferência de calor ocorre através de três mecanismos principais: a condução, que ocorre através do contato direto entre partículas num meio sólido ou fluido; a convecção, que ocorre devido ao movimento de fluidos e à troca térmica com

superfícies sólidas; e a irradiação, que ocorre através da emissão e absorção de ondas eletromagnéticas, sem necessidade de um meio material (GARCIA E GOULART, 2022).

3.3 Transferência de calor em cobertura

Um dos principais fatores que influenciam no ganho de energia térmica nas coberturas é a radiação solar pois as mesmas ficam mais tempo expostas a radiação solar. As paredes também são intensamente expostas a essa radiação porem por um período de tempo menor.

A trajetória solar corresponde ao percurso aparente do Sol no céu ao longo do dia, resultante da rotação da Terra em torno de seu eixo e da inclinação axial terrestre em relação ao plano da eclíptica ($23,45^\circ$). Esse movimento aparente, que se repete diariamente, caracteriza-se pelo nascimento do Sol próximo ao ponto cardeal leste, sua culminância no meridiano local, momento de maior altura angular, correspondente ao meio-dia solar verdadeiro e o poente próximo ao ponto cardeal oeste.

A inclinação do eixo terrestre provoca variações sazonais na trajetória solar. Durante o solstício de verão, o Sol descreve um arco mais elevado e mais longo, nascendo e se pondo em direções afastadas do eixo leste-oeste, o que resulta em maior disponibilidade de radiação solar. No solstício de inverno, a trajetória solar apresenta características opostas: o arco é mais baixo e reduzido, com menor duração de insolação diária. Nos equinócios, por sua vez, o Sol cruza o equador celeste, nascendo exatamente no leste e se pondo no oeste, com duração aproximadamente igual entre o dia e a noite (FRAKNOI; MORRISON; WOLFF, 2016).

Segundo os autores supracitados cerca de 87 % da energia absorvida pela cobertura é transferida por radiação e somente 13 % são transferidas através dos outros mecanismos como a convecção e condução (SUETAKE, 2017).

3.4 Estratégias visando o aumento do conforto térmico em edificações

O conforto térmico pode ser definido como o estado em que o ser humano encontra o equilíbrio com o ambiente térmico, resultando em satisfação. Esse equilíbrio térmico impacta diretamente na produtividade do indivíduo, uma vez que a fadiga demora mais a se manifestar em ambientes bem regulados (DIAS, 2013).

Segundo os autores supracitados algumas medidas para melhorar o conforto térmico, como o ar condicionado, são eficientes e de aplicação rápida. No entanto, esta solução aumenta o consumo de energia, grande parte da qual provém de fontes não renováveis.

O método de construção mais comumente utilizado no Brasil é a construção em alvenaria, fortemente influenciada pelo patrimônio arquitetônico Português. No entanto, outros sistemas de construção também podem ser aplicados, como estruturas em *wood frame*, que é amplamente utilizado em outros países, mas ainda enfrenta resistência no Brasil. A resistência ao *wood frame* está principalmente relacionada à percepção de que essas placas são de baixa qualidade, frequentemente associada a construções de classe média e baixa renda (MIYAGUCHI, 2023).

É importante enfatizar que, ao buscar conforto térmico em edifícios, o impacto ambiental dos materiais e métodos de construção também deve ser considerado. A produção desses materiais envolve o consumo de energia, que pode vir de fontes renováveis ou não renováveis. Quando a energia utilizada é de origem não renovável, os impactos negativos, como emissões de poluentes e efeitos adversos à saúde humana, tornam-se mais significativos. Portanto, é essencial adotar uma abordagem que considere tanto a eficiência térmica quanto a sustentabilidade do processo de construção, a fim de garantir um menor impacto ambiental e preservar recursos para as futuras gerações (GEMELLI, 2009).

Dentre os recursos a ventilação natural é uma estratégia muito eficiente quando se fala em conforto térmico pois só utilizaremos a mudança de layout da edificação para que consigamos promover uma ventilação adequada podendo assim reduzir a temperatura ambiente, promovendo conforto ambiental e aumentando a eficiência energética das edificações. Outro efeito importante é o efeito chaminé onde a força dos ventos promove a movimentação do ar entre os ambientes produzindo uma ventilação que chamamos de ação dos ventos (SOUZA, 2012).

Outra estratégia para a mitigação das ilhas de calor em ambientes urbanos é a utilização de paredes verdes telhados verdes, grama, arbustos e parques (QUADROS, 2022).

3.5 Isolantes térmicos

O principal objetivo do isolamento térmico é evitar a transferência de calor entre dois ambientes com temperaturas diferentes. Este processo é essencial para controlar as condições térmicas dentro de um espaço, promovendo a eficiência energética e o conforto térmico (GABRIELLI, 2014).

Segundo os autores supracitados, ao reduzir a troca de calor, o isolamento térmico diminui a demanda por sistemas de ar condicionado, resultando em economia de energia. Além disso, ao manter condições internas estáveis, o isolamento térmico melhora o conforto dos ocupantes, proporcionando um ambiente com temperaturas mais controladas no inverno e no verão.

Tabela 1 - Classificação dos materiais e suas condutividades.

Classificação	Material	Condutividade
Tradicional	Lã de vidro	0,031 a 0,037
Tradicional	Manta térmica	0,034 a 0,039
Inovador	Aero gel	0,013 a 0,028
Inovador	VIP (vácuo)	0,0035 a 0,008
Petroquímico	EPS	0,031 a 0,038
Petroquímico	XPS	0,032 a 0,037
Natural	Cortiça	0,037 a 0,050
Natural	Lã de ovelha	0,038 a 0,054

Fonte: O autor, (2025).

Dentre os principais isolantes térmicos petroquímicos podemos destacar o EPS que é amplamente utilizado na construção civil, devido as suas propriedades as quais proporcionam a ele essa característica de isolante térmico, sua condutividade é de aproximadamente $0,04 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$, o EPS possui um interessante custo benefício, pode ser utilizado em vários sistemas construtivos. Outro petroquímico bastante utilizado na construção civil é o XPS que é bem semelhante ao EPS porém com uma condutividade um pouco menor, cerca de $0,035 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$, porém obtém um custo mais alto em relação ao EPS (GARCIA E GOULART, 2022).

