



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

JOÃO NEFTALI FREIRE AMARAL

AS CONDIÇÕES URBANAS E O CONFORTO TÉRMICO HUMANO NAS VIAS
CICLÁVEIS EM FORTALEZA, CEARÁ

FORTALEZA

2025

JOÃO NEFTALI FREIRE AMARAL

AS CONDIÇÕES URBANAS E O CONFORTO TÉRMICO HUMANO NAS VIAS
CICLÁVEIS EM FORTALEZA, CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Geografia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Rodrigues do
Nascimento.

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Ferreira Lima
Júnior.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A514c Amaral, João Neftali Freire.
 As condições urbanas e o conforto térmico humano nas vias cicláveis em Fortaleza, Ceará / João Neftali Freire Amaral. – 2025.
 26 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geografia, Fortaleza, 2025.
 Orientação: Prof. Dr. Flávio Rodrigues do Nascimento.
 Coorientação: Prof. Dr. Antonio Ferreira Lima Júnior.
1. Conforto térmico. 2. Malha ciclovitária. 3. Urbanização. I. Título.

CDD 910

JOÃO NEFTALI FREIRE AMARAL

AS CONDIÇÕES URBANAS E O CONFORTO TÉRMICO HUMANO NAS VIAS
CICLÁVEIS EM FORTALEZA, CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Geografia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Geografia.

Aprovado em: 28/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Flávio Rodrigues do Nascimento (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antonio Ferreira Lima Júnior (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Francisca Mairla Gomes Brasileiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Lidia Gomes de Castro
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Ao meu querido pai, João Estácio Amaral.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, à Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao curso de Geografia por terem sido o palco de tantos momentos únicos e aprendizados que levaram à construção deste trabalho. Às políticas de permanência estudantil, como bolsas, auxílios e, especialmente, ao Restaurante Universitário, que foram fundamentais para minha jornada acadêmica, garantindo que eu pudesse me dedicar aos estudos com força e determinação.

Aos professores, servidores e trabalhadores da UFC, meu reconhecimento pelo zelo e dedicação que tornam essa instituição um espaço de excelência e acolhimento. Em especial, ao Prof. Dr. Antonio Ferreira Lima Júnior, que não apenas me apresentou ao fascinante mundo do Clima Urbano, mas também me incentivou diretamente na realização desta pesquisa, oferecendo atenção, suporte e orientação inestimáveis. Serei eternamente grato por suas orientações.

Ao Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos (LCGRH/UFC), pelo apoio essencial que tornou este trabalho possível. A disponibilidade dos equipamentos e o ambiente acolhedor foram fundamentais para a realização desta pesquisa, e sou imensamente grato por fazer parte desse espaço de aprendizado e construção científica.

Aos amigos que fiz ao longo dessa jornada, meu profundo agradecimento por cada aula de campo, troca de ideias e momento compartilhado. Foram vocês que transformaram a graduação em uma experiência rica, cheia de aprendizados e memórias que levarei para sempre comigo.

Por fim, à minha mãe, que é e sempre será uma luz em minha vida, e ao meu pai, a pessoa a quem mais admiro e que carrego em mim como parte fundamental de quem sou. A ambos, minha eterna gratidão pelo apoio incondicional e por serem minha base em todos os momentos.

RESUMO

Este estudo partiu da necessidade de compreender como as condições térmicas nas vias cicláveis de Fortaleza afetam o conforto dos ciclistas, contribuindo para um planejamento urbano mais humano e sustentável. O objetivo foi analisar como a materialidade urbana - como o tipo de pavimentação e a presença de vegetação - e as características climáticas locais influenciam a sensação térmica, utilizando transectos móveis e o Índice de Calor (HI) como indicador de conforto térmico. Para isso, foram realizadas medições de temperatura e umidade em quatro trechos urbanos (Campus do Pici, Avenida Bezerra de Menezes, Avenida Domingos Olímpio e Avenida Antônio Sales) durante a pré-estação chuvosa. A análise mostrou que áreas com maior cobertura vegetal e pavimentação permeável proporcionam condições térmicas mais agradáveis, enquanto vias asfaltadas e expostas ao tráfego intenso geram maior desconforto. A pesquisa reforça a importância de integrar elementos naturais, como árvores e áreas verdes, e de adotar materiais que reduzam a retenção de calor no desenho das ciclovias. Essas medidas não apenas melhoram o conforto térmico, mas também incentivam o uso da bicicleta como uma opção viável e sustentável de transporte em cidades de clima tropical como Fortaleza.

Palavras-chave: conforto térmico; malha cicloviária; urbanização.

ABSTRACT

This study arose from the need to understand how thermal conditions on cycling paths in Fortaleza affect cyclists' comfort, contributing to more humane and sustainable urban planning. The goal was to analyze how urban materiality - such as pavement type and vegetation presence - and local climatic characteristics influence thermal sensation, using mobile transects and the Heat Index (HI) as a thermal comfort indicator. For this purpose, temperature and humidity measurements were conducted in four urban segments (Pici Campus, Bezerra de Menezes Avenue, Domingos Olímpio Avenue, and Antônio Sales Avenue) during the pre-rainy season. The analysis showed that areas with greater vegetation cover and permeable pavement provide more pleasant thermal conditions, while asphalted roads exposed to intense traffic generate greater discomfort. The research highlights the importance of integrating natural elements, such as trees and green areas, and adopting materials that reduce heat retention in the design of cycling paths. These measures not only improve thermal comfort but also encourage the use of bicycles as a viable and sustainable transportation option in tropical cities like Fortaleza.

Keywords: thermal comfort; cycling paths; urbanization.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 METODOLOGIA.....	11
2.1 Lócus da pesquisa	12
2.2 Coleta e tratamento dos dados	14
2.3 Avaliação do conforto térmico	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1 Variações Termo-Higrométricas por Segmento (13h)	20
3.2 Variações Termo-Higrométricas por Segmento (19h)	21
3.3 Análise do Índice de Calor (<i>Heat Index</i> – HI)	22
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização provoca uma reconfiguração drástica da paisagem natural, gerando transformações socioeconômicas e ambientais que afetam diretamente a qualidade de vida nas cidades. Entre esses impactos, destacam-se políticas públicas que frequentemente priorizam a densificação imobiliária em detrimento do equilíbrio ecológico, o que favorece a formação das chamadas ilhas de calor urbanas. Nesses espaços, as temperaturas médias são mais altas do que em áreas menos urbanizadas, devido à presença de superfícies artificiais, emissões antropogênicas e redução da ventilação natural (OKE, 1982; LOMBARDO, 1985).

Nas cidades de clima tropical, a expansão urbana desordenada e a substituição da vegetação por materiais como asfalto e concreto, que possuem baixo albedo, intensificam o surgimento dessas ilhas de calor. Isso eleva as temperaturas superficiais, agravando o desconforto térmico, especialmente em áreas densamente pavimentadas. Esses efeitos são amplificados pela alta densidade de edificações e pela falta de vegetação, fatores que, segundo Duarte (2000), estão diretamente ligados ao aumento das temperaturas urbanas, tornando o ambiente mais hostil e prejudicial à qualidade de vida da população.

