



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

JAIME FELIPE COSTA MONTEIRO TAVARES
JOÃO VICTOR LOBO GAMA

Influência da aplicação de tinta refletiva e do tipo de revestimento de pavimentos urbanos na redução do efeito ilha de calor: Estudo de caso na avenida Pedro Miranda, em Belém-PA.

BELÉM - PA
2026

JAIME FELIPE COSTA MONTEIRO TAVARES

JOÃO VICTOR LOBO GAMA

Influência da aplicação de tinta refletiva e do tipo de revestimento de pavimentos urbanos na redução do efeito ilha de calor: Estudo de caso na avenida Pedro Miranda, em Belém-PA.

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar

BELÉM - PA

2026

JAIME FELIPE COSTA MONTEIRO TAVARES
JOÃO VICTOR LOBO GAMA

Influência da aplicação de tinta refletiva e do tipo de revestimento de pavimentos urbanos na redução do efeito ilha de calor: Estudo de caso na avenida Pedro Miranda, em Belém-PA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Belém, 26 de fevereiro de 2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



MARCELO FIGUEIREDO MASSULO AGUIAR

Data: 02/03/2026 11:21:42-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar

Orientador

Documento assinado digitalmente



ALINE FURTADO LOUZADA

Data: 02/03/2026 11:27:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Aline Furtado Louzada

Examinadora

Documento assinado digitalmente



ANDRE AUGUSTO AZEVEDO MONTENEGRO DUARTE

Data: 02/03/2026 11:39:38-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte
Examinador

Aprovado, com conceito Excelente,
em 26 de fevereiro de 2026

AGRADECIMENTOS

De João Victor Lobo Gama,

Primeiramente, aos meus pais, Djane Cristina Pires Lobo Gama e Rudineuro Alfaia Gama. Nunca fui uma pessoa religiosa, mas aprendi que fé é a crença em algo maior, é a convicção de que algo permanece mesmo quando não se pode ver. E, se fé é isso, então a minha maior fé é a certeza de que o apoio e o amor incondicional de vocês sempre estarão presentes na minha vida. Vocês nunca colocaram limites nos meus sonhos, nunca diminuíram minhas ambições e nunca me deixaram caminhar sozinho. Se hoje concluo esta etapa, é porque sempre tive a segurança de que, independentemente do caminho, teria vocês como base.

Em memória da minha avó, Maria José Ramos Pires, que infelizmente partiu durante minha graduação. No dia em que recebi a notícia da aprovação na universidade, imagino que ela tenha sido a primeira a sorrir. Hoje, ao concluir este ciclo, faço questão de honrar aquele sorriso.

Aos meus amigos, porque, como diz a frase, “diz-me com quem andas e eu te direi quem és”. Tenho orgulho de caminhar ao lado de Alexandre Faro, Rafael Vaz, Alef José, Maria Couto e Anna Laura Gomes. Vocês tornaram essa jornada mais leve, mais verdadeira e mais significativa.

Aos amigos que a faculdade me proporcionou, que compartilharam salas de aula, trabalhos, provas, prazos apertados e momentos de tensão, mas também risadas e aprendizados que levarei para a vida. A presença de vocês tornou essa experiência mais leve e mais suportável, especialmente nos períodos mais exigentes da graduação.

Às minhas amigas de longa data, Maria Eduarda Modesto e Maria Fernanda Modesto, que me ensinaram o que é irmandade. A constância, a lealdade e o cuidado de vocês foram fundamentais para minha formação pessoal.

Ao meu parceiro de TCC, Jaime Tavares, pela parceria sólida ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho. Dividimos responsabilidades, prazos e desafios, sempre com comprometimento e dedicação. Sua colaboração foi essencial para a qualidade desta pesquisa.

À minha companheira de vida, Letícia Passos, por ser minha dupla, porto e meu incentivo constante. Obrigado por estar presente nos dias de dúvida, por celebrar comigo cada pequena vitória e por me lembrar, nos momentos difíceis, do motivo pelo qual comecei. Ter você ao meu lado transforma qualquer desafio em algo possível.

Ao meu orientador, Professor Doutor Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar, pela orientação atenta, didática e comprometida. Agradeço pelo tempo dedicado, pelo rigor técnico, pelas correções detalhadas e pelos questionamentos que ampliaram minha visão crítica e fortaleceram este trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha trajetória acadêmica e pessoal.

De Jaime Felipe Costa Monteiro Tavares,

A conclusão deste trabalho não representa apenas o encerramento de um ciclo acadêmico, mas a culminância de um esforço coletivo sustentado por mãos que me ampararam, mentes que me guiaram e corações que me fortaleceram.

Aos meus pais, Leida Costa e Licínio Junior, por serem o alicerce absoluto de minha formação. Expresso minha profunda gratidão por terem viabilizado a tranquilidade necessária aos meus estudos, provendo não apenas os recursos, mas o ambiente de segurança e incentivo que permitiu meu florescimento intelectual.

À minha irmã, Allysan Tavares, pelo suporte familiar incondicional. Sua presença e compreensão nos bastidores desta jornada foram fundamentais para manter o equilíbrio e a motivação nos momentos de maior exigência.

À minha querida, Natália de Moraes, por ser minha fonte constante de apoio e o suporte emocional inabalável durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua compreensão, paciência e incentivo foram o combustível necessário para que eu persistisse em cada etapa deste desafio.

Ao meu maior aliado de jornada, João Gama. Mais do que uma dupla de trabalho final, João foi a figura que mais me auxiliou durante toda a graduação. Expresso meu mais profundo reconhecimento pela parceria incondicional, pela divisão equânime de responsabilidades e pela cumplicidade intelectual que transformou os desafios da faculdade em degraus para o nosso crescimento mútuo.

Ao meu melhor amigo, Talisson Carvalho, a quem dedico um reconhecimento especial. Sua amizade e auxílio foram cruciais para que eu superasse a fase mais difícil de minha vida, transformando obstáculos em aprendizado e me dando forças para prosseguir quando o caminho parecia incerto.

Ao orientador, Professor Doutor Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar, pela condução magistral deste trabalho. Sua expertise e olhar clínico foram determinantes para superarmos os entraves metodológicos e teóricos, transformando desafios em degraus para o rigor científico aqui apresentado.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho, o meu mais sincero muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho insere-se na grande área da Engenharia Urbana e Ambiental, com enfoque na mitigação das Ilhas de Calor Urbanas (ICUs), e tem como objetivo analisar a influência da aplicação de tinta refletiva e do tipo de revestimento de pavimentos urbanos na redução do aquecimento superficial na cidade de Belém-PA. A pesquisa justifica-se pelos impactos das ICUs sobre o conforto térmico, o consumo energético e a saúde da população, especialmente em cidades de clima quente e úmido, onde materiais urbanos de elevada absorção térmica intensificam o aquecimento superficial. O método consistiu na comparação experimental entre pavimentos rígidos (revestimento de cimento Portland) e flexíveis (revestimento de concreto asfáltico), com e sem a aplicação de tinta refletiva acrílica de alta refletância solar, por meio de medições de temperatura superficial e análise estatística dos dados. Os resultados demonstraram redução sistemática das temperaturas nas superfícies tratadas, com diminuições médias de 3,46 °C no pavimento rígido e 4,87 °C no pavimento flexível às 14:00, equivalentes a reduções relativas de 7,96% e 10,37%, respectivamente. Às 17:00, observaram-se reduções ainda mais expressivas, de 4,76 °C no pavimento rígido e 5,56 °C no pavimento flexível, correspondendo a 11,73% e 12,47% de redução térmica. Verificou-se também menor retenção de calor no período vespertino, com reduções adicionais de até 1,57 °C no pavimento rígido e 1,99 °C no pavimento flexível em relação às superfícies sem tratamento. Esses resultados evidenciam que o revestimento refletivo reduz a absorção de radiação solar e limita o acúmulo e a reemissão de calor, confirmando seu potencial como solução sustentável para o planejamento e a requalificação urbana voltados à mitigação do aquecimento superficial e à melhoria do conforto térmico nas cidades.

Palavras-chave:

Ilha de calor urbana; pavimento refletivo; tinta refletiva; conforto térmico; sustentabilidade urbana.

ABSTRACT

This study is inserted within the field of Urban and Environmental Engineering, focusing on the mitigation of Urban Heat Islands (UHIs), and aims to analyze the influence of reflective paint application and pavement type on the reduction of surface heating in the city of Belém, Brazil. The research is justified by the impacts of UHIs on thermal comfort, energy consumption, and public health, particularly in hot and humid climates where urban materials with high thermal absorption intensify surface heating. The methodology consisted of an experimental comparison between rigid pavements (Portland cement concrete) and flexible pavements (asphalt concrete), with and without the application of high solar reflectance acrylic reflective paint, through surface temperature measurements and statistical data analysis. The results showed systematic temperature reductions on treated surfaces, with average decreases of 3.46 °C for rigid pavement and 4.87 °C for flexible pavement at 2:00 p.m., corresponding to relative reductions of 7.96% and 10.37%, respectively. At 5:00 p.m., even more significant reductions were observed, reaching 4.76 °C for rigid pavement and 5.56 °C for flexible pavement, equivalent to 11.73% and 12.47% reductions. Additionally, lower heat retention was verified in the late afternoon period, with additional reductions of up to 1.57 °C in rigid pavement and 1.99 °C in flexible pavement compared to untreated surfaces. These findings demonstrate that reflective coating reduces solar radiation absorption and limits heat accumulation and re-emission, confirming its potential as a sustainable solution for urban planning and rehabilitation strategies aimed at mitigating surface heating and improving thermal comfort in cities.

Keywords: Urban heat island; reflective pavement; reflective coating; thermal comfort; urban sustainability.

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1- Representação do Perfil das Ilhas de Calor	16
Figura 2- Pavimento Rígido de Concreto.....	20
Figura 3- Pavimento Flexível	20
Figura 4- Representação Pavimento Semi-rígido	21
Figura 5- Representação do Albedo	22
Figura 6- Representação da Avenida Pedro Miranda.....	30
Figura 7- Trechos com Pavimento Rígido e Flexível.	30
Figura 8-Termômetro Infravermelho utilizado	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-Variação de temperatura nos diferentes tipos de pavimento (14:00)	36
Gráfico 2-Variação de temperatura nos diferentes tipos de pavimento (17:00)	37
Gráfico 3-Distribuição das temperaturas superficiais em cada tipo de pavimento às 14:00.	40
Gráfico 4-Distribuição das temperaturas superficiais em cada tipo de pavimento às 17:00	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estatística Descritiva (14:00).....	37
Tabela 2- Estatística Descritiva (17:00).....	38
Tabela 3-Taxas percentuais de redução de temperatura entre 14:00 e 17:00 para cada tipo de pavimento.	39
Tabela 4- Dados da Faixa 1.	42
Tabela 5- Dados Faixa 2.	43
Tabela 6- Dados Faixa 3.	44
Tabela 7- Dados Faixa 4.	45
Tabela 8- Resultados Teste de Shapiro-Wilk.	46
Tabela 9- Resultado Teste t de Student.....	47
Tabela 10- Resultado Cohen'd	48
Tabela 11- Resultado ANOVA.....	50

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivo.....	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2. Objetivos Específicos	14
1.2. Justificativa	14
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1. Ilha De Calor Urbano.....	16
2.1.1. O papel dos pavimentos na dinâmica térmica das cidades	19
2.2. Pavimentos Refletivos Como Solução Mitigadora.....	23
2.2.1. Tecnologias e Materiais para Pavimentos Refletivos.....	24
2.2.2. Aplicações em Projetos Urbanos	25
2.3. Influência dos Materiais Refletivos na Redução das Ilhas de Calor.....	25
2.3.1. Mecanismos Físicos e Comportamento Térmico	26
2.3.2. Interação entre Refletividade e Permeabilidade	27
2.3.3. Fatores que Influenciam a Eficácia dos Materiais Refletivos	27
3. MÉTODO	29
3.1. Tipo de estudo.....	29
3.2. Área de Estudo.....	29
3.3. Materiais e Equipamentos	30
3.4. Procedimento de Coleta de Dados	31
3.5. Análise de Dados	32
3.5.1. Análise Descritiva inicial.....	32
3.5.2. Agrupamento por faixas de temperatura superficial.....	33
3.5.3. Testes de Normalidade.	33
3.5.4. Teste de Hipóteses.	33
3.5.5. Análise do Tamanho do efeito.	34

3.5.6. Análise de variabilidade térmica.	34
3.5.7. Análise da interação entre aplicação de tinta e tipo de pavimento.	34
3.6. Limitações do Estudo	35
4.APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	36
4.1. Evolução temporal das temperaturas superficiais dos pavimentos.	36
4.2. Distribuição estatística por tipo de pavimento.....	40
4.3. Classificação dos Dados em Faixas de Temperatura.	41
4.3.1. Faixa 1.	41
4.3.2. Faixa 2.	42
4.3.3. Faixa 3.	43
4.3.4. Faixa 4.	44
4.4. Verificação da Normalidade dos Dados.....	45
4.5. Aplicação do Teste t de Student.....	47
4.6. Análise do Tamanho de Efeito (Cohen's d).	48
4.7. Análise de interação entre os tipos de revestimento de pavimento e aplicação de tinta.....	49
5.CONCLUSÕES	52
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1.INTRODUÇÃO

As Ilhas de Calor Urbanas (ICU) são um fenômeno que se manifesta pela elevação das temperaturas em regiões urbanizadas quando comparadas às áreas rurais circundantes. Esse efeito térmico resulta da interação de diversos fatores, incluindo a substituição de superfícies naturais por materiais urbanos de alta capacidade de absorção de calor, a configuração densa das edificações e a redução da cobertura vegetal (SILVA, 2023). A crescente urbanização e a expansão das infraestruturas têm intensificado esse problema, tornando-o um dos grandes desafios ambientais e urbanos da atualidade.