Segundo os autores mencionados anteriormente a condutividade é intrínseca de cada material, aqueles que possuem baixa condutividade são chamados de maus condutores ou isolantes os quais possuem utilização variada na engenharia.

3.5.1 Lã de ovelha como isolante térmico

A fibra de lã de ovelha tem sido um material usado como isolante por séculos e é altamente valorizada por suas propriedades ecológicas. Como material natural, a lã de ovelha está ganhando destaque na construção sustentável devido à sua eficácia como isolante térmico e às suas qualidades ambientais.

Sua popularidade tem aumentado entre cientistas e investidores que reconhecem seu potencial como uma solução prática e eficiente para a indústria de isolamento térmico. O material está sendo cada vez mais explorado no contexto de edifícios sustentáveis, com estudos em andamento sobre suas propriedades físicas e ambientais (HETIMY et al., 2024).

As características únicas da lã de ovelha, como sua capacidade de retenção de calor e sustentabilidade, fazem dela uma opção promissora para o desenvolvimento de soluções de isolamento térmico em edifícios, contribuindo para a redução do impacto ambiental da construção (HETIMY et al., 2024).

3.5.2 Manta térmica

Uma estratégia eficaz para reduzir os ganhos de calor através dos telhados dos edifícios é minimizar a absorção de energia solar utilizando materiais com alta refletância em sua superfície exterior e baixa emissividade. O objetivo é reduzir a quantidade de energia térmica de onda longa irradiada para o interior dos espaços. A forma mais comum de alcançar esse efeito é através de mantas térmicas com alta refletância e baixa emissividade. Estas mantas estão revestidas com lâminas de alumínio, um material que tem baixa emissividade, contribuindo para a eficácia do isolamento térmico (ZANELLA, 2022).

As mantas térmicas podem reduzir os ganhos de calor durante o verão e diminuir as perdas de calor no inverno, reduzindo a demanda por sistemas de aquecimento e refrigeração. Com isso, é possível otimizar o consumo de energia, já que os dispositivos de controle climático serão utilizados menos, promovendo uma maior eficiência energética nos edifícios (ZANELLA, 2022).

A manta térmica de alumínio reduz a emissividade do calor absorvido do telhado para o interior do ambiente e tem alta refletância o que aumenta a capacidade do material de dificultar a transferência de calor entre o telhado e o ambiente. (ZANELLA, 2022).

De acordo com Funes et al. (2023), a utilização de materiais isolantes instalados abaixo da cobertura contribui para a redução da transferência de calor do ambiente externo para o interno. Para comprovar essa afirmação, foram desenvolvidos protótipos nos quais as temperaturas foram medidas em três períodos distintos do dia: manhã, meio-dia e tarde. Como resultado, observou-se que, no período da manhã, o conjunto composto por telha de fibrocimento associado à manta isolante apresentou uma amplitude térmica de aproximadamente 9 °C entre o ambiente externo e o interno, mantendo a temperatura interna próxima a 26 °C.

Ao meio-dia essa amplitude chegou aproximadamente a 12 graus, mantendo a temperatura interna em 30 graus Celsius, na parte da tarde essa amplitude reduziu para aproximadamente 6 graus mantendo a temperatura interna em 28 graus (FUNES, 2023).

Para Suetake (2017), a manta térmica obteve um considerável desempenho quando analisamos a sua capacidade de reter o calor no ambiente interno quando as temperaturas estão mais baixas, ou seja, no inverno, analisando os dados obteve-se que com o uso dessa manta houve um aumento de 0,3 °C na temperatura máxima interna e um aumento de 1,3 °C na temperatura mínima.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição da área de estudo

Os protótipos serão instalados no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), localizado em Francisco Beltrão. O regime pluviométrico da região é bem distribuído ao longo do ano, com maior incidência de chuvas na primavera e no outono e menor volume no inverno. Entre setembro e março, ocorrem entre 11 e 14 dias de chuva por mês, enquanto de abril a agosto esse número varia entre 8 e 10 dias. A precipitação anual ultrapassa 2.000 mm (PICOLOTTO E FOLLADOR, 2015).

O clima local é classificado como Cfa, segundo Köppen caracterizado por invernos amenos, com temperaturas entre -3°C e 18°C , e verões quentes, com temperaturas acima de 22°C .

Figura 3 - Localização do município de Francisco Beltrão - PR.



Fonte: Wikipédia, (2025).

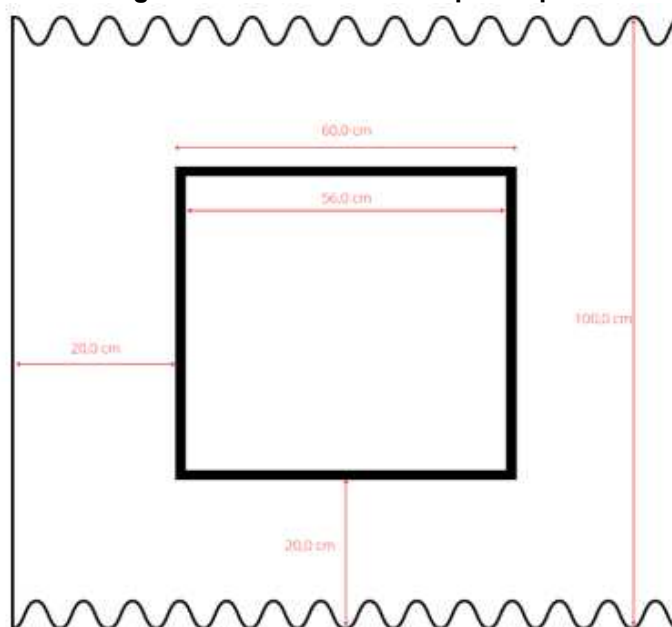
4.2 Protótipos Experimentais

Os protótipos foram construídos em compensado, com dimensões de $50 \times 50 \times 100$ cm e espessura de 2 cm. A única face aberta é a superior, onde serão instalados os isolantes e a cobertura de fibrocimento.

A cobertura será composta por telhas onduladas de fibrocimento, com dimensões de 1×1 m e espessura de 4 mm. Para vedação entre a telha e as paredes,

será utilizada espuma de poliisocianurato (PIR), um material amplamente empregado na construção civil devido à sua elevada capacidade de isolamento térmico.

