

Alternativas de baixo custo para a melhoria da sensação térmica em residências

Low-cost alternatives for improving thermal comfort in residences

Alternativas de bajo costo para la mejora del confort térmico en viviendas

Recebido: 10/09/2025 | Revisado: 10/10/2025 | Aceitado: 11/10/2025 | Publicado: 13/10/2025

André Aredes Brum Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3204-6939>

Educação Criativa, Brasil

E-mail: andrearedesribeiro@gmail.com

Júlia Soares Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7245-6641>

Educação Criativa, Brasil

E-mail: soares.ju07@gmail.com

Danilo Matos Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8775-9075>

Educação Criativa, Brasil

E-mail: dmatossilva07@gmail.com

Matheus Diniz Moreira Oliveira Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6660-5186>

Educação Criativa, Brasil

E-mail: matheusdm07@gmail.com

Rafael Sávio Barbosa Sampaio

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5709-9467>

Educação Criativa, Brasil

E-mail: rafabobthomas@gmail.com

Tiago Viana de Melo Muniz

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0100-7819>

Educação Criativa, Brasil

E-mail: tiagolindao20@gmail.com

César Alves Barbosa Lana

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8944-6487>

Educação Criativa, Brasil

E-mail: cesar.lana@eeciatiativa.com.br

Resumo

Nos últimos anos, em razão do aumento das temperaturas globais, há uma crescente necessidade de buscar soluções que melhorem o conforto térmico em edifícios. Nesse viés, o presente trabalho objetivou analisar alternativas de baixo custo, comprovar a eficácia do isolamento térmico em construções e implementar as medidas selecionadas em uma residência local. No estudo, pesquisou-se sobre métodos viáveis, como isolamento térmico e telhados frios. Com o avanço do trabalho, verificou-se que essas medidas são eficazes para reduzir o fluxo de calor em climas semelhantes ao de Ipatinga, e, por isso, optou-se pela aplicação de tinta branca no telhado, devido ao seu alto albedo, bem como o uso de Poliestireno Expandido (EPS) como isolamento. Para testar a eficácia dessas técnicas, foram conduzidos experimentos utilizando caixas que simulavam residências. A comparação foi feita entre uma miniatura de casa convencional, uma com isolamento de EPS, e outra com telhado pintado de branco, além do revestimento. Os resultados revelaram que tanto o isolamento quanto a pintura do telhado reduziram significativamente a temperatura interna. Com base nesses resultados, foi feita uma reforma em um cômodo de uma casa local, revestindo o telhado da varanda com EPS. Após a intervenção, a moradora relatou uma sensação térmica mais agradável e menor uso do ventilador, comprovando a eficácia das medidas adotadas. Assim, o estudo concluiu que o uso de EPS e a pintura de telhados são alternativas eficientes e acessíveis para promover o conforto térmico em residências.

Palavras-chave: Conforto Térmico; Aquecimento Global; Isolamento Térmico; Ações Sociais.

Abstract

In recent years, due to the rise in global temperatures, there has been a growing need to find solutions that improve thermal comfort in buildings. This work therefore aimed to analyze low-cost alternatives for its promotion, demonstrate the effectiveness of thermal insulation in buildings, and implement the selected measures in a local residence. In the

study, viable methods such as thermal insulation and cool roofs were researched. As the work progressed, these measures were found to be effective in reducing heat flow in climates similar to that of the city. Consequently, the decision was made to apply white paint on the roof due to its high albedo, as well as to use Expanded Polystyrene (EPS) for insulation. To test the effectiveness of these techniques, experiments were conducted using boxes that simulated residences. A comparison was made between a conventional house, one with EPS insulation, and another with a white-painted roof in addition to the insulation. The results showed that both the insulation and the roof painting significantly reduced indoor temperatures. Based on these findings, a room in a local house was renovated, with its roof covered with EPS. After the intervention, the resident reported a more pleasant thermal sensation and, consequently, less use of devices to cool the room, which confirmed the effectiveness of the measures adopted. Therefore, the study concludes that the use of EPS and cool roofs are efficient and accessible alternatives to promote thermal comfort in houses.

Keywords: Thermal Comfort; Thermal Insulation; Global Warming; Social Projects.

Resumen

En los últimos años, el aumento de las temperaturas globales ha intensificado la necesidad de soluciones que mejoren el confort térmico en las edificaciones. Este estudio tuvo como objetivo analizar alternativas de bajo costo para promover dicho confort, comprobar la eficacia del aislamiento térmico e implementar las medidas seleccionadas en una vivienda local. Se investigaron métodos viables como el uso de aislamiento térmico y techos fríos. Durante el desarrollo del trabajo, se comprobó que ambas medidas son eficaces para reducir el flujo de calor en climas similares al de la región de estudio. Por ello, se optó por aplicar pintura blanca en el techo, debido a su alto albedo, y utilizar Poliestireno Expandido (EPS) como material aislante. Para evaluar la eficacia de estas técnicas, se realizaron experimentos con maquetas que simulaban viviendas: una convencional, otra con aislamiento de EPS y otra con techo pintado de blanco. Los resultados demostraron que tanto el aislamiento como la pintura redujeron significativamente la temperatura interior. Con base en ello, se implementó una reforma en un ambiente de una vivienda real, revistiendo el techo de la terraza con EPS. Posteriormente, la residente reportó una mejora en la sensación térmica y una reducción en el uso del ventilador, confirmando la efectividad de las medidas adoptadas. En conclusión, el estudio evidencia que el uso de EPS y la pintura blanca en techos constituyen soluciones prácticas, eficientes y de bajo costo para optimizar el confort térmico en viviendas.

Palabras clave: Confort Térmico; Calentamiento Global; Aislamiento Térmico; Acciones Sociales.

1. Introdução

A Revolução Industrial, que teve início na Inglaterra no século XVIII, foi um marco importante na história da humanidade, não apenas pelo desenvolvimento tecnológico, como também pelo avanço das atividades antrópicas relacionadas ao uso de recursos naturais e ao crescimento da emissão de gases do efeito estufa (Da Guarda et al., 2020). Nesse contexto, observa-se que o acúmulo de fluidos gasosos que dificultam a perda de calor na atmosfera, além de outros fatores, é responsável pela alta das temperaturas globais, principalmente em regiões de grande densidade demográfica.

Nesse prisma, cabe ressaltar as consequências danosas aos indivíduos em razão do calor demasiado, uma vez que o aumento das temperaturas causa prejuízos ao bem-estar dos seres humanos e à produtividade ao acarretar a diminuição do rendimento das atividades intelectuais, manuais e perceptivas (Lamberts, 2016), especialmente quando não há meios para a garantia do conforto por meio de aparelhos de resfriamento artificial. Ademais, o calor excessivo apresenta efeitos negativos à saúde das pessoas, ocasionando irritabilidade e exaustão física (Rodrigues et al., 2023).

Sob essa perspectiva, é evidente que os impactos negativos do aquecimento excessivo não são distribuídos de forma equânime entre os diferentes estratos sociais, visto que grupos socioeconomicamente desfavorecidos carecem de meios para garantir o conforto térmico (Campbell et al., 2021), que se refere ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda (Lamberts, 2016).

Tendo em vista o cenário apresentado, estima-se que três bilhões de pessoas vivam em situações altamente expostas às mudanças climáticas (Guerra et al., 2023). Assim, urge-se o estudo de opções de baixo custo que promovam a redução dos efeitos ocasionados pela alta percepção térmica.

O presente trabalho objetiva analisar alternativas de baixo custo para sua promoção, comprovar a eficácia do isolamento

térmico em construções e implementar as medidas selecionadas em uma residência local.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa experimental, em campo, de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018), com uso de estatística descritiva simples empregando gráficos de linhas, de barras, classes de dados, valores médios e frequências (Shitsuka et al., 2014) e com apoio de revisão bibliográfica não sistemática, narrativa (Rother, 2007).