Nesse cenário, o clima urbano torna-se um sistema complexo, moldado pela interação entre fatores naturais e humanos. Monteiro e Mendonça (2003) explicam que a urbanização redefine os padrões climáticos locais, criando microclimas específicos, como as ilhas de calor, caracterizadas por um fluxo de calor sensível predominante, retido por superfícies impermeáveis como asfalto e concreto. Esse cenário contrasta com áreas vegetadas, que promovem maior evapotranspiração e, portanto, fluxos de calor latente, que ajudam a reduzir as temperaturas (OKE, 1982).

No meio urbano, o conforto térmico torna-se um indicador crucial de habitabilidade. Definido por Frota e Schiffer (2003) como a percepção de bem-estar diante das condições climáticas, ele depende de fatores como a radiação solar, a umidade relativa e a ventilação, todos fortemente influenciados pela urbanização. Em locais específicos como as vias cicláveis, essas condições são agravadas pela falta de sombreamento e a predominância de pavimentos escuros, que amplificam a retenção de calor. Nessas áreas, as temperaturas tendem a ser significativamente mais altas em comparação com zonas arborizadas, como demonstrado por Anjos (2009).

As vias cicláveis, que deveriam incentivar o uso da bicicleta como transporte sustentável, acabam sendo locais de grande desconforto térmico em cidades de clima quente. O

potencial da bicicleta — que tem sido cada vez mais promovida globalmente como uma alternativa para reduzir congestionamentos, emissões de CO₂ e custos com saúde pública — é, muitas vezes, comprometido nessas áreas pela ausência de condições adequadas, desestimulando o uso desse modal.

Entretanto, a mobilidade ativa, que inclui o caminhar e o pedalar, segue como uma solução sustentável e essencial para as cidades. Ao reduzir a dependência de veículos motorizados, esse modelo de deslocamento ajuda a combater as desigualdades urbanas e promove a acessibilidade universal, melhorando a qualidade do ar e a saúde coletiva (CASTRO; FARIAS, 2020). Além disso, a mobilidade ativa democratiza o uso dos espaços públicos, fortalecendo o sentimento de pertencimento e a interação social entre os habitantes.

Em Fortaleza, onde a cobertura verde representa cerca de 29,62% da área urbana e a malha viária é amplamente pavimentada (LIMA JÚNIOR, 2023), há um aumento expressivo das temperaturas superficiais. As diferenças podem chegar a até 5,53°C entre regiões arborizadas e áreas densamente edificadas. A materialidade urbana, marcada por pavimentos de baixo albedo, alta densidade de edificações e pouca vegetação, cria microclimas que afetam diretamente a vivência nos espaços públicos.

Além disso, a cidade conta com uma rede cicloviária diversa, composta por ciclofaixas, ciclovias segregadas e faixas compartilhadas, pavimentadas com diferentes materiais, como asfalto, concreto e pisos intertravados. Esses materiais influenciam diretamente o conforto térmico nas vias cicláveis e, conseqüentemente, a viabilidade do uso da bicicleta como meio de transporte (CASTRO; FARIAS, 2020). Contudo, a falta de sombreamento e a predominância de materiais que retêm calor fazem com que muitas dessas vias se tornem pouco atrativas, exacerbando o desconforto térmico e dificultando a adesão ao uso da bicicleta.

Embora a rede cicloviária seja essencial para a mobilidade, ela também apresenta contradições. A predominância de pavimentos impermeáveis, que não absorvem água, e a falta de áreas sombreadas, criam verdadeiras barreiras térmicas, intensificando o desconforto em um modal de transporte que deveria ser, por natureza, mais sustentável e adequado às condições urbanas de cidades tropicais.

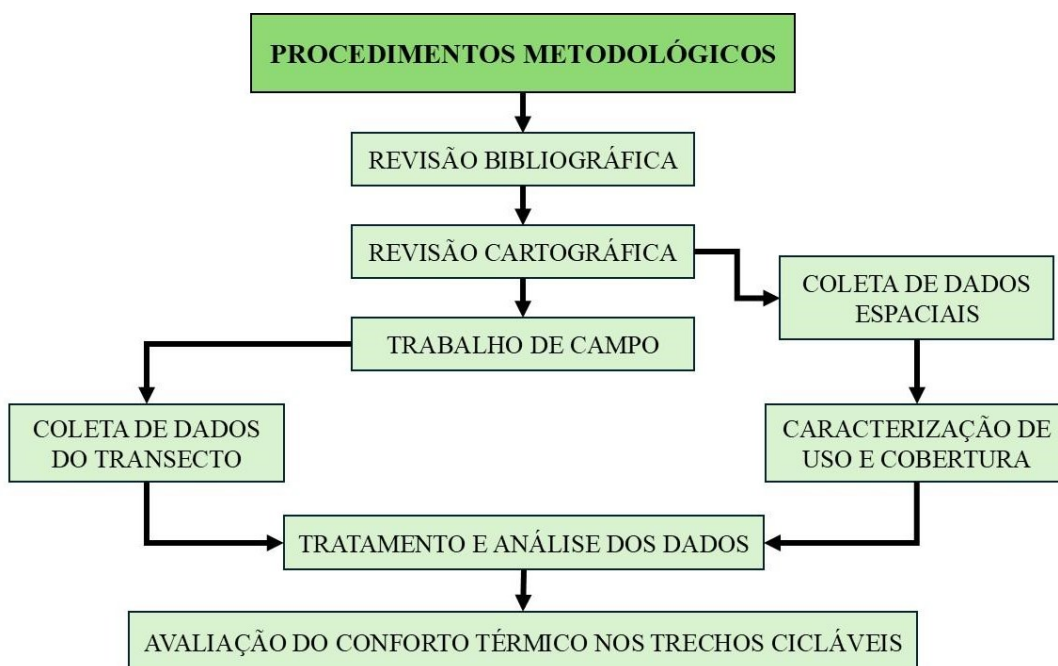
Este estudo investiga como essas variáveis intraurbanas modulam gradientes de temperatura e umidade ao longo de vias cicláveis, explorando a relação entre padrões de cobertura do solo, fluxos energéticos e a resiliência humana ao calor tropical. Para tanto, tem como objetivo geral analisar as condições termo-higrométricas de diferentes padrões de vias cicláveis na cidade de Fortaleza. Com os objetivos específicos, busca-se: (1) caracterizar as condições de temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar ao longo de

diferentes vias cicláveis durante a pré-estação chuvosa em Fortaleza; (2) avaliar as condições de conforto ou desconforto térmico humano através da aplicação de indicador numérico (Índice de Calor) nas ciclovias avaliadas; e (3) compreender a relação entre o campo termohigrométrico e as características urbanas no entorno das vias cicláveis. Ao fazê-lo, busca-se compreender como a cidade, ao (re)produzir microclimas, (re)define também as possibilidades de uso e apropriação do espaço, evidenciando a dimensão ambiental das desigualdades urbanas.

2 METODOLOGIA

Para responder aos questionamentos da pesquisa, foi estabelecido um fluxo metodológico para a pesquisa. A Figura 1 indica os procedimentos práticos utilizados para compreender o fenômeno térmico em torno das vias cicláveis analisadas. No decorrer desta sessão, serão detalhadas as etapas percorridas e os métodos eleitos para a análise do fenômeno estudado.

Figura 1 – Procedimentos Metodológicos condutores da pesquisa.



