

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**RAFAEL GUSTAVO MANSANI**

**A INFLUÊNCIA DO ISOLAMENTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES DE CONTAINER  
PARA O CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS**

**PONTA GROSSA**

**2023**

**RAFAEL GUSTAVO MANSANI**

**A INFLUÊNCIA DO ISOLAMENTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES DE CONTAINER  
PARA O CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS**

**The influence of thermal insulation of container buildings on the thermal  
comfort of users**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador: Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier.

**PONTA GROSSA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

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



---

RAFAEL GUSTAVO MANSANI

**A INFLUÊNCIA DO ISOLAMENTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES DE CONTAINER PARA O  
CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 29 de Agosto de 2023

Dr. Antonio Augusto De Paula Xavier, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Aldo Braghini Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Antonio Carlos De Francisco, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Fernando Simon Westphal, Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina (Ufsc)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 29/08/2023.

Com o mais profundo amor, aos meus pais, Alfeu e  
Luísa, pelo incentivo constante às minhas  
realizações.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pelo dom da vida e pela força para vencer mais esta etapa.

O meu reconhecimento à minha família, esposa e filhos, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e aos professores do mestrado em engenharia de produção, pelo apoio e ensinamentos adquiridos.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier, por sua amizade, dedicação e incentivo durante toda a pesquisa.

A empresa Perfitelhas, pelo apoio e fomento à pesquisa.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

## RESUMO

O calor excessivo pode ser considerado como um inimigo no trabalho. Ele influi diretamente no desempenho, fazendo com que o cansaço apareça precocemente, causando irritação no usuário. As temperaturas médias no Brasil são relativamente altas no verão e frias no inverno, e isso proporciona um elevado desconforto térmico em residências, escritórios, fábricas, escolas e demais ambientes, especialmente durante os meses mais quentes. O isolamento térmico pode ser feito de várias formas. Com ele, é possível manter uma sensação térmica mais agradável dentro de uma construção, seja em épocas muito quentes, seja em estações mais frias. A cobertura de uma edificação recebe grande incidência de raios solares, o que é responsável por grande parte do aquecimento. O uso de telhas termoacústicas é uma das principais ações para o isolamento térmico de uma construção. Sendo assim, é interessante estudar de que forma o uso do isolamento térmico influencia o conforto térmico das edificações e o interesse comercial do investimento neste sistema de isolamento que uma vez implantados, possuem um custo inicial, custo de implantação, porém durante toda a vida útil da obra não existirá outros custos de refrigeração forçada para a edificação que possui este tipo de isolamento térmico. Com este trabalho, analisou-se a influência que o uso dos diferentes tipos de isolamento térmicos em coberturas metálicas exerce sobre o desempenho térmico, principalmente sobre o conforto térmico dos ocupantes. Para isso foram utilizados dados relativos ao conforto térmico para seis modelos de cobertura em um ambiente do tipo container no período de julho de 2022 a junho de 2023. Os dados foram analisados estatisticamente, com apresentação de estatística descritiva, testes de normalidade e análise de variância dos dados obtidos. Os resultados indicam que a telha composta com poliestireno (EPS) acrescida com a manta aluminizada apresentou-se um excelente isolante térmico, da mesma forma a telha metálica com poliuretano acrescida de manta aluminizada tem uma capacidade alta de isolação. Observa-se também que a telha metálica somente com poliuretano apresentou também uma capacidade de isolamento bastante considerável sendo uma alternativa viável de uso para coberturas metálicas.

Palavras-chave: isolamento térmico; coberturas metálicas; desempenho térmico de coberturas; conforto térmico dos usuários.

## ABSTRACT

Excessive heat at the workplace can be considered as a potential enemy, as it impacts directly on the worker's performance, causing early fatigue and further irritating the user. The average temperature in Brazil is relatively high in summer and low during winter, which leads to a state of thermal discomfort in residential and office buildings, factories, schools and other buildings, especially during the warm seasons. Thermal insulation can be achieved in many ways. By employing insulating material, it becomes possible to keep a pleasant thermal sensation inside a building, whether in warm or cold seasons. The roof of a building is responsible for drawing a large amount of sunray, which is then responsible for a great share of the heating. The employment of thermoacoustic shingles is one of the main efforts towards enabling thermal insulation of a building. It is thus relevant to study the manner in which thermal insulation influences thermal comfort of buildings and the commercial advantages of investing in this insulation system which, although may impact negatively in capital expenses, its operational costs may be lower than other forced refrigeration present in non-insulated buildings. This thesis sought to analyze the influence of the different kinds of phase-change material employed in metal roofing exerts on the thermal performance, especially the thermal comfort of users. Data related to the thermal comfort for six models of covers in an environment of the container type, were collected throughout the months of July 2022 to June 2023. The data was then submitted to statistical analysis through descriptive statistics, normality tests and analysis of variance. The results indicate that the shingles composed of a combination of polystyrene (EPS) and the addition of an aluminum cover displayed as an excellent thermal insulating material, as well as the combination of metallic shingle and polyurethane and the addition of an aluminum cover. The metallic shingle combined with polyurethane presented a considerable insulating capacity. It can also be considered as a feasible alternative for metallic covers.

Keywords: thermal insulation; metallic roofing; thermal performance of roofing; thermal comfort of users.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Exemplo de cobertura em arco .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 2 - Cobertura industrial na região central do Paraná .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3 - Telhas onduladas e trapezoidais .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 4 - Exemplos de interior de telhas metálicas .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5 - Fluxo de calor .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6 - Exemplos de estrutura container.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 7 - Instalação do container do experimento.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 8 - Equipamento HOBO .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 9 - Distribuição física dos equipamentos de medição no container.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 10 - Equipamento confortímetro .....</b>	<b>51</b>



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo das temperaturas para a telha simples.....	55
Gráfico 2 - Comparativo das temperaturas para a telha com manta .....	58
Gráfico 3 - Comparativo das temperaturas para a telha com EPS.....	60
Gráfico 4 - Comparativo das temperaturas para a telha com EPS e manta .....	63
Gráfico 5 - Comparativo das temperaturas para a telha com poliuretano .....	66
Gráfico 6 - Comparativo das temperaturas para a telha com poliuretano e manta.....	69
Gráfico 7 - Conforto térmico (PMV) para a telha simples .....	72
Gráfico 8 - Conforto térmico (PMV) para a telha com manta.....	73
Gráfico 9 - Conforto térmico (PMV) para a telha com poliestireno (EPS) .....	74
Gráfico 10 - Conforto térmico (PMV) para a telha com manta e poliestireno (EPS).....	75
Gráfico 11 - Conforto térmico (PMV) para a telha com poliuretano (PU).....	76
Gráfico 12 - Conforto térmico (PMV) para a telha com poliuretano (PU) e manta.....	77
Gráfico 13 - Percentual de conforto térmico na faixa de temperatura de 14°C à 17 ° C .....	78
Gráfico 14 - Percentual de conforto térmico na faixa de temperatura de 17°C à 20 ° C .....	79
Gráfico 15 - Percentual de conforto térmico na faixa de temperatura de 20°C à 23 ° C .....	80
Gráfico 16 - Percentual de conforto térmico na faixa de temperatura de 23°C à 26 ° C .....	81
Gráfico 17 - Percentual de conforto térmico na faixa de temperatura de 26°C à 29 ° C .....	82

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 - Revisão bibliográfica .....</b>	<b>18</b>
<b>Quadro 2 - Valores de fluxo de calor de telhas existentes no mercado .....</b>	<b>26</b>
<b>Quadro 3 - Resumo da literatura similar .....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Filtros para a revisão bibliográfica.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabela 2 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a telha simples ..</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 3 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a telha com manta.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 4 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a telha com EPS.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabela 5 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a telha com EPS e manta.....</b>	<b>61</b>
<b>Tabela 6 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a Telha com poliuretano.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabela 7 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a telha com poliuretano e manta .....</b>	<b>67</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EPS	Poliestireno
GEE	Gases do Efeito Estufa
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Brasileira
PCM	Material de troca de calor
PMV	Voto Médio Estimado - Índice de Conforto Térmico
PPD	Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de Vinila
SIMEPAR	Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>16</b>
1.1.1	Objetivo geral .....	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Detalhamento da revisão bibliográfica</b> .....	<b>18</b>
2.1.1	Critérios adotados para levantamento da literatura .....	18
<b>2.2</b>	<b>Telhas metálicas e conforto térmico</b> .....	<b>19</b>
2.2.1	Classificação das telhas metálicas .....	22
<b>2.3</b>	<b>A interação térmica e análise do conforto térmico</b> .....	<b>26</b>
2.3.1	Telhas isolantes.....	27
2.3.2	Emprego de pinturas e revestimentos .....	31
2.3.3	Materiais de mudança de fase ou PCM.....	33
2.3.4	Outros estudos experimentais .....	38
2.3.5	Simulações e levantamentos teóricos .....	41
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1</b>	<b>Métodos para coleta e comparação dos dados</b> .....	<b>48</b>
3.1.1	Especificações da estrutura utilizada no experimento.....	48
3.1.2	Procedimentos para coleta e processamento dos dados .....	49
3.1.3	Metodologia para análise dos dados .....	52
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Desempenho térmico das telhas</b> .....	<b>53</b>
<b>4.2</b>	<b>Conforto térmico das telhas</b> .....	<b>71</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>83</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O organismo humano tem mecanismos de defesa contra o calor que são mecanismos termorreguladores. Eles promovem várias ações no corpo humano, dentre elas o suor, que quando é evaporado, fornece sensação de frescor ao corpo.

As trocas de energia sob forma de calor que ocorrem entre o ser humano e o ambiente realizam-se pelos mecanismos de trocas térmicas, como: condução, convecção, radiação e evaporação (COSTA, 2015). Classificam-se os mecanismos de trocas térmicas em: trocas secas, sendo estas, a condução, a convecção e a radiação e as trocas úmidas, a evaporação (CAMARGO; FURLAN, 2011; LAMBERTS *et al.*, 2016). O calor trocado com o meio ambiente por meio das trocas secas é chamado de calor sensível, e apresenta-se em função das diferenças existentes de temperatura entre o corpo humano e o ambiente. Por sua vez, o calor perdido por meio das trocas úmidas é chamado de calor latente e compreende mudança de fase, onde o suor, líquido, passa para o estado gasoso por meio da evaporação (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Avaliações são realizadas por profissionais e o resultado possibilita o cálculo da percepção do conforto térmico. A condição homeotérmica (mesma temperatura) do corpo humano possibilita através de mecanismos fisiológicos a tentativa da manutenção da temperatura interna ideal mesmo diante de agressões ambientais.

As temperaturas médias no Brasil são relativamente altas no verão e frias no inverno, e isso pode proporcionar desconforto térmico em residências, escritórios, fábricas, escolas e demais ambientes, especialmente durante os meses mais quentes. Com isso, faz-se necessários projetos que possibilitem a troca do ar interno dos ambientes, geralmente sistemas de ventilação cruzada. Quando as soluções arquitetônicas não são bem planejadas e executadas, uma opção é investir em sistemas de refrigeração, que podem representar um aumento significativo no consumo de energia elétrica. Uma solução para evitar esses problemas é investir em isolamento térmico.

O conforto térmico tem sido durante as últimas décadas, objeto de muitas pesquisas na tentativa de melhor se compreender como essa situação pode ser atingida, de que maneira ela se processa, quais as variáveis que envolvem, quais são os índices mais relevantes, quais seus efeitos sobre a saúde e produtividade humana

e também quais os fatores que a ela podem ser relacionados (FANGER, 1972; GRIEFAHN; KUNEMUND; GEHRING, 2001).

O termo isolamento térmico surgiu da capacidade que alguns materiais têm de serem isolantes, ou seja, de interferir na troca de calor. Isso ocorre porque tais substâncias apresentam um baixo coeficiente de condutibilidade de calor e uma boa conservação das propriedades com o passar do tempo.

Além disso, a temperatura interna das edificações sofre considerável influência de fontes internas (cargas térmicas oriundas de equipamentos, iluminação artificial, pessoas etc.) e externas (variáveis climatológicas, especialmente a temperatura do ar e a radiação solar). O telhado, em virtude de sua intensa exposição à radiação solar, durante todo o dia, tem uma importância significativa no desempenho térmico de edificações térreas.

O isolamento térmico impede que o ambiente perca ou ganhe calor por radiação fique resfriado quando as temperaturas externas estão baixas, ou que fique aquecido quando as temperaturas externas estão elevadas. Isso tem como objetivo garantir um ambiente mais termicamente confortável e saudável.

Esta característica gera diversas vantagens às construções, sejam elas residenciais, sejam elas comerciais ou industriais. O principal benefício é o fato de reduzir e retardar a troca de calor do ambiente interno com o externo.

Dentre os componentes de uma edificação, a cobertura é o elemento mais importante em relação ao ganho de calor para o interior. O bom desempenho de uma cobertura está relacionado às propriedades termofísicas do material empregado e a capacidade térmica do sistema de cobertura em relação às condições climáticas locais.

Diversos autores já atestaram a importância do material utilizado na cobertura de ambientes, seja relativo às suas qualidades de reflexão da luz solar ou a sua capacidade de redução dos indicadores térmicos. No contexto brasileiro, devido às condições geográficas específicas, procura-se combater os efeitos do desconforto térmico especialmente causados pelo calor (FONSECA; ALMEIDA; PASSINI, 2011).

Ademais, estudos datados da década de 1980 já discutiam como a cobertura metálica de uma edificação pode contribuir para o aumento de sua temperatura interna (RIVERO, 1986). Nestes casos, após a ocupação do edifício são necessárias adoções de medidas que minimizem o ganho térmico do edifício, como a arrefecimento interior

e/ou instalação de isolantes térmicos nas coberturas e algumas vezes nos fechamentos laterais do edifício.

O uso de telhas termoacústicas é uma das ações principais para o isolamento térmico de uma construção. Existem telhas diferenciadas, como as que são fabricadas com poliestireno expandido, poliuretano rígido ou demais tipos de materiais isolantes. A telha de poliuretano rígido, também conhecida como telha sanduíche, é uma junção do aço com poliuretano.

A literatura é rica em trabalhos acadêmicos voltados ao estudo do desempenho térmico de ambientes, de acordo com as composições das coberturas. Oliveira, Godoi e Passini (2015), por exemplo, analisaram o desempenho térmico de telhas térmicas e telhas de alumínio, descobrindo que o uso de coberturas térmicas minimiza a diferença de amplitude térmica ao longo do dia.

Outros autores, tais como Valadares *et al.* (2018) analisaram o aspecto da pintura de telhados de fibrocimento. Os resultados de sua pesquisa apontaram que a pintura externa da cor branca impacta diretamente na temperatura do ambiente estudado.

Desta forma, é justificável a curiosidade acerca do desempenho dos isolantes térmicos mais utilizados no mercado da construção civil em coberturas metálicas quando utilizadas em diferentes soluções construtivas, como por exemplo em estruturas do tipo container. Especialmente ao se considerar que os materiais componentes das coberturas e sua geometria contribuem para o ganho térmico do interior de uma edificação e o conhecimento do seu comportamento térmico pode contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente interno de edificação estruturada em aço.

Diante do exposto, levanta-se a seguinte questão de pesquisa que servirá de norte para a realização deste trabalho: **Qual o potencial de diferença entre os tipos de isolamento térmico em telhas metálicas que afetarão diretamente o conforto térmico humano em cobertura metálica em uma estrutura do tipo container?**



## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Avaliar a influência que o uso dos diferentes tipos de isolamento térmicos em coberturas metálicas exerce sobre o desempenho térmico das mesmas, que impacta diretamente sobre o conforto térmico dos ocupantes em estruturas do tipo container.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Verificar os resultados de estudos já realizados com o isolamento térmico, identificando alternativas em termos de projeto para melhorar o conforto térmico nas indústrias e fábricas;
- Identificar qual tipologia do isolante (material) deveria ser mais recomendada para a zona climática da Região Central do Paraná, tendo em vista suas características climáticas;
- Determinar os gradientes de temperaturas externas (superficiais) e internas (ambiente), devido às características de cada tipo de isolamento analisado;
- Determinar as diferenças nas percepções de conforto térmico dos ocupantes, com a utilização de cada tipo de cobertura especificada.

## **1.2 Justificativa**

A justificativa deste trabalho é norteada por alguns aspectos que se desdobram a seguir:

- As estruturas do tipo container têm sido cada vez mais utilizadas no ramo da construção civil, tanto para as construções em si, ou em alojamentos provisórios para a equipe de obra. Aprofundar o tema de conforto térmico neste tipo de edificação pode trazer benefícios para este setor industrial.
- Em comparação com a ventilação artificial, o custo e facilidade de aplicação de isolantes em coberturas têm se mostrado como ferramentas mais vantajosas para controle de temperatura e conforto térmico do usuário.
- Sabe-se do ganho de produtividade que ocorre quando o ser humano trabalha em situações de conforto térmico.

- A utilização de containers atualmente, como espaços de trabalho e de convivência tem tido cada vez mais espaço, visto a facilidade de instalação e os custos baixos envolvidos com sua manutenção.

Este trabalho, no entanto, possui algumas limitações ao se considerar os resultados a serem obtidos. Pode-se afirmar que os achados são válidos para a região dos Campos Gerais, ou que apresentem clima com características similares. Além disso, há que se considerar que os achados desta pesquisa poderão ser apenas considerados para estruturas do tipo container ou de similar composição.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

Este trabalho foi estruturado em cinco capítulos. A introdução e apresentação dos objetivos e justificativa foram apresentados na primeira seção. Um referencial teórico acerca dos temas telhas metálicas e conforto térmico, bem como métodos atuais para análise do conforto térmico será apresentado na segunda seção, tendo sido feita uma revisão sistematizada de bibliografia. A terceira parte do trabalho trata dos passos experimentais efetuados para se atingirem os objetivos. A quarta e quinta partes relatam respectivamente os resultados obtidos e discussões. A última seção apresenta as conclusões deste trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, será apresentado breve referencial de conteúdo, especialmente relativo aos tipos de telhas, com alguns conceitos básicos sobre coberturas metálicas e como elas afetam o processo construtivo e o conforto térmico. O detalhamento do método utilizado para a revisão bibliográfica está apresentado a seguir.

### 2.1 Detalhamento da revisão bibliográfica

As etapas necessárias, bem como filtros de qualidade aplicados e procedimentos utilizados para revisão bibliográfica estão expostas nesta seção. O procedimento utilizado para obtenção e filtragem dos artigos e montagem do referencial teórico encontra-se detalhado a seguir.

#### 2.1.1 Critérios adotados para levantamento da literatura

Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados científicas, dos termos em inglês e português, relativos ao problema abordado por este trabalho, resultando em 2.624 trabalhos acadêmicos. O Quadro 1 demonstra a combinação de palavras pesquisadas, as bases de dados e o número de trabalhos científicos encontrados e considerados neste estudo.

**Quadro 1 - Revisão bibliográfica**

<b>Combinação</b>	<b>ScienceDirect</b>	<b>Scopus</b>	<b>Web of Science</b>	<b>Scielo</b>
<i>“thermal insulation” AND “shed”</i>	30	209	44	39
<i>“thermal performance” AND “shed”</i>	297	373	75	73
<i>“thermal comfort” AND “shed”</i>	38	344	91	345
<i>“thermal comfort” AND “metal roof” OR “steel roof” OR “roofing sheet metal”</i>	351	14	296	5

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O primeiro critério utilizado como filtragem, foi a escolha de um recorte temporal limitando os achados ao intervalo de anos entre 2011 e 2023, devido à quantidade de trabalhos acadêmicos publicados na área, e à possibilidade de manter a teoria deste trabalho mais atualizada possível.

O próximo filtro adotado consistiu na leitura dos títulos, resumos e palavras-chave do portfólio de artigos. Foram considerados apenas trabalhos acadêmicos que se correlacionaram ao tema explorado de desempenho térmico, principalmente relacionado ao aspecto de conforto térmico dos ocupantes. O resumo do portfólio final para análise e os trabalhos excluídos em cada fase está detalhado na Tabela 1:

<b>Critérios para exclusão</b>	<b>Quantidade de documentos</b>
Pesquisa nas bases de dados	2624
Filtro 1 - Recorte temporal	2557
Filtro 2 - Aplicação do índice <i>In Ordinatio</i>	649
Filtro 3 - Leitura de títulos, resumos e palavras-chave	130
Portfólio final considerado	55

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O portfólio final de artigos foi então analisado quanto às seguintes características:

- a) A tipologia do isolante utilizado no estudo;
- b) Os resultados das simulações realizadas;
- c) As variáveis utilizadas para realização dos estudos.

De posse destas informações, tornou-se possível estabelecer a metodologia mais apropriada para realização do presente estudo, e o conseqüente progresso à segunda etapa, apresentada em detalhe na seção de metodologia deste trabalho.

A próxima seção apresenta introdução ao tópico de telhas metálicas e conforto térmico, a classificação atual das telhas metálicas, seguida de um breve estudo da interação térmica e das atuais metodologias acerca da mensuração do conforto térmico de usuários.

## **2.2 Telhas metálicas e conforto térmico**

As construções em aço no Brasil vêm apresentando grande crescimento, devido principalmente, a algumas características que conferem ao edifício uma maior economia em todas as fases de seu processo construtivo (projeto, fabricação,

transporte e montagem). Esse crescimento, embora considerado tardio em relação às práticas mundiais, tem sido visto como vantajoso, especialmente por permitir a concepção e realização de projetos sem as mesmas restrições encontradas no uso do concreto armado (CORTEZ, 2017).

Ao se projetar um galpão, a primeira medida a ser tomada é a observação das variáveis climáticas da região onde a construção será inserida. Desta forma, é possível adequar a edificação às condições térmicas naturais da região climática escolhida, adotando medidas que influenciam diretamente no desempenho térmico interno da edificação, por meios puramente naturais (DIAS, 2011; SCHELLER, 2015).

Entre as medidas que podem ser adotadas, destaca-se: a forma e a orientação solar mais adequada ao edifício, à utilização de dispositivos de controle de radiação solar, a seleção de materiais e procedimentos construtivos mais apropriados e a previsão de uma ventilação perfeitamente controlada são alguns elementos que muitas vezes definem a composição e a arquitetura de uma região (BARBOSA, 2017).

A rejeição de ganhos solares é o objetivo das estratégias de resfriamento passivo em qualquer tipo de edifício e em qualquer região climática. Isso precisa ser equilibrado com a admissão de ganhos de calor solar que são benéficos para todos os tipos de edifícios e condições climáticas; a extensão da utilidade depende da gravidade das condições externas e dos ganhos internos de calor (KOTRONI, 2013; TRENTO; TRENTO; GONZALEZ-CRUZ, 2020).

Segundo Ingrao *et al.* (2018) a importância do consumo de energia e das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) (pacote de padrões, orientações, ferramentas e treinamentos para que empresas e governos possam mensurar e gerenciar as emissões antropogênicas responsáveis pelo aquecimento global) devido à operação do edifício é uma preocupação global e é abordada por diversos grupos de pesquisa em todo o mundo com o objetivo de encontrar espaço para melhorias.

Algumas medidas para reduzir a demanda de energia operacional incluem: melhorar o desempenho geral do isolamento térmico das coberturas e fachadas do edifício, operando tanto nas áreas opacas quanto nas áreas transparentes; e instalação de aparelhos elétricos, iluminação, aquecimento de água, cozinha e instalações de aquecimento e resfriamento com altas taxas de eficiência energética. No entanto, essas medidas podem causar um aumento da energia incorporada da edificação devido ao ciclo de vida dos materiais e equipamentos envolvidos, e das instalações relacionadas (INGRAO *et al.*, 2018).

A construção sustentável pode ser alcançada através da aplicação e combinação adequada das seguintes soluções: utilização de energias renováveis; economia de recursos de energia primária; definição de novas tecnologias de construção; uso de materiais de construção ecologicamente compatíveis; e instalação de equipamentos de aquecimento e refrigeração para serem integradas e formar um sistema completo de alto desempenho energético com o edifício (TOLA, 2014; FIAIS; SOUZA, 2017).

As coberturas têm a função de separar o ambiente interno do externo, protegendo a edificação da chuva e do vento e mantendo a temperatura em níveis adequados. Sua composição pode conter um ou mais planos (águas) com diferentes geometrias, inclinadas ou em arco, e constitui-se basicamente de dois elementos: as telhas e a armação, que corresponde ao conjunto de elementos estruturais para a sustentação da cobertura (caibros, terças, tesouras e contraventamentos) (MOLITERNO, 2007, TONOLI *et al*, 2011).

No mercado brasileiro existem diversos fabricantes de telhas, com diferentes materiais. A escolha do tipo de telha, composição do material e do isolante, é feita de acordo com a finalidade e a forma da edificação, determinante para a definição da inclinação do seu telhado. Observamos um exemplo de cobertura em arco com telha metálica na Figura 1.

**Figura 1 - Exemplo de cobertura em arco**



**Fonte: Açoport (2021)**

Para edifícios industriais de grandes dimensões, as coberturas metálicas apresentam-se mais vantajosas, devido, principalmente, às características físicas e mecânicas do material, conforme visível na Figura 2:

**Figura 2 - Cobertura industrial na região central do Paraná**



**Fonte: Perfilhas (2021)**

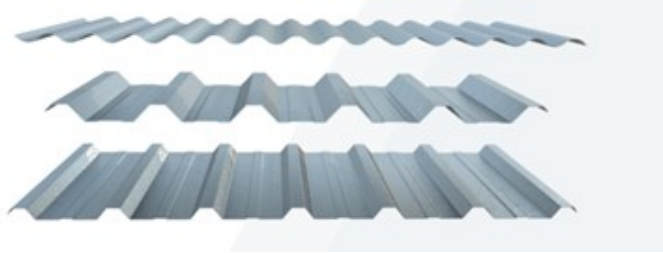
O fabricante de telhas metálicas, Perfilhas, apresenta em seu catálogo de 2021, que entre as características físicas e mecânicas destacam-se a impermeabilidade e resistência do material, que confere ao produto leveza e menor sobrecarga à estrutura; a facilidade de transporte e montagem da cobertura, o comprimento das telhas fabricados sob medida, projetada com uma única peça e pequenas inclinações, diminuindo a quantidade final de telhas, além de seus elementos fixadores e de vedação, reduzindo o tempo de execução da cobertura.

### 2.2.1 Classificação das telhas metálicas

As telhas metálicas podem ser classificadas, quanto ao seu material, como, as telhas galvanizadas, de alumínio, as pintadas e as termoacústicas, e quanto à geometria da chapa, como as planas, onduladas, trapezoidais, zipadas e as telhas autoportantes. As duas últimas apresentam diferentes dobras de acordo com o padrão de seu fabricante.

As diversas conformações geométricas das telhas conferem às peças diferentes desempenhos em relação à resistência mecânica. As chapas com corrugação trapezoidal e zipadas são mais vantajosas quando comparadas às telhas onduladas, apesar destas apresentarem menor custo e maior flexibilidade, sendo mais eficiente quando empregadas em telhados em arco, conforme Figura 3:

**Figura 3 - Telhas onduladas e trapezoidais**



**Fonte: Isoeste (2022)**

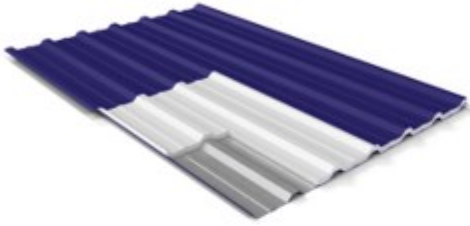
As telhas termoacústicas são basicamente formadas por duas chapas, cujo interior é composto por uma camada de material isolante. Tem como principal finalidade o isolamento térmico e acústico, melhorando a qualidade do ambiente interno da edificação. Sua composição, com diferentes materiais e grande espessura, confere a peça grande resistência mecânica, possibilitando grandes espaçamentos entre terças, e resistência a fortes ventos, assim como cargas concentradas no meio do vão (TOKUSUMI; FOIATO, 2019).