2.1 Capacitação técnica e teórica para a realização do trabalho

O projeto teve início com a realização do curso de iniciação científica da Feira Brasileira de Ciências e Engenharia (FEBRACE), o APICE (Aprendizagem Interativa em Ciências e Engenharia), que promove uma série de aulas e questões com o intuito de desenvolver e aprimorar o conhecimento científico do aluno, além de apresentar as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), fundamentais para elevar as habilidades de construção de projetos e alcançar os resultados esperados.

Além disso, foi realizada uma visita técnica à Estação Meteorológica da USIMINAS, indústria siderúrgica local, que possibilitou um melhor entendimento do clima da região de Ipatinga e da utilização de equipamentos de medição.

2.2 Revisão Bibliográfica

Como etapa inicial da metodologia, foi realizada uma revisão bibliográfica e contextual para fundamentar as decisões do projeto. Primeiramente, analisou-se o microclima de Ipatinga-MG, caracterizado por verões chuvosos e quentes, invernos secos e amenos, além de limitações na circulação de ventos devido ao relevo em vales (Rodrigues et al., 2023). Esse diagnóstico evidenciou a necessidade de intervenções para mitigar a sensação térmica em áreas urbanas densamente ocupadas.

Em seguida, foram estudados os conceitos fundamentais relacionados ao tema, como conforto térmico (Ashrae, 2013), sua ligação com a qualidade de vida e o papel da arquitetura bioclimática na promoção de ambientes saudáveis, além do albedo e sua influência na absorção e reflexão da radiação solar. A revisão incluiu também os métodos de melhoria da sensação térmica em edificações, visando encontrar o mais adequado para o desenvolvimento da pesquisa, destacando:

- I. Ventilação natural, que consiste em utilizar o fluxo natural do ar para condicionar o ambiente, proporcionando conforto térmico aos ocupantes e melhorando a qualidade do ar interno (Allard, 1998; Liping & Hien, 2007).
- II. Climatização artificial, um sistema convencional de condicionamento de ar que é utilizado para regular a temperatura e garantir o conforto térmico em ambientes fechados (Pacheco, 2013).
- III. Isolamento térmico, que atua como barreira às trocas de calor;
- IV. Telhados frios, baseados em alta refletância solar e emitância térmica, com destaque para a pintura branca devido ao elevado albedo.

Por fim, foi feito um levantamento de materiais isolantes térmicos viáveis no setor da construção civil, considerando custo-benefício com base no SINAPI. Os materiais mais relevantes identificados foram o poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudido (XPS) e lã mineral, sendo o EPS selecionado como foco por aliar baixo custo, disponibilidade e bom desempenho isolante.

2.3 Coleta de Dados

Com o objetivo de verificar a efetividade dos métodos encontrados por meio da revisão bibliográfica, optou-se pela pesquisa experimental, na perspectiva da abordagem quantitativa.

Sob essa ótica, foi realizado um experimento em escala reduzida, simulando e aferindo o comportamento da temperatura de miniaturas residenciais de diferentes composições, diante da exposição à incidência solar.

2.3.1 Montagem do Experimento

O experimento foi realizado em um local aberto da Escola Educação Criativa, marcado por alta incidência solar e inospidade, a fim de evitar possíveis interferências nos resultados.

Inicialmente, foram montadas 3 caixas, segundo o mesmo padrão, sendo cada uma composta de 4 placas de concreto (34cm x 34cm x 2cm) e uma telha de fibrocimento (60cm x 60cm).

As placas foram fixadas ao solo por meio da escavação de 4 seções retangulares (34cm x 2cm) de 5 cm de profundidade, formando uma estrutura quadrilátera. A telha foi posicionada na parte superior da estrutura, utilizando as placas como suporte. A Figura 1 mostra o resultado obtido após as etapas mencionadas.

Figura 1 - Modelo de caixa obtido após a montagem.



Fonte: Acervo dos Autores (2024).

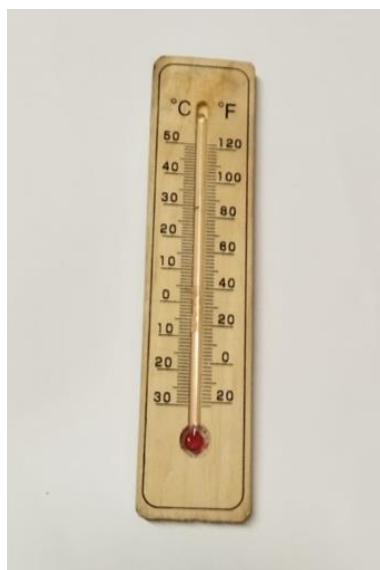
Em seguida, iniciou-se o processo de diferenciação das composições das estruturas, por meio da fixação de placas de EPS no concreto e da aplicação de tinta branca na telha.

A primeira miniatura, denominada caixa “A”, não passou por modificações substanciais em sua estrutura, assumindo função de grupo de controle. Por outro lado, as caixas denominadas “B” e “C”, que receberam um tratamento em suas estruturas, foram utilizadas como grupos experimentais.

Na caixa B, foram fixadas, utilizando Silicone Industrial, quatro placas de EPS (34cm x 29cm x 2cm), uma em cada placa de concreto. A estrutura C recebeu uma cobertura de tinta branca em uma das faces de sua telha, além do mesmo revestimento realizado na caixa B.

Por fim, foram colocados termômetros de ambiente, do modelo visível na Figura 2, no interior das caixas, segurados por um fio de barbante que foi amarrado à telha, de forma que o bulbo não ficou em contato com qualquer superfície. Dessa forma, finalizou-se a montagem do experimento, obtendo-se o conjunto disponível na Figura 3.

Figura 2 - Termômetro ambiente utilizado no experimento.



Fonte: Acervo dos Autores (2024).

Figura 3 - Caixas A, B e C, após a finalização da montagem do experimento.



Fonte: Acervo dos Autores (2024).

2.3.2 Medições de Temperatura

Para a aferição da temperatura interna das estruturas, foram utilizados os termômetros de bulbo; já para a medição da temperatura superficial das telhas, foi utilizado um termômetro infravermelho digital a laser, presente na Figura 4. Foram realizadas medições durante 8 dias, das 8:30 às 17:30, em intervalos de uma hora.

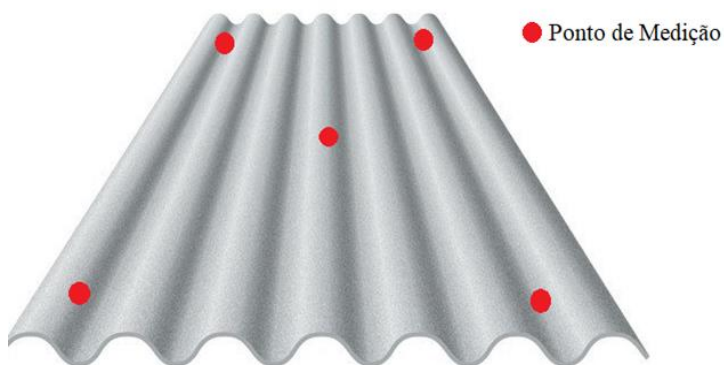
Figura 4 - Termômetro infravermelho utilizado.



Fonte: Acervo dos Autores (2024).

Devido à variabilidade da temperatura da telha de acordo com o ponto de sua superfície utilizado na medição, foram padronizados 5 locais de aferição, evidenciados na Figura 5. Dessa forma, a temperatura final foi obtida a partir da média aritmética das temperaturas dos 5 pontos escolhidos.

Figura 5 - Pontos utilizados na aferição da temperatura das telhas.



Fonte: Autores (2024).

