

O EFEITO DA ILHA DE FRESCOR E UMIDADE EM CIDADE MÉDIA TROPICAL: O CASO DE UM PEQUENO PARQUE URBANO EM UBERABA (MG)

Leandro de Godoi Pinton

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Departamento de Geografia, Uberaba, MG, Brasil
leandro.pinton@uftm.edu.br

Tainá Medeiros Suizu

Prefeitura Municipal de Uberaba, Secretaria de Planejamento, Uberaba, MG, Brasil
taina.suizu@gmail.com

Wendell André Cornélio

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Curso de Licenciatura em Geografia, Uberaba, MG, Brasil
wendell_andre@hotmail.com

RESUMO

Espaços verdes urbanos são reconhecidos pela capacidade de regulação termo-higrométrica que se propaga além dos seus limites para a paisagem urbana vizinha. Porém, há uma escassez de dados empíricos sobre a configuração desse serviço em parques menores em cidades médias tropicais. Este estudo aborda tal lacuna por meio do reconhecimento dos efeitos térmicos e da umidade do ar sobre um pequeno parque do centro de Uberaba (MG) em um cânion urbano adjacente. A pesquisa foi conduzida com base em dados termo-higrométricos obtidos na camada do dossel urbano por mensurações móveis a pé nos períodos vespertino e noturno da estação úmida de 2022–2023. Metadados de componentes urbanos e não urbanos do setor investigado também foram usados para avaliar suas influências na formação de microclimas. À tarde, o pequeno parque constitui-se em ferramenta de adaptação ao calor urbano por proporcionar condições microclimáticas confortáveis aos cidadãos. Durante a noite, verificou-se a configuração de uma ilha de frescor e umidade do parque com intensidade média de 1,3 °C penetrando ~30–80 m na vizinhança a partir da sua borda. Essas descobertas corroboram o papel da pequena área verde como componente essencial das estratégias para atenuar o calor urbano local e fortalecer a resiliência térmica urbana.

Palavras-chave: Climatologia urbana tropical. Geoparque Global da UNESCO. Zona Climática Local. Infraestrutura verde. Cidades sustentáveis.

THE COOL AND MOISTURE ISLAND EFFECT IN A MEDIUM-SIZED TROPICAL CITY: THE CASE OF A SMALL URBAN PARK IN UBERABA (MG)

ABSTRACT

Urban green spaces are widely recognized for their capacity to regulate thermo-hygrometric conditions, extending their influence beyond their physical boundaries into the surrounding urban fabric. However, empirical data on the effectiveness of small parks in medium-sized tropical cities remain limited. This study addresses this gap by examining the air temperature and humidity effects of a small urban park located in central Uberaba (MG), Brazil, on an adjacent urban canyon. The research draws on thermo-hygrometric data collected within the urban canopy layer through foot-based mobile surveys conducted during afternoon and nighttime periods in the 2022–2023 wet season. Metadata on urban and non-urban components within the study area were also analyzed to assess their influence on microclimate formation. Results show that, during the afternoon, the small park acted as a local adaptation asset by offering comfortable microclimatic conditions for urban dwellers. At night, a cool and moisture island effect was observed, with an average intensity of 1.3 °C, extending approximately 30–80 m beyond the park's perimeter. These findings highlight the park's role as a key element in local heat mitigation strategies and in enhancing urban thermal resilience.

Keywords: Tropical urban climatology. UNESCO Global Geopark. Local Climate Zone. Green infrastructure. Sustainable cities.

INTRODUÇÃO

As cidades enfrentam ameaças sem precedentes na história recente, decorrentes dos impactos adversos das mudanças climáticas e da degradação ambiental generalizada provocada por ações antrópicas (UN-Habitat, 2024). No Brasil, dados de 2023 revelaram que 87,8% da população reside em áreas urbanas, com estimativas apontando para um leve aumento, alcançando 92,4% até 2050 (UN, 2018). As transformações ambientais associadas à urbanização no país expõem a população ao efeito da ilha de calor urbano (ICU), cuja formação está relacionada, entre outros fatores, à redução (ou ausência) de áreas verdes, o que impacta adversamente a temperatura e a umidade do ar em microescala (Shashua-Bar; Hoffman, 2000; Oke et al., 2017).

Oke et al. (2017) consideram a vegetação o componente mais eficaz para a modificação do clima urbano, sendo capaz de influenciar o fluxo de radiação, ventilação, evaporação, temperatura e umidade. Os autores ressaltam ainda que certas espécies arbóreas podem regular termicamente superfícies, especialmente durante os períodos mais quentes do dia. Essas árvores também contribuem para a umidificação e o resfriamento do ar, por meio da transpiração foliar e da projeção de sombras.

Apesar do amplo reconhecimento dos benefícios das áreas verdes urbanas na regulação das condições termo-higrométricas e na promoção da saúde e do bem-estar da população urbana (Song et al., 2024), a maior parte da literatura disponível concentra-se em grandes cidades de zonas temperadas (Spronken-Smith; Oke, 1998; Doick; Peace; Hutchings, 2014). Shashua-Bar e Hoffman (2000), por exemplo, demonstraram a influência de áreas verdes urbanas e ruas arborizadas sobre a temperatura e umidade do ar em Tel-Aviv, cidade de clima mediterrâneo (Csa, segundo Köppen-Geiger), com efeitos de resfriamento propagando-se até 100 m nas ruas vizinhas. De modo geral, os estudos sugerem que a dimensão das áreas verdes desempenha papel crucial na magnitude e na extensão dos seus efeitos sobre as condições termo-higrométricas da paisagem urbana (Jáuregui, 1991; Spronken-Smith; Oke, 1998; Yu; Hien, 2006; Doick; Peace; Hutchings, 2014; Vaz Monteiro et al., 2016; Herath et al., 2024).

No que diz respeito à dimensão, é importante destacar que a maioria dos estudos foi realizada em grandes parques urbanos. Os benefícios de parques menores ainda carecem de investigações mais detalhadas, sobretudo em cidades tropicais, onde as condições ambientais singulares exigem estratégias eficazes de mitigação e adaptação ao calor para garantir conforto térmico em espaços urbanos ao ar livre. Essa lacuna de pesquisa em climas tropicais também foi apontada pela literatura da Climatologia Urbana (Spronken-Smith; Oke, 1998) e pelo relatório de 2023 do *Lancet Countdown* sobre saúde e mudanças climáticas. Esse relatório indica disparidades significativas quanto à quantidade, acessibilidade e qualidade de áreas verdes na América Latina, afetando desproporcionalmente as populações vulneráveis (Hartinger et al., 2024). Em consonância com essas evidências, Li et al. (2024) analisaram a eficácia das áreas verdes como infraestrutura adaptativa ao estresse térmico ao ar livre nas 500 maiores cidades do mundo durante as estações quentes. Os resultados indicaram que cidades do Sul Global, predominantemente localizadas em regiões tropicais, apresentaram uma capacidade média de resfriamento cerca de 30% inferior às do Norte Global ($2,5 \pm 1,0 ^\circ\text{C}$ vs. $3,6 \pm 1,7 ^\circ\text{C}$).

Diante dessa conjuntura, o presente estudo teve como objetivo analisar os efeitos de um pequeno parque urbano nas condições termo-higrométricas de suas áreas circunvizinhas durante a estação úmida (primavera–verão), em uma cidade média sob clima tropical típico. Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (i) identificar os fatores da paisagem urbana que influenciam o microclima no entorno do pequeno parque; (ii) reconhecer os sistemas atmosféricos atuantes e os tipos de tempo que desencadeiam características microclimáticas; (iii) medir e descrever perfis termo-higrométricos obtidos por meio de monitoramento móvel em episódios de estabilidade atmosférica; (iv) estimar os efeitos térmicos e higrométricos do pequeno parque urbano, visando identificar a configuração de ilha de frescor e umidade na paisagem urbana.

O experimento foi conduzido em um setor da área urbana de Uberaba (MG), abrangendo um cânion urbano e um pequeno parque localizado próximo ao centro da cidade. É importante destacar que o território de Uberaba foi reconhecido como Geoparque Global da UNESCO (UGGp) em 2024, o que exige abordagens holísticas para a gestão de seus patrimônios naturais e o desenvolvimento de estratégias locais de mitigação e adaptação aos impactos das mudanças climáticas (UNESCO, 2024). Nesse contexto, compreender os efeitos de um pequeno parque urbano inserido em ambiente densamente construído e com alto dinamismo metabólico pode fornecer subsídios relevantes ao planejamento de paisagens urbanas mais resilientes ao calor extremo.

Área de Estudo

O município de Uberaba ($19^{\circ}44'52"S$; $47^{\circ}55'55"E$) localiza-se na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (Figura 1), com área territorial de aproximadamente 4.524 km^2 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2024). No censo de 2022, a população era de 337.836 habitantes (IBGE, 2023), com ampla predominância de residentes na área urbanizada (Figura 1A), que se estende por $98,72 \text{ km}^2$ (IBGE, 2022).

