

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS HENRIQUE DE SOUZA BRITO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UMA TINTA EMULSIONÁVEL COM ADIÇÃO DE
FRAGMENTOS DE ALUMÍNIO NA REGULAÇÃO TÉRMICA DE EDIFICAÇÕES
POR MEIO DA REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR**

Delmiro Gouveia

2025

MATHEUS HENRIQUE DE SOUZA BRITO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UMA TINTA EMULSIONÁVEL COM ADIÇÃO DE
FRAGMENTOS DE ALUMÍNIO NA REGULAÇÃO TÉRMICA DE EDIFICAÇÕES
POR MEIO DA REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharelado em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Alexandre Nascimento
de Lima

Delmiro Gouveia

2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

B862a Brito, Matheus Henrique de Souza.

Análise da eficiência de uma tinta emulsionável com adição de fragmentos de alumínio na regulação térmica de edificações por meio da refletância da radiação solar / Matheus Henrique de Souza Brito. - 2025.

[306] f. : il.

Orientador: Alexandre Nascimento de Lima.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) –
Universidade Federal de Alagoas, Campus Sertão, Delmiro Gouveia, 2025.

Bibliografia: 57-58.

1. Refletância (Espectrometria). 2. Radiação solar. 3. Alumínio. 4. Conforto térmico. 5. Tintas refletivas. I. Título.

CDU: 697

Folha de Aprovação

MATHEUS HENRIQUE DE SOUZA BRITO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UMA TINTA EMULSIONÁVEL COM ADIÇÃO DE
FRAGMENTOS DE ALUMÍNIO NA REGULAÇÃO TÉRMICA DE EDIFICAÇÕES POR
MEIO DA REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
banca examinadora do curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal de Alagoas e
aprovada em 06 de maio de 2025.

Documento assinado digitalmente
 ALEXANDRE NASCIMENTO DE LIMA
Data: 16/05/2025 08:47:26-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Orientador – Professor Msc. Alexandre Nascimento de Lima, UFAL

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 MARIA JAINE BATALHA DANTAS
Data: 15/05/2025 07:32:16-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Examinadora Externa – Enga. Civil Especialista Maria Jaine Batalha Dantas, FACUMINAS

Documento assinado digitalmente
 ODAIR BARBOSA DE MORAES
Data: 15/05/2025 18:48:33-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Examinador Interno – Professor Dr. Odair Barbosa de Moraes, UFAL

Dedico este trabalho ao meu pai Genildo,
minha eterna saudade.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho e a conclusão da minha graduação só foram possíveis graças ao apoio incondicional de pessoas que estiveram ao meu lado durante toda a jornada.

A minha mãe, Iranilde, e ao meu pai, Genildo (*in memoriam*), que é e sempre será meu eterno herói. Foram e sempre serão minha base, meu tudo. Eles nunca mediram esforços para que eu pudesse alcançar esse sonho, mesmo quando tudo parecia difícil. Meu pai, mesmo não estando mais fisicamente entre nós, continua presente em cada conquista, em cada passo que dou. Nunca conseguirei retribuir todo o amor, sacrifício e dedicação que recebi deles.

Ao meu irmão Marcos, meu maior exemplo de integridade e caráter. Seu apoio constante, sua sabedoria e sua presença firme foram luz nos meus caminhos. É um norte seguro, alguém em quem sempre posso confiar e me espelhar.

A minha noiva Edjane, minha companheira de vida, que com paciência, carinho e força enfrentou comigo todos os desafios desse percurso. Esteve ao meu lado nos momentos de ansiedade, de insegurança, nos surtos e nas vitórias. Divido contigo cada linha deste trabalho, porque ele também é teu.

Aos meus familiares Vó Nita, Tia Lulu (*in memoriam*), minha madrinha Célia, Tia Dulce e Tio Etinho, que sempre encontraram uma forma de ajudar, com palavras de incentivo, um prato de comida, uma carona, ou até mesmo uma ajuda na passagem. Cada gesto de vocês contribuiu para que eu chegasse até aqui.

Ao professor Alexandre Nascimento de Lima, meu orientador, que teve uma paciência admirável e me guiou com sabedoria, inclusive durante meu estágio no laboratório de materiais de construção. Sua dedicação e apoio foram fundamentais para que este trabalho se concretizasse. Minha gratidão é imensa.

Aos colegas de curso Fabiano Araújo, Pâmela Assis e Luis Adriano, que tornaram essa caminhada mais leve e divertida. A companhia de vocês fez toda diferença.

E por fim, agradeço aos professores da UFAL, que compartilharam seus conhecimentos com generosidade e paixão, despertando em mim o interesse por áreas que jamais imaginei explorar. Suas palavras e ensinamentos foram sementes que levarei para toda a vida.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre uma tinta branca para exteriores, reconhecida por sua capacidade de refletir parte da radiação solar no espectro do infravermelho, e a mesma formulação acrescida de fragmentos de alumínio. O objetivo é avaliar se o aditivo metálico contribui para o aumento da refletância, proporcionando maior conforto térmico em edificações e aproveitando um material abundante e de baixo custo. A pesquisa foi conduzida por meio de um protótipo em alvenaria, com área de 3,62 m², construído na cidade de Paulo Afonso/BA, situada no sertão nordestino, região marcada por altas temperaturas mesmo durante o inverno. As paredes externas do protótipo foram pintadas com ambas as formulações, e as temperaturas dos ambientes interno e externo, assim como das superfícies internas e externas, foram monitoradas nos horários de 07:00h, 12:00h e 17:00h, ao longo de dois dias para cada tipo de tinta. As médias obtidas foram comparadas a fim de identificar variações térmicas. Os resultados indicaram que a tinta enriquecida com alumínio apresentou melhor desempenho na redução da temperatura superficial interna, com diferença de até 5,05°C em relação à temperatura externa, em paredes sob incidência direta de radiação solar.

Palavras-chave: refletância; radiação solar; alumínio; conforto térmico; tintas refletivas.

ABSTRACT

This study presents a comparative analysis between a standard white exterior paint, known for reflecting part of the solar radiation in the infrared spectrum, and the same paint formulation enhanced with aluminum fragments. The aim is to assess whether the addition of this metallic component increases reflectance, thereby improving thermal comfort in buildings while utilizing an abundant and low-cost material. The research was carried out using a masonry prototype with an area of 3.62 m², built in the city of Paulo Afonso, Bahia, located in Brazil's northeastern semi-arid region, which is characterized by high temperatures even during the winter. The external walls were painted with both formulations, and temperatures of the indoor and outdoor environments, as well as internal and external surfaces, were recorded at 07:00, 12:00, and 17:00 over two days for each paint type. The average values were compared to evaluate thermal variations. Results showed that the aluminum-enriched paint performed better in reducing internal surface temperature, with a difference of up to 5.05°C compared to the external temperature on walls exposed to direct sunlight.

Keywords: reflectance; solar radiation; aluminum; thermal comfort; reflective paints.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	- Espectro de emissão de um corpo negro.....	20
Figura 2.2	- Produção de Equipamentos de Ar Condicionado.....	24
Figura 3.1	- Dimensões (em metros) do protótipo. (a) Vista frontal. (b). Corte transversal. (c) Vista posterior. (d) Planta baixa.....	27
Figura 3.2	- Esquema Parede.....	28
Figura 3.3	- Incidência Solar em horários variados. (a) 07:00h. (b). 12:00h. (c) 16:00h.....	29
Figura 3.4	- Alumínio. (a) Rolos de papel alumínio (b) Alumínio desenrolado na bancada.....	32
Figura 3.5	- Fragmentação do alumínio. (a) Tiras (b) Fragmentos.....	33
Figura 3.6	- Preparação das paredes para pintura. (a) remoção de imperfeições com espátula (b) lixamento (c) aplicação de gesso nas fissuras e trincas.....	34
Figura 3.7	- Aplicação do selador acrílico.....	35
Figura 3.8	- Diluição da tinta na proporção de 10% (a) medição da água (b) tinta....	35
Figura 3.9	- Aplicação da tinta convencional (a) pintura face lateral nordeste (b) pintura face noroeste.....	36
Figura 3.10	- Paredes pintadas (a) face sudeste (b) face lateral sudoeste.....	36
Figura 3.11	- Mistura da tinta enriquecida.....	37
Figura 3.12	- Paredes pintadas com tinta enriquecida (a) face sudeste (b) face lateral sudoeste.....	38
Figura 3.13	- Nomeação das paredes.....	38
Figura 3.14	- Medição (a) Termômetro infravermelho (b) Termo-higrômetro.....	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1	- Mapa de calor temperaturas médias externas.....	43
Gráfico 4.2	- Mapa de calor temperaturas médias internas.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Demanda Residencial de Eletricidade dos Condicionadores de Ar no Brasil.....	25
Tabela 4.1	- Medições para tinta branca convencional.....	39
Tabela 4.2	- Medições para tinta com fragmentos de alumínio.....	40
Tabela 4.3	- Média entre os dias 1 e 2 para tinta convencional.....	41
Tabela 4.4	- Média entre os dias 1 e 2 para tinta enriquecida.....	42
Tabela 4.5	- Diferença entre Temperaturas Externa e Interna da Faces Sudestes às 7:00h.....	46
Tabela 4.6	- Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Nordeste às 7:00h.....	46
Tabela 4.7	- Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Sudoestes às 7:00h.....	47
Tabela 4.8	- Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Noroestes às 7:00h.....	47
Tabela 4.9	- Diferença entre Temperaturas Médias dos Ambientes Externo e Interno às 7:00h.....	48
Tabela 4.10	- Diferença entre Temperaturas Externa e Interna da Faces Sudestes às 12:00h.....	48
Tabela 4.11	- Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Nordeste às 12:00h.....	49
Tabela 4.12	- Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Sudoestes às 12:00h.....	49
Tabela 4.13	- Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Noroestes às 12:00h.....	49
Tabela 4.14	- Diferença entre Temperaturas Médias dos Ambientes Externo e Interno às 12:00h.....	50
Tabela 4.15	- Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Sudestes às 17:00h.....	50
Tabela 4.16	- Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Nordeste às 17:00h.....	51
Tabela 4.17	- Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Sudoestes às 17:00h.....	51

Tabela 4.18 – Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Noroestes
às
17:00h..... 52

Tabela 4.19 – Diferença entre Temperaturas Médias dos Ambientes Externo e
Interno às 17:00h..... 52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UFAL	Universidade Federal de Alagoas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.2	Objetivos.....	15
1.2.1	Objetivo geral.....	15
1.2.2	Objetivos específicos.....	15
1.2.3	Organização do trabalho.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	Transferência de calor	16
2.1.1	Condução térmica.....	17
2.1.2	Convecção térmica	18
2.1.3	Radiação térmica.....	19
2.2	Tinta refletivas.....	20
2.3	Alumínio como aditivo de tintas refletivas	21
2.4	Medição de Refletância e Absortância em superfícies opacas	21
2.4	Conforto térmico	22
2.5	Consumo energético com climatização	23
2.6	Problema do calor na região Nordeste e a cidade de Paulo Afonso	25
3	METODOLOGIA	26
3.1	O ambiente de ensaio.....	26
3.2	Materiais e Equipamentos Utilizados	30
3.3	Obtenção do alumínio	30
3.4	Procedimento de aplicação das tintas	32
3.5	Medição e Análise de Dados	37
3.5.1	Medição e Análise de Dados.....	37
3.5.2	Análise de Dados.....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a última geração de modelos climáticos, a probabilidade de ocorrência de grandes ondas de calor nas próximas décadas tende a subir de forma significativa. (Geirinhas et al., 2018). A atualidade enfrenta desafios significativos relacionados às mudanças climáticas, manifestadas através de ondas de calor cada vez mais frequentes. Estas condições, combinadas com o aumento da demanda por energia devido ao crescimento populacional e à expectativa de vida prolongada, destacam a necessidade crescente de soluções que controlem a temperatura em ambientes construídos, visando proporcionar conforto térmico. Nesse contexto, Costa et al. (2022) observam uma tendência em regiões climáticas similares ao Brasil, onde a climatização artificial é preferida, agravando os desafios mencionados.

Por outro lado, os custos associados à aquisição, operação e manutenção de sistemas de climatização convencionais continuam inacessíveis para grande parte da população brasileira. Segundo Yazbek (2012), o país enfrenta uma significativa parcela de sua população vivendo em situação de pobreza, com uma das mais altas taxas de desigualdade do mundo, aproximando-se dos 30 milhões de indivíduos em condições desfavorecidas.