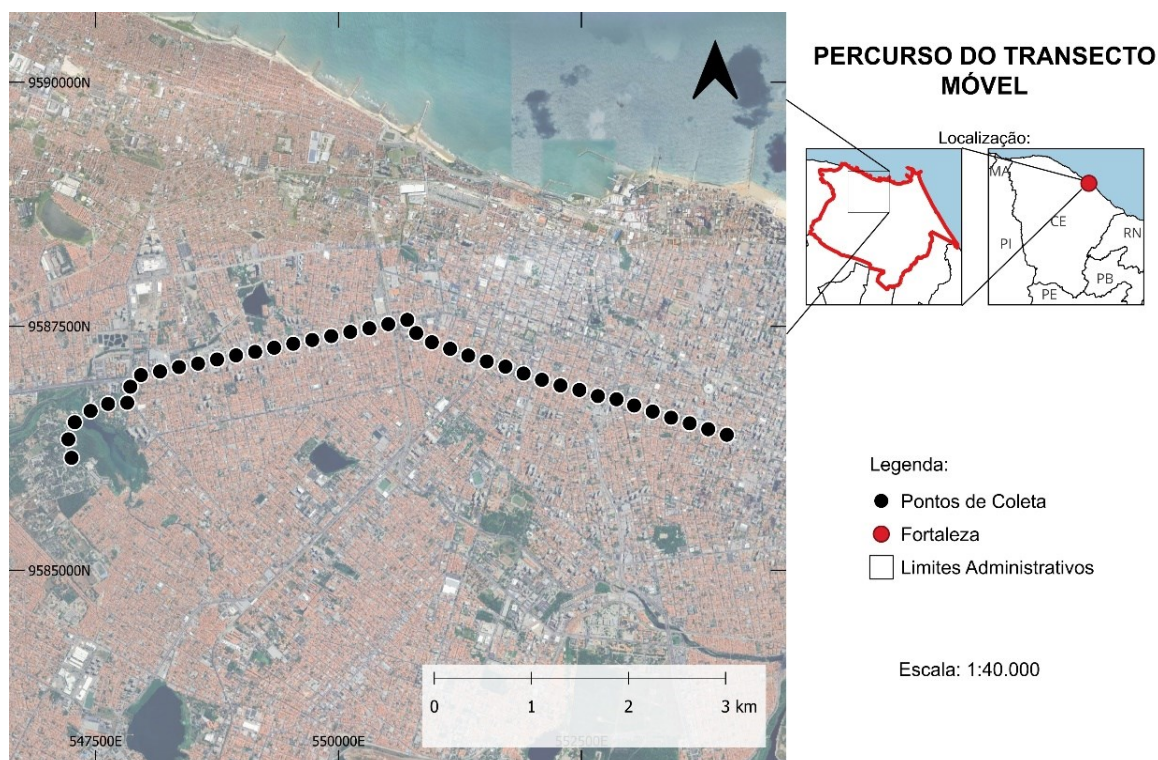
Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1 Locus da pesquisa

Fortaleza, capital do estado do Ceará, foi o local escolhido para a realização desta pesquisa. Sua localização central é identificada pelas coordenadas SIRGAS 2000 UTM Zona 24 Sul, com os valores de 9581533.31 S e 552409.32 O (Figura 2). De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a cidade está inserida em uma área de clima tropical equatorial. Banhada pelo Oceano Atlântico e situada na região litorânea do Nordeste brasileiro, Fortaleza apresenta características como alta umidade relativa do ar e uma significativa influência dos ventos, fenômenos que se manifestam em diversas escalas.

O percurso analisado, com aproximadamente 8 km, conecta o Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC) à região central da cidade, passando por avenidas como Bezerra de Menezes, Domingos Olímpio e Antônio Sales. A escolha dessa rota deve-se à heterogeneidade dos contextos urbanos, que incluem áreas densamente edificadas, trechos predominantemente pavimentados (asfalto e concreto) e segmentos residuais de vegetação. Essa diversidade permite avaliar como a materialidade urbana e as variações climáticas interagem na modificação do ambiente térmico ao longo do trajeto.

Figura 2 – Localização geográfica da área de estudo e percurso do transecto móvel.

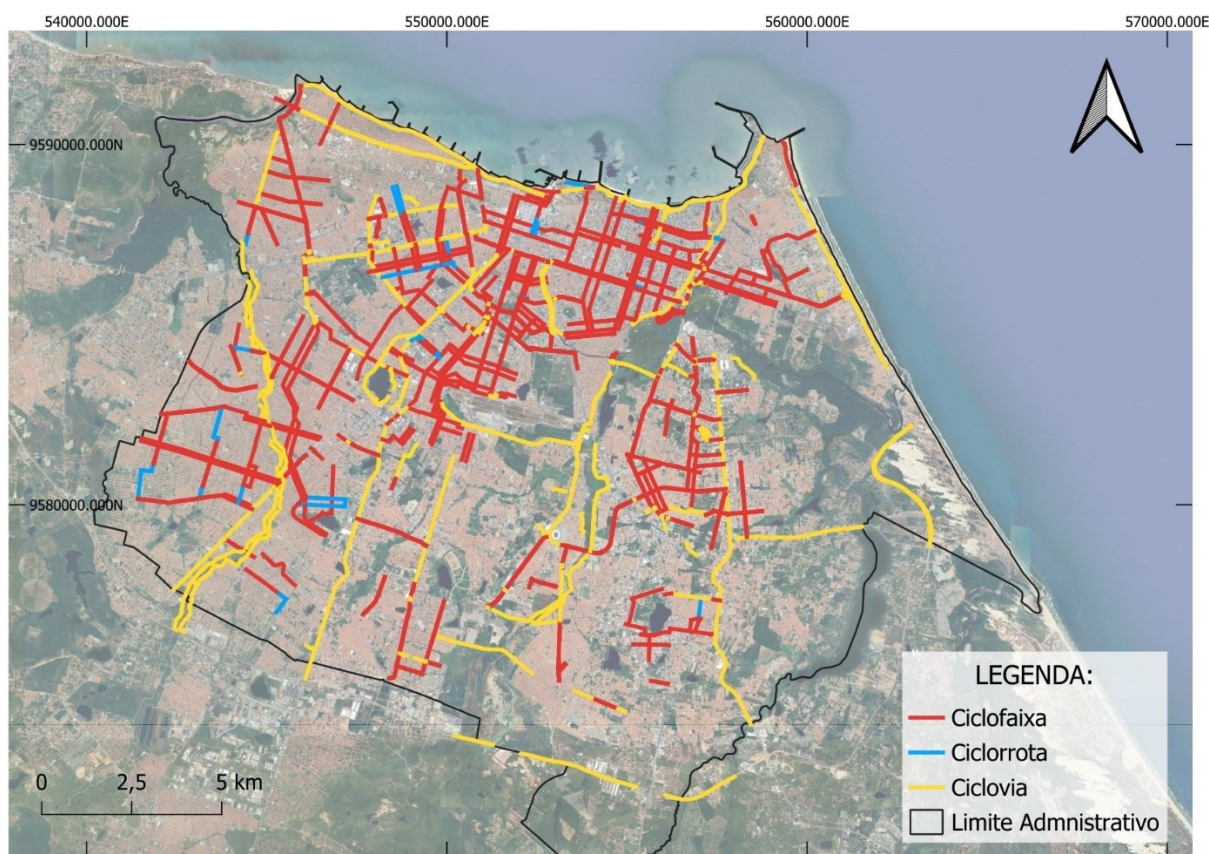


Sistema de Projeção Transversa de Mercator; Sistema de Coordenadas UTM; Datum Geodésico SIRGAS 2000 Zona 24S;
Elaborado por João Neftali; Fonte: Autor, IBGE (2023)

Fonte: elaborado pelo autor.