Apresentam em seu interior, entre duas telhas metálicas ou uma metálica e filme de Policloreto de Vinila (PVC), um isolante térmico, como o poliestireno, poliuretano, poliisocianurato e lã de rocha, conforme demonstrado na Figura 4:

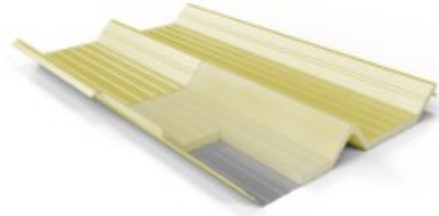


**Figura 4 - Exemplos de interior de telhas metálicas**

(I) Isopor (Poliestireno)



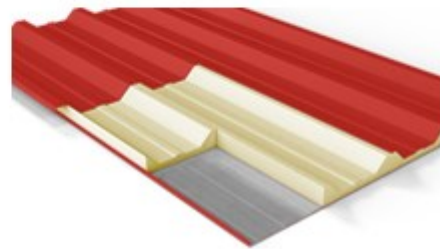
(II) Poliuretano



(III) Lã de Rocha



(IV) Espuma de Poliisocianurato



**Fonte: Adaptado de Perfilhas (2021)**

A resistência térmica destes materiais é devida principalmente à grande quantidade de ar presente entre as fibras ou confinado nas pequenas células formadas no processo de expansão das espumas e dos isolantes granulares. Algumas espumas podem conter ainda nos seus poros outros gases, com condutividade menor que a do ar (DIAS, 2011; TOKUSUMI, FOIATO, 2019).

Existem muitos tipos de isolantes térmicos resistentes para coberturas disponíveis no mercado brasileiro. Os materiais usualmente encontrados são de três tipos: materiais inorgânicos, orgânicos e metálicos ou membranas refletivas. No primeiro grupo existem os materiais fibrosos ou celulares, formados pelos materiais: fibra de vidro e lã rocha, silicato de cálcio e vermiculite. O segundo grupo também se subdivide em dois: materiais fibrosos e celulares, formados por celulose, algodão, madeira, fibras sintéticas e poliestireno, poliuretano e outros polímeros. No último grupo se encontram as mantas formadas por um material de baixa emissividade (MICHELS, 2007).

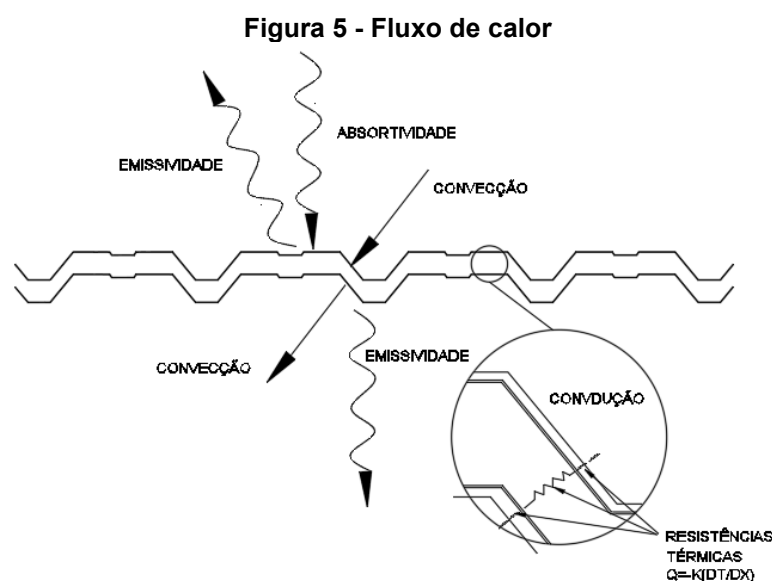
Os poliuretanos (PUs) são um grupo especial de materiais poliméricos que diferem em muitos aspectos da maioria dos outros tipos de plásticos. Podem ser incorporados em diversos itens, como tintas, revestimentos líquidos, elastômeros,

isolantes, fibras elásticas, espumas, peles integrais, entre outros (AKINDOYO *et al.*, 2016).

Espumas de PU podem ser facilmente adaptadas para obter produtos específicos alterando-se quimicamente os produtos utilizados em sua fabricação, bem como a extensão da intercalação e esfoliação entre os enchimentos e matrizes para atender a finalidade desejada (AKINDOYO *et al.*, 2016).

Especificamente, PU's encontram ampla aplicação em revestimentos devido às suas propriedades específicas, como excelente resistência mecânica, tenacidade, boa resistência à abrasão, corrosão e química e baixa flexibilidade a temperaturas (AKINDOYO *et al.*, 2016).

A seleção de materiais de construção tem sido apontada como uma importante estratégia no projeto de edifícios sustentáveis (AKADIRI, 2015). Considerando que a transferência de calor seja unidimensional sem geração e com propriedades constantes faz-se possível a analogia com corrente elétrica (INCROPERA *et al.*, 2008), pode ser representado na Figura 5:



Os estudos sobre o comportamento térmico de materiais presentes no mercado caracterizam uma maior preocupação dos profissionais da construção civil e seus consumidores quanto às condições de conforto das edificações, sem que estas comprometam a sua economia e a segurança. O Quadro 2 mostra uma análise que foi realizada por Marko (2022), onde diferentes materiais com a mesma espessura foram submetidos à radiação solar direta e temperatura ambiente de 24°C.

**Quadro 2 - Valores de fluxo de calor de telhas existentes no mercado**

Cobertura		Fluxo de calor (W/m <sup>2</sup> )
1	Fibrocimento	197
2	Concreto pré-moldado	173
3	Alumínio	108
4	Aço zincado com 0,5 mm espessura	108
5	Aço pré-pintado branco	81
6	Alumínio + poliuretano	25
7	Aço zincado + poliuretano	25
8	Aço zincado + lã de rocha	24
9	Aço zincado + lã de vidro	21

Fonte: Marko (2022)

Há, portanto, evidência colhida em estudos científicos que demonstram as diferenças de fluxo de calor de acordo com os diferentes materiais empregados. No exemplo apresentado, é evidente que a combinação aço zincado e lã de vidro (9) permite menor transmissão de calor do que apenas aço zincado com 0,5mm de espessura (4).

É evidente, portanto, a importância da escolha de materiais adequados, e que venham a produzir níveis satisfatórios de conforto térmico para usuários de edificações. Torna-se imprescindível para tal, aprofundar o tópico da interação térmica.

### 2.3 A interação térmica e análise do conforto térmico

O organismo do ser humano é um sistema termodinâmico que produz calor constantemente e interage continuamente com o ambiente para conseguir o balanço térmico. Existe uma constante troca de calor entre o corpo humano e o meio ambiente que é regida pelas leis da física e influenciada por mecanismos de adaptação fisiológica, por condições ambientais e por fatores individuais. A sensação de conforto térmico está relacionada com o esforço realizado pelo organismo para manter o balanço térmico entre o corpo humano e o meio ambiente.

Os índices de conforto podem ser divididos em dois grandes grupos: os que estão baseados no balanço de calor e os que possuem uma abordagem adaptativa. O princípio da teoria adaptativa estabelece que ao ocorrer uma mudança de temperatura que produz desconforto, as pessoas reagem de maneira a tentar restaurar seu conforto, por meio de ajustes comportamentais, fisiológicos e psicológicos (ASHRAE, 2004).

A sensação de bem-estar térmico está ligada ao equilíbrio térmico do corpo humano, trabalho este desenvolvido pelo sistema termorregulador humano. Isso quer dizer que quanto maior for o esforço desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto. O ambiente propicia uma sensação de satisfação de conforto térmico e com isso torna-se necessário o estabelecimento de critérios e valores de referência para a correta avaliação do ambiente térmico proporcionado pela edificação.

Quantificando as reações do organismo frente às variações térmicas do ambiente, buscou-se a estruturação de índices e/ou sistemas de avaliação que expressassem esta relação de causa e efeito, graduadas de acordo com a sensação de conforto ou desconforto térmico manifestada, relacionando-se tais graduações com os parâmetros físicos ambientais.

Enquanto o modelo de balanço de calor é capaz de explicar alguns graus de comportamento adaptativo, como mudar algumas roupas ou ajustar a velocidade do ar no local, este ignora a dimensão psicológica de adaptação, que pode ser particularmente importante em contextos, onde as interações entre as pessoas com o ambiente ou as diversas experiências térmicas vividas pelos indivíduos podem alterar suas expectativas e também, a sua sensação térmica de satisfação. Um contexto particular em que esses fatores desempenham papel importante é para os edifícios ventilados naturalmente (DE DEAR; BRAGER, 2002).

Quando se trata do tópico de análise de conforto térmico, é possível observar uma ampla gama de estudos relevantes e de diversos tópicos. Uma breve revisão bibliográfica do tema revela a produção de trabalhos que analisam, por exemplo, a aplicação da análise de conforto térmico em áreas rurais (TONOLI *et al.*, 2011), o desempenho da aplicação de materiais refletivos em áreas externas de edifícios (HERNÁNDEZ-PÉREZ *et al.*, 2014), e a avaliação do conforto térmico em ambientes com chaminés solares (OLIVEIRA; CARLO, 2021).

Para melhor compreender a interação térmica e a sua relação com o conforto térmico, é necessário aprofundar-se e entender quais são as abordagens atuais relativas ao tópico na literatura acadêmica.

### 2.3.1 Telhas isolantes

Para compor o estudo de Tonoli *et al.* (2011), foram escolhidas telhas sem amianto reforçadas com polpa de celulose de sisal com adição de fibras de

polipropileno, telhas corrugadas de cimento amianto, cerâmicas e à base de cimento reforçadas com polpa de celulose. O método do fio quente paralelo foi o utilizado pelos autores, e as variáveis analisadas foram a condutividade e difusividade térmicas e temperatura de superfície inferior da telha. Seus resultados apontam as telhas de cimento reforçadas com polpa de sisal como as possuidoras de melhores propriedades térmicas em temperatura ambiente, enquanto as reforçadas com polpa de sisal e fibras de polipropileno apresentaram melhor desempenho térmico a 60°C.

O estudo de Abreu *et al.* (2011) analisou sete tipos diferentes de telhas, a saber: Telha Coppo Venneto Ondulada Cinza, Telha Coppo Venneto Ondulada Marfim, Telha Plana Marfim, Telha Plana Cinza, Telha de Barro Colonial esmaltada, Telha Ondulada de Cimento Amianto e Telha de Barro Francesa. Imagens termográficas da superfície das telhas foram gravadas a fim de analisar a sua temperatura superficial, e o procedimento utilizado para coleta de dados escolhido foi o MIXED do SAS. Seus resultados indicam que as telhas com coloração marfim obtiveram melhores valores de temperatura superior e inferior que as telhas de coloração cinza.

Fonseca, Almeida e Passini (2011) analisaram o conforto térmico de três tipos de telhas: telha de zinco, telha de cimento amianto, e telha de cimento amianto pintada de branco. Os dados relativos a Entalpia, Carga Térmica Radiante e Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade foram coletados e as médias dos três tipos foram comparadas através do teste de *Scott Knott*, a 1% de probabilidade. As telhas com pintura branca em sua face superior foram as que mais favoreceram o ambiente térmico da instalação.

Carneiro *et al.* (2015) testaram quatro variedades de coberturas aplicadas a instalações rurais, sendo elas telha de fibrocimento, telha reciclada, telhado verde, grama, *Zoysiajaponica* e telhado verde, amendoim, *Arachisrepens*. Eles utilizaram de análise térmica das coberturas através de imagens termográficas, e obtiveram o conforto térmico de instalações por meio de índices de conforto, carga térmica radiante, índice de temperatura de globo negro e umidade, índice de conforto humano, índice de temperatura e umidade e temperatura efetiva. Seus resultados indicam que os telhados verdes reduziram a temperatura da superfície interna das coberturas, além de promover maior atenuação da temperatura dos ambientes e maior conforto térmico, em comparação com as demais técnicas.

Similarmente, Oliveira, Godoi e Passini (2015) procuraram analisar dois modelos de galpões (telhas térmicas e telhas de alumínio) e três seções avaliadas dentro de cada galpão (inicial, central e final) em seu estudo. As variáveis medidas foram: Índice de Temperatura e Umidade, Índice de Temperatura Globo Negro e Umidade, Carga Térmica Radiante e Entalpia. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo o teste de *Scott Knott*, a 1% de significância. Os resultados indicam que o uso de coberturas térmicas minimiza a diferença de amplitude térmica ao longo dos diversos horários do dia.

O estudo de Bevilacqua *et al.* (2016) teve como objetivo realizar uma análise experimental de um telhado verde extensivo instalado em um edifício na Universidade da Calábria, na Itália. Foram avaliadas as propriedades térmicas de diferentes soluções de camadas do telhado verde em condições climáticas do Mediterrâneo, comparadas a um telhado tradicional. Os resultados demonstraram que o telhado verde foi capaz de reduzir a temperatura na interface com o telhado estrutural em cerca de 12 °C no verão e manter um valor médio 4 °C mais alto no inverno. Além disso, o telhado verde mostrou uma redução de 100% da energia térmica que entra no ambiente interno durante o verão e uma redução entre 30% e 37% da energia térmica que sai do ambiente interno no inverno. Esses resultados destacam o efeito de resfriamento passivo do telhado verde e sua capacidade de melhorar as propriedades térmicas dos edifícios.

O estudo por Vacek, Struhala e Matejka (2017) avaliou o desempenho ambiental de diferentes tipos de telhados verdes semi-intensivos por meio de uma Avaliação do Ciclo de Vida. O objetivo era analisar o impacto de materiais artificiais, como a lã mineral hidrofílica, nas pegadas ambientais desses telhados. Os resultados mostraram que a adição desses materiais aumenta os impactos ambientais nas primeiras etapas do ciclo de vida dos telhados, mas reduz os impactos nas etapas seguintes. Em geral, os telhados verdes com lã mineral tiveram impactos ambientais mais altos do que os telhados com substrato natural, mas ainda assim são considerados adequados do ponto de vista ambiental.

O estudo de Besir e Cuce (2018) buscou analisar os benefícios dos telhados verdes e fachadas verdes na redução do consumo de energia e das emissões de carbono em edifícios. O método utilizado envolveu uma revisão abrangente da literatura, abordando aspectos como economia de energia, isolamento térmico, sombreamento e conforto térmico. Os resultados mostraram que os telhados verdes

podem reduzir o fluxo de calor em até 80% no verão e apresentam uma redução de 2,2% a 16,7% no consumo de energia em comparação com os telhados tradicionais. Além disso, os sistemas de vegetação contribuem para a melhoria das condições microclimáticas e podem acumular grandes quantidades de CO<sub>2</sub>. Esses resultados destacam o potencial dos telhados verdes e fachadas verdes como soluções sustentáveis e eficientes em termos energéticos.

Em outro estudo foi investigada a degradação de telhas de aço revestidas com uma camada de zinco expostas às condições climáticas ao longo do tempo. Utilizando análises de fluorescência de raios X, verificou-se a composição química das amostras estudadas. Além disso, análises macrográficas e micrográficas foram realizadas para avaliar a degradação das telhas. Os resultados mostraram a eficácia do recobrimento de zinco em proteger as telhas de aço contra os efeitos do sol e da chuva, mantendo sua resistência estrutural e proporcionando alta resistência à corrosão atmosférica (SADE *et al.*, 2019).

Mais recentemente, Peng *et al.* (2019) procuraram medir o desempenho térmico e energético de dois tipos de telhados verdes, denominados EGR e IGR. A simulação foi feita levando em conta climas típicos da China subtropical. Foram coletados dados relativos à temperatura da superfície do telhado, temperaturas do ar em alturas de 10cm e 150cm, fluxo de calor do telhado, e carga de aquecimento e resfriamento. Os dados foram analisados através de comparação simples, permitindo concluir que, apesar de possuir uma estrutura mais complexa, o IGR não trouxe benefícios térmicos superiores quando comparado ao controle.

O estudo de Feitosa e Wilkinson (2020) avaliou o desempenho de telhados e paredes verdes na atenuação do calor em ambientes urbanos densamente desenvolvidos. Através de um experimento realizado em Sydney, Austrália, durante uma temporada completa, foram coletados dados sobre o estresse térmico ao longo das estações. Estruturas em escala reduzida, representando uma porcentagem significativa do estoque habitacional, foram utilizadas para comparar o desempenho de um projeto tradicional com a cobertura de um sistema leve de telhados e paredes verdes em duas elevações. Os resultados mostram que a combinação de umidade relativa e temperatura desempenha um papel importante na determinação do estresse térmico. Durante o verão, a vegetação teve um papel significativo na redução do estresse térmico. O estudo destaca a relevância das coberturas verdes na redução do estresse térmico e dos riscos relacionados à saúde em condições de calor.

O estudo por Tunngung (2020) analisou casas de dois andares com telhado de ferro galvanizado no nordeste da Índia, buscando otimizar o processo de projeto e conservação de energia. Foram utilizadas teorias e estratégias, incluindo a análise de teoria da ação, pesquisas, simulações e análise de sinergia. A estratégia paramétrica baseada em elementos passivos de design examinou o conforto humano e a temperatura ao longo do dia em diferentes estações. O design passivo e a teoria da ação permitem uma resposta dos espaços ao clima, otimizando eficiência energética e espacial. A análise climática proporciona uma compreensão da relação entre espaço e clima. A estratégia paramétrica busca conciliar diferenças entre espaço, clima e funções para melhorar as necessidades energéticas e otimizar o processo de projeto.

O estudo de Kumar, Raut e Akeel (2021) analisou o desempenho de um sistema de telhado duplo composto por espuma de poliestireno e um refletor de radiação de alumínio como uma solução de resfriamento passivo em uma região árida, como Omã. Foram realizados experimentos em campo, que confirmaram a redução significativa das temperaturas internas e da superfície do telhado em comparação com um telhado convencional. O sistema de telhado duplo com espuma de poliestireno e refletor de radiação de alumínio reduziu a temperatura do ar interno em até 4,7 °C e a temperatura da superfície do telhado em até 11,11 °C, em comparação com um telhado convencional. Foi observado que o aumento da ventilação entre a espuma de poliestireno e o refletor de alumínio contribuiu para a redução das temperaturas. Esses resultados demonstram que o sistema de telhado duplo com ventilação e refletor de radiação de alumínio pode reduzir significativamente as temperaturas internas e do telhado durante dias quentes e ensolarados.

Gonçalves *et al.* (2022) buscaram validar modelos computacionais e avaliar o desempenho térmico de um galpão avícola com diferentes tipos de telhas. Por meio de uma fase experimental e simulações numéricas, verificou-se uma forte correlação entre os dados medidos e simulados, comprovando a eficácia dos modelos. Os resultados indicaram que as telhas termoacústicas apresentaram o melhor desempenho térmico, seguidas pelas telhas cerâmicas, de fibrocimento e metálicas.

### 2.3.2 Emprego de pinturas e revestimentos

Fiorelli *et al.* (2012) analisou o conforto térmico de construções rurais usadas para abrigar bezerras. Foram analisados três tipos de cobertura para a estrutura: cobertura de telhas de fibrocimento sem amianto pintadas de branco, sem nenhuma



pintura e com sombrite posicionado internamente, à distância de 0,10m da face inferior da telha. Para fins de comparação, a quarta estrutura foi instalada em área sombreada e coberta por telhas de fibrocimento sem pintura. Foi utilizada termografia para a análise das coberturas, e os índices de conforto térmico e temperatura ambiente foram as variáveis consideradas. Os resultados demonstram variações significativas na temperatura e conforto térmico entre os tratamentos expostos ao sol e sombra.

Outro estudo por Saber *et al.* (2012) investigou se telhados brancos levam a problemas relacionados à umidade em climas do norte e do sul. Foram realizadas simulações numéricas comparando o desempenho higrotérmico de telhados brancos e pretos em diferentes condições internas e externas. Os resultados mostraram que em locais como Toronto, Montreal, Seattle, Wilmington e Phoenix, os telhados brancos apresentaram baixo risco de danos por umidade e economia de energia em relação aos telhados pretos. No entanto, em climas como St. John's e Saskatoon, os telhados brancos podem resultar em problemas de umidade a longo prazo.

Já o trabalho de Brito Filho e Santos (2014) buscou realizar uma análise comparativa do desempenho térmico de grandes telhados metálicos, encontrados em locais como pavilhões de exposição, aeroportos e shoppings, em regiões de clima subtropical e equatorial no Brasil. O estudo focou na viabilidade do uso de tintas brancas, revestimentos seletivos e camadas de isolamento térmico nessas regiões. A pesquisa utilizou um modelo de transferência de calor através do telhado, analisando a radiação solar e a temperatura ambiente ao longo do tempo. Os resultados demonstraram que, em cidades com clima equatorial, a melhor opção é um telhado com camada de isolamento térmico e revestimento seletivo, pois proporciona maior economia de energia e reduz os efeitos da ilha de calor urbana. Por outro lado, em cidades com clima subtropical, a aplicação de tinta branca em um telhado sem camada de isolamento térmico é a solução mais adequada tanto para a redução do consumo de energia quanto para a diminuição da formação da ilha de calor urbana.

O trabalho conduzido por Mohamed, Lee e Chang (2016) teve como objetivo analisar o impacto da aplicação de um revestimento reflexivo no telhado de edifícios residenciais no consumo de energia para refrigeração. Utilizando simulações energéticas, os resultados indicaram que o revestimento reflexivo pode reduzir significativamente a carga de refrigeração, o que resulta em uma redução na demanda de energia elétrica para refrigeração desses edifícios.

Valadares *et al.* (2018) procuraram determinar o efeito que a pintura nos telhados de aviários exerce no conforto térmico e produtividade das granjas. Para isso, foram testados dois modelos de telhados de fibrocimento, com e sem pintura. A temperatura ambiente, temperatura de telhado e a carga térmica de radiação, umidade relativa e o índice de temperatura de globo negro e umidade foram as variáveis coletadas. Foi possível constatar que a pintura externa do telhado na cor branca proporcionou melhorias no interior do galpão para a temperatura ambiente, temperatura de telhado e a carga térmica de radiação.

O trabalho de Dong *et al.* (2023) procurou desenvolver um revestimento de resfriamento radiativo passivo de dupla camada à base de água com alta eficiência óptica e menor espessura. O revestimento alcançou alta refletância solar e emissividade na faixa desejada, com apenas 40% da espessura e 60% do custo dos revestimentos existentes. Testes em grandes edifícios temporários mostraram uma redução significativa da temperatura, com uma diminuição máxima de até 20,8 °C no telhado e 5,0 °C no interior. Além disso, a aplicação do revestimento em telhados de contêineres resultou em economia de energia de até 15,3% e redução de aproximadamente 114 kg de emissões de dióxido de carbono. Esses resultados indicam a viabilidade do revestimento de resfriamento radiativo passivo para mitigar as emissões de carbono e contribuir para a mudança climática global.

### 2.3.3 Materiais de mudança de fase ou PCM

Sadineni, Madala e Boehm (2011) conduziram uma revisão técnica abrangente dos componentes da envoltória do edifício e suas melhorias em termos de eficiência energética. Além disso, foram abordados materiais de isolamento térmico, o papel da massa térmica e materiais de mudança de fase, bem como a importância da estanqueidade e infiltração do envelope do edifício. Abordagens de eficiência energética podem reduzir o consumo de energia sem necessidade de investimentos adicionais de capital.

O estudo de Alavez-Ramirez (2012) objetivou avaliar o uso da fibra de coco como isolante térmico em painéis de ferrocimento para telhados de escolas e casas em Puerto Escondido, Oaxaca, México. Através de medições de condutividade térmica, foi constatado que a configuração com fibra de coco apresentou uma condutividade térmica de 0,221 W/m K, sendo inferior aos materiais convencionais utilizados na região.

O objetivo do estudo de Mercado *et al* (2013) foi analisar o desempenho do sistema SIRASOL, um sistema solar passivo que utiliza painéis radiantes instalados no teto de um ambiente. Por meio de um modelo matemático e análise de sensibilidade, os pesquisadores investigaram a temperatura do painel radiante, a temperatura radiante média e a temperatura operativa, além da influência da área do painel. Os resultados mostraram que o SIRASOL pode ser utilizado em locais com céu limpo, e a área do painel em relação à área do piso afeta a temperatura operativa do ambiente. Quando a área do painel é 50% da área do piso, a temperatura operativa fica 3,1 °C mais alta que a temperatura do ar interno para uma radiação solar de 500 W/m<sup>2</sup>. A análise revelou que uma assimetria térmica ocorre quando a proporção da área do painel em relação à área do piso é superior a 32%.

Alavez-Ramirez *et al.* (2014) desenvolveram e analisaram componentes de canais de cobertura pré-moldados de ferrocimento preenchidos com fibra de coco em uma casa protótipo no México. O método incluiu análise experimental das propriedades térmicas dos componentes. Os resultados mostraram que os canais de cobertura preenchidos com fibra de coco apresentaram maior intensidade de absorção de irradiação solar, porém, ofereceram um amortecimento térmico de 40% e um atraso térmico de cerca de três horas e meia. Conclui-se que esses componentes são uma alternativa ecológica para economia de energia e conforto térmico.

O trabalho de Hernández-Pérez *et al.* (2014) apresenta uma revisão do estado da arte da aplicação de materiais refletivos em paredes e telhados de edifícios. Os materiais refletivos, também conhecidos como materiais frios, possuem propriedades ópticas que os mantêm mais frescos do que os materiais convencionais sob as mesmas condições. Diferentes metodologias foram utilizadas para analisar o desempenho térmico desses materiais, incluindo testes em laboratório, simulações computacionais e monitoramento de edifícios reais. Os resultados obtidos nessas pesquisas foram categorizados em sete áreas distintas e descrevem as características dos modelos utilizados, além das propriedades ópticas dos materiais convencionais e refletivos quando disponíveis. Esses estudos evidenciam os benefícios dos materiais refletivos em termos de conforto térmico e economia de energia.

O estudo de Guichard *et al.* (2014) apresentou um modelo numérico do comportamento térmico de um telhado de edifício equipado com materiais de mudança de fase. O objetivo é validar o modelo por meio de comparações com resultados experimentais. O modelo foi integrado em um código de simulação de

edifícios de múltiplas zonas e foi capaz de prever tanto a temperatura de cada componente do edifício quanto o impacto térmico dos materiais instalados em diferentes configurações.

Na mesma linha, Ponni e Baskar (2015) mediram o desempenho térmico e temperatura interna de dois tipos de isolamento: o primeiro denominado Single Deck e o segundo, um teto com isolamento híbrido denominado DOD. A medição foi então comparada com isolamentos similares, sendo possível demonstrar o método DOD como geradores de conforto térmico e consequente desempenho térmico superior. Os autores não definiram a aplicação exclusivamente para um determinado clima ou um uso específico como edificação rural ou residencial.

Ao fazer uma avaliação voltada a uma edificação de uso rural, Barnabé *et al.* (2015) buscaram analisar a carga térmica radiante de três tipos de isolamento: a palha de palmeira, telha de polímero reciclado e telha de fibrocimento. Através da comparação de médias pelo teste de Tukey, foi possível determinar que a entalpia e a carga térmica radiante diferiram estatisticamente em todos os tratamentos. Os menores valores foram apresentados pelos abrigos com cobertura de telha reciclada.

O estudo de Guichard *et al.* (2015) teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de um telhado complexo utilizando um PCM. Por meio de experimentos realizados em campo, verificou-se que o PCM é capaz de armazenar energia térmica durante o dia e liberá-la à noite, em diferentes configurações não ventiladas. Além disso, foi desenvolvido um método para determinar a resistência térmica do telhado e um software de simulação de edifícios foi utilizado para automatizar o cálculo do indicador térmico. Os resultados destacaram a eficácia do PCM na regulação térmica do telhado e demonstraram a viabilidade do método proposto para avaliação do desempenho térmico em condições reais.

O trabalho de Kenisarin e Mahkamov (2016) teve como objetivo analisar o uso de materiais PCM para o controle térmico passivo em estruturas de construção. Diferentes tipos de PCM, como parafinas, ácidos graxos e suas misturas, além de ésteres de ácidos graxos, são considerados para o controle térmico em edifícios. O estudo discute materiais como placas de gesso, concretos porosos e outros utilizados na construção de estruturas. As experiências demonstraram que o uso de materiais de armazenamento térmico de mudança de fase reduz a variação na temperatura do ar nos ambientes, desloca o pico de consumo de energia para aquecimento e

resfriamento de edifícios leves em algumas horas e diminui o consumo de energia para manter níveis de temperatura confortáveis em edifícios.