O aumento da temperatura nas cidades acarreta impactos significativos, que vão desde o desconforto térmico da população até o agravamento de problemas de saúde, como doenças respiratórias e cardiovasculares, além de elevar os casos de insolação e desidratação, principalmente entre grupos vulneráveis, como idosos e crianças (SOUZA et al., 2016). Adicionalmente, a elevação da temperatura intensifica o consumo de energia elétrica devido à maior demanda por resfriamento artificial e contribui para a degradação da qualidade do ar, interferindo no bem-estar urbano e na sustentabilidade das cidades (SANTAMOURIS, 2014).

Diante desse cenário, diversas estratégias de mitigação têm sido estudadas e implementadas, buscando reduzir a absorção de calor nas áreas urbanas. Uma das abordagens promissoras é a utilização de pavimentos refletivos, que possuem alta capacidade de refletância solar, minimizando o acúmulo de calor nas superfícies urbanas. O uso desses materiais pode auxiliar na redução da temperatura superficial das vias e calçadas, contribuindo para a diminuição da temperatura do ar nas cidades (PEREIRA et al., 2021).

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência da aplicação da tinta refletiva e do tipo de revestimento de pavimentos como solução para mitigar o efeito das Ilhas de Calor Urbanas em Belém, no estado do Pará. O estudo foi desenvolvido na Avenida Pedro Miranda, considerando trechos com pavimento rígido e pavimento flexível, com e sem aplicação de tinta refletiva. Foram realizadas medições das temperaturas superficiais dos pavimentos e da temperatura do ar, a fim de avaliar o comportamento térmico dos diferentes materiais e a magnitude da influência da tinta refletiva na mitigação do aquecimento superficial.

1.1. Objetivo

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar a influência da aplicação de tinta refletiva e do tipo de revestimento de pavimentos urbanos na redução do efeito de Ilha de Calor Urbana (ICU), a partir da comparação das temperaturas superficiais de pavimentos rígidos e flexíveis, com e sem tinta refletiva, em estudo de caso realizado na Avenida Pedro Miranda, em Belém-PA, avaliando seu desempenho térmico e sua contribuição para o conforto urbano.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar os trechos viários objeto de estudo quanto ao tipo de pavimento e à presença de revestimento refletivo superficial;
- Mensurar a temperatura superficial de pavimentos urbanos em condições com e sem aplicação de tinta refletiva, a partir de medições experimentais em campo;
- Quantificar a diferença de temperatura superficial (ΔT) decorrente da aplicação da tinta refletiva nos pavimentos analisados;
- Comparar o desempenho térmico superficial de pavimentos flexíveis e rígidos no que se refere à redução de temperatura proporcionada pelo revestimento refletivo;
- Analisar estatisticamente as diferenças térmicas observadas entre as condições avaliadas, utilizando métodos compatíveis com a distribuição dos dados experimentais.

1.2. Justificativa

As Ilhas de Calor Urbanas (ICU) intensificam o desconforto térmico, elevam o consumo energético e impactam diretamente a saúde da população, especialmente em cidades de clima quente e úmido, como Belém. Esse fenômeno é agravado pela substituição de superfícies naturais por materiais urbanos com elevada capacidade de absorção e armazenamento de calor, característica comum nos pavimentos urbanos.

Diante desse cenário, o uso de diferentes tipos de pavimento, associado à aplicação de tintas refletivas, surge como uma alternativa potencial para reduzir as

temperaturas superficiais e mitigar os efeitos do aquecimento urbano. Entretanto, ainda existe uma lacuna quanto à comprovação do desempenho dessas soluções em condições climáticas reais da região amazônica.

Nesse contexto, emerge a seguinte questão de pesquisa: em que medida a aplicação de tinta refletiva e o tipo de pavimento urbano influenciam na redução das temperaturas superficiais e, conseqüentemente, como forma de mitigação do efeito das Ilhas de Calor Urbanas no contexto de Belém-Pa?

Assim, este estudo se justifica pela necessidade de avaliar cientificamente o comportamento térmico desses pavimentos em condições reais, contribuindo para a geração de dados técnicos que possam subsidiar diretrizes e recomendações voltadas ao planejamento urbano sustentável, à mitigação do aquecimento urbano e à melhoria da qualidade de vida nas cidades.

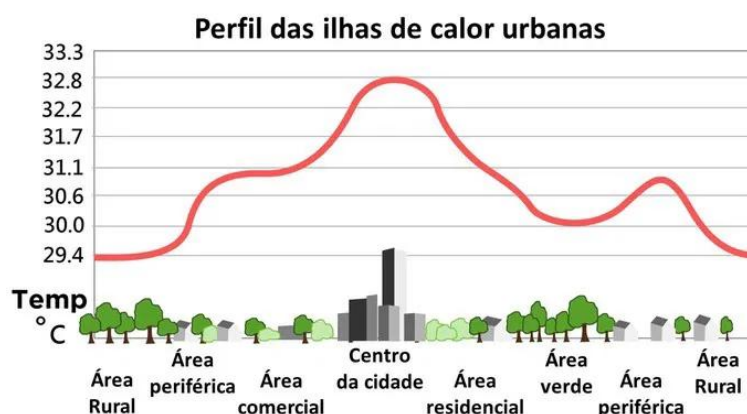
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda o fenômeno da Ilha de Calor Urbano (ICU), destacando suas causas, impactos e estratégias de mitigação. Inicialmente, são explorados os fatores que contribuem para a intensificação do efeito, como a substituição da vegetação por superfícies impermeáveis, a absorção de calor pelos materiais urbanos e a morfologia das cidades. Em seguida, são discutidas as consequências ambientais e socioeconômicas associadas ao aumento das temperaturas urbanas, incluindo impactos na saúde pública e no consumo energético. Por fim, são apresentadas soluções mitigadoras, com ênfase no papel dos pavimentos urbanos, evidenciando como diferentes materiais influenciam a dinâmica térmica das cidades e como a utilização de pavimentos de alta refletividade pode contribuir para a redução do efeito de ilha de calor.

2.1. Ilha De Calor Urbano

O fenômeno Ilha de Calor é descrito como a condição em que as áreas urbanas apresentam temperaturas significativamente mais elevadas em comparação às regiões rurais vizinhas, devido à substituição da vegetação por superfícies impermeáveis e à absorção de calor pelos materiais urbanos, tendo sua representação na Figura 01.

Figura 1- Representação do Perfil das Ilhas de Calor



Fonte: Ilha de Calor. Toda Matéria (2025)

Esse efeito influencia diretamente os microclimas urbanos, alterando a distribuição térmica e a sensação térmica nas cidades. Sendo identificado pela primeira vez no século XIX, quando Luke Howard, um meteorologista amador inglês,

observou que Londres apresentou temperaturas mais altas do que as áreas rurais próximas, porém, apenas na década de 60 que surgiu a definição do termo “Ilha de Calor Urbano” (MANLEY, 1958).

Segundo uma análise de Sanchez (2009), ao longo da história, as ações humanas têm causado modificações substanciais nos territórios, alterando tanto os aspectos naturais quanto os construídos. Essas transformações, frequentemente permanentes ou passageiras, podem ser analisadas por meio de estudos temporais, permitindo uma compreensão mais profunda do impacto humano sobre o meio ambiente.

Em correlação com a construção civil, pode-se dizer que umas das principais causas desse efeito está diretamente interligado à supressão vegetal em detrimento de novas infraestruturas, cidades com baixa arborização apresentam temperaturas mais elevadas do que áreas com cobertura vegetal significativa (SILVA, 2023).

Esse fato ocorre, em decorrência da interferência que a carência de cobertura vegetal tem sobre o processo de evapotranspiração, processo natural de resfriamento causado pela liberação de vapor d'água pelas plantas (DÍAS, 2013). Adicionalmente, a escassez de árvores diminui a oferta de sombreamento, criando zonas de exposição direta de diversas superfícies à radiação solar incidente, o que amplifica o aquecimento térmico nos grandes centros urbanos (BARCHINSKI et al., 2000).

Além disso, também correlacionado com a construção civil, pode-se abrir uma vertente da relação de causas do fenômeno entre os materiais de construção e a absorção de calor, haja vista que mudanças atuam como proliferação da troca de material natural por materiais com características térmicas distintas, as propriedades térmicas dos materiais, como albedo, capacidade térmica e condutividade térmica afetam diretamente a temperatura urbana.

Materiais com alta condutividade, como concreto e metais, aquecem rapidamente durante o dia e liberam calor lentamente à noite. Já materiais com baixo albedo, como asfalto, absorvem mais radiação solar, elevando a temperatura das superfícies. Essas características contribuem para a formação de ilhas de calor urbanas, onde as temperaturas são significativamente mais altas do que nas áreas rurais (SANTAMOURIS, 2014).

Outro fator contribuinte, é a morfologia urbana, ou seja, a densidade e configuração das edificações. Em primeira análise, uma alta densidade de edificações acarreta em um grande grupo populacional em um curto espaço, gerando várias

atividades adjacentes, com isso, atividades humanas, como o uso de veículos, sistemas de climatização e indústrias, liberam calor adicional na atmosfera.

Seguindo a mesma lógica, a configuração dos constructos habitacionais influencia na retenção de calor e na circulação do ar, prejudicando o conforto térmico, haja vista que a disposição das construções reflete a radiação entre as superfícies, intensificando o aquecimento nas zonas urbanas (MANSOORI & ZARGHAMI, 2022).

Além disso, os níveis de poluição atmosférica acarretadas pela atividade humana e supressão vegetal, auxiliam na intensificação de calor nas áreas urbanas. Segundo Silva Júnior et al. (2020) a emissão de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), tem um impacto direto no aquecimento das camadas baixas da atmosfera, exacerbando o efeito de ilha de calor.

Atrelado as causas, as ilhas de calor trazem grandes consequências para a sociedade em geral e no convívio humano, sendo tópico de saúde pública, haja vista que o aumento das temperaturas urbanas está associado ao agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares, além de elevar os casos de insolação e desidratação, principalmente entre grupos vulneráveis, como idosos e crianças (SOUZA et al., 2016).

Desse modo, há também estudos epidemiológicos demonstram correlação entre picos de temperatura e elevação da taxa de mortalidade em populações urbanas densamente povoadas, sendo o de KEPHART et al (2022) que analisou mais de 15 milhões de óbitos em 326 cidades de nove países da América Latina entre 2002 e 2015, concluindo que temperaturas extremas são responsáveis por quase 6% das mortes nas áreas urbanas.

Outrossim, além dos impactos à saúde pública, os efeitos das ilhas de calor podem se estender a fenômenos socioambientais mais sérios, como por exemplo a sobrecarga da infraestrutura elétrica urbana e degradação da qualidade do ar, haja vista que a elevação das temperaturas aumenta a demanda por resfriamento artificial, resultando em maior consumo de energia elétrica e modifica padrões de precipitação e intensificando eventos extremos, como tempestades convectivas (ARNFIELD, 2003).

Ademais, já vistos as causas e impactos desse fenômeno que vem se intensificando ao longo dos anos, estratégias de mitigação das ilhas de calor podem ser alcançadas por meio de políticas públicas com abordagens multifacetadas que combinam soluções ativas e passivas

A mitigação das Ilhas de Calor Urbanas pode ser alcançada por meio de abordagens multifacetadas que combinam soluções passivas e ativas. Algumas estratégias eficazes incluem:

Uso sistemático de planejamento urbano, que favoreça a circulação natural da ventilação, determinando a logística dos espaçamentos das construções e a determinação de projetos que visam maior permeabilidade do solo, para melhorar o conforto térmico (LIMA, 2019).

Pode-se citar também, a implementação áreas verdes estratégicas, como por exemplo o uso expressivo de parques, corredores ecológicos e arborização de ruas contribui para o sombreamento e a regulação térmica urbana, além de melhorar a qualidade do ar, auxiliando na absorção de poluentes (SANTOS & MEDEIROS, 2019).

Por fim, um fator de mitigação comum e atenuante como prática urbana é o diferente é a utilização de materiais reflexivos, haja vista que contribui para a redução da absorção e do armazenamento de calor nas superfícies urbanizadas.

Materiais que apresentam elevada refletância solar (alto índice de albedo) possuem a capacidade de minimizar a retenção térmica em pavimentos, coberturas e fachadas, o que resulta na diminuição das temperaturas superficiais e na consequente redução da transferência de calor para a atmosfera urbana (PEREIRA et al., 2021).