A rede cicloviária de Fortaleza está em constante ampliação. Atualmente, são 497,8 km de ciclofaixas, ciclovias, ciclorrotas ou passeios compartilhados distribuídos por todas as regionais da capital (Figura 3). Segundo o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), Fortaleza é a capital brasileira onde as pessoas vivem mais próximas à infraestrutura cicloviária, com 51% dos habitantes morando a menos de 300 metros de algum trecho da rede cicloviária. Esse percentual foi atualizado para 64%, conforme estudo da Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC), demonstrando uma crescente acessibilidade ao modal cicloviário na cidade (PREFEITURA DE FORTALEZA. 2025).

Figura 3 – Rede cicloviária do município de Fortaleza.



Fonte: elaborado pelo autor com base em dados do Ciclomapa (2025).

O período escolhido para o estudo foi a pré-estação chuvosa, caracterizado por elevada umidade relativa do ar e temperaturas altas, fatores que intensificam a sensação de desconforto térmico e influenciam diretamente o microclima urbano. Nessa época, destacam-se os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e as Linhas de Instabilidade (LI), sistemas atmosféricos que, segundo Ferreira e Mello (2005), favorecem precipitações irregulares e aumentam a variabilidade atmosférica. Em Fortaleza, os VCANs são predominantes entre janeiro e março, sendo responsáveis por episódios de chuvas localizadas, enquanto as LIs

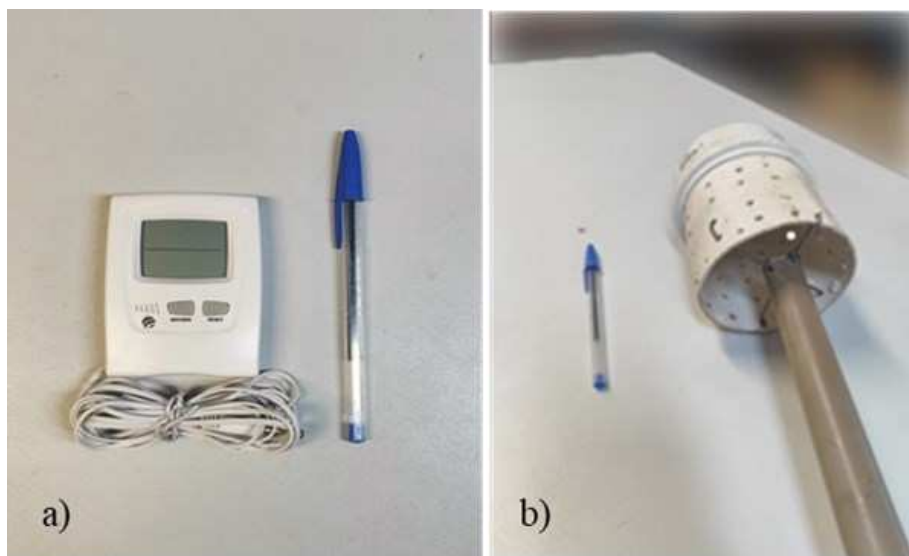
intensificam as condições de instabilidade. Além disso, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que atua entre fevereiro e maio, também contribui para a ocorrência de chuvas intensas e extremas na região, conforme destacado por Lima, Santos e Zanella (2018).

2.2 Coleta e tratamento dos dados

Os dados foram coletados em 15 de janeiro de 2024, seguindo a metodologia de transectos móveis, amplamente utilizada em estudos de clima urbano para mapear gradientes térmicos e identificar ilhas de calor (VALIN JR; SANTOS, 2020). Para assegurar a representatividade espacial, o trajeto foi segmentado em 40 pontos equidistantes, com intervalos de 200 metros, totalizando 80 medições. A distribuição dos pontos pode ser visualizada no mapa da Figura 2.

A coleta de dados termo-higrométricos foi realizada com um termo higrômetro digital da marca Incoterm, fixado a 2 metros de altura em uma bicicleta adaptada, protegida por um abrigo tubular de PVC branco perfurado na parte superior e inferior, permitindo a circulação do ar e minimizando o impacto do aquecimento solar direto no sensor (Figuras 4 e 5). Essa configuração garantiu a redução de interferências da radiação solar direta, permitindo a captura precisa de dados em ambientes urbanos com diferentes níveis de radiação. A utilização do abrigo deu-se a partir da recomendação de garantia da confiabilidade dos dados coletados (FIALHO; CELESTINO, 2017).

Figura 4 – Termo-Higrômetro (a) e abrigo (b) utilizados na pesquisa.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 5 – Bicicleta adaptada utilizada para realização do transecto.



Fonte: elaborado pelo autor.

Em cada ponto de medição, a temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) e a umidade relativa (%) foram registradas. Para garantir a consistência dos dados, o intervalo máximo entre as medições ao longo de todo o transecto foi de 1 hora, conforme diretrizes metodológicas baseadas em estudos como os de Porangaba e Amorim (2017), Assis et al. (2016) e Castro (2022). Essa frequência de coleta minimiza variações abruptas no microclima ao longo do percurso e assegura maior homogeneidade nos dados, permitindo comparações consistentes entre diferentes áreas urbanas.

As medições foram realizadas em dois horários estratégicos: às 13h, correspondente ao pico de insolação diurna, e às 19h, período de início da dissipação térmica. Embora esses horários não sigam estritamente as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM), estão em consonância com estudos que utilizam transectos móveis em pesquisas de clima urbano no Brasil, conforme destacado por Valin Jr. e Santos (2020). É recomendada a padronização dos procedimentos de medição para garantir maior comparabilidade entre pesquisas.

Os dados obtidos foram processados no software QGIS 3.28, onde foram gerados mapas temáticos que permitiram correlacionar as variáveis termo-higrométricas com características urbanas, como o tipo de pavimentação, o uso e ocupação do solo e a cobertura vegetal.

A metodologia adotada está alinhada com estudos recentes e anteriores sobre clima urbano. Luna, Alcântara e Silva (2024), ao analisarem a formação de ilhas de calor e sua relação com o conforto térmico na cidade do Crato, no Nordeste brasileiro, destacaram a influência da vegetação e dos materiais de construção na dinâmica climática local.

Essa perspectiva é reforçada por trabalhos como o de França (2018) em Sorriso-MT, que mapeou gradientes térmicos em ciclovias, e Dorigon e Amorim (2020) em Jundiá-SP, que identificaram diferenças térmicas de até 9°C entre áreas urbanas densas e zonas vegetadas. Além disso, Meneses e Sales (2018), em Crateús-CE, associaram picos térmicos à falta de vegetação e à maior densidade urbana, enquanto Oliveira (2020), em Vilhena-RO, evidenciou reduções significativas de temperatura em trechos sombreados.