Outra linha de estudos abordou o uso de PCM em paredes. O estudo de Guichard *et al.* (2017) teve como objetivo analisar o impacto da aplicação de PCM nas paredes externas de um edifício para melhorar o desempenho térmico e reduzir a demanda de energia. O experimento envolveu a medição das temperaturas internas e externas do edifício, assim como a análise das cargas térmicas. Os resultados mostraram que a incorporação de PCMs nas paredes proporcionou uma redução significativa nas cargas térmicas, resultando em um ambiente interno mais confortável e menor consumo de energia para climatização.

O trabalho de Martins, Vasconcelos e Costa (2017) ofereceu uma visão geral do comportamento sísmico de paredes de revestimento em alvenaria, destacando suas características principais, como materiais constituintes e seus papéis, comportamento mecânico e sísmico, diretrizes de projeto e especificações de construção. O artigo também resume estudos de pesquisa que abordam diferentes tipos de sistemas de paredes de revestimento em alvenaria (com paredes de suporte de aço, perfis de aço e blocos de concreto), diferentes tipos de análises (experimentais e numéricas) e diferentes tipos de carregamento (estático e dinâmico em planos internos e externos).

Murillo *et al.* (2020) analisaram experimentalmente o desenvolvimento da reação ao fogo em painéis sanduíche compostos por chapas de aço e núcleo de espuma de Poliisocianurato. Foram realizados testes em cinco painéis com diferentes espessuras, e os resultados indicaram que a espessura do painel não influencia significativamente no desempenho da reação ao fogo. Esses painéis sanduíche são uma opção favorável na construção de edifícios devido ao aumento de desempenho nos processos construtivos e às características de isolamento térmico, proporcionando conforto aos ocupantes.

O estudo experimental de Al-Yasiri e Szabo (2021) buscou determinar a espessura ideal de uma camada de PCM em um telhado composto, sob condições climáticas severas. Utilizando diferentes espessuras de PCM incorporadas em um telhado de referência, foram avaliados indicadores energéticos, como redução da temperatura ambiente e flutuação térmica. Os resultados mostraram que uma espessura de 20 mm de PCM resultou no melhor desempenho térmico, com uma

redução de até 9 °C na temperatura ambiente em comparação com o telhado de referência.

O trabalho de Saw *et al.* (2021) teve como objetivo investigar o desempenho térmico de um sistema de resfriamento de telhado com tubos de calor pulsantes em circuito fechado em comparação com um telhado de metal convencional. Em regiões tropicais, onde o uso de sistemas de ar condicionado é comum, busca-se um sistema de resfriamento de telhado eficaz para reduzir os custos energéticos enquanto mantém o conforto térmico nos edifícios. Os resultados experimentais mostraram que o sistema de resfriamento de telhado reduziu a temperatura do sótão de 34 °C para 29,6 °C, resultando em uma redução de temperatura de aproximadamente 13% em comparação com o telhado de metal convencional. Esses resultados indicam que o sistema de resfriamento de telhado é uma abordagem promissora para melhorar o conforto térmico em edifícios por meio de intervenções no sótão.

Outro estudo de Al-Yasiri e Szabo (2021) teve como objetivo analisar o desempenho térmico de uma parede com incorporação de PCM em comparação com uma parede convencional. Foram realizados testes experimentais para medir a capacidade de armazenamento e liberação de calor dos PCMs. Os resultados mostraram que a parede com PCMs apresentou uma redução significativa na variação de temperatura ao longo do dia, demonstrando seu potencial para melhorar o conforto térmico dos edifícios.

No estudo de Meng *et al.* (2022) foi desenvolvido o cimento espumado com PCM para melhorar sua capacidade de armazenamento térmico e isolamento. Foram realizados testes de condutividade térmica em diferentes temperaturas e analisado o efeito da taxa de espumação. O cimento espumado com PCM foi aplicado em telhados de edifícios reais para formar um telhado de cimento espumado com PCM. Comparado com o telhado de cimento espumado convencional e o telhado comum, o PCM mostrou redução de até 2 °C na temperatura interna do telhado e redução de até 48,5% no ganho de calor médio, apresentando o melhor desempenho térmico.

O estudo de Skovajsa *et al.* (2022) procurou analisar a viabilidade da utilização de materiais PCM em sistemas de resfriamento de teto para reduzir flutuações de temperatura e o consumo de energia. Foi realizado o projeto e construção de um protótipo de teto refrigerado com PCM, seguido por experimentos e simulações para verificar seu desempenho. Os resultados mostraram que o sistema com PCM reduziu os picos de temperatura em até 3,2 °C e proporcionou economia de energia de até

27%, dependendo da taxa de renovação de ar. Esses achados demonstram a eficácia do uso de PCM em sistemas de resfriamento de teto e podem auxiliar na tomada de decisões econômicas relacionadas a essa solução.

O trabalho de Larrea-Sáez, Cuevas e Casas-Ledón (2023) avaliou o impacto do isolamento térmico e da localização de uma habitação unifamiliar chilena no desempenho energético e ambiental. Foram realizadas análises de ciclo de vida de habitações sociais em sete cidades com diferentes materiais e espessuras de isolamento térmico. Os resultados mostraram que o aumento da espessura do isolamento reduziu o consumo de energia em até 60% e o impacto ambiental em até 29%, indicando a possibilidade de melhorar os padrões térmicos para promover maior eficiência energética e sustentabilidade nas habitações sociais.

O estudo de Alsuhaibani *et al.* (2023) buscou avaliar a eficácia do isolamento de Poliuretano na redução dos custos de energia e calor em construções. O Poliuretano apresentou baixa condutividade térmica, alta capacidade específica de calor e desempenho excelente na aplicação em seções de telhados, atendendo aos padrões de eficiência energética. A aplicação de Poliuretano resultou em economia significativa de energia, com redução acumulada de 60-62% no consumo de eletricidade durante o inverno e o verão. Além disso, os benefícios econômicos do Poliuretano em edifícios novos e antigos foram altamente significativos, contribuindo para uma melhor qualidade de vida e desenvolvimento sustentável.

#### 2.3.4 Outros estudos experimentais

Já o estudo de Singh, Mahapatra e Atreya (2009) buscou analisar a arquitetura vernacular baseada em princípios de bioclimatismo no nordeste da Índia. Por meio de um levantamento em 42 casas antigas em diferentes zonas bioclimáticas, foram identificadas características solares passivas e materiais locais utilizados. Os resultados revelaram uma relação entre o bioclimatismo, o status socioeconômico e a cultura local, destacando exemplos únicos de design sustentável e promovendo o controle de temperatura e a ventilação natural.

O estudo conduzido por Kharrufa e Adil (2012) teve como objetivo testar um procedimento para combinar os benefícios dos sistemas evaporativos e dos condicionadores de ar, visando o resfriamento de edifícios no verão em países do Oriente Médio. Através da aplicação de sistemas evaporativos na estrutura do edifício, os resultados mostraram uma redução de temperatura interior de mais de 10 °C,

permitindo o uso de um condicionador de ar para alcançar níveis de conforto adicionais. As estimativas indicaram uma redução significativa da carga de resfriamento, de até 88% em comparação com ambientes não tratado.

O trabalho de Al-Obaidi, Ismail e Rahman (2014) teve como objetivo analisar e revisar as características físicas de técnicas de resfriamento passivo, como processos reflexivos e radiativos, para adaptar efetivamente essas técnicas ao desafio do acúmulo de calor em casas tropicais modernas no Sudeste Asiático. Os resultados mostraram uma redução significativa nos custos operacionais, destacando a importância das propriedades de cor e material na seleção da abordagem adequada para atender às condições térmicas necessárias em um edifício

Radhi, Assem e Sharples (2014) conduziram um estudo experimental para avaliar o impacto dos materiais de superfície de edifícios nas ilhas de calor urbanas (ICU) em regiões de alta radiação solar. Foram analisados 32 materiais de superfície comumente utilizados no Bahrein durante o período de verão. O estudo focou nos materiais de acabamento em superfícies horizontais e examinou a influência das propriedades termofísicas e solares dos materiais em suas temperaturas de superfície ( $T_s$ ) e temperaturas do ar de superfície ( $T_a$ ) em condições de céu limpo. Foram realizadas medições experimentais em materiais de amostras horizontais expostas à irradiação solar em um telhado plano, além de experimentos em escala real em telhados com diferentes configurações construtivas. Este estudo sugeriu que materiais brancos e de cores claras são importantes para lidar com as ICU de superfície, enquanto materiais refletivos são benéficos e sensíveis em regiões que sofrem maior irradiação solar, e materiais com baixa capacidade de armazenamento de calor são significativos na redução das ICU atmosféricas.

Com uma abordagem distinta, Grigoletti e Linck (2014) buscaram analisar habitações de interesse social no sul do Brasil. Os autores utilizaram de coeficientes de desempenho térmico e questionários para apurar a satisfação dos usuários. As variáveis utilizadas para desempenho térmico foram coeficientes globais de ganhos e perdas de calor, condensação sobre superfícies internas e assimetria da radiação térmica, enquanto a satisfação foi medida através da aplicação de questionários, pela escala de valores proposta pela ISO 7730. Entre os resultados, destaca-se a cobertura como elemento que mais contribui para o desempenho térmico de uma edificação.

Yang e Athienitis (2016) conduziram um estudo com objetivo de revisar abrangentemente a tecnologia de sistemas fotovoltaicos térmicos integrados a



edifícios, incluindo seu desenvolvimento, estudos experimentais e numéricos, e o impacto nos edifícios. Diferentes tipos de sistemas, como os baseados em ar, água, concentração solar e meios de mudança de fase, são analisados. Os resultados destacam o potencial desses sistemas para projetos de edifícios com balanço de energia igual a zero, além de identificar oportunidades e necessidades de pesquisa futura nessa área.

O estudo experimental em uma parede verde vertical conduzido por de Olivieri *et al.* (2017) teve como objetivo determinar a espessura ideal de isolamento para maximizar o desempenho energético. Através da análise do efeito da espessura do isolamento utilizando a metodologia de otimização de fachada verde, verificou-se que até uma espessura de 9 cm o sistema de parede verde atua como um sistema de resfriamento passivo eficiente, porém, acima dessa espessura, mais isolamento se torna redundante e ineficiente.

O estudo conduzido por Thomas e Ding (2018) analisa os benefícios do uso de madeira na construção de edifícios em comparação com materiais convencionais de alta densidade, como tijolo e concreto. Foram utilizados múltiplos estudos de caso para demonstrar a redução no consumo de energia ao longo do ciclo de vida, os custos e o tempo de construção ao optar pela madeira como alternativa aos materiais pesados. Os resultados mostraram diferenças significativas no consumo de energia ao longo do ciclo de vida e no tempo de construção entre a construção em madeira e os materiais pesados, enquanto os custos apresentaram diferenças marginais. Esses resultados destacam os benefícios do uso de madeira, proveniente de florestas e plantações manejadas de forma sustentável, como uma solução para reduzir o impacto ambiental negativo da indústria da construção.

O trabalho de Kajjoba *et al.* (2022) buscou avaliar o conforto térmico e a qualidade do ar em edifícios residenciais naturalmente ventilados em Kampala, Uganda. Através de questionários, medições internas e externas, e simulações computacionais, verificou-se que a maioria dos ocupantes estava confortável com as condições térmicas internas, com temperaturas dentro dos limites aceitáveis estabelecidos pela ASHRAE 55. No entanto, os níveis de poluentes particulados (PM2.5 e PM10) no ar interno estavam acima dos limites recomendados, enquanto as concentrações de CO2 estavam dentro dos padrões estabelecidos. O estudo ressalta a importância de medidas adaptativas para alcançar o conforto térmico desejado.

### 2.3.5 Simulações e levantamentos teóricos

O objetivo do estudo de Suehrcke, Peterson e Selby (2008) foi analisar o impacto da refletância solar do telhado no desempenho térmico de um edifício. Utilizando simulações e equações derivadas, os pesquisadores investigaram como a cor do telhado afeta o ganho de calor diário. Os resultados mostraram que telhados claros têm aproximadamente 30% menos ganho de calor total em comparação com telhados escuros, destacando a importância da escolha da cor do telhado para melhorar a eficiência energética do edifício.

O objetivo do estudo de Gao *et al.* (2014) foi analisar o desempenho de telhados reflexivos na China. Foram realizadas simulações e medições em diferentes cidades chinesas, mostrando que a substituição de um telhado cinza por um telhado branco resulta em economias de carga, energia, custos energéticos, emissões de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>. Medições em edifícios de escritórios em Chongqing e fábricas em Guangdong demonstraram reduções significativas na temperatura da superfície do telhado e no consumo de energia de refrigeração. Os resultados sugerem que os telhados reflexivos devem ser incentivados ou prescritos nas normas de eficiência energética de edifícios na China, tanto para climas de verão quente/inverno ameno quanto para climas de verão quente/inverno frio.

Outro estudo por Firfiris, Martzopoulou e Kotsopoulos (2019) analisa os sistemas de resfriamento passivo aplicados em construções para criação de animais, com o objetivo de descrever suas características construtivas e os benefícios em termos de economia de energia. A revisão da literatura destaca a importância de considerar as necessidades dos animais e as condições ambientais, além de apresentar sistemas similares utilizados em edifícios urbanos que podem ser adotados em construções pecuárias. Os resultados têm relevância para construtores e produtores que buscam implementar métodos sustentáveis na agricultura.

O artigo de Rawat e Singh (2022) apresentou uma revisão da literatura sobre o desempenho térmico de telhados frios em diferentes zonas climáticas. Os resultados indicam que a aplicação de telhados frios reduz o consumo de energia em edifícios e é uma solução sustentável para mitigar o Efeito Ilha de Calor Urbana. O estudo destaca os benefícios, limitações e recomendações para pesquisas futuras. A economia média de energia proporcionada pelos telhados frios varia de 15% a 35,7% em diferentes zonas climáticas, e a redução média da temperatura da superfície do

telhado varia de 1,4 °C a 4,7 °C. Esses resultados fornecem informações valiosas para engenheiros, pesquisadores, arquitetos e moradores interessados em mitigar o consumo de energia de forma sustentável, econômica e eficiente por meio da tecnologia de telhados frios.

O estudo de Ávila-Hernández, Simá e Ché-Pan (2023) apresentou uma compilação de estudos realizados no México sobre infraestrutura verde, como telhados e paredes verdes, como método para mitigar o consumo de energia e reduzir a temperatura em edifícios. Os benefícios energéticos, térmicos e ambientais obtidos foram analisados considerando a vegetação, substrato, clima e configuração dos sistemas. Além disso, foi analisado o desenvolvimento de políticas, leis, regulamentos e incentivos relacionados aos telhados verdes no México. Os resultados indicam que o uso de infraestrutura verde pode ajudar a mitigar os gases de efeito estufa, pois um telhado verde pode reduzir a temperatura interna em até 19,9 °C, economizar 28% anualmente no consumo de eletricidade e remover 80% dos poluentes da água da chuva. Por fim, os resultados desta pesquisa podem fornecer informações para pesquisadores, legisladores e planejadores urbanos sobre a situação atual do México e auxiliar na tomada de decisões.

O estudo de Ferreira *et al.* (2023) teve como objetivo avaliar as soluções de isolamento mais efetivas em edifícios comerciais, de acordo com as diretrizes de desempenho energético e regulamentação em Portugal. Por meio de simulações de energia em software BIM, foi constatado que soluções com valores de U mais baixos resultaram em economia de energia de 2 a 5% e podem ser vantajosas em termos de custo ao longo de 15 e 50 anos. Exemplos dessas soluções incluem painéis de isolamento a vácuo de 2,5 cm e painéis sanduíche de 8 a 12 cm. No entanto, é importante ressaltar que essas melhorias implicam em custos iniciais adicionais.

A descrição acima indica que a análise do conforto térmico pode possuir diversas abordagens, os trabalhos relativos ao conforto térmico ambiental dos usuários podem ser analisados quanto aos seguintes tópicos: (a) A tipologia dos materiais isolantes estudados pelos autores; (b) Os resultados obtidos por estudos similares, quanto aos materiais de melhor ou pior desempenho e (c) As variáveis utilizadas na avaliação dos materiais. O resumo dos estudos encontrados e resultados obtidos está apresentado no Quadro 3:

Quadro 3 - Resumo da literatura similar

Autores	Tipologia	Resultados obtidos	Variáveis empregadas
Tonoli <i>et al.</i> , 2011	(i) Telhas sem amianto reforçadas com polpa de celulose de sisal com adição de fibras de polipropileno, (ii) telhas corrugadas de cimento amianto, cerâmicas e à base de cimento reforçadas com polpa de celulose.	(i) Telhas de cimento reforçadas com polpa de sisal são as melhores para temperatura ambiente; (ii) Telhas reforçadas com polpa de sisal e fibras de polipropileno são as melhores para temperaturas de 60°C.	(i) Condutividade e difusividade térmica; (ii) Temperatura de superfície inferior da telha.
Abreu <i>et al.</i> , 2011	(i) Telha CoppoVenneto Ondulada Cinza, (ii) Telha CoppoVenneto Ondulada Marfim, (iii) Telha Plana Marfim, (iv) Telha Plana Cinza, (v) Telha de Barro Colonial esmaltada, (vi) Telha Ondulada de Cimento Amianto e (vii) Telha de Barro Francesa.	Telhas com coloração marfim obtiveram melhores valores.	Temperatura superficial.
Fonseca, Almeida e Passini, 2011	(i) Telha de zinco, (ii) Telha de cimento amianto, e (iii) Telha de cimento amianto pintada de branco.	Telhas com pintura branca em sua face superior foram as que mais favoreceram o ambiente térmico da instalação.	(i) Entalpia, (ii) Carga Térmica Radiante e (iii) Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade.
Fiorelli <i>et al.</i> , 2012	(i) Telhas de fibrocimento sem amianto pintadas de branco, (ii) Sem nenhuma pintura e (iii) Com sombrite posicionado internamente.	Variações significativas na temperatura e conforto térmico entre os tratamentos expostos ao sol e sombra.	(i) Índices de conforto térmico e (ii) Temperatura ambiente.
Alavez - Ramirez, 2012	Painéis de ferrocimento de fibra de coco	Condutividade inferior aos materiais convencionais	Medições de condutividade térmica
Mercado <i>et al.</i> , 2013	Sistema SIRASOL, sistema solar passivo	Recomendações de uso em situações específicas e com característica únicas	(i) Temperatura do painel radiante (ii) temperatura radiante média e (iii) temperatura operativa
Grigoletti e Linck, 2014	Habitações de interesse social.	A cobertura é o elemento que mais contribui para o desempenho térmico de uma edificação.	(i) Coeficientes globais de ganhos e perdas de calor, (ii) Condensação sobre superfícies internas e (iii) Assimetria da radiação térmica; (iv) Satisfação.
Alavez-Ramirez <i>et al.</i> , 2014	Canais de cobertura pré-moldados de ferrocimento preenchidos com fibra de coco	São uma alternativa ecológica para economia de energia e conforto térmico	Análise experimental das propriedades térmicas dos componentes

Brito Filho e Santos, 2014	Telhados metálicos	Proporciona melhor economia de energia e reduz os efeitos da ilha de calor urbana	(i) Radiação solar (ii) temperatura ambiente ao longo do tempo
Al-Obaidi <i>et al.</i> , 2014	Resfriamento passivo	Redução de custos operacionais	(i) Características físicas de técnicas de resfriamento passivo (ii) processos reflexivos e radiativos
Guichard <i>et al.</i> , 2014	Materiais PCM	Modelo pôde prever temperatura de cada componente	Modelo numérico do comportamento térmico de um telhado de edifício
Gao <i>et al.</i> , 2014	Telhados reflexivos	Redução significativa na temperatura da superfície e consumo de energia de refrigeração	(i) Temperatura de superfície do telhado (ii) consumo de energia de refrigeração
Radhi, Assem e Sharples, 2014	32 materiais de superfície comumente utilizados no Bahrein	Aplicações específicas para cada tipo de material empregado	(i) Propriedades termofísicas e solares dos materiais (ii) Temperaturas de superfície e (iii) temperaturas do ar de superfície
Guichard <i>et al.</i> , 2015	Telhado complexo que usa material de mudança de fase	PCM se mostra eficaz na regulação térmica do telhado	(i) Energia térmica armazenada (ii) Energia térmica liberada (iii) Configurações não ventiladas
Ponni e Baskar, 2015	(i) Single Decker e (ii) DOD.	Método DOD possui resultados superiores.	(i) Desempenho térmico e (ii) temperatura interna.
Barnabé <i>et al.</i> , 2015	(i) Palha de palmeira, (ii) Telha de polímero reciclado e (iii) Telha de fibrocimento.	(i) Entalpia e a carga térmica radiante diferiram estatisticamente em todos os tratamentos. (ii) Os menores valores foram apresentados pela cobertura de telha reciclada.	(i) Entalpia e (ii) Carga térmica radiante.
Carneiro <i>et al.</i> , 2015	(i) Telha de fibrocimento, (ii) Telha reciclada, (iii) Telhado verde, grama, Zoysiajaponica e (iv) telhado verde, amendoim, Arachisrepens.	Telhados verdes reduziram a temperatura da superfície interna das coberturas, além de promover maior atenuação da temperatura dos ambientes e maior conforto térmico.	(i) Índices de conforto, (ii) Carga térmica radiante, (iii) Índice de temperatura de globo negro e umidade, (iv) Índice de conforto humano, (v) Índice de temperatura e umidade e (vi) temperatura efetiva.
Oliveira, Godoi e Passini, 2015	(i) Telhas térmicas e (ii) Telhas de alumínio.	O uso de coberturas térmicas minimiza a diferença de amplitude térmica ao longo do dia.	(i) Índice de Temperatura e Umidade, (ii) Índice de Temperatura Globo Negro e Umidade, (iii) Carga Térmica Radiante e (iv) Entalpia.

Bevilacqua <i>et al.</i> , 2016	Diferentes soluções de camadas do telhado verde	Redução de temperatura na interface com o telhado estrutural: ~12 °C no verão; Manutenção de valor médio 4 °C mais alto no inverno	Condições climáticas do Mediterrâneo, camadas do telhado verde, telhado tradicional, temperatura do ambiente interno, energia térmica do ambiente interno no verão e no inverno.
Yang e Athienitis, 2016	Sistemas BIPV/T (Baseados em ar, água, concentração solar, meios de mudança de fase)	Potencial dos sistemas BIPV/T para projetos de edifícios com consumo líquido zero de energia; Identificação de oportunidades e necessidades de pesquisa futura	Desenvolvimento de sistemas BIPV/T, estudos experimentais e numéricos, impacto nos edifícios, tipos de sistemas (ar, água, concentração solar, meios de mudança de fase)
Mohamed, Lee e Chang, 2016	Revestimento reflexivo	Redução significativa da carga de refrigeração e demanda de energia elétrica para refrigeração dos edifícios residenciais	Aplicação do revestimento reflexivo, consumo de energia para refrigeração, carga de refrigeração, demanda de energia elétrica
Kenisarin e Mahkamov, 2016	Parafinas, ácidos graxos	Redução da variação de temperatura do ar nos ambientes, diminuindo consumo de energia	(i) Variação na temperatura do ar ambiente (ii) Consumo de energia para regulação de temperatura
Olivieri <i>et al.</i> , 2017	Parede verde	Espessura máxima de 9cm para o sistema, acima disso torna-se redundante	(i) Espessura ideal de isolamento (ii) Temperaturas internas
Guichard <i>et al.</i> , 2017	PCMs em paredes de um edifício	Incorporação de PCM gerou redução significativa nas cargas térmicas	(i) Temperaturas internas (ii) Temperaturas externas (iii) Cargas térmicas
Besir e Cuce, 2018	Telhados e fachadas verdes	Telhados verdes podem reduzir o fluxo de calor em até 80% no verão	(i) Temperaturas internas (ii) Temperaturas externas
Thomas e Ding, 2018	Madeira como material de construção	Redução no consumo de energia proporcionado pelo material	(i) Radiação solar (ii) temperatura ambiente ao longo do tempo
Sade <i>et al.</i> , 2019	Telhas de aço revestidas com Zincoalumínio	Revestimento eficaz na proteção contra os efeitos do sol e intempéries	(i) Análises micro e macrográficas (ii) Fluorescência de Raios-X

Valadares <i>et al.</i> , 2018	Telhados de fibrocimento, (i) com e (ii) sem pintura.	Pintura externa na cor branca proporcionou melhorias no interior do galpão para a temperatura ambiente, temperatura de telhado e a carga térmica de radiação.	(i) Temperatura ambiente, (ii) Temperatura de telhado e (iii) a carga térmica de radiação, (iv) umidade relativa e o (v) índice de temperatura de globo negro e umidade.
Peng <i>et al.</i> , 2019	Telhados verdes denominados (i) EGR e (ii) IGR.	O IGR não trouxe benefícios térmicos superiores em comparação com o EGR.	(i) Temperatura da superfície do telhado, (ii) Temperaturas do ar à altitudes de 10cm e 150cm, (iii) Fluxo de calor do telhado, e (iv) Carga de aquecimento e resfriamento.
Feitosa e Wilkinson, 2020	Telhados e paredes verdes	Durante o verão, a vegetação tem papel significativo na redução do estresse térmico	(I) Estresse térmico ao longo das estações (ii) Estruturas em escala reduzida
Tungnung, 2020	Telhado de ferro galvanizado	Design passivo permite resultados favoráveis	(i) conforto humano (ii) Temperatura ao longo do dia nas estações
Al-Yasiri e Szabo, 2021	Camada de PCM em um telhado composto	Otimização da espessura do PCM resulta no melhor desempenho térmico	(i) Indicadores energéticos, (ii) redução da temperatura ambiente (iii) flutuação térmica
Saw <i>et al.</i> , 2021	Sistema de resfriamento de telhados com tubos de calor pulsantes em circuito fechado	Trata-se de abordagem promissora	Variações de temperatura
Al-Yasiri e Szabo, 2021	Paredes com e sem PCM	Paredes com PCM tem potencial para melhorar o conforto térmico de usuários	Variações de temperatura ao longo do dia
Kumar, Raut e Akeel, 2021	Telhado duplo composto por espuma de poliestireno e um refletor de radiação de alumínio	O sistema de telhado duplo com ventilação e refletor de radiação de alumínio pode reduzir as temperaturas internas e do telhado durante dias quentes e ensolarados	(i) Temperaturas internas (ii) Temperaturas de superfície (iii) Variações de temperatura
Gonçalves <i>et al.</i> , 2022	Telhas termoacústicas, cerâmicas, fibrocimentícias e metálicas	Telhas termoacústicas tiveram o melhor desempenho	(i) Temperaturas internas (ii) Temperaturas externas (iii) Cargas térmicas
Meng <i>et al.</i> , 2022	Cimento espumado com PCM	Redução na temperatura e no ganho de calor	(i) Condutividade térmica (ii) Ganho de calor
Skovajsa <i>et al.</i> , 2022	Materiais PCM em sistemas de resfriamento de teto	Redução na temperatura e consumo de energia	(i) Flutuações de temperatura (ii) Consumo de energia

Larrea-Sáez, Cuevas e Casas-Ledón, 2023	Isolamento térmico e localização	Aumento da espessura do isolamento reduziu o consumo de energia	(i) Flutuações de temperatura (ii) Consumo de energia
Dong <i>et al.</i> , 2023	Resfriamento radiativo passivo	Viabilidade do revestimento de resfriamento radiativo passivo para mitigar as emissões de carbono	(i) Refletância solar, (ii) Emissividade, (iii) Redução de temperatura, (iii) Economia de energia
Alsuhaibani <i>et al.</i> , 2023	Isolamento de Poliuretano	Economia significativa de energia	(i) Consumo energético (ii) Condutividade térmica e capacidade específica de calor

**Fonte: Autoria própria (2023)**



### 3 METODOLOGIA

Os procedimentos operacionais utilizados nesta pesquisa, visando a obtenção dos objetivos citados, estão organizados neste capítulo.