2.1.1. O papel dos pavimentos na dinâmica térmica das cidades

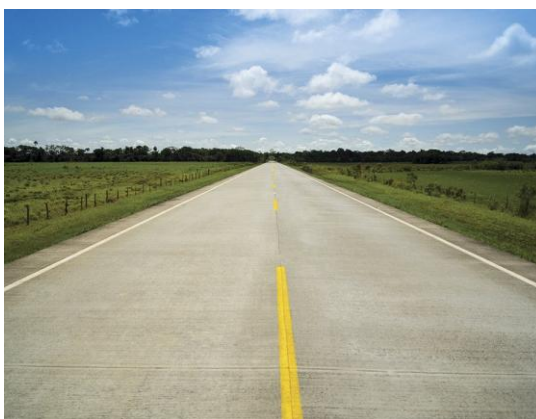
A dinâmica térmica das cidades é fortemente influenciada pelos materiais utilizados no pavimento das vias urbanas, que, por sua vez, afetam diretamente o conforto térmico e a qualidade de vida urbana. O pavimento é responsável por uma grande parte da impermeabilização do solo, afetando a troca de calor e a retenção de umidade no ambiente urbano.

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o pavimento é classificado principalmente em três tipos: flexíveis, semi-rígidos e rígidos.

- Rígido: Esse tipo de pavimento é composto por um revestimento com alta rigidez em relação às camadas inferiores, o que faz com que ele absorva praticamente todas as tensões geradas pelo peso e pelas cargas aplicadas. A camada superior, mais resistente, distribui as forças sem transferi-las significativamente para as camadas inferiores. Um exemplo comum desse

sistema é o pavimento feito com lajes de concreto de cimento Portland (Figura 2). Essas lajes, devido à sua elevada resistência, são ideais para suportar tráfego pesado e resistir a deformações, proporcionando durabilidade e estabilidade à estrutura, com menor necessidade de manutenção ao longo do tempo.

Figura 2- Pavimento Rígido de Concreto



Fonte: LPE Engenharia (2025)

- Flexível: Esse tipo de pavimento é caracterizado por camadas (Figura 3) que sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado, resultando em uma distribuição quase igual das tensões entre todas as camadas. Ou seja, todas as camadas contribuem de forma equilibrada para suportar a carga.

Figura 3- Pavimento Flexível



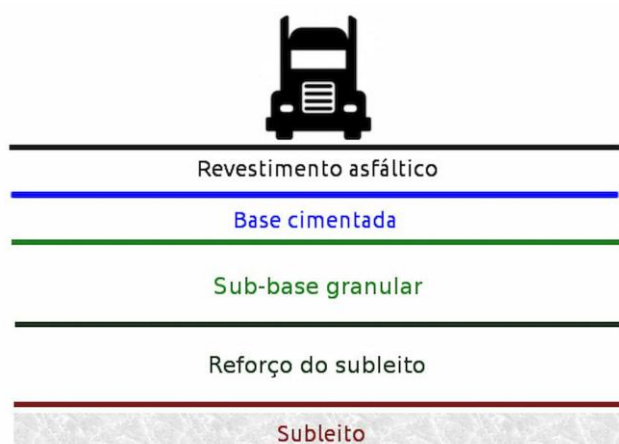
Fonte: Caíque Almeida (2021)

Um exemplo comum desse sistema é o pavimento composto por uma base de brita graduada, macadame ou solo com bastante pedregulho, que é revestido por uma camada asfáltica. Nesse caso, a carga é distribuída de maneira mais uniforme entre as camadas, permitindo que cada uma delas participe ativamente no suporte e na resistência ao tráfego, garantindo estabilidade e durabilidade ao pavimento.

- Semi-rígido: Esse tipo de pavimento é caracterizado por uma base cimentada com aglutinantes de propriedades cimentícias, como uma camada de solo-cimento, que é revestida por uma camada asfáltica.

Nesse tipo de pavimento, a base proporciona rigidez suficiente para suportar as cargas, enquanto a camada asfáltica oferece flexibilidade e resistência ao desgaste. A combinação das duas camadas (Figura 4) garante um equilíbrio entre estabilidade estrutural e capacidade de adaptação às deformações, resultando em um pavimento durável e eficiente, ideal para áreas de tráfego moderado a intenso.

Figura 4- Representação Pavimento Semi-rígido

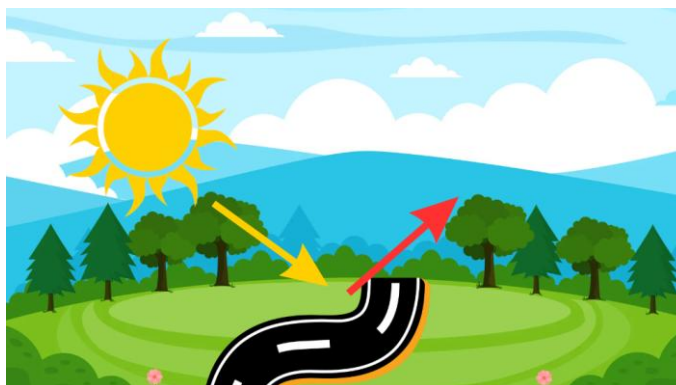


Fonte: Master Plate (2025)

A interação dos pavimentos com a radiação solar desempenha um papel crucial no aquecimento das áreas urbanas, influenciando diretamente o microclima das cidades. Nesse contexto, é fundamental analisar as propriedades térmicas dos materiais mais comuns utilizados no pavimento urbano, uma vez que suas características, como refletância e absorção da radiação solar, determinam o grau de aquecimento local. A seguir, serão discutidos os principais materiais utilizados no pavimento, com ênfase nas suas implicações térmicas para o ambiente urbano.

O albedo, que é a capacidade de uma superfície de refletir a radiação solar (Silva, 2015), desempenha um papel fundamental na dinâmica térmica das cidades, especialmente no que se refere ao fenômeno das ilhas de calor urbanas. Sendo representado na Figura 5.

Figura 5- Representação do Albedo



Fonte: os autores (2026)

Quanto menor o albedo de um material, maior a quantidade de radiação solar que ele absorve, resultando em um aumento da temperatura superficial. Esse efeito é particularmente significativo em áreas urbanas, onde os pavimentos tradicionais, como o asfalto, dominam as ruas e avenidas. O asfalto, com um albedo entre 0,04 e 0,12, absorve a maior parte da radiação solar incidente, elevando as temperaturas superficiais a níveis elevados, que podem ultrapassar os 60°C durante o dia. Durante a noite, o asfalto libera lentamente o calor armazenado, contribuindo para a permanência do calor na cidade e intensificando o efeito de ilha de calor (SILVA; SOUZA, 2020).

Em contraste, materiais com maior albedo, como o concreto, têm uma maior capacidade de refletir a radiação solar, o que pode reduzir significativamente o aquecimento das superfícies urbanas. O concreto, dependendo de sua cor e composição, pode ter albedos superiores a 0,3, refletindo mais radiação solar e, portanto, reduzindo a absorção de calor.

Desse modo, essa característica torna o concreto uma opção mais eficiente para o controle térmico, especialmente em áreas onde o efeito de ilha de calor é um problema sério. No entanto, o pavimento permeável, que combina materiais como concreto poroso ou blocos intertravados, também se destaca na mitigação do aquecimento urbano, não apenas devido ao seu maior albedo, mas também por permitir a infiltração de água, o que ajuda a reduzir as temperaturas por evaporação.

Assim, materiais permeáveis contribuem para a diminuição da temperatura local e para o aumento da sustentabilidade urbana, ao mesmo tempo em que promovem a drenagem de águas pluviais, reduzindo o risco de enchentes e o acúmulo de calor nas cidades (PEREIRA; LIMA, 2017).

Além disso, há alternativas para minimizar os impactos do aquecimento urbano que tem levado ao desenvolvimento de novas tecnologias de pavimentação. Entre elas, destacam-se:

Tintas refletivas para pavimentos: O uso de revestimentos de alta refletância aumenta o albedo das superfícies, reduzindo a absorção de calor e a temperatura dos pavimentos, contribuindo para a mitigação do efeito ilha de calor. Estudos demonstram que a utilização de pigmentos de óxidos metálicos mistos em misturas asfálticas pode elevar a refletância solar, resultando em temperaturas superficiais até 3,7 °C inferiores em comparação às misturas sem pigmentos (DEL CARPIO, 2014).

Pavimentos resfriantes: Materiais desenvolvidos para dissipar calor de maneira mais eficiente, seja por propriedades físicas, como maior condutividade térmica, ou químicas, como maior capacidade de emissão de radiação térmica. A análise de pavimentos permeáveis e impermeáveis de concreto com diferentes colorações revelou que superfícies com maior refletância solar apresentam temperaturas máximas mais baixas, indicando a eficácia desses materiais na redução do aquecimento urbano (GUEDES, 2023).

Pavimentos fotocatalíticos: Concretos que, além de apresentarem maior refletância, possuem propriedades que ajudam a degradar poluentes atmosféricos, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar nas cidades. Embora a pesquisa específica sobre pavimentos fotocatalíticos seja limitada, estudos relacionados ao desempenho termo-óptico de revestimentos cerâmicos em fachadas urbanas indicam que materiais com maior refletância solar podem reduzir significativamente a temperatura superficial, sugerindo potencial para aplicações semelhantes em pavimentos (CASTELLO, 2022).

2.2. Pavimentos Refletivos Como Solução Mitigadora

Os pavimentos refletivos emergem como uma solução técnica e viável para mitigar o efeito das ilhas de calor urbanas. A alta absorção térmica dos materiais de superfície convencionais, como o asfalto escuro, contribui significativamente para esse efeito, retendo calor e elevando as temperaturas ambientais. Os pavimentos asfálticos convencionais, devido à sua coloração escura, absorvem uma grande quantidade de energia que é transformada em calor, promovendo um enorme desconforto térmico para as pessoas que vivem nesse ambiente urbano (CARVALHO et al., 2021).

De acordo com Carvalho et al. (2021), o princípio fundamental dos pavimentos refletivos está em sua capacidade de aumentar o albedo das superfícies urbanas. Materiais com albedo mais alto absorvem menos calor solar, resultando em temperaturas superficiais mais baixas e menor irradiação de calor para o ambiente urbano, contribuindo assim para a redução do efeito ilha de calor (PIRANI; REZENDE; ZAVASKI, 2023).

Diversos estudos têm demonstrado a eficácia dos pavimentos refletivos como tecnologia mitigadora. Por exemplo, a incorporação de óxidos metálicos em misturas asfálticas, como investigado por Carvalho et al. (2021), surge como uma forma de aumentar o albedo e consequentemente minimizar os efeitos da ilha de calor. Através da adição de pigmentos vermelhos na mistura asfáltica, obtém-se misturas asfálticas coloridas que absorvem menos radiação solar e contribuem para um ambiente termicamente mais confortável (PIRANI; REZENDE; ZAVASKI, 2023).

2.2.1. Tecnologias e Materiais para Pavimentos Refletivos

Além dos asfaltos modificados com pigmentos, outras tecnologias de pavimentos refletivos incluem pavimentos cimentícios de alta refletividade, pavimentos intertravados de cores claras, revestimentos refletivos aplicados sobre asfalto existente e pavimentos permeáveis combinados com materiais de alta refletividade (PEIXOTO et al., 2023). Carvalho et al. explorou a incorporação de materiais alternativos que aumentam a refletividade, como rejeitos de minério de ferro, que podem simultaneamente abordar questões ambientais de disposição de resíduos e melhorar as propriedades térmicas dos pavimentos.

A análise de diferentes materiais de pavimentação demonstra que a manta asfáltica convencional agrega uma quantidade significativamente maior de calor quando comparada a materiais alternativos (PIRANI; REZENDE; ZAVASKI, 2023). Os materiais permeáveis, por exemplo, não apenas apresentam propriedades refletivas mais favoráveis em determinadas condições, mas também contribuem para a dissipação de calor através da evaporação de água retida em seus poros (SCHROEDER et al., 2022). Essa característica é particularmente vantajosa após períodos de chuva, quando os materiais permeáveis mantêm temperaturas superficiais mais baixas por períodos prolongados (PIRANI; REZENDE; ZAVASKI, 2023).

2.2.2. Aplicações em Projetos Urbanos

A implementação de pavimentos refletivos em projetos de requalificação urbana tem ganhado espaço como estratégia para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas. Estudos realizados por Peixoto et al. (2023) em Fortaleza-CE demonstram que a substituição de pavimentos convencionais por blocos de concreto intertravado e concreto poroso pode contribuir significativamente para a redução das temperaturas superficiais em áreas urbanas, especialmente quando combinados com estratégias adequadas de sombreamento.

É importante ressaltar que a eficácia dos pavimentos refletivos está intrinsecamente relacionada às suas propriedades termofísicas, bem como à sua exposição à radiação solar. Em áreas com sombreamento adequado, pavimentos com maior refletividade podem apresentar temperaturas superficiais significativamente menores, potencializando seu efeito mitigador sobre as ilhas de calor urbanas. Durante o período de maior incidência solar, a temperatura superficial do pavimento intertravado utilizado em vias pode ser menor que aquela encontrada em outros materiais, demonstrando seu potencial como solução mitigadora (PEIXOTO et al., 2023).