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima de Uberaba é do tipo savana tropical (Aw; Tabela 1). Na normal climatológica de 1981–2010, a temperatura média anual foi de $23,7^{\circ}\text{C}$, variando de $20,8^{\circ}\text{C}$ em junho (mês mais frio) a $25,4^{\circ}\text{C}$ em outubro (mês mais quente). A média anual de precipitação foi de 1.563,2 mm, com 84,5% desse total concentrado na estação úmida (outubro a março) e apenas 15,5% na estação seca (abril a setembro). A distribuição mensal das chuvas indica janeiro como o mês mais chuvoso (301,6 mm) e julho como o mais seco (11,8 mm). A área de estudo insere-se em um clima regional tropical alternadamente seco e úmido (Monteiro, 1973), predominantemente influenciado por massas de ar equatoriais e tropicais, com incursões ocasionais de sistemas extratropicais.

O setor urbano selecionado para o experimento situa-se no limite sul do centro de Uberaba, em zona de transição com outros três bairros (Figura 1A). Com área de $844.764,2 \text{ m}^2$, esse setor apresenta elevada densidade construtiva e metabolismo urbano intenso — características que influenciam diretamente a vulnerabilidade da população ao estresse térmico.

A rota de coleta de dados termo-higrométricos percorreu um cânion urbano que leva ao Parque Municipal Mata do Ipê (Figura 1B). Esse pequeno parque urbano, com 35.301 m^2 , abriga espécies vegetais típicas da Floresta Estacional Semidecídua e conta com lagos internos (Uberaba, [s.d.]). Juntamente a outros seis parques intraurbanos, integra o conjunto de patrimônios naturais do território do UGGp de Uberaba – Terra de Gigantes (Corradini et al., 2022).

METODOLOGIA

Monitoramento móvel da temperatura e umidade do ar em microescala

A coleta de dados de temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) foi realizada por meio de mensurações móveis a pé, com o objetivo de capturar a exposição dos pedestres a esses parâmetros na camada do dossel urbano. Essa abordagem permite amostrar a sucessão de microclimas que afetam o conforto térmico em cânions urbanos, ao nível da experiência humana. Além disso, a estratégia amplia o controle experimental do estudo por meio da padronização do tempo de execução das travessias da rota (Tsin et al., 2016), e otimiza sua eficiência logística ao permitir o exame de setores da paisagem urbana acessíveis exclusivamente a pedestres (Oke et al., 2017).

Planejamento da rota e práticas observacionais

Para assegurar a adequação das condições observacionais em microescala e maior controle experimental, a seleção da rota de pesquisa considerou os seguintes critérios: (1) via longa, com perfil simétrico e pouca ou nenhuma cobertura vegetal — características essenciais para a configuração de um cânion urbano (Stewart; Mills, 2021); (2) traçado relativamente linear, orientado em direção a um pequeno parque urbano, o que possibilita o potencial escoamento de fluxos de ar oriundos da área verde; (3) presença de fluxo significativo de pedestres ao longo do dia, garantindo a representatividade das condições termo-higrométricas vivenciadas pelos indivíduos; (4) topografia predominantemente uniforme, a fim de minimizar os efeitos do relevo (como a elevação) nos pontos de observação distribuídos ao longo do trajeto.

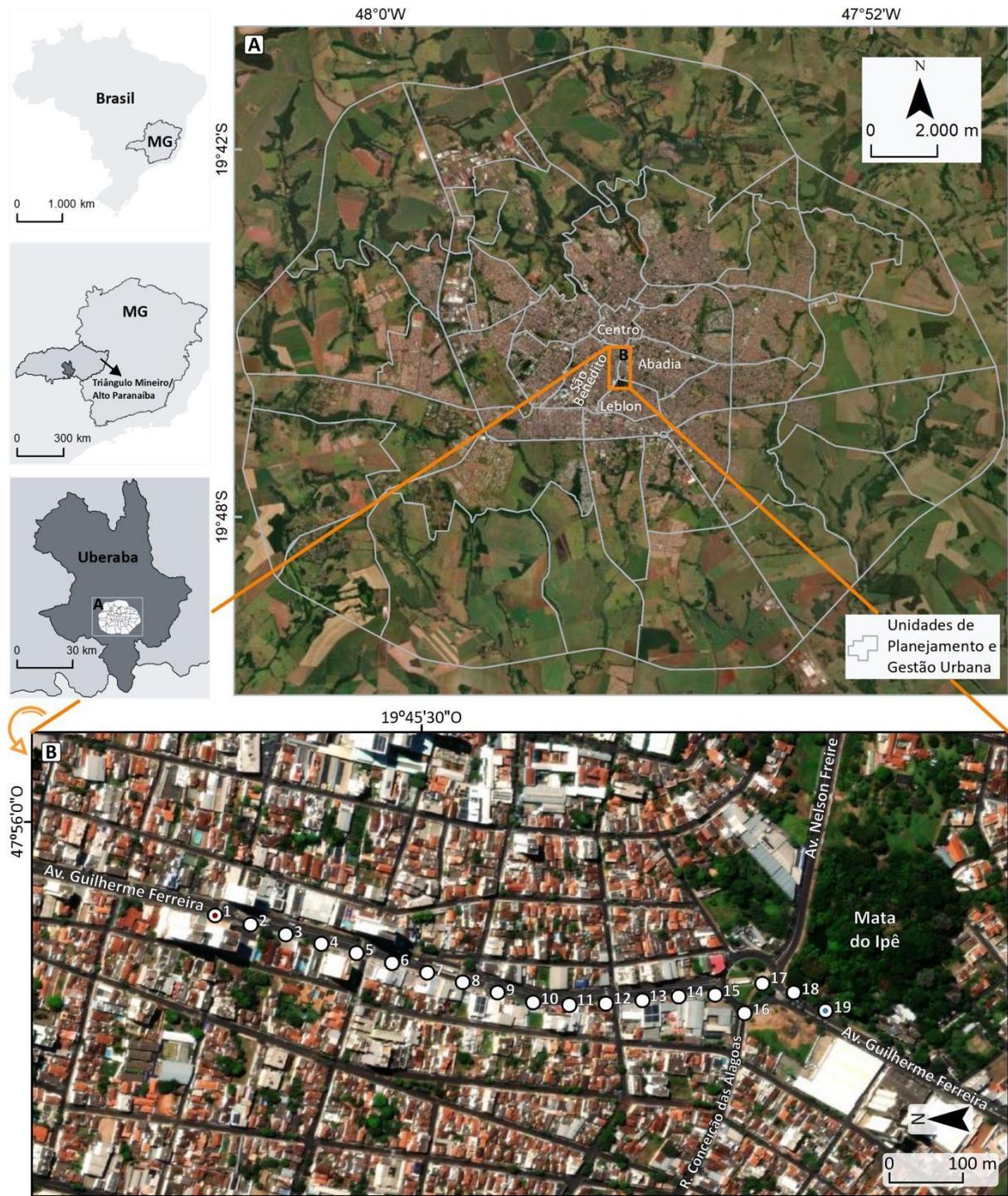
O percurso projetado possui extensão total de 900 m, com 19 pontos de observação equidistantes a cada 50 m (Figura 1B). Os pontos de partida e chegada foram definidos em locais com atividades humanas relativamente similares, mas com características distintas quanto à estrutura e cobertura de superfície.

O ponto de partida situa-se em uma interseção semaforizada, próxima a um ponto de ônibus, em local desprovido de vegetação arbórea, com exposição solar parcial ao longo do dia e amplo sombreamento artificial, proporcionado pelo arranjo das edificações (Figura 1B). Essa configuração assegura que o ponto inicial represente a diversidade de atributos da paisagem urbana que contribuem para variações na temperatura ambiente, sem a interferência direta da vegetação.

Já o ponto de chegada localiza-se nas imediações de uma rotatória semaforizada, especificamente na entrada do pequeno parque urbano (Figura 1B). A escolha desse local deve-se também à limitação do

horário de visitação do parque (das 07h às 17h, de terça a domingo), o que inviabilizou a realização de mensurações noturnas em seu interior durante as campanhas de campo.

Figura 1 - Uberaba (MG): Localização geográfica da área de estudo. (A) Área urbana, seus arredores rurais e o setor que abrange a rota investigada (caixa em laranja). (B) Cânion urbano e circunvizinhança, pequeno parque urbano (Mata do Ipê) e distribuição dos pontos de observação dos dados termo-higrométricos



Fonte: Os autores, 2025.

Tabela 1 - Médias mensais da temperatura (°C) e da precipitação (mm) em Uberaba (MG), Normal Climatológico 1981–2010. Cores: Azul – Estação Úmida, Laranja – Estação Seca, Vermelha – Anual. \bar{x} e Σ indicam, respectivamente, os valores médios de temperatura e os totais da precipitação dos intervalos temporais

| Mês | Temperatura (°C) | Precipitação (mm) |
|-----------|------------------|-------------------|
| Janeiro | 24,4 | 301,6 |
| Fevereiro | 24,9 | 218,2 |
| Março | 24,7 | 213,7 |
| Abril | 24,2 | 90,6 |
| Maio | 21,6 | 54,0 |
| Junho | 20,8 | 13,3 |
| Julho | 20,9 | 11,8 |
| Agosto | 23,0 | 19,9 |
| Setembro | 24,5 | 52,3 |
| Outubro | 25,4 | 129,9 |
| Novembro | 24,9 | 173,5 |
| Dezembro | 24,6 | 284,4 |
| \bar{x} | 24,8 | Σ 1.321,3 |
| \bar{x} | 22,5 | Σ 241,9 |
| \bar{x} | 23,7 | Σ 1.563,2 |

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) – Estação meteorológica de superfície convencional de Uberaba (#WMO: 83577; 753,4 m de altitude). Elaboração: Os autores, 2025.