Figura 4 - Planta baixa dos protótipos.



Fonte: SILVA, (2025).

A aplicação dos isolantes será realizada manualmente na parte inferior da telha, entre a telha e o protótipo. Para a fixação da manta, será utilizado fita adesiva. A lã de ovelha também será aplicada manualmente e fixada ao protótipo utilizando tela metálica. O terceiro protótipo será utilizado como controle e não receberá nenhum tipo de isolante, sendo coberto exclusivamente pela telha de fibrocimento.

Na Figura 5, é apresentada a imagem de um dos protótipos que serão utilizados na avaliação comparativa dos diferentes tipos de isolantes.

Figura 5 - Vista frontal protótipo.



Fonte: O autor, (2025).

A comparação de três cenários: isolante sintético, isolante natural e ausência de isolamento, possibilitará uma análise abrangente do desempenho térmico em condições reais simuladas no experimento. A disposição dos equipamentos e os procedimentos experimentais seguirão a metodologia descrita por Silva (2022).

- **Protótipo 1: Isolante sintético: Manta Térmica para Telhado**

A manta térmica utilizada no experimento é composta por uma camada de alumínio ou película metálica com alta refletividade, cuja principal função é minimizar a absorção de radiação térmica. Esse material atua reduzindo a transferência de calor por radiação, contribuindo para a manutenção de temperaturas internas mais amenas no verão e mais estáveis no inverno.

- **Protótipo 2: Isolante natural: Lã de Ovelha**

A lã de ovelha é um isolante térmico natural, leve e com baixa condutividade térmica, devido à sua estrutura fibrosa que aprisiona o ar em microcavidades, proporcionando elevada resistência térmica. Além de ser um material ecologicamente

sustentável, também apresenta propriedades acústicas, reduzindo a propagação do som no ambiente (SILVA, 2022).

- **Protótipo 3: Ausência de isolante: Controle**

O protótipo controle não receberá nenhum tipo de isolamento térmico, servindo como referência para a avaliação comparativa dos demais materiais testados. A ausência de barreiras térmicas permitirá medir a transferência de calor sem interferências, possibilitando uma análise quantitativa da eficiência térmica dos isolantes aplicados nos outros protótipos (SILVA, 2022).

- **Monitoramento dos dados dos protótipos**

Após a instalação dos isolantes, serão realizadas medições de temperatura ao longo de 15 dias para avaliar o desempenho térmico de cada sistema. A temperatura do ar interno será monitorada por um sensor posicionado no centro do protótipo, enquanto a temperatura superficial será aferida por sensores instalados em dois pontos estratégicos: um acima da telha, registrando a temperatura externa, e outro na mesma posição, porém abaixo da manta, medindo a temperatura interna.

Os dados serão coletados simultaneamente nos três protótipos a cada 15 minutos, utilizando data loggers calibrados com faixa de operação de -30°C a 85°C e 0% a 100% UR, apresentando exatidão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para temperatura e $\pm 3\%$ UR para umidade relativa. Esses registros permitirão uma análise comparativa detalhada da eficiência dos isolantes na redução da transferência de calor. Os dados serão comparados com os índices de conforto térmico estabelecidos na NR 17.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo tem como objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos nos ensaios experimentais realizados com três protótipos distintos. O primeiro corresponde ao modelo de referência, construído sem a utilização de isolamento térmico. Os outros dois foram desenvolvidos com a aplicação de materiais isolantes diferentes: lã de ovelha, em um deles, e manta térmica, no outro.

Os dados experimentais foram organizados em gráficos e tabelas, de modo a evidenciar o desempenho térmico de cada configuração e suas implicações para as condições de conforto nos ambientes internos.

As análises realizadas têm como propósito correlacionar os valores obtidos experimentalmente com os parâmetros de desempenho térmico, possibilitando a avaliação da efetividade dos sistemas de isolamento empregados.

Enfatiza-se, sobretudo, a avaliação da lã de ovelha como material isolante alternativo, considerando suas características físicas e seu potencial de aplicação sustentável no setor construtivo. Dessa forma, este capítulo busca integrar os dados experimentais ao objetivo central do estudo, fornecendo subsídios técnicos para futuras investigações e para a adoção de soluções eficientes voltadas à melhoria do conforto térmico em edificações.

5.1 Temperatura interna externa controle

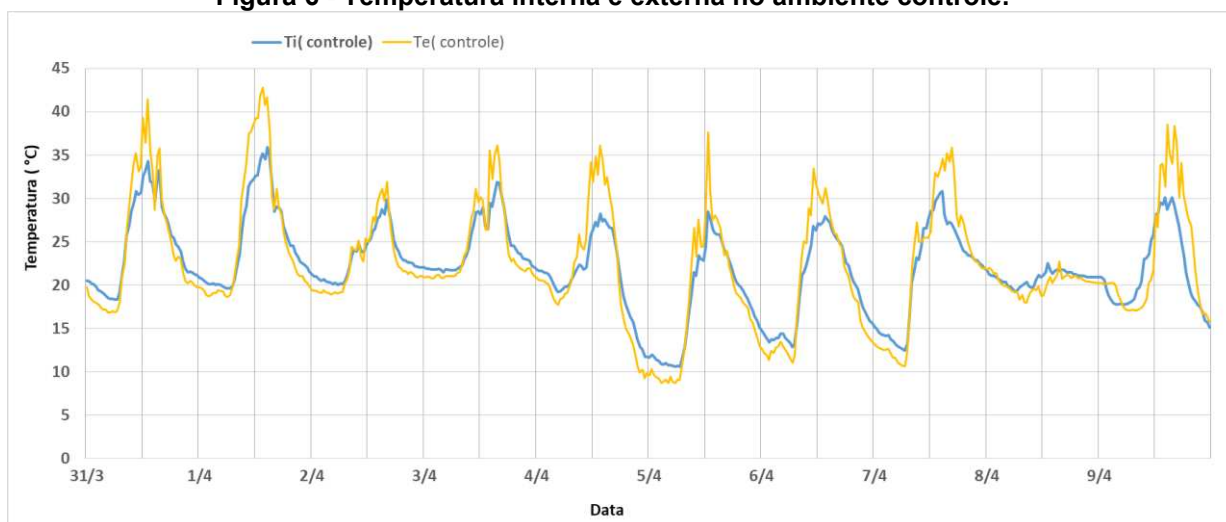
A Figura 6 apresenta a análise da relação entre a temperatura de superfície interna (T_i) e a temperatura externa (T_e) do ambiente em condição de controle, no período de 31 de março a 9 de abril. Em todos os dias observados, identificaram-se ciclos diários bem definidos, caracterizados pelo aumento das temperaturas durante o dia e sua redução no período noturno.

