Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

IMPACTO DA INSERÇÃO ARBÓREA NO ÍNDICE PMV EM CUIABÁ-MT: SIMULAÇÕES ENVI-MET NOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

Impact of urban greening on the PMV index in Cuiabá-MT: ENVI-met simulations in dry and rainy seasons

Impacto de la implantación arbórea en el índice PMV en Cuiabá-MT: simulaciones ENVI-met en las estaciones seca y húmeda

Pauline da Mata Marques
UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso
paulinemarques@fisica.ufmt.br

Flávia Maria de Moura Santos
UFMT – Universidade Federal de Mato Grosso
Flavia_mms@hotmail.com

Jonathan Willian Zangeski Novaes
IFMT – Instituto Federal de Mato Grosso
jonathanzangeski@gmail.com

Resumo: Este artigo avalia o desempenho do índice PMV (Predicted Mean Vote) em cenários urbanos durante o período seco e o período chuvoso, com foco em uma área de expansão urbana em Cuiabá-MT. O estudo parte da problemática do desconforto térmico intensificado pela urbanização acelerada, impermeabilização do solo e escassez de vegetação, características marcantes do clima local. O objetivo principal foi simular estratégias de arborização e corredores verdes, utilizando o software *ENVI-met*, para analisar o impacto dessas intervenções no conforto térmico urbano. Foram coletados dados microclimáticos in loco nos dois períodos, e modelados cenários atual (bastante impermeabilizado) e hipotético (com inserção de vegetação nativa). Os resultados indicam que a arborização promoveu redução da temperatura do ar, especialmente no período seco, e aumento da

umidade relativa do ar, contribuindo para a diminuição do estresse térmico. O índice PMV apresentou valores elevados de desconforto térmico no cenário atual, sendo reduzidos com a presença de vegetação, embora ainda fora da faixa ideal em horários críticos. A validação do modelo *ENVI-met* demonstrou boa aderência aos dados reais, reforçando a confiabilidade das simulações. Conclui-se que a adoção de estratégias baseadas na natureza, como arborização e corredores verdes, é fundamental para mitigar o desconforto térmico em áreas urbanas de clima quente e seco, subsidiando políticas públicas de planejamento urbano sustentável.

Palavras-chave: Planejamento da Paisagem. Arborização Urbana. Corredor Verde. ENVI-met. Conforto Térmico.

Abstract: This article evaluates the performance of the Predicted Mean Vote (PMV) index in urban scenarios during the dry and rainy seasons, focusing on an urban expansion area in Cuiabá-MT, Brazil. The study addresses the issue of thermal discomfort intensified by rapid urbanization, soil sealing, and scarcity of vegetation, which are prominent characteristics of the local climate. The main objective was to simulate afforestation and green corridor strategies using the *ENVI-met* software to analyze their impact on urban thermal comfort. Microclimatic data were collected on-site during both periods, and current (highly impervious) and hypothetical (with the introduction of native vegetation) scenarios were modeled. The results indicate that increasing vegetation reduced air temperature, particularly in the dry season, and increased relative humidity, contributing to decreased thermal stress. The PMV index showed high thermal discomfort values in the current scenario, which were reduced with vegetation, although still outside the ideal range during critical hours. The *ENVI-met* model validation demonstrated good agreement with real data, reinforcing the reliability of the simulations. It is concluded that nature-based solutions, such as afforestation and green corridors, are essential for mitigating thermal discomfort in urban areas with hot and dry climates, supporting sustainable urban planning policies.

Keywords: Landscape Planning. Urban Forestry. Green Corridor. ENVI-met. Thermal Comfort.

Resumen: Este artículo evalúa el desempeño del índice PMV (Voto Medio Previsto) en escenarios urbanos durante las estaciones seca y húmeda, con enfoque en un área de expansión urbana en Cuiabá-MT, Brasil. El estudio aborda la problemática del disconfort térmico intensificado por la urbanización acelerada, la impermeabilización del suelo y la escasez de vegetación, características destacadas del clima local. El objetivo principal fue simular estrategias de arborización y corredores verdes utilizando el software *ENVI-met* para analizar su impacto en el confort térmico urbano. Se recolectaron datos microclimáticos in situ en ambas estaciones y se modelaron escenarios actual (altamente impermeabilizado) e hipotético (con introducción de vegetación nativa). Los resultados indican que la arborización redujo la temperatura del aire, especialmente en la estación seca, y aumentó la humedad relativa del aire, contribuyendo a la disminución del estrés térmico. El índice PMV presentó valores elevados de disconfort térmico en el escenario actual, los cuales se redujeron con la presencia de vegetación, aunque aún fuera del rango ideal en horas críticas. La validación del modelo *ENVI-met* demostró buena concordancia con los datos reales, reforzando la confiabilidad de las simulaciones. Se concluye que la adopción de estrategias basadas en la naturaleza, como la arborización y los corredores verdes, es fundamental para mitigar el disconfort térmico en áreas urbanas de clima cálido y seco, apoyando políticas públicas de planificación urbana sostenible.

Palabras clave: Planificación paisajística. Ecologización urbana. Corredor verde. ENVI-met. Confort térmico.

Submetido em: 01/07/2025
Aceito para publicação em: 01/12/2025
Publicado em: 24/07/2026

1. INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada, desencadeada principalmente pela Revolução Industrial e pelo êxodo rural a partir do século XVIII, redefiniu os padrões de ocupação urbana. Embora impulsionado pelo avanço econômico, esse processo frequentemente ocorreu sem planejamento adequado, resultando em desequilíbrios ambientais e sociais. A ausência de estratégias urbanísticas sustentáveis intensificou problemas como a formação de ilhas de calor urbanas e a redução do conforto térmico, impactando diretamente a qualidade de vida nas cidades (GARTLAND, 2010).