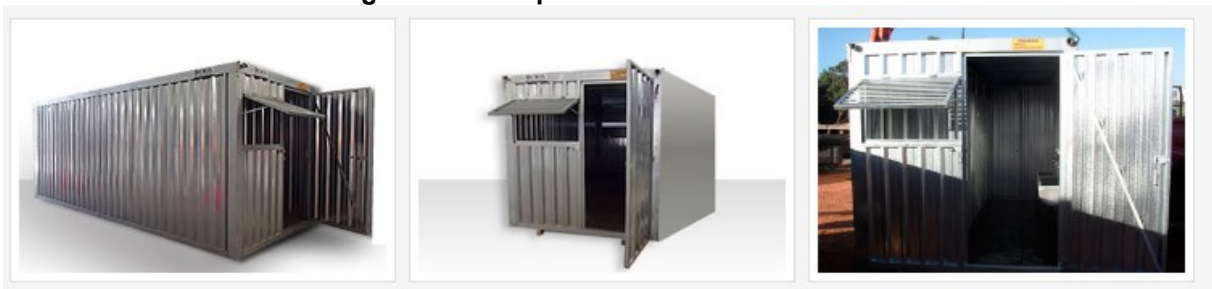
#### 3.1 Métodos para coleta e comparação dos dados

A segunda etapa consistiu na realização dos experimentos relativos ao conforto térmico do ambiente escolhido. Para a realização dos experimentos, foi utilizada uma estrutura tipo container. As especificações da estrutura, bem como os procedimentos adotados para esta etapa estão descritas nesta seção.

##### 3.1.1 Especificações da estrutura utilizada no experimento

Uma estrutura metálica, do tipo container, foi utilizada para realização do experimento, com as dimensões de 4m de comprimento, 2m de largura, e 2,70m de altura, conforme detalhado na Figura 6:

**Figura 6 - Exemplos de estrutura container**



**Fonte: BMBOX (2022)**

A estrutura fabricada em perfis metálicos, revestida com telhas metálicas e com uma cobertura com telhas móveis, fixada apenas por parafusos nos perfis do container, conta com a possibilidade de adaptar-se a quatro modelos de cobertura metálica adicionada a duas variações com manta térmica aluminizada, totalizando seis modelos as quais foram utilizadas neste experimento: (i) Telha metálica aluzinc - trapezoidal TP40 (altura de 40mm, espessura de 0,43mm), (ii) EPS (Poliestireno de espessura de 30mm no formato do trapézio), (iii) Manta térmica aluminizada, e (iv) Poliuretano expandido de espessura de 30mm.

Essa estrutura está instalada no Distrito Industrial do Município de Ponta Grossa, na região dos Campos Gerais, estado do Paraná.

As paredes laterais do container foram padronizadas e pintadas com tinta preta, e instalado em um local onde fica ensolarado o dia inteiro sem sombras sobre o mesmo. A cobertura (telha) é móvel e poderá ser trocada quantas vezes forem necessárias para a realização do experimento, sendo o caimento das telhas com 3% de caimento, praticamente um telhado plano para este tamanho.

**Figura 7 - Instalação do container do experimento**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

### 3.1.2 Procedimentos para coleta e processamento dos dados

Para a realização do experimento, as coberturas da estrutura metálica foram trocadas no intervalo de 5 dias, perfazendo um ciclo de 30 dias de utilização de todas, assim reiniciando o processo durante o período de dez meses. Essa escolha se deu para possibilitar a utilização dos seis modelos de isolantes detalhados a seguir:

- a) Somente a telha metálica aluzinc - trapezoidal TP40;
- b) Telha metálica adicionada da Manta aluminizada;
- c) Telha metálica adicionada do EPS (poliestireno);
- d) Telha metálica, adicionada do EPS e da manta aluminizada;
- e) Telha metálica adicionada do poliuretano;
- f) Telha metálica, adicionada do poliuretano e da manta aluminizada.

A coleta teve início em 15 de julho de 2022 e se estendeu até 30 de abril de 2023. Foram feitas medições de temperatura e umidade externa e interna do container. A coleta foi feita por meio do equipamento de medição HOBO, demonstrado

na Figura 7, com registros nos horários das 07:30 hs até as 19:00 hs, com dados registrados a cada 30 minutos.

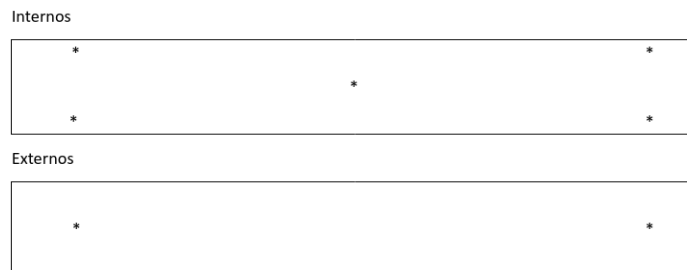
**Figura 8 - Equipamento HOBO**



**Fonte: OnsetComps (2022)**

Foram instalados cinco equipamentos internos ao container, todos apoiados em cavaletes de madeira, 4 destes equipamentos foram instalados cerca de 65 cm afastados das paredes laterais e um equipamento central, e dois externos (face externa da telha de cobertura de cobertura) com a distribuição física demonstrada na Figura 9:

**Figura 9 - Distribuição física dos equipamentos de medição no container**

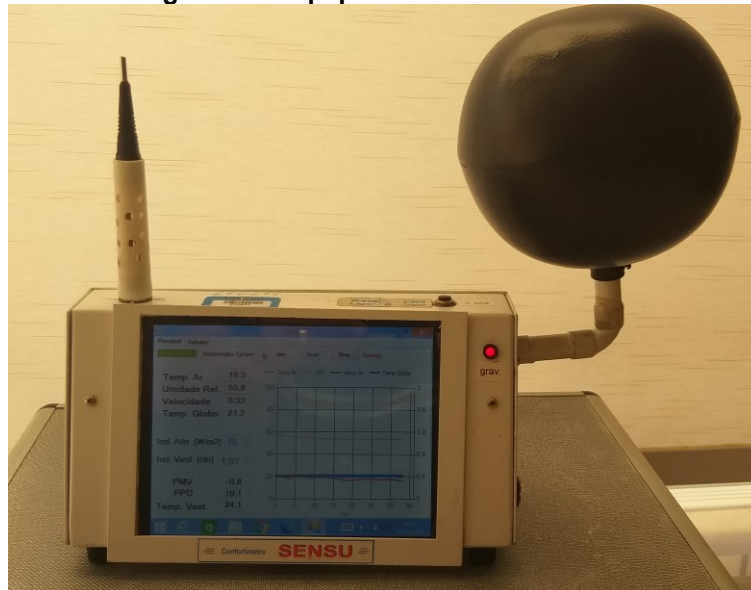


**Fonte: Autoria própria (2023)**

No ponto interno central, também foram coletados os parâmetros fundamentais ao conforto térmico humano, além da temperatura do ar, como: temperatura média radiante, umidade relativa do ar, e velocidade do ar.

A coleta desses dados se deu através do equipamento de medição confortímetro (SENSU), figura 10, instalado em dias variados definido durante as medições.

**Figura 10 - Equipamento confortímetro**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

O confortímetro é um sistema de aquisição de sinais baseado em uma plataforma PC compactada, com teclado sem fio, acesso Internet wireless ou cabo de rede.

A medição do conforto térmico está associada à determinação dos índices PMV (Voto Médio Preditivo) que segundo Kim, Min e Kim (2013) é um indicador de conforto térmico que reflete melhor a nossa sensação térmica, que o índice de temperatura no ambiente e o PPD que é uma previsão quantitativa do número de pessoas que vão fazer estar insatisfeitas com um certo clima ambiente.

O cálculo desses índices exige o conhecimento das seguintes variáveis: temperatura de bulbo seco, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura de globo, índice de atividade e vestimenta. As quatro primeiras grandezas são medidas por sensores, e as duas últimas foram definidas no experimento.

O Confortímetro contempla três softwares para monitoração térmica e tratamento de dados:

- Sensu-Aquis: programa executável através do qual é realizada a aquisição de dados. Em sua janela de apresentação, pode-se acompanhar em tempo real o comportamento de cada variável, bem como iniciar ou interromper a medição, em qualquer instante;
- Sensu-Visual: macro do Microsoft Excel que elabora gráficos a partir dos arquivos das variáveis ambientais medidas;

- Sensu-PMV: macro do Microsoft Excel que calcula os índices de desconforto PMV e PPD para análise final das informações coletadas.

Para a determinação do conforto, o índice de atividade e vestimenta foram fixos para todo o experimento, sendo o índice de trabalho considerado 70 Watts/m<sup>2</sup> e o índice de trabalho 1 clo (*clothing*), uma vez que o principal objeto desse estudo foca no isolante térmico na cobertura, ou seja, parâmetros ambientais.

### 3.1.3 Metodologia para análise dos dados

Os dados coletados foram analisados através da comparação dos resultados obtidos pelos modelos propostos com os resultados obtidos na situação de não isolamento (telha simples). Adicionalmente, os dados foram analisados através de confronto com a temperatura externa do ar fornecida por órgãos de meteorologia local, especificamente o Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR).

Os resultados foram apresentados em estatística descritiva e analisados através de tabelas e gráficos comparativos. Os modelos que apresentaram melhor desempenho com relação à situação de não isolamento são classificados em ordem decrescente.

O conforto térmico foi determinado para cada situação, utilizando-se de um equipamento de medições de variáveis ambientais considerando-se os parâmetros subjetivos de taxa metabólica de isolamento das vestimentas constantes para todas as situações. A metodologia utilizada para essa determinação, seguiu as determinações da ISO 7730, 2005, lançando mão de um programa computacional específico para tal.

As diferenças potenciais dos valores encontrados, foram analisados, e todos os dados obtidos para cada situação passaram por uma análise de normalidade de distribuição, visando a aplicação de testes paramétricos ou não paramétricos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo objetiva apresentar os principais resultados obtidos na aplicação da metodologia proposta neste trabalho.

Para análise, os resultados obtidos são apresentados tabelados por modelos de telhas utilizados no experimento e graficamente, com a evolução temporal da face externa da telha, da temperatura interna do ambiente, da velocidade interna do ar, da umidade interna, do índice PMV, do índice PPD, da temperatura externa do ar, dados este fornecido pela SIMEPAR, o índice de atividade e vestimenta foram fixos para todo o experimento, sendo o índice de trabalho considerado 70 Watts/m<sup>2</sup> e o índice de trabalho 1 clo (*clothing*).

Os resultados do desempenho térmico do estrutura tipo container composto por diferentes isolantes em telhas metálicas foram separados por duas análises comparativas: a primeira consistiu na comparação do poder de isolamento dos 6 diferentes modelos de coberturas instaladas (telha simples, telha com manta aluminizada, telha com EPS, telha com EPS e manta aluminizada, telha com poliuretano e telha com poliuretano e manta aluminizada) e a segunda na comparação dos modelos de telhas com o conforto que cada uma proporciona.

São apresentados os resultados do conforto térmico de cada modelo de cobertura utilizado.

### 4.1 Desempenho térmico das telhas

Os resultados do desempenho térmico dos diferentes modelos de telhas instalados no container, foram separados os dados coletados dos equipamentos HOBO's instalados dentro e fora do container com o posicionamento dos mesmos já descrito anteriormente, dados do confortímetro instalado dentro do container e da temperatura externa do ar fornecido pela estação meteorológica da SIMEPAR na cidade de Ponta Grossa.

São apresentados nas tabelas de 2 à 7 os resultados separados por dia de coleta, temperatura externa na face da telha de cobertura medida pelos HOBO's externos (em graus Celsius), temperatura interna do HOBO (em graus Celsius), temperatura interna do confortímetro (em graus Celsius), umidade relativa (%), velocidade do ar (m/s), temperatura de globo (em graus Celsius), PMV, PPD e a temperatura externa (em graus Celsius) fornecido pela SIMEPAR, em seis tabelas

conforme o tipo de telha, sendo elas: telha simples metálica aluzinc - trapézio 40, telha metálica adicionada da manta aluminizada, telha metálica adicionada do EPS (poliestireno), telha metálica, adicionada do EPS (poliestireno) e da manta aluminizada, telha metálica adicionada do PU (poliuretano), telha metálica adicionada do PU poliuretano e da manta aluminizada.

Os gráficos apresentam as linhas da temperatura externa da telha de cobertura, a média da temperatura interna feita pelos 5 Hobo's instalados em diferentes pontos do container a temperatura interna do confortímetro e a temperatura externa do ar fonte SIMEPAR. Comparando as linhas é possível verificar qual a capacidade de isolamento da telha instalada na cobertura do container.

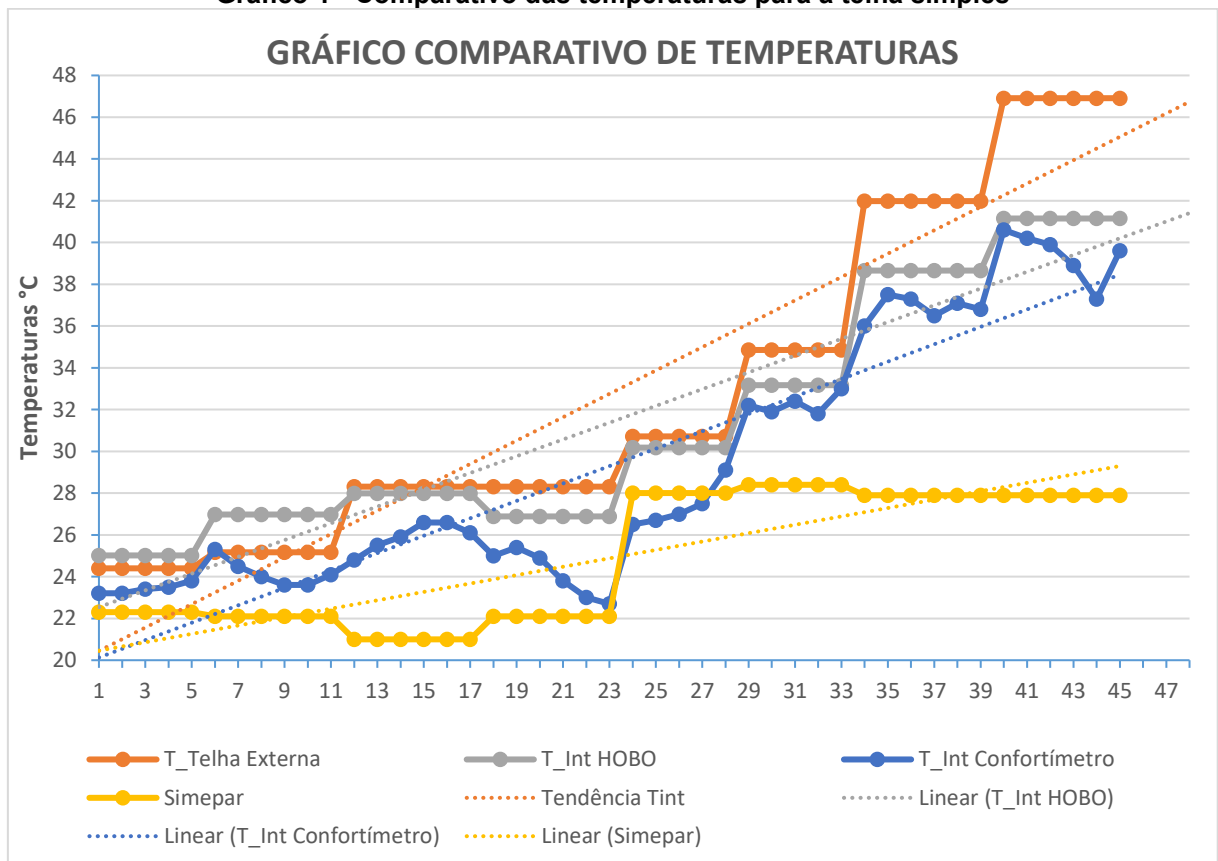
**Tabela 2 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a telha simples**

TELHA SIMPLES									
Dias	T_Telha Externa	T_Int HOBO	T_Int Conf	UR	Veloc_Ar	T_Globo	PMV	PPD	Simepar
03/02/2023	24,4	25,0	23,2	80,0	0,25	25,1	0,0	5,5	22,3
03/02/2023	24,4	25,0	23,2	77,0	0,25	25,3	0,0	5,2	22,3
03/02/2023	24,4	25,0	23,4	75,3	0,25	25,5	0,0	5,1	22,3
03/02/2023	24,4	25,0	23,5	73,3	0,25	25,6	0,1	5,2	22,3
03/02/2023	24,4	25,0	23,8	71,6	0,24	25,8	0,1	5,7	22,3
03/02/2023	25,2	27,0	25,3	63,0	0,27	28,3	0,9	10,8	22,1
03/02/2023	25,2	27,0	24,5	66,7	0,27	27,4	0,5	7,0	22,1
03/02/2023	25,2	27,0	24,0	69,7	0,27	26,7	0,3	6,1	22,1
03/02/2023	25,2	27,0	23,6	73,6	0,27	26,1	0,2	5,5	22,1
03/02/2023	25,2	27,0	23,6	75,9	0,26	25,7	0,2	5,8	22,1
03/02/2023	25,2	27,0	24,1	74,6	0,26	25,9	0,3	7,4	22,1
03/02/2023	28,3	28,0	24,8	67,3	0,3	27,4	0,6	8,2	21,0
03/02/2023	28,3	28,0	25,5	64,6	0,25	27,7	0,7	13,3	21,0
03/02/2023	28,3	28,0	25,9	62,3	0,27	28,1	0,8	15,8	21,0
03/02/2023	28,3	28,0	26,6	58,9	0,25	28,8	1,0	21,2	21,0
03/02/2023	28,3	28,0	26,6	57,8	0,26	29,2	1,0	20,8	21,0
03/02/2023	28,3	28,0	26,1	59,9	0,27	29,0	0,9	16,6	21,0
03/02/2023	28,3	26,9	25,0	70,1	0,25	26,6	0,5	10,6	22,1
03/02/2023	28,3	26,9	25,4	66,7	0,25	27,2	0,7	11,9	22,1
03/02/2023	28,3	26,9	24,9	68,5	0,26	27,3	0,6	10,3	22,1
03/02/2023	28,3	26,9	23,8	73,9	0,27	26,7	0,4	74,0	22,1
03/02/2023	28,3	26,9	23,0	79,0	0,27	25,8	0,1	5,8	22,1
03/02/2023	28,3	26,9	22,7	81,1	0,26	25,2	0,0	5,7	22,1
02/03/2023	30,7	30,2	26,5	52,7	0,84	29,1	0,8	20,0	28,0
02/03/2023	30,7	30,2	26,7	51,4	0,59	29,2	0,9	23,7	28,0
02/03/2023	30,7	30,2	27	50,4	0,49	29,3	1,0	27,9	28,0
02/03/2023	30,7	30,2	27,5	48,2	0,3	29,8	1,2	38,0	28,0
02/03/2023	30,7	30,2	29,1	45,5	0,27	30,8	1,5	53,2	28,0
02/03/2023	34,9	33,2	32,2	41,0	0,29	33,5	2,0	74,7	28,4
02/03/2023	34,9	33,2	31,9	42,4	0,3	32,9	1,9	69,4	28,4

02/03/2023	34,9	33,2	32,4	43,6	0,31	32,3	1,7	63,0	28,4
02/03/2023	34,9	33,2	31,8	44,7	0,32	31,6	1,6	56,0	28,4
02/03/2023	34,9	33,2	33	46,4	0,32	31,0	1,6	50,0	28,4
02/03/2023	42,0	38,7	36	39,1	0,27	34,7	2,2	84,8	27,9
02/03/2023	42,0	38,7	37,5	38,9	0,28	34,7	2,2	85,5	27,9
02/03/2023	42,0	38,7	37,3	39,0	0,28	34,6	2,2	84,7	27,9
02/03/2023	42,0	38,7	36,5	39,4	0,28	34,3	2,2	82,7	27,9
02/03/2023	42,0	38,7	37,1	39,7	0,27	34,1	2,1	80,3	27,9
02/03/2023	42,0	38,7	36,8	40,1	0,28	33,9	2,0	78,5	27,9
02/03/2023	46,9	41,2	40,6	42,4	0,26	32,3	1,9	69,4	27,9
02/03/2023	46,9	41,2	40,2	39,3	0,25	34,0	2,2	83,3	27,9
02/03/2023	46,9	41,2	39,9	39,9	0,26	35,3	2,4	89,6	27,9
02/03/2023	46,9	41,2	38,9	37,2	0,27	35,7	2,4	89,4	27,9
02/03/2023	46,9	41,2	37,3	38,0	0,28	35,5	2,3	86,6	27,9
02/03/2023	46,9	41,2	39,6	39,0	0,28	34,9	2,2	83,7	27,9

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 1 - Comparativo das temperaturas para a telha simples



Fonte: Autoria própria (2023)

No Gráfico 1 é possível observar as 4 linhas de temperaturas que se formam sendo as temperaturas da face externa da telha de cobertura, a temperatura interna do container medido pelos HOBO's, a temperatura do confortímetro e a temperatura externa do ar fornecido pela SIMEPAR. Verifica-se uma constância nas temperaturas observadas pelas linhas paralelas que se formam com as duas temperaturas internas.



Se distanciando dessas linhas está a linha da temperatura externa do ar, demonstrando a passagem de calor por condução para dentro do container. Mostra também uma escalada na temperatura da face externa da telha de cobertura, registrando o acúmulo de temperatura e a radiação de calor que se forma sobre a superfície externa da telha e captado pelos dois leitores HOBO's instalados na cobertura. Por se tratar de uma telha simples sem isolamento obteve-se o resultado esperado, com um aumento significativo da temperatura do ar dentro do container.

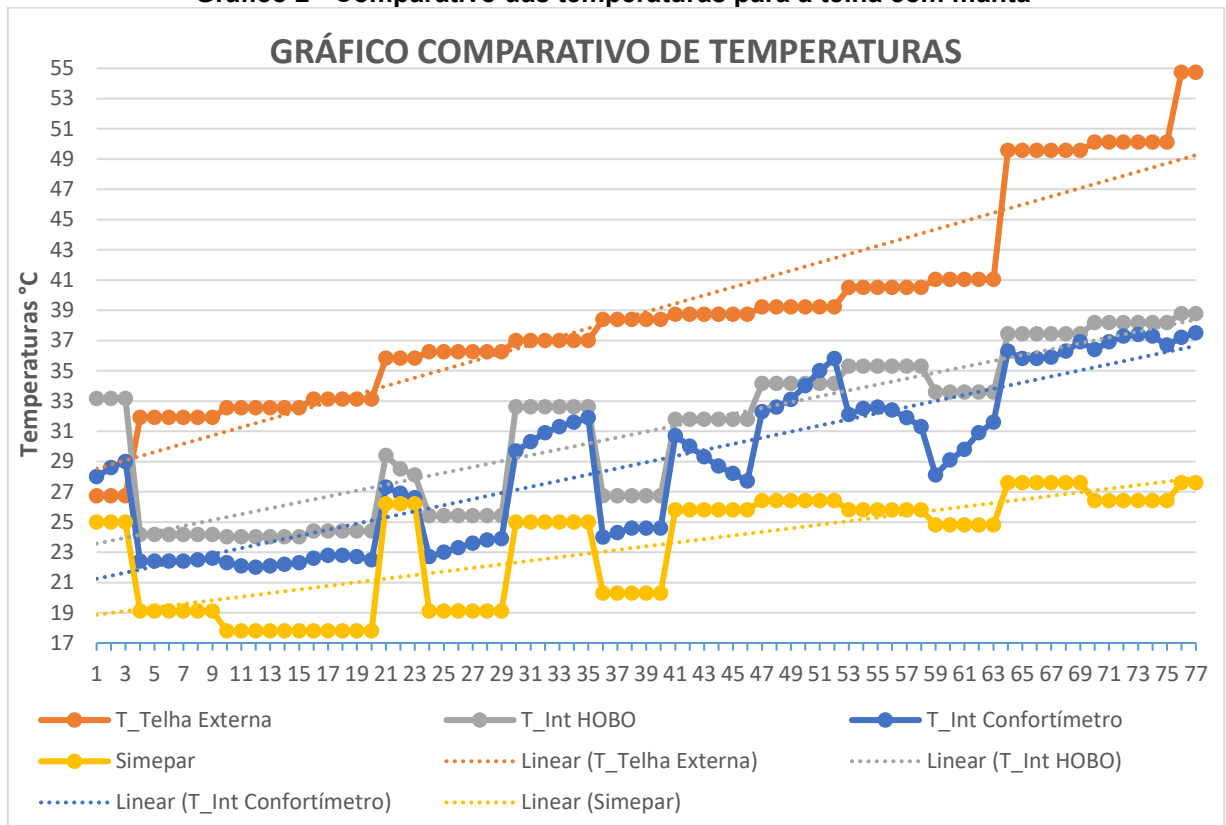
**Tabela 3 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a telha com manta**

TELHA X MANTA									
Dias	T_Telha Externa	T_Int HOBO	T_Int Conf	UR	Veloc_Ar	T_Globo	PMV	PPD	Simepar
08/02/2023	26,7	33,2	28,0	40,4	0,39	31,5	1,4	43,0	25,0
08/02/2023	26,7	33,2	28,6	39,2	0,30	31,7	1,5	52,0	25,0
08/02/2023	26,7	33,2	29,0	39,1	0,27	31,9	1,7	60,0	25,0
06/01/2023	31,9	24,2	22,4	44,1	0,53	24,7	-0,7	15,0	19,1
06/01/2023	31,9	24,2	22,4	44,1	0,55	24,7	-0,7	15,0	19,1
06/01/2023	31,9	24,2	22,4	44,1	0,57	24,6	-0,6	12,0	19,1
06/01/2023	31,9	24,2	22,4	43,9	0,59	24,6	-0,7	14,0	19,1
06/01/2023	31,9	24,2	22,5	43,9	0,59	24,7	-0,7	14,0	19,1
06/01/2023	31,9	24,2	22,6	44,0	0,49	24,8	-0,6	12,0	19,1
06/01/2023	32,6	24,0	22,3	45,5	0,53	25,1	-0,5	11,0	17,8
06/01/2023	32,6	24,0	22,1	45,7	0,56	24,7	-0,6	13,0	17,8
06/01/2023	32,6	24,0	22,0	45,6	0,58	24,5	-0,8	17,0	17,8
06/01/2023	32,6	24,0	22,1	45,3	0,56	24,4	-0,8	17,0	17,8
06/01/2023	32,6	24,0	22,2	44,9	0,50	24,5	-0,7	15,0	17,8
06/01/2023	32,6	24,0	22,3	44,3	0,50	24,6	-0,7	15,0	17,8
06/01/2023	33,1	24,4	22,6	44,5	0,71	27,2	-0,5	10,0	17,8
06/01/2023	33,1	24,4	22,8	44,4	0,51	26,9	-0,3	7,0	17,8
06/01/2023	33,1	24,4	22,8	44,3	0,46	26,6	-0,2	6,0	17,8
06/01/2023	33,1	24,4	22,7	44,4	0,40	26,4	-0,3	7,0	17,8
06/01/2023	33,1	24,4	22,5	44,7	0,49	25,5	-0,5	10,0	17,8
05/04/2023	35,8	29,4	27,3	41,9	0,26	29,4	1,1	30,2	26,2
05/04/2023	35,8	28,5	26,9	43,5	0,27	29,0	1,0	26,6	26,2
05/04/2023	35,8	28,1	26,6	44,9	0,27	28,6	0,9	23,2	26,2
06/01/2023	36,3	25,4	22,7	43,6	0,46	25,0	-0,5	11,0	19,1
06/01/2023	36,3	25,4	23,0	42,9	0,43	25,3	-0,4	9,0	19,1
06/01/2023	36,3	25,4	23,3	42,1	0,42	25,8	-0,2	6,0	19,1
06/01/2023	36,3	25,4	23,6	41,4	0,41	26,2	-0,2	5,0	19,1
06/01/2023	36,3	25,4	23,8	40,9	0,42	26,4	-0,1	5,0	19,1
06/01/2023	36,3	25,4	23,9	40,1	0,42	26,6	0,0	5,0	19,1
08/02/2023	37,0	32,6	29,7	38,3	0,21	32,2	1,8	68,0	25,0
08/02/2023	37,0	32,6	30,3	37,6	0,21	32,6	2,0	76,0	25,0
08/02/2023	37,0	32,6	30,9	36,6	0,21	33,2	2,2	85,0	25,0