2.3. Influência dos Materiais Refletivos na Redução das Ilhas de Calor

Como explica Carvalho et al. (2021), a influência dos materiais refletivos na redução das ilhas de calor urbanas está fundamentada em princípios físicos relacionados à transferência de calor e ao balanço energético nas superfícies urbanas. Materiais com alta refletividade alteram significativamente o fluxo de energia radiante nas cidades, contribuindo para a diminuição das temperaturas superficiais e, consequentemente, das temperaturas ambientais.

No contexto brasileiro, Villena del Carpio et al. (2016) demonstrou forte correlação entre refletância solar e temperatura superficial de pavimentos ($R^2 \geq 0,95$), evidenciando que superfícies mais claras apresentam temperaturas significativamente menores. Os autores verificaram que o concreto Portland denso (refletância de 42,7%) atingiu temperatura máxima de 35,4 °C, enquanto o asfalto denso convencional (refletância de 4,2%) alcançou 50,4 °C, representando uma diferença aproximada de 15 °C. De forma ainda mais expressiva, a comparação entre o pavimento de maior

refletância (49,9%) e o de menor refletância (2,0%) resultou em variação térmica de 18,4 °C no período de maior insolação. Esses resultados reforçam, em cenário nacional, a influência do tipo de material e do albedo no comportamento térmico dos pavimentos urbanos, fornecendo base comparativa relevante para análises realizadas em outras regiões do Brasil.

Por fim, estudo desenvolvido por Synnefa et al. (2011) demonstrou que a aplicação de uma camada fina refletiva sobre pavimento asfáltico convencional resultou em reduções de temperatura superficial variando entre 7 °C e 12 °C nos períodos de maior insolação. Além disso, por meio de simulações de microclima urbano, os autores indicaram potencial de diminuição da temperatura do ar local em até 2 °C. Esses resultados evidenciam que intervenções superficiais podem contribuir significativamente para a mitigação do aquecimento dos pavimentos e para a redução do efeito de Ilha de Calor Urbana.

2.3.1. Mecanismos Físicos e Comportamento Térmico

O mecanismo básico de ação desses materiais está relacionado à sua capacidade de refletir a radiação solar incidente, reduzindo a quantidade de energia absorvida e posteriormente reemitida como calor. Estudos comparativos entre diferentes materiais de pavimentação demonstram que a temperatura superficial varia consideravelmente em função das propriedades refletivas dos materiais utilizados (PIRANI; REZENDE; ZAVASKI, 2023). A adição de pigmentos claros ou óxidos metálicos em misturas asfálticas, por exemplo, pode aumentar significativamente o albedo da superfície, resultando em temperaturas mais amenas (CARVALHO et al., 2021).

Pesquisas realizadas em Maringá/PR, analisando diferentes materiais de pavimentação, evidenciaram que a manta asfáltica convencional, devido à sua baixa refletividade, apresenta temperaturas superficiais consideravelmente mais elevadas quando comparada a pavimentos alternativos (PIRANI; REZENDE; ZAVASKI, 2023). Conforme apontado nestes estudos, após períodos de exposição solar intensa, a temperatura superficial de todos os materiais investigados se manteve de 68 a 80% superior à temperatura do ar durante o período analisado, o que contribui para aquecer a baixa atmosfera. Entretanto, esta elevação é significativamente maior em pavimentos convencionais de baixa refletividade.

2.3.2. Interação entre Refletividade e Permeabilidade

Outro aspecto relevante é a interação entre as propriedades refletivas e a permeabilidade dos materiais. Pavimentos permeáveis, além de contribuírem para a gestão sustentável das águas pluviais, também apresentam comportamento térmico diferenciado. A presença de água nos poros desses pavimentos promove o resfriamento evaporativo, potencializando o efeito mitigador sobre as ilhas de calor (SCHROEDER et al., 2022). Nos dias seguintes às precipitações, os materiais impermeáveis aumentam a temperatura de superfície e a temperatura relativa do ar exponencialmente assim que escoada toda a água, enquanto os materiais permeáveis, devido à presença da água, aumentam a temperatura de superfície e temperatura relativa gradualmente conforme os dias sem chuvas vão se prolongando (PIRANI; REZENDE; ZAVASKI, 2023).

Peixoto et al. (2023) avaliou o comportamento térmico de materiais empregados em projetos de requalificação viária, incluindo blocos de concreto intertravado e concreto poroso. Os resultados indicaram padrões interessantes: durante o período de maior incidência solar, a temperatura superficial do pavimento intertravado utilizado na via foi menor que aquela encontrada no concreto poroso da calçada. Por outro lado, quando sombreadas, as superfícies de concreto poroso apresentaram temperaturas mais baixas, indicando que esse material permite a rápida dissipação do calor. Estes resultados demonstram que a utilização de materiais porosos pode ser uma solução eficiente no combate à formação das Ilhas de Calor Urbanas ICU, desde que adotadas estratégias de sombreamento adequadas.

2.3.3. Fatores que Influenciam a Eficácia dos Materiais Refletivos

A eficácia dos materiais refletivos na mitigação das ilhas de calor também é influenciada por fatores como a morfologia urbana, a intensidade da radiação solar e as características climáticas locais. Em áreas densamente urbanizadas, com alta taxa de ocupação do solo e pouca vegetação, os benefícios dos pavimentos refletivos podem ser ainda mais significativos, contribuindo para a melhoria do conforto térmico e a redução do consumo energético associado ao resfriamento artificial (PEIXOTO et al., 2023).

A exposição solar é um fator determinante na performance dos materiais refletivos. Durante o período diurno, especialmente nos horários de pico de radiação solar, as diferenças de temperatura entre pavimentos convencionais e refletivos se tornam mais pronunciadas (PEIXOTO et al., 2023). Já no período noturno, a dissipação de calor ocorre de maneira diferenciada conforme as propriedades térmicas de cada material, com os pavimentos refletivos apresentando geralmente um resfriamento mais rápido (PIRANI; REZENDE; ZAVASKI, 2023).

O adensamento e a morfologia urbana também têm influências significativas no estudo do comportamento físico dos materiais (PIRANI; REZENDE; ZAVASKI, 2023). Em áreas com diferentes padrões de uso e ocupação do solo, a performance dos pavimentos refletivos pode variar consideravelmente, o que ressalta a importância de estudos localizados e soluções adaptadas ao contexto urbano específico (PEIXOTO et al., 2023).

3. MÉTODO

Este capítulo apresenta a abordagem utilizada para a condução deste estudo, detalhando os procedimentos adotados para a coleta, análise e interpretação dos dados. Inicialmente, são descritas as estratégias de pesquisa empregadas, incluindo a delimitação do estudo de caso, a seleção dos locais analisados e os critérios para a escolha das variáveis investigadas. Em seguida, são abordadas as técnicas utilizadas para a mensuração da refletividade dos pavimentos e sua relação com a temperatura superficial, bem como as ferramentas e instrumentos aplicados na obtenção dos dados. Por fim, são discutidos os métodos de análise estatística e comparativa adotados para avaliar o impacto dos pavimentos de alta refletividade na mitigação do efeito de ilha de calor, assegurando a validade e confiabilidade dos resultados obtidos.

3.1. Tipo de estudo

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, com abordagem quantitativa e comparativa, cujo objetivo é analisar a influência da aplicação de tinta refletiva no comportamento térmico de pavimentos urbanos. Para isso, foram avaliados dois tipos de pavimentação — pavimento rígido (revestimento de cimento Portland) e pavimento flexível (revestimento de concreto asfáltico) — a fim de verificar se a resposta térmica à aplicação da tinta varia conforme as características do material. O estudo foi desenvolvido na cidade de Belém, estado do Pará, em uma via urbana que apresenta trechos com ambos os tipos de pavimento em condições ambientais semelhantes, permitindo comparações sob o mesmo contexto climático.

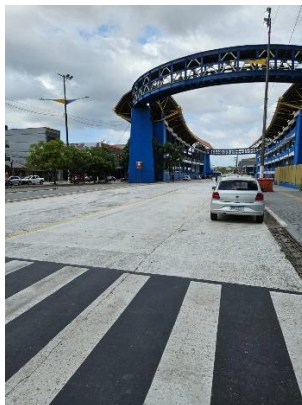
3.2. Área de Estudo

A área de estudo compreende trechos da Avenida Pedro Miranda (Figura 6 e Figura 7), localizada na cidade de Belém (PA), nas proximidades do complexo da Aldeia Cabana de Cultura Amazônica. A escolha dessa via justifica-se pela presença de pavimento rígido (revestimento de cimento Portland) e pavimento flexível (revestimento de concreto asfáltico) em trechos adjacentes, além da existência de áreas com aplicação de tinta refletiva e áreas sem esse tratamento superficial.

Essa configuração possibilitou a realização de análises comparativas diretas entre os diferentes tipos de pavimentos e condições superficiais, reduzindo a influência de variáveis externas, como orientação solar, características urbanas do

entorno e fluxo de tráfego. As medições foram realizadas exclusivamente na Avenida Pedro Miranda, não sendo incluídas outras vias no escopo do estudo.

Figura 6- Representação da Avenida Pedro Miranda



Fonte: Os autores (2026)

Figura 7- Trechos com Pavimento Rígido e Flexível.



Fonte: Google Street View (2025)

3.3. Materiais e Equipamentos

Para a realização das medições de temperatura superficial foi utilizado um termômetro infravermelho portátil (Figura 8), com emissividade ajustável, adequado para a aferição da temperatura de diferentes materiais sem contato direto. O uso desse equipamento permite medições rápidas e reduz a interferência externa durante a coleta de dados.

Figura 8-Termômetro Infravermelho utilizado



Fonte: Os autores (2026)

As variáveis meteorológicas consideradas na pesquisa — temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento — foram obtidas a partir de duas fontes complementares. Os dados observacionais foram coletados junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio da estação meteorológica automática A201 – Belém (PA), disponível no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), acessível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>.

Para complementar eventuais lacunas temporais e garantir a completude das informações referentes aos dias de medição, utilizaram-se também dados modelados disponibilizados pela plataforma Open-Meteo, que fornece variáveis meteorológicas estimadas por grade espacial a partir de modelos atmosféricos de reanálise, com base nas coordenadas geográficas do local analisado. A plataforma pode ser acessada em: <https://open-meteo.com>.

A utilização combinada de dados observacionais e modelados permitiu assegurar consistência e continuidade na caracterização das condições climáticas durante o período das coletas de campo.

Os tratamentos estatísticos e a organização dos dados foram realizados no software Microsoft Excel, com o auxílio do suplemento Real Statistics Resource Pack, empregado para a execução dos testes de normalidade, aplicação do teste t para comparação das médias e cálculo do tamanho do efeito (Cohen's d), com o objetivo de quantificar a magnitude da diferença de temperatura entre superfícies com e sem aplicação de tinta refletiva. O software também foi utilizado para a elaboração dos gráficos e tabelas apresentados no estudo.

3.4. Procedimento de Coleta de Dados

As medições foram realizadas seguindo o seguinte protocolo:

- a) **Horário de Medição:** As coletas foram realizadas nos horários de 14h e 17h, sendo o primeiro período o de maior incidência solar e temperatura elevada, e o segundo um período de transição térmica, possibilitando a análise do comportamento do pavimento durante a redução gradual da radiação solar
- b) **Pontos de Medição:** Foram definidos pontos fixos de medição ao longo dos trechos selecionados da Avenida Pedro Miranda, contemplando.
- Pavimento Rígido sem tinta;
 - Pavimento Rígido com tinta;
 - Pavimento Flexível sem tinta;
 - Pavimento Flexível com tinta.

Em cada ponto, a temperatura superficial foi medida cinco vezes consecutivas em cada horário (14:00 e 17:00), sendo registrada a média aritmética dos valores obtidos, com o intuito de minimizar erros pontuais de leitura.:

- c) **Período de medição:** As medições de campo foram realizadas no período compreendido entre 31 de outubro de 2025 e 26 de dezembro de 2025, contemplando dias representativos das condições climáticas locais durante o final do período seco e transição para o período mais chuvoso na cidade de Belém.

3.5. Análise de Dados

Esta seção apresenta os procedimentos adotados para o tratamento e análise dos dados coletados em campo. As informações referentes às temperaturas superficiais dos pavimentos e às variáveis ambientais foram organizadas e processadas com o objetivo de identificar padrões térmicos, diferenças entre os tipos de revestimento e possíveis relações com as condições climáticas observadas durante o período de monitoramento. A análise foi estruturada de modo a permitir uma interpretação clara e comparativa dos resultados obtidos.

3.5.1. Análise Descritiva inicial.

Inicialmente, realizou-se uma análise estatística descritiva das temperaturas superficiais por horário, incluindo medidas de tendência central (média e mediana) e de dispersão (desvio padrão). Com o intuito de avaliar visualmente a distribuição dos

dados e identificar possíveis valores discrepantes, foram elaborados diagramas de caixa (*boxplots*) segmentados por horário e por tipo de pavimento.

Essa etapa permitiu uma compreensão preliminar da variabilidade térmica ao longo do dia e das diferenças entre pavimentos com e sem tratamento refletivo.