Por fim, as temperaturas registradas foram anotadas em quadros, contendo os valores obtidos por meio das medições, a data e o horário de registro.

2.4 Análise de Dados

Após a realização das medições, foram organizadas planilhas contendo as temperaturas obtidas e construídos gráficos que permitissem uma análise precisa do experimento, com o auxílio de um profissional da área de tratamento de dados. Além disso, foram estimados a transmitância térmica e a capacidade térmica das telhas, que auxiliaram no cálculo da densidade do fluxo de calor, com base nos dados apresentados e nas equações propostas pelo Projeto 02:135.07-002:2023 (NBR 15220-2/ABNT, 2003) e Lamberts (2016), presentes nas Figuras 6, 7 e 8. A seguir, o Quadro 1 apresenta dados físicos e termodinâmicos das telhas de fibrocimento:

Quadro 1 - Espessura (e), densidade(ρ), condutividade térmica(λ) e calor específico(c) das telhas de fibrocimento.

Material	e (cm)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Telha de Fibrocimento	0,6	1800-2200	0,95	0,84

Fonte: ABNT (2003). Autores (2024).

Figura 6 - Equações de transmitância térmica e capacidade térmica.

4.1 Resistência térmica

4.1.1 Camadas homogêneas

$$R = e/\lambda \quad \dots 1)$$

4.2 Transmitância térmica

$$U = 1/R_T \quad \dots 2)$$

4.3 Capacidade térmica de componentes

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad \dots 3)$$

5.1.2 Ambiente a ambiente (R_T)

A resistência térmica de ambiente a ambiente é dada pela expressão 5.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \dots 5)$$

Onde:

λ é a condutividade térmica do material da camada

R é a resistência térmica da camada

e é a espessura da camada

c é o calor específico do material da camada

ρ é a densidade de massa aparente do material da camada

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície

R_{se} e R_{si} são as resistências superficiais externa e interna

...

3)

Fonte: ABNT (2003).

Figura 7 - Resistências superficiais externa e interna.

R_{si} (m ² .K)/W			R_{se} (m ² .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT (2003).

Figura 8 - Equação de densidade de fluxo de calor.

$$q = U \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) = U \cdot \Delta T$$

Onde

U é a transmitância térmica ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$);

ΔT é a diferença de temperatura entre os meios externo e interno (K);

q é a densidade de fluxo de calor (W/m^2).

Fonte: Lamberts (2016).

Com o intuito de visualizar os impactos gerados pelas alterações feitas nas caixas, utilizou-se da comparação dos resultados obtidos da estrutura A com as demais, visto que, de acordo com Fisher et al. (1966), para obter-se uma estimativa válida do efeito de um tratamento, é essencial comparar, sob condições semelhantes, os resultados do tratamento com um grupo de controle que não o recebe.

2.5 Reforma da Residência

Com base nos experimentos e nas fundamentações teóricas, as alternativas escolhidas foram aplicadas em um cômodo de uma residência local, disponibilizada voluntariamente por sua moradora.

2.5.1 Análise inicial

Inicialmente, foi feita uma visita a casa selecionada, com o objetivo de analisar sua estrutura, planejar a reforma do ambiente escolhido e realizar uma entrevista à residente. A entrevista foi conduzida verbalmente e consistiu em um questionário, que teve o intuito de classificar o nível de conforto térmico do local e compreender as necessidades da moradora.

Após a obtenção das respostas, que indicaram aspectos a serem considerados durante o processo, iniciou-se a análise do cômodo escolhido para a reforma, que, segundo a residente, se tratava de uma “varanda coberta” (Figura 10), utilizada para momentos de recreação e lazer.

Devido à localização desse espaço, o isolamento de EPS, que fora aplicado nas laterais da residência no experimento, apresentaria resultados mais satisfatórios ao ser instalado sob o telhado, visto que esse era responsável pelo aquecimento excessivo do ambiente, devido à alta exposição à radiação solar, como mostra a Figura 10, ao potencial de retenção de calor das telhas de fibrocimento e à ausência de revestimento em seu interior, visível na Figura 9.

Figura 9 - Cômado selecionado para a reforma.



Fonte: Acervo dos Autores (2024).

Figura 10 - Visão exterior do cômodo escolhido, demarcado por linhas vermelhas.



Fonte: Acervo dos Autores (2024).

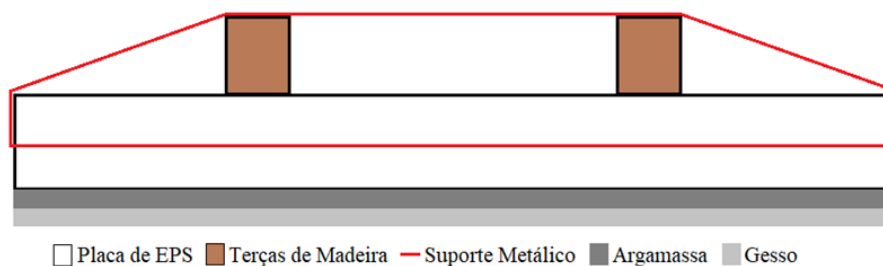
Outrossim, percebeu-se que a aplicação da tinta branca no telhado no cômodo não seria viável, haja vista a frágil condição das telhas, que poderiam se quebrar durante a pintura. Assim, optou-se por aplicar apenas o revestimento de EPS na residência escolhida.

2.5.2 Planejamento e orçamento

Após a análise da estrutura do cômodo e das necessidades da moradora, iniciou-se o planejamento da reforma, visando a efetividade na instalação do revestimento e a redução de custos.

Assim, optou-se pela instalação do isolamento de EPS utilizando suportes de metal, que foram fixados às vigas de madeiras que sustentam o telhado. Além disso, com intuito de evitar danos ao revestimento e melhorar seu aspecto visual, decidiu-se cobri-lo com uma camada de argamassa e uma de gesso, obtendo-se o esquema 2D visível na Figura 11.

Figura 11 - Esquema 2D utilizado para a instalação das placas de EPS.



Fonte: Autores (2024).

Após a escolha dos materiais, foram realizadas medições das dimensões do cômodo, com o intuito de calcular a quantidade necessária de cada componente. O custo médio de cada material foi obtido no Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI).

Em seguida, a partir das informações obtidas, foi formulado o orçamento presente no Quadro 2, que descreve o custo material da reforma, observado a seguir:

Quadro 2 - Orçamento dos materiais utilizados no revestimento.

Materiais	Quantidade	Preço Mediano	Custo Total (R\$)
Placas de EPS 3F - 1,92m ²	14	R\$23,40/m ²	R\$628,99
Sacos de gesso - 20kg	2	R\$0,83/kg	R\$33,20
Massa corrida - 25kg	2	R\$3,89/kg	R\$194,50
Suporte metálico - 38m	1	R\$21,40/un	R\$21,40
Total Gasto			R\$878,09

Fonte: Autores (2024).

2.5.3 Instalação do revestimento

Com o orçamento pronto, iniciou-se o processo de instalação do revestimento. Com o auxílio de profissionais da construção, o isolamento foi fixado à estrutura do telhado, utilizando o suporte metálico previsto na etapa de planejamento, que foi anexado às vigas de madeira, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Instalação das placas de EPS com o suporte metálico.



Fonte: Acervo dos Autores (2024).

Após a fixação de todas as placas, foi aplicada a camada de argamassa sobre elas, que, após a secagem, foi coberta por gesso, como exposto na Figura 13. Por fim, foi realizada a pintura das paredes e do teto, a fim de melhorar o aspecto visual do cômodo, visível na Figura 14.

Figura 13 - Aplicação da camada de gesso sobre o EPS.



Fonte: Acervo dos Autores (2024).