08/02/2023	37,0	32,6	31,3	36,0	0,22	33,7	2,3	89,0	25,0
08/02/2023	37,0	32,6	31,6	35,5	0,22	34,0	2,4	91,0	25,0
08/02/2023	37,0	32,6	31,9	34,2	0,23	34,4	2,4	90,0	25,0
06/01/2023	38,4	26,7	24,0	39,6	0,39	26,4	0,0	5,0	20,3
06/01/2023	38,4	26,7	24,3	39,1	0,37	27,0	0,0	5,0	20,3
06/01/2023	38,4	26,7	24,6	39,4	0,38	27,3	0,1	5,0	20,3
06/01/2023	38,4	26,7	24,6	39,6	0,41	27,4	0,2	6,0	20,3
06/01/2023	38,4	26,7	24,6	39,4	0,40	27,4	0,2	6,0	20,3
05/04/2023	38,7	31,8	30,7	32,4	0,26	33,2	1,8	67,8	25,8
05/04/2023	38,7	31,8	30,0	34,0	0,27	32,4	1,7	60,2	25,8
05/04/2023	38,7	31,8	29,3	35,6	0,27	31,6	1,5	52,1	25,8
05/04/2023	38,7	31,8	28,7	37,4	0,27	30,9	1,4	45,2	25,8
05/04/2023	38,7	31,8	28,2	38,9	0,26	30,3	1,3	39,2	25,8
05/04/2023	38,7	31,8	27,7	40,5	0,26	29,8	1,2	34,3	25,8
08/02/2023	39,2	34,2	32,3	32,7	0,23	34,7	2,5	94,0	26,4
08/02/2023	39,2	34,2	32,6	31,4	0,23	34,9	2,6	96,0	26,4
08/02/2023	39,2	34,2	33,1	30,5	0,23	35,2	2,7	97,0	26,4
08/02/2023	39,2	34,2	34,0	29,2	0,22	35,9	3,0	99,0	26,4
08/02/2023	39,2	34,2	35,0	28,3	0,21	37,0	*	100,0	26,4
08/02/2023	39,2	34,2	35,8	27,4	0,21	38,0	*	100,0	26,4
05/04/2023	40,5	35,3	32,1	29,5	0,22	34,7	2,1	82,5	25,8
05/04/2023	40,5	35,3	32,5	29,0	0,22	35,1	2,2	85,7	25,8
05/04/2023	40,5	35,3	32,6	28,9	0,23	35,3	2,3	86,8	25,8
05/04/2023	40,5	35,3	32,4	29,3	0,24	35,2	2,2	85,2	25,8
05/04/2023	40,5	35,3	31,9	30,2	0,26	34,6	2,1	80,6	25,8
05/04/2023	40,5	35,3	31,3	31,1	0,26	33,9	2,0	75,1	25,8
05/04/2023	41,0	33,6	28,1	36,7	0,31	30,4	1,2	37,8	24,8
05/04/2023	41,0	33,6	29,1	35,0	0,26	31,4	1,5	50,4	24,8
05/04/2023	41,0	33,6	29,8	33,7	0,24	32,2	1,6	57,5	24,8
05/04/2023	41,0	33,6	30,9	31,5	0,21	33,5	1,9	71,1	24,8
05/04/2023	41,0	33,6	31,6	30,2	0,22	34,2	2,0	77,7	24,8
08/02/2023	49,6	37,4	36,3	25,9	0,26	39,2	*	100,0	27,6
08/02/2023	49,6	37,4	35,8	26,4	0,27	38,7	*	100,0	27,6
08/02/2023	49,6	37,4	35,8	26,3	0,26	38,5	*	100,0	27,6
08/02/2023	49,6	37,4	35,9	26,2	0,25	38,6	*	100,0	27,6
08/02/2023	49,6	37,4	36,3	25,4	0,24	39,0	*	100,0	27,6
08/02/2023	49,6	37,4	36,9	24,4	0,24	39,5	*	100,0	27,6
08/02/2023	50,1	38,2	36,4	26,3	0,21	38,9	*	100,0	26,4
08/02/2023	50,1	38,2	36,9	24,9	0,22	39,5	*	100,0	26,4
08/02/2023	50,1	38,2	37,3	23,9	0,22	39,9	*	100,0	26,4
08/02/2023	50,1	38,2	37,4	23,6	0,22	40,2	*	100,0	26,4
08/02/2023	50,1	38,2	37,3	24,1	0,23	40,3	*	100,0	26,4
08/02/2023	50,1	38,2	36,7	25,1	0,25	39,8	*	100,0	26,4
08/02/2023	54,7	38,8	37,2	23,6	0,24	39,8	*	100,0	27,6
08/02/2023	54,7	38,8	37,5	23,0	0,26	40,1	*	100,0	27,6

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 2 - Comparativo das temperaturas para a telha com manta



Fonte: Autoria própria (2023)

No Gráfico 2 é possível observar as 4 linhas de temperaturas que se formam sendo as temperaturas da face externa da telha de cobertura, a temperatura interna do container medido pelos HOBO's, a temperatura do confortímetro e a temperatura externa do ar fornecido pela SIMEPAR. Verifica-se uma constância nas temperaturas observadas pelas linhas paralelas que se formam com as duas medições das temperaturas internas, logo abaixo dessas linhas está a linha da temperatura externa do ar de distanciando de maneira moderada com o aumento da temperatura, demonstrando a passagem de calor por condução para dentro do container. Mostra a linha da temperatura da face externa da telha de cobertura com ascendência, registrando o acúmulo de temperatura e a radiação de calor que se forma sobre a superfície externa da telha e captado pelos dois leitores HOBO's instalados na cobertura. Por se tratar de uma telha com a utilização de manta aluminizada, observa-se que a utilização deste tipo de material pouco ou nada contribui com o isolamento térmico da telha de cobertura, com aumento da temperatura do ar dentro do container.

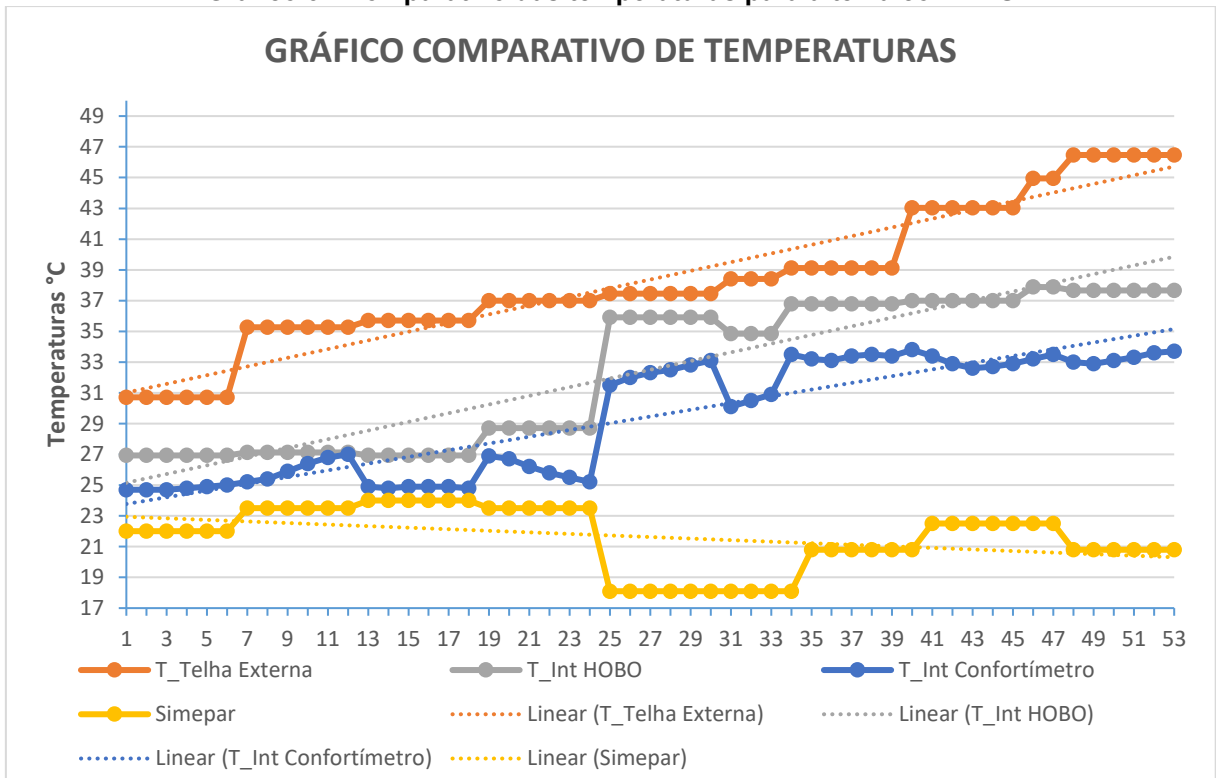
Tabela 4 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a telha com EPS

TELHA X EPS									
Dias	T_Telha Externa	T_Int HÓBO	T_Int Conf	UR	Veloc_Ar	T_Globo	PMV	PPD	Simepar
13/03/2023	30,7	26,9	24,7	64,8	0,23	27,5	0,6	13,9	22,0
13/03/2023	30,7	26,9	24,7	65,6	0,22	27,3	0,7	14,1	22,0
13/03/2023	30,7	26,9	24,7	65,6	0,22	27,2	0,7	14,3	22,0
13/03/2023	30,7	26,9	24,8	65,6	0,23	27,2	0,7	14,4	22,0
13/03/2023	30,7	26,9	24,9	65,5	0,22	27,2	0,7	15,1	22,0
13/03/2023	30,7	26,9	25,0	65,9	0,22	27,3	0,7	16,4	22,0
13/03/2023	35,3	27,1	25,2	65,3	0,22	27,5	0,8	17,9	23,5
13/03/2023	35,3	27,1	25,4	64,3	0,22	27,7	0,8	19,6	23,5
13/03/2023	35,3	27,1	25,9	62,2	0,23	28,1	0,9	22,8	23,5
13/03/2023	35,3	27,1	26,4	60,5	0,23	28,7	1,0	27,3	23,5
13/03/2023	35,3	27,1	26,8	59,8	0,23	29,3	1,1	31,5	23,5
13/03/2023	35,3	27,1	27,0	60,1	0,23	29,6	1,2	33,6	23,5
13/03/2023	35,7	26,9	24,9	65,5	0,23	27,4	0,7	15,3	24,0
13/03/2023	35,7	26,9	24,8	65,0	0,23	27,3	0,7	14,6	24,0
13/03/2023	35,7	26,9	24,9	64,8	0,23	27,3	0,7	14,9	24,0
13/03/2023	35,7	26,9	24,9	64,8	0,23	27,4	0,7	15,1	24,0
13/03/2023	35,7	26,9	24,9	65,0	0,23	27,3	0,7	15,0	24,0
13/03/2023	35,7	26,9	24,8	64,9	0,23	27,2	0,7	14,3	24,0
13/03/2023	37,0	28,7	26,9	60,7	0,22	29,6	1,2	33,3	23,5
13/03/2023	37,0	28,7	26,7	61,4	0,23	29,5	1,1	30,8	23,5
13/03/2023	37,0	28,7	26,2	62,8	0,23	29,1	1,0	26,7	23,5
13/03/2023	37,0	28,7	25,8	64,1	0,23	28,6	0,9	22,7	23,5
13/03/2023	37,0	28,7	25,5	65,1	0,23	28,1	0,8	19,6	23,5
13/03/2023	37,0	28,7	25,2	65,3	0,23	27,7	0,8	17,1	23,5
11/04/2023	37,5	35,9	31,5	28,4	0,24	34,6	2,0	76,2	18,1
11/04/2023	37,5	35,9	32,0	27,7	0,24	35,1	2,1	81,0	18,1
11/04/2023	37,5	35,9	32,3	27,2	0,24	35,5	2,2	83,7	18,1
11/04/2023	37,5	35,9	32,5	26,6	0,24	35,7	2,2	85,4	18,1
11/04/2023	37,5	35,9	32,8	26,2	0,25	35,9	2,3	86,7	18,1
11/04/2023	37,5	35,9	33,1	25,9	0,25	36,0	2,3	88,8	18,1
11/04/2023	38,4	34,9	30,1	31,2	0,36	33,3	1,6	57,0	18,1
11/04/2023	38,4	34,9	30,5	30,2	0,41	33,8	1,7	63,8	18,1
11/04/2023	38,4	34,9	30,9	29,6	0,36	34,0	1,8	68,0	18,1
11/04/2023	39,1	36,8	33,5	25,5	0,26	36,2	2,4	89,7	18,1
11/04/2023	39,1	36,8	33,2	25,6	0,26	36,2	2,4	89,8	20,8
11/04/2023	39,1	36,8	33,1	25,9	0,25	36,3	2,4	89,7	20,8
11/04/2023	39,1	36,8	33,4	26,3	0,24	36,6	2,4	91,2	20,8
11/04/2023	39,1	36,8	33,5	25,9	0,24	36,8	2,4	91,8	20,8
11/04/2023	39,1	36,8	33,4	25,6	0,25	36,7	2,4	91,0	20,8
11/04/2023	43,0	37,0	33,8	25,4	0,24	36,9	2,5	92,9	20,8
11/04/2023	43,0	37,0	33,4	26,6	0,24	36,7	2,4	90,7	22,5
11/04/2023	43,0	37,0	32,9	26,9	0,24	36,1	2,3	87,7	22,5
11/04/2023	43,0	37,0	32,6	27,4	0,25	35,6	2,2	86,0	22,5
11/04/2023	43,0	37,0	32,7	26,8	0,25	35,5	2,3	87,0	22,5

11/04/2023	43,0	37,0	32,9	26,5	0,25	35,7	2,3	88,5	22,5
11/04/2023	44,9	37,9	33,2	25,7	0,25	35,8	2,4	90,1	22,5
11/04/2023	44,9	37,9	33,5	24,8	0,25	35,9	2,4	91,8	22,5
11/04/2023	46,5	37,7	33,0	25,6	0,25	36,4	2,3	88,8	20,8
11/04/2023	46,5	37,7	32,9	25,9	0,24	36,1	2,3	88,1	20,8
11/04/2023	46,5	37,7	33,1	25,9	0,24	36,2	2,3	89,1	20,8
11/04/2023	46,5	37,7	33,3	25,6	0,24	36,4	2,4	90,7	20,8
11/04/2023	46,5	37,7	33,6	25,1	0,24	36,6	2,4	91,8	20,8
11/04/2023	46,5	37,7	33,7	25,0	0,24	36,7	2,5	92,6	20,8

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 3 - Comparativo das temperaturas para a telha com EPS



Fonte: Autoria própria (2023)

No Gráfico 3 é possível observar as 4 linhas de temperaturas que se formam sendo as temperaturas da face externa da telha de cobertura, a temperatura interna do container medido pelos HOBO's, a temperatura do confortímetro e a temperatura externa do ar fornecido pela SIMEPAR. Verifica-se que as linhas de temperaturas das medições internas e da temperatura da face externa da cobertura do container, estão praticamente paralelas, ou seja, quanto mais sobe a temperatura do telhado também sobe a temperatura interna do ar dentro do container demonstrando a passagem de calor por condução para dentro do container e a pouca eficiência do material isolante de isopor (poliestireno) sendo utilizado de maneira unicamente como material isolante. Mostra a linha da temperatura da face externa da telha de cobertura com ascendência,

registrando o acúmulo de temperatura e a radiação de calor que se forma sobre a superfície externa da telha e captado pelos dois leitores HOBO's instalados na cobertura em contrapartida da temperatura externa do ar, que apresenta leve queda ao longo das medições.

**Tabela 5 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a telha com EPS e manta**

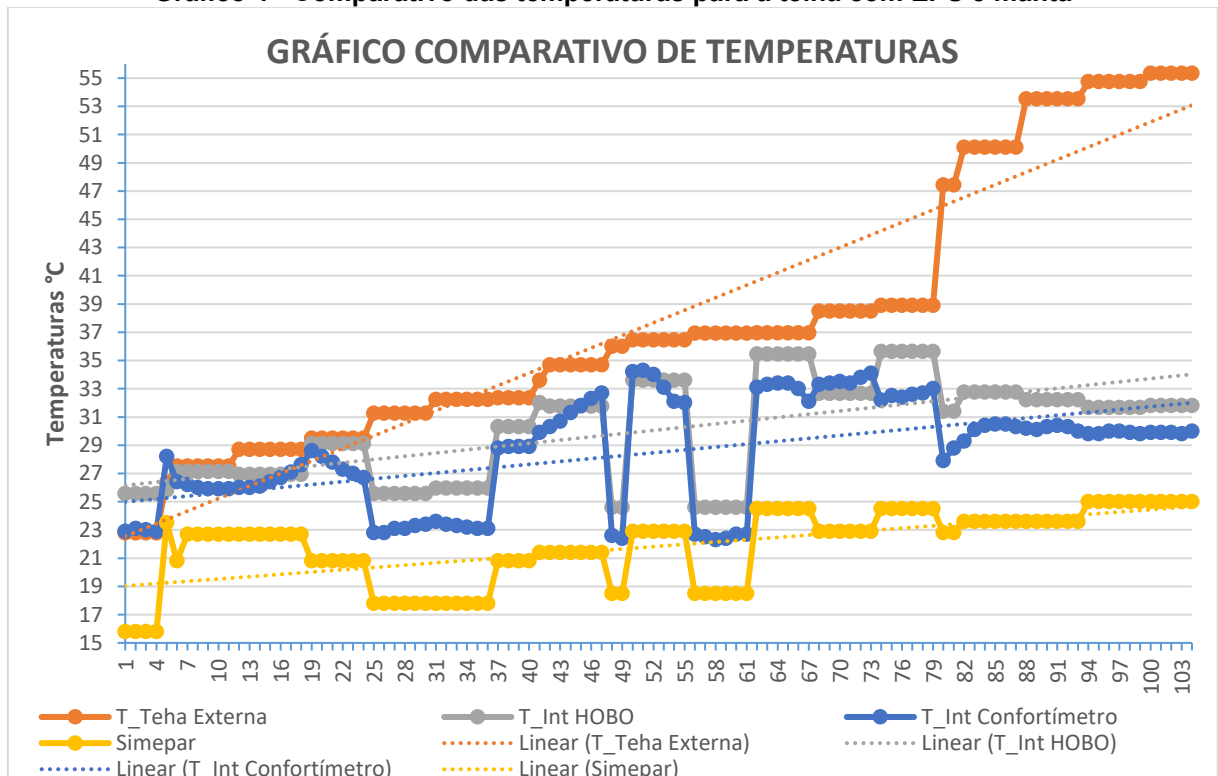
<b>TELHA X EPS X MANTA</b>										
<b>Dias</b>	<b>T_Telha Externa</b>	<b>T_Int HOBO</b>	<b>T_Int Conf</b>	<b>UR</b>	<b>Veloc_Ar</b>	<b>T_Globo</b>	<b>PMV</b>	<b>PPD</b>	<b>Simepar</b>	
19/04/2023	22,8	25,6	22,9	37,2	0,30	25,5	0,0	5,1	15,8	
19/04/2023	22,8	25,6	23,1	36,3	0,29	25,8	0,0	5,1	15,8	
19/04/2023	22,8	25,6	23,0	35,6	0,30	25,8	0,0	5,2	15,8	
19/04/2023	22,8	25,6	22,9	35,2	0,31	25,6	-0,1	5,4	15,8	
17/02/2023	26,3	25,8	28,2	46,1	0,28	29,9	1,3	41,7	23,5	
17/02/2023	27,5	27,1	26,4	51,6	0,29	28,6	0,9	23,5	20,8	
17/02/2023	27,5	27,1	26,2	52,0	0,30	28,3	0,9	21,2	22,7	
17/02/2023	27,5	27,1	26,0	51,9	0,30	28,0	0,8	19,4	22,7	
17/02/2023	27,5	27,1	25,9	52,2	0,30	27,9	0,8	18,8	22,7	
17/02/2023	27,5	27,1	25,9	52,4	0,30	27,8	0,8	18,5	22,7	
17/02/2023	27,5	27,1	25,9	52,4	0,29	27,8	0,8	18,8	22,7	
17/02/2023	28,7	26,9	26,0	51,7	0,30	27,8	0,8	18,8	22,7	
17/02/2023	28,7	26,9	26,0	50,8	0,31	27,9	0,8	19,2	22,7	
17/02/2023	28,7	26,9	26,1	50,3	0,31	28,0	0,8	20,1	22,7	
17/02/2023	28,7	26,9	26,4	49,7	0,29	28,2	0,9	22,4	22,7	
17/02/2023	28,7	26,9	26,7	48,7	0,29	28,5	1,0	25,4	22,7	
17/02/2023	28,7	26,9	27,1	47,7	0,29	28,9	1,1	29,8	22,7	
17/02/2023	28,7	26,9	27,6	46,8	0,29	29,4	1,2	35,3	22,7	
17/02/2023	29,5	29,1	28,6	46,2	0,28	31,3	1,4	46,8	20,8	
17/02/2023	29,5	29,1	28,2	47,1	0,29	30,8	1,3	42,0	20,8	
17/02/2023	29,5	29,1	27,8	48,0	0,29	30,3	1,2	37,0	20,8	
17/02/2023	29,5	29,1	27,3	48,9	0,29	29,8	1,1	32,3	20,8	
17/02/2023	29,5	29,1	27,0	49,9	0,28	29,3	1,1	28,9	20,8	
17/02/2023	29,5	29,1	26,7	50,8	0,28	28,9	1,0	26,2	20,8	
19/04/2023	31,3	25,6	22,8	35,4	0,31	25,4	-0,1	5,4	17,8	
19/04/2023	31,3	25,6	22,8	35,7	0,30	25,2	-0,1	5,3	17,8	
19/04/2023	31,3	25,6	23,1	35,1	0,30	25,3	0,0	5,1	17,8	
19/04/2023	31,3	25,6	23,1	34,7	0,30	25,3	0,0	5,1	17,8	
19/04/2023	31,3	25,6	23,3	34,1	0,30	25,4	0,0	5,1	17,8	
19/04/2023	31,3	25,6	23,4	33,7	0,31	25,6	0,1	5,2	17,8	
19/04/2023	32,2	26,0	23,6	33,4	0,31	25,8	0,1	5,3	17,8	
19/04/2023	32,2	26,0	23,4	33,8	3,00	25,7	0,1	5,2	17,8	
19/04/2023	32,2	26,0	23,3	34,6	0,29	25,6	0,0	5,2	17,8	
19/04/2023	32,2	26,0	23,2	34,6	0,30	25,5	0,0	5,1	17,8	
19/04/2023	32,2	26,0	23,1	34,7	0,30	25,5	0,0	5,1	17,8	
19/04/2023	32,2	26,0	23,1	34,2	0,30	25,4	0,0	5,1	17,8	
17/02/2023	32,3	30,3	28,8	44,4	0,44	31,3	1,4	16,2	20,8	

17/02/2023	32,3	30,3	28,9	44,0	0,36	31,5	1,5	49,4	20,8
17/02/2023	32,3	30,3	28,9	44,5	0,33	31,5	1,5	49,9	20,8
17/02/2023	32,3	30,3	28,9	45,1	0,28	31,5	1,5	50,1	20,8
16/12/2022	33,6	32,0	29,9	37,3	0,25	323,0	1,8	69,0	21,4
16/12/2022	34,7	31,8	30,3	36,0	0,23	32,8	1,9	71,0	21,4
16/12/2022	34,7	31,8	30,7	35,1	0,23	33,3	2,0	78,0	21,4
16/12/2022	34,7	31,8	31,3	33,2	0,23	34,3	2,3	88,0	21,4
16/12/2022	34,7	31,8	31,8	32,0	0,22	35,1	2,5	93,0	21,4
16/12/2022	34,7	31,8	32,3	30,6	0,22	35,6	2,6	96,0	21,4
16/12/2022	34,7	31,8	32,7	29,7	0,23	36,0	2,7	97,0	21,4
19/04/2023	36,0	24,6	22,6	34,9	0,30	24,5	-0,1	5,5	18,5
19/04/2023	36,0	24,6	22,4	35,2	0,30	24,3	-0,2	5,6	18,5
16/12/2022	36,5	33,6	34,2	26,5	0,24	37,5	*	100,0	22,9
16/12/2022	36,5	33,6	34,3	26,7	0,23	37,8	*	100,0	22,9
16/12/2022	36,5	33,6	34,0	27,1	0,25	37,7	*	100,0	22,9
16/12/2022	36,5	33,6	33,1	27,9	0,26	36,9	2,9	99,0	22,9
16/12/2022	36,5	33,6	32,1	29,2	0,27	35,6	2,5	94,0	22,9
16/12/2022	36,5	33,6	32,0	30,1	0,26	34,8	2,5	93,0	22,9
19/04/2023	36,9	24,6	22,7	34,5	0,31	25,0	-0,1	5,4	18,5
19/04/2023	36,9	24,6	22,5	34,6	0,32	24,5	-0,2	5,8	18,5
19/04/2023	36,9	24,6	22,3	35,0	0,32	24,2	-0,2	6,0	18,5
19/04/2023	36,9	24,6	22,4	35,0	0,32	24,2	-0,2	5,9	18,5
19/04/2023	36,9	24,6	22,7	34,7	0,31	24,4	-0,1	5,4	18,5
19/04/2023	36,9	24,6	22,7	34,3	0,31	24,5	-0,1	5,3	18,5
16/12/2022	37,0	35,5	33,1	28,6	0,24	36,3	2,8	98,0	24,5
16/12/2022	37,0	35,5	33,3	28,1	0,24	36,6	2,9	98,0	24,5
16/12/2022	37,0	35,5	33,4	27,6	0,25	36,8	2,9	99,0	24,5
16/12/2022	37,0	35,5	33,4	27,7	0,25	36,9	3,0	99,0	24,5
16/12/2022	37,0	35,5	33,0	28,4	0,26	36,6	2,8	98,0	24,5
16/12/2022	37,0	35,5	32,1	29,6	0,26	35,7	2,6	95,0	24,5
16/12/2022	38,5	32,7	33,3	28,5	0,23	36,5	2,9	99,0	22,9
16/12/2022	38,5	32,7	33,4	28,2	0,25	36,8	3,0	99,0	22,9
16/12/2022	38,5	32,7	33,5	28,0	0,27	36,7	3,0	99,0	22,9
16/12/2022	38,5	32,7	33,4	28,0	0,28	36,6	3,0	99,0	22,9
16/12/2022	38,5	32,7	33,8	27,3	0,27	36,7	2,9	99,0	22,9
16/12/2022	38,5	32,7	34,1	26,7	0,24	37,1	*	99,0	22,9
16/12/2022	38,9	35,6	32,2	30,4	0,25	34,9	2,5	93,0	24,5
16/12/2022	38,9	35,6	32,5	30,0	0,23	35,3	2,6	95,0	24,5
16/12/2022	38,9	35,6	32,4	29,8	0,23	35,6	2,7	96,0	24,5
16/12/2022	38,9	35,6	32,6	29,3	0,23	35,9	2,7	97,0	24,5
16/12/2022	38,9	35,6	32,7	29,1	0,24	36,1	2,7	97,0	24,5
16/12/2022	38,9	35,6	33,0	28,9	0,24	36,2	2,8	98,0	24,5
17/03/2023	47,4	31,4	27,9	43,0	0,44	32,6	1,2	35,8	22,8
17/03/2023	47,4	31,4	28,8	41,2	0,34	32,8	1,4	46,9	22,8
17/03/2023	50,1	32,8	29,3	40,0	0,31	33,0	1,5	53,2	23,6
17/03/2023	50,1	32,8	30,1	38,0	0,25	33,3	1,7	63,8	23,6
17/03/2023	50,1	32,8	30,4	37,2	0,27	33,4	1,8	67,3	23,6
17/03/2023	50,1	32,8	30,5	36,8	0,28	33,4	1,8	68,4	23,6

17/03/2023	50,1	32,8	30,5	36,7	0,27	33,3	1,8	68,0	23,6
17/03/2023	50,1	32,8	30,3	36,9	0,27	33,2	1,8	65,9	23,6
17/03/2023	53,5	32,2	30,2	37,3	0,27	33,0	1,7	63,9	23,6
17/03/2023	53,5	32,2	30,1	37,6	0,27	32,8	1,7	63,2	23,6
17/03/2023	53,5	32,2	30,3	37,4	0,27	32,7	1,8	65,1	23,6
17/03/2023	53,5	32,2	30,4	37,2	0,26	32,8	1,8	66,5	23,6
17/03/2023	53,5	32,2	30,3	37,2	0,26	32,8	1,8	65,1	23,6
17/03/2023	53,5	32,2	30,0	37,2	0,27	32,5	1,7	61,7	23,6
17/03/2023	54,7	31,7	29,8	37,1	0,28	32,3	1,6	58,7	25,0
17/03/2023	54,7	31,7	29,8	37,0	0,29	32,2	1,7	59,4	25,0
17/03/2023	54,7	31,7	30,0	36,8	0,29	32,3	1,7	60,8	25,0
17/03/2023	54,7	31,7	30,0	36,7	0,30	32,3	1,7	60,7	25,0
17/03/2023	54,7	31,7	29,9	36,6	0,31	32,3	1,7	59,9	25,0
17/03/2023	54,7	31,7	29,8	36,4	0,32	32,2	1,6	58,3	25,0
17/03/2023	55,4	31,8	29,9	35,9	0,31	32,1	1,6	58,6	25,0
17/03/2023	55,4	31,8	29,9	35,7	0,29	32,1	1,6	58,8	25,0
17/03/2023	55,4	31,8	29,9	35,8	0,28	32,2	1,7	59,6	25,0
17/03/2023	55,4	31,8	29,8	36,2	0,29	32,2	1,6	58,7	25,0
17/03/2023	55,4	31,8	30,0	36,2	0,29	32,3	1,7	60,4	25,0

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 4 - Comparativo das temperaturas para a telha com EPS e manta



Fonte: Autoria própria (2023)

No Gráfico 4 é possível observar as 4 linhas de temperaturas que se formam sendo as temperaturas da face externa da telha de cobertura, a temperatura interna do container medido pelos HOBOS, a temperatura do confortímetro e a temperatura



externa do ar fornecido pela SIMEPAR. Verifica-se uma constância nas temperaturas observadas pelas linhas paralelas que se formam com as duas temperaturas internas. Próxima dessas linhas e também paralela está a linha da temperatura externa do ar, demonstrando a passagem de calor por condução para dentro do container.