Para assegurar a consistência da coleta de dados, as mensurações móveis foram realizadas sempre na mesma direção e posição ao longo da avenida. O gerenciamento das campanhas de campo seguiu a proposta de Pinton et al. (2021), baseada no uso do aplicativo de mapas offline *Avenza Maps®*. Essa estratégia possibilitou a realização das leituras termo-higrométricas nos pontos de observação com maior precisão.

Cada travessia da rota foi concluída em aproximadamente 14 minutos, com velocidade média de caminhada estimada em 1,07 m/s — adequada à ventilação do sensor. Considerando o curto intervalo de execução das campanhas e a ausência de variações perceptíveis nas condições atmosféricas regionais durante as medições, não foi aplicado nenhum esquema de correção temporal às variáveis atmosféricas mensuradas.

As campanhas de campo foram conduzidas em dois horários específicos por episódio: às 16h e às 21h. O horário vespertino foi escolhido para registrar o pico diurno de temperatura do ar; o horário noturno, por sua vez, visou capturar o comportamento do resfriamento térmico, possibilitando avaliar a liberação do calor armazenado durante o dia no cânion urbano.

Os efeitos das condições atmosféricas sobre as medições foram controlados passivamente. Os dados foram coletados exclusivamente em episódios de tempo calmo, céu claro e ausência de precipitação nas 24 horas anteriores, conforme os registros da estação meteorológica automática de Uberaba (código INMET #A568, 778 m de elevação). Esse controle experimental segue diretrizes consolidadas na literatura (Oke et al., 2017; Stewart; Mills, 2021; WMO, 2023) para a adequada discriminação das influências urbanas sobre a temperatura do ar.

No total, foram coletadas 12 séries de dados diurnos (tarde e noite) ao longo da estação úmida (primavera–verão) de 2022–2023, nos seguintes episódios de monitoramento: 12, 14–15 e 17–18 de outubro de 2022; 5 de novembro de 2022; 21–22 de dezembro de 2022; e 16–18 e 25 de janeiro de 2023.

Instrumentação para a coleta de dados

As medidas de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) durante as campanhas de campo foram obtidas por meio de um termo-higrômetro digital portátil de baixo custo (modelo 7664.01.0.00), com resolução de 0,1 °C e 1% UR, e precisão de ± 1 °C e $\pm 5\%$ UR. Na velocidade média de caminhada adotada, testes preliminares indicaram que o tempo de resposta do sensor foi adequado (< 8 segundos) para capturar

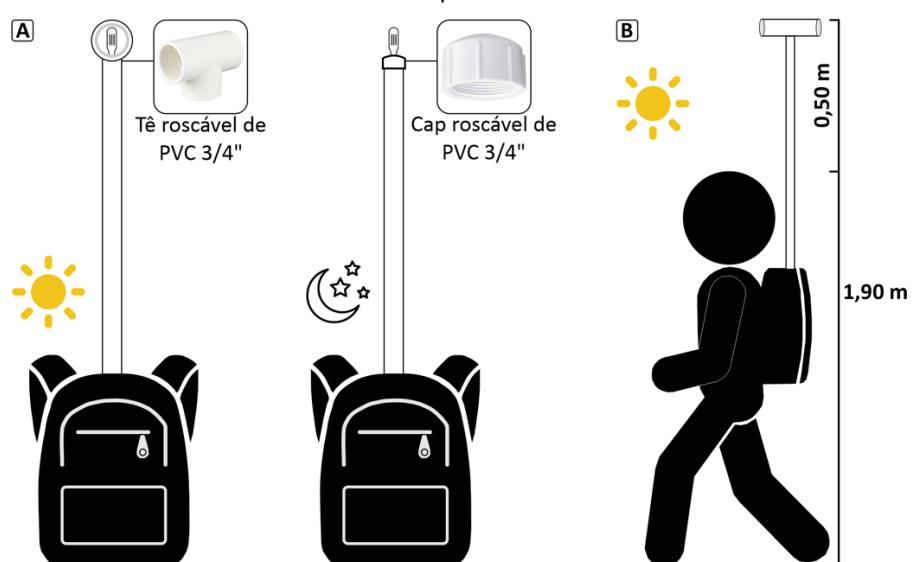
pequenas variações nos parâmetros termo-higrométricos ao longo do cânion urbano. O equipamento também apresentou bom desempenho na distinção entre os registros obtidos em pontos mais afastados e aqueles situados na área imediata ao parque.

Além disso, a repetição padronizada das travessias buscou atenuar eventuais limitações instrumentais (Shashua-Bar; Hoffman, 2000).

O sensor foi alocado em um tubo de cloreto de polivinila (PVC) branco de 60 cm, acoplado a uma mochila (Figura 2A). Para garantir a confiabilidade das leituras no período vespertino, utilizou-se um conector tipo T em PVC branco, que protegeu o sensor da radiação solar direta e refletida, permitindo simultaneamente a entrada de ar no interior do tubo (Figura 2A). No período noturno, essa adaptação não foi necessária, sendo empregado apenas um tampão (cap de PVC branco) para sustentação do sensor (Figura 2A).

Durante as campanhas, o sensor foi mantido a uma altura de 1,9 m em relação ao solo e a aproximadamente 0,50 m do corpo do analista, a fim de evitar interferência do calor metabólico nas leituras de temperatura (Figura 2B). Tais procedimentos seguem as recomendações presentes na literatura especializada para amostragens climáticas na camada do dossel urbano por meio de monitoramento móvel a pé (Oke et al., 2017; Stewart; Mills, 2021; WMO, 2023).

Figura 2 - Detalhes técnicos do aparato utilizado para o transporte do termo-higrômetro nas campanhas de campo. (A) Estrutura de sustentação do sensor para as campanhas de campo nos períodos vespertino e noturno. (B) Configuração dos equipamentos em uso pelo analista em campanha de campo no período vespertino



Fonte: Os autores, 2025.

Descrição dos componentes urbanos e análise dos dados

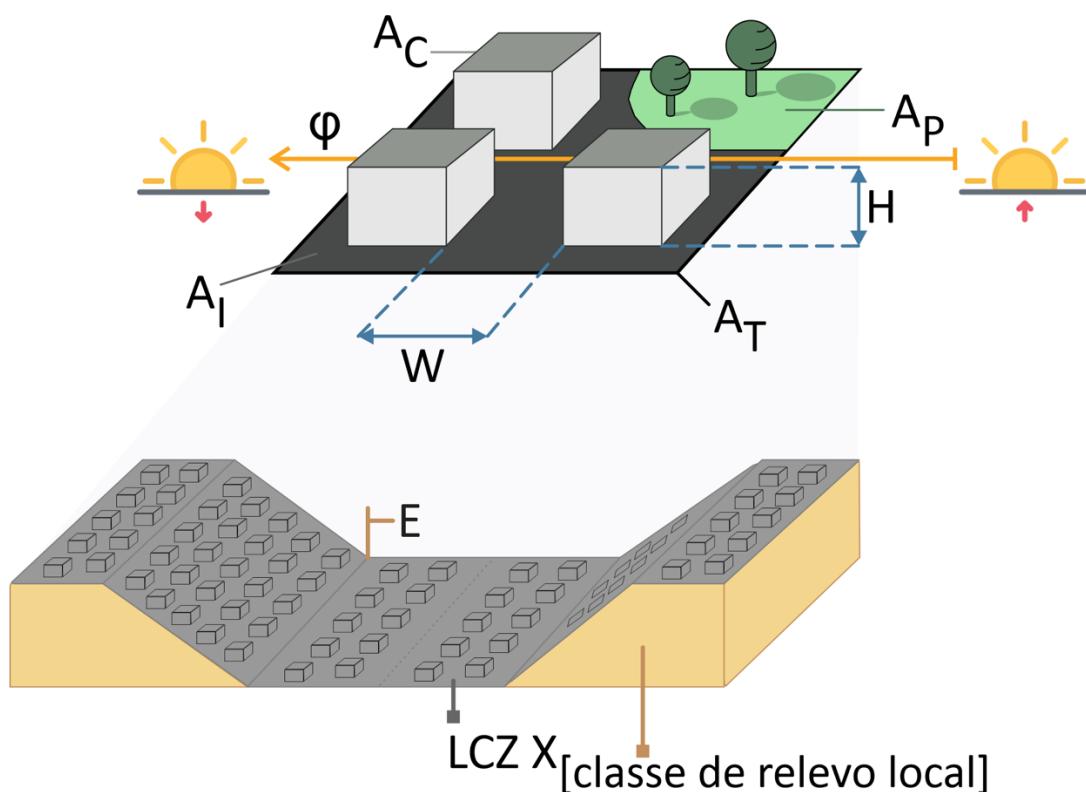
Para descrever os principais componentes físicos que exercem influência direta ou indireta na formação de microclimas, extraiu-se metadados referentes à cobertura, estrutura e topografia da superfície (Figura 3) da paisagem que compreende o setor urbano investigado (Figura 1B). A extensão desse setor corresponde ao limite de um conjunto de amostras circulares, com raio de 250 m centrado em cada ponto de observação — valor estimado para abranger a área fonte térmica, ou seja, a área total “vista” pelo sensor, conforme a literatura especializada (Oke, 2006; Stewart; Mills, 2021; WMO, 2023).