2.3 Avaliação do conforto térmico

Para a avaliação do conforto térmico, foi utilizado o Índice de Calor (HI), originalmente proposto por Steadman (1979), que combina a temperatura do ar e a umidade relativa para estimar a sensação térmica humana. O cálculo do HI é baseado em análises estatísticas de regressão que consideram a interação entre essas duas variáveis, refletindo a dificuldade do corpo humano em dissipar calor por evaporação em condições de alta umidade. Conforme destacado por Kusch et al. (2004), o HI é uma ferramenta essencial para compreender a percepção humana em diferentes combinações de temperatura e umidade, sendo amplamente utilizado em procedimentos de alerta devido aos seus impactos diretos na saúde e segurança pública, especialmente em regiões de clima quente e úmido.

Neste estudo, o Índice de Calor (HI) foi calculado utilizando a calculadora disponibilizada pelo *National Weather Service* (NWS) no site oficial (<https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex.shtml>), que aplica a equação de Rothfusz, bastante utilizada para estimar a sensação térmica com base na temperatura do ar e na umidade relativa.

A equação utilizada para o cálculo do HI é a seguinte:

$$\begin{aligned} HI = & 16,923 + [(1,85212 \cdot 10^{-1}) \cdot t_a] + (5,37941 \cdot UR) - \\ & [(1,00254 \cdot 10^{-1}) \cdot t_a \cdot UR] + [(9,41695 \cdot 10^{-3}) \cdot t_a^2] + [(7,28898 \cdot 10^{-3}) \cdot UR^2] + [(3,45372 \cdot 10^{-4}) \cdot t_a^2 \cdot UR] - \\ & [(8,1497 \cdot 10^{-4}) \cdot t_a \cdot UR^2] + [(1,02102 \cdot 10^{-5}) \cdot t_a^2 \cdot UR^2] - \\ & [(3,8646 \cdot 10^{-5}) \cdot t_a^3] + [(2,91583 \cdot 10^{-5}) \cdot UR^3] + [(1,42721 \cdot 10^{-6}) \cdot t_a^3 \cdot UR] + [(1,97483 \cdot 10^{-7}) \cdot t_a \cdot UR^3] - \\ & [(2,18429 \cdot 10^{-8}) \cdot t_a^3 \cdot UR^2] + [(8,43296 \cdot 10^{-10}) \cdot t_a^2 \cdot UR^3] - [(4,81975 \cdot 10^{-11}) \cdot t_a^3 \cdot UR^3] \end{aligned}$$

Onde:

HI é o Índice de Calor

UR é a umidade relativa do ar (%)

t^a é a temperatura de bulbo seco do ar (°F)

Após o cálculo do HI em graus Fahrenheit (°F), os resultados foram convertidos para graus Celsius (°C) para facilitar a interpretação no contexto local.

A aplicação do HI em Fortaleza foi adaptada com base nos estudos de Petalas (2015), que revisou os limiares de conforto térmico para cidades tropicais, considerando a aclimação da população local. A autora propôs novos intervalos para o HI, redefinindo as faixas de conforto para 29,3°C a 32,1°C (conforto) e acima de 32,1°C (desconforto), em contraste com os limiares padrão do National Weather Service (NWS), que variam de 27°C a 32°C. Essa adaptação reflete a maior resiliência térmica dos fortalezenses, que estão habituados a condições climáticas quentes e úmidas.

Quadro 1 – Intervalo de conforto do HI

Faixa de conforto	Índice de Calor (HI)
Desconfortável	> 32,1°C
Confortável	29,3°C – 32,1°C
Não designado pela autora	< 29,3°C

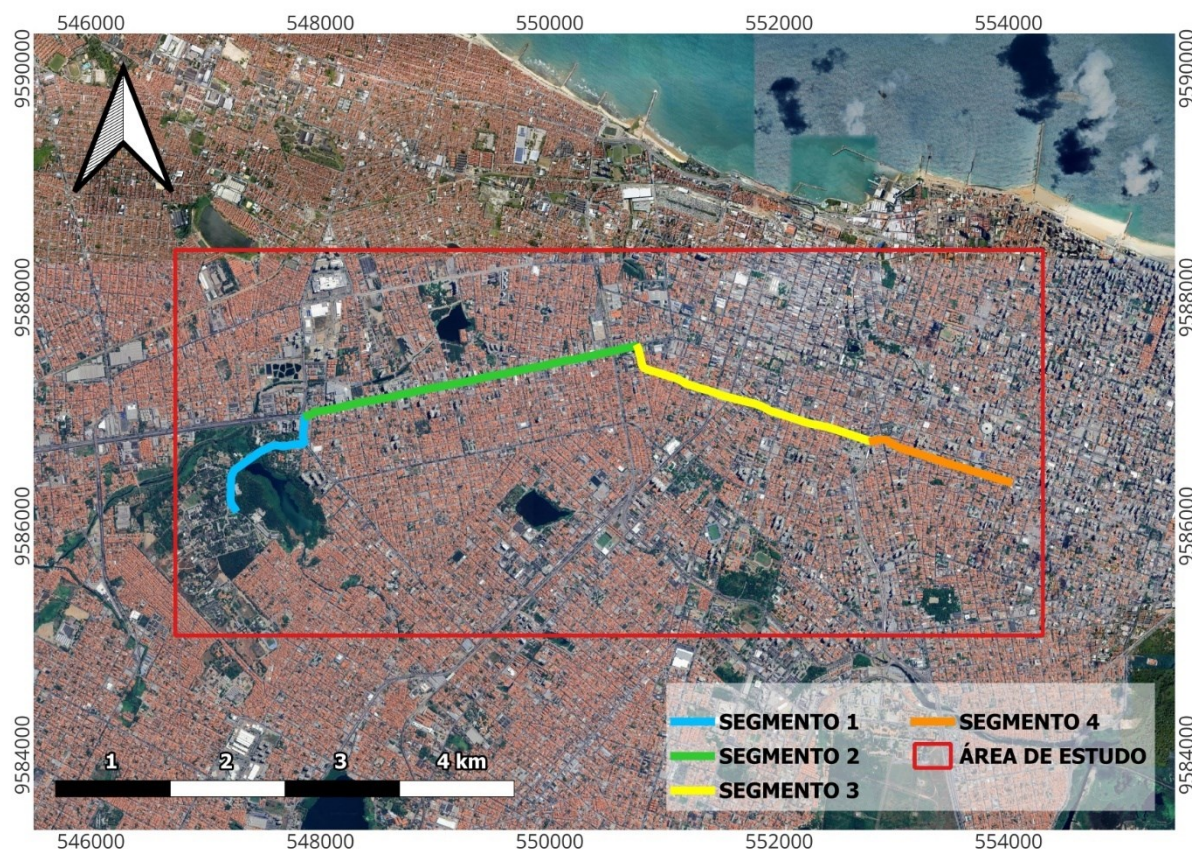
Fonte: Adaptado de Petalas (2015).

Seguindo essa perspectiva, Lima Júnior et al. (2024) aplicaram o HI adaptado por Petalas (2015) para avaliar o conforto térmico em Fortaleza, evidenciando diferenças de até 6 ° C entre áreas pavimentadas e zonas verdes, como o Parque do Cocó. Essa abordagem mais local reforça a importância de considerar fatores locais na análise do conforto térmico, uma vez que a aplicação de critérios globais pode subestimar a capacidade de adaptação da população.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados termo-higrométricos coletados nas vias cicláveis de Fortaleza apresentaram gradientes climáticos distintos, associados às características urbanas de cada segmento. A rota analisada, com aproximadamente 8 km, foi dividida em quatro segmentos principais, cada um representando padrões diferentes de ocupação do solo e infraestrutura cicloviária (Figura 5). Essa divisão foi feita visando uma visualização mais detalhada das interações entre a materialidade urbana e as condições térmicas.