No Brasil, a urbanização ganhou força no século XX, impulsionada pela mecanização do campo e pela industrialização. O crescimento desordenado das cidades, sem políticas públicas eficazes para habitação, meio ambiente ou bem-estar social, gerou ambientes urbanos com baixa permeabilidade, escassa arborização e materiais construtivos termicamente ineficientes. Estudos recentes destacam que a falta de planejamento contribui para o aumento das temperaturas urbanas e a piora do índice de conforto térmico.

O índice PMV (Predicted Mean Vote), desenvolvido por Fanger (1970) e padronizado pela ISO 7730, avalia o conforto térmico em ambientes internos e externos com base em variáveis como temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação térmica, atividade metabólica e vestimenta, sendo medido por sensores ambientais e modelado por softwares como o *ENVI-met*, com uma escala que varia de -3 (muito frio) a +3 (muito quente), onde o intervalo de -0,5 a +0,5 indica conforto térmico ideal (FANGER, 1970; ISO, 1994; SILVA & SANTOS, 2023).

Ademais, intervenções como a implementação de corredores verdes e a inserção de cobertura arbórea urbana emergem como estratégias eficazes para mitigar esses impactos em contextos tropicais e subtropicais, promovendo a redução das temperaturas superficiais e melhorando o PMV em até 20% em áreas densamente construídas (OLIVEIRA et al., 2021).

Em Mato Grosso, a urbanização intensificou-se a partir da década de 1970, com políticas de ocupação das regiões Norte e Centro-Oeste, frequentemente marcadas por práticas exploratórias e ausência de planejamento ambiental. Cuiabá, fundada em 1719, exemplifica esse processo com sua expansão desordenada, resultando em degradação ambiental, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, agravadas pela

impermeabilização do solo e pela redução de áreas verdes (SILVA, 2021). Esses fatores impactam negativamente o PMV, indicando condições térmicas desfavoráveis para os moradores.

A ausência de planejamento urbano reflete-se em ações antrópicas como a remoção de vegetação sem reposição, a impermeabilização excessiva do solo e o uso de materiais construtivos que amplificam o calor. Essas práticas elevam o índice PMV, aproximando-o de valores que indicam desconforto térmico severo, especialmente em áreas de expansão urbana (ASHRAE, 2020). A norma ISO 7730, que regula o PMV, sugere que intervenções como arborização e corredores verdes podem mitigar esses impactos, promovendo microclimas mais equilibrados (ISO, 1994).

A urbanização intensa, sem planejamento urbano e ambiental, intensifica a formação de ilhas de calor urbanas, elevando a temperatura do ar e reduzindo a umidade relativa do ar, o que compromete o conforto térmico, conforme indicado pelo índice PMV (ASHRAE, 2020). A modificação na cobertura do solo urbano, a substituição de vegetação nativa por superfícies de concreto e asfalto aumenta a absorção de radiação solar, elevando as temperaturas locais em comparação com áreas verdes remanescentes (LISBOA et al., 2019). Além disso, a redução da permeabilidade do solo compromete a capacidade de infiltração de água, agravando os impactos das chuvas intensas durante a estação úmida e aumentando o escoamento superficial e o risco de alagamentos (TEIXEIRA et al., 2003).

A presença de vegetação urbana desempenha um papel crucial na mitigação das ilhas de calor urbanas e na melhoria do conforto térmico, influenciando diretamente o índice PMV. Estudos recentes demonstram que a arborização pode reduzir a temperatura do ar em até 1,46 °C em pequenos espaços verdes durante picos diurnos, superando arbustos e gramíneas devido ao sombreamento e à evapotranspiração, o que resulta em valores de PMV mais próximos do intervalo de conforto (-0,5 a +0,5) em áreas urbanas densas (LI et al., 2024).

Outrossim, corredores verdes, ao conectar áreas vegetadas, promovem a circulação de ar e diminuem a temperatura do ar, reduzindo o PMV em ambientes externos e melhorando a habitabilidade em climas quentes. A vegetação nativa, como espécies adaptadas a climas secos, amplifica esses benefícios ao minimizar demandas hídricas e apoiar a biodiversidade, contribuindo para microclimas mais frescos e sustentáveis, com reduções de

até 4-5 °C na temperatura da superfície terrestre em parques urbanos (SANTAMOURIS et al., 2025).

De acordo com a pesquisa de Zarghamipour et al. (2025), a urbanização desordenada, que intensifica o efeito de ilha de calor urbana, agravado pelas mudanças climáticas, resultou em aumentos de até 3,43 °C na temperatura do ar em metrópoles como Teerã, o que eleva o índice PMV e compromete a saúde e o bem-estar da população devido ao maior estresse térmico em áreas densamente construídas. Esse impacto reforça a necessidade de práticas de planejamento sustentável para mitigar os efeitos adversos no microclima urbano, especialmente em cidades tropicais.

No contexto de Cuiabá, o estudo de Marques et al. (2025) evidencia que a substituição de vegetação por áreas construídas ao longo dos anos na zona de expansão urbana leste contribuiu para a piora da qualidade ambiental urbana, com intensificação da temperatura do ar de 4 a 5 °C no período seco e queda na umidade relativa do ar devido à remoção de áreas verdes.

Ahmed et al. (2024) destacam que, além da arborização, que reduz o PMV em até 2 pontos em parques públicos durante o verão por meio de sombreamento e evapotranspiração, estratégias como o uso de materiais de construção reflexivos e áreas permeáveis diminuem as temperaturas superficiais em até 19 °C, promovendo o conforto térmico e alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para cidades mais habitáveis.

Nesse sentido, a implementação de corredores verdes em Cuiabá, inspirada em iniciativas como as de Medellín (Colômbia), poderia conectar fragmentos de vegetação urbana, fomentando a circulação de ar fresco e aumentando a umidade relativa do ar por evapotranspiração coletiva, com potencial para reduções adicionais de 2 °C na temperatura média e melhorias na biodiversidade local, combatendo diretamente os legados da remoção vegetal e restaurando o equilíbrio microclimático (PINEDA et al., 2024).