O que se observa neste gráfico é a tendência das linhas de temperatura estarem mais na horizontal, ou seja, não se observa o acúmulo de temperatura. Inversamente proporcional a estas linhas, está a temperatura da face externa da telha de cobertura, registrando o acúmulo de temperatura e a radiação de calor que se forma sobre a superfície externa da telha e captado pelos dois leitores HOBOS instalados na cobertura, com uma diferença significativa de calor registrada pelos equipamentos de leitura, que para este modelo de isolamento é possível visualizar a eficácia na combinação de dois isolantes térmicos que juntamente tem uma maior qualidade de isolamento, conseguindo uma capacidade térmica interessante. Observa-se que o aumento de temperatura externa e interna do container ocorre de maneira constante, já a diferença entre a temperatura interna e da face externa da telha chegou a 23,55°C demonstrando a boa capacidade de isolamento do modelo utilizado.

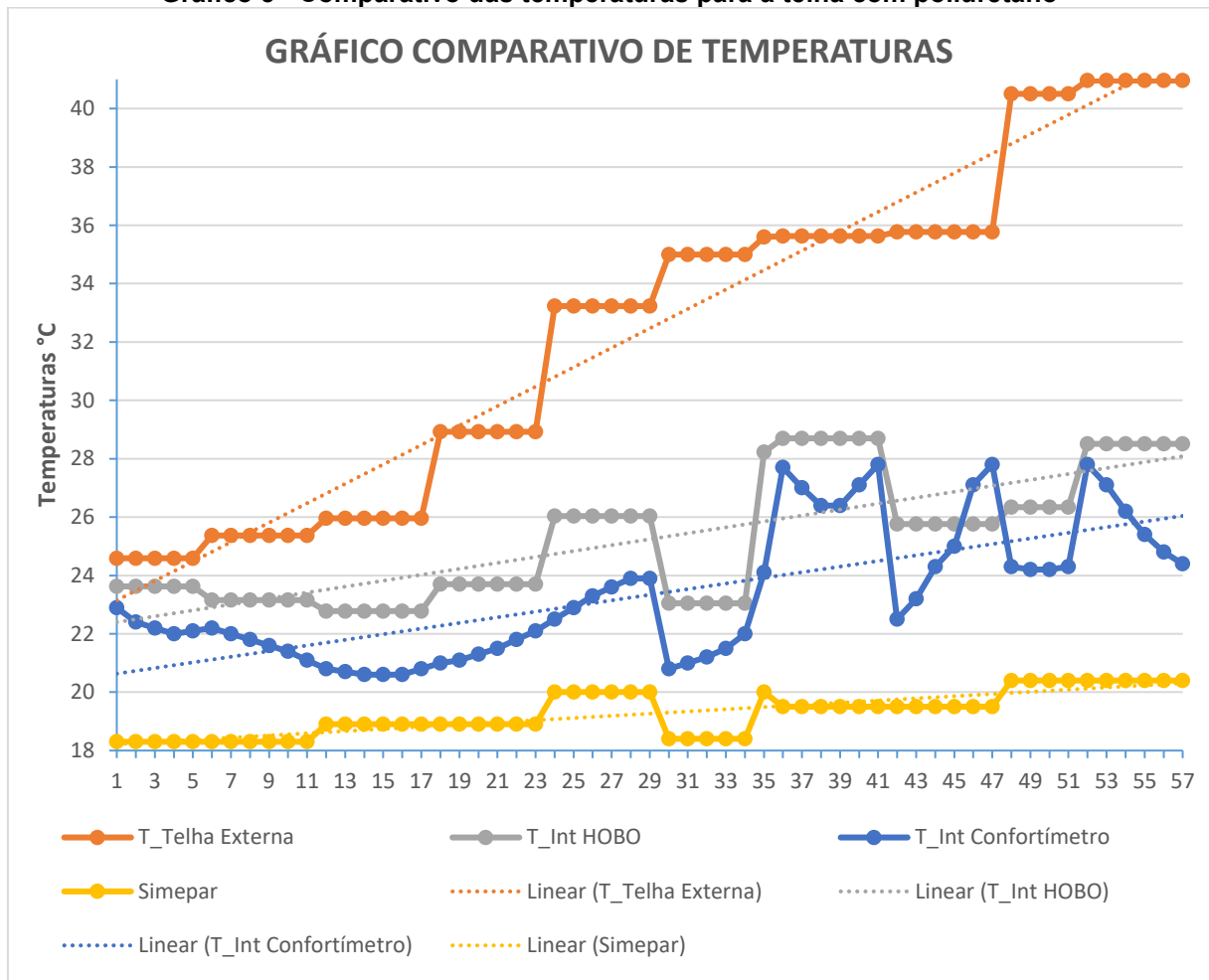
**Tabela 6 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a telha com poliuretano**

TELHA X POLI										
Dias	T_Telha Externa	T_Int HOBOS	T_Int Conf	UR	Veloc_Ar	T_Globo	PMV	PPD	Simepar	
21/12/2022	24,6	23,6	22,9	47,0	0,59	24,5	-0,5	11,0	18,3	
21/12/2022	24,6	23,6	22,4	49,0	0,47	24,4	-0,5	11,0	18,3	
21/12/2022	24,6	23,6	22,2	49,9	0,41	24,4	-0,6	11,0	18,3	
21/12/2022	24,6	23,6	22,0	51,1	0,31	24,5	-0,4	9,0	18,3	
21/12/2022	24,6	23,6	22,1	50,9	0,30	24,7	-0,4	9,0	18,3	
21/12/2022	25,4	23,2	22,2	50,5	0,32	24,9	-0,4	8,0	18,3	
21/12/2022	25,4	23,2	22,0	50,5	0,35	24,9	-0,4	8,0	18,3	
21/12/2022	25,4	23,2	21,8	50,8	0,35	24,6	-0,4	8,0	18,3	
21/12/2022	25,4	23,2	21,6	51,3	0,35	24,2	-0,4	9,0	18,3	
21/12/2022	25,4	23,2	21,4	51,9	0,35	23,9	-0,6	12,0	18,3	
21/12/2022	25,4	23,2	21,1	52,6	0,42	23,5	-0,7	16,0	18,3	
21/12/2022	26,0	22,8	20,8	53,6	0,47	23,2	-0,9	20,0	18,9	
21/12/2022	26,0	22,8	20,7	54,6	0,49	22,9	-1,1	30,0	18,9	
21/12/2022	26,0	22,8	20,6	55,2	0,46	22,8	-1,1	30,0	18,9	
21/12/2022	26,0	22,8	20,6	55,4	0,41	22,8	-1,0	26,0	18,9	
21/12/2022	26,0	22,8	20,6	55,5	0,37	22,9	-1,0	26,0	18,9	
21/12/2022	26,0	22,8	20,8	55,5	0,34	23,1	-1,0	26,0	18,9	
21/12/2022	28,9	23,7	21,0	55,3	0,35	23,3	-0,9	21,0	18,9	
21/12/2022	28,9	23,7	21,1	54,8	0,37	23,6	-0,8	20,0	18,9	

21/12/2022	28,9	23,7	21,3	54,2	0,40	23,7	-0,8	20,0	18,9
21/12/2022	28,9	23,7	21,5	53,5	0,39	2,8	-0,7	16,0	18,9
21/12/2022	28,9	23,7	21,8	52,8	0,36	24,1	-0,6	12,0	18,9
21/12/2022	28,9	23,7	22,1	52,0	0,34	24,5	-0,5	11,0	18,9
21/12/2022	33,2	26,0	22,5	51,0	0,34	25,1	-0,3	7,0	20,0
21/12/2022	33,2	26,0	22,9	50,1	0,32	25,6	-0,2	6,0	20,0
21/12/2022	33,2	26,0	23,3	49,3	0,32	26,2	-0,1	5,0	20,0
21/12/2022	33,2	26,0	23,6	48,5	0,33	26,6	0,1	5,0	20,0
21/12/2022	33,2	26,0	23,9	47,5	0,35	27,0	0,2	6,0	20,0
21/12/2022	33,2	26,0	23,9	46,6	0,36	27,1	0,2	6,0	20,0
25/04/2023	35,0	23,1	20,8	56,6	0,26	22,9	-0,4	8,3	18,4
25/04/2023	35,0	23,1	21,0	55,7	0,24	23,0	-0,3	7,3	18,4
25/04/2023	35,0	23,1	21,2	55,0	0,24	23,2	-0,3	6,8	18,4
25/04/2023	35,0	23,1	21,5	53,6	0,23	23,6	-0,2	5,8	18,4
25/04/2023	35,0	23,1	22,0	52,2	0,23	24,0	-0,1	5,4	18,4
21/12/2022	35,6	28,2	24,1	45,5	0,33	27,3	0,2	6,0	20,0
25/04/2023	35,6	28,7	27,7	36,7	0,22	30,8	1,2	33,8	19,5
25/04/2023	35,6	28,7	27,0	37,6	0,23	30,3	1,0	26,8	19,5
25/04/2023	35,6	28,7	26,4	38,8	0,23	29,5	0,9	20,9	19,5
25/04/2023	35,6	28,7	26,4	39,0	0,23	29,1	0,9	21,2	19,5
25/04/2023	35,6	28,7	27,1	37,8	0,22	29,5	1,0	28,4	19,5
25/04/2023	35,6	28,7	27,8	36,5	0,23	30,2	1,2	34,8	19,5
25/04/2023	35,8	25,8	22,5	50,6	0,23	24,5	0,0	5,3	19,5
25/04/2023	35,8	25,8	23,2	48,7	0,23	25,2	0,2	6,1	19,5
25/04/2023	35,8	25,8	24,3	45,9	0,23	26,2	0,4	9,8	19,5
25/04/2023	35,8	25,8	25,0	42,5	0,23	27,6	0,7	18,2	19,5
25/04/2023	35,8	25,8	27,1	39,2	0,23	29,2	1,0	28,9	19,5
25/04/2023	35,8	25,8	27,8	37,2	0,22	30,5	1,2	35,4	19,5
25/04/2023	40,5	26,3	24,3	44,1	0,27	26,2	0,4	8,1	20,4
25/04/2023	40,5	26,3	24,2	45,0	0,27	26,0	0,4	8,1	20,4
25/04/2023	40,5	26,3	24,2	45,8	0,26	26,0	0,4	8,1	20,4
25/04/2023	40,5	26,3	24,3	46,0	0,26	26,1	0,4	8,5	20,4
25/04/2023	41,0	28,5	27,8	36,3	0,24	30,5	1,2	34,5	20,4
25/04/2023	41,0	28,5	27,1	37,3	0,26	29,9	1,0	26,9	20,4
25/04/2023	41,0	28,5	26,2	39,1	0,27	28,9	0,8	18,6	20,4
25/04/2023	41,0	28,5	25,4	41,0	0,27	27,9	0,6	13,1	20,4
25/04/2023	41,0	28,5	24,8	42,5	0,28	27,1	0,5	10,0	20,4
25/04/2023	41,0	28,5	24,4	43,4	0,28	26,6	0,4	8,6	20,4

Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 5 - Comparativo das temperaturas para a telha com poliuretano



Fonte: Autoria própria (2023)

No Gráfico 5 é possível observar as 4 linhas de temperaturas que se formam sendo as temperaturas da face externa da telha de cobertura, a temperatura interna do container medido pelos HOBO's, a temperatura do confortímetro e a temperatura externa do ar fornecido pela SIMEPAR. Verifica-se uma constância nas linhas das leituras das temperaturas, ficando paralelas ao longo do gráfico. Logo abaixo está a linha da temperatura externa do ar, que ao longo do gráfico se distancia da temperatura interna do container demonstrando a passagem de calor por condução para dentro do container demonstrando a capacidade menor de isolamento se comparado com o gráfico anterior, porém o modelo utilizado possuiu uma boa capacidade de isolamento.

Verifica-se o crescimento da linha da temperatura da face externa da telha de cobertura, registrando o acúmulo de temperatura e a radiação de calor que se forma sobre a superfície externa da telha e captado pelos dois leitores HOBO's instalados na cobertura, com uma diferença significativa de calor registrada pelos equipamentos

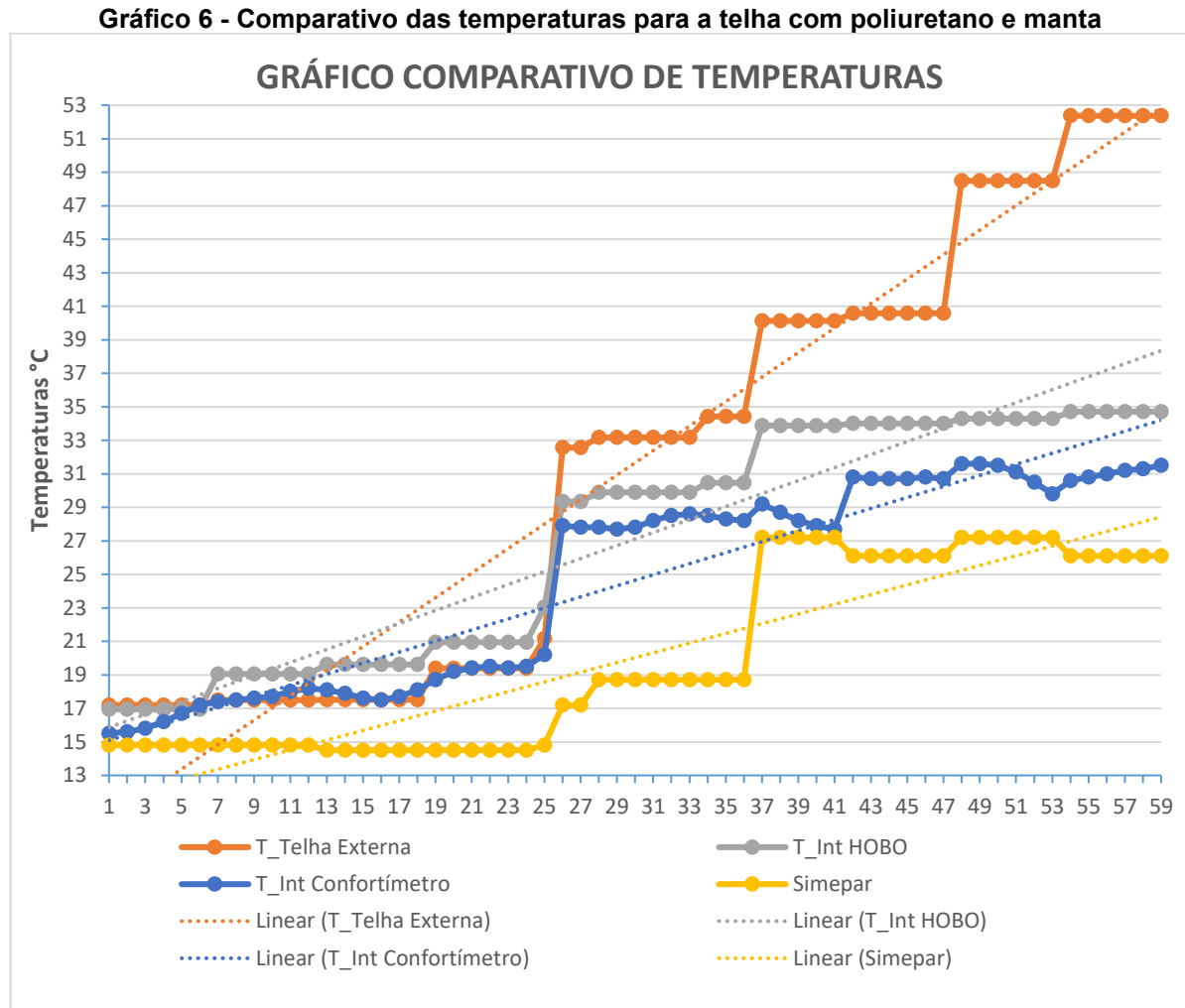
de leitura, que para este modelo de isolamento é possível visualizar a boa capacidade do isolante térmico do material.

**Tabela 7 - Resultados de temperaturas e conforto utilizando a telha com poliuretano e manta**

TELHA X POLI X MANTA									
Dias	T_Telha Externa	T_Int HOBO	T_Int Conf	UR	Veloc_Ar	T_Globo	PMV	PPD	Simepar
28/04/2023	17,2	17,0	15,5	74,5	0,23	18,2	-1,5	51,9	14,8
28/04/2023	17,2	17,0	15,6	74,2	0,21	18,2	-1,5	48,5	14,8
28/04/2023	17,2	17,0	15,8	73,7	0,20	18,3	-1,4	45,8	14,8
28/04/2023	17,2	17,0	16,2	72,3	0,20	18,6	-1,3	40,3	14,8
28/04/2023	17,2	17,0	16,7	70,0	0,20	19,1	-1,2	35,3	14,8
28/04/2023	17,2	17,0	17,2	67,8	0,22	19,5	-1,1	31,9	14,8
28/04/2023	17,5	19,0	17,4	66,7	0,22	19,9	-1,1	29,9	14,8
28/04/2023	17,5	19,0	17,5	66,5	0,22	20,0	-1,1	29,3	14,8
28/04/2023	17,5	19,0	17,6	66,1	0,22	20,1	-1,0	28,3	14,8
28/04/2023	17,5	19,0	17,7	65,3	0,23	20,2	-1,0	27,1	14,8
28/04/2023	17,5	19,0	18,0	64,0	0,23	20,4	-1,0	25,2	14,8
28/04/2023	17,5	19,0	18,2	62,8	0,24	20,6	-1,0	24,4	14,8
28/04/2023	17,5	19,6	18,1	62,1	0,25	20,7	-1,0	25,3	14,5
28/04/2023	17,5	19,6	17,9	62,3	0,26	20,6	-1,0	28,4	14,5
28/04/2023	17,5	19,6	17,6	62,9	0,26	20,3	-1,1	31,2	14,5
28/04/2023	17,5	19,6	17,5	63,2	0,26	20,0	-1,1	32,6	14,5
28/04/2023	17,5	19,6	17,7	62,4	0,26	20,0	-1,1	30,7	14,5
28/04/2023	17,5	19,6	18,1	60,7	0,25	20,3	-1,0	26,2	14,5
28/04/2023	19,4	21,0	18,7	58,7	0,25	20,8	-0,9	21,0	14,5
28/04/2023	19,4	21,0	19,2	56,8	0,25	21,4	-0,8	17,4	14,5
28/04/2023	19,4	21,0	19,4	55,6	0,27	21,7	-0,7	16,7	14,5
28/04/2023	19,4	21,0	19,5	54,9	0,27	22,0	-0,7	16,4	14,5
28/04/2023	19,4	21,0	19,4	54,8	0,27	22,0	-0,7	16,7	14,5
28/04/2023	19,4	21,0	19,5	54,7	0,27	22,1	-0,7	15,8	14,5
28/04/2023	21,2	23,1	20,2	52,9	0,26	22,5	-0,6	12,6	14,8
30/12/2022	32,6	29,3	27,9	30,0	0,51	30,2	1,0	28,0	17,2
30/12/2022	32,6	29,3	27,8	29,5	0,40	30,3	1,2	33,0	17,2
30/12/2022	33,2	29,9	27,8	29,5	0,36	30,3	1,0	28,0	18,7
30/12/2022	33,2	29,9	27,7	29,5	0,29	30,4	1,1	31,0	18,7
30/12/2022	33,2	29,9	27,8	29,6	0,28	30,4	1,1	31,0	18,7
30/12/2022	33,2	29,9	28,2	29,5	0,26	30,6	1,2	36,0	18,7
30/12/2022	33,2	29,9	28,5	29,3	0,25	30,9	1,3	40,0	18,7
30/12/2022	33,2	29,9	28,6	29,4	0,27	31,1	1,4	43,0	18,7
30/12/2022	34,4	30,5	28,5	29,8	0,27	31,1	1,4	44,0	18,7
30/12/2022	34,4	30,5	28,3	30,3	0,29	31,0	1,4	44,0	18,7
30/12/2022	34,4	30,5	28,2	30,8	0,29	30,9	1,4	44,0	18,7
31/03/2023	40,1	33,9	29,2	37,0	0,28	31,3	1,5	51,2	27,2
31/03/2023	40,1	33,9	28,7	38,2	0,28	30,6	1,4	44,5	27,2
31/03/2023	40,1	33,9	28,2	38,9	0,28	30,0	1,3	38,8	27,2
31/03/2023	40,1	33,9	27,9	39,3	0,27	29,6	1,2	35,4	27,2

31/03/2023	40,1	33,9	27,7	39,5	0,26	29,4	1,2	34,0	27,2
31/03/2023	40,6	34,0	30,8	33,2	0,45	33,7	1,8	69,2	26,1
31/03/2023	40,6	34,0	30,7	33,6	0,39	33,4	1,8	67,5	26,1
31/03/2023	40,6	34,0	30,7	33,7	0,36	33,3	1,8	67,8	26,1
31/03/2023	40,6	34,0	30,7	33,6	0,32	33,1	1,8	68,8	26,1
31/03/2023	40,6	34,0	30,8	33,5	0,32	33,1	1,8	69,2	26,1
31/03/2023	40,6	34,0	30,7	33,4	0,31	33,0	1,8	68,5	26,1
31/03/2023	48,5	34,3	31,6	32,1	0,26	33,9	2,0	78,4	27,2
31/03/2023	48,5	34,3	31,6	32,2	0,27	33,9	2,0	78,1	27,2
31/03/2023	48,5	34,3	31,5	32,4	0,26	33,8	2,0	77,0	27,2
31/03/2023	48,5	34,3	31,1	32,9	0,26	33,4	1,9	73,0	27,2
31/03/2023	48,5	34,3	30,5	33,9	0,27	32,8	1,8	66,7	27,2
31/03/2023	48,5	34,3	29,8	35,4	0,28	32,0	1,6	58,5	27,2
31/03/2023	52,4	34,7	30,6	33,6	0,32	32,8	1,8	66,8	26,1
31/03/2023	52,4	34,7	30,8	33,1	0,32	32,8	1,8	69,2	26,1
31/03/2023	52,4	34,7	31,0	32,7	0,33	33,0	1,9	71,7	26,1
31/03/2023	52,4	34,7	31,2	32,4	0,31	33,3	2,0	74,4	26,1
31/03/2023	52,4	34,7	31,3	32,4	0,29	33,6	2,0	75,7	26,1
31/03/2023	52,4	34,7	31,5	32,3	0,26	33,7	2,0	77,5	26,1

**Fonte: Autoria própria (2023)**



No Gráfico 6 é possível observar as 4 linhas de temperaturas que se formam sendo as temperaturas da face externa da telha de cobertura, a temperatura interna do container medido pelos HOB0's, a temperatura do confortímetro e a temperatura externa do ar fornecido pela SIMEPAR. Observa-se nestas leituras diferentes das leituras anteriores é que tem-se temperaturas do ar baixas em um dia de leitura e em outro dia de leitura temperaturas mais altas, podendo ser verificado na linha dos dados fornecidos para SIMEPAR. As linhas da temperatura do ar externo, e da temperatura interna se mantiveram paralelas ao longo do gráfico, não havendo o acúmulo de temperatura e demonstrando a passagem de calor por condução para dentro do container. Inversamente proporcional a estas linhas, está a temperatura da face externa da telha de cobertura, registrando o acúmulo de temperatura e a radiação de calor que se forma sobre a superfície externa da telha e captado pelos dois leitores HOB0's instalados na cobertura, com uma diferença significativa de calor registrada pelos equipamentos de leitura, que para este modelo de isolamento é possível

visualizar a eficácia na combinação de dois isolantes térmicos que juntamente tem uma maior qualidade de isolamento, conseguindo uma capacidade térmica de maior potencial. Observa-se que a variação da temperatura externa e interna do container é constante, sem que exista o aumento na diferença destas temperaturas, diferente disso a amplitude térmica entre a temperatura interna e da face externa da telha de cobertura chegou a 17,66°C demonstrando a boa capacidade de isolamento do modelo utilizado.

Observa-se pelos resultados obtidos que o desempenho térmico dos seis modelos de telhas de aço galvanizado utilizados se apresenta de maneira diferente em virtude dos materiais isolantes utilizados, podendo-se dizer que 3 modelos de cobertura utilizados no experimento não têm boa capacidade de isolamento térmico por outro lado, as telhas conforme vão se alterando os materiais isolantes, vai-se observando a capacidade maior de isolação de um material ou um conjunto de material do outro.

Os resultados mostram que a telha simples sem qualquer material isolante, a telha acrescida a manta aluminizada e a telha somente com o EPS, possuem uma capacidade de isolamento muito baixa ou nenhum visto que as temperaturas conforme vão aumentando na superfície externa da telha de cobertura, também vai aumentando na região interna do container, fazendo com que as linhas de temperatura nos gráficos apresentado fiquem praticamente paralelas nos 3 modelos de telhas utilizados.

No modelo de telhas acrescido EPS combinado com a manta aluminizada, já é possível observar uma maior capacidade de isolamento visto que as linhas de temperaturas nos gráficos vão se distanciando, ou seja a temperatura da face externa da telha aumenta significativamente enquanto a temperatura média interna do container vai subindo em uma proporção menor.

De uma maneira menos eficiente esse isolamento é observado no modelo de telha somente com poliuretano, onde o modelo tem capacidade boa de isolamento térmico.

De uma forma semelhante ao modelo de telha com EPS e manta, o modelo de telha com poliuretano e manta, apresentou uma capacidade alta de isolamento, verificado no gráfico um distanciamento das linhas de temperatura interna com relação à temperatura na face externa da telha. Verifica-se pelos gráficos, que no ponto mais alto da temperatura da face externa que o isolamento da telha fez com que a

temperatura interna se manteve na faixa de 20 graus abaixo do que a temperatura da face externa da telha.

Os resultados demonstram que as diferentes camadas de materiais isolantes que foram utilizadas nas telhas de cobertura do container, auxiliam no seu desempenho térmico e ainda que a combinação dos materiais isolantes potencializa essa capacidade de isolamento.