Figura 5 – Segmentos analisados no transectos móveis.



Fonte: elaborado pelo autor.

O primeiro segmento, que compreende o Campus do Pici, é caracterizado pela presença de vegetação densa e pavimentação permeável, com destaque para a Matinha do Pici, uma Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE). A vegetação e solo permeável contribuem diretamente para condições térmicas mais amenas, mesmo durante o pico de insolação.

O segundo segmento, ao longo da Avenida Bezerra de Menezes, apresenta uma ciclovia pavimentada em concreto, localizada no centro da avenida e adjacente apenas à faixa de ônibus, com certa distância do tráfego motorizado mais intenso. Com aproximadamente 37

metros de largura, é o segmento mais amplo analisado, o que pode favorecer a dissipação de calor em comparação com vias mais estreitas.

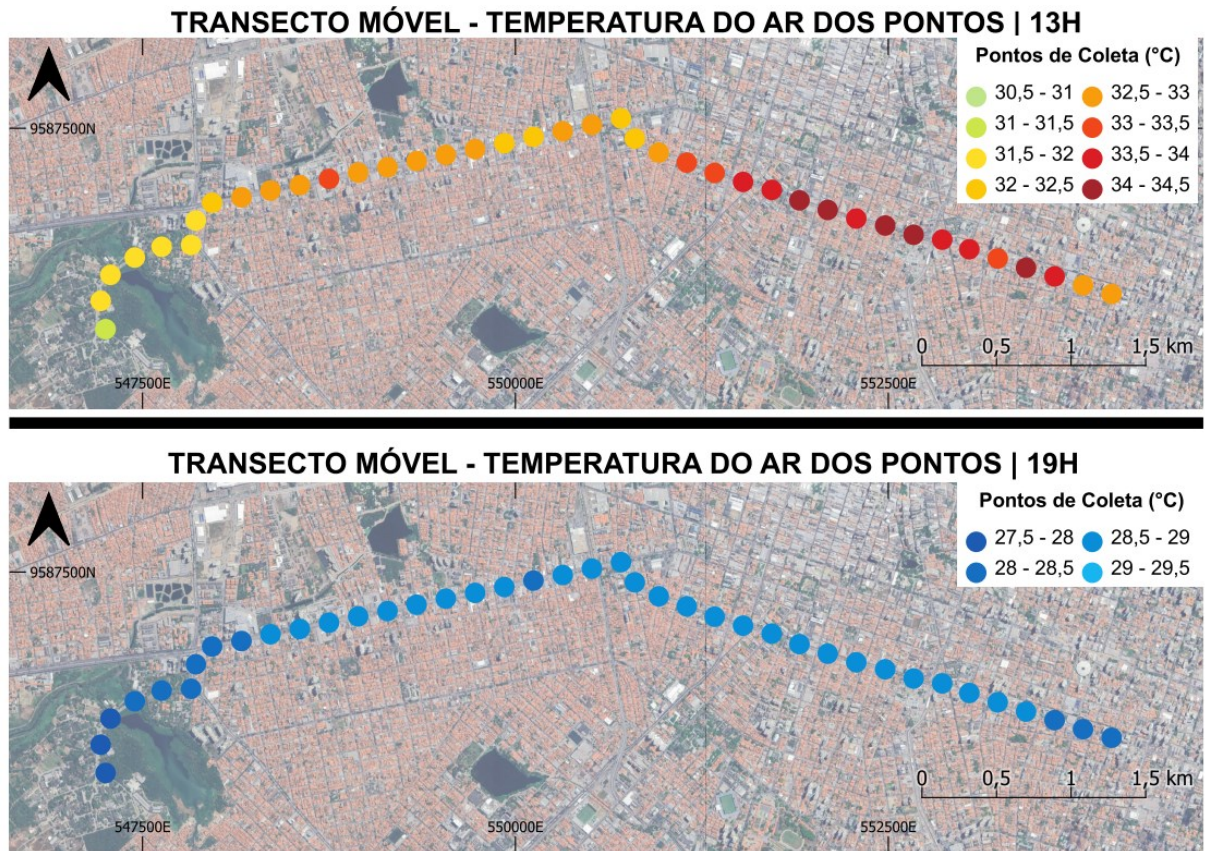
O terceiro segmento, na Avenida Domingos Olímpio, é marcado por uma ciclofaixa de pavimentação asfáltica adjacente a uma via de grande movimento. Com cerca de 26 metros de largura, esse segmento apresenta uma quantidade relativamente significativa de árvores em comparação aos outros trechos urbanos, o que ajuda a mitigar, em parte, o desconforto térmico.

Por fim, o quarto segmento, na Avenida Antônio Sales, destaca-se como o mais desconfortável termicamente. Com apenas 13 metros de largura, é o segmento mais estreito analisado, o que pode contribuir para a formação de ilhas de calor. A quase ausência de árvores (apenas seis ao longo do trecho analisado), a predominância de pavimentação asfáltica e o calor emanado pelos veículos intensificam a sensação de desconforto térmico.

Às 13h, as temperaturas mais elevadas foram registradas em trechos com maior exposição solar e predominância de superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, enquanto áreas com cobertura vegetal apresentaram condições térmicas mais amenas. Já às 19h, observou-se um resfriamento geral da cidade, mas os segmentos com maior presença de vegetação mantiveram temperaturas mais baixas em comparação com as avenidas asfaltadas, evidenciando a influência da materialidade urbana e da cobertura verde na regulação térmica.

O mapa da Figura 6 ilustra a distribuição da temperatura média do ar nos pontos de coleta do transecto móvel. As variações térmicas e higrométricas são detalhadas na subseção a seguir.

Figura 6 – Distribuição da temperatura do ar nos pontos coletados durante o transecto.



Fonte: elaborado pelo autor.

3.1 Variações Termo-Higrométricas por Segmento (13h)

Os dados termo-higrométricos coletados revelaram um gradiente térmico crescente, com a variação interna de temperatura aumentando progressivamente à medida que se avança de áreas vegetadas para zonas mais urbanizadas. No Campus do Pici (Pontos 1 a 6), caracterizado pela presença de vegetação densa e solo permeável, as temperaturas mantiveram-se estáveis, variando entre 31,0°C (Ponto 1) e 31,8°C (Ponto 5), com uma oscilação de apenas 0,8°C (2,6%). A umidade relativa permaneceu elevada, entre 60% e 62%, refletindo condições térmicas mais amenas. Essa estabilidade microclimática, proporcionada pelo sombreamento contínuo e pela evapotranspiração da cobertura vegetal, expõe o papel mitigador dos ambientes naturais, mesmo durante o pico de insolação.

No segundo segmento, correspondente à Avenida Bezerra de Menezes (Pontos 7 a 22), observou-se uma maior oscilação térmica, com temperaturas variando entre 31,4°C (Ponto 7) e 33,1°C (Ponto 11), resultando em uma variação interna de 1,7°C (5,4%). A umidade relativa

reduziu-se gradualmente, ficando entre 58% e 61%, o que sugere uma menor capacidade de retenção de umidade em comparação ao Campus do Pici.