A curva de temperatura interna (T_i) apresentou atraso e suavização em relação à curva externa (T_e), sobretudo nos períodos de maior calor diurno. Verificou-se que T_e manteve-se superior a T_i durante o dia e inferior no período noturno, evidenciando que o ambiente interno atenua parcialmente as variações térmicas, mantendo-se relativamente mais fresco nos picos de calor e mais aquecido nos momentos de temperatura mais baixa.

Nos dias de maior incidência solar, como em 31 de março, 1º e 9 de abril, a temperatura externa ultrapassou 38 °C, enquanto a superfície interna variou entre 33 °C e 35 °C, demonstrando que o ambiente interno reduz o ganho térmico, ainda que ocorra transferência de calor. Em contraste, nos dias de menor carga térmica, como em 5 e 6 de abril, a temperatura externa atingiu cerca de 11 °C e a interna aproximou-se de 13 °C, indicando que, na ausência de isolamento, o ambiente acompanha diretamente as oscilações externas, tornando-se suscetível tanto ao superaquecimento quanto ao resfriamento excessivo.

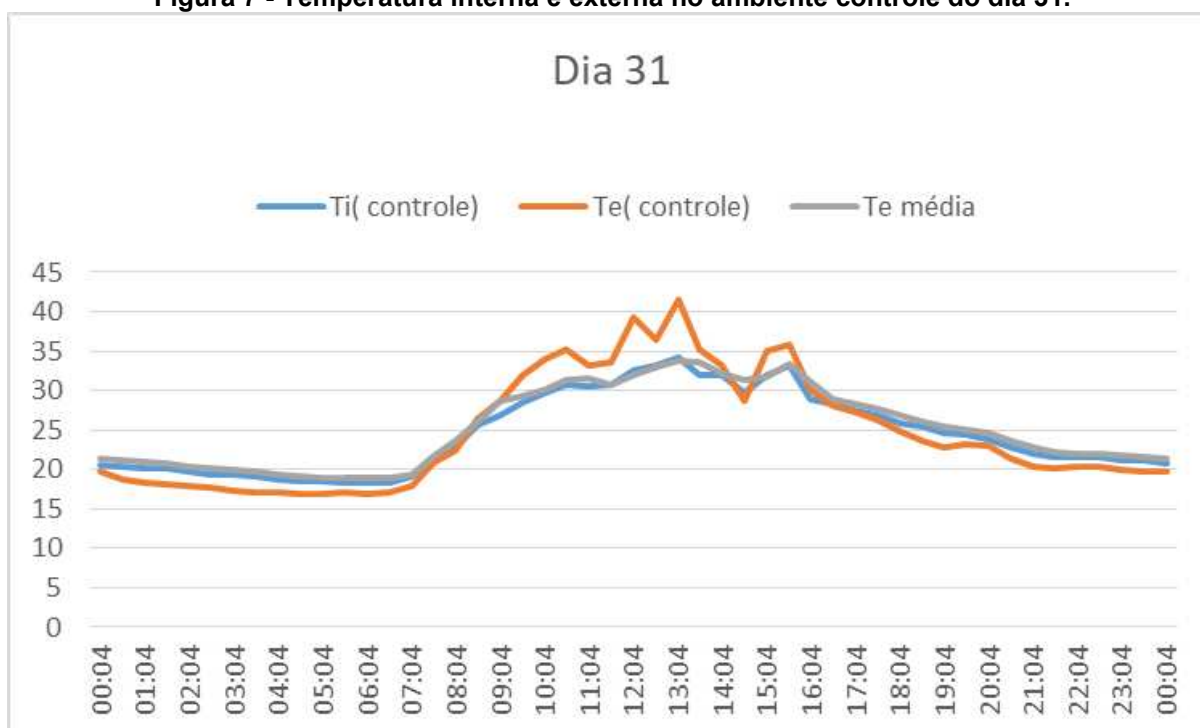
De forma geral, os resultados confirmam que, sem a aplicação de materiais isolantes, a temperatura interna sofre influência direta das condições externas, reproduzindo quase integralmente o ciclo diário. Essa condição amplia a exposição do ambiente a situações de desconforto térmico, tanto em períodos de calor elevado quanto em episódios de frio intenso.

Figura 6 - Temperatura interna e externa no ambiente controle.



Fonte: O autor, (2025).

Figura 7 - Temperatura interna e externa no ambiente controle do dia 31.



Fonte: O autor, (2025).

5.2 Temperatura interna e externa manta de alumínio

A Figura 4 apresenta a análise da relação entre a temperatura de superfície interna (T_i – com manta de alumínio) e a temperatura externa (T_e – manta de alumínio) no período de 31 de março a 09 de abril. Assim como observado na condição de controle, os ciclos diários de aquecimento e resfriamento foram bem definidos, com aumento das temperaturas durante o dia e redução no período noturno.