As propriedades físicas da paisagem foram obtidas por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e de observações em campo. A cobertura da terra foi expressa em percentuais (%) de áreas construídas, impermeáveis e permeáveis. A estrutura foi representada por variáveis de grande influência sobre o fluxo de ar, o sombreamento e as trocas de energia na camada do dossel urbano (Oke, 1988; Oke et al., 2017; Stewart; Mills, 2021): (i) a razão de aspecto (H/W), que expressa a relação entre a altura das edificações (H) e a largura dos cânions urbanos (W); e (ii) a orientação (ϕ) das vias. As características topográficas foram definidas com base na média de elevação dos pontos de observação ao longo da rota, derivada do Modelo Digital de Elevação (MDE) de 30 m da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Além disso, a

classe de relevo local da paisagem foi determinada a partir da divisão orográfica proposta por Stewart (2018) para a escala local.

A documentação desse conjunto de componentes urbanos e não urbanos permitiu a categorização do setor investigado como uma unidade fisiográfica no sistema de classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZs, na sigla em inglês; Stewart; Oke, 2012; Stewart, 2018).

Figura 3 - Propriedades físicas usadas na caracterização da cobertura, estrutura e relevo de superfície do setor investigado. A_T = Área total; A_C = Área construída; A_I = Área impermeável; A_P = Área permeável; H = Altura das edificações; W = Largura dos cânions urbanos; φ = Orientação das vias; E = Altitude média nos pontos de observação. As definições completas das LCZs e classes de relevo local estão disponíveis em Stewart e Oke (2012) e Stewart (2018), respectivamente



Fonte: Oke et al. (2017); Stewart (2018). Elaboração: Os autores, 2025.

Os princípios do plano metodológico da análise rítmica de Monteiro (1971) foram adotados para o reconhecimento dos sistemas atmosféricos regionais e dos tipos de tempo associados a cada episódio do período de observação. A execução dessa proposta metodológica envolveu a avaliação conjunta de cartas sinóticas de superfície do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) do Brasil, imagens do satélite GOES 16 fornecidas pela Divisão de Satélites e Sensores Ambientais (DISSM) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), além de elementos climáticos da estação meteorológica automática de superfície de Uberaba (INMET #A568).

Para a representação espacial dos dados termo-higrométricos das campanhas de campo, foi elaborada uma prancha de mapas sobrepostos às imagens de satélite (Google Earth) para os períodos vespertino e noturno, contendo os valores médios de T e UR em cada ponto de observação ao longo do cânion urbano. Com o intuito de fornecer dados complementares sobre o conforto térmico dos pedestres, os efeitos térmicos e da umidade do ar ao longo da rota, para ambos os períodos do dia, foram calculados com base nas operações propostas por Shashua-Bar e Hoffman (2000):

$$T_{(P_X)} - T_{(P_1)} \quad (1)$$

$$UR_{(P_X)} - UR_{(P_1)} \quad (2)$$

Em que $T_{(PX)}$ e $UR_{(PX)}$ representam o valor médio desses elementos climáticos medido em cada ponto de observação, e $T_{(P1)}$ e $UR_{(P1)}$ correspondem à média dessas variáveis no ponto inicial da rota (P1).

O P1 foi selecionado como referência para a avaliação das variações espaciais termo-higrométricas em microescala na paisagem urbana investigada. A adoção de um ponto de referência externo ao cânion urbano, como uma estação meteorológica regional, implicaria interpretações inconsistentes com os objetivos desta investigação. Os dados desses efeitos foram representados em um gráfico inserido na porção inferior de cada prancha de mapas das condições termo-higrométricas do cânion urbano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da forma e função do cânion urbano e circunvizinhança

O setor que abrange o cânion urbano e os pontos de observação analisados nesta investigação é caracterizado por elevada proporção de área construída (60,2%), com alta densidade de edificações baixas destinadas ao uso residencial ou comercial, e taxas similares de superfícies impermeáveis (20,3%) e permeáveis (19,5%) (Figura 4A). As áreas impermeáveis estão associadas predominantemente às faixas do sistema viário (ruas, canteiros e calçadas) que atravessam o setor. Com exceção da ampla área verde do Parque Municipal Mata do Ipê, as demais superfícies permeáveis são representadas por pequenos fragmentos localizados no interior dos quarteirões. As áreas construídas estão distribuídas principalmente ao longo de terraços e vertentes, enquanto o cânion urbano e a Mata do Ipê ocupam o fundo de vale. Essas propriedades físicas do setor permitem seu enquadramento como uma paisagem representativa da LCZ 3_[vale] (Figura 4A).

Ressalta-se que o cânion urbano investigado possui características particulares que o diferenciam da paisagem urbana de seu entorno. Situado em uma via arterial com orientação norte-sul, que desempenha papel importante na ligação entre distintos bairros, o cânion é composto predominantemente por edificações baixas (~6 m de altura) destinadas ao uso comercial. Torres residenciais (~45 m de altura), de ocorrência pontual, também são identificadas na avenida, que conta ainda com a presença de uma extensa rotatória nas imediações da Mata do Ipê. Nessa rotatória, controlada por semáforos, a convergência de duas outras vias arteriais gera intenso tráfego nos períodos matutino e vespertino, indicando um possível aumento do calor antropogênico e potencial comprometimento da qualidade do ar nessa área.

As referidas particularidades afetam os parâmetros geométricos (ϕ e H/W) ao longo da rota projetada para a coleta móvel dos dados de temperatura e umidade do ar. A orientação norte-sul (ϕ) da avenida favorece maior sombreamento durante o período vespertino. Em relação ao H/W, os pontos de observação iniciais (P1–P2, Figura 4B), bem como o P5, apresentaram valores elevados (~2,1), devido à presença de edifícios altos e à seção transversal média da avenida (~22 m, considerando via e calçadas).

Em contrapartida, os pontos finais da rota (P17–19, Figura 4D), localizados diante do parque urbano, apresentaram valores menores de H/W (<0,2). Nos demais pontos da rota, o predomínio de edificações comerciais baixas (Figura 4C) contribuiu para a definição de um valor relativamente constante de H/W, em torno de 0,3. Já no entorno do cânion e da área verde, os arranjos urbanos são compostos por vias locais com distintos eixos de orientação e valor médio de H/W estimado em 0,71.

Em consonância com a perspectiva de Oke *et al.* (2017) sobre os cânions urbanos e intersecções que integram as LCZs compactas, as condições singulares da forma e função do segmento investigado no setor de LCZ 3_[vale] podem exercer elevada influência na formação de microclimas.

Variação termo-higrométrica episódica no cânion urbano e estado atmosférico regional

A distribuição da temperatura (T) e da umidade relativa (UR) do ar no cânion urbano, durante os períodos vespertino e noturno, revela variações sutis, mas consistentes, ao longo da estação úmida (Tabela 2).

Sob a atuação da massa tropical atlântica (mTa), as condições termo-higrométricas vespertinas no cânion oscilaram entre 30,1–32,7 °C e 41–56%, respectivamente. Durante as noites, a variabilidade foi mais pronunciada, com T variando de 22,9 a 27,4 °C e UR de 58–79%. Já a presença do ar tropical marítimo continentalizado (mTac) promoveu episódios mais quentes e secos em ambos os períodos (tarde: 32,0–35,8 °C e 15–28%; noite: 24,8–29 °C e 30–62%). A influência do ar polar tropicalizado (mPv) definiu episódios com valores moderados de T e UR ao longo do cânion urbano. À tarde, a variação térmica foi de 26 a 29,7 °C, com UR entre 34 e 58%. No período noturno, a T oscilou entre 22,5–25,6 °C e a UR entre 40–71%.

Ressalta-se, ainda, que — com exceção dos episódios sob influência da mPv — há indícios do efeito dos ciclos diários de atividade humana nas respostas termo-higrométricas observadas no cânion. Os dados dos episódios sustentados pela mTa e mTac demonstram aumento de T e redução da UR em ambos os períodos nos dias úteis da semana (Tabela 2).

Figura 4 - Características físicas do cânion urbano e circunvizinhança. (A) Metadados da cobertura de superfície (em %) ao longo do cânion urbano e dos seus arredores. A classe de relevo local com o tipo LCZ é baseada em Stewart (2018). Valores das propriedades da cobertura de superfície de cada LCZ podem ser obtidas em Stewart e Oke (2012). As setas vermelhas indicam a direção da visão frontal nas fotografias. (B-D) Fotografias ao nível do solo de segmentos do cânion urbano



Fonte: Curvas de nível derivadas do MDE de 30 m da SRTM. Elaboração: Os autores, 2025.

Ao longo da rota, observou-se diminuição da T e aumento da UR nos pontos situados nas imediações da Mata do Ipê (P17-19) durante as tardes sob atuação da mTa (Tabela 2). Em contrapartida, esses efeitos termo-higrométricos do parque foram inibidos pela área urbana adjacente nas tardes influenciadas pela mTac. Nos dias afetados pela mPv, observou-se estabilidade térmica e higrométrica ao longo do cânion urbano no período vespertino.