3.5.2. Agrupamento por faixas de temperatura superficial.

Com o intuito de reduzir a influência de variações ambientais externas e garantir a comparabilidade entre os grupos analisados, as medições foram agrupadas em quatro faixas de temperatura ambiente, definidas a partir da distribuição dos dados (quartis). Sendo a Faixa 1 com 16 amostras, seguido pelas Faixas 3 e 4 com 17 amostras cada e finalizando com a Faixa 4 com 14 amostras.

Esse procedimento permitiu analisar o desempenho térmico dos pavimentos sob condições ambientais semelhantes, isolando, na medida do possível, o efeito do tipo de pavimento e da presença da tinta refletiva.

3.5.3. Testes de Normalidade.

Para cada faixa de temperatura ambiente e para cada grupo de pavimento, foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro–Wilk, adotando-se nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Esse teste foi utilizado devido à sua adequação para amostras pequenas e médias, possibilitando a verificação da hipótese de normalidade necessária para a aplicação de testes paramétricos subsequentes.

3.5.4. Teste de Hipóteses.

Confirmada a normalidade dos dados, procedeu-se à aplicação do teste t de *Student* para amostras independentes, comparando, dentro de cada faixa de temperatura ambiente:

- Pavimento rígido com tinta × pavimento rígido sem tinta
- Pavimento flexível com tinta × pavimento flexível sem tinta

O objetivo do teste foi verificar se as diferenças entre as temperaturas superficiais médias sob influência da aplicação da tinta eram estatisticamente significativas, considerando nível de significância de 5%.

3.5.5. Análise do Tamanho do efeito.

Além da significância estatística, foi calculado o tamanho do efeito por meio do coeficiente de Cohen's d, permitindo avaliar a magnitude prática das diferenças entre os grupos analisados.

Essa análise é particularmente relevante, uma vez que diferenças pequenas podem apresentar significância estatística sem, necessariamente, representarem impacto térmico relevante do ponto de vista urbano.

Os valores de Cohen's d foram interpretados conforme critérios clássicos da literatura:

- pequeno ($d \approx 0,2$),
- médio ($d \approx 0,5$),
- grande ($d \geq 0,8$).

3.5.6. Análise de variabilidade térmica.

A variabilidade térmica das superfícies pavimentadas foi avaliada a partir da análise da variação das temperaturas superficiais medidas para cada tipo de pavimento, considerando as condições com e sem aplicação de tinta refletiva. As medições foram agrupadas por pavimento (rígido e flexível) e por condição de revestimento, de modo a permitir a comparação direta entre as situações analisadas.

Para cada conjunto de dados, foram calculados o desvio padrão e a amplitude térmica, definidos, respectivamente, como a dispersão das temperaturas em relação à média e a diferença entre os valores máximos e mínimos observados. Esses parâmetros foram adotados como indicadores da variabilidade térmica das superfícies.

3.5.7. Análise da interação entre aplicação de tinta e tipo de pavimento.

Para avaliar a influência dos fatores analisados sobre a temperatura superficial dos pavimentos, foi empregada a Análise de Variância (ANOVA) de dois fatores (two-way ANOVA). Esse método estatístico permite verificar simultaneamente os efeitos principais do tipo de pavimento (rígido e flexível) e da aplicação de tinta refletiva (com e sem tinta), bem como a possível interação entre esses fatores. A variável dependente considerada foi a temperatura superficial ($^{\circ}\text{C}$), obtida nas quatro faixas de medição.

A ANOVA foi aplicada com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), adotando-se como hipótese nula a inexistência de diferença significativa entre as médias dos grupos avaliados. Assim, foram testadas três hipóteses: (i) ausência de efeito do tipo de pavimento sobre a temperatura; (ii) ausência de efeito da aplicação da tinta; e (iii) ausência de interação entre os fatores. Valores de p inferiores a 0,05 indicaram rejeição da hipótese nula correspondente. Além disso, foi calculado o tamanho de efeito por meio do eta-quadrado (η^2), com o objetivo de quantificar a proporção da variabilidade da temperatura explicada por cada fator e pela interação, permitindo uma interpretação não apenas estatística, mas também prática dos resultados obtidos.

3.6. Limitações do Estudo

Este estudo apresenta algumas limitações metodológicas que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A pesquisa foi realizada em uma única via urbana, a Avenida Pedro Miranda, o que restringe a extrapolação dos resultados para outras áreas da cidade com características urbanas e de tráfego distintas. As medições de temperatura superficial foram realizadas em dois horários específicos do dia (14h00 e 17h00), não contemplando o ciclo térmico completo ao longo das 24 horas, especialmente os períodos noturno e da madrugada, que poderiam fornecer informações adicionais sobre a dissipação de calor dos pavimentos.

O período de coleta de dados foi restrito aos meses de novembro e dezembro de 2025, totalizando 64 amostras, não abrangendo variações sazonais ao longo do ano, como períodos de maior ou menor pluviosidade e alterações no regime de ventos. A utilização de um único equipamento de medição limitou a análise à temperatura superficial dos pavimentos, não sendo realizadas medições diretas de propriedades térmicas dos materiais, como albedo, emissividade ou condutividade térmica.

Dessa forma, os resultados obtidos serão analisados levando em consideração essas limitações, buscando fornecer *insights* relevantes para a aplicação de pavimentos de alta refletividade em ambientes urbanos.

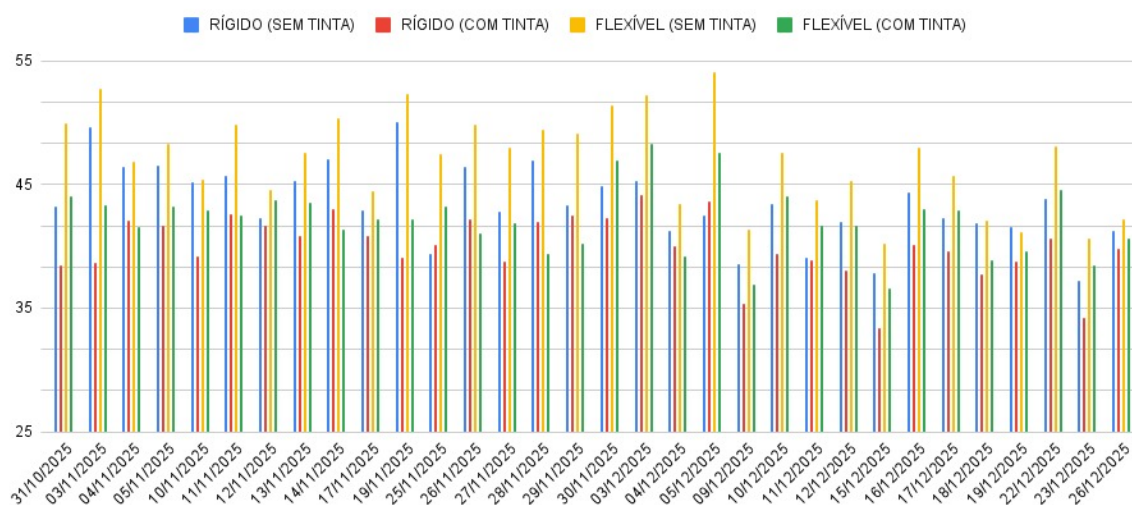
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das medições realizadas em campo. A análise busca interpretar o comportamento térmico dos diferentes tipos de pavimento avaliados, considerando suas temperaturas superficiais e a influência das variáveis ambientais. Os dados são examinados de forma comparativa, com o objetivo de verificar a eficácia da aplicação de tinta refletiva em diferentes composições.

4.1. Evolução temporal das temperaturas superficiais dos pavimentos.

Considerando o horário fixo das 14:00 ao longo do período estudado, observa-se um comportamento térmico consistente entre as diferentes datas (Gráfico 1), com a manutenção de uma hierarquia clara entre os tipos de pavimento avaliados.

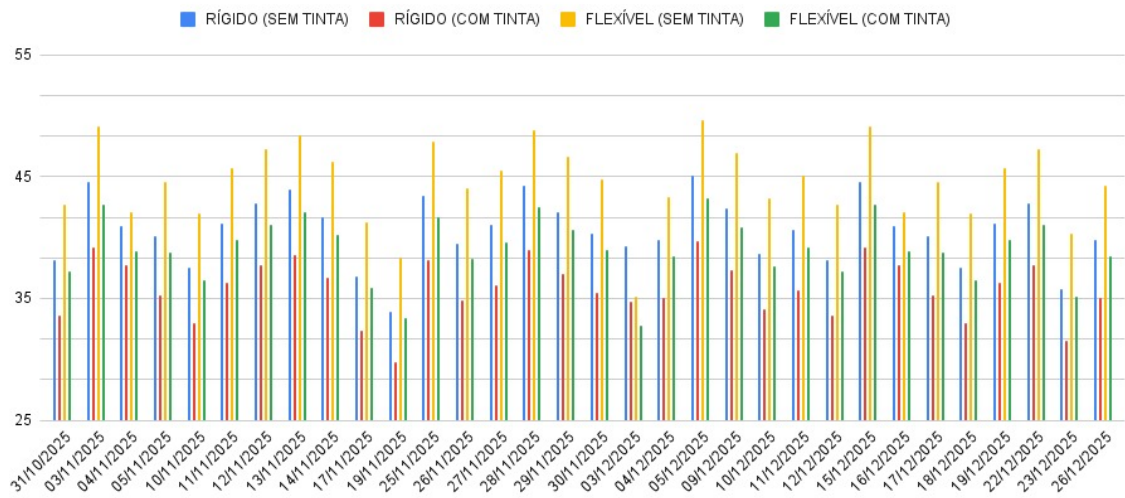
Gráfico 1-Variação de temperatura nos diferentes tipos de pavimento (14:00)



Fonte: os autores (2026)

Em todas as medições, o pavimento flexível sem aplicação de tinta apresentou as maiores temperaturas superficiais, seguido pelo pavimento flexível com tinta, pavimento rígido sem tinta e, por fim, pavimento rígido com tinta. Esse padrão recorrente indica que as diferenças térmicas observadas estão associadas principalmente às propriedades físicas dos materiais, como albedo e capacidade de absorção de radiação solar, e não a variações climáticas pontuais. Do mesmo modo se vê no Gráfico 2, o qual correlaciona as medições com o horário de 17:00.

Gráfico 2-Variação de temperatura nos diferentes tipos de pavimento (17:00)



Fonte: os autores (2026)

A fim de sintetizar o comportamento térmico observado ao longo do período analisado, pode-se tabelar valores máximos, mínimos e médios das temperaturas superficiais registradas para cada tipo de pavimento estudado (Tabela 1 e Tabela 2), incluindo pavimento rígido sem tinta, pavimento rígido com tinta, pavimento flexível sem tinta e pavimento flexível com tinta.

Tabela 1- Estatística Descritiva (14:00)

	PAVIMENTO RÍGIDO		PAVIMENTO FLEXÍVEL		T° NO DIA
	SEM TINTA	COM TINTA	SEM TINTA	COM TINTA	
MÁXIMA	50,10	44,20	54,10	48,30	34,70
MÍNIMA	37,20	33,40	40,20	36,60	26,40
MÉDIA	43,46	40,00	46,97	42,10	31,20

Fonte: os autores (2026)

Tabela 2- Estatística Descritiva (17:00)

	PAVIMENTO RÍGIDO		PAVIMENTO FLEXÍVEL		T° NO DIA
	SEM TINTA	COM TINTA	SEM TINTA	COM TINTA	
MÁXIMA	45,10	39,70	49,60	43,20	33,10
MÍNIMA	33,90	29,80	35,20	32,80	23,40
MÉDIA	40,59	35,83	44,59	39,03	28,90

Fonte: os autores (2026)

A análise desses parâmetros estatísticos permite uma comparação direta entre os materiais, minimizando a influência de variações climáticas pontuais e evidenciando tendências térmicas predominantes. Verifica-se que o pavimento flexível sem tinta apresentou os maiores valores máximos e médios de temperatura, confirmando sua elevada capacidade de absorção e armazenamento de calor, enquanto o pavimento rígido com tinta registrou os menores valores, indicando melhor desempenho térmico, o que pode ser associado ao aumento do albedo superficial. Observa-se ainda que os pavimentos com aplicação de tinta apresentaram menor amplitude térmica, sugerindo maior estabilidade superficial, ao passo que os pavimentos flexíveis mantiveram temperaturas superiores mesmo em condições mais amenas, evidenciando maior inércia térmica. Dessa forma, os resultados consolidados nas Tabelas 1 e 2 corroboram as análises previamente discutidas, demonstrando que tanto a natureza do material quanto o tratamento superficial exercem influência significativa sobre o comportamento térmico das superfícies urbanas, sendo a aplicação de revestimentos claros uma estratégia eficaz para a redução de sua temperatura.