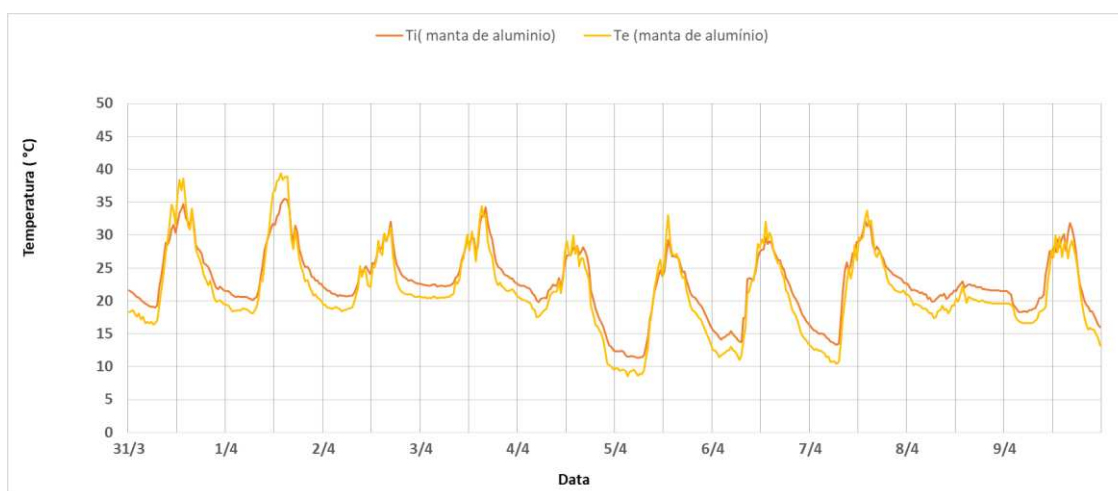
No entanto, diferentemente do ambiente controle, a curva de temperatura interna apresentou maior atenuação e atraso em relação à externa, sobretudo nos momentos de maior incidência solar. Em geral, durante os picos de calor diurno, T_i manteve-se inferior a T_e , indicando que a manta de alumínio contribuiu para reduzir a transferência de calor para o interior. Durante a noite, observou-se comportamento oposto, com T_i permanecendo ligeiramente acima de T_e , o que evidencia a capacidade do sistema em retardar as perdas térmicas.

No dia 31/03, a temperatura máxima externa do ambiente com manta de alumínio atingiu 38,38 °C, enquanto a temperatura máxima interna foi de 34,69 °C, resultando em uma redução de 3,69 °C.

Na mesma data a temperatura máxima externa do ambiente controle chegou a 41,44 °C, enquanto a temperatura interna atingiu 34,25 °C, representando uma diferença de 7,19 °C. Já a temperatura mínima externa no mesmo dia foi de 16,87 °C enquanto no ambiente interno foi de 18,31 °C, sendo a temperatura mais elevada em 1,44 °C.

A comparação dos dados de 31/03 demonstra que a manta de alumínio não reduziu a transferência térmica para o interior. Embora a temperatura externa sobre a telha tenha sido inferior no ambiente com manta (38,38 °C) em relação ao controle (41,44 °C), a temperatura interna foi ligeiramente superior (34,69 °C contra 34,25 °C). Considerando que o sensor externo mede a radiação incidente sobre a telha, essa diferença não está associada à manta, mas às condições de exposição. O resultado indica que a manta não atuou de forma eficaz como barreira térmica, possivelmente devido à instalação sem espaço de ar ou à ausência de ventilação na cavidade ou às dimensões reduzidas do protótipo, que podem ter limitado sua eficiência térmica.

Figura 8 - Temperatura interna e externa no ambiente com manta de alumínio.



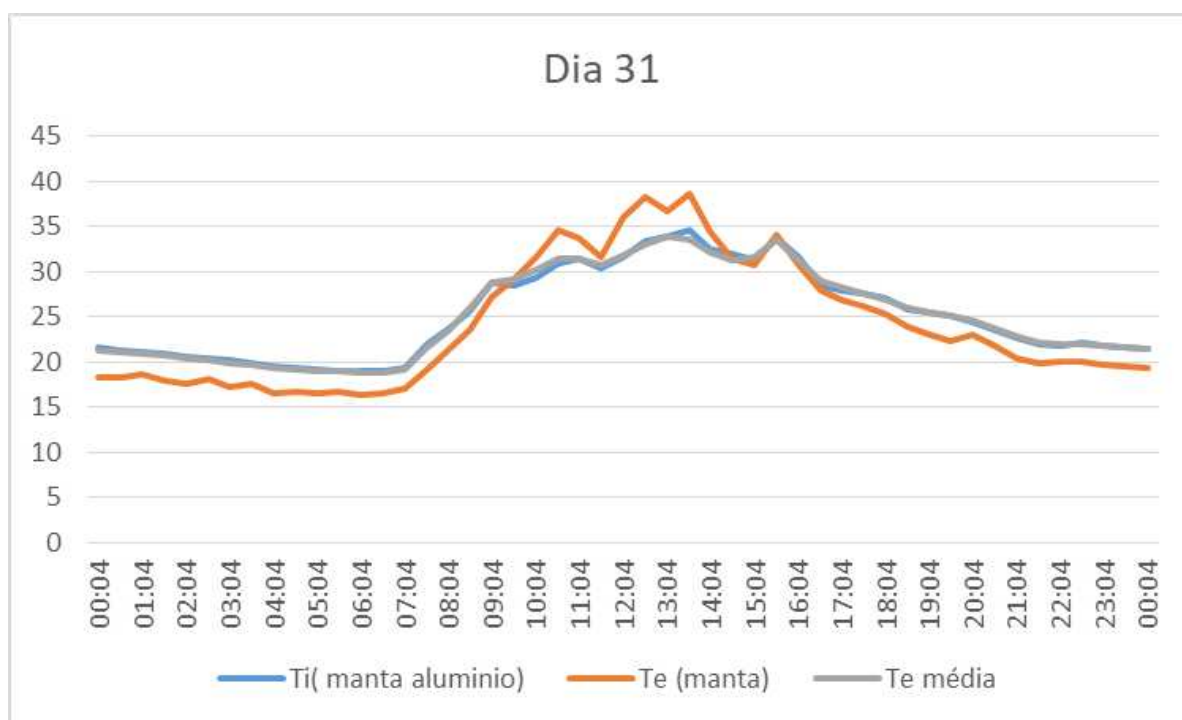
Fonte: O autor, (2025).

Tabela 2 - Temperatura superficial interna.

Ambiente	Méd.	Máx.	Mín.
Controle	22,06	35,88	10,56
Manta Alumínio	22,83	35,56	11,31
Lã	22,99	35,25	11,06

Fonte: O autor, (2025).

Figura 9 - Temperatura interna e externa no ambiente controle do dia 31.



Fonte: O autor, (2025).