A crescente dinâmica urbana de Cuiabá, marcada por intensos processos de adensamento e impermeabilização do solo, exige uma análise que vá além da descrição ambiental, relacionando a configuração do espaço construído com as variáveis microclimáticas locais. A forma como a urbanização se desenvolve afeta diretamente a capacidade de dispersão do calor e a qualidade dos ambientes internos e externos,

impactando o conforto térmico da população, especialmente em áreas de ocupação mais densa (BARROZO et al., 2011).

Este impacto reflete-se não apenas na percepção de bem-estar, mas possui implicações críticas para a saúde pública. Estudos têm demonstrado que a exposição a temperaturas extremas — exacerbadas pelas ilhas de calor urbanas — está associada ao aumento de risco de morbidade e mortalidade, particularmente por doenças do aparelho circulatório e respiratório, corroborando os trabalhos de Ligia Vizeu Barrozo e colaboradores (MORAES; ALMENDRA; BARROZO, 2022; BARROZO et al., 2023).

Outro aspecto crítico da dinâmica urbana de Cuiabá, inerente ao acelerado adensamento e à impermeabilização do solo, reside no seu severo impacto sobre o ciclo hidrológico local. A pavimentação e a expansão de superfícies construídas impedem a infiltração da água pluvial, elevando drasticamente o escoamento superficial (TUCCI; COLLISCHONN, 2000; MESQUITA; LIMA NETO, 2020). Essa alteração hidrológica não apenas compromete a recarga do lençol freático, essencial para a sustentabilidade hídrica a longo prazo, mas também é o principal fator de agravamento dos impactos de chuvas intensas, resultando em picos de vazão e inundações urbanas (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

Este estudo analisa uma área em expansão urbana na zona leste de Cuiabá, onde o crescimento rápido tem gerado significativa degradação ambiental e desconforto térmico. A pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho do índice PMV durante os períodos seco e chuvoso, simulando estratégias de arborização nas quadras e corredor verde em via pública, com a inserção de vegetação nativa, como Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*), Ipê (*Tabebuia spp.*) e Flamboyant (*Delonix regia*), utilizando o software *ENVI-met*.

A urgência desta pesquisa ganha particular relevância no contexto local de Cuiabá, uma capital marcada por extremos térmicos e alta vulnerabilidade a eventos hidrológicos intensos, além da intensa manifestação do fenômeno da ilha de calor urbana, que impõe desafios à qualidade de vida e saúde da população (BARROZO et al., 2022).

Portanto, este estudo se justifica não apenas pela lacuna no conhecimento microclimático específico de Cuiabá, mas principalmente por sua capacidade de informar e subsidiar políticas públicas locais de adaptação e mitigação climática. A intervenção baseada na arborização e na criação de corredores verdes urbanos alinha-se diretamente aos princípios

de Infraestrutura Verde e Soluções Baseadas na Natureza (SBN), que vêm sendo incorporadas por planos diretores e estratégias de desenvolvimento sustentável em diversas cidades brasileiras (HERZOG, 2017).

Com o aumento populacional, é importante repensar práticas construtivas e urbanísticas para minimizar impactos ambientais e melhorar o bem-estar, visando reduzir a temperatura do ar, aumentar a umidade relativa do ar e otimizar o conforto térmico. O objetivo principal é fornecer evidências quantitativas para embasar políticas públicas de planejamento urbano sustentável, promovendo ambientes urbanos mais resilientes às mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que valida a eficácia do software *ENVI-met*.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

A pesquisa foi realizada na cidade de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, localizada na região Centro-Oeste do Brasil, entre as coordenadas 15°10’ a 15°50’ de latitude sul e 50°50’ a 50°10’ de longitude oeste. O município abrange uma área total de 3.538,17 km², sendo 254,57 km² correspondentes à macrozona urbana e 3.283,60 km² à área rural (CUIABÁ, 2009).

O clima de Cuiabá é classificado como tropical continental semiúmido (Aw) segundo a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado por dois períodos distintos: um chuvoso, de outubro a março, com maior precipitação no verão, e um seco, de abril a setembro, com chuvas reduzidas (MAITELLI, 1994).

A localização continental, associada ao relevo plano e à baixa altitude, contribui para temperaturas elevadas e baixa umidade relativa, especialmente no período seco (INMET, 2024). O clima de Cuiabá é caracterizado por uma marcada sazonalidade térmica e hídrica. A temperatura média máxima anual do ar varia entre 31º C e 34º C, com a mínima anual oscilando entre 18º C e 21º C. Essa dinâmica é acompanhada pela umidade relativa do ar, que atinge uma média de 70% durante o período chuvoso, mas pode cair drasticamente, alcançando valores mínimos de 12% no período de estiagem (ROCHA, 2018).