A aplicação de tinta clara resultou em uma redução sistemática da temperatura superficial, promovendo o deslocamento das curvas térmicas para faixas inferiores de temperatura quando comparadas às condições sem tratamento superficial. Observou-se que, da condição 1 (pavimento sem tinta) para a condição 2 (pavimento com tinta), ocorreu uma redução média de 3,46 °C no pavimento rígido e 4,87 °C no pavimento flexível às 14:00, correspondendo a diminuições relativas de 7,96% e 10,37%, respectivamente, além de 4,76 °C no pavimento rígido e 5,56 °C no pavimento flexível às 17:00, representando reduções relativas de 11,73% e 12,47%. Tal comportamento evidencia que a pintura atua como um mecanismo consistente de mitigação térmica,

reduzindo a absorção de radiação solar e limitando o acúmulo de calor nas superfícies urbanas, independentemente das variações climáticas observadas entre os dias de medição.

Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram achados previamente reportados na literatura. Villena del Carpio et al. (2016) identificaram diferenças térmicas de até 15 °C entre pavimentos com distintas propriedades ópticas, enquanto Synnefa et al. (2011) registraram reduções variando entre 7 °C e 12 °C após a aplicação de revestimento refletivo sobre asfalto convencional. Embora as magnitudes observadas no presente estudo possam apresentar variações em função das condições climáticas locais, os resultados corroboram a tendência descrita na literatura científica, confirmando que modificações nas propriedades superficiais dos pavimentos contribuem para a mitigação do aquecimento e para a redução do efeito de Ilha de Calor Urbana.

Essa tendência torna-se ainda mais evidente ao se analisar o comportamento térmico no intervalo entre 14:00 e 17:00, período em que ocorre a liberação gradual do calor previamente armazenado pelas superfícies pavimentadas. Conforme apresentado na Tabela 3, observa-se que, para o pavimento rígido, a aplicação do revestimento refletivo resultou em redução média de 1,57 °C a mais que no mesmo pavimento rígido sem aplicação de tinta, além de redução média de 1,99 °C a mais no pavimento flexível com tinta com relação ao pavimento flexível sem tinta. Tais resultados evidenciam que o tratamento superficial não apenas reduz os picos térmicos observados no período de maior incidência solar, mas também limita a retenção e a reemissão de calor ao longo do período vespertino, indicando maior eficiência térmica das superfícies tratadas e reforçando a eficácia da aplicação de tinta refletiva como estratégia de mitigação do aquecimento superficial em ambientes urbanos.

Tabela 3-Taxas percentuais de redução de temperatura entre 14:00 e 17:00 para cada tipo de pavimento.

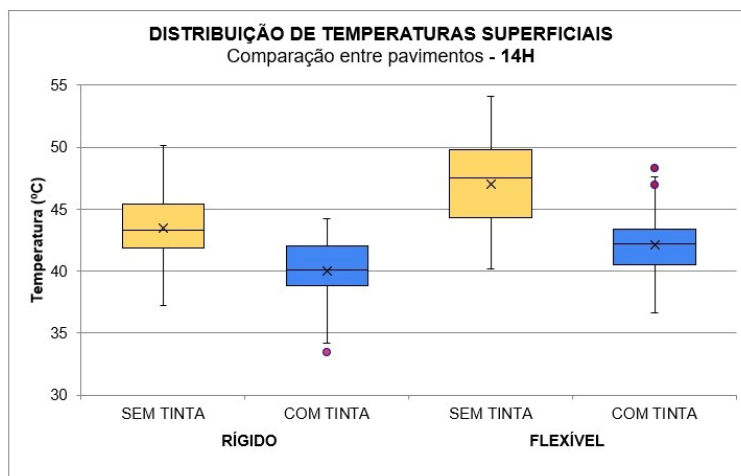
ΔT	PAVIMENTO RÍGIDO		PAVIMENTO FLEXÍVEL		T° NO DIA
	SEM TINTA	COM TINTA	SEM TINTA	COM TINTA	
°C	2,33	3,90	2,21	2,80	2,30
%	5,39	9,74	4,65	6,64	7,37

Fonte: os autores (2026)

4.2. Distribuição estatística por tipo de pavimento.

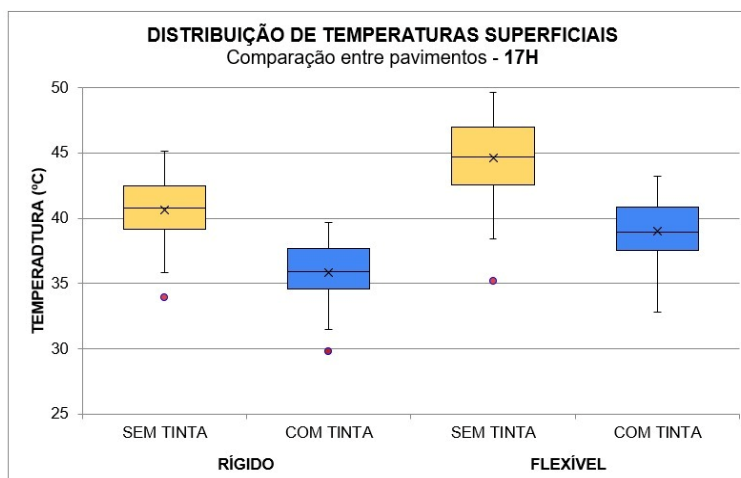
Quando se faz uma distribuição estatística das temperaturas superficiais por meio de boxplots (Gráfico 3 e Gráfico 4) para cada tipo de pavimento, observa-se que o pavimento flexível sem tinta apresenta a maior mediana térmica e a maior dispersão dos dados, indicando elevada variabilidade térmica ao longo do período analisado.

Gráfico 3-Distribuição das temperaturas superficiais em cada tipo de pavimento às 14:00.



Fonte: os autores (2026)

Gráfico 4-Distribuição das temperaturas superficiais em cada tipo de pavimento às 17:00



Fonte: os autores (2026)

Por outro lado, o pavimento rígido com tinta apresentou menor dispersão e menor amplitude térmica, evidenciando maior estabilidade superficial. Esses

resultados indicam que pavimentos com maior capacidade de absorção de energia solar tendem a apresentar não apenas temperaturas mais elevadas, mas também maior sensibilidade às variações das condições microclimáticas.

A redução da dispersão térmica nos pavimentos com tinta sugere que o aumento do albedo superficial contribui não apenas para a redução da temperatura média, mas também para a estabilização térmica das superfícies urbanas.

4.3. Classificação dos Dados em Faixas de Temperatura.

Com o objetivo de aprimorar a análise comparativa das temperaturas superficiais registradas, os dados obtidos foram organizados em faixas térmicas, considerando a variação da temperatura do ar durante os períodos de medição. Essa classificação permite avaliar o comportamento dos diferentes tipos de pavimento sob condições climáticas semelhantes, reduzindo possíveis interferências externas e proporcionando maior rigor à interpretação dos resultados.

4.3.1. Faixa 1.

Na Faixa 1 (Tabela 4), composta por 16 medições, a temperatura do ar variou de 23,4 °C a 28,3 °C, com amplitude de 4,9 °C, indicando condições climáticas relativamente estáveis ao longo do período analisado.

O pavimento rígido convencional apresentou temperaturas entre 33,9 °C e 42,8 °C, enquanto o pavimento rígido com tinta variou de 29,8 °C a 38,8 °C, evidenciando redução térmica consistente após a aplicação da pintura refletiva.

O pavimento flexível convencional registrou os valores mais elevados, variando entre 38,4 °C e 47,3 °C, confirmando maior absorção térmica desse tipo de revestimento. Já o pavimento flexível com tinta apresentou redução significativa, com temperaturas entre 33,4 °C e 41,1 °C, demonstrando a efetividade da tinta refletiva também nesse material.

Tabela 4- Dados da Faixa 1.

ÍNDICE	HORÁRIO	PAV. RÍGIDO SEM TINTA (°C)	PAV. RÍGIDO COM TINTA(°C)	PAV.FLEXÍVEL SEM TINTA (°C)	PAV.FLEXÍVEL COM TINTA(°C)	T° DO AR (°C)
1	17:00	33,90	29,80	38,40	33,40	23,40
2	17:00	35,80	31,50	40,30	35,10	24,60
3	17:00	41,20	36,30	45,70	39,80	25,20
4	17:00	36,80	32,40	41,30	35,90	25,30
5	17:00	37,50	33,00	42,00	36,50	26,10
6	17:00	38,20	33,60	42,70	37,20	26,40
7	14:00	37,20	34,20	40,60	38,50	26,40
8	17:00	39,50	34,80	44,00	38,30	27,00
9	17:00	39,80	35,00	44,30	38,50	27,40
10	17:00	38,70	34,10	43,20	37,60	27,50
11	14:00	41,60	38,80	41,20	39,60	27,90
12	14:00	41,90	37,70	42,10	38,90	28,00
13	17:00	41,00	36,10	45,50	39,60	28,10
14	14:00	38,60	35,40	41,40	36,90	28,10
15	17:00	42,80	37,70	47,30	41,10	28,10
16	17:00	40,10	35,30	44,60	38,80	28,30

Fonte: os autores (2026)

4.3.2. Faixa 2.

Na Faixa 2 (Tabela 5), contendo 17 itens, a temperatura do ar apresentou variação reduzida, com valores mínimos de 28,40 °C e máximos de 30,10 °C, resultando em uma amplitude térmica de 1,7 °C. Essa baixa variabilidade indica condições atmosféricas relativamente estáveis durante o período de medição.

Tabela 5- Dados Faixa 2.

ÍNDICE	HORÁRIO	PAV. RÍGIDO SEM TINTA (°C)	PAV. RÍGIDO COM TINTA(°C)	PAV.FLEXÍVEL SEM TINTA (°C)	PAV.FLEXÍVEL COM TINTA(°C)	Tº DO AR (°C)
17	17:00	40,60	35,70	45,10	39,20	28,40
18	17:00	40,30	35,50	44,80	39,00	28,50
19	14:00	43,42	39,37	47,52	44,01	28,50
20	14:00	37,80	33,40	40,20	36,60	28,50
21	14:00	39,13	38,92	43,72	41,64	28,60
22	17:00	41,20	36,30	45,70	39,80	28,80
23	17:00	39,80	35,00	43,30	38,50	28,80
24	17:00	39,30	34,70	35,20	32,80	29,00
25	17:00	44,60	39,20	49,10	42,70	29,10
26	14:00	41,99	38,09	45,25	41,65	29,40
27	14:00	44,41	40,13	47,98	42,97	29,40
28	17:00	37,50	33,00	42,00	36,50	29,40
29	14:00	39,40	40,10	47,50	43,20	29,60
30	17:00	40,10	35,30	44,60	38,80	29,60
31	17:00	41,70	36,70	46,20	40,20	29,70
32	14:00	41,30	40,00	43,40	39,20	30,10
33	14:00	42,31	39,65	45,74	42,91	30,10

Fonte: os autores (2026)

4.3.3. Faixa 3.

Na Faixa 3 (Tabela 6), composta por 17 pontos amostrais, a temperatura do ar variou entre 30,20 °C e 31,70 °C, resultando em uma amplitude térmica 1,50 °C. Essa baixa variabilidade indica condições atmosféricas relativamente estáveis durante as medições, permitindo atribuir as diferenças observadas principalmente às características dos pavimentos analisados.

O pavimento rígido convencional apresentou temperaturas superficiais entre 40,90 °C e 47,10 °C, enquanto o rígido com tinta refletiva variou de 37,00 °C a 42,60 °C, evidenciando redução térmica associada ao aumento da refletividade superficial proporcionada pela pintura.

Por sua vez, o pavimento flexível convencional registrou os maiores valores da faixa, com temperaturas entre 42,10 °C e 52,30 °C, confirmando sua maior capacidade de absorção e retenção de calor. Quando aplicada a tinta refletiva, as temperaturas reduziram para um intervalo de 38,90 °C a 46,90 °C, demonstrando efeito mitigador significativo, embora ainda se mantenham superiores às do pavimento rígido pintado.

Tabela 6- Dados Faixa 3.

ÍNDICE	HORÁRIO	PAV. RÍGIDO SEM TINTA (°C)	PAV. RÍGIDO COM TINTA(°C)	PAV.FLEXÍVEL SEM TINTA (°C)	PAV.FLEXÍVEL COM TINTA(°C)	T° DO AR (°C)
34	17:00	43,40	38,20	47,90	41,70	30,20
35	14:00	46,38	42,18	49,80	41,09	30,30
36	17:00	42,10	37,00	46,60	40,60	30,50
37	17:00	42,40	37,30	46,90	40,80	30,60
38	14:00	43,80	40,60	48,10	44,60	30,80
39	14:00	45,70	42,60	49,80	42,50	30,90
40	17:00	42,80	37,70	47,30	41,10	30,90
41	14:00	42,90	40,80	44,50	42,20	30,90
42	17:00	43,90	38,60	48,40	42,10	31,20
43	17:00	44,30	39,00	48,80	42,50	31,30
44	17:00	40,90	37,70	42,10	38,90	31,40
45	14:00	44,85	42,34	51,37	46,90	31,50
46	14:00	47,10	39,10	52,30	42,20	31,60
47	14:00	43,27	38,50	49,90	44,00	31,70
48	14:00	42,76	38,81	48,01	41,87	31,70
49	14:00	43,30	42,50	49,10	40,20	31,70
50	14:00	41,30	39,80	42,20	40,60	31,70

Fonte: os autores (2026)

4.3.4. Faixa 4.

Na Faixa 4 (Tabela 7), composta por 14 pontos amostrais, a temperatura do ar variou entre 32,00 °C e 34,70 °C, resultando em uma amplitude térmica de 2,70 °C. Embora ligeiramente superior às faixas anteriores, essa variação ainda caracteriza condições atmosféricas relativamente homogêneas durante o período de medição.