Diante desse panorama, as tintas refletivas emergem como uma alternativa promissora para reduzir o consumo de energia elétrica e mitigar a elevação das temperaturas em ambientes construídos, podendo ser complementadas por estratégias como a ventilação natural. Além disso, o alumínio, um recurso abundante e de baixo custo no país, torna-se uma matéria-prima atrativa para a produção dessas tintas, proporcionando um custo-benefício viável, inclusive para as camadas mais vulneráveis da população, dada a frequência relativamente espaçada de manutenção da pintura externa de edificações, geralmente a cada cinco anos.

Este trabalho compara a eficácia de uma tinta branca convencional com uma versão enriquecida com fragmentos de alumínio. A análise será feita medindo a temperatura superficial das faces externas pintadas e das faces internas para avaliar a refletância de cada material. Espera-se que a tinta com alumínio reflita mais radiação solar no espectro do infravermelho e reduza sua transferência ao interior do protótipo. Além disso, busca-se verificar o potencial do alumínio como aditivo para tintas refletivas e sua viabilidade como solução acessível e sustentável para o controle térmico em edificações.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar criticamente e aplicar os princípios de eficiência térmica em construções por meio da investigação experimental da tinta com aditivo de fragmentos de alumínio em comparação com tinta comum, visando aprimorar a compreensão da influência da refletância desse material na regulação térmica de interiores de edificações.

1.2.2 Objetivos específicos

- Aplicar metodologias experimentais para preparar amostras e aplicar as tintas.
- Monitorar e calcular a média das variações térmicas nas superfícies.
- Analisar os dados comparativamente, avaliando a viabilidade do alumínio para conforto térmico em edificações.

1.2.3 Organização do trabalho

O trabalho foi dividido em introdução, revisão bibliográfica, metodologia, resultados e discussões e considerações finais.

Para a introdução foi apresentado o problema de calor nos próximos anos e quais seriam as métricas trabalhadas na tinta refletiva nesse presente texto.

A revisão bibliográfica fundamentou os principais tópicos pertinentes ao tema: transferência de calor, tintas refletivas e o uso de alumínio, medição de refletância e absorvância em superfícies opacas, conforto térmico e o problema de calor na região de estudo.

A metodologia trouxe os métodos utilizados para preparação e aplicação das tintas e para medir a eficiência do alumínio no âmbito da refletância, comparando as superfícies pintadas através da média das temperaturas e analisando-as criticamente.

Os resultados e discussões retomaram a problemática da introdução para analisar as tintas face a face por horário.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são abordados os conceitos relacionados aos principais tópicos que fundamentam este trabalho. A priori, será discutida a transferência de calor, um tema fundamental para compreender os mecanismos pelos quais a temperatura é controlada nos ambientes construídos.

Em seguida, são exploradas as tintas refletivas, incluindo suas propriedades e benefícios e a aplicação como uma solução para reduzir a absorção de calor e, consequentemente, o consumo energético em edificações. Além disso, também o papel do alumínio como aditivo nessas tintas, detalhando suas propriedades refletivas e o impacto na eficácia da tinta ao ser enriquecida com fragmentos de alumínio.

Ainda, é discutido como funciona a medição da refletância e absortância, principais parâmetros do objeto de estudo e também, o contexto brasileiro atual para esse tipo de medição.

O conforto térmico é o próximo tema abordado, destacando através das normas, os seus parâmetros e quais fatores necessários para alcançá-lo, influenciando na qualidade de vida e produtividade dos ocupantes dos edifícios. Como complemento, o capítulo também aborda o consumo energético relacionado à climatização artificial e custos associados.

Por fim, é analisado o problema do calor na região Nordeste do Brasil, com um foco específico na cidade de Paulo Afonso, evidenciando os desafios climáticos locais e a necessidade de soluções adaptadas às condições regionais.

2.1 Transferência de calor

Conforme enfatizado por Incropera (2008), a transferência de calor é desencadeada pela diferença de temperatura entre meios, resultando no movimento de energia térmica. Esse fenômeno complexo envolve três mecanismos fundamentais, cada um com características distintas: condução, convecção e radiação.

A condução refere-se à propagação de calor por meio de um material, onde a energia térmica é transmitida de partícula para partícula. Já a convecção envolve a transferência de calor através de um fluido em movimento, sendo influenciada pelas correntes de convecção geradas por diferenças de densidade no fluido (Incropera, 2008).

Por outro lado, a radiação térmica é um processo no qual o calor é transmitido por ondas eletromagnéticas, como a luz solar. Diferente da condução e convecção, a radiação pode ocorrer no vácuo, tornando-se um mecanismo vital em ambientes espaciais (Incropera, 2008).

2.1.1 Condução térmica

Neste cenário, no processo de condução térmica, o calor se desloca da fonte com maior temperatura para aquela com temperatura inferior. Essa transmissão é facilitada pelo movimento vibratório das moléculas, que colidem entre si, buscando alcançar um equilíbrio térmico. Para quantificar a quantidade de energia conduzida ao longo do tempo numa direção específica através de um material, utilizamos a taxa de transferência de calor para uma parede plana unidimensional (Incropera, 2008). Esta taxa é descrita pela Lei de Fourier, de acordo com a Equação 2.1:

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (\text{Equação 2.1})$$

Onde:

q''_x é o fluxo térmico em W/m²;

k é a constante de condutividade térmica característica do material em W/mK;

$\frac{dT}{dx}$ é o gradiente de temperatura em K/m.

Se forem consideradas condições estacionárias, ou seja, condições em que os parâmetros não irão variar com o tempo, é possível descrever esse fluxo como sendo como uma distribuição linear de temperaturas, dada pela Equação 2.2:

$$q''_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Onde:

T_1 é a temperatura da fonte mais quente em K;

T_2 é a temperatura da fonte menos quente em K;

L é a espessura da parede na qual ocorre a transferência de calor em m.

2.1.1.1 Condução térmica em paredes compostas

A condução térmica mantém similaridades com a condução de eletricidade. Dessa forma, também é possível pensar em circuitos térmicos semelhantes aos elétricos e o conceito de resistência também aparece. Assim, ao intercalar materiais diferentes compondo uma parede na qual passa um fluxo de calor, cada componente tem sua condutividade térmica e

consequentemente, uma resistência associada (Incropera, 2008).

2.1.2 Convecção térmica

A convecção engloba dois mecanismos distintos de transferência de calor: a difusão térmica, caracterizada pelo movimento molecular aleatório semelhante à condução, onde a velocidade é nula; e a advecção, que envolve um movimento macroscópico do fluido. Nesse contexto, a transferência de calor requer a presença de um fluido em movimento, com temperatura diferente da superfície em contato. Esse processo implica em um ganho de energia cinética nas partículas de gases ou líquidos, que, quando aquecidas, aumentam sua velocidade (Incropera, 2008).

Essa fenomenologia pode ser categorizada em convecção natural e convecção forçada. Na convecção natural, o movimento é induzido pelo empuxo gerado pela diferença de densidade, levando as partículas aquecidas a subirem e as mais frias a descerem. Já na convecção forçada, a transferência é impulsionada por meios externos, como um ventilador, por exemplo. Este último cenário destaca-se pelo controle externo do fluxo, proporcionando uma forma mais direta de regular a transferência de calor (Incropera, 2008).

Souza (2007) nos diz que no ano de 1701, quase aos 60 anos de idade, Newton publicou de forma anônima um artigo intitulado "Scala Graduum Caloris". Neste documento, ele apresentou um método inovador para medir temperaturas de até 1000 °C, uma tarefa considerada impossível para os termômetros daquela época. Esse método era fundamentado no que hoje conhecemos como a Lei do Resfriamento de Newton, a qual estabelece que a taxa de diminuição da temperatura de um corpo é proporcional à diferença de temperaturas entre o corpo e o ambiente.

Incropera (2008) complementa dizendo que essa lei é apropriada para qualquer situação em que se busca a taxa de transferência por convecção, independente do caráter específico dessa convecção. Dessa forma, a lei pode ser dada pela Equação 2.3:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (\text{Equação 2.3})$$

Onde:

q'' é o fluxo de convecção térmica;

h é o coeficiente de transferência por convecção em W/m²K;

T_s é a temperatura da superfície em K;

T_∞ é a temperatura do fluido em K.

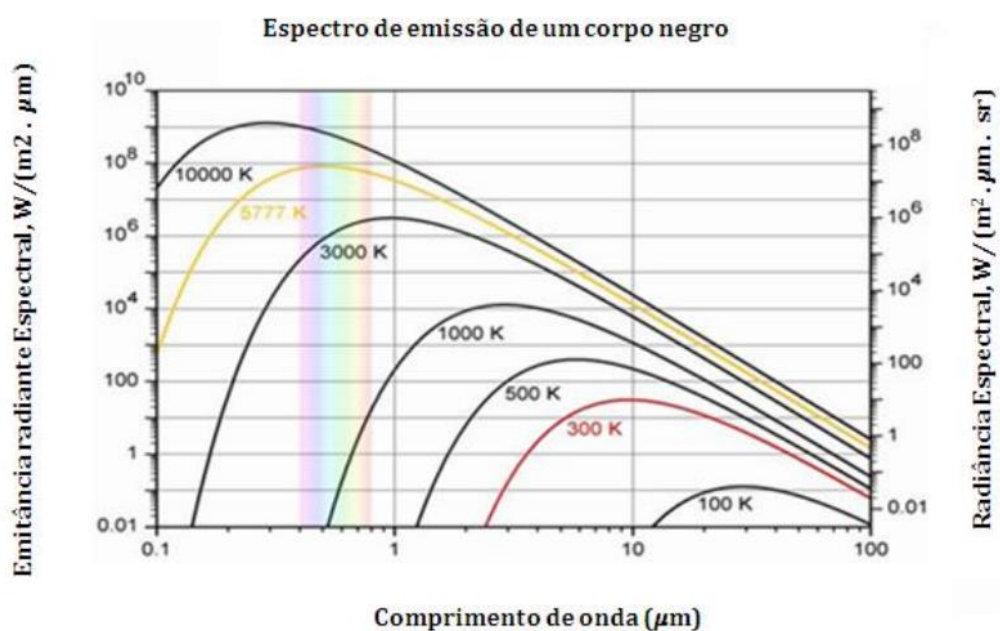
É válido ressaltar que em situações em que o fluido se encontra numa temperatura maior que a superfície, a Lei tem sinal negativo, indicando o sentido do fluxo. Além disso, também vale salientar que a maioria dos problemas envolvendo a convecção está concentrado em determinar o coeficiente de transferência por convecção, servindo como condição de contorno para determinar problemas de condução térmica.

2.1.3 Radiação térmica

Todo corpo com temperatura diferente de zero emite energia por meio de radiação térmica, um processo decorrente das alterações nas configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas que o constituem. Essa emissão não se limita a sólidos, pode ocorrer também em gases ou líquidos, sendo uma característica universal. A energia é transmitida por ondas eletromagnéticas, dispensando a necessidade de um meio material para se propagar. Além disso, é importante destacar que esse transporte de energia é otimizado no vácuo. Diante disso, é posto que a radiação pode ser emitida ou absorvida pelo corpo (Incropera, 2008).

Ribeiro (2013) nos diz que um corpo que pode absorver totalmente essa energia que lhe é conferida é chamado de corpo negro e acrescenta que Max Planck em 1900 conseguiu desenvolver uma equação que descreve a distribuição espectral de um corpo negro em função da sua temperatura, como mostra a Figura 2.1.

Figura 2.1: Espectro de emissão de um corpo negro



Fonte: Ribeiro (2013)

As curvas destacadas em amarelo e vermelho, representam o espectro de emissão do sol a 5777 K e de superfícies a temperatura ambiente de 300 K, respectivamente.

Através da integração da curva do corpo negro, é possível encontrar o poder emissivo total dele (Ribeiro, 2013). Diante disso, a lei de Stefan-Boltzmann descreve exatamente esse limite superior para o poder emissivo, dada pela Equação 2.4:

$$E_b = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (\text{Equação 2.4})$$

Onde:

E_b é o poder emissivo da superfície do corpo negro em W/m²;

ε é a emissividade da superfície que depende do material ou acabamento, para o corpo negro = 1;

T_s é a temperatura da superfície em K;

σ é a constante de Stefan Boltzmann com valor de 5,67E-8 W/m²K⁴.