5.3 Temperatura interna e externa manta lã

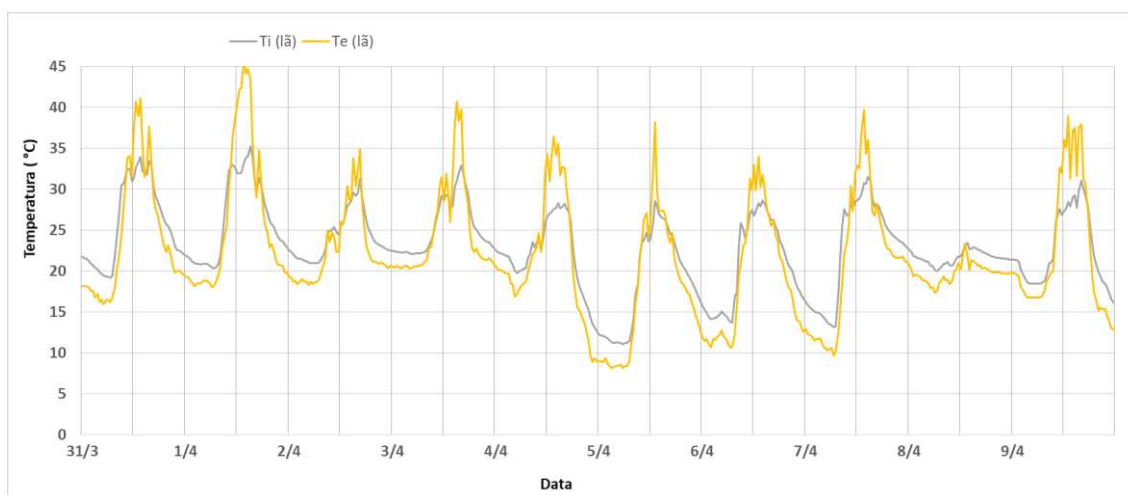
No dia 31/03, a temperatura máxima externa do ambiente com manta de lã de ovelha atingiu 41,13 °C, enquanto a temperatura máxima interna foi de 33,9 °C, resultando em uma redução de 7,23 °C. Já a temperatura mínima externa no mesmo dia foi de 16,44 °C enquanto no ambiente interno foi de 19,2 °C, sendo a temperatura mais elevada em 2,83 °C para o ambiente controle.

Na mesma data a temperatura máxima externa do ambiente controle chegou a 41,44 °C, enquanto a temperatura interna atingiu 34,25 °C, representando uma diferença de 7,19 °C. Já a temperatura mínima externa no mesmo dia foi de 16,87 °C enquanto no ambiente interno foi de 18,31 °C, sendo a temperatura mais elevada em 1,44 °C.

Ao comparar os dois ambientes, observa-se que a manta de lã de ovelha contribuiu para uma ligeira melhora no isolamento térmico diurno, visto que a diferença entre as temperaturas máxima externa e interna foi de 7,23 °C, valor muito próximo ao do ambiente controle (7,19 °C), mas indicando um leve aumento na eficiência de barreira térmica. Durante o período noturno, a diferença entre as temperaturas mínima

interna e externa foi maior no ambiente com manta (2,83 °C) em comparação ao controle (1,44 °C), demonstrando que a manta de lã de ovelha atuou como isolante térmico, reduzindo a perda de calor e mantendo o ambiente mais aquecido durante a noite.

Figura 10 - Temperatura interna e externa no ambiente com manta de lã de ovelha.



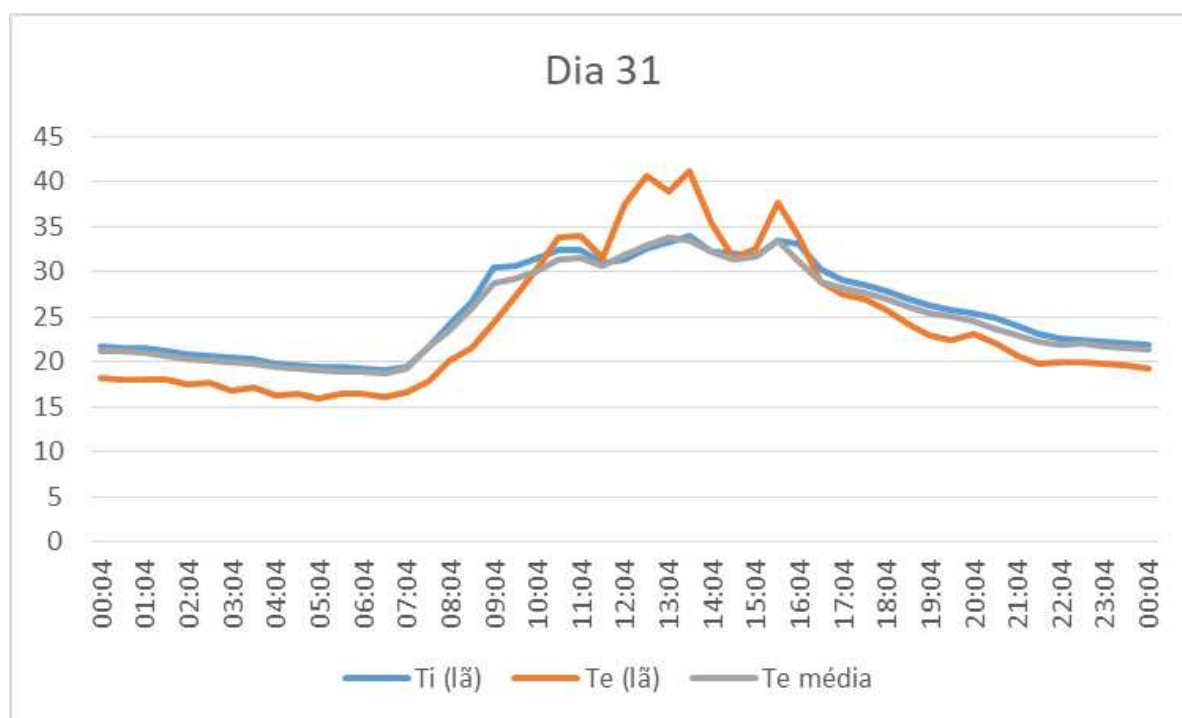
Fonte: O autor, (2025).

Tabela 3 - Temperatura superficial interna.

Ambiente	Méd.	Máx.	Mín.
Controle	22,06	35,88	10,56
Manta Alumínio	22,83	35,56	11,31
Lã	22,99	35,25	11,06
Te Média	22,62	35,56	10,97

Fonte: O autor, (2025).