O terceiro segmento, na Avenida Domingos Olímpio (Pontos 23 a 33), registrou os maiores picos de temperatura, atingindo 34,5°C (Ponto 29), com uma mínima de 32,3°C (Ponto 23), o que resultou em uma variação interna de 2,2°C (6,8%). A umidade relativa apresentou uma queda acentuada, variando entre 49% e 59%.

Por fim, o quarto segmento, correspondente ao trecho da Avenida Antônio Sales (Pontos 34 a 40), destacou-se como o mais crítico em termos de desconforto térmico. A temperatura máxima registrada foi de 34,6°C (Ponto 37), com uma mínima de 32,0°C (Ponto 39), resultando em uma variação interna de 2,6°C (8,1%). A umidade relativa variou entre 49% e 53%, reforçando a relação entre altas temperaturas e baixa umidade. Marcado pela pavimentação asfáltica, tráfego intenso e quase nenhuma vegetação, esse segmento exemplifica como a combinação de materiais de baixo albedo e a falta de sombreamento podem intensificar a retenção de calor, criando um ambiente termicamente desfavorável.

Quadro 2 – Padrões termo-higrométricos por seguimento às 13h.

Segmento	Temp. Máx (°C)	Temp. Mín (°C)	ΔT (°C)	ΔT (%)	Umidade Máx (%)	Umidade Min (%)
Campus do Pici	31,8	31	0,8	2,60%	62%	60%
Bezerra de Menezes	33,1	31,4	1,7	5,40%	61%	58%
Domingos Olímpio	34,5	32,3	2,2	6,80%	59%	49%
Antônio Sales	34,6	32	2,6	8,10%	53%	49%

ΔT (°C): Variação interna de temperatura (Máx - Mín).

ΔT (%): Variação percentual em relação à temperatura mínima do segmento.

Fonte: elaborado pelo autor.

3.2 Variações Termo-Higrométricas por Segmento (19h)

Às 19h, os padrões térmicos observados durante o dia persistiram de forma mais amena. No Campus do Pici (Pontos 1 a 6), a vegetação e o solo permeável mantiveram as temperaturas entre 27,9°C (Ponto 1) e 28,2°C (Ponto 5), com variação mínima de 0,3°C (1,1%). A umidade relativa permaneceu alta, entre 76% e 77%.

Na Avenida Bezerra de Menezes (Pontos 7 a 22), as temperaturas oscilaram entre 28,1°C (Ponto 7) e 29,1°C (Ponto 14), com variação de 1,0°C (3,6%). A umidade relativa, entre

74% e 76%, foi levemente inferior à do Campus do Pici, refletindo o impacto das superfícies impermeáveis e da menor vegetação, tornando a sensação térmica menos confortável.

Na Avenida Domingos Olímpio (Pontos 23 a 33), as temperaturas ficaram entre 28,7°C (Ponto 23) e 28,9°C (Ponto 33), com variação de 0,2°C (0,7%). A umidade relativa, entre 73% e 74%, manteve-se estável.

No trecho da Avenida Antônio Sales (Pontos 34 a 40), as temperaturas variaram de 28,5°C (Ponto 34) a 28,9°C (Ponto 40), com oscilação de 0,4°C (1,4%). A umidade relativa variou entre 73% e 75%.

Quadro 3 – Padrões termo-higrométricos por seguimento às 19h.

Segmento	Temp. Máx (°C)	Temp. Mín (°C)	ΔT (°C)	ΔT (%)	Umidade Máx (%)	Umidade Min (%)
Campus do Pici	28,2	27,9	0,3	1,10%	77%	76%
Bezerra de Menezes	29,1	28,1	1	3,60%	76%	74%
Domingos Olímpio	28,9	28,7	0,2	0,70%	74%	73%
Antônio Sales	28,9	28,5	0,4	1,40%	75%	73%

ΔT (°C): Variação interna de temperatura (Máx - Mín).

ΔT (%): Variação percentual em relação à temperatura mínima do segmento.

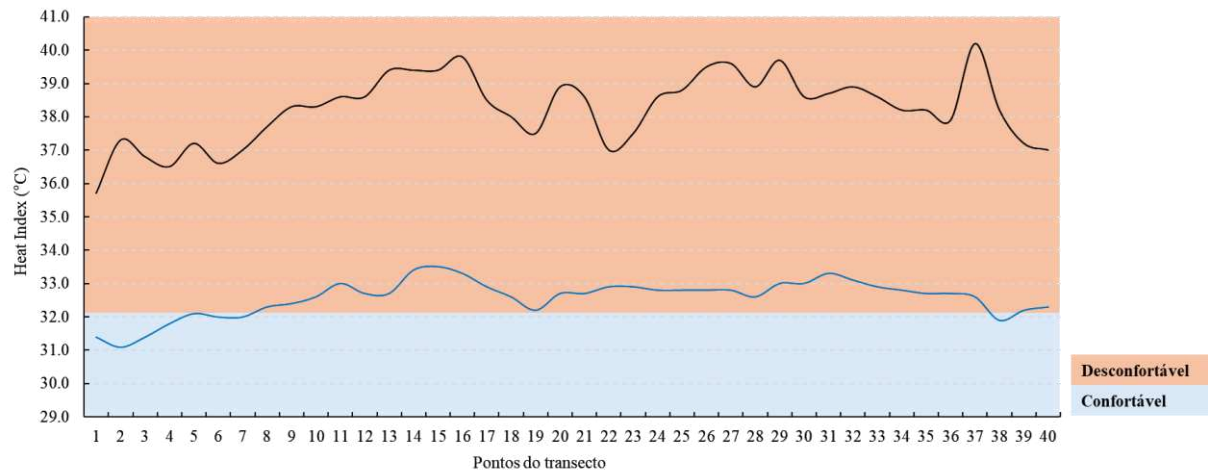
Fonte: elaborado pelo autor.

3.3 Análise do Índice de Calor (*Heat Index* – HI)

Os resultados obtidos nas medições realizadas às 13h e 19h evidenciaram variações significativas no conforto térmico ao longo dos diferentes segmentos analisados, reforçando a influência da materialidade urbana e da cobertura vegetal na sensação térmica. O gráfico da Figura 7 ilustra a distribuição do índice nos diferentes pontos nos dois horários.

No transecto das 13h, correspondente ao pico de insolação, os valores do HI variaram entre 35,7°C e 40,2°C, indicando condições de desconforto térmico em todos os pontos analisados. O Campus do Pici, com vegetação densa e pavimentação permeável, apresentou os menores valores de HI (35,7°C a 37,2°C). Embora ainda acima do limiar de conforto proposto por Petalas (2025), esses valores são significativamente inferiores aos registrados em áreas urbanizadas.

Figura 7 – Representação gráfica do HI para os dois horários avaliados.



Fonte: elaborado pelo autor.

Em contraste, os segmentos das Avenidas Domingos Olímpio e Antônio Sales, marcados por pavimentação asfáltica e ausência de vegetação, registraram os maiores valores de HI, atingindo 39,7°C e 40,2°C, respectivamente. Esses valores estão bem acima do limiar de desconforto térmico, reforçando a influência negativa das superfícies impermeáveis e da exposição solar direta na sensação térmica. A Avenida Bezerra de Menezes, embora apresente valores intermediários de HI (entre 37,7°C e 39,8°C), também demonstrou tendência ao desconforto térmico, especialmente em áreas com maior densidade de tráfego e menor cobertura vegetal.