Figura 14 - Realização da pintura do cômodo.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

2.5.4 Avaliação final

Para avaliação dos resultados obtidos, optou-se pela abordagem qualitativa, visto que, de acordo com Lamberts (2016), o conforto térmico, por se tratar de um sentimento humano, situa-se no campo subjetivo e depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos.

Nesse prisma, um mês após o término da reforma, período concedido à residente para avaliação dos resultados, foi realizada uma entrevista, com o intuito de verificar a efetividade do revestimento em promover melhores sensações térmicas e a satisfação da moradora com o processo realizado.

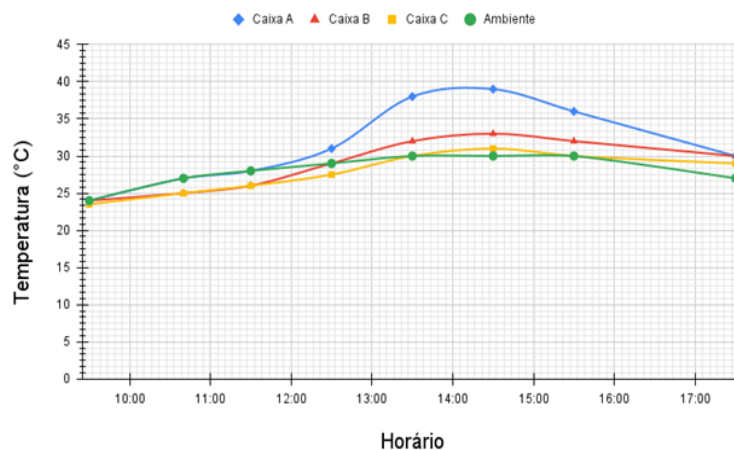
3. Resultados e Discussão

3.1 Temperatura interna das estruturas no experimento

As Figuras 15 a 22 contêm, em gráficos, a temperatura interna das caixas A, B e C, nos 8 dias de observação. As medições diárias realizadas durante o experimento revelaram um padrão: uma redução significativa das temperaturas internas registradas nas caixas B e C em relação à estrutura A, principalmente em horários de alta incidência solar, permanecendo em um intervalo próximo à média ambiente.

Figura 15 – Temperatura interna das caixas – dia 1.

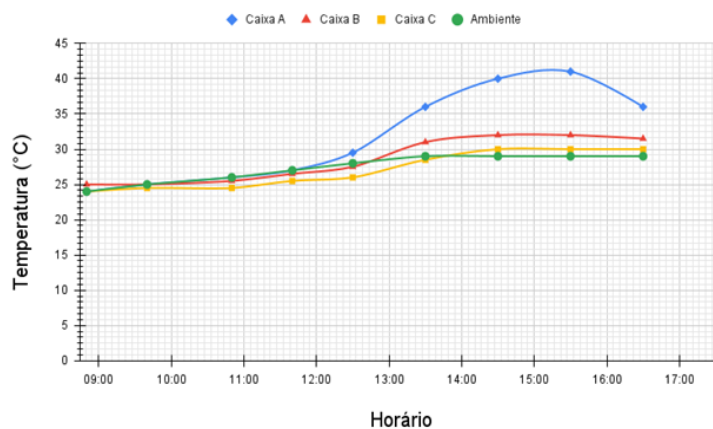
Gráfico comparativo da temperatura interna das caixas - 15/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 16 – Temperatura interna das caixas – dia 2.

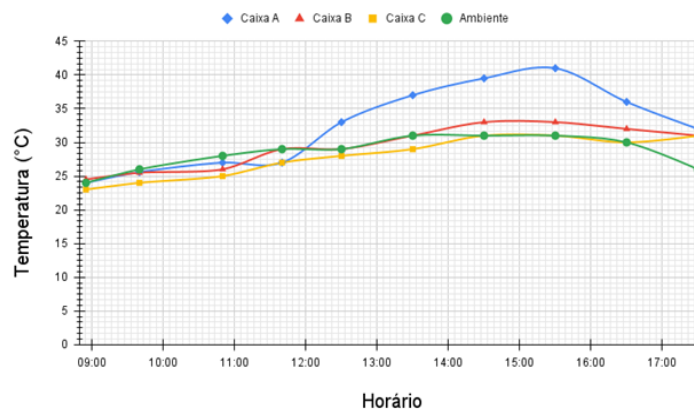
Gráfico comparativo da temperatura interna das caixas - 16/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 17 – Temperatura interna das caixas - dia 3.

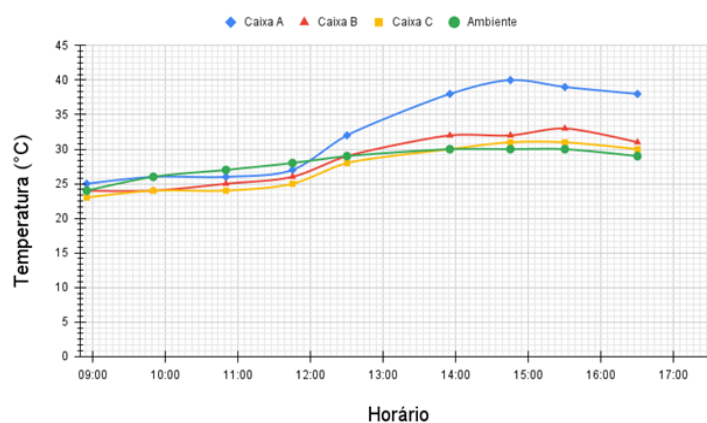
Gráfico comparativo da temperatura interna das caixas - 17/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 18 – Temperatura interna das caixas - dia 4.

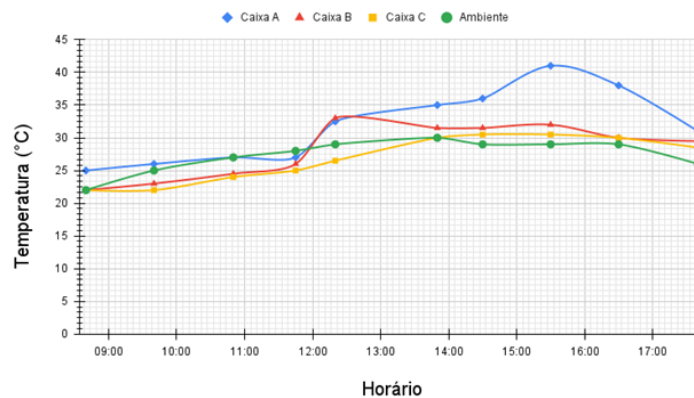
Gráfico comparativo da temperatura interna das caixas - 20/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 19 – Temperatura interna das caixas - dia 5.

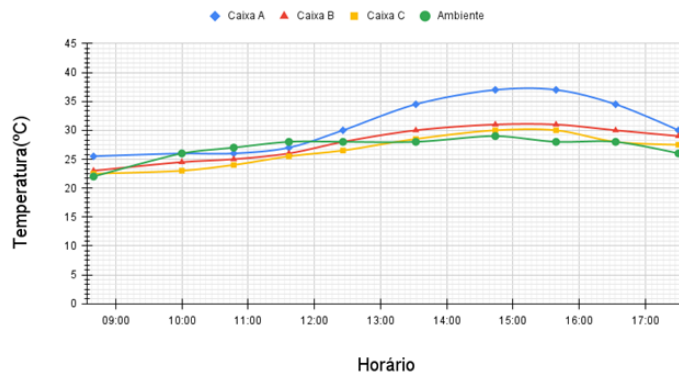
Gráfico comparativo da temperatura interna das caixas - 21/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 20 – Temperatura interna das caixas - dia 6.