Independentemente do sistema atmosférico atuante, as condições noturnas apresentaram tendência de resfriamento e aumento da UR em direção à Mata do Ipê (Tabela 2).

A variabilidade termo-higrométrica observada no cânion urbano sugere que os diferentes tipos de tempo associados às massas de ar contribuíram de maneira diferenciada para a regulação das condições microclimáticas durante os episódios da estação úmida.

Tal cenário evidencia as limitações intrínsecas desse ambiente externo quanto ao controle do conforto, diante das pressões atmosféricas. Essa constatação está em consonância com Oke et al. (2017), que relatam a complexidade de se estabelecer um microclima plenamente aceitável em ambientes externos, dada a multiplicidade de combinações atmosféricas possíveis.

Padrões espaciais e diurnos das condições termo-higrométricas no cânion urbano

Os dados térmicos e higrométricos médios ao longo da rota investigada revelaram uma variabilidade espacial durante os períodos vespertino (Figura 5) e noturno (Figura 6) da estação úmida.

De modo geral, observou-se uma clara inversão das condições termo-higrométricas entre a tarde e a noite. Conforme esperado para as horas mais quentes do dia, as medidas móveis da T do ar foram consistentemente mais elevadas e sujeitas a variações entre os pontos de observação durante o período vespertino (Figura 5A), enquanto a UR, inversamente proporcional à T, apresentou os menores valores (Figura 5B). À noite, as temperaturas do ar foram mais baixas e uniformes (Figura 6A), com tendência de redução em direção à Mata do Ipê. Nesse mesmo período, a UR exibiu valores mais altos, especialmente nas proximidades do parque (Figura 6B).

As diferenças espaciais de T e UR do ar entre os períodos vespertino e noturno estão relacionadas às particularidades dos parâmetros urbanos observados ao longo do cânion.

De acordo com Stewart e Mills (2021), a geometria na escala da rua exerce controle significativo sobre os componentes do balanço de energia da superfície. No cânion, os valores de H/W regulam tanto a entrada de radiação de onda curta durante o dia quanto a perda de radiação de onda longa à noite. Esse parâmetro também influencia a ventilação no nível da rua (Gartland, 2010; Oke et al., 2017). Em termos gerais, valores baixos de H/W favorecem o aquecimento diurno, o resfriamento noturno e uma ventilação mais eficaz. Por outro lado, valores elevados reduzem o aquecimento diurno devido ao sombreamento, limitam a perda de calor noturno e enfraquecem a ventilação (Oke et al., 2017; Stewart; Mills, 2021).

As variações desse parâmetro geométrico ao longo do cânion urbano influenciaram a variabilidade térmica observada. Durante o período vespertino, observou-se um conjunto de temperaturas mais amenas ao longo do trecho intermediário da rota (P6–P15, Figura 5A), onde o valor de H/W foi de 0,3. Essa condição, contrária ao esperado, pode ser atribuída ao sombreamento relativamente uniforme proporcionado pela orientação norte-sul da avenida. As faixas de temperaturas amenas nos pontos iniciais (P1–P2 e P5) estão associadas a valores de H/W próximos a 2,1. As temperaturas mais elevadas, por sua vez, foram registradas nos pontos finais da rota (P17–P19), caracterizados por $H/W < 0,2$. O tráfego intenso observado nesse segmento também contribuiu para seu maior aquecimento. Embora esses pontos estejam localizados junto à borda da Mata do Ipê, o aquecimento identificado sugere que atributos específicos da localidade (como a classe de relevo LCZ) atenuam o potencial de resfriamento do pequeno parque urbano no período da tarde.

Em um estudo baseado em modelagem microclimática na cidade de Melbourne (Austrália, clima Cfb segundo Köppen-Geiger), durante um evento extremo de calor, Herath et al. (2024) também constataram que pequenos parques urbanos não foram eficazes na redução da T do ar em seus arredores no horário de pico térmico. Os autores destacaram que o potencial de resfriamento proporcionado por áreas verdes dependia das características específicas do entorno urbano. Quanto ao impacto do tráfego sobre o aumento da T, resultados semelhantes foram encontrados por Shashua-Bar e Hoffman (2000) em locais arborizados no complexo urbano de Tel Aviv (Israel).

Oke et al. (2017) observam que a magnitude da interação entre parques urbanos e o ambiente circundante é determinada por sua forma, contexto urbano, arranjo topográfico e fluxos de ar ambiente. Sob essa perspectiva, considera-se que a localização da Mata do Ipê no fundo de vale (Figura 4A), em terreno relativamente plano, pode comprometer a advecção de ar mais frio para seus arredores durante o período vespertino. A ausência de dados sobre velocidade e direção dos ventos no interior do parque urbano constitui uma limitação para avaliar mais detalhadamente o papel da ventilação nesse setor.

No período noturno, as respostas térmicas mostraram-se mais coerentes com os valores de H/W ao longo da rota. Verificou-se uma redução progressiva da T do ar à medida que se avançava em direção aos pontos com menor H/W, sendo as temperaturas mais baixas registradas nas imediações da Mata do Ipê (Figura 6A).

Tabela 2 - Variáveis e condições atmosféricas durante os transectos móveis no cânion urbano, estação úmida de 2022–2023

| Data (Dia da semana) | | Pontos de Observação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | INMET ¹ | | |
|--|--|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|-----------|----------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | Temp. (°C) | UR (%) | Sist. Atm. ² |
| 12/10/2022 (Quarta-feira) *Feriado Nacional | | 30,1 | 30,2 | 30,5 | 30,2 | 30,5 | 30,8 | 30,7 | 30,7 | 30,9 | 30,7 | 30,9 | 30,9 | 30,9 | 30,9 | 30,9 | 30,7 | 30,7 | 31,1 | 30,5 | 29,7 | 48,0 | mTa |
| | | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 22,7 | 70,0 | |
| | | 24,4 | 24,2 | 24,2 | 24,2 | 23,9 | 23,9 | 23,9 | 24,0 | 24,0 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,5 | 23,5 | 23,3 | 23,3 | 22,9 | | | |
| | | 62 | 62 | 62 | 62 | 63 | 63 | 63 | 62 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 | 64 | 64 | 65 | 66 | 67 | | | |
| 14/10/2022 (Sexta-feira) | | 34,5 | 34,8 | 34,7 | 35,0 | 34,6 | 34,9 | 34,9 | 34,9 | 34,9 | 35,0 | 34,7 | 34,7 | 34,8 | 34,5 | 34,8 | 35,2 | 35,4 | 35,6 | 35,8 | 32,5 | 24,0 | mTac |
| | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 23,7 | 48,0 | |
| | | 29,0 | 29,0 | 28,9 | 28,6 | 28,6 | 28,6 | 28,7 | 28,5 | 28,5 | 28,2 | 28,3 | 28,3 | 28,1 | 27,8 | 27,5 | 27,7 | 27,1 | 26,6 | 26,5 | | | |
| | | 30 | 30 | 31 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 33 | 33 | 33 | 33 | 34 | 35 | 36 | 36 | 37 | 39 | 40 | | | |
| 15/10/2022 (Sábado) | | 32,0 | 32,0 | 32,1 | 32,1 | 32,1 | 32,3 | 32,3 | 32,3 | 32,3 | 32,3 | 32,6 | 32,6 | 32,6 | 32,9 | 32,7 | 33,9 | 33,6 | 33,5 | 31,0 | 32,0 | mTac | |
| | | 28 | 28 | 28 | 28 | 27 | 27 | 28 | 28 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 | 27 | 26 | 23,1 | 58,0 | |
| | | 27,4 | 27,1 | 27,1 | 26,9 | 26,9 | 26,9 | 26,6 | 26,7 | 26,7 | 26,5 | 25,5 | 26,2 | 26,0 | 26,1 | 25,8 | 25,8 | 25,6 | 25,4 | 25,2 | | | |
| | | 42 | 42 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 45 | 46 | 46 | 47 | 47 | 48 | 49 | 51 | | | |
| 17/10/2022 (Segunda-feira) | | 33,2 | 33,2 | 33,3 | 33,2 | 33,5 | 33,7 | 33,7 | 33,7 | 33,7 | 33,5 | 33,5 | 33,5 | 33,8 | 34,0 | 34,1 | 34,2 | 34,0 | 33,8 | 31,7 | 31,0 | mTac | |
| | | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 | 24 | 25 | 25 | 25 | 24 | 24 | 25 | 25 | 23,9 | 53,0 | |
| | | 28,1 | 27,8 | 27,8 | 27,8 | 27,6 | 27,7 | 27,4 | 27,5 | 27,3 | 27,3 | 27,0 | 27,0 | 26,9 | 26,6 | 26,6 | 26,4 | 26,4 | 26,1 | 26,0 | | | |
| | | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 44 | 45 | 45 | 46 | 46 | 47 | 48 | 49 | | | |