No transecto das 19h, observou-se uma redução geral dos valores de HI, variando entre 31,1°C e 33,5°C. Apesar da diminuição nas temperaturas, a maioria dos pontos permaneceu acima do limiar de conforto térmico, indicando que o desconforto persiste mesmo após o pôr do sol. Apenas 8 pontos apresentaram valores abaixo desse limite, concentrando-se majoritariamente na região próxima ao Campus do Pici. Os menores valores de HI foram registrados nessa área, variando entre 31,1°C e 32,1°C, enquanto os segmentos das Avenidas Domingos Olímpio e Antônio Sales continuaram a exibir os maiores valores, entre 32,6°C e 33,5°C.

A persistência de valores elevados de HI no período noturno reflete a capacidade das superfícies pavimentadas de reter calor ao longo do dia, liberando-o gradualmente durante a noite. Esse fenômeno contribui para a manutenção de microclimas urbanos mais quentes, mesmo após a redução da radiação solar.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados coletados evidenciam que o conforto térmico nas ciclovias de Fortaleza está diretamente ligado à materialidade urbana e ao desenho das vias. A vegetação e os pavimentos permeáveis, como no Campus do Pici, mostram-se essenciais para criar ambientes mais amenos e convidativos à mobilidade ativa. Por outro lado, vias asfaltadas e expostas ao calor dos veículos, como a Domingos Olímpio e a Antônio Sales, revelam que a proximidade com o tráfego motorizado e a falta de sombreamento podem transformar o ciclismo em uma experiência desgastante, especialmente em horários de pico.

A solução, portanto, passa por um planejamento urbano que priorize a integração de elementos naturais e tecnológicos. A ampliação de áreas verdes, o uso de materiais refletivos e a disposição estratégica das ciclofaixas — distantes do calor emanado pelos carros — são medidas que podem transformar as ciclovias em espaços mais agradáveis e funcionais. A Bezerra de Menezes, por exemplo, sugere que vias mais amplas e bem posicionadas já são um passo nessa direção.

Assim, investir em ciclovias que ofereçam conforto térmico não é apenas uma questão de mobilidade, mas de qualidade de vida. Uma cidade que acolhe o ciclista com sombra, frescor e segurança é uma cidade que respira melhor, onde pedalar deixa de ser um desafio para se tornar um prazer. Fortaleza tem a oportunidade de liderar essa transformação, mostrando que é possível conciliar desenvolvimento urbano com bem-estar e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, H. O clima urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, v. XL, n. 80, p. 66-91, 2005.
- ANJOS, R. S. et al. Distribuição espaço-temporal do conforto térmico na malha ciclovária em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2313-2324, 2019.
- ASSIS, D. C. de et al. Mensuração de ilhas de calor em Juiz de Fora com uso de transecto móvel. XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica (SBCG), Goiânia. **Anais**. Goiânia: UFG, p. 1553-1564, 2016.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- CASTRO, A. D. M.; FARIAS, B. J. A. A esquina na perspectiva da mobilidade ativa: uma análise da cidade de Fortaleza. **XII Seminário Internacional sobre Infraestrutura Urbana (SIU)**, 2020.
- CASTRO, Lidia Gomes de. **Zonas climáticas locais em cidades pequenas: relação entre temperatura e morfologia urbana**. 2022. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- CICLOMAPA. **Malha ciclovária de Fortaleza**. 2025. Disponível em: <https://ciclomapa.org.br>. Acesso em: 7 fev. 2025.
- DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. T. C. Variabilidade espacial da temperatura do ar com uso de transectos móveis em Jundiá/SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 349-368, 2020.
- DUARTE, D. H. S. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. 2000. 278 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- FERREIRA, Antônio Geraldo; MELLO, Namir Giovanni da Silva. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.
- FIALHO, E. S.; CELESTINO, E. J. Abrigos termo-higrométricos de policloreto de vinila. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, v.8, n.16, 2017.
- FRANÇA, M. S. Estimativa de índices de conforto térmico por meio do uso do transecto móvel em Sorriso/MT. **Nativa**, v. 6, p. 648-653, 2018.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

KUSCH, W.; FONG, H. Y.; JENDRITZKY, G.; JACOBSEN, I. **Guidelines on biometeorology and air quality forecasts**. PWS-10, WMO/TD 1184. Geneva: WMO, 2004.

LIMA JÚNIOR, Antonio Ferreira. **Clima urbano: análise do campo térmico e sugestão de áreas prioritárias para implementação de medidas mitigadoras**. 2023. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

LIMA JÚNIOR, Antonio Ferreira; GOMES, Flávia Ingrid Bezerra Paiva; ZANELLA, Maria Elisa. O Índice de Calor (HI) na cidade de Fortaleza, Ceará. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 37, e73091, 2025.

LIMA, João Sérgio Queiroz de; SANTOS, Jader de Oliveira; ZANELLA, Maria Elisa. Impactos das chuvas na cidade de Fortaleza no triênio 2013, 2014 e 2015. **Territorium**, n. 25 (I), p. 5-22, 2018.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

MENESES, J. R.; SALES, G. L. Caminhos cicláveis: Conforto térmico como fator de melhoria do uso das ciclovias de Vilhena, RO. **Paranoá**, n. 22, p. 131-141, 2018.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. Teses e Monografia, São Paulo, n. 25, 1976.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

NÓBREGA, R. S.; VITAL, L. A. B. Influência da Urbanização sobre Microclima de Recife e Formação de Ilha de Calor. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 151-156, 2010.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982.

OLIVEIRA, Jorge Ricardo Felix de. **O clima urbano em cidade de pequeno porte no semiárido cearense: o caso de Crateús**. 2020. 151 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

OLIVEIRA, Mariana. **Mobilidade Sustentável: A Bicicleta como um Meio de Transporte Integrado**. 2010. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PETALAS, K. V. **Estudo da sensação térmica e definição de limites de conforto para espaços abertos na cidade de Fortaleza, CE**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de**

caso em Campinas, SP. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PORANGABA, Gislene Figueiredo Ortiz; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Análise de ilhas de calor diagnosticadas por meio de transectos móveis em Assis, Cândido Mota, Maracá e Tarumã (SP). Confins. **Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 33, 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. Malha cicloviária. Disponível em: <https://mobilidade.fortaleza.ce.gov.br/menu-programas/malha-ciclovitaria.html>. Acesso em: 07 fev. 2025.

SILVA, H. R. A relação entre ilhas de calor urbana, ocupação do solo e morfologia urbana na cidade do Recife. **Geonorte**, Edição Especial 2, p. 65-76, 2009.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, n. 7, p. 861-873, 1979.

VALIN JUNIOR, M. de O.; SANTOS, F. M. de M. Levantamento bibliográfico da utilização de transectos em pesquisas de clima urbano no Brasil e recomendações de padronização nos procedimentos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.

WRITZL, L. **Conforto térmico humano em caminhos disponíveis ao uso da bicicleta em Balneário Camboriú - SC, em situação veranil.** 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

ZANELLA, Maria Elisa et al. Impactos hidrometeorológicos e sistemas atmosféricos atuantes em Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 4, p. 321-330, 2009.