O pavimento rígido convencional apresentou temperaturas superficiais entre 38,20 °C e 49,60 °C, enquanto o pavimento rígido com tinta refletiva variou de 33,60 °C a 44,20 °C, evidenciando redução térmica consistente com a aplicação do revestimento refletivo.

O pavimento flexível convencional registrou os maiores valores da faixa, com temperaturas entre 42,10 °C e 54,10 °C, confirmando novamente sua maior capacidade de absorção e retenção de calor sob condições ambientais mais severas. Após a aplicação da tinta refletiva, as temperaturas passaram a variar entre 37,20 °C e 48,30 °C, demonstrando efeito mitigador significativo, embora ainda apresentando valores superiores aos observados no pavimento rígido pintado.

De modo geral, a Faixa 4 apresentou os maiores níveis absolutos de temperatura entre todas as faixas analisadas, reforçando a influência das condições ambientais mais elevadas e confirmando a eficácia da tinta refletiva na redução da temperatura superficial em ambos os tipos de pavimento.

Tabela 7- Dados Faixa 4.

ÍNDICE	HORÁRIO	PAV. RÍGIDO SEM TINTA (°C)	PAV. RÍGIDO COM TINTA(°C)	PAV.FLEXÍVEL SEM TINTA (°C)	PAV.FLEXÍVEL COM TINTA(°C)	T° DO AR (°C)
51	17:00	44,60	39,20	49,10	42,70	32,00
52	14:00	46,50	41,70	48,30	43,20	32,10
53	17:00	40,90	37,70	42,10	38,90	32,20
54	17:00	45,10	39,70	49,60	43,20	32,30
55	14:00	46,90	42,00	49,40	39,40	32,60
56	14:00	45,30	40,80	47,60	43,50	32,70
57	14:00	42,30	41,70	44,60	43,70	33,00
58	14:00	47,10	43,00	50,40	41,40	33,10
59	17:00	38,20	33,60	42,70	37,20	33,10
60	14:00	46,44	42,04	46,80	41,52	33,30
61	14:00	45,20	39,20	45,40	42,90	33,30
62	14:00	42,50	43,60	54,10	47,60	33,30
63	14:00	45,30	44,20	52,20	48,30	33,80
64	14:00	49,60	38,70	52,70	43,30	34,70

Fonte: os autores (2026)

4.4. Verificação da Normalidade dos Dados.

Previamente à aplicação do teste t de Student, foi verificada a suposição de normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk (Tabela 8), considerado apropriado para amostras pequenas e médias e amplamente utilizado em análises experimentais.

Tabela 8- Resultados Teste de Shapiro-Wilk.

FAIXA	PAVIMENTO	W NUMBER	p-value	RESULTADO
1	RÍGIDO- SEM TINTA	0,98	0,95	NORMAL
	RÍGIDO- COM TINTA	0,99	0,99	NORMAL
	FLEXÍVEL-SEM TINTA	0,98	0,99	NORMAL
	FLEXÍVEL-COM TINTA	0,97	0,77	NORMAL
2	RÍGIDO- SEM TINTA	0,97	0,79	NORMAL
	RÍGIDO- COM TINTA	0,91	0,09	NORMAL
	FLEXÍVEL-SEM TINTA	0,90	0,06	NORMAL
	FLEXÍVEL-COM TINTA	0,93	0,26	NORMAL
3	RÍGIDO- SEM TINTA	0,96	0,65	NORMAL
	RÍGIDO- COM TINTA	0,90	0,07	NORMAL
	FLEXÍVEL-SEM TINTA	0,93	0,19	NORMAL
	FLEXÍVEL-COM TINTA	0,92	0,15	NORMAL
4	RÍGIDO- SEM TINTA	0,94	0,43	NORMAL
	RÍGIDO- COM TINTA	0,92	0,25	NORMAL
	FLEXÍVEL-SEM TINTA	0,97	0,91	NORMAL
	FLEXÍVEL-COM TINTA	0,93	0,32	NORMAL

Fonte: os autores (2026)

Os resultados obtidos para as quatro faixas analisadas, contemplando as condições de pavimento rígido e flexível, com e sem aplicação de tinta refletiva, indicaram valores de W próximos de 1,0 em todos os casos (variando entre 0,90 e 0,99). Esses valores evidenciam forte aderência dos dados à distribuição normal.

Em relação ao p-valor, todos os conjuntos apresentaram valores superiores ao nível de significância adotado ($\alpha = 0,05$), variando entre 0,06 e 0,99. Assim, não se rejeita a hipótese nula de normalidade para nenhuma das amostras avaliadas. Mesmo nos casos em que os p-valores se aproximaram do limiar crítico (como observado na Faixa 2 e Faixa 3 para o pavimento rígido com tinta e pavimento flexível sem tinta), os resultados permaneceram acima de 0,05, mantendo-se dentro do critério de normalidade estatística.

Dessa forma, verifica-se que todas as distribuições de temperatura superficial analisadas atendem ao pressuposto de normalidade, legitimando a aplicação de testes paramétricos, como o teste t de Student, para comparação das médias entre diferentes condições

4.5. Aplicação do Teste *t* de Student.

Após a verificação da normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk, procedeu-se à aplicação do Teste *t* de Student (Tabela 9) para comparação das médias de temperatura superficial entre as condições sem tinta e com tinta refletiva, considerando separadamente os pavimentos rígido e flexível em cada faixa analisada.

Tabela 9- Resultado Teste *t* de Student

Faixa	Pavimento	Sem tinta (M ± DP) °C	Com tinta (M ± DP) °C	p-value	Resultado
1	Rígido	39,04 ± 2,42	34,73 ± 2,37	< 0,001	Significativo
	Flexível	42,79 ± 2,33	37,86 ± 1,97	< 0,001	Significativo
2	Rígido	40,87 ± 2,06	37,12 ± 2,45	< 0,001	Significativo
	Flexível	44,55 ± 3,29	39,98 ± 2,94	< 0,001	Significativo
3	Rígido	43,6 ± 1,68	39,57 ± 1,92	< 0,001	Significativo
	Flexível	47,83 ± 2,8	41,99 ± 1,86	< 0,001	Significativo
4	Rígido	44,71 ± 2,9	40,51 ± 2,77	< 0,001	Significativo
	Flexível	48,21 ± 3,62	42,63 ± 2,99	< 0,001	Significativo

Fonte: os autores (2026)

Os resultados indicaram diferença estatisticamente significativa em todas as faixas e para ambos os tipos de pavimento ($p < 0,001$). Como o p-valor obtido é inferior ao nível de significância adotado ($\alpha = 0,05$), rejeita-se a hipótese nula de igualdade entre as médias, confirmando que a aplicação da tinta refletiva promoveu redução significativa da temperatura superficial.

Observa-se que, na Faixa 1, a redução da média foi de 4,31 °C no pavimento rígido (39,04 °C para 34,73 °C) e 4,93 °C no pavimento flexível (42,79 °C para 37,86 °C). Na Faixa 2, a diminuição foi de 3,75 °C no rígido e 4,57 °C no flexível. Na Faixa 3, verificou-se redução de 4,03 °C no rígido e 5,89 °C no flexível, enquanto na Faixa 4 as reduções foram de 4,20 °C e 5,58 °C, respectivamente.

De modo geral, percebe-se que o pavimento flexível apresentou temperaturas absolutas mais elevadas quando comparado ao rígido, tanto na condição sem tinta quanto com tinta, o que está em consonância com a literatura que aponta maior absorção de radiação solar em superfícies asfálticas devido ao menor albedo. Entretanto, em ambos os materiais, a tinta refletiva demonstrou efeito térmico significativo, reduzindo consistentemente as temperaturas superficiais.

Observa-se que, além da redução significativa das médias, os desvios padrão permaneceram relativamente próximos entre as condições comparadas, variando entre 1,68 °C e 3,62 °C. Em diversas situações, houve inclusive diminuição da dispersão após a aplicação da tinta refletiva, indicando maior uniformidade térmica da superfície tratada.

4.6. Análise do Tamanho de Efeito (Cohen's *d*).

Além da significância estatística verificada pelo teste *t* de Student, foi calculado o tamanho de efeito por meio do coeficiente Cohen's *d*, representado na Tabela 10, com o objetivo de mensurar a magnitude prática da diferença entre as condições com tinta e sem tinta.

Tabela 10- Resultado Cohen'd

Faixa	Pavimento	Cohen'd
1	Rígido	1,79
1	Flexível	2,29
2	Rígido	1,66
2	Flexível	1,47
3	Rígido	2,24
3	Flexível	2,45
4	Rígido	1,48
4	Flexível	1,68

Fonte: os autores (2026)

De acordo com a classificação proposta por Cohen (1988), valores de *d* superiores a 0,80 são considerados de grande magnitude. No presente estudo, todos os valores obtidos variaram entre 1,47 e 2,45, caracterizando efeito muito grande em todas as comparações realizadas.

Na Faixa 1, o pavimento rígido apresentou *d* = 1,79, enquanto o pavimento flexível apresentou *d* = 2,29. Ambos indicam forte impacto da aplicação da tinta refletiva, sendo o efeito mais pronunciado no pavimento flexível.

Na Faixa 2, foram obtidos $d = 1,66$ (rígido) e $d = 1,47$ (flexível), mantendo-se dentro da categoria de grande magnitude, ainda que ligeiramente inferiores aos observados na Faixa 1.

Na Faixa 3, observaram-se alguns dos maiores efeitos do estudo, com $d = 2,24$ para o pavimento rígido e $d = 2,45$ para o pavimento flexível, evidenciando uma diferença expressiva entre as médias térmicas das superfícies com e sem tinta.

Na Faixa 4, os valores encontrados foram $d = 1,48$ (rígido) e $d = 1,68$ (flexível), novamente indicando efeito grande e consistente da intervenção.

De modo geral, os resultados demonstram que a redução das temperaturas superficiais não é apenas estatisticamente significativa ($p < 0,001$), mas também possui elevada relevância prática. Os valores elevados de Cohen's d indicam que a diferença entre as condições com e sem tinta corresponde a mais de uma unidade de desvio padrão na maioria dos casos, evidenciando impacto substancial da refletividade superficial sobre o comportamento térmico dos pavimentos.

Além disso, observa-se que, em diversas faixas, o pavimento flexível apresentou tamanhos de efeito ligeiramente superiores ao rígido, sugerindo que superfícies asfálticas podem se beneficiar de maneira ainda mais expressiva da aplicação de revestimentos refletivos.

Dessa forma, a análise do tamanho de efeito reforça a robustez dos resultados e confirma que a intervenção apresenta não apenas significância estatística, mas também importância prática e ambiental.

4.7. Análise de interação entre os tipos de revestimento de pavimento e aplicação de tinta.

Para avaliar conjuntamente a influência do tipo de pavimento e da aplicação de tinta refletiva, empregou-se a ANOVA de dois fatores. Esse procedimento permite examinar simultaneamente os efeitos principais de cada variável, bem como verificar a existência de interação entre elas. Dessa forma, torna-se possível compreender de maneira integrada o comportamento térmico dos revestimentos estudados, cujos resultados estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11- Resultado ANOVA

Faixa	Descrição	p-value	p eta-sq
1	Pavimento	< 0,001	37,75%
	Tinta	< 0,001	52,26%
	Interação	0,586	0,50%
2	Pavimento	< 0,001	27,65%
	Tinta	< 0,001	38,26%
	Interação	0,540	0,59%
3	Pavimento	< 0,001	39,76%
	Tinta	< 0,001	59,21%
	Interação	0,0815	4,67%
4	Pavimento	0,001	18,24%
	Tinta	< 0,001	40,30%
	Interação	0,406	1,33%

Fonte: os autores (2026)

Em todas as faixas, verificou-se efeito estatisticamente significativo tanto para o fator pavimento quanto para o fator tinta ($p \leq 0,001$ na maioria das análises), demonstrando que ambos influenciam a variação da temperatura superficial.

Na Faixa 1, o tipo de pavimento apresentou $\eta^2 = 37,75\%$, enquanto a tinta refletiva apresentou $\eta^2 = 52,26\%$, indicando que mais da metade da variabilidade da temperatura foi explicada pela aplicação da tinta, configurando efeito de grande magnitude. A interação entre pavimento e tinta não foi significativa ($p = 0,586$; $\eta^2 = 0,50\%$), indicando que o efeito da tinta ocorreu de maneira semelhante em ambos os tipos de pavimento.

Na Faixa 2, novamente foram observados efeitos significativos para pavimento ($\eta^2 = 27,65\%$) e tinta ($\eta^2 = 38,26\%$), ambos classificados como de grande magnitude. A interação permaneceu não significativa ($p = 0,540$; $\eta^2 = 0,59\%$).

Na Faixa 3, registraram-se os maiores valores de tamanho de efeito para a tinta ($\eta^2 = 59,21\%$) e elevado efeito para o pavimento ($\eta^2 = 39,76\%$), ambos com $p < 0,001$. A interação apresentou $p = 0,0815$ ($\eta^2 = 4,67\%$), não atingindo o nível de significância adotado (5%), embora indique uma tendência de pequena influência conjunta.