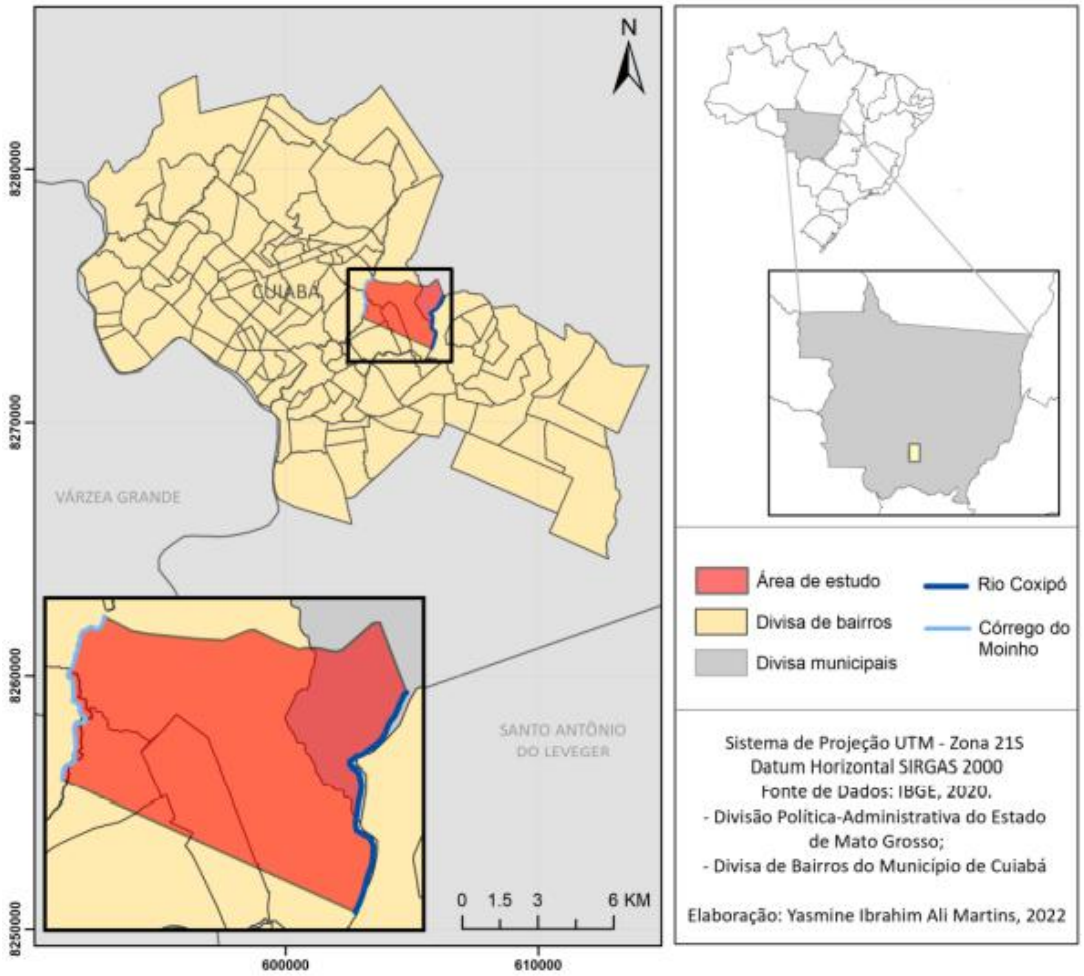
Em termos de dinâmica atmosférica, o regime pluviométrico anual totaliza aproximadamente 1.350 mm, e a circulação do vento é predominantemente de norte e

noroeste na maior parte do ano, mudando para a direção sul durante os meses de outono e inverno (INPE, 2020).

A dinâmica climática local é ainda influenciada pela baixa velocidade dos ventos, o que limita a dispersão térmica em áreas urbanizadas. A velocidade média anual do vento é de 1,5m/s, o qual é reduzido também devido a rugosidade da superfície urbana, e contribui para a estagnação de poluentes e calor, intensificando os impactos climáticos em áreas densamente povoadas (CAMPELO JR. et al., 1991; LEÃO, 2007).

A área de estudo, com 5,74 km², está localizada na região leste de Cuiabá, abrangendo os bairros Jardim Imperial, Recanto dos Pássaros e parte da Área de Expansão Urbana Leste, delimitada pela Avenida das Torres ao sul, Rua Um ao norte, Córrego do Moinho a oeste e Rio Coxipó a leste (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de expansão urbana leste, na região do bairro Jardim Imperial e adjacências em Cuiabá-MT

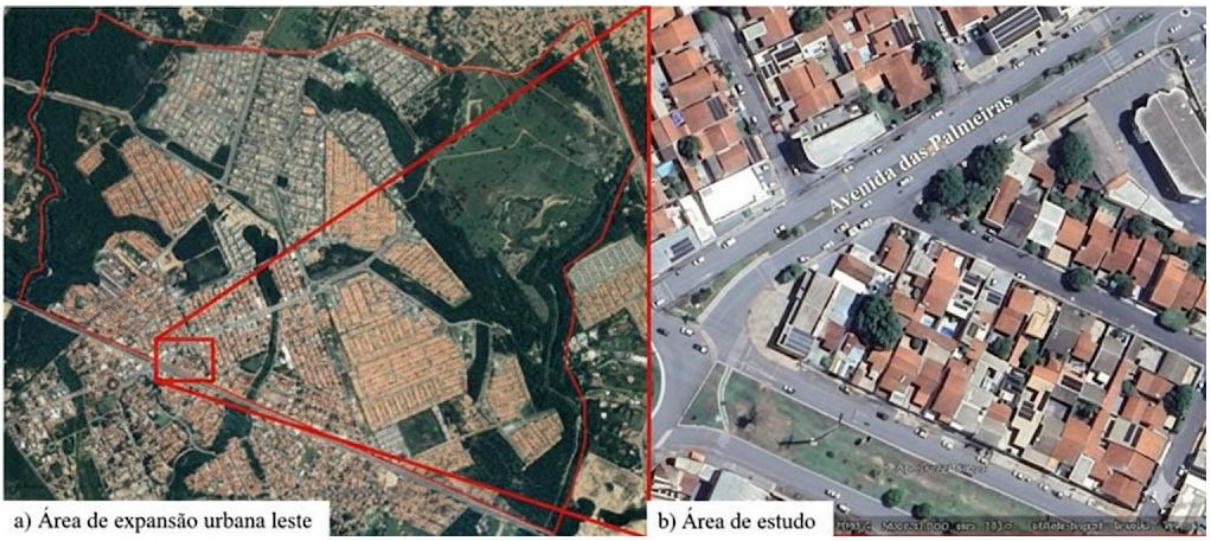


Fonte: Martins (2022).

A intervenção proposta concentrou-se na Avenida das Palmeiras e nas quadras adjacentes, no bairro Jardim Imperial, e foi concebida com o objetivo de melhorar a temperatura do ar, a umidade relativa e o índice PMV por meio da implementação de um corredor verde e da arborização planejada. A estratégia alinhou-se às diretrizes do Plano Diretor de Arborização Urbana de Cuiabá, que priorizou o incremento da cobertura vegetal com espécies nativas do bioma Cerrado, como Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*), Ipê (*Tabebuia spp.*) e Flamboyant (*Delonix regia*).