Assim, partindo desse princípio, corpos não negros, ou seja, materiais do cotidiano, têm valores de ε menores que 1 e maiores que 0.

2.2 Tinta refletivas

Conforme observado por Ikematsu (2007), a distinção fundamental entre tintas convencionais e tintas refletivas reside principalmente na refletância desta última na região do infravermelho. Esse fenômeno é predominantemente causado pelo tipo de pigmento, que lhe confere uma cor específica desejada para comercialização ou pela adição de uma carga especial em sua formulação, sendo um tipo de aditivo que contribui para uma produção mais econômica.

Os pigmentos que exibem propriedades refletivas são do tipo cerâmico, originados pela combinação de óxidos ou sais metálicos, submetidos a calcinação a temperaturas superiores a 815,5°C. Esse processo é executado até que seus íons sejam incorporados e fixados em estruturas cristalinas, como rutilo ou spinel (Ikematsu, 2007).

Quanto às cargas especiais incorporadas para a finalidade de proporcionar refletância no infravermelho, destacam-se os flocos de alumínio, que são partículas orientadas na superfície, e as microesferas cerâmicas que ao ser incorporada à tinta, não apenas melhoram a resistência mecânica, mas também demonstra habilidade em refletir, refratar e bloquear o calor, pó e radiação, tanto perda como ganho. Adicionalmente, promove uma rápida dissipação

do calor, prevenindo eficazmente a transferência térmica através do revestimento (Ikematsu, 2007).

Ferreira e Prado (2003) apud Ikematsu (2007) nos dizem que:

Comparando-se a tinta refletiva branca com as tintas convencionais, nota-se que as tintas convencionais embora reduzam a temperatura na superfície, ainda apresentam altas temperaturas no interior das edificações. Materiais de elevada refletância atingem temperaturas mais baixas quando expostos à radiação solar, reduzindo a transferência de calor em seu retorno. (Ferreira e Prado, 2003, apud Ikematsu, 2007, p. 44)

Esse fato nos infere que apenas apresentar cores claras não é suficiente para uma tinta mostrar alta refletância à radiação proveniente do sol.

2.3 Alumínio como aditivo de tintas refletivas

Os materiais de construção apresentam, na sua generalidade valores de emissividade que rondam os 0,9, isto é, emitem 90% do calor que é armazenado nos edifícios durante o período de inverno e, absorvem 90% do calor quando expostos a radiação no período de verão (Ribeiro, 2013).

Ribeiro (2013) nos diz também que o alumínio por sua vez, é um dos metais que menos apresenta emissividade, em torno de 4%. Dessa forma, ele consegue ser um material que não absorve muito da energia que lhe é conferida por radiação.

Diante disso, é possível inferir que existem estudos da aplicação desse material como aditivo de tinta para diminuição de temperatura. Ikematsu (2007) em um deles comenta que os flocos de alumínio podem refletir a luz infravermelha, um dos componentes da radiação solar, reduzindo o calor absorvido pela pintura.

Em um estudo feito por Ribeiro (2013) para formulação de tinta de baixa emissividade com alumínio, ela constatou que a melhor forma de aplicar esse tipo de tinta é com um rolo e que a orientação das partículas de alumínio influenciava diretamente no desempenho.

2.4 Medição de Refletância e Absortância em superfícies opacas

Conforme Pereira (2015), a radiação incidente sobre uma superfície opaca é parcialmente refletida e parcialmente absorvida, sendo que a refletância (ρ) e a absortância (α) são propriedades complementares, ou seja, $\alpha = 1 - \rho$. Essa relação direta permite inferir a

absortância a partir da medição da refletância superficial.

Dornelles (2006) amplia essa discussão ao destacar que a absortância não depende apenas das propriedades do material, mas também de características físicas da superfície, como rugosidade, textura e geometria. Por exemplo, superfícies onduladas ou porosas podem apresentar múltiplos ângulos de incidência, alterando localmente a capacidade de absorção.

No Brasil, conforme ambos os autores apontam, a avaliação da absortância frequentemente recorre a métodos simplificados, como tabelas de cores (onde tons mais escuros indicam maior absortância), em vez de técnicas instrumentais. Essa abordagem, embora pragmaticamente justificável pelo alto custo de equipamentos de espectrofotometria (Pereira, 2015), apresenta limitações, pois desconsidera variações causadas por fatores como acabamento superficial ou degradação do material ao longo do tempo (Dornelles, 2006).

Essa lacuna metodológica reforça a necessidade de desenvolver alternativas acessíveis para medição precisa, como a correlação entre temperaturas superficiais e absortância. Tal abordagem poderia contornar as barreiras econômicas sem comprometer a acurácia dos dados (Dornelles, 2006).

2.4 Conforto térmico

A Standard 55 (ASHARAE, 2023) define conforto térmico como a condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico.

A NBR 16401-2 (ABNT, 2008) nos diz que a sensação de conforto térmico é essencialmente subjetiva e que se deve a muitos fatores e dessa forma, não é possível propiciar o conforto térmico a 100% das pessoas.

Entretanto, apesar do caráter subjetivo do conforto térmico, é possível através de análise de dados, imaginar um ambiente com parâmetros que se encaixem para maioria das pessoas.

As variáveis do conforto térmico são diversas e, variando diferentemente algumas delas ou até todas, as condições finais podem proporcionar sensações ou respostas semelhantes ou até iguais. Isso levou os estudiosos a desenvolver índices que agrupam as condições que proporcionam as mesmas respostas (Frota e Schiffer, 2001).

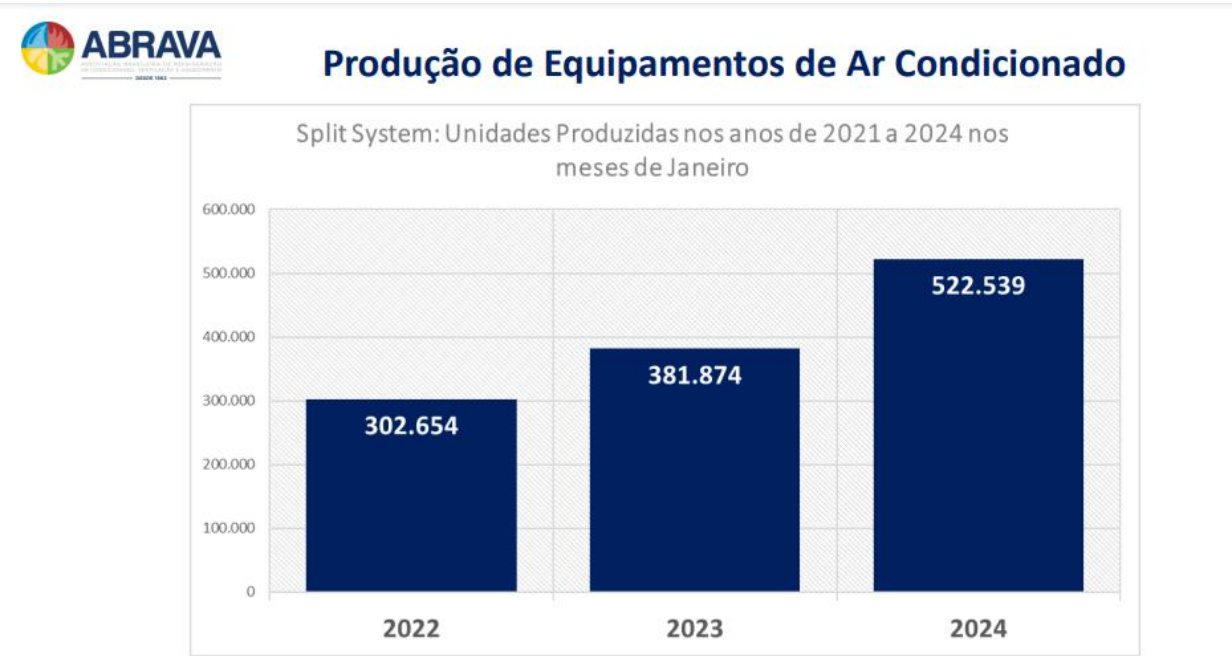
Visto isso, Rivero (1985) apud Vecchi (2011) nos dizem que: no Brasil, a umidade relativa do ar deve estar compreendida entre 30% e 60% e o conforto ótimo é alcançado quando a temperatura do ar está geralmente entre 23°C e 25°C.

A Norma Regulamentadora NR 17 (Ministério do Trabalho, 2023) também oferece diretrizes essenciais para garantir conforto e segurança em ambientes nos quais são realizados trabalhos diversos, destacando a importância da temperatura ideal. Segundo a NR 17, essa faixa térmica deve situar-se entre 18°C e 25°C, proporcionando condições propícias para o desempenho adequado das atividades laborais.

2.5 Consumo energético com climatização

De acordo com dados da ABRAVA (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento) (2024), como é possível observar na Figura 2.2, houve um aumento significativo na produção de equipamentos de ar condicionado do tipo Split System entre os meses de janeiro de 2022 e janeiro de 2024. Nesse período, a produção passou de 302.654 unidades em 2022 para 522.539 unidades em 2024, representando um crescimento de 219.885 unidades, quase o dobro em menos de 2 anos. Esse expressivo aumento reforça a tendência de crescimento no consumo de climatização artificial no Brasil.

Figura 2.2: Produção de Equipamentos de Ar Condicionado



Fonte: ABRAVA (2024)

Ainda, a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) (2022) conforme a tabela 2.1, apresenta dados e projeções futuras sobre diversos parâmetros relacionados à demanda residencial de eletricidade dos condicionadores de ar no Brasil. Dentre esses parâmetros,

destaca-se a projeção de aumento no consumo de energia elétrica, que deverá crescer de 23.654 GWh em 2019 para 37.622 GWh em 2036, um incremento de 13.968 GWh ao longo de 17 anos. Esse crescimento expressivo reflete uma maior dependência do uso de climatização artificial nas residências brasileiras, motivada possivelmente por fatores como o aumento das temperaturas médias, mudanças nos padrões de conforto térmico. Além disso, outro ponto relevante é a redução da eficiência energética média dos aparelhos ao longo do período, passando de 1,5% em 2019 para apenas 0,7% em 2036, o que pode indicar um desafio em alinhar o crescimento do uso com práticas sustentáveis e eficientes. Outro dado que merece destaque é o aumento da posse média de equipamentos por domicílio, que salta de 0,18 para 0,23 no mesmo intervalo. Esse crescimento corrobora com os dados apresentados pela ABRAVA, que evidenciam o aumento expressivo na produção de equipamentos de ar condicionado, reforçando a tendência de intensificação do uso de sistemas de climatização no país.

Tabela 2.1: Demanda Residencial de Eletricidade dos Condicionadores de Ar no Brasil

Ano	Consumo (GWh)	Eficiência Energética	Posse Média (equipamentos por domicílio)	Nº horas por dia	Nº dias por ano	Potência Média do estoque nos domicílios (MW)	Vida Útil Média (anos)	Vendas Anuais (mil unid.)	Estoque Médio (mil unid.)
2019	23.654	1,5%	0,18	8	294	1.050	12	1.544	12.882
2020	24.725	1,5%	0,18	8	295	1.035	12	1.606	13.107
2021	25.659	1,4%	0,18	8	296	1.020	12	1.636	13.311
2022	26.466	1,4%	0,18	8	298	1.004	12	1.690	13.505
2023	27.237	1,3%	0,18	8	299	990	12	1.729	13.736
2024	27.994	1,3%	0,19	8	298	975	12	1.745	14.052
2025	28.756	1,2%	0,19	8	297	964	12	1.764	14.361
2026	29.528	1,2%	0,19	8	299	950	12	1.775	14.667
2027	30.327	1,1%	0,19	8	300	939	12	1.797	14.973
2028	31.105	1,1%	0,20	8	302	929	12	1.819	15.271
2029	31.870	1,1%	0,20	8	305	918	12	1.841	15.570
2030	32.637	1,0%	0,20	8	306	906	12	1.869	15.871
2031	33.417	1,0%	0,21	8	308	895	12	2.021	16.317
2032	34.223	0,9%	0,21	8	309	884	12	2.057	16.781
2033	35.052	0,9%	0,21	8	310	873	12	2.093	17.248
2034	35.897	0,8%	0,22	8	311	863	12	2.257	18.079
2035	36.753	0,8%	0,22	8	311	858	12	2.589	19.326

Fonte: EPE (2022)

2.6 Problema do calor na região Nordeste e a cidade de Paulo Afonso

A região Nordeste do Brasil apresenta elevadas temperaturas ao longo de todo ano, independente da estação vigente. Nimer (1989) apud Zanella (2014) nos dizem que:

As elevadas taxas de insolação e as altas temperaturas na região Nordeste são consequências diretas de sua posição latitudinal. Devido a essa localização, a região é exposta a uma intensa radiação solar ao longo do ano. Como resultado, a maioria do Nordeste registra temperaturas médias que oscilam entre 26 e 28° C. (Nimer, 1989, *apud* Zanella, 2014, p. 128).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007) acrescenta dados relevantes a essa análise, destacando que a cidade de Paulo Afonso, localizada na região Nordeste, onde a estrutura de estudo está situada, encontra-se em uma área de clima semiárido, caracterizada por períodos de seca que se estendem de 7 a 10 meses ao longo do ano, e temperaturas superiores a 18°C em todos os meses.