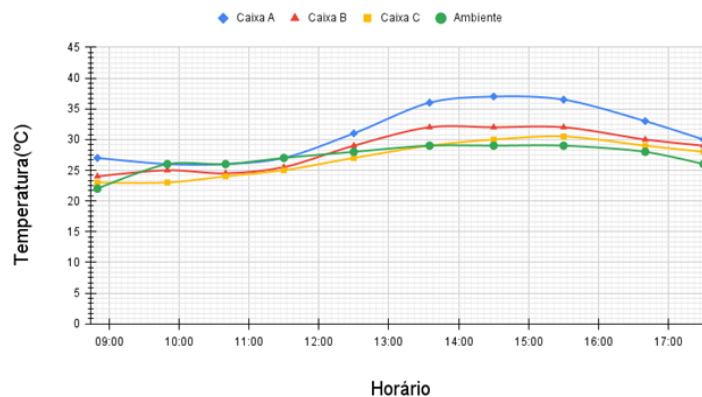
Gráfico comparativo da temperatura interna das caixas - 22/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 21 – Temperatura interna das caixas - dia 7.

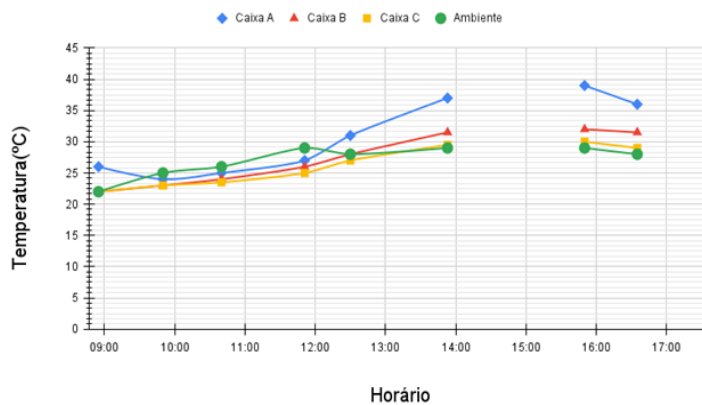
Gráfico comparativo da temperatura interna das caixas - 23/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 22 – Temperatura interna das caixas - dia 8.

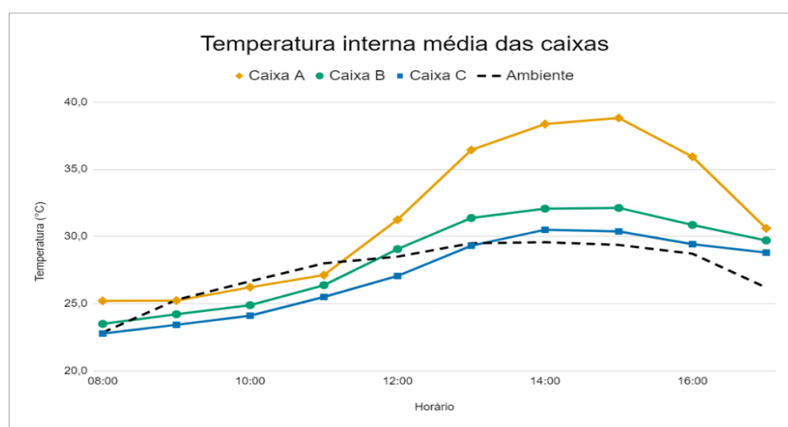
Gráfico comparativo da temperatura interna das caixas - 24/05



Fonte: Autores (2024).

Após a coleta e o tratamento de todos os dados, foram construídos gráficos que proporcionam uma análise geral e mais objetiva do experimento, por meio da descrição do comportamento médio das temperaturas registradas nos corpos estudados. Nessa perspectiva, na Figura 23, que indica a temperatura interna média das caixas nos horários observados, percebe-se que as curvas correspondentes às caixas B e C apresentaram menores variações durante o dia, ao contrário da estrutura A, que registrou grande aumento de temperatura.

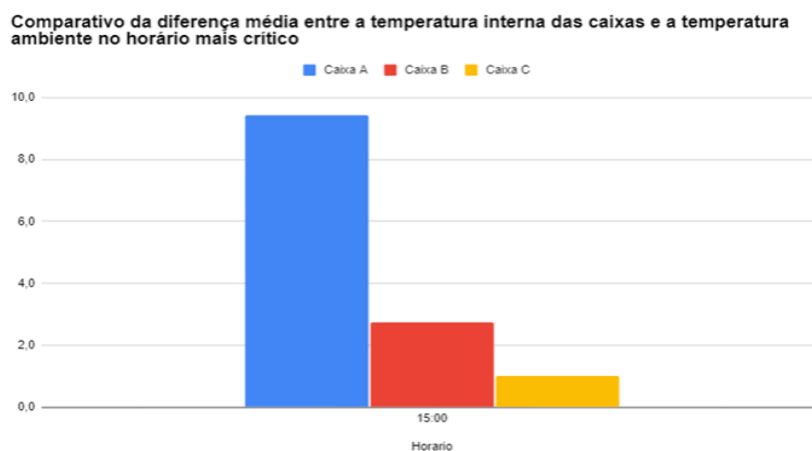
Figura 23 - Temperatura interna média das caixas.



Fonte: Autores (2024).

Além disso, ao comparar-se a diferença de temperatura entre as caixas e o ambiente da cidade no horário mais quente, como mostra a Figura 24, notou-se que o revestimento de EPS e a pintura da telha foram capazes de manter estáveis as temperaturas das estruturas até mesmo no horário mais crítico, às 15:00. A caixa A diferiu em +9,8 °C em relação ao ambiente, enquanto as miniaturas residenciais B e C variaram, respectivamente, +2,8 °C e +1,0 °C.

Figura 24 - Diferença entre a temperatura interna das caixas e a temperatura ambiente.

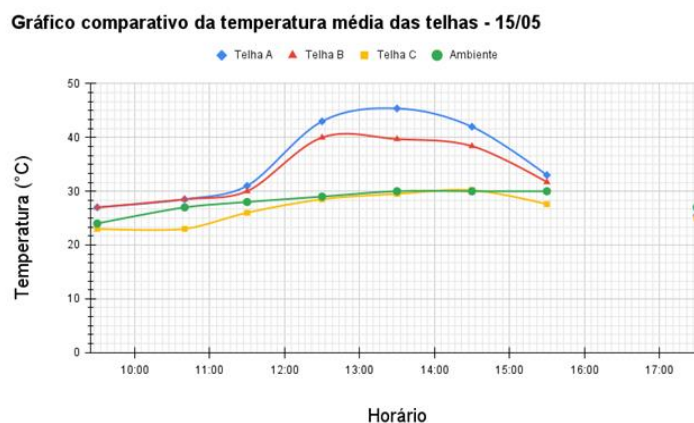


Fonte: Autores (2024).

3.2 Temperatura superficial das telhas no experimento

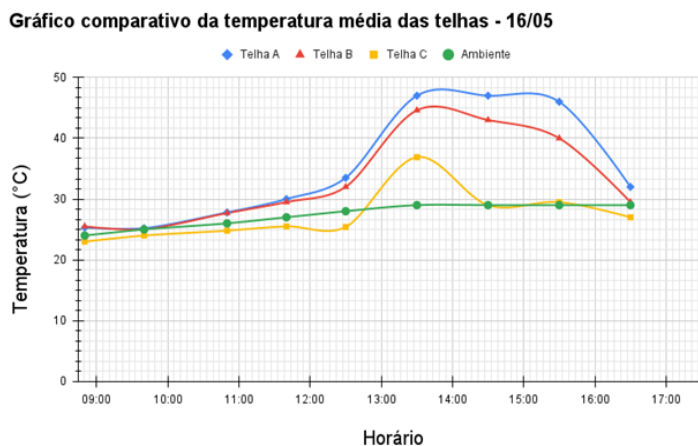
O simultâneo registro da temperatura superficial média das telhas A, B e C, que está disponibilizado nas Figuras 25 a 32, permitiu que fosse constatada uma relevante diminuição na absorção de energia solar pela superfície coberta com a tinta branca. O telhado C registrou menor amplitude térmica durante o dia, com sua temperatura alcançando máximas em torno dos 33 °C, uma redução de aproximadamente 28% em comparação com o extremo de 46 °C atingido, na maioria dos dias, pelas superfícies B e C.