Essas espécies foram selecionadas por sua capacidade de promover paisagismo sustentável, proporcionar sombreamento, reduzir a radiação solar absorvida e mitigar as ilhas de calor urbanas, contribuindo para o conforto térmico e a sustentabilidade ambiental da região, além de reforçar a identidade cultural com árvores típicas da região (CUIABÁ, 2023).

Figura 2 – Localização da área de estudo na área de expansão urbana leste de Cuiabá



Fonte: Adaptado de Google Earth (2025).

Durante a visita técnica à Avenida das Palmeiras, observou-se uma arborização escassa, composta majoritariamente por palmeiras, que, embora características de florestas tropicais, não são nativas do Cerrado e apresentam baixa eficiência no sombreamento devido às suas copas menos densas (LISBOA et al., 2019). Essa limitação reduz a capacidade de mitigação das ilhas de calor e do desconforto térmico, reforçando a necessidade de substituição por espécies arbóreas adaptadas ao bioma local, que favoreçam a regulação microclimática e a sustentabilidade ambiental.

2.2. Procedimento de Medição das Variáveis Microclimáticas

Para a simulação das condições microclimáticas no software *ENVI-met*, foram coletados dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar na área de estudo. Inicialmente, os dados de referência foram obtidos da estação meteorológica (83362) do Aeroporto Marechal Rondon, em Várzea Grande-MT, conforme as especificações do *ENVI-met* para garantir a compatibilidade dos parâmetros (BRUSE, 2023). Para validação, medições in loco foram realizadas com um sensor fixo, calibrado, em dias representativos dos períodos seco e chuvoso, assegurando a precisão das simulações e a fidelidade aos dados locais.

Visto que Cuiabá apresenta dois períodos distintos: chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro), as coletas foram realizadas durante três dias consecutivos em cada período, selecionados com base em condições climáticas ideais para minimizar interferências externas, como céu claro, ausência de precipitação, baixa velocidade do vento e umidade relativa reduzida, seguindo recomendações de Oke (2006). No período seco, as medições ocorreram nos dias 20, 21 e 22 de agosto de 2024, e no período chuvoso, em 2, 3 e 4 de janeiro de 2025, sob influência do La Niña, que intensificou as precipitações (INMET, 2025). Previsões climáticas foram monitoradas para garantir a escolha de dias adequados.

As medições foram realizadas com o aparelho datalogger Akrom KR440 (nº de série 20230504772), calibrado em 5 de agosto de 2024 pelo método de comparação direta (PC-09 ver. 01). O equipamento registra temperatura (-40°C a 70°C, precisão ±1°C entre -10°C e 50°C) e umidade relativa (0 a 100% UR, precisão ±3% UR entre 10% e 90% UR) com intervalo de 1 hora, armazenando até 25.000 leituras. O aparelho datalogger Akrom KR440 foi configurado via software, com conexão USB, permitindo exportação de dados em formatos CSV e PDF. A configuração incluiu unidade Celsius e intervalo de 1 hora, sem alteração nos alarmes de limite.

Figura 3 – Datalogger Akrom KR440



Fonte: Autores (2024).

O ponto de coleta foi selecionado na Rua Projetada 1, em um comércio residencial, garantindo proteção contra interferências externas, como radiação solar direta. O datalogger foi fixado em um nicho suspenso na área externa, conforme critérios de Oke (2006).

Figura 4 – Ponto de coleta



Fonte: Adaptado de Google Earth (2025).

Após a coleta nos períodos seco e chuvoso, os dados foram transferidos para o computador e utilizados como entrada no software *ENVI-met* para simular as condições atuais e um cenário com intervenções arbóreas, como corredores verdes e arborização nas quadras. As medições também serviram para validar os resultados das simulações, assegurando sua confiabilidade.

Comparou-se os dados simulados com os reais utilizando a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), avaliando temperatura do ar, umidade relativa do ar e PMV nos horários de 8h, 14h e 20h.

2.3. Procedimento de Modelagem Climática no *ENVI-met*

O *ENVI-met* é um software 3D de alta resolução para simulação de microclimas urbanos, amplamente validado e utilizado em planejamento urbano e adaptação climática. Esta pesquisa empregou a versão gratuita do *ENVI-met Launcher 5.7.2*, com limitações em área simulada, resolução de grade e ausência do índice PET, mas permitindo análises de temperatura do ar, umidade relativa do ar e PMV (ROSSETI, 2013).

A modelagem requer dois arquivos principais: o arquivo de configuração (CF), que define parâmetros como nome, data, duração e condições meteorológicas, e o arquivo de entrada da área (IN), que descreve a geometria urbana em formato ASCII. O arquivo *Simx* consolida as configurações, e o *Simple Forcing* foi usado para inserir médias de temperatura do ar e umidade relativa do ar coletadas por três dias. A calibração comparou simulações com dados reais para maior precisão.

Imagens de satélite em *Bitmap* (*.bmp*) do Google Earth Pro serviram como base para modelar a área de estudo, com grids de 4,8 m x 4,8 m (dx, dy) e 3 m (dz). Edifícios usaram materiais padrão (albedo 0,2–0,3), e árvores foram parametrizadas para Cuiabá-MT (IAF 2,0–3,0). Dois cenários foram criados: o cenário atual, baseado em levantamentos in loco, e um cenário hipotético, com 20–30% mais vegetação. Simulações de 24 horas usaram *Simple Forcing* com saídas horárias.

A calibração ajustou o modelo com medições locais, e os arquivos *.INX* (modelo espacial) *e. SIM* (clima) foram exportados e simulados no *ENVI-core* após verificação.