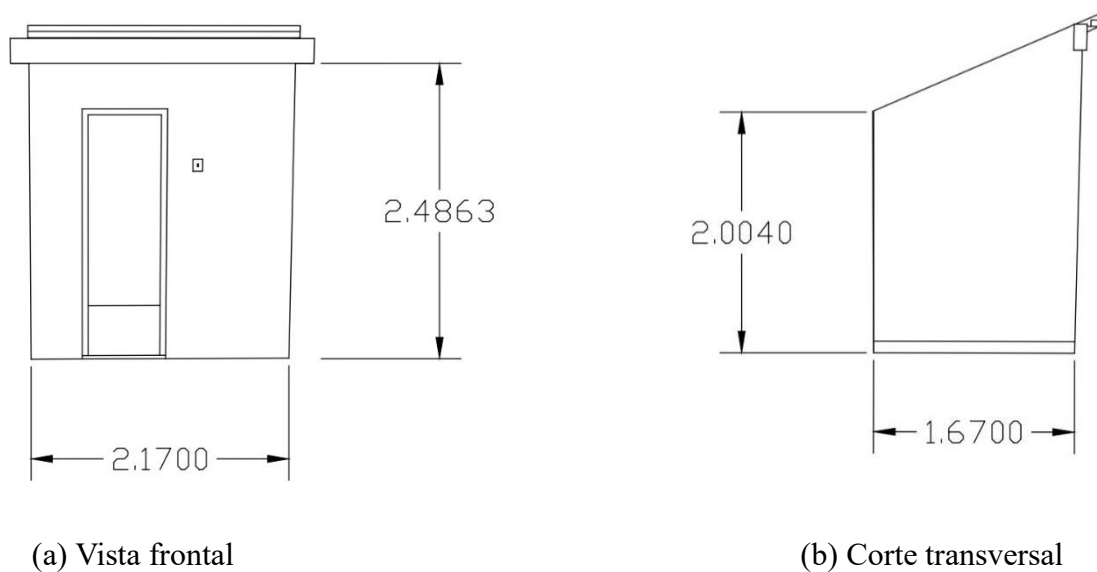
3 METODOLOGIA

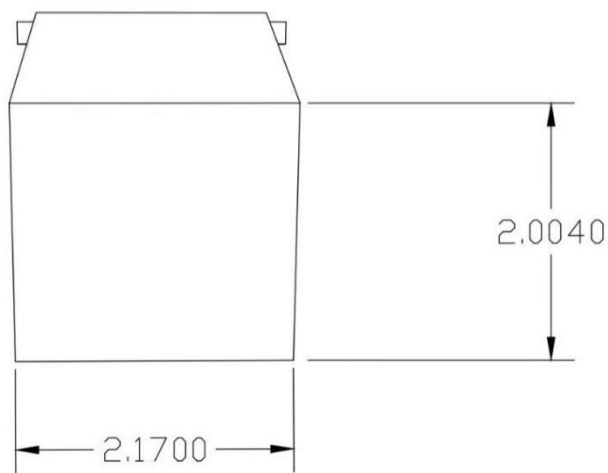
O presente estudo foi conduzido em Paulo Afonso, Bahia, uma cidade localizada no sertão nordestino, caracterizada por altas temperaturas e condições climáticas desafiadoras. Um pequeno depósito foi selecionado como local de teste para a aplicação das tintas, proporcionando um ambiente representativo das condições típicas encontradas na região.

3.1 O ambiente de ensaio

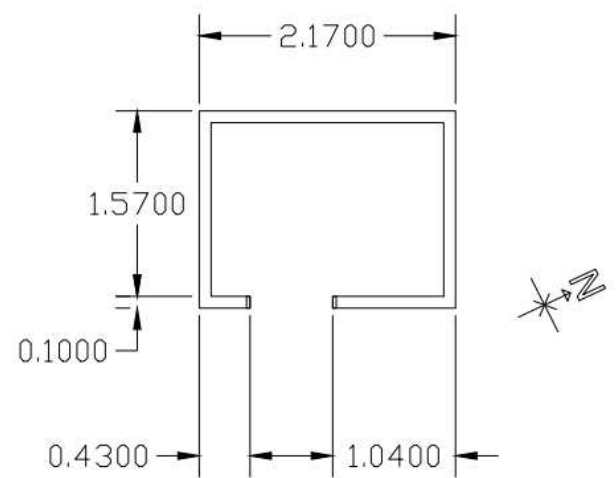
O local selecionado para condução do ensaio é um protótipo construído em alvenaria, com cobertura de telhas cerâmicas. Situado na cidade de Paulo Afonso, Bahia e apresenta as dimensões conforme a Figura 3.1. Além disso, com o emprego de uma bússola, foi possível determinar a direção do Norte magnético, conforme evidenciado na planta da Figura 3.1 (d), com indicação das cotas em metros. Esta informação foi crucial para efetuar uma análise da trajetória solar. Com o conhecimento de que o sol surge a Leste e se põe a Oeste, foi possível determinar quais paredes recebem uma maior incidência solar durante um intervalo de tempo específico.

Figura 3.1: Dimensões (em metros) do protótipo. (a) Vista frontal. (b). Corte transversal. (c) Vista posterior. (d) Planta baixa





(c) Vista posterior

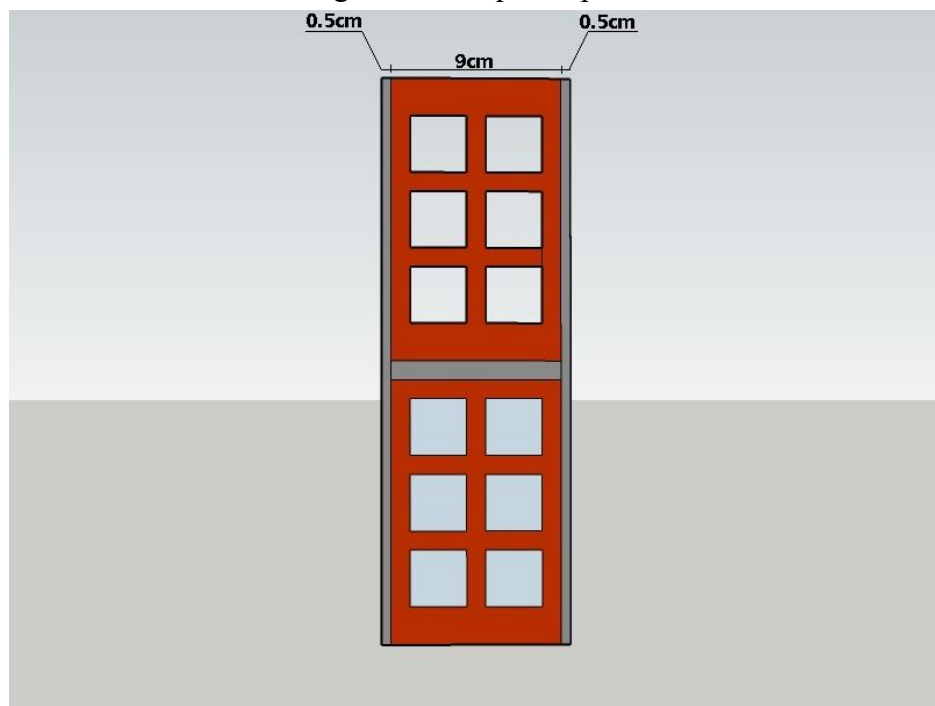


(d) Planta baixa

Fonte: elaborado pelo autor (2024)

O espaço em questão abrange aproximadamente 3,62 m², com suas paredes apresentando uma espessura de 10 cm. Esta composição inclui uma camada de reboco de 5 mm em ambas as faces interna e externa das paredes, intercalada por um bloco cerâmico de 6 furos com dimensões de 9x14x29 cm, conforme ilustrado na Figura 3.2:

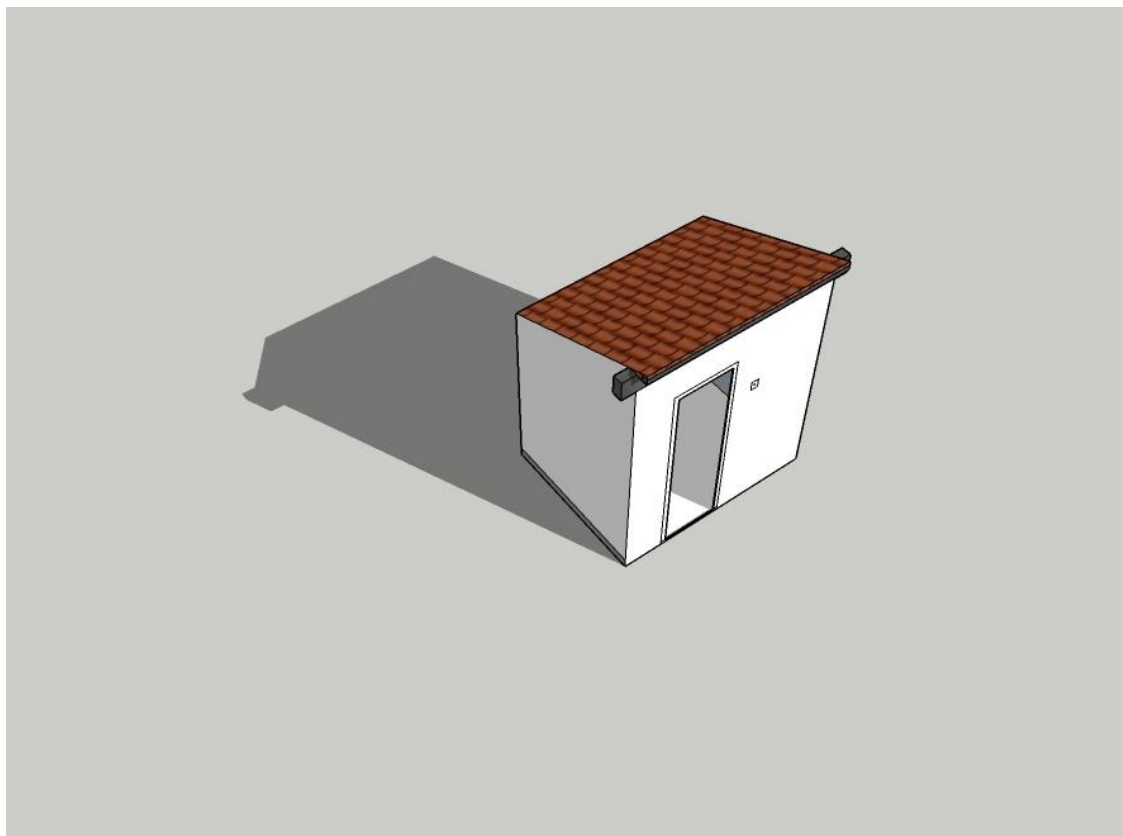
Figura 3.2: Esquema parede



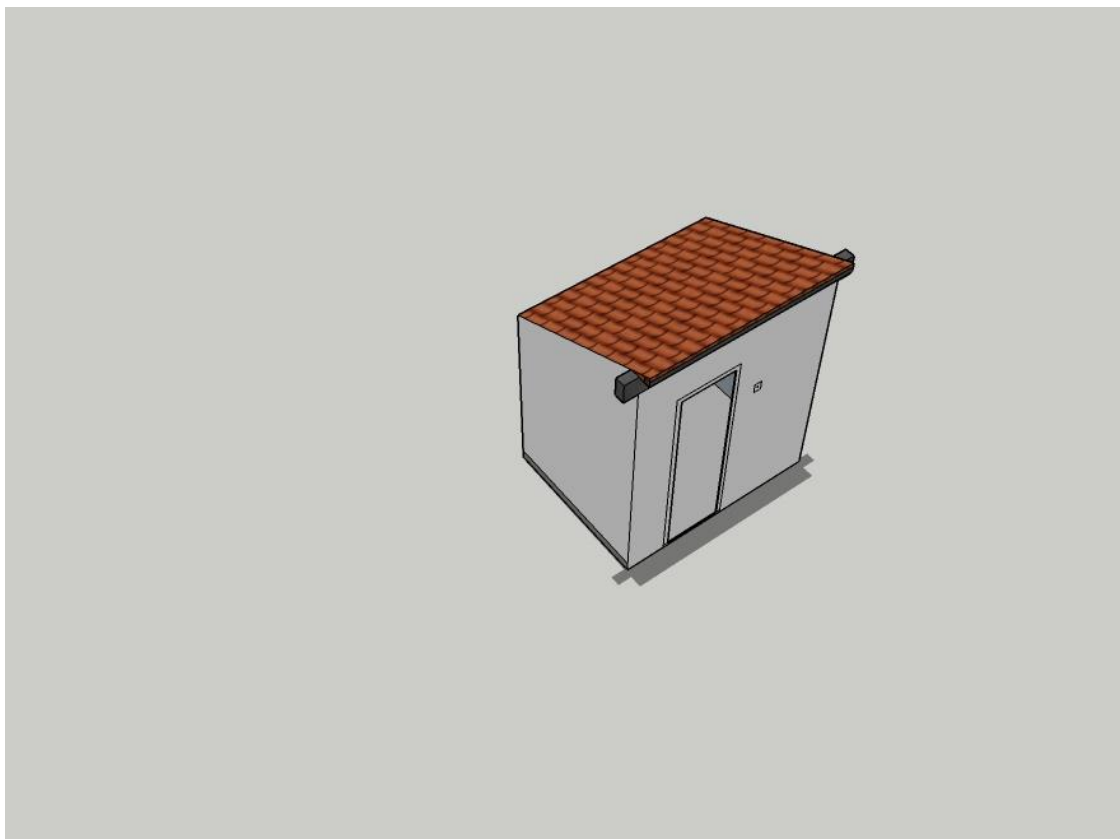
Fonte: elaborado pelo autor (2024)

Assim, é possível visualizar, por meio da representação tridimensional apresentada, como se dá a trajetória solar durante o verão, estação do ano em que foram realizadas as medições de temperatura utilizadas neste estudo. A Figura 3.3 ilustra, de maneira clara, a variação da incidência solar ao longo do dia, evidenciando as mudanças no ângulo e na intensidade dos raios solares em diferentes horários. É possível observar a posição do sol em três momentos distintos: (a) às 07:00h, quando os raios solares ainda estão em um ângulo mais baixo em relação ao horizonte, indicando o início da elevação solar; (b) às 12:00h, momento de maior insolação, com o sol praticamente a pino e (c) às 16:00h, quando o sol já se encontra em processo de declínio e reduzindo sua intensidade.

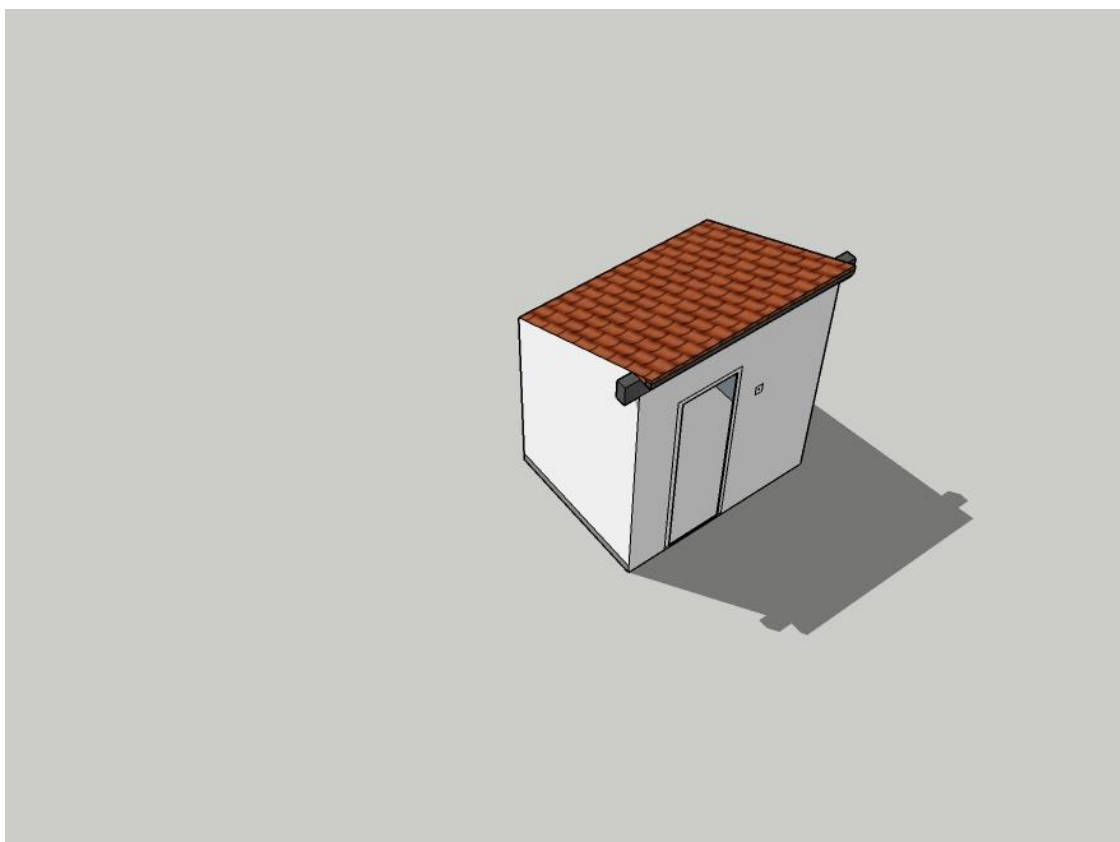
Figura 3.3: Incidência Solar em horários variados. (a) 07:00h. (b). 12:00h. (c) 16:00h.



(a) 07:00h



(b). 12:00h



(c) 16:00h

Fonte: elaborado pelo autor (2024)

3.2 Materiais e Equipamentos Utilizados

Para a realização do experimento, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos.

- **Obtenção do alumínio:** Tesoura de alta resistência, folhas de papel alumínio, potes de vidro, régua e fita métrica;
- **Tintas:** Tinta branca para exteriores e interiores da marca hidracor e a mesma tinta branca enriquecida com fragmentos de alumínio. A tinta enriquecida foi preparada com uma concentração de 20g/L de alumínio com tamanhos de 2 mm a 10 mm;
- **Equipamentos de medição:** Termômetro digital infravermelho, termohigrometro do tipo chocadeira;
- **Equipamentos de pintura:** Lixas de variadas espessuras, rolo de lã, broxa, pincel, vassoura, fundo preparador, bandeja de aplicação de tinta, espátula, óculos e máscara.

3.3 Obtenção do alumínio

Para a realização deste estudo, foi escolhida uma abordagem prática e econômica para a obtenção dos fragmentos de alumínio necessários, o uso de folhas de papel alumínio de uso doméstico. Este material foi selecionado devido a sua fácil acessibilidade e maleabilidade, o que facilita o processo de fragmentação e também por serem compostas de 100% alumínio.

As folhas de papel alumínio foram adquiridas em um supermercado local e foram inicialmente desenroladas e estendidas em uma superfície plana e limpa para facilitar o manuseio conforme a figura 3.4.

Figura 3.4: Alumínio. (a) Rolos de papel alumínio (b) Alumínio desenrolado na bancada



(a) Rolos de papel alumínio



(b) Alumínio desenrolado na bancada

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Utilizando uma tesoura comum, as folhas de papel alumínio foram inicialmente medidas e cortadas em tiras estreitas, como mostrado na Figura 3.5 (a). Este processo manual exigiu cuidado para manter uma largura relativamente uniforme entre as tiras, garantindo maior controle sobre a etapa seguinte de fragmentação. Uma vez obtidas as tiras, se procedeu o corte dessas tiras em pequenos pedaços, resultando em fragmentos com dimensões variando entre 2 a 10 milímetros, como pode ser observado na Figura 3.5(b). O tamanho foi estrategicamente escolhido para favorecer uma dispersão mais eficiente e homogênea do alumínio na mistura da tinta, promovendo uma melhor distribuição do material e, consequentemente, um desempenho mais uniforme da formulação final.

Após a fragmentação, os pedaços de alumínio foram cuidadosamente transferidos para recipientes de vidro, protegendo contra agentes externos, como poeira e umidade, que poderiam comprometer suas propriedades.

Figura 3.5: Fragmentação do alumínio. (a) Tiras (b) Fragmentos de 2mm a 10mm



(a) Tiras



(b) Fragmentos

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

3.4 Procedimento de aplicação das tintas

Inicialmente, as superfícies das paredes externas do protótipo passaram por um processo de preparação minucioso, fundamental para buscar a boa aderência e o desempenho eficaz das tintas que seriam posteriormente aplicadas. O procedimento teve início com a lavagem das superfícies utilizando uma lavadora de alta pressão, com o objetivo de remover sujeiras acumuladas, poeira, resíduos de tinta antiga e quaisquer outras impurezas que pudessem comprometer a fixação da nova camada de tinta. Em seguida, as paredes foram submetidas a remoção das imperfeições e um lixamento manual, utilizando lixas específicas para alvenaria, o que contribuiu para nivelar a superfície e aumentar a porosidade, favorecendo assim a ancoragem da tinta.

Para garantir uma limpeza mais detalhada, especialmente nas áreas de difícil acesso, foi utilizada uma vassoura com cerdas de pelo, que auxiliou na remoção de partículas soltas e no acabamento da limpeza. Após essa etapa, foram identificadas fissuras, rachaduras e pequenas quebras nas paredes. Para a correção dessas imperfeições, se utilizou gesso como material de

preenchimento, aplicado cuidadosamente com espátula, assegurando uma base lisa, regular e uniforme para a pintura, como ilustrado na Figura 3.6.

Figura 3.6: Preparação das paredes para pintura. (a) remoção de imperfeições com espátula (b) lixamento (c) aplicação de gesso nas fissuras e trincas.



(a) remoção de imperfeições com espátula



(b) lixamento



(c) aplicação de gesso nas fissuras e trincas

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Em seguida, a tinta branca convencional foi aplicada conforme recomendação do fabricante para garantir uniformidade da cobertura: por se tratar de uma estrutura praticamente com o reboco exposto, foi utilizado um selador acrílico antes da pintura conforme ilustra a Figura 3.7.

Figura 3.7: Aplicação do selador acrílico



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Então, a tinta foi diluída com 10% de água visando garantir melhor trabalhabilidade conforme as instruções presentes na embalagem do produto, essa diluição é mostrada pela Figura 3.8.

Figura 3.8: Diluição da tinta na proporção de 10% (a) medição da água (b) tinta diluída



(a) medição da água



(b) tinta diluída

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

A Figura 3.9 mostra a aplicação da tinta branca comum que se deu em duas demãos com um intervalo de 8 horas entre elas.

Figura 3.9: Aplicação da tinta convencional (a) pintura face lateral nordeste (b) pintura face noroeste



(a) pintura face lateral nordeste



(b) pintura face noroeste

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Ainda, a Figura 3.10 mostra as paredes pintadas com a tinta convencional.

Figura 3.10: Paredes pintadas (a) face sudeste (b) face lateral sudoeste



(a) face sudeste



(b) face lateral sudoeste

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Após secagem completa, foram iniciadas as medições das temperaturas.

A tinta enriquecida foi obtida a partir da mistura dos fragmentos de alumínio com a tinta branca diluída a 10%. Além disso, a proporção de alumínio adicionado foi de 0,5% do volume da tinta para garantir que a trabalhabilidade da tinta não fosse prejudicada. A mistura do aditivo com a tinta pode ser observada na Figura 3.11.