Figura 25 – Temperatura superficial das telhas - dia 1.



Fonte: Autores (2024).

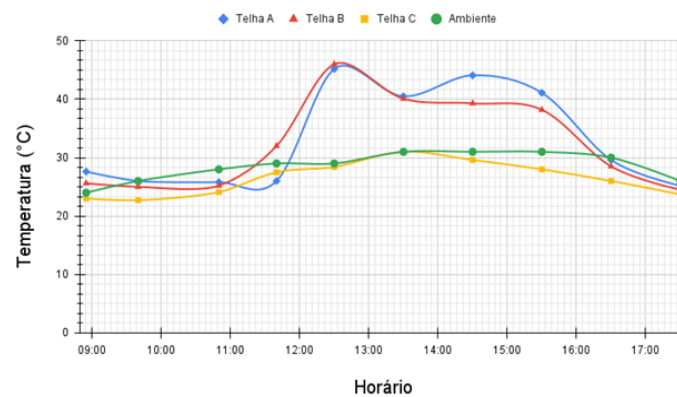
Figura 26 – Temperatura superficial das telhas - dia 2.



Fonte: Autores (2024).

Figura 27 – Temperatura superficial das telhas - dia 3.

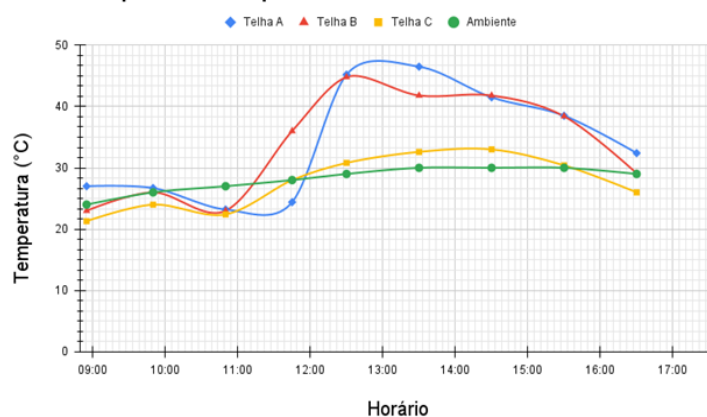
Gráfico comparativo da temperatura média das telhas - 17/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 28 – Temperatura superficial das telhas - dia 4.

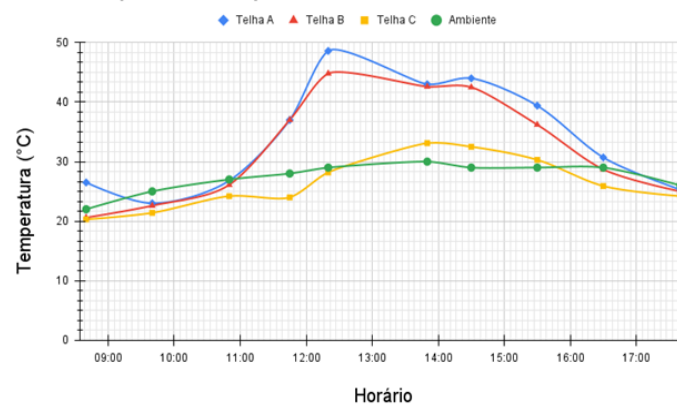
Gráfico comparativo da temperatura média das telhas - 20/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 29 – Temperatura superficial das telhas - dia 5.

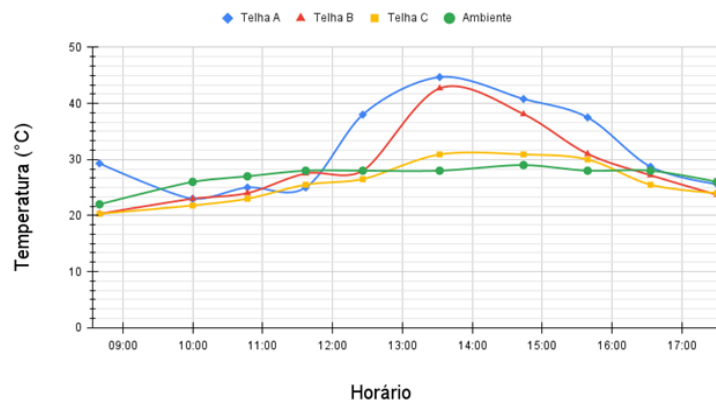
Gráfico comparativo da temperatura média das telhas - 21/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 30 – Temperatura superficial das telhas - dia 6.

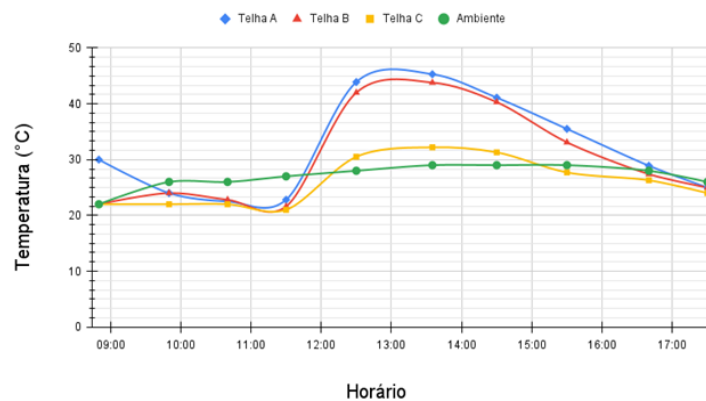
Gráfico comparativo da temperatura média das telhas - 22/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 31 – Temperatura superficial das telhas - dia 7.

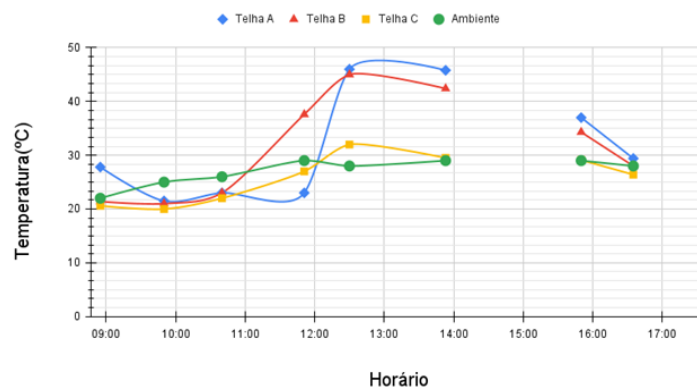
Gráfico comparativo da temperatura média das telhas - 23/05



Fonte: Autores (2024).

Figura 32 – Temperatura superficial das telhas - dia 8.

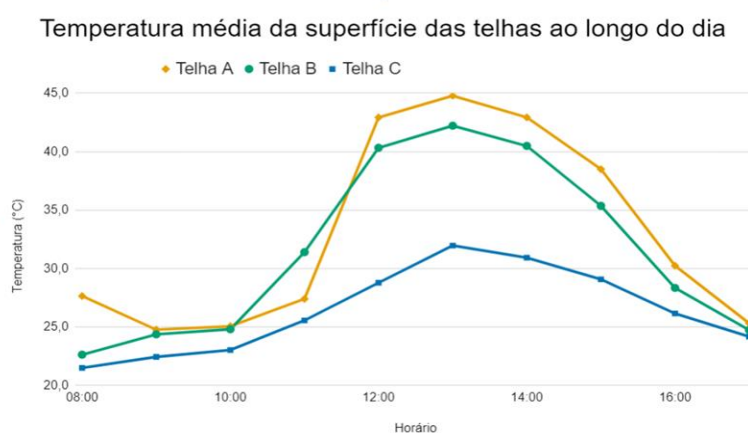
Gráfico comparativo da temperatura média das telhas - 24/05



Fonte: Autores (2024).