Figura 11 - Temperatura interna e externa no ambiente com lã de ovelha do dia 31.



Fonte: O autor, (2025).

5.4 Comparativos entre os 3 ambientes

A análise da variação da temperatura de superfície interna (Ti) do protótipo controle o longo do período de 31 de março a 09 de abril mostra um comportamento cíclico bastante marcado, com aumento durante o dia e redução no período da noite, acompanhando diretamente a oscilação da temperatura externa média (Te). Os picos diários alcançaram valores em torno de 33 a 35 °C nos dias de maior incidência solar, enquanto os valores mínimos ocorreram entre 18 e 20 °C, chegando a aproximadamente 11 a 13 °C durante o evento de queda acentuada de temperatura registrado nos dias 5 e 6 de abril. Esse padrão confirma a forte influência das condições externas sobre as temperaturas internas, especialmente em coberturas com baixa inércia térmica e reduzida capacidade de isolamento.

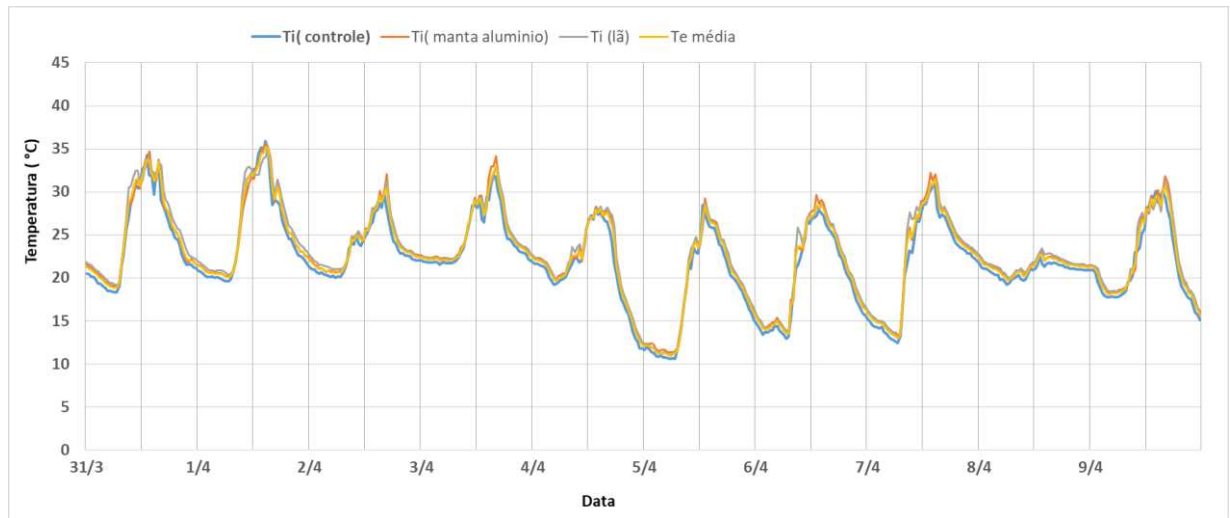
Apesar da semelhança geral entre as curvas de temperatura interna, observam-se diferenças sutis que permitem avaliar o efeito de cada material. A lã de ovelha apresentou desempenho mais favorável em termos de conforto térmico, pois reduziu levemente os picos de temperatura em dias quentes, chegando a valores cerca de 0,3 a 1,0 °C inferiores ao controle, e, ao mesmo tempo, manteve as temperaturas noturnas

ligeiramente mais elevadas, em torno de 0,2 a 0,5 °C acima do controle. Esse comportamento indica que o material contribuiu para a redução da amplitude térmica diária, suavizando os extremos de calor e frio. Ainda que a atenuação tenha sido modesta, da ordem de 5 a 10% em relação ao controle, o efeito é coerente com as propriedades da lã de ovelha, que possui maior resistência térmica e capacidade de amortecimento da variação externa.

Em contrapartida, a manta de alumínio não apresentou o mesmo efeito estabilizador. Em diversos dias de elevada carga solar, como entre 1º e 3 de abril e de 7 a 9 de abril, as temperaturas internas associadas à manta atingiram valores ligeiramente superiores ao controle, com elevação de até 1,0 °C nos picos diários. Esse resultado sugere que, nas condições instaladas, a manta não proporcionou uma barreira radiativa eficiente, possivelmente pela ausência de câmara de ar contínua. Como consequência, o ganho por condução pode ter prevalecido sobre o efeito reflexivo do material, o que comprometeu sua eficiência.

Durante os dias mais frios, especialmente em 5 e 6 de abril, as diferenças entre os materiais praticamente desapareceram, reforçando que, sob condições de baixa carga solar, a condução direta com o ambiente externo tende a se sobrepor ao efeito do isolamento. Ainda assim, mesmo nesses dias, a lã manteve um desempenho ligeiramente superior ao controle, confirmando sua capacidade de mitigar variações bruscas.

De modo geral, os resultados indicam que a lã se mostrou mais eficiente para a melhoria do conforto térmico, pois reduziu a amplitude das oscilações diárias e suavizou as condições internas tanto em períodos de maior calor quanto de frio. Já a manta de alumínio, ao contrário do esperado, não reduziu significativamente os picos e, em alguns momentos, os intensificou, revelando que seu desempenho depende fortemente da forma de instalação. Assim, pode-se concluir que, para o contexto analisado, a lã é o material mais eficaz para promover condições internas mais estáveis, ainda que com efeitos modestos, enquanto a manta de alumínio exige cuidados construtivos adicionais para apresentar resultados positivos.

Figura 12 - Temperatura interna dos ambientes.

Fonte: O autor, (2025).

6. CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou a influência de diferentes materiais isolantes como a lã de ovelha e manta térmica aluminizada, além do protótipo controle (sem isolamento) sobre o conforto térmico em ambientes protegidos, sob condições climáticas reais do município de Francisco Beltrão – PR. A pesquisa foi motivada pela crescente necessidade de soluções construtivas eficientes e sustentáveis capazes de mitigar os efeitos das variações térmicas, reduzir a dependência de sistemas artificiais de climatização e promover maior eficiência energética em edificações.