Tab. 2 (Continuação)

| Data (Dia da semana) | | Pontos de Observação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | INMET ¹ | | Sist. Atm. ² |
|------------------------------|--|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|-----------|----------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | Temp. (°C) | UR (%) | |
| 18/10/2022 (Terça-feira) | | 34,0 | 33,8 | 33,8 | 33,8 | 34,1 | 34,2 | 34,2 | 34,2 | 34,5 | 34,5 | 34,5 | 34,2 | 34,2 | 34,6 | 34,6 | 34,9 | 35,0 | 34,8 | 34,8 | 32,6 | 26,0 | mTac |
| | | 19 | 19 | 20 | 19 | 19 | 18 | 20 | 19 | 19 | 19 | 19 | 18 | 17 | 17 | 17 | 18 | 17 | 18 | 17 | 32,6 | 26,0 | |
| | | 25,6 | 25,6 | 25,7 | 25,4 | 25,2 | 25,6 | 25,6 | 25,3 | 25,3 | 25,3 | 25,1 | 25,1 | 25,1 | 25,2 | 24,9 | 24,8 | 24,7 | 24,7 | 24,8 | 24,3 | 65,0 | |
| | | 57 | 58 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 60 | 60 | 60 | 60 | 61 | 61 | 61 | 61 | 62 | 62 | 62 | 24,3 | 65,0 | |
| 05/11/2022 (Sábado) | | 27,4 | 27,4 | 27,7 | 27,7 | 27,7 | 27,5 | 27,5 | 27,5 | 27,5 | 27,5 | 27,5 | 27,8 | 27,8 | 27,7 | 27,7 | 27,4 | 27,4 | 27,4 | 27,1 | 26,8 | 41,0 | mPv |
| | | 35 | 35 | 35 | 35 | 36 | 35 | 35 | 35 | 34 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 36 | 36 | 36 | 39 | 26,8 | 41,0 | |
| | | 25,2 | 25,2 | 24,9 | 24,9 | 24,8 | 24,8 | 24,8 | 24,8 | 24,7 | 24,7 | 24,7 | 24,7 | 24,4 | 24,4 | 24,4 | 24,4 | 24,3 | 24,3 | 24,0 | 22,4 | 56,0 | |
| | | 40 | 41 | 41 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 44 | 44 | 45 | 46 | 48 | 22,4 | 56,0 | |
| 21/12/2022 (Quarta-feira) | | 29,0 | 28,8 | 29,1 | 29,3 | 28,5 | 29,1 | 29,1 | 28,9 | 29,0 | 28,6 | 28,6 | 29,2 | 29,2 | 29,2 | 29,2 | 28,9 | 29,1 | 29,7 | 29,6 | 27,0 | 57,0 | mPv |
| | | 51 | 51 | 50 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 50 | 51 | 50 | 49 | 49 | 49 | 50 | 50 | 49 | 50 | 27,0 | 57,0 | |
| | | 25,6 | 25,1 | 24,5 | 24,7 | 24,4 | 24,4 | 24,5 | 24,3 | 24,3 | 24,4 | 24,2 | 24,2 | 23,9 | 23,9 | 23,8 | 23,5 | 23,3 | 22,8 | 22,5 | 22,2 | 76,0 | |
| | | 60 | 61 | 62 | 63 | 63 | 64 | 64 | 64 | 64 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 67 | 70 | 71 | 22,2 | 76,0 | | |
| 22/12/2022 (Quinta-feira) | | 27,8 | 27,5 | 27,3 | 26,2 | 26,0 | 26,8 | 26,9 | 26,4 | 26,5 | 26,5 | 26,8 | 26,8 | 27,0 | 27,1 | 26,6 | 26,8 | 27,0 | 27,7 | 27,4 | 24,8 | 67,0 | mPv |
| | | 53 | 54 | 54 | 55 | 58 | 57 | 56 | 55 | 56 | 56 | 55 | 55 | 53 | 53 | 53 | 52 | 52 | 49 | 50 | 24,8 | 67,0 | |
| | | 25,3 | 24,9 | 24,9 | 24,9 | 24,7 | 24,7 | 24,8 | 24,8 | 24,5 | 24,5 | 24,5 | 24,5 | 24,3 | 24,0 | 24,0 | 23,8 | 23,9 | 23,5 | 23,5 | 23,6 | 67,0 | |
| | | 58 | 58 | 59 | 59 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 61 | 61 | 61 | 61 | 62 | 62 | 63 | 63 | 64 | 64 | 23,6 | 67,0 | |

Tab. 2 (Continuação)

| Data (Dia da semana) | Icone | Pontos de Observação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | INMET ¹ | | Sist. Atm. ² |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|-----------|----------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | Temp. (°C) | UR (%) | |
| 16/01/2023 (Segunda-feira) | Temperatura diurna (°C) | 31,3 | 31,3 | 31,3 | 31,2 | 31,2 | 30,9 | 30,9 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 31,0 | 30,9 | 30,9 | 30,9 | 30,9 | 31,0 | 30,9 | 30,6 | 28,0 | 67,0 | mTa |
| | Temperatura noturna (°C) | 50 | 50 | 51 | 50 | 50 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 | 52 | 52 | 52 | 53 | 54 | 56 | | | |
| | Umidade relativa (%) | 26,1 | 26,1 | 26,0 | 26,0 | 25,7 | 25,7 | 25,8 | 25,6 | 25,6 | 25,6 | 25,3 | 25,4 | 25,2 | 25,2 | 25,2 | 25,2 | 24,9 | 24,9 | 24,7 | 23,9 | 95,0 | |
| | Pressão atmosférica (hPa) | 71 | 71 | 72 | 73 | 73 | 74 | 74 | 74 | 74 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 76 | 77 | 79 | | | |
| 17/01/2023 (Terça-feira) | Temperatura diurna (°C) | 31,9 | 31,9 | 31,8 | 32,1 | 32,1 | 32,0 | 32,1 | 31,8 | 32,0 | 32,0 | 31,7 | 31,8 | 31,8 | 31,6 | 31,6 | 31,6 | 31,6 | 31,6 | 31,4 | 30,1 | 46,0 | mTa |
| | Temperatura noturna (°C) | 41 | 41 | 42 | 42 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 45 | 45 | 45 | 45 | 46 | 46 | | | |
| | Umidade relativa (%) | 27,4 | 27,4 | 27,1 | 27,1 | 26,9 | 26,9 | 27,0 | 26,7 | 26,7 | 26,7 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,2 | 26,2 | 26,2 | 25,7 | 25,7 | 23,8 | 79,0 |
| | Pressão atmosférica (hPa) | 58 | 59 | 59 | 59 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 59 | 59 | 59 | 60 | 64 | 64 | 68 | 69 | | | | |
| 18/01/2023 (Quarta-feira) | Temperatura diurna (°C) | 32,7 | 32,4 | 32,4 | 32,4 | 31,2 | 31,8 | 31,5 | 31,1 | 31,4 | 31,1 | 30,9 | 31,2 | 31,5 | 31,5 | 31,6 | 31,6 | 31,9 | 32,1 | 32,1 | 29,4 | 59,0 | mTa |
| | Temperatura noturna (°C) | 45 | 46 | 47 | 46 | 50 | 49 | 48 | 49 | 49 | 48 | 49 | 49 | 48 | 49 | 50 | 49 | 50 | 49 | 51 | | | |
| | Umidade relativa (%) | 26,3 | 25,8 | 26,1 | 25,8 | 25,7 | 25,7 | 25,7 | 25,7 | 25,7 | 25,4 | 25,4 | 25,4 | 25,4 | 25,2 | 25,2 | 25,2 | 24,9 | 25,1 | 25,1 | 24,3 | 78,0 | |
| | Pressão atmosférica (hPa) | 64 | 65 | 65 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 | 68 | | | | |
| 25/01/2023 (Quarta-feira) | Temperatura diurna (°C) | 31,6 | 31,6 | 31,5 | 31,1 | 31,1 | 30,9 | 31,1 | 30,8 | 30,7 | 30,8 | 30,5 | 30,6 | 30,6 | 30,6 | 30,3 | 30,6 | 30,6 | 31,5 | 31,4 | 30,0 | 52,0 | mTa |
| | Temperatura noturna (°C) | 44 | 44 | 44 | 44 | 45 | 44 | 45 | 46 | 47 | 46 | 48 | 48 | 47 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 50 | | | |
| | Umidade relativa (%) | 26,6 | 26,6 | 26,3 | 26,2 | 26,2 | 26,0 | 26,0 | 26,0 | 25,7 | 25,7 | 25,6 | 25,6 | 25,4 | 25,2 | 24,9 | 25,1 | 24,5 | 24,4 | 24,2 | 23,0 | 87,0 | |
| | Pressão atmosférica (hPa) | 63 | 63 | 65 | 64 | 64 | 65 | 65 | 67 | 67 | 68 | 68 | 69 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | | | | |

e representam os dados da T do ar (°C) coletados nas campanhas de campo nos períodos vespertino e noturno, respectivamente.

e representam os dados da UR do ar (%) coletados nas campanhas de campo nos períodos vespertino e noturno, respectivamente.