3. DESENVOLVIMENTO

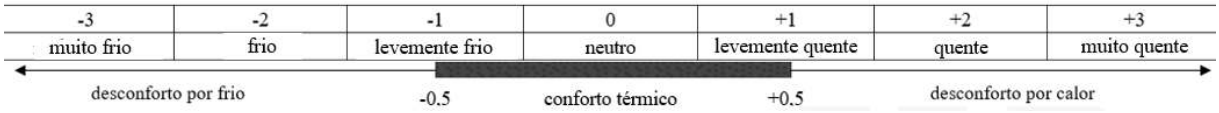
3.1. Resultados das Simulações

O software *ENVI-met* é uma ferramenta de modelagem microclimática tridimensional amplamente utilizada em estudos de climatologia urbana, arquitetura e planejamento

urbano, permitindo simulações de alta resolução (0,5 a 10 m) das interações entre superfícies, vegetação e atmosfera em ambientes urbanos. Baseado nas leis fundamentais da dinâmica de fluidos e termodinâmica, o *ENVI-met* simula parâmetros como temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar, temperatura radiante média (Mean Radiant Temperature – MRT) e índices de conforto térmico, como o voto médio predito (Predicted Mean Vote – PMV, em sua versão gratuita.

O software é reconhecido por sua capacidade de modelar cenários complexos, incluindo trocas de calor e umidade relativa do ar, evapotranspiração de vegetação e dispersão de poluentes, sendo uma ferramenta confiável para avaliar estratégias de mitigação de ilhas de calor urbanas e conforto térmico (BRUSE; FLEER, 1998). A Figura 5 mostra os valores da análise do índice PMV, com a escala de sensação térmica.

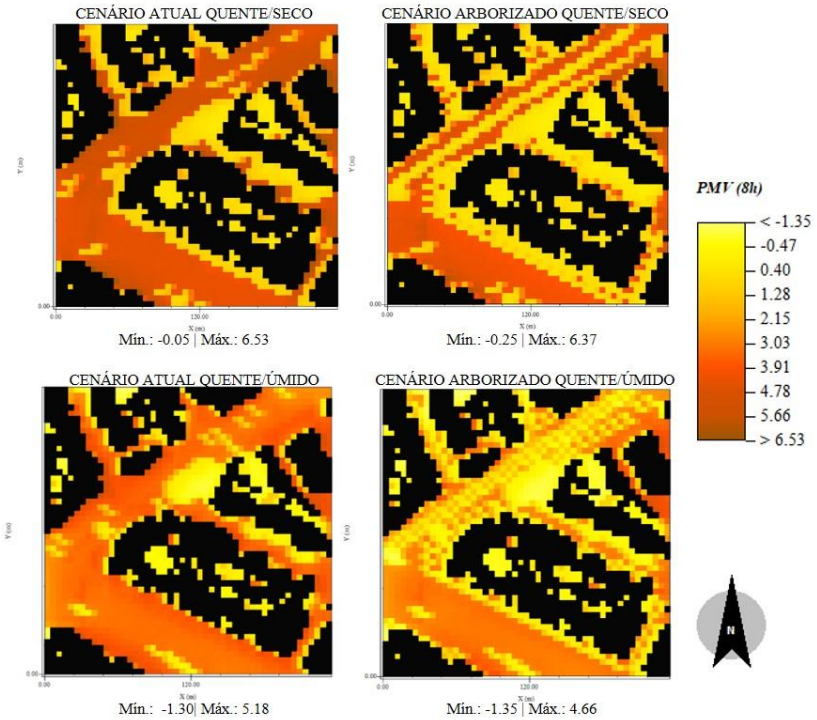
Figura 5 – Escala de sensação térmica do PMV



Fonte: Adaptado de ISO 7730/94 (1994).

Os resultados das simulações no *ENVI-met* demonstraram o impacto positivo da arborização no período seco e no período chuvoso:

Figura 6 – PMV do período seco às 8h



Fonte: Autores (2025).

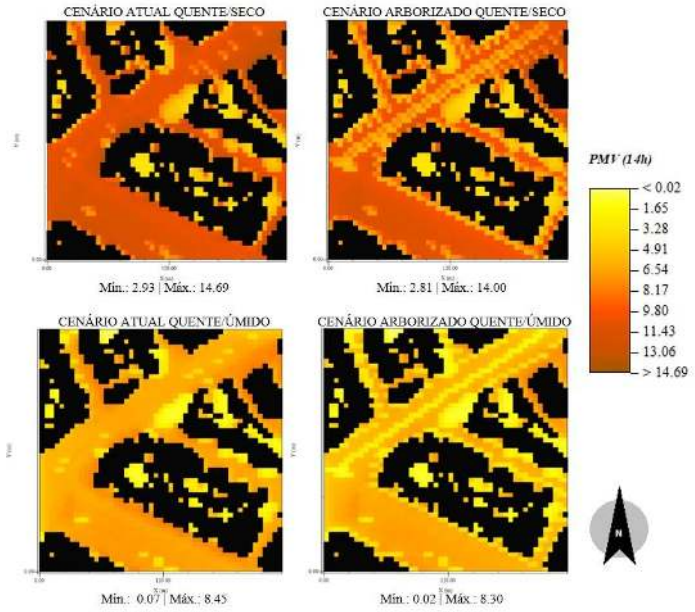
A análise do índice PMV comparou os cenários atual (predominantemente impermeabilizado) e hipotético (com inserção arbórea) às 8h nos períodos seco e chuvoso. No período seco, o cenário impermeabilizado registrou PMV mínimo de -0,05 (quase confortável) a 6,53 (desconforto extremo por calor), enquanto o arborizado variou de -0,25 a 6,37, com leve melhoria no conforto mínimo e redução marginal no calor, limitada pela baixa umidade relativa do ar.

No período chuvoso, o cenário atual apresentou PMV de -1,30 (leve frio) a 5,18 (calor intenso), e o arborizado de -1,35 a 4,66, com redução notável de 0,52 unidades no calor máximo, favorecida pela maior umidade relativa do ar. Apesar do desconforto predominante, a arborização melhorou as condições térmicas, especialmente no período chuvoso.