Os resultados obtidos demonstraram a manta não foi eficiente para atenuar as oscilações de temperatura quando comparada ao ambiente controle e sem isolamento. Entretanto, a lã de ovelha apresentou desempenho ligeiramente superior, promovendo maior estabilidade térmica e reduzindo de maneira mais efetiva a amplitude térmica diária. Esse material natural mostrou-se eficiente tanto para a retenção de calor durante as noites frias quanto para a redução do superaquecimento durante os períodos de maior incidência solar, confirmando seu potencial como alternativa sustentável para aplicação na construção civil.

A manta térmica aluminizada, embora tenha contribuído para retardar a transferência de calor, apresentou menor eficiência quando instalada sem a presença de uma câmara de ar contínua, o que evidencia a importância da técnica construtiva para o desempenho deste tipo de isolante. Esse aspecto reforça que o simples emprego de materiais não garante sua eficácia, sendo necessário observar parâmetros técnicos de instalação.

Dessa forma, conclui-se que o uso adequado de isolantes térmicos pode promover melhoria no conforto térmico interno de edificações, favorecendo ambientes mais estáveis, sustentáveis e energeticamente eficientes. Entre os materiais avaliados, a lã de ovelha se destacou como uma solução viável, natural e ambientalmente amigável, alinhada às políticas de construção sustentável e ao interesse crescente por alternativas ecológicas.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar o período de monitoramento, incluir diferentes espessuras de isolamento, analisar outros materiais naturais, como fibras vegetais, e avaliar o impacto econômico da aplicação desses isolantes em edificações reais. Estudos adicionais relacionando conforto térmico e

consumo energético também podem contribuir para direcionar políticas e estratégias de eficiência energética no setor da construção civil.

Assim, este trabalho reforça a importância da pesquisa e inovação em materiais construtivos, demonstrando que soluções sustentáveis e de baixo impacto ambiental podem oferecer desempenho significativo, representando uma alternativa promissora para edificações em regiões de clima subtropical.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 17 – Ergonomia**. Portaria MTE nº 672, de 8 de novembro de 2021. Atualizada em 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-17>. Acesso em: 11 out. 2025.

DIAS, A. A. C. **Avaliação da percepção da influência do conforto térmico na produtividade**. Orientador: Néelson Bruno Martins Marques Costa. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Humana) – Universidade do Minho, Braga, 2013. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=produtividade+e+conforto&oq=produtividade+e+conforto#d=gs_qabs&t=1736874940718&u=%23p%3D5ZtLRys-HDYJ. Acesso em: 10 fev. 2025.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2024**: ano base 2023. Rio de Janeiro, 2024.

EPE [EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA]. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2018**: ano base 2022. 2023. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br>. Acesso em: 10 fev. 2025.

FUNES, G.; JUNIOR, P. R.; FRETTE, M. A.; REIS, M. A. F. **Transferência de calor em materiais para cobertura**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 19, n. 1, 2023.

GABRIELLI, A. L. A. N. **Isolamento térmico e conforto ambiental em edifícios residenciais na região sudeste do Brasil**: relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e a amplitude térmica interna. CONIC-SEMESP, v. 40, p. 353–366, 2005.

GARCIA, D. P. P.; GOULART, P. L. F. **Análise da contribuição do uso de isolamento térmico para o aumento da eficiência energética do bloco F do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Aracruz**. [S.l.: s.n.], [s.d.].

GEMELLI, C. B. **Avaliação de conforto térmico, acústico e lumínico de edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas**: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico. Orientador: Miguel Aloysio Sattler. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=rela%C3%A7%C3%A3o+entre+sustentabilidade+e+conforto+t%C3%A9rmico&btnG=#d=gs_qabs&t=1737032796836&u=%23p%3Dn9jPCITId7UJ. Acesso em: 10 fev. 2025.

HETIMY, S. et al. **Exploring the potential of sheep wool as an eco-friendly insulation material**: a comprehensive review and analytical ranking. Sustainable Materials and Technologies, v. 39, p. e00812, 2024.

MIYAGUCHI, V. K. B. **Unidade básica de saúde modular: construção modular com conforto térmico e sustentabilidade.** Orientador: Sidney Tamai. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2023.

OLIVEIRA, L. A. **Conforto térmico em edificações.** Orientador: Luiz Roberto Carrocci. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2003. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/932657a0-4013-42a6-b880-94d24f3cefc3/content>. Acesso em: 10 fev. 2025.

PICOLOTTO, E.; FOLLADOR, F. [Título não informado]. UNIOESTE, 2015.

QUADROS, B. M.; MIZGUIER, M. O.; LAMBERTS, R. **Infraestruturas urbanas verdes e azuis para melhoria do conforto térmico de pedestres: uma revisão sistemática.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX–XXX.

QUITES, E. E. C.; LIA, L. R. B. **Introdução à transferência de calor.** São Paulo, 2005.

SILVA, Y. C. F. da; BICALHO, L.; JOSÉ, W. D. **Descrição da trajetória aparente do Sol durante o período de translação da Terra: analema.** Blucher Physics Proceedings, v. 8, n. 1, p. 141–145, 2022. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/descricao-da-trajetoria-aparente-do-sol-durante-o-periodo-de-translacao-da-terra-analema-37461>. Acesso em: 29 ago. 2025.

SOUZA, H. A.; RODRIGUES, L. S. **Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações.** Engenharia Civil, v. 65, n. 2, p. 189–194, 2012.

—
SOUZA, H. A.; RODRIGUES, L. S. **Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações.** REM: Revista da Escola de Minas, v. 65, n. 2, p. 189–194, abr./jun. 2012.

SUETAKE, G. Y. **Avaliação do desempenho térmico de mantas isolantes em guaritas de fibra de vidro.** Orientador: Adalberto Matoski. Coorientador: Eduardo Kruger. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

ZANELLA, K.; FOIATO, M.; CARELLI, J. M. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas com a substituição de manta térmica por embalagens Tetra Pak®.** Conhecimento em Construção, v. 9, p. 53–74, 2022.

COSTA, E. Q.; BAPTISTA, J. S.; DIOGO, M. T. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia (CIGAR). **6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia e IICEM – 3º Congresso de Engenharia de Moçambique, 2011.** Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/85208/2/140090.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2025.