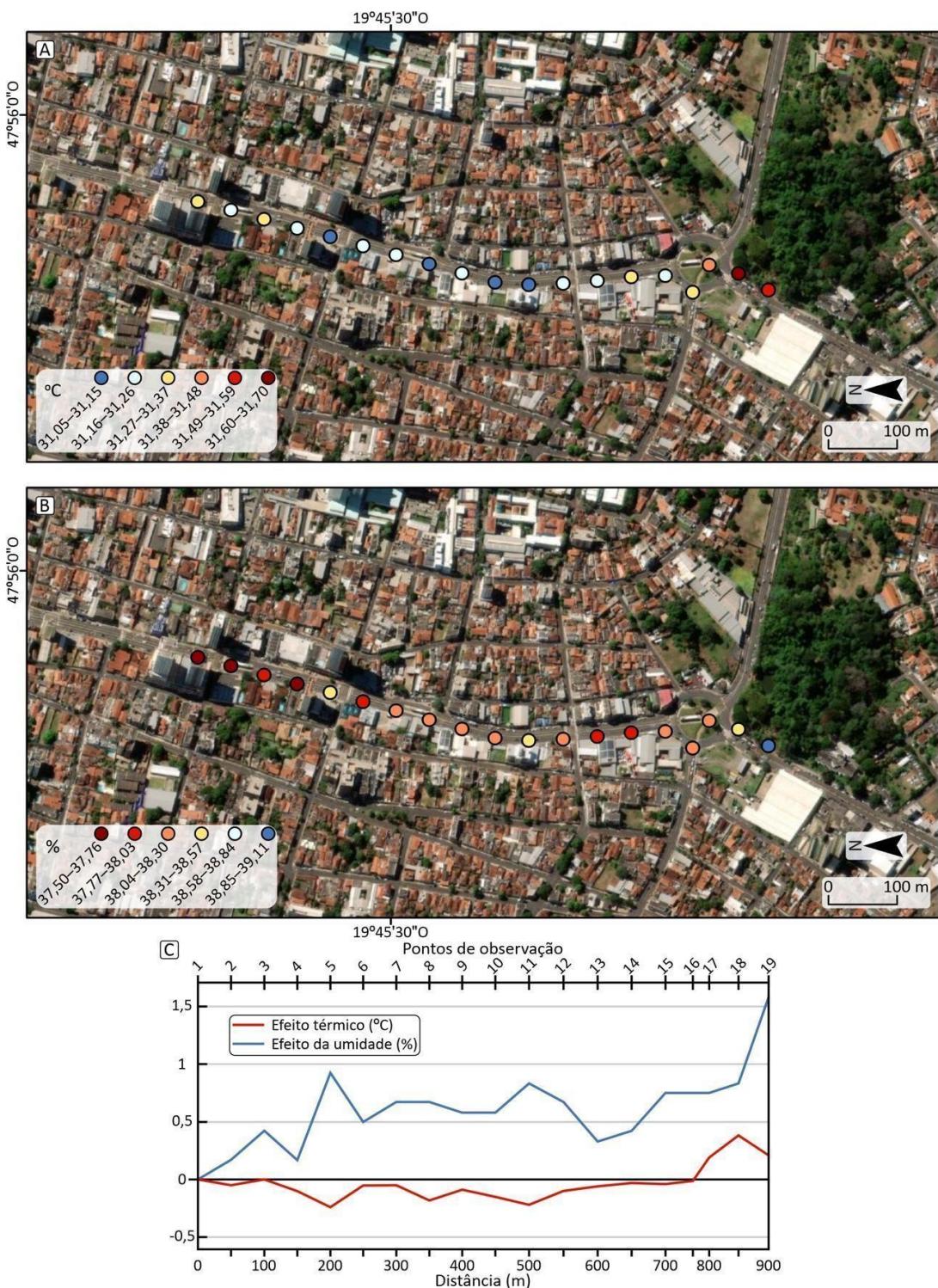
¹Valores médios no início das campanhas de campo dos períodos vespertino (19 UTC) e noturno (00 UTC) na estação meteorológica de superfície automática de Uberaba (INMET #A568).

²Intertropical: mTa – Massa tropical atlântica, mTaC – Massa tropical atlântica continentalizada; Extratropical: mPv – Massa polar velha.

Fonte: Os autores, 2025.

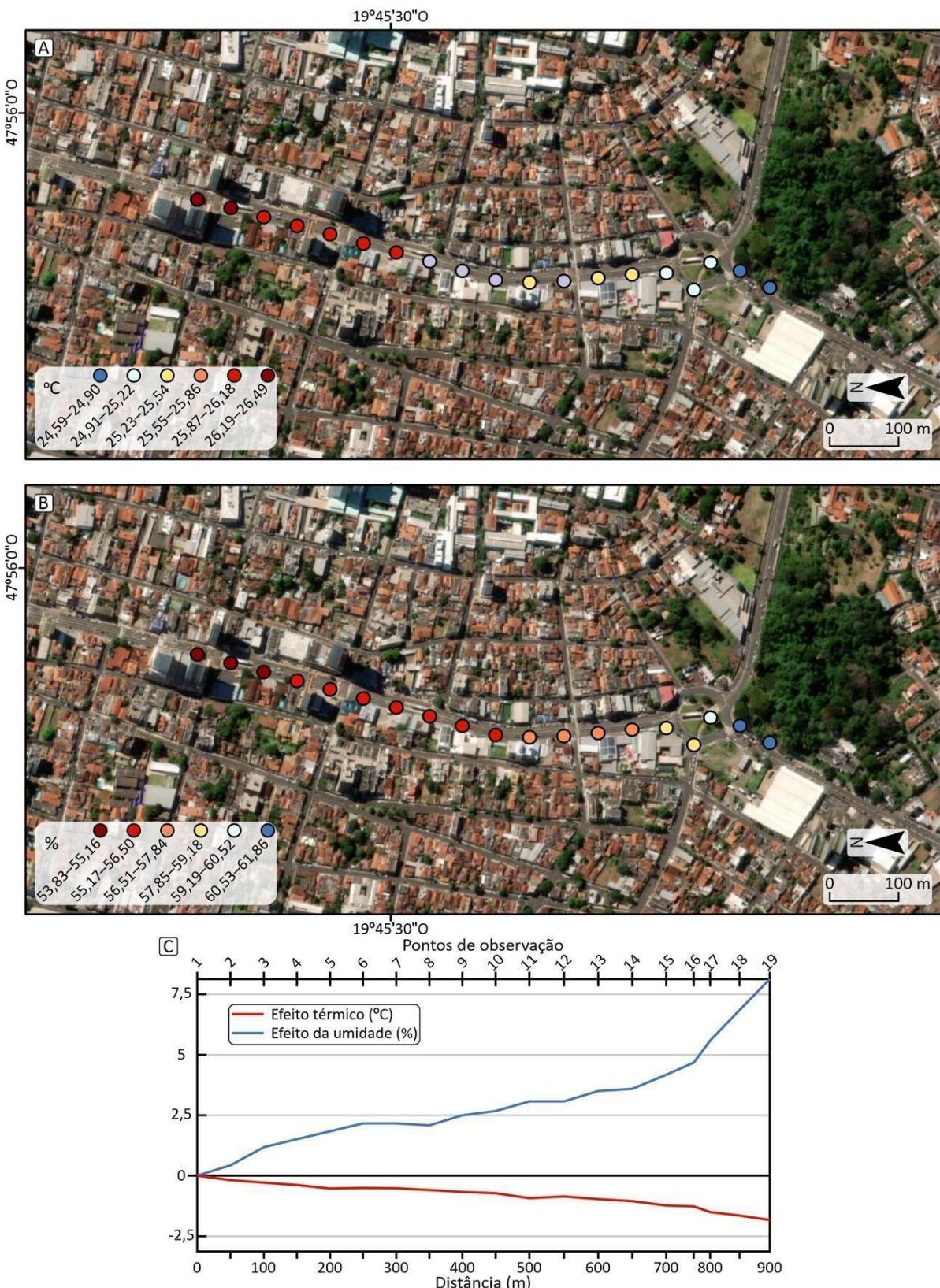
Essa redução noturna da T do ar nas proximidades do parque está em consonância com os resultados de diversos estudos anteriores (Jáuregui, 1991; Spronken-Smith & Oke, 1998; Shashua-Bar & Hoffman, 2000; Yu & Hien, 2006; Doick, Peace & Hutchings, 2014; Vaz Monteiro et al., 2016; Herath et al., 2024).

Figura 5 - Variação média das condições termo-higrométricas no cânion urbano durante o período vespertino da estação úmida, 2022–2023. (A) Temperatura do ar (°C). (B) Umidade relativa do ar (%). (C) Efeitos térmicos (°C) e da umidade do ar (%)



Fonte: Os autores, 2025.

Figura 6 - Variação média das condições termo-higrométricas no cânion urbano durante o período noturno da estação úmida, 2022–2023. (A) Temperatura do ar (°C). (B) Umidade relativa do ar (%). (C) Efeitos térmicos (°C) e da umidade do ar (%)



Fonte: Os autores, 2025.

Os controles observados na produção dos padrões espaciais dos dados termo-higrométricos também explicam os distintos níveis dos efeitos térmicos e da UR no cânion urbano entre o período vespertino (Figura 5C) e o noturno (Figura 6C).

Durante a tarde (Figura 5C), o cânion foi caracterizado predominantemente por um leve efeito de resfriamento, com valor médio de -0,1 °C. Essa condição foi interrompida por um efeito térmico positivo próximo à Mata do Ipê (P17–P19), atingindo um máximo de 0,4 °C (P18). Em relação à UR, observaram-se flutuações ao longo da rota. A maior diferença foi registrada na entrada do parque (P19: 1,6%), mesmo sob condições de maior aquecimento.