Figura 3.11: Mistura da tinta enriquecida



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Após finalizar as medições térmicas com a tinta branca convencional, as paredes externas do protótipo foram novamente preparadas para a aplicação da nova formulação enriquecida. Para isso, foi feito o lixamento das superfícies até a exposição da camada de selador, a fim de remover completamente a tinta anterior e evitar a sobreposição de camadas, o que poderia interferir nos resultados e comprometer a análise da eficiência da nova tinta. A aplicação da tinta enriquecida seguiu exatamente os mesmos parâmetros e procedimentos utilizados na etapa anterior, incluindo ferramentas e número de demãos com o objetivo de garantir maior padronização entre os testes realizados.

Vale destacar que, neste estudo, apenas as paredes externas do protótipo foram pintadas, uma vez que o objetivo principal é avaliar o comportamento da tinta em relação à refletância solar e seu impacto no ganho térmico da edificação. Assim, as paredes internas permaneceram sem pintura para evitar influências adicionais.

A Figura 3.12 ilustra a aparência final das superfícies externas após a aplicação da tinta enriquecida.

Figura 3.12: Paredes pintadas com tinta enriquecida (a) face sudeste (b) face lateral sudoeste



(a) face sudeste



(b) face lateral sudoeste

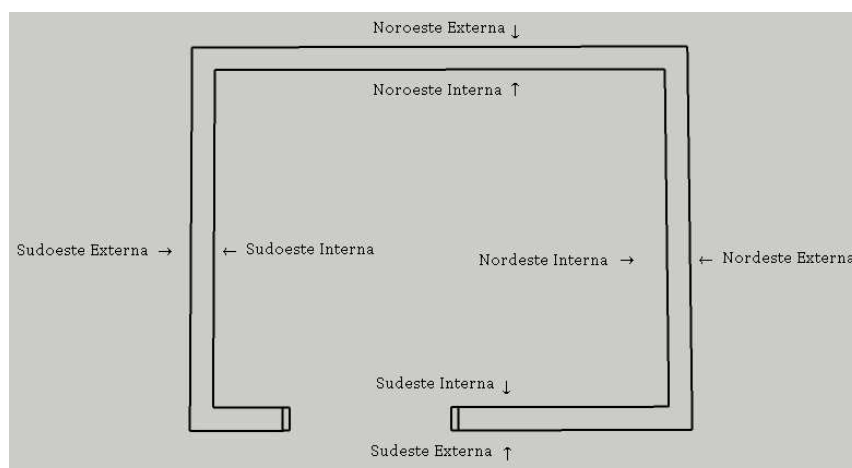
Fonte: elaborado pelo autor (2025)

3.5 Medição e Análise de Dados

3.5.1 Medição e Análise de Dados

As paredes internas e externas foram nomeadas a partir da vista da planta baixa e do norte magnético: faces sudeste, nordeste, sudoeste e noroeste internas e faces sudeste, nordeste, sudoeste e noroeste externas como mostra a figura 3.13

Figura 3.13: Nomeação das paredes



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

As medições de temperatura superficiais foram realizadas utilizando um termômetro digital infravermelho com precisão de $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ configurado para medir superfícies, posicionado nas diferentes paredes do protótipo, internas e externas. Adicionalmente, dois termo-higrômetros chocadeira com precisão de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ foram deixados fixos dentro e fora da estrutura durante todo o processo de teste para medir a temperatura ambiente e a umidade relativa conforme ilustra a Figura 3.14.

Figura 3.14: Medição (a) termômetro infravermelho (b) termo-higrômetro



(a) termômetro infravermelho



(b) termo-higrômetro

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Além disso, as condições climáticas durante o período de teste foram registradas, a incidência solar direta foi registrada de maneira empírica, sendo a condição climática classificada entre “ensolarado” e “nublado”. Medidas foram tomadas para garantir a consistência dos testes, como a realização das medições em horários similares dos dias e a manutenção de um ambiente fechado, valendo-se de uma lona na porta para evitar o efeito de convecção térmica no interior do protótipo.

As medições de temperatura foram realizadas em dois dias consecutivos para cada tipo de tinta, totalizando quatro dias de coleta de dados. Os testes ocorreram no final do mês de fevereiro, caracterizando o período do verão, estação marcada por elevada incidência solar e

temperaturas elevadas. A diferença temporal entre a aplicação e as medições de cada tinta foi de três dias respeitando o processo de preparação da pintura e secagem entre demãos.

3.5.2 Análise de Dados

Os dados coletados durante os testes foram analisados por meio de técnicas estatísticas utilizando o software Microsoft Excel, que permitiu a organização, processamento e interpretação dos resultados de forma precisa.

Inicialmente, foram calculadas as médias das medições realizadas nos dias 1 e 2 para cada face do protótipo, abrangendo as temperaturas internas e externas, bem como os valores de umidade relativa do ar, para ambas as tintas testadas.

Em seguida, foram realizadas comparações entre as temperaturas médias registradas em cada face, com o objetivo de verificar o desempenho térmico de cada tinta aplicada. Para isso, foram calculadas as diferenças entre as temperaturas externas e internas, possibilitando verificar se a radiação solar estava de fato sendo refletida ou absorvida.

Ainda, também foram comparadas as temperaturas ambientes médias externas e internas dos dois testes, a fim de avaliar se houve redução térmica no interior do protótipo em decorrência do uso da tinta enriquecida, permitindo assim uma compreensão mais aprofundada do potencial de resfriamento promovido por cada solução aplicada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, os dados obtidos das medições são apresentados a seguir e também as análises pertinentes, permitindo avaliar a eficiência térmica das superfícies tratadas com cada formulação.

4.1 Valores obtidos e médios

Na Tabela 4.1, são mostradas as temperaturas registradas nas superfícies externas pintadas com tinta branca convencional e internas, para os dois dias de medições e em três horários diferentes do dia: 07:00h, 12:00h e 17:00h.

Tabela 4.1: Medições para tinta branca convencional

Dia	1	1	1	2	2	2
Hora	07:00	12:00	17:00	07:00	12:00	17:00
Temp. Face Sudeste Interna (°C)	28,2	34,4	36,6	28,5	34	35,6
Temp. Face Sudeste Externa (°C)	29,9	36	35,4	29,6	35,7	34,7
Temp. Face Nordeste Interna (°C)	28,2	34,2	36,5	28,6	33,9	35,5
Temp. Face Nordeste Externa (°C)	28,8	35,6	35,3	28,9	35,1	34,6
Temp. Face Sudoeste Interna (°C)	28,3	34	36,7	28,6	33,7	35,9
Temp. Face Sudoeste Externa (°C)	27,8	35,6	36,7	27,8	34,9	35,7
Temp. Face Noroeste Interna (°C)	28,4	34	37	28,5	33,7	36,5
Temp. Face Noroeste Externa (°C)	28	35,4	37,7	27,9	35	36,8
Temp. Ambiente Interno (°C)	32,1	33,5	35,1	30,7	33	34,1
Temp. Ambiente Externo (°C)	31,9	36,4	34,0	32,5	34,0	31,9
Umidade Relativa (%)	55	38	42	62	55	46
Condição Climática	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

De mesmo modo, foi realizado o mesmo procedimento de mensuração para tinta com fragmentos de alumínio, como pode ser observado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Medições para tinta com fragmentos de alumínio

Dia	1	1	1	2	2	2
Hora	07:00	12:00	17:00	07:00	12:00	17:00
Temp. Face Sudeste Interna (°C)	27,8	32,8	35,3	27,7	32,8	34,9
Temp. Face Sudeste Externa (°C)	27,5	34,7	33,3	27,9	34,7	35,4
Temp. Face Nordeste Interna (°C)	27,7	33,0	34,9	27,6	33,0	34,7
Temp. Face Nordeste Externa (°C)	28,5	36,3	33,7	28,2	36,3	34,8
Temp. Face Sudoeste Interna (°C)	27,8	32,8	35	27,7	32,8	35
Temp. Face Sudoeste Externa (°C)	27,4	34,6	34,7	28	34,6	36,5
Temp. Face Noroeste Interna (°C)	27,9	32,7	35,5	27,8	32,8	35,7
Temp. Face Noroeste Externa (°C)	27,9	37,3	37,6	28	38,3	39,3
Temp. Ambiente Interno (°C)	30,6	35,1	34,1	29,3	33,1	34,2
Temp. Ambiente Externo (°C)	31	35,1	34	29,1	35,1	35,5
Umidade Relativa (%)	52	50	49	65	54	45
Condição Climática	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado	Ensolarado

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Assim, o próximo passo foi calcular as médias entre os dias 1 e 2 para ambos tratamentos como mostram as tabelas 4.3 e 4.4:

Tabela 4.3: Média entre os dias 1 e 2 para tinta convencional

Hora	07:00	12:00	17:00
Temp. Face Sudeste Interna (°C)	28,35	34,2	36,1
Temp. Face Sudeste Externa (°C)	29,75	35,85	35,05
Temp. Face Nordeste Interna (°C)	28,4	34,05	36
Temp. Face Nordeste Externa (°C)	28,85	35,35	34,95
Temp. Face Sudoeste Interna (°C)	28,45	33,85	36,3
Temp. Face Sudoeste Externa (°C)	27,8	35,25	36,2
Temp. Face Noroeste Interna (°C)	28,45	33,85	36,75
Temp. Face Noroeste Externa (°C)	27,95	35,2	37,25
Temp. Ambiente Interno (°C)	31,4	33,25	34,6
Temp. Ambiente Externo (°C)	32,2	35,2	32,95
Umidade Relativa (%)	58,5	46,5	44

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

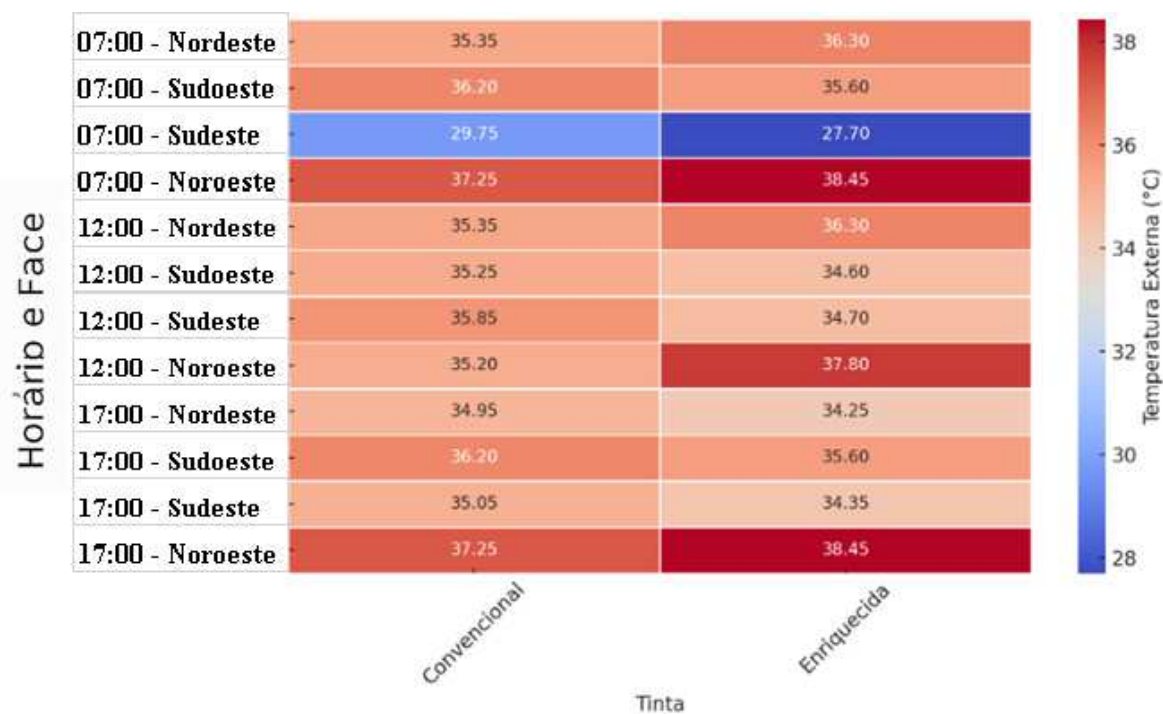
Tabela 4.4: Média entre os dias 1 e 2 para tinta enriquecida