Assim, após o tratamento dos dados em questão, também foi construído um gráfico que resumisse o comportamento da temperatura das telhas durante o período de observação, obtendo-se uma média geral. Na Figura 33, é visível que as superfícies A e B, que não possuíam a tinta branca, apresentaram um grande aumento de temperatura nos dias analisados, enquanto a telha C obteve menor amplitude em seus registros, o que comprova a eficiência do método utilizado na diminuição da absorção da energia luminosa.

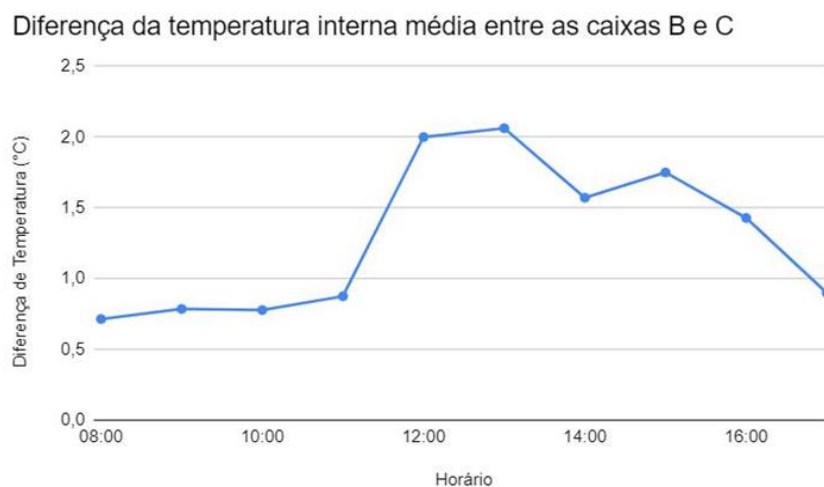
Figura 33 – Temperatura média das superfícies das telhas.



Fonte: Autores (2024).

A influência do grau de aquecimento das telhas na temperatura interna das estruturas é visível na Figura 34, que compara os registros médios da caixa B, sem tinta em sua telha, e da caixa C, que teve seu telhado pintado de branco. Observou-se que a estrutura C permaneceu, em média, de 0,7 °C a 2,1 °C mais fria, sendo as maiores variações registradas em horários de temperaturas máximas.

Figura 34 – Diferença de temperatura interna média entre as caixas B e C.



Fonte: Autores (2024).

3.3 Cálculo de capacidade térmica, transmitância e densidade de fluxo de calor

A partir dos dados obtidos, das medições feitas e das equações pesquisadas, presentes no Quadro 2 e nas Figuras 7 e 8, foram calculadas a capacidade térmica, a transmitância térmica e a densidade do fluxo de calor das telhas durante o experimento.

3.3.1 Capacidade térmica das telhas

$$C = e \cdot c \cdot \rho \Rightarrow e : \text{espessura } c : \text{calor específico } \rho : \text{densidade}$$

$$e = 6 \times 10^{-3} \text{ m}, c = 8,4 \times 10^2 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}, \rho = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C = 6 \times 10^{-3} \times 8,4 \times 10^2 \times 2000$$

$$C = 50,4 \times 10^2$$

$$C = 5040 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

3.3.2 Transmitância térmica das telhas (U)

$$U = \frac{1}{R_T} \Rightarrow R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_t = \frac{e}{\lambda}$$

$$e = 6 \times 10^{-3} \text{ m}, \lambda = 0,95 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$R_t = \frac{6 \times 10^{-3}}{0,95} = 6,31 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{si} = 0,17 \text{ e } R_{se} = 0,04$$

$$R_T = 0,04 + 6,31 \times 10^{-3} + 0,17 \cong 2,16 \times 10^{-1}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{2,16 \times 10^{-1}}$$

$$U \cong 4,63 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

3.3.3 Densidade de fluxo de calor (q)

$$q = U \cdot (T_{ext} - T_{int})$$

$$U = 4,63 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$T_{ext} = T_{telha} \text{ e } T_{int} \cong T_{caixa}$$

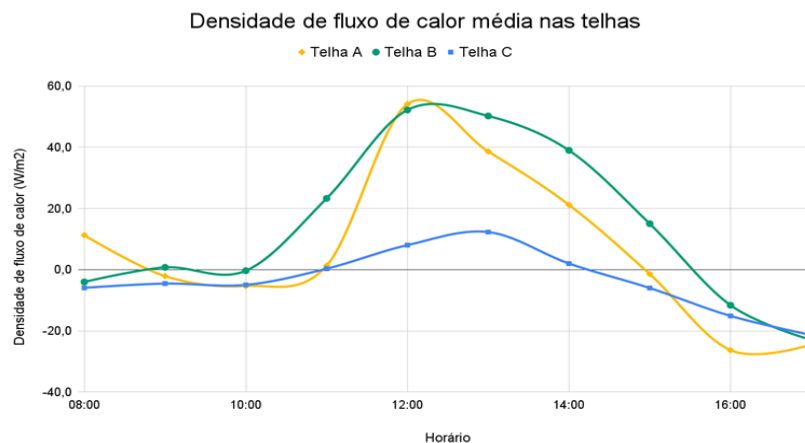
$$q \cong U \cdot (T_{telha} - T_{caixa})$$

No gráfico:

$$q_z(t) \cong U \cdot (T_{telha_z}(t) - T_{caixa_z}(t))$$

No gráfico da Figura 35, observa-se que as telhas comuns A e B apresentam o maior pico de fluxo, próximo de 12h, atingindo cerca de 55 W/m², evidenciando maior absorção e transferência de calor para o interior, enquanto a Telha C apresenta os menores valores, com variações mais suaves e máximos em torno de 15 W/m². Esses resultados indicam que a pintura é eficiente na redução da transferência de calor, contribuindo para melhor conforto térmico em ambientes residenciais, especialmente nos horários de maior insolação.

Figura 35 – Densidade de fluxo de calor média nas telhas.



Fonte: Autores (2024).

3.4 Intervenção na residência selecionada

Na avaliação do impacto da aplicação das medidas supracitadas na moradia local, os resultados obtidos por meio das entrevistas à moradora, revelaram que a residente percebeu uma significativa melhoria na sensação térmica do cômodo após a reforma realizada.

A entrevista realizada anteriormente à reforma revelou que a moradora sofria com as altas sensações térmicas em sua varanda coberta, sendo a utilização desse ambiente restrita na maior parte do ano, mesmo com o uso de ventilador.

Em relação ao quadro da normativa ISO 7730 (2005), representada no Quadro 3, a residente classificou, antes da intervenção, o nível do conforto térmico no ambiente em questão como “com muito calor” (+3), comprovando a situação crítica vivenciada naquele espaço.

Quadro 3 - Níveis de conforto térmico de acordo com a ISO 7730 (2005).

-3 Com muito frio	-2 Com frio	-1 Levemente com frio	0 Neutro (confortável)	+1 Levemente com calor	+2 Com calor	+3 Com muito calor
-------------------------	----------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------	-----------------	-----------------------

Fonte: ISO 7730 (2005).