#### **4.2 Conforto térmico das telhas**

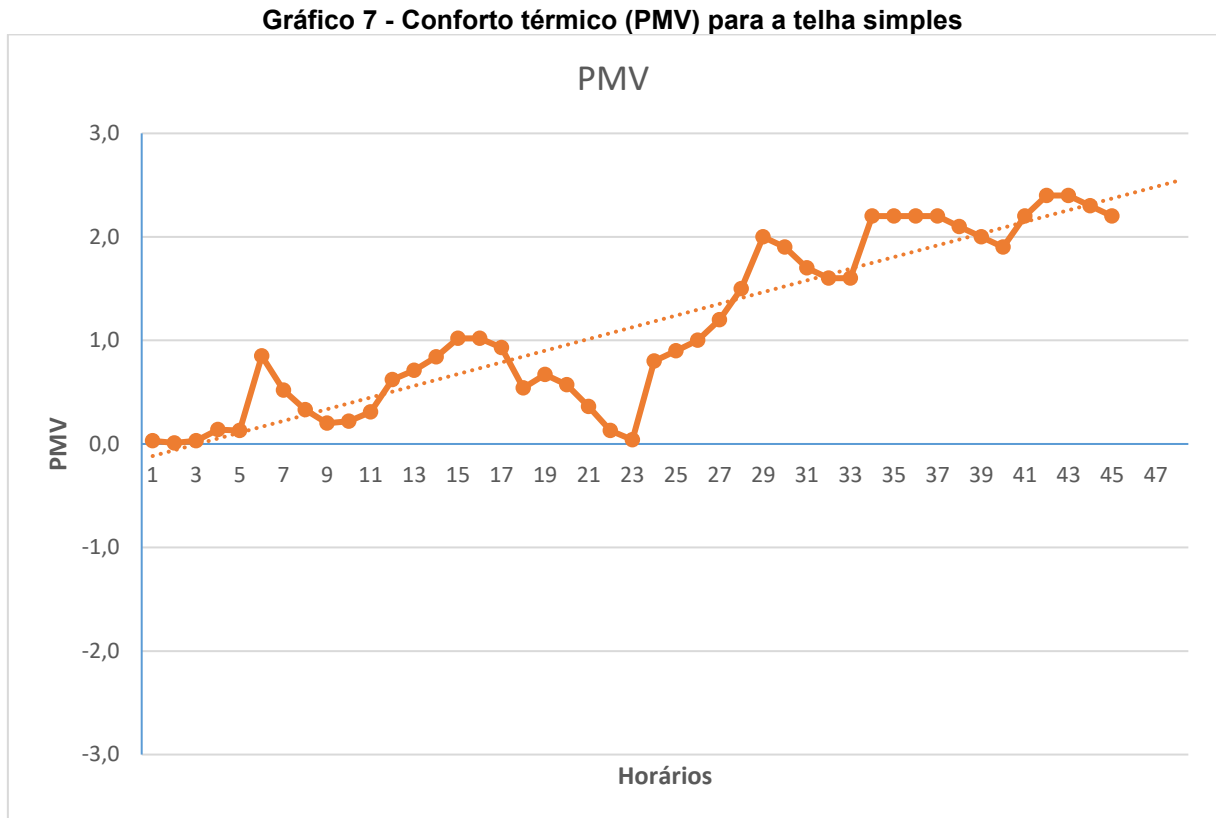
Observa-se pelos resultados obtidos que o desempenho térmico dos seis modelos de telhas de aço galvanizado utilizados se apresenta insatisfatório em relação ao conforto térmico dos usuários, visto que as temperaturas internas do container, nos horários mais quentes do dia, encontram-se fora da faixa de conforto sugerida pela norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004). Atribui-se a este resultado a baixa inércia térmica do aço galvanizado e sua alta capacidade de absorção da radiação solar apresentando-se ineficiente em relação à capacidade de retardar a condução do calor para o interior do container, corroborado pelas paredes laterais que são de chapas de aço sem qualquer isolamento, sendo a face externa com pintura preta, sendo a pintura uma barreira ineficaz para retardar o calor proveniente da radiação solar.

Tem-se em 3 modelos de cobertura uma baixa ou nenhuma capacidade de isolamento térmica, que são a telha simples, telha composta com manta e telha com o poliestireno (EPS), observado pelos dados obtidos e verificados nos gráficos apresentados, com estes modelos tem-se as temperaturas internas muito próximas das temperaturas da face externa da telha de cobertura, mostrando que ocorreu a transferência de calor alcançando internamente temperaturas muito altas.

Observa-se que em outros 3 modelos de cobertura, utilizando-se uma combinação de isolantes térmicos ou somente com um tipo, que são eles: telha com EPS e manta, telha com poliuretano e telha com poliuretano e manta, que é possível se obter uma capacidade maior de isolamento térmico e com isso obtém-se também em algumas faixas de temperatura o conforto térmico desejado para os usuários que poderão estar utilizando o equipamento de container para abrigos temporários ou para atividades de comércio ou de trabalho.

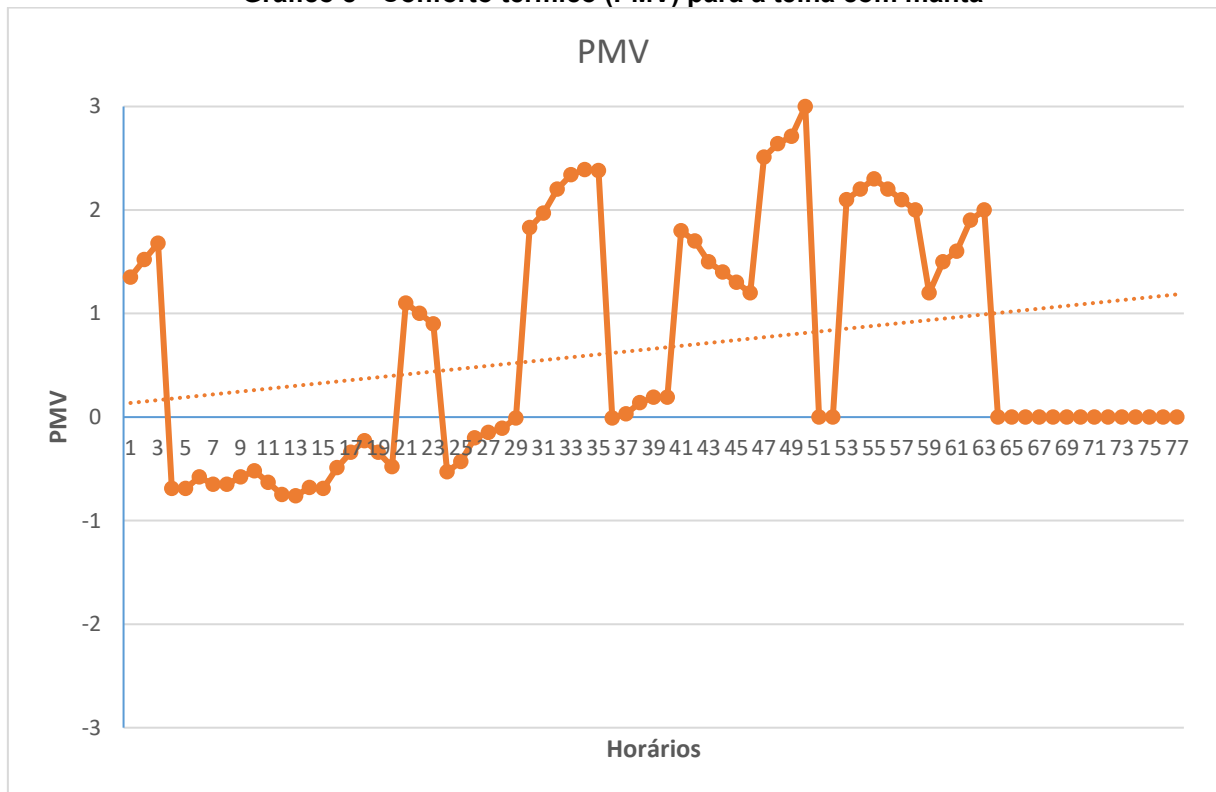


Para esta discussão, foram levantados com o confortímetro e já apresentado em tabelas anteriores dados que agora serão analisados com os gráficos apresentados para cada modelo de telha utilizado no experimento.



No Gráfico 7, de conforto com a utilização do modelo de cobertura com telha simples, verifica-se que todos os pontos tiveram o conforto térmico ou o desconforto por calor, demonstrando que em todas as medidas a temperatura interna do container estava elevada. Nos pontos que estão dentro da faixa do conforto verifica-se que a temperatura interna estava semelhante a temperatura externa, temperatura que se encontra dentro da faixa do conforto térmico. Verifica-se também nos dados apresentados que a umidade relativa do ar no momento das medições e nos pontos de conforto térmico estavam mais altas do que as medições fora da faixa de conforto, sendo essas umidades relativa do ar bem baixas.

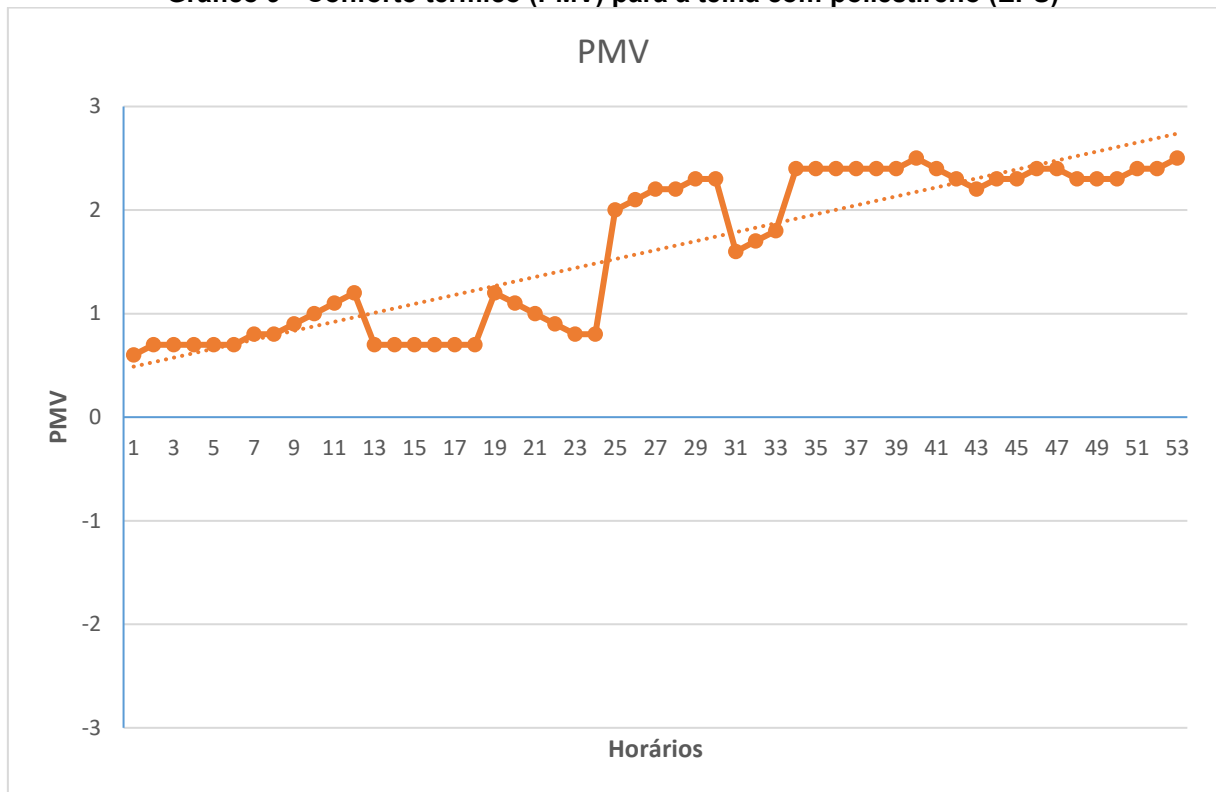
Gráfico 8 - Conforto térmico (PMV) para a telha com manta



Fonte: Autoria própria (2023)

Acima tem-se o Gráfico 8, de conforto térmico com a utilização do modelo de cobertura com telha com a utilização de manta aluminizada como isolante térmico, verifica-se que a maioria dos pontos da medição tiveram o conforto térmico ou o desconforto por calor, este em maior quantidade, demonstrando que na maior parte das medições a temperatura interna do container estava elevada. Os pontos que estão dentro da faixa do conforto verifica-se que a temperatura interna estava semelhante a temperatura externa, temperatura que se encontra dentro da faixa do conforto térmico. Verifica-se também nos dados apresentados que a umidade relativa do ar foi diminuindo em contrapartida da temperatura interna que foi aumentando, em conjunto com o desconforto térmico também aumentando por temperaturas elevadas.

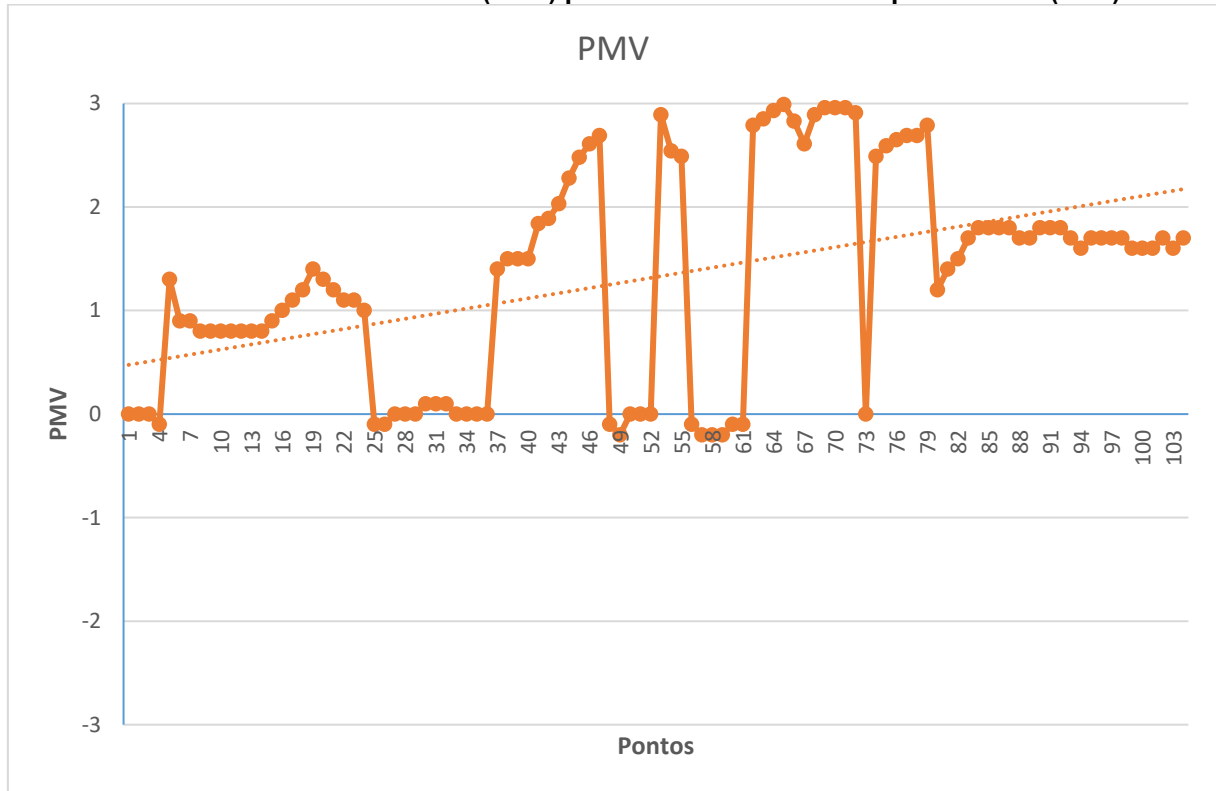
**Gráfico 9 - Conforto térmico (PMV) para a telha com poliestireno (EPS)**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Acima, tem-se o Gráfico 9 de conforto térmico com a utilização do modelo de cobertura com telha acrescida de poliestireno (EPS) como material de isolante térmico, verifica-se que a todos os pontos da medição tiveram sua medição em desconforto térmico por calor, demonstrando que em todas as medições a temperatura interna do container estava elevada. Os pontos que estão mais próximos do ponto de conforto térmico apresentam uma umidade relativa de 60%, sendo que com a queda desta umidade, vai percebendo que o desconforto por calor vai aumentando e se acentua até o final das medições no gráfico de conforto térmico.

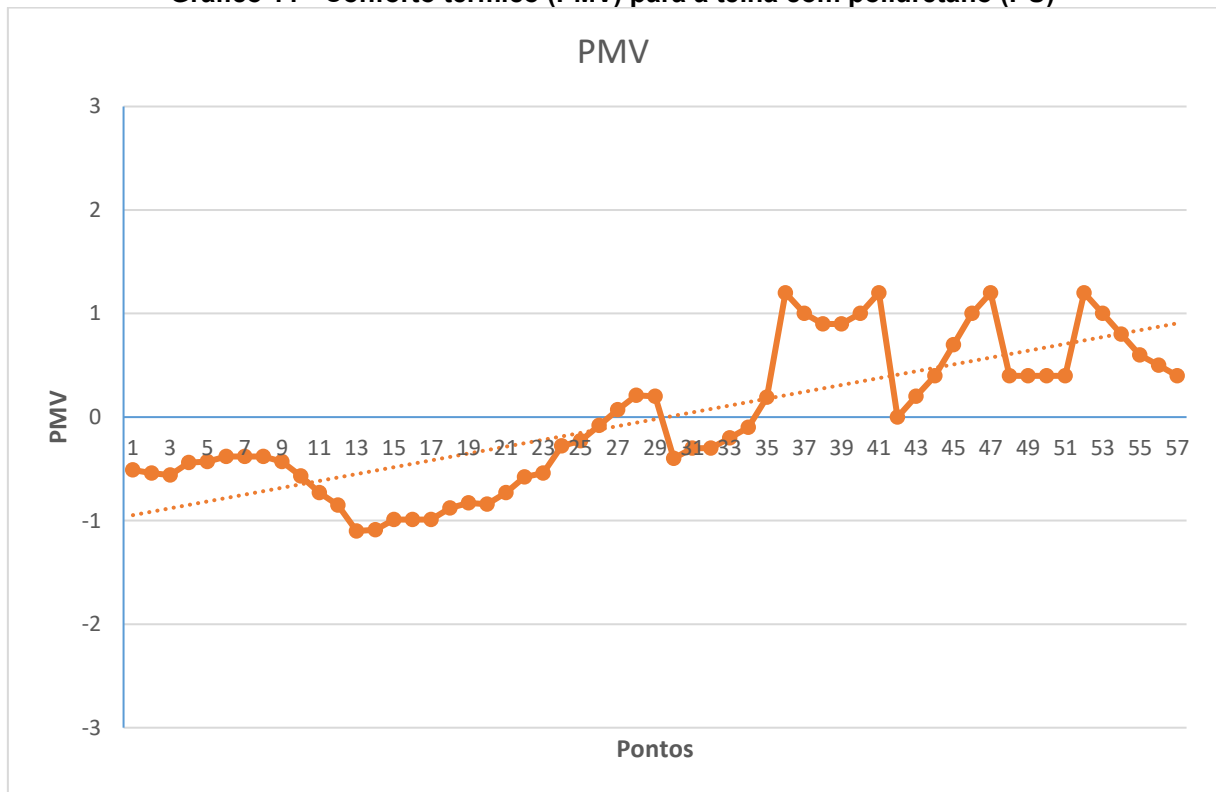
Gráfico 10 - Conforto térmico (PMV) para a telha com manta e poliestireno (EPS)



Fonte: Autoria própria (2023)

No gráfico de conforto térmico com a utilização do modelo de cobertura com telha acrescido de poliestireno (EPS) e manta aluminizada, verifica-se que alguns pontos estão dentro da faixa de conforto térmico, mas a grande maioria encontra-se fora da faixa de conforto, sendo a maioria das medições com desconforto por calor, observa-se nas tabelas as temperaturas um pouco elevadas internamente, verifica-se também que as medições de umidade relativa do ar em sua grande maioria registraram umidades baixas. Com uma temperatura externa muito alta e a temperatura interna ficando em torno de 20° C a baixo da externa verifica-se o desconforto por calor em com uma tendência de crescimento ao longo do gráfico.

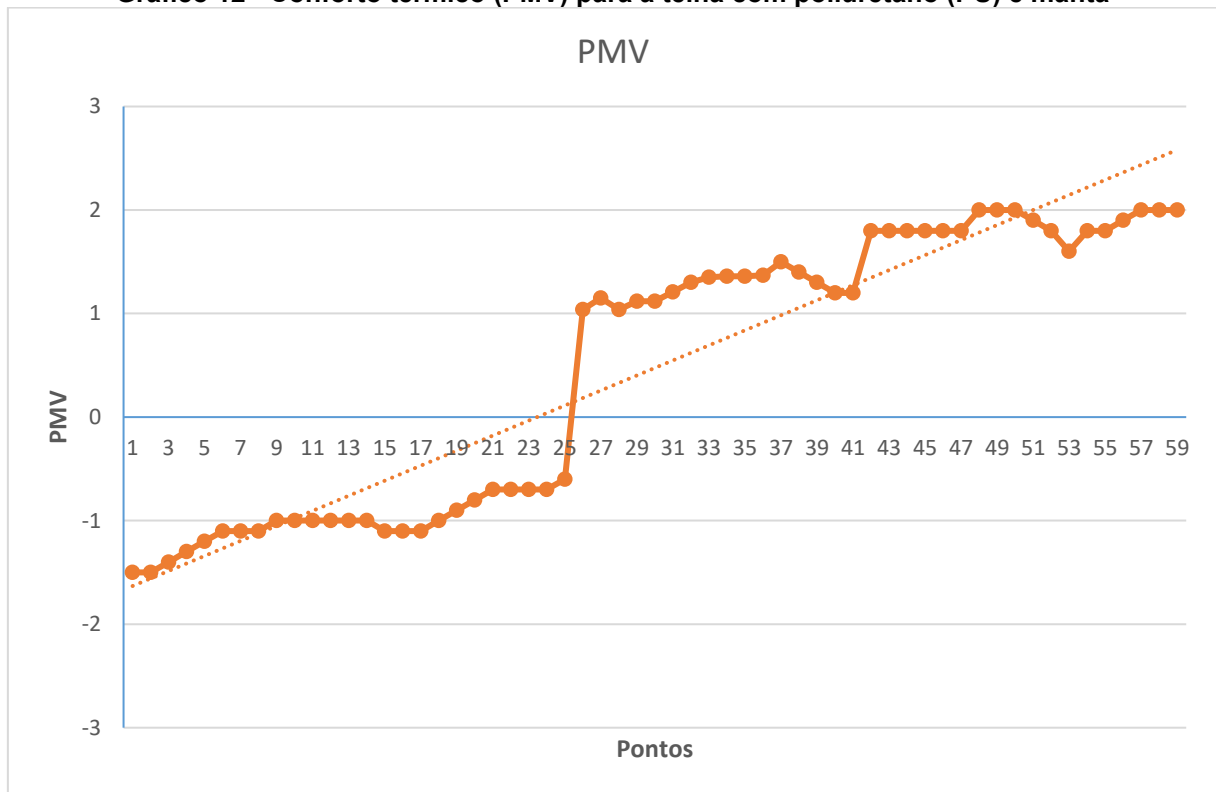
Gráfico 11 - Conforto térmico (PMV) para a telha com poliuretano (PU)



Fonte: Autoria própria (2023)

No Gráfico 11 com o modelo de cobertura com telha e isolante térmico de poliuretano (PU), tem-se o gráfico de conforto térmico com grande quantidade de ponto dentro da faixa de conforto térmico. Com as faixas de desconforto variando em desconforto por frio e calor, verifica-se que a temperatura interna do container se manteve baixa mesmo com uma variação de temperatura na superfície do container de 12°C, demonstrando uma capacidade de grande de isolamento o qual manteve o gráfico de conforto mais próximo das faixas de conforto. Verifica-se também nos dados apresentados que a umidade relativa do ar se apresentou muito próximo dos 50% o que ajudou a manter o gráfico do conforto térmico próximo do ideal, variando em alguns momentos para umidades menores o que ocasionou o desvio no gráfico de conforto térmico.

**Gráfico 12 - Conforto térmico (PMV) para a telha com poliuretano (PU) e manta**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

No Gráfico 12 com o modelo de cobertura com telha e isolante térmico de poliuretano (PU) acrescido de manta aluminizada, tem-se o gráfico de conforto térmico com todos os pontos fora da faixa de conforto térmico.

Analisando o gráfico com a tabela de dados é que nos dias de levantamento dos dados a temperatura externa ou estava muito baixa, ou estava muito alta, fazendo com que o gráfico do conforto tivesse um comportamento atípico para este modelo de telha, onde para o mesmo foi verificado uma capacidade de isolamento térmica muito alta. Verifica-se também com relação a umidade relativa do ar é que se teve umidades altas em dias mais frios e umidades baixas quando registrado temperaturas menores, mas em nenhum momento registrado pelos leitores o conforto térmico adequado para o usuário. Sendo assim leva-se a pensar que outros procedimentos de isolamentos devem ser verificados para a utilização de container que não somente o isolamento de cobertura, o que não faz parte deste estudo.

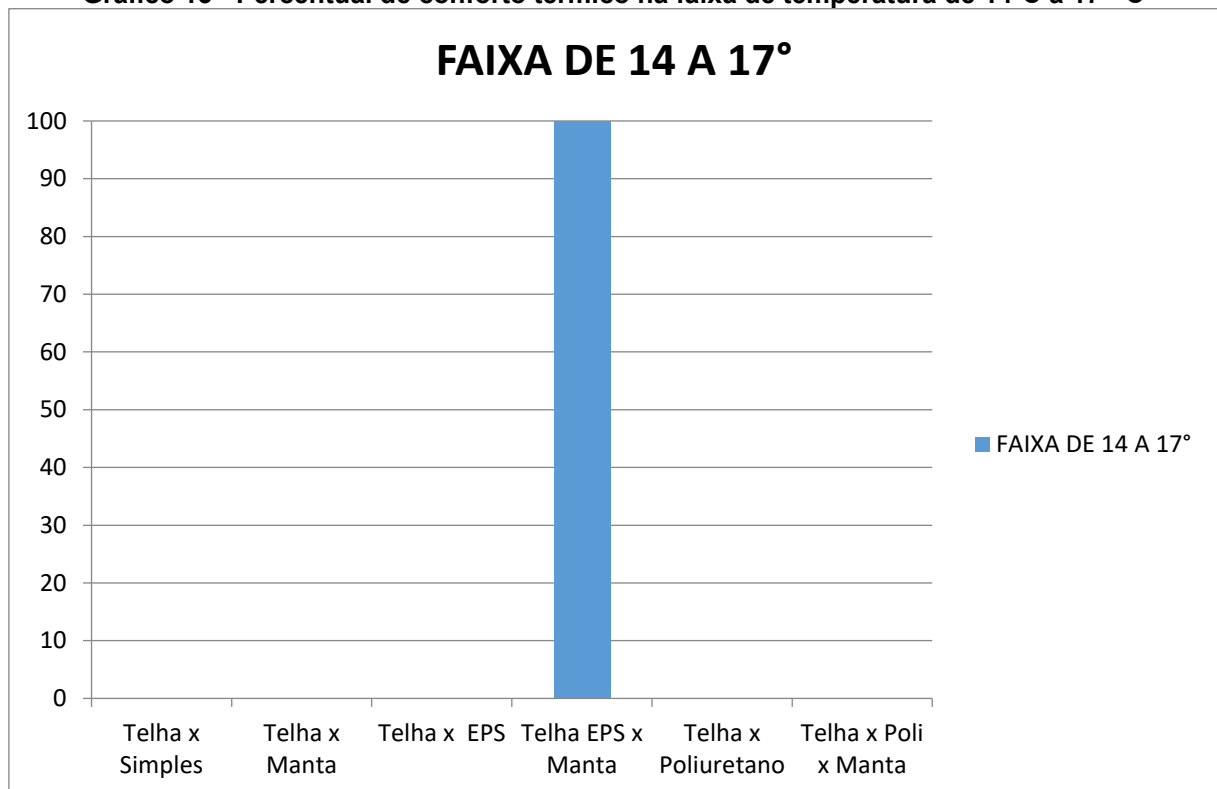
Com os gráficos apresentados para os seis modelos de telhas utilizados no estudo, é possível verificar nos pontos de PMV coletados do confortímetro, que na maioria das medições os pontos se distanciam bastante do ponto central, e do ponto de conforto térmico, entre -0,5 e 0,5. Observa-se também que a telha de poliuretano

com manta não apresentou nas medições o conforto térmico, porém verifica-se pelo gráfico a grande capacidade de isolamento deste material. Verifica-se nas medições feitas que a temperatura externa do Container, nos dias de medição onde estava sendo utilizado o modelo de cobertura de telha com poliuretano e manta temperaturas baixas ou temperaturas altas, fora da zona de conforto térmico. Semelhante ao modelo de telhas composto com o isolante térmico de poliestireno (EPS) acrescido de manta aluminizada que nas medições de temperatura, o conjunto utilizado apresenta uma grande capacidade de isolamento térmico, podendo ser observado nas tabelas e no gráfico, em contrapartida o modelo utilizado apresenta poucas faixas dentro do conforto térmico.