Hora	07:00	12:00	17:00
Temp. Face Sudeste Interna (°C)	27,75	32,8	35,1
Temp. Face Sudeste Externa (°C)	27,7	34,7	34,35
Temp. Face Nordeste Interna (°C)	27,65	33	34,8
Temp. Face Nordeste Externa (°C)	28,35	36,3	34,25
Temp. Face Sudoeste Interna (°C)	27,75	32,8	35
Temp. Face Sudoeste Externa (°C)	27,7	34,6	35,6
Temp. Face Noroeste Interna (°C)	27,85	32,75	35,6
Temp. Face Noroeste Externa (°C)	27,95	37,8	38,45
Temp. Ambiente Interno (°C)	29,95	34,1	34,15
Temp. Ambiente Externo (°C)	30,05	35,1	34,75
Umidade Relativa (%)	58,5	52,0	47,0

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

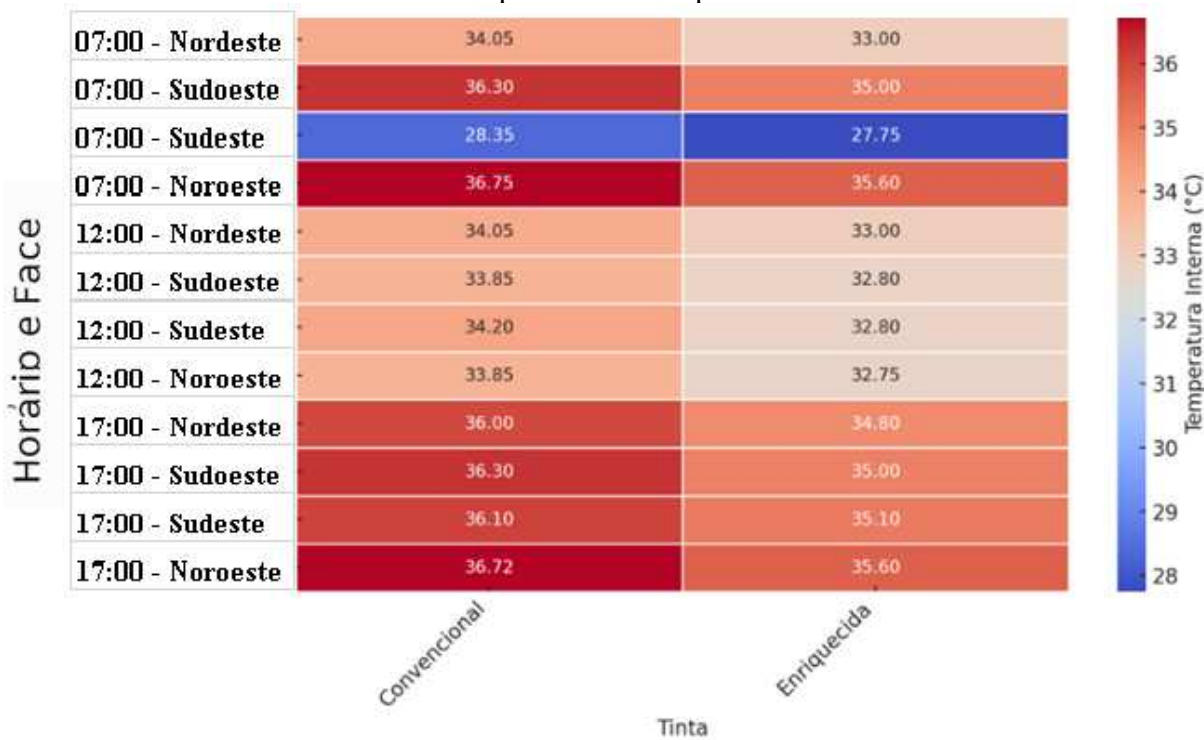
Os gráficos 4.1 e 4.2 representam as temperaturas médias externas e internas para cada face e horário, comparando as tintas convencional e enriquecida. Ele destaca visualmente as diferenças térmicas e facilita a identificação de padrões.

Gráfico 4.1: Mapa de calor temperaturas médias externas



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 4.2: Mapa de calor temperaturas médias internas



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Os valores médios das temperaturas registradas em cada face do protótipo permitem uma avaliação detalhada do desempenho térmico das tintas ao longo do dia. Espera-se que a tinta enriquecida apresente temperaturas mais altas nas faces expostas à radiação solar direta, refletindo-a, e desempenho similar à tinta convencional nas demais faces.

4.2 Análise comparativa

4.2.1 Período das 7:00h

Nesse período, apesar da radiação solar direta ser menor, as faces mais afetadas são a sudeste e a nordeste. A Tabela 4.5 apresenta os dados da diferença de temperatura entre as superfícies externa e interna das faces sudestes às 7:00h.

Tabela 4.5: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Sudestes às 7:00h

- Face Sudeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Sudeste Externa (°C)	29,75	27,70
Temp. Face Sudeste Interna (°C)	28,35	27,75
Diferença (ΔT)	1,40°C	-0,05°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

A tinta convencional apresentou uma diferença positiva $\Delta T = +1,40^\circ\text{C}$ entre as temperaturas externa e interna, indica que a face externa estava mais quente, o que pode sugerir maior refletância da radiação solar.

A tinta enriquecida teve ΔT próximo de 0, mostrando equilíbrio térmico entre as superfícies indicando o contrário do que se esperava.

A seguir, a Tabela 4.6 traz a diferença de temperaturas das faces nordestes no mesmo horário.

Tabela 4.6: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Nordestes às 7:00h

- Face Nordeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Nordeste Externa (°C)	35,35	36,30
Temp. Face Nordeste Interna (°C)	34,05	33,00
Diferença (ΔT)	1,30°C	2,7°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Ambas as tintas tiveram ΔT positivo, mas a enriquecida teve uma diferença maior, $2,70^{\circ}\text{C}$ contra $1,30^{\circ}\text{C}$. Isso pode indicar que essa face estava refletindo maior parcela de radiação solar.

Já a Tabela 4.7 mostra os valores obtidos nas faces sudoestes às 7:00h.

Tabela 4.7: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Sudoestes às 7:00h

- Face Sudoeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Sudoeste Externa ($^{\circ}\text{C}$)	36,20	35,60
Temp. Face Sudoeste Interna ($^{\circ}\text{C}$)	36,30	35,00
Diferença (ΔT)	$-0,10^{\circ}\text{C}$	$0,60^{\circ}\text{C}$

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Para essa face, a tinta convencional obteve um equilíbrio maior entre superfícies, com $\Delta T = -0,10^{\circ}\text{C}$. Ainda, a tinta enriquecida obteve uma diferença positiva $\Delta T = 0,60^{\circ}\text{C}$, se saindo melhor em refletir a radiação solar, mostrando um comportamento esperado com maior variação de temperatura entre ambientes.

Na Tabela 4.8, observa-se a comparação das temperaturas das faces noroestes às 7:00h.

Tabela 4.8: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Noroestes às 7:00h

- Face Noroeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Noroeste Externa ($^{\circ}\text{C}$)	37,25	38,45
Temp. Face Noroeste Interna ($^{\circ}\text{C}$)	36,75	35,60
Diferença (ΔT)	$1,50^{\circ}\text{C}$	$2,85^{\circ}\text{C}$

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

De forma semelhante a face sudoeste, a tinta com alumínio apresentou uma diferença maior na superfície. O que pode sugerir novamente maior refletância solar.

Por fim, a Tabela 4.9 reúne as diferenças entre as temperaturas médias dos ambientes externo e interno às 7:00h.

Tabela 4.9: Diferença entre Temperaturas Médias dos Ambientes Externo e Interno às 7:00h

- Temperatura Ambiente 07:00

Tinta	Convencional	Enriquecida
Diferença entre ambiente externo e interno (ΔT)	0,8°C	0,1°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Por fim, a diferença de temperaturas ambientes indica que a tinta convencional obteve um melhor desempenho em manter o ambiente interno com uma temperatura mais baixa que o externo.

Porém, na maioria dos horários aferidos, a temperatura superficial interna com a tinta enriquecida foi menor que a tinta convencional.

4.2.2 Período das 12:00h

Neste horário, a radiação solar atinge seu máximo, porém, a incidência solar é maior no telhado do que nas demais faces do protótipo. Entretanto, as paredes sudeste e nordeste receberam toda insolação direta do período da manhã. O esperado é que essas paredes estejam com maiores temperaturas e que as demais apresentem um comportamento mais balanceado.

A Tabela 4.10 a seguir mostra os resultados para as faces sudestes às 12:00h.

Tabela 4.10: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna da Faces Sudestes às 12:00h

- Face Sudeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Sudeste Externa (°C)	35,85	34,70
Temp. Face Sudeste Interna (°C)	34,20	32,80
Diferença (ΔT)	1,65°C	1,90°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

A tinta enriquecida apresentou maior diferença, indicando que superfície externa aqueceu mais que a interna como o esperado para esse período.

A seguir, a Tabela 4.11 apresenta as temperaturas observadas nas faces nordestes nesse mesmo horário.

Tabela 4.11: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Nordeste às 12:00h

- Face Nordeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Nordeste Externa (°C)	35,35	36,30
Temp. Face Nordeste Interna (°C)	34,05	33,00
Diferença (ΔT)	1,30°C	3,30°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Assim como a face sudeste, a nordeste obteve o comportamento esperado, com a tinta com alumínio aquecendo significativamente mais externamente, indicando maior refletância solar.

A Tabela 4.12 traz os dados coletados na face sudoeste às 12:00h.

Tabela 4.12: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Sudoestes às 12:00h

- Face Sudoeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Sudoeste Externa (°C)	35,25	34,60
Temp. Face Sudoeste Interna (°C)	33,85	32,80
Diferença (ΔT)	1,40°C	1,80°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

A superfície sudoeste também obteve o comportamento esperado, pois não houve radiação solar direta nessa face. Logo, ambas tintas tiveram condutas semelhantes, com a tinta enriquecida com valores levemente melhores.

Ainda, a Tabela 4.13 mostra os dados relativos à face noroeste ao meio-dia.

Tabela 4.13: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Noroestes às 12:00h

- Face Noroeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Noroeste Externa (°C)	35,20	37,80
Temp. Face Noroeste Interna (°C)	33,85	32,75
Diferença (ΔT)	1,35°C	5,05°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

A superfície noroeste com a tinta enriquecida para esse horário mostrou uma diferença significativa, 5,05°C contra 1,35°C da tinta convencional, indicando uma possível grande refletância do espectro solar no infravermelho.

Finalmente, a Tabela 4.14 apresenta as diferenças das temperaturas médias entre os ambientes externo e interno às 12:00h.

Tabela 4.14: Diferença entre Temperaturas Médias dos Ambientes Externo e Interno às 12:00h

- Temperatura Ambiente 12:00

Tinta	Convencional	Enriquecida
Diferença entre ambiente externo e interno (ΔT)	1,95°C	1,00°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Por fim, a diferença das temperaturas ambientes foram positivas para ambas tintas, mostrando eficiência em deixar o interno da edificação mais refrigerado. Porém, semelhante ao período das 7:00h, em todos os horários aferidos, a temperatura superficial interna com a tinta enriquecida foi menor que a tinta convencional, com uma diferença significativa para face noroeste.

4.2.3 Período das 17:00h

Nesse momento, as faces sudoeste e noroeste receberam a maior parcela de radiação da tarde. O esperado é que essas superfícies tenham maior temperatura e que o calor não seja totalmente transmitido ao interior com parte da radiação sendo refletida.

A seguir, a Tabela 4.15 mostra os dados para as faces sudestes às 17:00h.

Tabela 4.15: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Sudestes às 17:00h

- Face Sudeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Sudeste Externa (°C)	35,05	34,35
Temp. Face Sudeste Interna (°C)	36,10	35,10
Diferença (ΔT)	-1,05°C	-0,75°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Ambas tintas apresentaram um comportamento semelhante, com as faces internas mais quentes que as externas, com a tinta enriquecida apresentando um desempenho levemente melhor.

Ainda, Tabela 4.16 apresenta as diferenças das médias das temperaturas registradas nas faces nordestes neste horário.

Tabela 4.16: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Nordestes às 17:00h

- Face Nordeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Nordeste Externa (°C)	34,95	34,25
Temp. Face Nordeste Interna (°C)	36,00	34,80
Diferença (ΔT)	-1,05°C	-0,55°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Semelhante ao plano anterior, mostraram um comportamento parecido, porém, com a tinta enriquecida sendo um pouco melhor.