Estudos realizados na China, como o de Zhang et al. (2022) em Nanjing, utilizaram o *ENVI-met* para avaliar o impacto de áreas verdes em distritos residenciais, constatando que a presença de árvores reduz a MRT e o PMV, com maior eficácia em cenários de maior umidade relativa do ar, embora o aumento da densidade arbórea possa reduzir a ventilação e impactar a dispersão de poluentes.

Essas simulações reforçam a capacidade do *ENVI-met* de prever o desempenho de estratégias de mitigação de ilhas de calor urbanas, como corredores verdes e arborização, especialmente em climas tropicais e subtropicais, onde a umidade relativa do ar desempenha um papel crucial no conforto térmico.

Figura 7 – PMV do período seco às 14h



Fonte: Autores (2025).

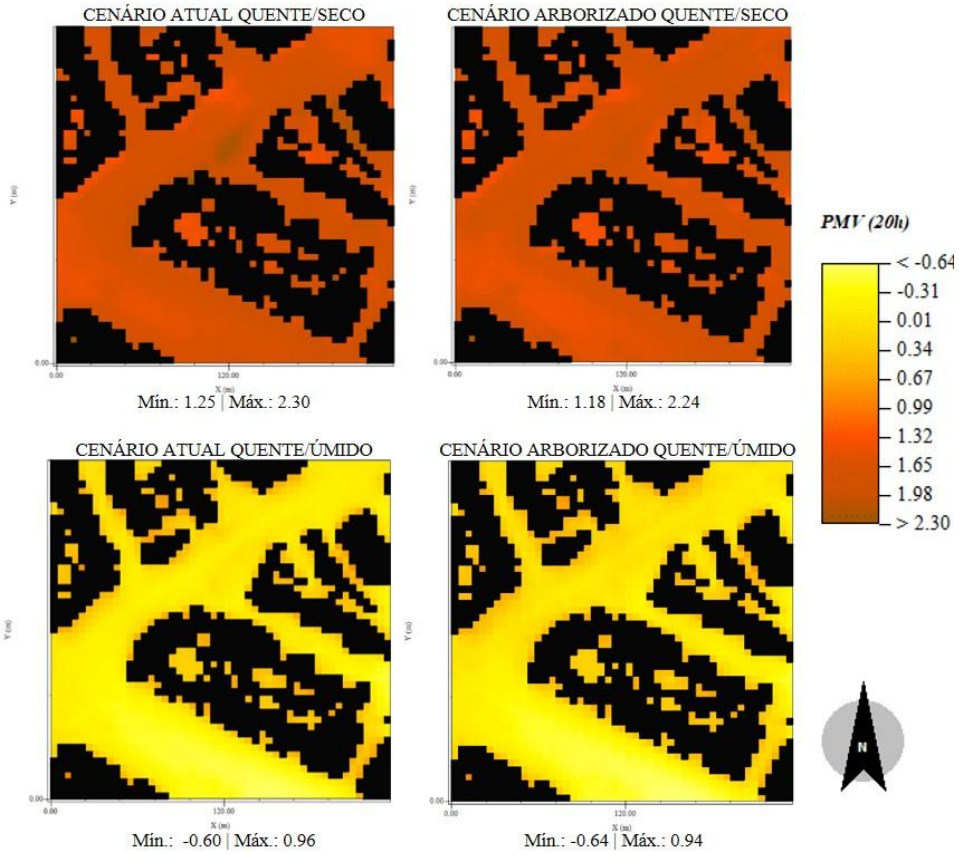
A análise do conforto térmico em Cuiabá às 14h revela condições de desconforto térmico em ambos os cenários avaliados. No período seco, com umidade relativa do ar de aproximadamente 12%, o cenário atual apresentou PMV de 2,93 (desconforto por calor) a 14,69 (extremo desconforto por calor), enquanto o cenário arborizado variou de 2,81 a 14,00, indicando uma redução modesta no desconforto térmico (0,12 no mínimo e 0,69 no máximo). Essa melhoria é atribuída ao sombreamento proporcionado pelas árvores e à limitada evapotranspiração, restrita pela baixa umidade relativa do ar, que reduz a eficiência do resfriamento vegetativo.

No período chuvoso, com maior umidade relativa do ar, o cenário atual registrou PMV de 0,07 (próximo ao conforto) a 8,45 (intenso desconforto por calor), enquanto o arborizado apresentou valores de 0,02 a 8,30, com melhorias sutis nos valores mínimo (0,05) e máximo (0,15). Esses ganhos são favorecidos pela maior umidade relativa do ar, que potencializa a evapotranspiração e o efeito de resfriamento das árvores. Comparados ao intervalo ideal de PMV (-0,5 a +0,5), todos os valores indicam desconforto térmico, mas a arborização proporciona alívio, especialmente no período chuvoso, ao mitigar o calor extremo.

Estudos recentes corroboram esses achados. Em Guangzhou, China, Chen et al. (2024) utilizaram simulações *ENVI-met* para avaliar o impacto de corredores verdes, constatando que a vegetação reduz o PMV em até 0,6 unidades em períodos úmidos, devido ao aumento da evapotranspiração e à diminuição da MRT, embora a baixa ventilação em áreas densamente arborizadas possa limitar a dispersão térmica.

De forma semelhante, um estudo em Bogotá, Colômbia, por Guzmán et al. (2023), em um clima tropical de altitude, demonstrou que a arborização com espécies nativas reduz a temperatura do ar em até 1,2°C e o PMV em 0,4 unidades em condições úmidas, reforçando a eficácia de estratégias de vegetação em climas tropicais, como em Cuiabá.

Figura 8 – PMV do período seco às 20h



Fonte: Autores (2025).

A análise do índice PMV às 20h revelou condições mais amenas em comparação com horários diurnos, mas ainda com desconforto térmico em ambos os cenários avaliados. No período seco, o cenário impermeabilizado apresentou PMV de 1,25 a 2,30 (desconforto moderado por calor), enquanto o cenário arborizado variou de 1,18 a 2,24, indicando uma leve melhoria (0,07 no mínimo e 0,06 no máximo). Essa redução é atribuída ao sombreamento residual das árvores durante o crepúsculo e à evapotranspiração limitada pela baixa umidade relativa do ar, que restringe o resfriamento vegetativo.