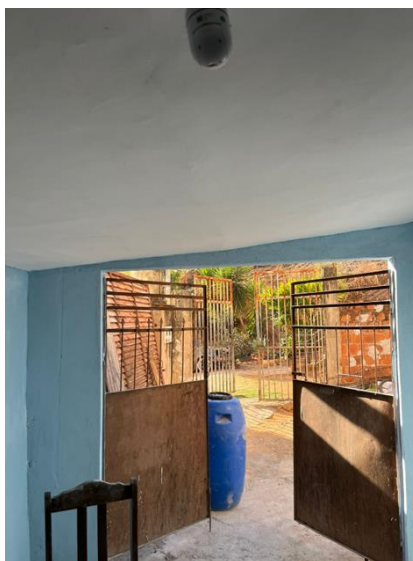
Por outro lado, após a realização da reforma, foi constatada, por parte da residente, uma significativa redução na sensação térmica do cômodo, que passou a ser passível de utilização até mesmo em dias quentes.

Concluiu-se que o revestimento de EPS instalado diminuiu, de forma notória, a absorção do calor proveniente das telhas de fibrocimento, evidenciando sua efetividade na redução da temperatura.

Em relação à efetividade do planejamento realizado para a reforma, verificou-se que o suporte metálico utilizado demonstrou grande estabilidade na fixação do revestimento de EPS. O orçamento realizado previu corretamente as quantidades de cada material, que foram suficientes para a conclusão do processo.

Quando questionada sobre o aspecto visual da reforma realizada, a moradora revelou grande satisfação com o resultado final, visível nas Figuras 36 e 37, que demonstrou grande melhoria em relação à situação inicial do cômodo. Nesse aspecto, verificou-se que não houve nenhum desconforto gerado pela instalação do isolamento, salientando sua aplicabilidade em residências.

Figura 36 – Cômodo no estágio final da reforma (visão da entrada).



Fonte: Acervo dos Autores (2024).

Figura 37 - Cômodo no estágio final da reforma (visão do interior).



Fonte: Acervo dos Autores (2024).

Por fim, no que diz respeito à classificação do nível conforto térmico do ambiente de acordo com a ISO 7730 (2005), a residente avaliou o espaço como “neutro (confortável)” (0) após a reforma.

Dessa forma, a partir da revisão bibliográfica, do experimento em escala reduzida e da intervenção realizada na residência, foram obtidos resultados que comprovaram a eficácia do isolamento térmico de Poliestireno Expandido e da tintura branca no telhado na melhoria da sensação térmica em residências.

4. Considerações Finais

A partir do estudo de métodos que promovam o conforto térmico e dos procedimentos experimentais realizados, juntamente aos resultados obtidos, constatou-se a eficácia do revestimento térmico utilizando placas de Poliestireno Expandido (EPS), além do uso da pintura externa das telhas, visando à melhoria da sensação térmica no interior das residências, uma vez que essas medidas evidenciaram uma redução significativa da temperatura no interior das construções residenciais.

Torna-se evidente, portanto, após a compreensão dos benefícios apresentados pelo conforto térmico na qualidade de vida dos indivíduos, que a questão do acesso desigual a ele se configura como uma mazela social ainda presente na sociedade hodierna, impactando, principalmente, cidadãos residentes em locais de alta densidade demográfica e submetidos a condições de alta exposição solar.

Ademais, é notória a viabilidade econômica apresentada pelas alternativas estudadas, visto que os materiais utilizados para a implementação dessas evidenciam baixo custo e facilidade de implementação, como o proposto pela reforma da moradia da comunidade local de Ipatinga – MG, cumprindo, assim, com os objetivos do presente trabalho.

Por último, sugere-se a criação de programas governamentais que proporcionem acessibilidade ao isolamento térmico em construções residenciais, principalmente para famílias das classes menos favorecidas, proporcionando mais bem-estar a essa parcela da população.

Referências

- ABNT. (2003). Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações (Projeto 02:135.07-001/2). Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Allard, F. (Ed.). (1998). Natural ventilation in building: A design handbook. London: James & James.
- Alloca, C., Chen, Q., & Glicksman, L. R. (2003). Design analysis of single-sided natural ventilation. *Energy and Buildings*, 35, 785–795.
- ASHRAE. (2013). ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Campbell, I., et al. (2021). Beating the heat: A sustainable cooling handbook for cities. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.
- Celere, E. (2021, outubro). Isolamento térmico na construção civil: Tudo o que você precisa saber. Celere. <https://celere-ce.com.br/construcao-civil/isolamento-termico-na-construcao-civil/>
- Coakley, J. A. (2003). Reflectance and albedo, surface. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, 12.
- Correia, F., et al. (2002). Albedo do Pantanal Sul-Matogrossense durante o período de transição seco-úmido de 2001–2002. In XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR.
- Da Guarda, E. L. A., Domingos, R. M. A., Jorge, S. H. M., Durante, L. C., Sanches, J. C. M., Leao, M., & Callejas, I. J. A. (2020). The influence of climate change on renewable energy systems designed to achieve zero energy buildings in the present: A case study in the Brazilian savannah. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101843.
- Eftekhari, M. M., Marjanovic, L. D., & Pinnock, D. J. (2001). Air flow distribution in and around a single-sided naturally ventilated room. *Building and Environment*, 38, 389–397.
- Fernandes, M. E., & Masiero, É. (2020). Relação entre conforto térmico urbano e zonas climáticas locais. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 12.
- Fleck, M. P. de A., et al. (1999). Desenvolvimento da versão em português do instrumento de avaliação de qualidade de vida da OMS (WHOQOL-100). *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 21(1), 19–28.
- Fisher, R. A., Hunter, L., & Smith, B. (1966). The design of experiments. Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Fruta, A. B., & Schiffer, S. T. R. (2007). Manual de conforto térmico. São Paulo: Studio Nobel.
- Guerra, I. F. (2023). Emergência climática e vulnerabilidade: Quatro direitos essenciais no Acordo de Escazú. *Revista da Defensoria Pública da União*.
- International Organization for Standardization. (2005). ISO/TS 14415:2005: Ergonomics of the thermal environment – Application of international standards to people with special requirements. Geneva: ISO.
- Lamberts, R. (2016). Desempenho térmico de edificações. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil.
- Liping, W., & Hien, W. N. (2007). The impacts of ventilation strategies and façade on indoor thermal environment for naturally ventilated residential buildings in Singapore. *Building and Environment*, 42, 4006–4015.
- Michels, C. (2007). Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina).
- Pacheco, M. T. G. (2013). Ventilação natural e climatização artificial: Crítica ao modelo superisolado para residência de energia zero em Belém e Curitiba. https://labeec.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/tese_MiguelPacheco.pdf
- Pereira, A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. Editora UFSM.
- Rodrigues, G. M., Fortes, B. C. S., & Rezende, M. A. P. de. (2019). Correlação entre microclima e planejamento urbano: Análise de Ipatinga – MG. In 15º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) (pp. 499–508). <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3925>
- Romero, M. A. B. (2011). Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. *Fórum Patrimônio*, 4(1), 9–22.
- Rother, H. (2007). Revisão sistemática x revisão narrativa. *Acta Paulista de Enfermagem*, 20(2), 5–6.
- Shitsuka, R. et al. (2014). Matemática fundamental para a tecnologia (2ª ed.). Editora Érica.
- Silva, E. L., et al. (2019). Análise da eficiência energética em edificações residenciais de interesse social. *Anais do Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC)*.
- Silva, F. G. da, Ardenghi, J., & Oliveira, J. (2022). Gestão ambiental e sustentabilidade: Um estudo de caso em empresa do setor de beneficiamento de grãos. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (GEAS)*, 11(2), 244–261.
- Silva, F. M. F. (2013). Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores (Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto).

Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil. (2024, julho). Caixa Econômica Federal. <https://www.caixa.gov.br/poder%20publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>

Souza, H. A. de, & Rodrigues, L. S. (2012). Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações. Rem: Revista Escola de Minas, 65(2), 189–194.