Para uma comparação gráfica de todos os seis modelos de telhas utilizados no estudo, foi feito um demonstrativo com base em uma determinada faixa de temperatura e o percentual de conforto térmico de cada modelo de telha utilizada, explorado no Gráfico 13.

Em todos os registros as leituras das temperaturas externas, dados fornecidos pela SIMEPAR, as temperaturas ficaram entre 14°C e 26°.

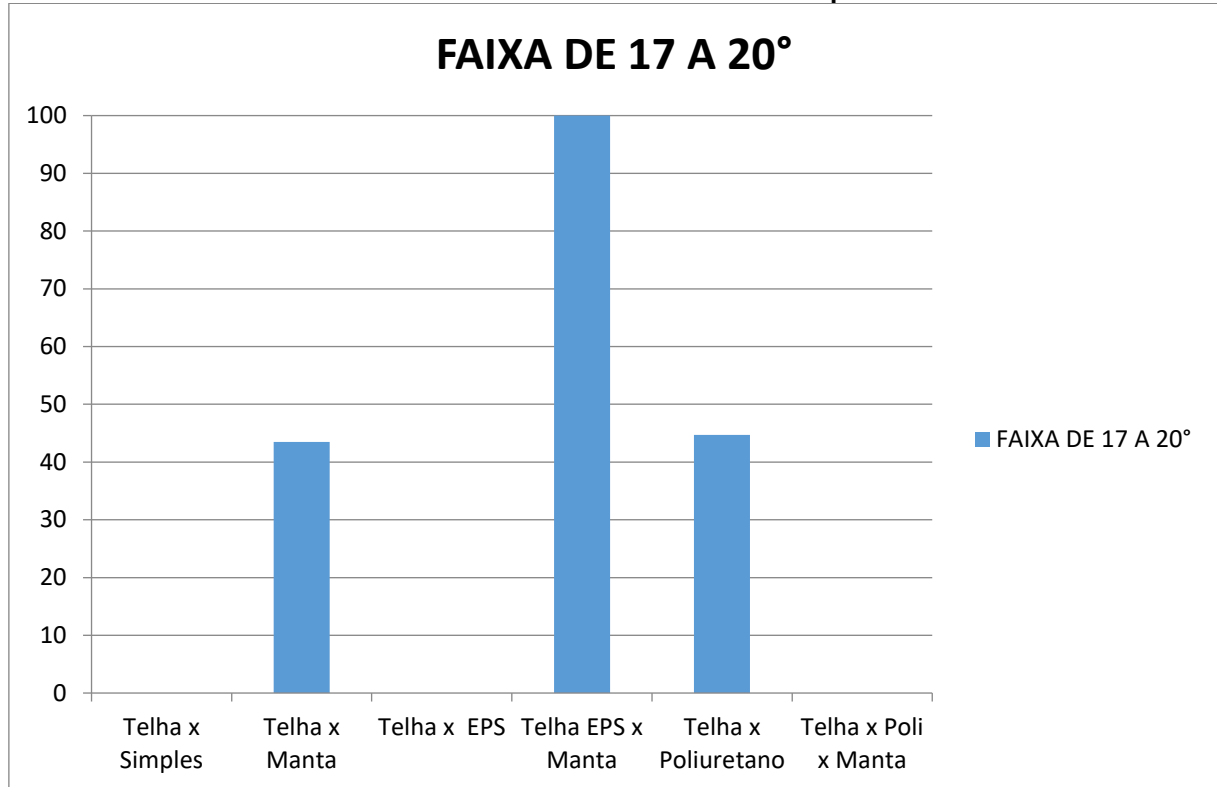
**Gráfico 13 - Percentual de conforto térmico na faixa de temperatura de 14°C à 17 ° C**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

No Gráfico 13 do percentual de conforto térmico dos seis modelos de telhas utilizados na cobertura do container, na faixa de temperatura entre 14°C e 17°C demonstra que para a temperatura externa medida o conforto térmico se apresentou em apenas um modelo de telha atingindo a faixa de 100% de conforto térmico, as demais telhas não apresentaram conforto térmico para esta faixa de temperatura.

**Gráfico 14 - Percentual de conforto térmico na faixa de temperatura de 17°C à 20 ° C**

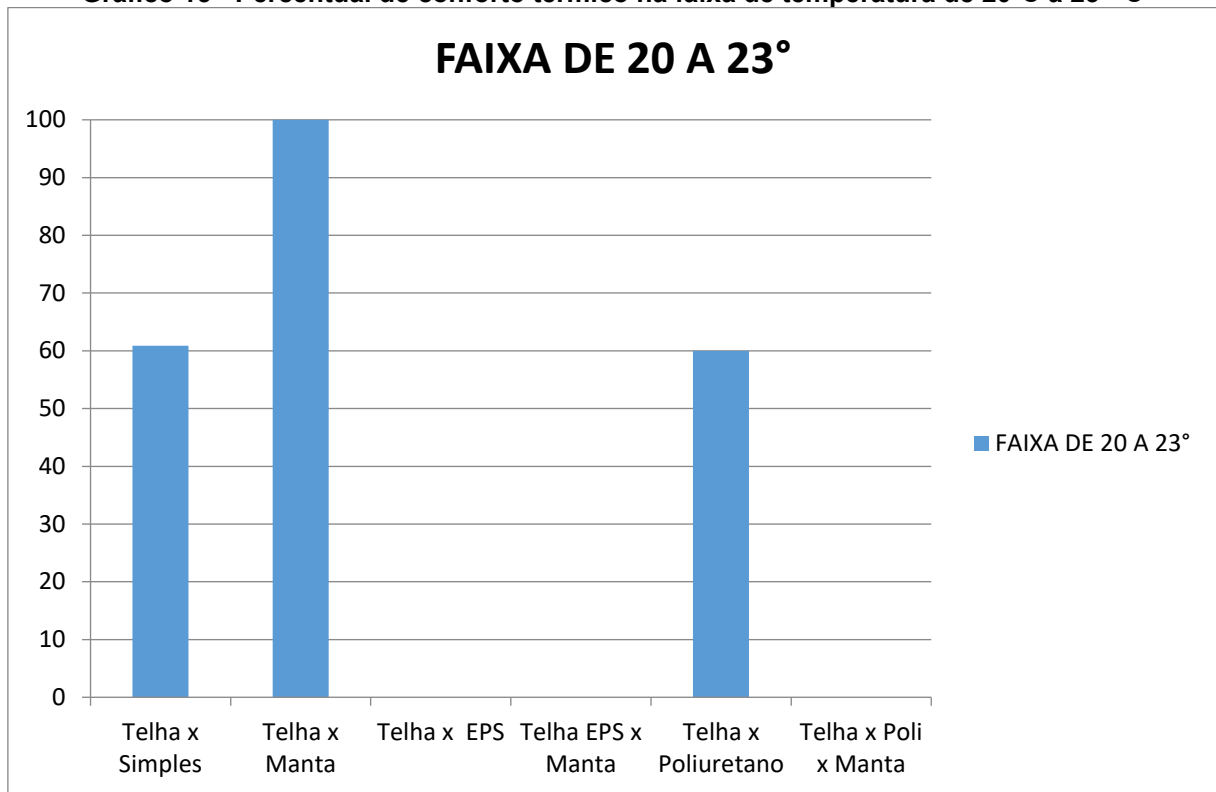


**Fonte: Autoria própria (2023)**

No Gráfico 14 tem-se o percentual de conforto térmico para os seis modelos de telhas utilizados na cobertura do container na faixa de temperatura entre 17°C e 20°C, onde já apresenta três modelos de telhas utilizados nas medições. O conforto térmico foi verificado em uma porcentagem de 100% o modelo de telha acrescido de poliestireno (EPS) e manta e com 45% para o outros dois modelos de telhas sendo eles: telha e manta aluminizada e telha com poliuretano, as demais telhas não apresentaram conforto térmico para esta faixa de temperatura.



Gráfico 15 - Percentual de conforto térmico na faixa de temperatura de 20°C à 23 ° C



**Fonte: Autoria própria (2023)**

No Gráfico 15 tem-se o percentual de conforto térmico para os seis modelos de telhas utilizados na cobertura do container na faixa de temperatura entre 20°C e 23°C, onde já apresenta três modelos de telhas utilizados nas medições. O conforto térmico foi verificado em uma porcentagem de 100% o modelo de telha acrescido de manta aluminizada. A telha com poliuretano apresentou 60% de porcentagem de conforto e aqui aparece a telha simples, sem qualquer tipo de isolamento térmico, apresentado conforto térmico.

O que pode se entender para esta medição é que no momento da medição com o confortímetro a temperatura interna do container estava dentro das medidas de conforto além de outros fatores como a umidade relativa do ar. A temperatura interna do ambiente se comporta de maneira acumulativa durante o dia, período em que recebe calor do sol, embora se tenha a mesma temperatura externa durante todo o dia, a absorção deste calor e a passagem do mesmo por condução para a parte interna do container pode ocasionar estas diferentes medições.

Gráfico 16 - Percentual de conforto térmico na faixa de temperatura de 23°C à 26 ° C



**Fonte: Autoria própria (2023)**

No Gráfico 16 do percentual de conforto térmico dos seis modelos de telhas utilizados na cobertura do container, na faixa de temperatura entre 23°C e 26°C demonstra que para a temperatura externa medida o conforto térmico não foi encontrado para nenhum modelo de telha utilizado na cobertura do container, demonstrando que para um temperatura um pouco mais acentuada, para este tipo de estrutura apenas a cobertura com isolamento não seria suficiente para garantir o conforto interno do usuário.

Gráfico 17 - Percentual de conforto térmico na faixa de temperatura de 26°C à 29 ° C



**Fonte: Autoria própria (2023)**

No Gráfico 17 do percentual de conforto térmico dos seis modelos de telhas utilizados na cobertura do container, na faixa de temperatura entre 23°C e 26°C demonstra que para a temperatura externa medida o conforto térmico não foi encontrado para nenhum modelo de telha utilizado na cobertura do container, demonstrando que para um temperatura um pouco mais acentuada, para este tipo de estrutura apenas a cobertura com isolamento não seria suficiente para garantir o conforto interno do usuário.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência que o uso dos diferentes tipos de isolamento térmicos em coberturas metálicas exerce sobre o desempenho térmico, que impacta diretamente sobre o conforto térmico dos ocupantes em estruturas do tipo container.

Para tanto, uma pesquisa experimental foi delineada a fim de avaliar o desempenho térmico de seis modelos de isolamento térmico em telhas metálicas existentes no mercado e identificado o potencial de diferença entre elas que podem afetar diretamente o conforto térmico dos usuários nos diversos modelos de isolamento térmico em cobertura metálica na estrutura metálica do tipo container.

Para a condução do experimento, as diferentes coberturas da estrutura metálica foram trocadas no intervalo de 5 dias, perfazendo um ciclo de 30 dias de utilização de todas, assim reiniciando o processo durante o período de seis meses.

Os resultados mostram que para as temperaturas mais amenas e com baixa amplitude térmica, as telhas simples sem isolamento térmico apresentam desempenho térmico satisfatório desta maneira também pode-se incluir os demais modelos de telhas utilizados com isolante térmico. Para as demais situações onde tem-se uma elevada amplitude térmica, as telhas utilizando-se de material isolante: poliestireno (EPS) com manta aluminizada, poliuretano (PU) e poliuretano (PU) com manta aluminizada, são as mais adequadas, demonstrando em todas as situações uma grande diferença de temperatura entre a superfície externa da telha de cobertura, com a temperatura do ar dentro do container metálico.

Analisando as diferenças do comportamento do desempenho térmico entre os diferentes tipos materiais isolantes nos modelos de cobertura estudados, demonstram que quando combinados certos materiais isolantes aumenta a capacidade de isolamento da cobertura metálica impactando diretamente sobre o conforto térmico dos usuários das estruturas, neste caso estudado nas estruturas do tipo container.

Com análise de vários estudos já realizados com o isolamento térmico identifica-se que a cobertura metálica incide diretamente no conforto térmico dos ambientes, sendo uma alternativa a ser tratada em projetos para melhorar o conforto térmico não somente em estruturas do tipo *container* mas de outros ambientes como indústrias e fábricas.

Tendo em vista as características climáticas para a zona climática da Região Central do Paraná, dentre os seis modelos de cobertura utilizados no container com seus resultados de diferença entre as temperaturas internas e externas, pode-se identificar que a telha composta com poliestireno (EPS) acrescida com a manta aluminizada apresentou-se um excelente isolante térmico, da mesma forma a telha metálica com poliuretano acrescida de manta aluminizada tem uma capacidade alta de isolamento. Observa-se também que a telha metálica somente com poliuretano apresentou também uma capacidade de isolamento bastante considerável sendo uma alternativa viável de uso para coberturas metálicas.

De forma geral pode-se concluir que as coberturas com melhor desempenho térmico em temperaturas mais elevadas, não necessariamente forneceram neste estudo um conforto térmico adequado para os usuários. No campo das hipóteses, isso pode ter sido corroborado pelo tamanho do ambiente (*container*) estudado, pela proximidade nas paredes laterais que são de material metálico sem isolamento com os equipamentos de medição, todavia demonstraram uma capacidade alta de isolamento térmico. Essas variáveis podem ser melhor explorada em estudos futuros.

Atribui-se ainda uma influência e uma melhora na capacidade de isolamento na qualidade do material empregado e ainda na combinação de dois materiais isolantes, dificultando a passagem de calor por condução para o interior do ambiente do container.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G. D.; *et al.* Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 15, p. 1193-1198, 2011.
- AÇOPORT. Disponível em: <https://www.acoport.com.br>. Acesso em: 22 ago. 2021. 2021.
- AKADIRI, P. O. Understanding barrier saffecting the selection of sustainable materials in building 755 projects. **Journal of Building Engineering**, n. 4, p. 86-93, 2015.
- AKINDOYO, J. O.; *et al.* Polyurethanetypes, synthesis and applications: a review. **RSC Advances**, n. 6, p. 114453, 2016.
- ALAVEZ-RAMIREZ, R.; *et al.* Thermal conductivity of coconut fibre filled ferrocement sandwich panels. **Construction and Building Materials**, v. 37, p. 425-431, 2012.
- ALAVEZ-RAMIREZ, R.; *et al.* Thermal lag and decrement factor of a coconut-ferrocement roofing system. **Construction and Building Materials**, v. 55, p. 246-256, 2014.
- AL-OBAIDI, K. M.; ISMAIL, M.; RAHMAN, A. M. A. Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: a literature review. **Frontiers of Architectural Research**, v. 3, n. 3, p. 283-297, 2014.
- ALSUHAIBANI, A. M.; *et al.* Green buildings model: Impact of rigid polyurethane foam on indoor environment and sustainable development in energy sector. **Heliyon**, v. 9, n. 3, 2023.
- AL-YASIRI, Q.; SZABO, M. Case study on the optimal thickness of phase change material incorporated composite roof under hot climate conditions. **Case Studies in Construction Materials**, n. 14, p. e00522, 2021.
- AL-YASIRI, Q.; SZABÓ, M. Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: a comprehensive analysis. **Journal of Building Engineering**, n. 36, p. 102122, 2021.
- ASHRAE. 2004. Disponível em: [http://www.ditar.cl/archivos/Normas\\_ASHRAE/T0080ASHRAE-55-2004-ThermalEnviromCondiHO.pdf](http://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0080ASHRAE-55-2004-ThermalEnviromCondiHO.pdf). Acesso em: 15 abr. 2022.
- ÁVILA-HERNÁNDEZ, A.; SIMÁ, E.; CHÉ-PAN, M. Research and development of green roofs and green walls in Mexico: a review. **Science of The Total Environment**, n. 856, p. 158978, 2023.

BARBOSA, K. H.; *et al.* **Avaliação da influência da orientação solar, associada ao comportamento do usuário, no desempenho térmico de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

BARNABÉ, J. M.; *et al.* Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p., 481-489, 2015.

BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and facades: a comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 915-939, 2018.

BEVILACQUA, P.; *et al.* Experimental investigation of the thermal performances of an extensive green roof in the Mediterranean area. **Energy and Buildings**, v. 122, p. 63-79, 2016.

BMBOX. Disponível em: <https://www.bmbox.com.br/container-metalico.php>. Acesso em: 15 abr. 2022.

BRITO FILHO, J. P.; SANTOS, T. V O. Thermal analysis of roofs with thermal insulation layer and reflective coatings in subtropical and equatorial climate regions in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 84, p. 466-474, 2014.

CAMARGO, M. G.; FURLAN, M. M. D. P. Resposta fisiológica do corpo às temperaturas elevadas: exercício, extremos de temperatura e doenças térmicas. **Revista Saúde e Pesquisa**, v. 4, n. 2, p. 278-288, 2011.

CARNEIRO, T. A.; *et al.* Primary thermal conditioning of rural installations by means of different types of cover. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1086-1092, 2015.

CORTEZ, L. A. R.; *et al.* Uso das estruturas de aço no Brasil. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT-Alagoas**, v. 4, n. 2, p. 217-217, 2017.

COSTA, E. R. Q. M. **Influência do ambiente térmico na amplitude do sinal eeg em atividades sedentárias.** 2015. Tese (Doutorado em Segurança e Saúde Ocupacionais) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2015.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 549-561. 2002.

DIAS, A. S. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

- DONG, Y.; *et al.* Introducing masking layer for daytime radiative cooling coating to realize high optical performance, thin thickness, and excellent durability in long-term outdoor application. **Applied Energy**, n. 344, p. 121273, 2023.
- FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1972.
- FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. J. Small-scale experiments of seasonal heat stress attenuation through a combination of green roof and green walls. **Journal of Cleaner Production**, n. 250, p. 119443, 2020.
- FERREIRA, A.; *et al.* Wall and roof solutions for a retail building considering cost investment and life cycle approach: a case study in Portugal. **Journal of Cleaner Production**, n. 383, p. 135314, 2023.
- FIAIS, B. B.; SOUZA, D. S. Construção sustentável com tijolo ecológico. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, v. 2, n. 1, 2017.
- FIORELLI, J.; *et al.* Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerros expostos ao sol e a sombra. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 64-68, 2012.
- FIRFIRIS, V. K.; MARTZOPOULOU, A. G.; KOTSOPOULOS, T. A. Passive cooling systems in livestock buildings towards energy saving: a critical review. **Energy and Buildings**, v. 202, p. 109368, 2019.
- FONSECA, P. C. D. F.; ALMEIDA, E. A. D.; PASSINI, R. Thermal comfort indices in individual shelters for dairy calves with different types of roofs. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1044-1051, 2011.
- GAO, Y.; *et al.* Cool roofs in China: policy review, building simulations, and proof-of-concept experiments. **Energy Policy**, v. 74, p. 190-214, 2014.
- GONÇALVES, I.; *et al.* Thermal performance of aviary located in the semiarid region of Pernambuco based on computer simulation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 26, p. 533-540, 2022.
- GRIEFAHN, B.; KUNEMUND, C.; GEHRING, U. Annoyance caused by draught: the extension of the draught-rating model (ISO 7730). Moving Thermal Comfort Standards Into 21 Century, 2001, Windsor. **Proceedings [...]**, Windsor: Oxford Brookes University, 2001.
- GRIGOLETTI, G. D. C.; LINCK, G. I. Analysis of the thermal behaviour of one-floor, single-family social housing units in Santa Maria, RS, Brazil. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 109-123, 2014.
- GUICHARD, S.; *et al.* A complex roof incorporating phase change material for improving thermal comfort in a dedicated test cell. **Renewable Energy**, v. 101, p. 450-461, 2017.



GUICHARD, S.; *et al.* A thermal model for phase change materials in a building roof for a tropical and humid climate: model description and elements of validation. **Energy and Buildings**, v. 70, p. 71-80, 2014.

GUICHARD, S.; *et al.* Experimental investigation on a complex roof incorporating phase-change material. **Energy and Buildings**, v. 108, p. 36-43, 2015.

HERNÁNDEZ-PÉREZ, I.; *et al.* Thermal performance of reflective materials applied to exterior building components: a review. **Energy and Buildings**, v. 80, p. 81-105, 2014.

INCROPERA, F. P.; *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INGRAO, C.; *et al.* How can lifecycle thinking support sustainability of buildings? Investigating lifecycle assessment applications for energy efficiency and environmental performance. **Journal of Cleaner Production**, n. 201, p. 556-569, 2018.

ISOESTE. Disponível em: <http://www.isoeste.com.br>. Acesso em: 15 abr. 2022.

KAJJOBA, D.; *et al.* Evaluation of thermal comfort and air quality of low-income housing in Kampala City, Uganda. **Energy and Built Environment**, v. 3, n. 4, p. 508-524, 2022.

KENISARIN, M.; MAHKAMOV, K. Passive thermal control in residential buildings using phase change materials. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 371-398, 2016.

KHARRUFA, S. N.; ADIL, Y. Upgrading the building envelope to reduce cooling loads. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 389-396, 2012.

KIM, J.; MIN, Y.; KIM, B. Is the PMV index an indicator of human thermal comfort sensation? **International Journal of Smart Home**, v. 7, n. 1, p. 27-34, jan. 2013.

KOTRONI, M.; *et al.* **Cool roof technology in London: an experimental and modelling study**. Leicester (UK): Brunel University, 2013.

KUMAR, V. V.; RAUT, N.; AKEEL, N. Double skin polystyrene-aluminium radiation reflector roofs in arid environments for passive cooling: a case study in Sohar, Sultanate of Oman. **Case Studies in Thermal Engineering**, n. 28, p. 101655, 2021.

LAMBERTS, R.; *et al.* **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Ed.UFSC, 2016.

LARREA-SÁEZ, L.; CUEVAS, C.; CASAS-LEDÓN, Y. Energy and environmental assessment of the chilean social housing: effect of insulation materials and climates. **Journal of Cleaner Production**, n. 392, p. 136234, 2023.

MARKO. Disponível em: <https://www.marko.com.br/categoria/download/catalogo-roll-on-completo/catalogo-roll-on-completo>. Acesso em: 2 maio 2022.

MARTINS, A.; VASCONCELOS, G.; COSTA, A. C. Brick masonry veneer walls: an overview. **Journal of Building Engineering**, n. 9, p. 29-41, 2017.

MENG, E.; *et al.* Preparation and thermal performance of phase change material (PCM) foamed cement used for the roof. **Journal of Building Engineering**, n. 53, p. 104579, 2022.

MERCADO, M. V.; *et al.* Passive solar radiant system, SIRASOL: physical-mathematical modeling and sensitivity analysis. **Solar Energy**, v. 96, p. 10-20, 2013.

MICHELS, C. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MOHAMED, H. I.; LEE, J.; CHANG, J. D. The effect of exterior and interior roof thermal radiation on buildings cooling energy. **Procedia Engineering**, v. 145, p. 987-994, 2016.

MOLITERNO, A. **Projeto de telhados em estrutura de madeira**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

MURILLO, M.; *et al.* Analysis of the influence of thickness on fire reaction performance in polyisocyanurate core sandwich panels. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 5, p. 9487-9497, 2020.

OLIVEIRA, F. G.; GODOI, W. M.; PASSINI, R. Environment in poultry production covered with thermal and aluminum roofing tiles. **Engenharia Agrícola**, n. 35, p. 206-214, 2015.

OLIVEIRA, M. M.; CARLO, J. C. Avaliação do conforto térmico e renovação de ar em ambientes com chaminés solares. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 293-314, jan./mar. 2021.

OLIVIERI, F.; *et al.* An experimental method to quantitatively analyse the effect of thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall. **Energy and Buildings**, v. 150, p. 132-148, 2017.

ONSETCOMPS. Disponível em: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/h08-004-02>. Acesso em: 15 abr. 2022.

PENG, L. L.; *et al.* Thermal and energy performance of two distinct green roofs: temporal pattern and underlying factors in a subtropical climate. **Energy and Buildings**, n. 185, p. 247-258, 2019.

PERFITELHAS. Disponível em: <https://www.perfitelhaspg.com.br>. Acesso em: 22 ago. 2021.

PONNI, M.; BASKAR, R. Comparative study of different types of roof and indoor temperatures in tropical climate. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 7, n. 2, p. 530-536, 2015.

RADHI, H.; ASSEM, E.; SHARPLES, S. On the colours and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions. **Building and Environment**, v. 72, p. 162-172, 2014.

RAWAT, M.; SINGH, R. N. A study on the comparative review of cool roof thermal performance in various regions. **Energy and Built Environment**, v. 3, n. 3, p. 327-347, 2022.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. 2. ed. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores, 1986.

SABER, H. H.; *et al.* Long-term hygrothermal performance of white and black roofs in North American climates. **Building and Environment**, v. 50, p. 141-154, 2012.

SADE, W.; *et al.* Investigação da corrosão eletrolítica em telhas de aço recobertas com zinco. **Matéria**, v. 24, 2019.

SADINENI, S. B.; MADALA, S.; BOEHM, R. F. Passive building energy savings: A review of building envelope components. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 8, p. 3617-3631, 2011.

SAW, L. H.; *et al.* Development of the closed loop pulsating heat pipe cool roof system for residential buildings. **Case Studies in Thermal Engineering**, n. 28, p. 101487, 2021.

SCHELLER, C.; *et al.* Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações. **Arquivos Climáticos**, v. 5, n. 3.1, p. 1, 2015.

SINGH, M. K.; MAHAPATRA, S.; ATREYA, S. K. Bioclimatism and vernacular architecture of north-east India. **Building and Environment**, v. 44, n. 5, p. 878-888, 2009.

SKOVAJSA, J.; *et al.* Design and experimental evaluation of phase change material based cooling ceiling system. **Applied Thermal Engineering**, n. 205, p. 118011, 2022.

SUEHRCKE, H.; PETERSON, E. L.; SELBY, N. Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 12, p. 2224-2235, 2008.

THOMAS, D.; DING, G. Comparing the performance of brick and timber in residential buildings: the case of Australia. **Energy and Buildings**, v. 159, p. 136-147, 2018.

TOKUSUMI, A. T. G.; FOIATO, M. Análise de desempenho termoacústico de telhas. **Conhecimento em Construção**, n. 6, p. 35-48, 2019.

TOLA, A. Bio-construction and renewable raw materials: the case of cork. *In*: SALOMONE, G.; SAIJA, M. (Eds.). **Pathwaysto environmental sustainability: methodologies and experiences**. Cham: Springer, 2014, p. 137-146.

TONOLI, G. H. D.; *et al.* Thermal performance of sisal fiber-cementroofing tiles for rural constructions. **Scientia Agricola**, fev. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162011000100001>. Acesso em: 12 fev. 2023.

TRENTO, D. G.; TRENTO, T. PW; GONZALEZ-CRUZ, E. M. Análise de desempenho térmico de sistema de cobertura para aquecimento e resfriamento em zonas subtropicais. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2020. **Anais [...]**, p. 1-8, 2020.

TUNGNUNG, K. Parametric strategy on passive design affordances in cool-humid climate zones of North-East India. **Solar Energy**, n. 207, p. 1-9, 2020.

VACEK, P.; STRUHALA, K.; MATEJKA, L. Life-cycle study on semi intensive green roofs. **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 203-213, 2017.

VALADARES, L. R.; *et al.* Effect of roof painting of aviaries on thermal comfort, productive performance and physiological variables of broilers chickens. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, n. 19, p. 336-346, 2018.

YANG, T.; ATHIENITIS, A. K. A review of research and developments of building-integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 886-912, 2016.