Esse fragmento aquecido nos arredores do parque deve ser interpretado com cautela, pois reflete a influência de variáveis urbanas (H/W e calor antropogênico) que, aparentemente, atenuam os efeitos de resfriamento do parque durante a tarde. Apesar da ausência de dados internos do parque, sua composição (floresta semidecídua e lagos; Uberaba, s.d.) sugere a presença de mecanismos de mitigação térmica — como sombreamento, resfriamento evaporativo e alta refletância — capazes de reduzir a conversão de radiação solar em calor sensível (Oke, 1989; Jáuregui, 1991; Spronken-Smith & Oke, 1998; Doick, Peace & Hutchings, 2014; Stewart & Mills, 2021). Assim, mesmo que seus efeitos não se propaguem amplamente à tarde, a Mata do Ipê cumpre seu papel como infraestrutura adaptativa frente ao calor urbano (Oke et al., 2017; Stewart & Mills, 2021).

Durante a noite (Figura 6C), o efeito de resfriamento foi mais evidente, intensificando-se ao longo da rota. Os valores mais acentuados foram registrados a cerca de 100 m da entrada do parque (P17 = -1,5 °C), com o valor máximo de -1,8 °C em P19. A UR apresentou padrão inverso, como esperado, com incremento de 8% também no ponto final. Esses efeitos combinados indicam a formação de uma ilha de frescor e umidade promovida pela presença do parque (Spronken-Smith & Oke, 1998).

Em geral, a influência dos parques na T do ar das áreas adjacentes parece se limitar a uma distância próxima à sua largura (Jáuregui, 1991; Spronken-Smith & Oke, 1998; Oke et al., 2017). Pequenos espaços verdes (entre ~8.000 e 38.000 m²) situados em cidades de clima temperado produziram efeitos de resfriamento noturno típicos de 0,4 a 2 °C ao longo de 30 a 120 m (Spronken-Smith & Oke, 1998; Shashua-Bar & Hoffman, 2000; Vaz Monteiro et al., 2016). Em condições ideais, esses efeitos podem chegar a 5 °C. Embora tenha estudado um grande parque urbano (6.860.000 m²) na Cidade do México (clima tropical de altitude), Jáuregui (1991) constatou efeitos de resfriamento de 3–4 °C na estação seca e de apenas 1 °C na estação úmida.

Nesse contexto, a extensão e a intensidade do frescor noturno gerado pela Mata do Ipê mostraram-se compatíveis com os achados da literatura. Com base nas medidas obtidas, estima-se que o ar mais frio formado nesse parque (~100 m de largura) influencia a vizinhança em um raio de 30 a 80 m, promovendo um resfriamento médio de 1,3 °C na estação úmida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa revelam que os efeitos termo-higrométricos do pequeno parque urbano variam significativamente ao longo do dia, sendo modulados por fatores externos como a configuração da paisagem urbana, a atividade antrópica e as condições atmosféricas. Essas interações limitaram o potencial de resfriamento do parque durante o período vespertino, especialmente em sua borda imediata. À noite, no entanto, observaram-se respostas mais consistentes, indicando a propagação da ilha de frescor e umidade para as áreas urbanas adjacentes.

A maior capacidade de resfriamento noturno coincide com o pico da ilha de calor do dossel urbano, um fenômeno que agrava o estresse térmico em ambientes urbanos, sobretudo durante eventos extremos de calor relacionados às mudanças climáticas (IPCC, 2021; Stewart & Mills, 2021; WMO, 2023). Nesse sentido, destaca-se o papel estratégico de pequenos parques urbanos como infraestrutura climática adaptativa para mitigação do calor local e promoção da resiliência térmica.

Dada as limitações desta pesquisa — especialmente quanto à cobertura espacial (um único parque) e à janela temporal (apenas a estação úmida) —, recomenda-se a realização de estudos futuros com equipamentos de maior precisão e abrangência, capazes de contemplar: (i) as distintas configurações de áreas verdes intraurbanas e seus efeitos microclimáticos; e (ii) as condições da estação seca, cuja maior estabilidade atmosférica pode intensificar os efeitos de resfriamento.

No contexto do UGGp de Uberaba, os resultados oferecem uma base preliminar para a valorização do patrimônio natural urbano como mecanismo de promoção do conforto térmico para moradores e visitantes.

Tal perspectiva, aliada a políticas públicas, pode fomentar a expansão e preservação de áreas verdes, contribuindo para a construção de cidades mais sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG) da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) pelo apoio ao desenvolvimento do projeto de pesquisa (nº 09/2021) associado a este estudo. Além disso, manifestam seu reconhecimento aos avaliadores anônimos e à equipe editorial pela condução cuidadosa do processo de avaliação.

REFERÊNCIAS

CORRADINI, F. A. et al. **Application dossier:** UNESCO Aspiring Geopark Uberaba. UFTM: PROEXT, 2022.

DOICK, K. J.; PEACE, A.; HUTCHINGS, T. R. The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. **Science of The Total Environment**, v. 493, p. 662-671, set. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.048>

GARTLAND, L. **Ilhas de calor:** como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

HARTINGER, S. M. et al. The 2023 Latin America report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for health-centred climate-resilient development. **The Lancet Regional Health – Americas**, v. 33, p. 1-35, maio 2024. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2024.100746>

HERATH, P. et al. Does the spatial configuration of urban parks matter in ameliorating extreme heat? **Urban Climate**, v. 53, p. 1-19, jan. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101756>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas urbanizadas do Brasil:** 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022:** população e domicílios – primeiros resultados. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área territorial brasileira 2023.** Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2021: the physical science basis.** Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press, 2021. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

JÁUREGUI, E. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. **Energy and Buildings**, v. 15, n. 3-4, p. 457-463, 1991. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(90\)90021-A](https://doi.org/10.1016/0378-7788(90)90021-A)

LI, Y. et al. Green spaces provide substantial but unequal urban cooling globally. **Nature Communications**, v. 15, p.1-13, set. 2024. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51355-0>

MONTEIRO, C. A. de F. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. **Climatologia**, n. 1, p. 1-21, 1971.

MONTEIRO, C. A. de F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo:** estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: USP/IG, 1973.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, v. 11, n. 1-3, p. 103-113, 1988. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)

OKE, T. R. The micrometeorology of the urban forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 324, p. 335-349, 1989. <https://doi.org/10.1098/rstb.1989.0051>

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.** Geneva: WMO, 2006. (WMO/TD-No. 1250).

- OKE, T. R. et al. (ed.) **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
<https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- PINTON, L. de G. et al. Magnitudes do fenômeno da ilha de calor urbana em Sacramento (MG): perspectivas de aplicação do sistema das Zonas Climáticas Locais em cidade de pequeno porte. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 79, p. 161-179, 2021. <https://doi.org/10.14393/RCG227953890>
- SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. **Energy and Buildings**, v. 31, n. 3, p. 221-235, abr. 2000. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00018-3)
- SONG, S. et al. Effects of thermal perception on restorative benefits by green space exposure: A pilot study in hot-humid China. **Urban Climate**, v. 53, p. 1-14, jan. 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101767>
- SPRONKEN-SMITH, R. A.; OKE, T. R. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 11, p. 2085-2104, 1998.
<https://doi.org/10.1080/014311698214884>
- STEWART, I. D. Developing a field guide to identify 'Local Climate Zones' in cities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 10., 2018, New York City, USA. **Proceedings...** New York City: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), The International Association for Urban Climate (IAUC) and the American Meteorological Society (AMS) Board on the Urban Environment, 2018. p. 1-6.
- STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, dez. 2012. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- STEWART, I. D.; MILLS, G. **The Urban Heat Island - A Guidebook**. Amsterdam: Elsevier, 2021.
<https://doi.org/10.1016/C2017-0-02872-0>
- TSIN, P. K. et al. Microscale mobile monitoring of urban air temperature. **Urban Climate**, v. 18, p. 58-72, dez. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.10.001>
- UBERABA. Prefeitura Municipal de Uberaba. **Parque Municipal Mata do Ipê**. Uberaba, MG: PMU, [s.d.]. Disponível em: <http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,635>. Acesso em: 30 dez. 2024.
- UN - United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World urbanization prospects: the 2018 revision**. Disponível em: <https://population.un.org/wup/downloads>. Acesso em 30 dez. 2024.
- UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **UNESCO Global Geoparks**. Paris: IGGP, 2024. Disponível em: <https://www.unesco.org/en/iggp/geoparks/about>. Acesso em: 30 dez. 2024.
- UN-HABITAT - United Nations Human Settlements Programme. **World Cities Report 2024: Cities and Climate Action**. Nairobi: UN-HABITAT, 2024.
- VAZ MONTEIRO, M. et al. The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 16, p. 160-169, fev. 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.008>
- WMO - World Meteorological Organization. **Guidance on measuring, modelling and monitoring the canopy layer urban heat island (CL-UHI)**. Geneva: WMO, 2023. (WMO-No.1292).
- YU, C.; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 2, p. 105-120, fev. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.04.003>

Recebido em: 04/02/2025

Aceito para publicação em: 17/06/2025