Outrossim, na Faixa 4, o fator pavimento apresentou $\eta^2 = 18,24\%$ ($p = 0,001$) e a tinta $\eta^2 = 40,30\%$ ($p < 0,001$), mantendo-se efeitos significativos e de magnitude elevada. A interação novamente não foi significativa ($p = 0,406$; $\eta^2 = 1,33\%$).

De forma geral, observa-se que a aplicação da tinta refletiva apresentou, em todas as faixas, maior capacidade explicativa da variabilidade térmica quando comparada ao tipo de pavimento, com valores de η^2 variando entre 38% e 59%, caracterizando efeito grande. O tipo de pavimento também apresentou influência significativa, com η^2 variando entre 18% e 40%. A ausência de interação significativa entre os fatores indica que a redução de temperatura proporcionada pela tinta ocorre de maneira consistente tanto em pavimentos rígidos quanto flexíveis. Esses resultados confirmam a relevância estatística e prática da utilização de revestimentos refletivos como estratégia de mitigação térmica em pavimentos urbanos.

5.CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo avaliar comparativamente o comportamento térmico de pavimentos rígidos e flexíveis, com e sem aplicação de tinta refletiva, por meio de medições experimentais realizadas em quatro faixas distintas. Inicialmente, procedeu-se à análise estatística descritiva, com determinação de médias, valores mínimos, máximos e amplitudes térmicas, permitindo caracterizar o comportamento superficial de cada condição analisada. Em seguida, aplicaram-se o teste t de Student, comparando as condições com e sem tinta dentro de cada tipo de pavimento, e a ANOVA de dois fatores, a fim de verificar a influência simultânea do tipo de revestimento e da aplicação da tinta sobre a variável temperatura.

Com base nos resultados obtidos, destacam-se os seguintes aspectos:

A. Comportamento térmico geral.

O pavimento flexível sem tinta apresentou, de forma consistente, as maiores médias de temperatura superficial ao longo das faixas analisadas, atingindo valores máximos de 54,10 °C (Faixa 4), evidenciando sua maior susceptibilidade ao acúmulo de calor. Em contraste, o pavimento rígido com tinta refletiva apresentou os menores registros térmicos, com valores mínimos de 29,80 °C (Faixa 1), além das menores médias entre todas as condições avaliadas, demonstrando desempenho térmico significativamente superior.

B. Influência da aplicação da tinta.

O teste t indicou diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$, em geral $p < 0,001$) entre as condições com e sem tinta, tanto para o pavimento rígido quanto para o flexível. As reduções médias observadas variaram entre 3 °C e 5 °C no pavimento rígido e entre 4 °C e 7 °C no pavimento flexível, resultados que evidenciam, de forma consistente, a efetividade da tinta refletiva na redução do aquecimento superficial, com impacto térmico mais expressivo nos pavimentos flexíveis.

C. Interação do Fator do tipo de pavimento e aplicação de tinta.

A análise de variância evidenciou efeito significativo do fator “tipo de pavimento” e do fator “aplicação de tinta” ($p < 0,001$ em múltiplas faixas), demonstrando que ambos influenciam de maneira estatisticamente mensurável a temperatura superficial. O tamanho de efeito (η^2 parcial) confirmou impacto relevante dos fatores principais, enquanto a interação

entre eles apresentou efeito reduzido (ηp^2 inferior a 5% na maior parte das faixas), indicando que cada variável contribui de forma predominantemente independente para a redução térmica observada.

De forma sintética, os resultados confirmam de maneira robusta a hipótese de que a aplicação da tinta refletiva promove redução estatisticamente significativa das temperaturas superficiais em ambos os tipos de pavimento. A condição de melhor desempenho térmico foi o pavimento rígido com tinta, enquanto a condição de maior aquecimento foi o pavimento flexível sem tinta, padrão observado de forma consistente nas quatro faixas analisadas, reforçando a confiabilidade experimental dos resultados. Tendo isso em vista, a presente pesquisa contribui para a Engenharia Civil ao fornecer evidências experimentais sobre a influência da refletividade superficial na variação térmica de pavimentos no contexto amazônico. Ao comparar o desempenho térmico de pavimentos rígidos e flexíveis em condições reais de campo, no município de Belém–PA, o estudo amplia a compreensão sobre o papel dos materiais na mitigação do efeito de ilha de calor urbana. Os resultados obtidos reforçam a importância da especificação de soluções construtivas com maior refletância como estratégia de planejamento urbano sustentável, oferecendo subsídios técnicos para projetistas, gestores públicos e formuladores de políticas voltadas à adaptação climática e ao conforto térmico urbano.

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se a continuidade das investigações com foco no desempenho dos materiais e na aplicabilidade prática da solução estudada. Nesse sentido, sugerem-se os seguintes desdobramentos:

- Realização de medições em diferentes horários do dia e ao longo de períodos mais extensos, permitindo avaliar o comportamento térmico associado ao envelhecimento da tinta refletiva e ao desgaste provocado pelo tráfego;
- Estudo comparativo entre diferentes tipos de revestimentos asfálticos (como concreto asfáltico convencional e tratamentos superficiais), analisando a influência da composição do material no desempenho térmico;
- Avaliação de distintas formulações de tintas refletivas, considerando propriedades como aderência, resistência à abrasão, durabilidade e custo-benefício;
- Análise técnico-econômica da aplicação da solução em escala real, considerando ciclo de vida, manutenção e viabilidade de implementação em vias urbanas;

- Desenvolvimento de modelos de regressão estatística capazes de correlacionar variáveis como tipo de pavimento, presença de revestimento refletivo, condições ambientais e temperatura superficial, permitindo a predição do comportamento térmico e o apoio à tomada de decisão em projetos urbanos.

Essas investigações podem contribuir para o aprofundamento técnico do tema e para a consolidação da tinta refletiva como alternativa viável dentro da Engenharia Civil.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARCHINSKI GALANT, N.; FERREIRA SANTOS, R.; GLUZEZAK, R. M.; LENZ, M. L.; CELANTE, L. S.; PEREIRA, N.; ROSA, H. A. **Influência das árvores no microclima urbano: estudo de caso em uma área urbana de Cascavel - PR.** *Acta Iguazu*, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 126–142, 2000. DOI: 10.48075/actaiguazu.v4i3.13479. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/13479>. Acesso em: 20 mar. 2025.

BRASIL. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Manual de pavimentação: características dos pavimentos.** 4. ed. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.dnit.gov.br>. Acesso em: 20 mar. 2025.

CARVALHO, Flávia do Socorro de Sousa; LUCENA, Adriano Elísio de Figueiredo Lopes; NETO, Osires de Medeiros Melo; PORTO, Tassila Ramos; PORTO, Thalita Maria Ramos. **Análise dos parâmetros mecânicos das misturas asfálticas com adição de óxidos metálicos.** 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/bfr4ym9ysCMbbHYn9bjt8sn/?lang=pt>. Acesso em: 21 mar. 2025.

DEL CARPIO, Joe Arnaldo Villena; MARINOSKI, Deivis Luis; TRICHÊS, Glicério; LAMBERTS, Roberto; MELO, João Victor Staub de. **Urban pavements used in Brazil: Characterization of solar reflectance and temperature verification in the field.** *Solar Energy*, v. 137, p. 95–104, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.04.044>. Acesso em: 18 fev. 2026.

CASTELLO, Ana Júlia Pilon. **Desempenho termo-óptico de revestimentos na mitigação do aquecimento de fachadas urbana.** Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/handle/123456789/16702>. Acesso em: 25 mar. 2025.

DEL CARPIO, Joe Arnaldo Villena. **Uso de pigmentos de óxidos de metais mistos na pavimentação para a mitigação da ilha de calor urbana.** Tese (Doutorado em

Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/node/821>. Acesso em: 25 mar. 2025.

DIAS, Lívia Cristina Pinto. **Efeito da mudança na cobertura vegetal na evapotranspiração e vazão de microbacias na região do Alto Xingu**. 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/2d119cff-b5ca-4ede-98d0-a14dcf932a4e>. Acesso em: 20 mar. 2025.

GUEDES, Rodrigo Borges Nascimento. **Desempenho térmico e óptico de pavimentos permeáveis e impermeáveis de concreto com colorações diferentes**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2023. Disponível em: <https://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/handle/123456789/16760>. Acesso em: 25 mar. 2025.

KEPHART, Josiah L.; DIEZ ROUX, Ana V.; SÁNCHEZ, Brisa N.; MOORE, Jeffrey; SCHINASI, Leah H.; BAKHTSIYARAVA, Maryia; JU, Yang; GOUVEIA, Nelson; CAIAFFA, Waleska T.; DRONOVA, Iryna; ARUNACHALAM, Saravanan; RODRÍGUEZ, Daniel A. **Temperature-related mortality in Latin American cities: the effect of cold and heat on mortality in urban populations in Latin America**. *Nature Medicine*, v. 28, p. 2441–2449, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41591-022-01959-0>. Acesso em: 20 mar. 2025.

LIMA, Raffaella Germano de. **O impacto dos parâmetros urbanísticos no desempenho da ventilação natural urbana: o controle da ocupação do solo a partir dos recuos progressivos**. 2019. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/7033>. Acesso em: 20 mar. 2025.

MANLEY, G. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 84, p. 70, 1958.

MANSOORI, S. T.; ZARGHAMI, E. **Investigando a influência do arranjo físico de complexos residenciais de edifícios altos e ilhas de calor urbanas.** *Iranian Journal of Energy*, v. 25, n. 1, p. 33-45, 2022. Disponível em: <https://necjournals.ir/article-1-1770-en.html>. Acesso em: 20 mar. 2025.

MARUYAMA, Cíntia Miua. **Pavimentos brandos para a mitigação das Ilhas de Calor: o caso do Jardim da Luz e seu entorno em São Paulo/SP.** 2020.

PEIXOTO, Nara G. M.; RIBAS, Larissa V. S.; MONTEIRO, Leonardo M.; BRANCO, Verônica T. F. Castelo. **Avaliação do comportamento térmico de materiais empregados em projeto de requalificação viária na cidade de Fortaleza.** 2023. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4001>. Acesso em: 22 mar. 2025.

PEREIRA, Natasha H. G.; MELO, Ana Paula; MARINOSKI, Deivis Luis; LAMBERTS, Roberto. **Avaliação da influência da refletância do entorno urbano no fluxo de radiação e na carga térmica de uma edificação.** *Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4485>. Acesso em: 20 mar. 2025.

PESSOA, Eliomar Gotardi. **Pavimentos permeáveis: uma solução sustentável.** 2024. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/RCS/article/view/4992>. Acesso em: 20 mar. 2025.

PIRANI, Leonardo Machado; REZENDE, Luciana Cristina Soto Herek; ZAVASKI, Felipe; LIZAMA, Maria de los Angeles Perez. **A análise da formação das ilhas de calor sob a perspectiva de diferentes materiais de pavimentação.** 2023. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/3622/4106. Acesso em: 22 mar. 2025.

SANCHEZ, A. **Atividades humanas e mudanças climático-ambientais: uma relação inevitável.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas

Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85133/tde-06112009-153837/pt-br.php>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SCHROEDER, Alexandre; IMHOF, Arnaldo Wesley; PINHEIRO, William de Chaves; MAINES, Alexandre; RIFFEL, Elias. **Pavimentos drenantes: estudo sobre peças de concreto permeável do tipo Paver Intertravado poroso**. 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/50130>. Acesso em: 22 mar. 2025.

SILVA, João da; SOUZA, Maria de Fátima. **Influência do albedo na temperatura de superfície de pavimento asfáltico urbano**. 2020. Disponível em: <https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/tecnoambiente/article/view/5594>. Acesso em: 20 mar. 2025.

SILVA, Joelmir Marques da. **Influência da vegetação arbórea no conforto térmico de área urbana**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 1, p. 633–645, 2023.

SILVA, M.S., (2015) **Albedo terrestre**, Rev. Ciência Elem., V3(3):042. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2015/042/>. Acesso em: 25 mar . 2025

SILVA JUNIOR, Rosiberto Salustiano; MARTILLI, Alberto; SILVA, Ewerton Hallan de Lima. **Efeito da urbanização sobre a dispersão de poluentes e formação de ilha de calor**. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 27, p. 34–56, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/69398>. Acesso em: 20 mar. 2026.

SOUZA, R. A.; RIBEIRO, L. S.; SANTANA, L. M. **Clima urbano e saúde: uma revisão sistematizada da literatura recente**. *Estudos Avançados*, v. 30, n. 86, p. 235-252, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/xx6zxst3jgG6srZ7Y7dhpLj/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

COHEN, Jacob. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. 2. ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988. Acesso em: 20 fev. 2026.

SYNNEFA, A.; KARLESSI, T.; GAITANI, N.; SANTAMOURIS, M.; ASSIMAKOPOULOS, D. N.; PAPAKATSIKAS, C. **Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate.** *Building and Environment*, v. 46, n. 1, p. 38–44, 2011. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.06.014. Acesso em: 20 fev. 2026.