Em seguida, a Tabela 4.17 mostra os valores das diferenças registradas nas faces sudoestes às 17:00h.

Tabela 4.17: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Sudoestes às 17:00h

- Face Sudoeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Sudoeste Externa (°C)	36,20	35,60
Temp. Face Sudoeste Interna (°C)	36,30	35,00
Diferença (ΔT)	-0,10°C	0,60°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Para essa superfície, o comportamento esperado se concretizou, pela incidência da radiação solar direta, a tinta enriquecida manteve a temperatura da parede externa mais quente que a interna, diferente da tinta convencional. O que pode indicar que parte da radiação estava sendo refletida.

A Tabela 4.18 apresenta os dados da face noroeste, também às 17:00h.

Tabela 4.18: Diferença entre Temperaturas Externa e Interna das Faces Noroestes às 17:00h

- Face Noroeste

Tinta	Convencional	Enriquecida
Temp. Face Noroeste Externa (°C)	37,25	38,45
Temp. Face Noroeste Interna (°C)	36,72	35,60
Diferença (ΔT)	0,50°C	2,85°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Essa face teve a conduta semelhante a anterior. É válido ressaltar que novamente o plano traseiro obteve as maiores temperaturas.

Por último, a Tabela 4.19 exibe a diferença das temperaturas médias entre os ambientes externo e interno nesse mesmo horário.

Tabela 4.19: Diferença entre Temperaturas Médias dos Ambientes Externo e Interno às 17:00h

- Temperatura Ambiente 17:00

Tinta	Convencional	Enriquecida
Diferença entre ambiente externo e interno (ΔT)	-1,65°C	0,60°C

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Finalmente, a diferença das medias das temperaturas ambientes mostrou que a tinta enriquecida se saiu melhor que a convencional para radiação solar no período das 12:00h até às 17:00h.

4.3 Interpretação Geral dos Resultados

A análise dos resultados revela a complexidade dos mecanismos de transferência de calor que atuam simultaneamente na interação entre a radiação solar e as superfícies pintadas, ocorrendo devido à diferença de temperatura entre os meios, conforme Incropera (2008), sendo evidenciada pelas variações entre as temperaturas externas e internas das faces analisadas em diferentes horários.

A comparação entre as tintas convencional e enriquecida com aditivo de alumínio demonstrou comportamentos térmicos distintos, influenciados principalmente pela radiação solar incidente, orientação das faces do protótipo e pelas propriedades físico-químicas dos materiais. Esses fatores atuam em conjunto nos processos de refletância, condutividade térmica

e acúmulo de calor nas superfícies.

De modo geral, os dados mostraram que a tinta enriquecida obteve melhor desempenho na maioria das situações analisadas, especialmente nos períodos de maior incidência solar, 12h e 17h, demonstrando potencial para aplicação em estratégias de mitigação de calor.

No período da manhã às 7:00h, os dados mostraram um desempenho ligeiramente melhor da tinta convencional na temperatura ambiente interna, com $\Delta T = 0,8^{\circ}\text{C}$, contra $\Delta T = 0,1^{\circ}\text{C}$ da tinta enriquecida. No entanto, analisando as superfícies isoladamente, a tinta enriquecida teve desempenho superior nas faces nordeste e noroeste, com maiores diferenças de temperatura entre as superfícies externa e interna, sugerindo maior refletância da radiação solar. Esse padrão também foi observado na face sudoeste.

No período de maior radiação solar às 12:00h, a tinta enriquecida obteve melhores resultados em todas as faces, com destaque para a face noroeste, que apresentou uma diferença ΔT de $5,05^{\circ}\text{C}$, contra $1,35^{\circ}\text{C}$ da convencional. Esse comportamento sugere que, embora a superfície externa tenha aquecido mais, parte significativa da radiação foi refletida ou dissipada, evitando a elevação da temperatura interna.

No final do dia às 17:00h, a tinta enriquecida novamente superou a convencional, principalmente nas faces expostas à radiação solar vespertina, sudoeste e noroeste, com ΔT de $0,60^{\circ}\text{C}$ e $2,85^{\circ}\text{C}$, respectivamente. A média de temperatura ambiente nesse período também evidenciou melhor desempenho: $\Delta T = 0,60^{\circ}\text{C}$ contra $\Delta T = -1,65^{\circ}\text{C}$ da convencional, que apresentou temperaturas internas superiores às externas, indicando maior absorção de calor.

Esses resultados indicam que a tinta enriquecida apresentou desempenho superior no controle térmico interno em horários de maior radiação solar, sendo mais eficaz em refletir parte da radiação incidente, reduzindo a transferência de calor para o interior da edificação.

Além disso, o estudo utilizou um termômetro infravermelho para aferição das temperaturas superficiais. Esse equipamento mede a radiação infravermelha emitida por um corpo, utilizando um sensor óptico que detecta a energia térmica irradiada e a converte em leitura de temperatura. Como a radiação solar afeta diretamente a temperatura das superfícies, o termômetro infravermelho é eficiente para detectar como diferentes materiais e tintas respondem ao calor solar. No caso da tinta enriquecida, a maior diferença entre as temperaturas externa e interna em determinadas faces indica que a radiação foi em parte refletida pelo alumínio como sugeriu Ikematsu (2007), fenômeno que o termômetro detecta através da radiação térmica emitida pela superfície.

Observando o comportamento descrito por Dornelles (2008), é possível que

variações de textura e rugosidade nas superfícies pintadas, bem como a orientação dos fragmentos de alumínio, tenham afetado localmente a absorção e a emissão de calor, influenciando os resultados. A disposição aleatória dos flocos metálicos pode ter gerado zonas com diferentes respostas térmicas à radiação solar.

Ainda, é importante ressaltar algumas limitações do estudo. Por se tratar de um protótipo exposto, não foi possível controlar variáveis ambientais como a convecção térmica provocada pelo vento, ou a uniformidade da radiação solar entre os dias de medição. A ausência de um espectrofotômetro também impediu a aferição direta da refletância das superfícies, sendo necessário inferi-la com base nos dados térmicos obtidos.

Mesmo com essas limitações, os dados obtidos não foram inconclusivos. Pelo contrário, demonstraram com clareza que a tinta enriquecida com aditivo de alumínio apresenta potencial de refletância solar, principalmente no espectro infravermelho, contribuindo para a redução do ganho térmico nas superfícies e, conseqüentemente, para a melhoria do conforto térmico interno.

Dessa forma, a utilização de aditivos como o alumínio em tintas é uma estratégia promissora para aplicações em edificações, especialmente em regiões de alta insolação. Seu baixo custo, abundância e eficiência térmica tornam o material viável para futuras pesquisas e aplicações práticas em eficiência energética e conforto ambiental.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como principal objetivo analisar a eficiência térmica de uma tinta com aditivo à base de alumínio em refletir a radiação solar no espectro do infravermelho, aplicada em superfícies externas de edificações, em comparação com uma tinta branca convencional. A partir dos dados obtidos, foi possível constatar que a formulação enriquecida apresentou desempenho superior em diversos momentos do dia, especialmente no período da tarde, quando as cargas térmicas de radiação incidentes são mais elevadas.

Durante o experimento, observou-se que, às 07:00h, a tinta branca demonstrou maior estabilidade térmica no ambiente interno, porém a tinta enriquecida com alumínio apresentou maiores ΔT nas superfícies externas mais expostas, sugerindo uma atuação eficaz na refletância solar. No horário de maior incidência solar às 12:00h, a tinta com aditivo se destacou nas faces nordeste e noroeste, apresentando ΔT superiores, $5,05^{\circ}\text{C}$ e $3,30^{\circ}\text{C}$, respectivamente, o que indica maior refletância e menor transmissão de calor para o interior da edificação. Já no período das 17:00h, a tinta enriquecida obteve os melhores resultados médios de temperatura ambiente interna, com $\Delta T = +0,60^{\circ}\text{C}$, enquanto a tinta convencional apresentou $\Delta T = -1,65^{\circ}\text{C}$. Esse dado evidencia que a formulação com alumínio se mostrou mais eficiente na refrigeração do ambiente interno, favorecendo o conforto térmico no final da tarde.

Além disso, os resultados também sugerem que o alumínio, como aditivo, possui potencial para melhorar a refletância da radiação solar no espectro do infravermelho, mas sua eficácia pode ser influenciada por fatores como a orientação das partículas, a rugosidade da superfície e as condições climáticas locais. Além disso, a metodologia empregada neste estudo, embora válida para uma análise preliminar, apresenta limitações, como a falta de controle sobre variáveis externas e a ausência de equipamentos para medição direta da refletância mesmo com a utilização de um termômetro infravermelho.

Diante disso, se recomenda a realização de estudos complementares para explorar otimizações na formulação da tinta enriquecida, como a variação da concentração de alumínio, o tamanho e a distribuição dos fragmentos, e o uso de técnicas de aplicação que garantam uma orientação mais eficiente das partículas. Também seria benéfico incluir medições espectrofotométricas para avaliar diretamente a refletância e a absorvância das superfícies. E também, são necessárias pesquisas adicionais para consolidar seu uso em larga escala.

Assim, este trabalho contribui para a discussão sobre soluções acessíveis e sustentáveis para o controle térmico em edificações, destacando o potencial do alumínio como aditivo em tintas refletivas.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING. **ASHRAE STANDARD 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **Boletim Econômico Termômetro AVACR**. São Paulo. 2024
- COSTA, M. L. da S. .; FREIRE , M. R. .; SILVA, K. F. da .; FREIRES , F. G. M. . Analysis of Energy Consumption Related to the Use of Air Conditioning in University Buildings in a Tropical Climate. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo (SP), v. 16, n. 2, p. e03025, 2022. DOI: 10.24857/rgsa.v16n2-019. Disponível em: <https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/3025>. Acesso em: 19 mar. 2024.
- DORNELLES, K. A. **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex Acrílica e PVA**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Tese de Doutorado. Campinas, 2008.
- Empresa de Pesquisa Energética. **Demanda de energia em ar-condicionado: Metodologia para avaliação da eficiência energética**. 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-656/EPEFactSheetArCondicionado_2022_03_23.pdf#search=ar%20condicionado. Acesso em 14/06/2024
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- GEIRINHAS, J. L. *et al.* Climatic Characterization of Heat Waves in Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj**, [S.L.], v. 41, n. 3, p. 333-350, 4 dez. 2018. Instituto de Geociências - UFRJ. http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_333_350. Disponível em: https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/17754/1/REP-CEF-anuario-2018_3_333_350.pdf. Acesso em: 19 mar. 2024.
- IKEMATSU, Paula. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. 2007. Dissertação (Mestrado

em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/D.3.2007.tde-26122008-105228. Acesso em: 31 out 2023.

INCROPERA, Frank P.. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos, 2008. 643 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Rio de Janeiro). Mapa de Clima do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Escala 1:5.000.000.

NR 17. **Norma Regulamentadora 17 – Ergonomia**. Ministério do Trabalho. 2023.

PEREIRA, C. D. *et al.* **Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas (v.1)**. Florianópolis: CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, 2015.

RIBEIRO, Sara Margarida Sereno Quaresma Teixeira. **Formulação de tintas de interior para redução de consumo energético**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10773/12244>. Acesso em: 27 out. 2023.

SOUZA, Luiz Fernando de. **Um experimento sobre a dilatação térmica e a lei de resfriamento**. 2007. 26 f. Monografia (Especialização) - Curso de Licenciatura em Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://www.if.ufrj.br/~carlos/inic/luizfernando/monografiaLuizFernando.pdf>. Acesso em: 26 out. 2023.

VECCHI, Renata De. **Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de florianópolis/sc**. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Renata_De_Vecchi_0.pdf. Acesso em: 31 out. 2023.

YAZBEK, Maria Carmelita. Pobreza no Brasil contemporâneo e formas de seu enfrentamento. **Serviço Social & Sociedade**, [S.L.], n. 110, p. 288-322, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-66282012000200005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ssoc/a/X7pK7y7RFsC8wnxB36MDbyx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 19 mar. 2024.

ZANELLA, Maria Elisa. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, Fortaleza, Volume Especial, n. 36, p. 126-142, 2014. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3176/2680>. Acesso em: 26 out. 2023.