No período chuvoso, com maior umidade relativa do ar, o cenário atual registrou PMV de -0,60 (leve frio) a 0,96 (leve calor), enquanto o arborizado apresentou valores de -0,64 a 0,94, com diferenças mínimas (0,04 no mínimo e 0,02 no máximo). A maior umidade relativa do ar potencializa a evapotranspiração, contribuindo para a melhoria do conforto térmico. Fora da faixa ideal de PMV (-0,5 a +0,5), o período seco mantém desconforto por calor, mas, no chuvoso, o cenário arborizado aproxima-se do intervalo de conforto, especialmente em áreas com maior densidade vegetal.

Em Shenzhen, China, Yang et al. (2023) utilizaram simulações *ENVI-met* para avaliar o impacto noturno de áreas verdes urbanas, constatando que a vegetação reduz o PMV em até 0,3 unidades em períodos úmidos, devido à evapotranspiração e à retenção de umidade relativa do ar no microclima, embora o efeito seja limitado à noite pela ausência de radiação solar.

De forma semelhante, um estudo em Manaus, no Brasil, feito por Costa et al. (2024), em um clima tropical úmido, demonstrou que a arborização com espécies nativas reduz o PMV noturno em até 0,2 unidades, com maior eficácia em condições de alta umidade relativa do ar, reforçando o papel da vegetação na mitigação de ilhas de calor urbanas mesmo em horários sem insolação direta. Esses resultados destacam a importância de estratégias de arborização planejada para melhorar o conforto térmico em ambientes urbanos tropicais, especialmente em períodos chuvosos, ainda que os benefícios sejam menos pronunciados à noite.

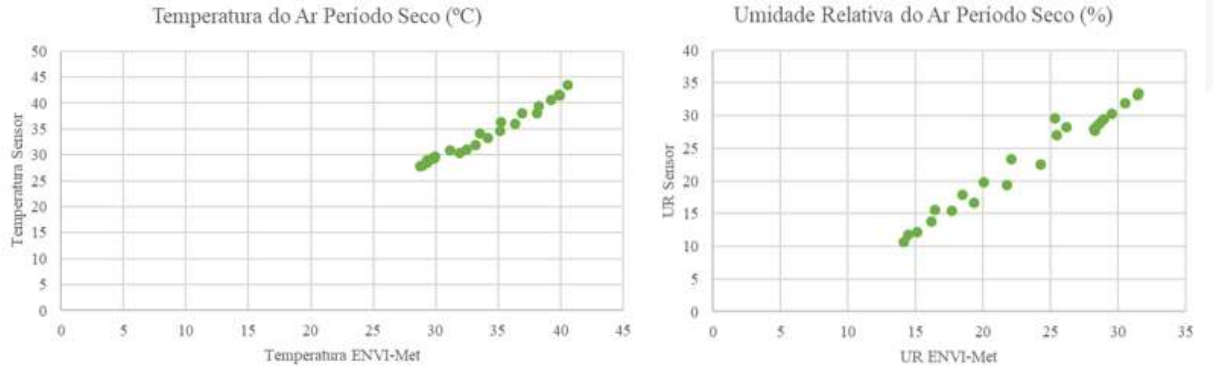
3.2. Resultados da análise estatística

Foi realizada a análise estatística da Raíz Quadrada do Erro Quadrado Médio, ou *Root Mean Square Error* (RMSE), para avaliar a modelagem do software *ENVI-met*, e quantificar a magnitude média dos erros entre os valores previstos por esse modelo e os valores reais coletados no sensor.

O RMSE representa o desvio padrão dos resíduos (as diferenças entre os valores previstos e os reais), e indica quão dispersos estão os erros de previsão do modelo feito pelo *ENVI-met*.

Se os pontos de dados estão próximos da linha de regressão (no caso de uma regressão linear), o RMSE será baixo, indicando um bom ajuste do modelo. Se os pontos estão muito espalhados, o RMSE será alto, devendo ser sempre maior ou igual a zero. Os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar do receptor do *ENVI-met* e da coleta por sensor foram comparados, onde o RMSE foi aplicado. Primeiramente, foi verificada a temperatura do ar e a umidade relativa do ar no período seco (Figura 9).

Figura 9 – RMSE da temperatura do ar e da umidade relativa do ar no período seco

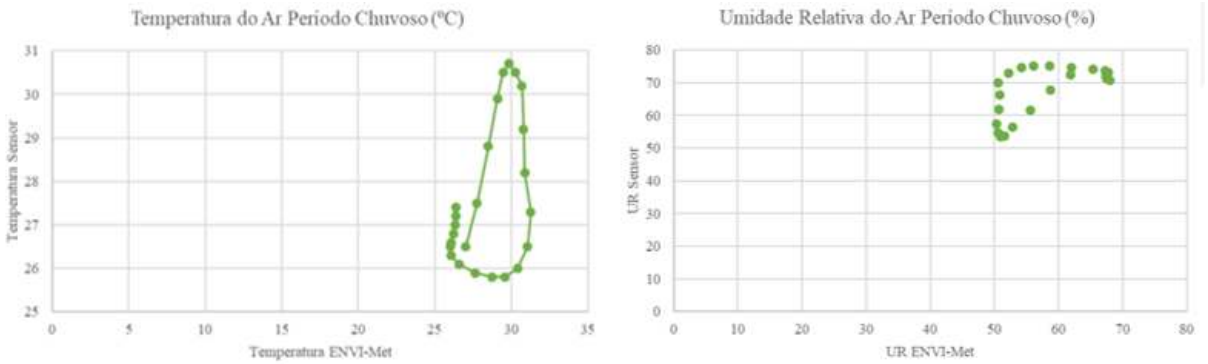


Fonte: Autores (2025).

No período seco, o RMSE para a temperatura do ar foi de aproximadamente 0,91 °C, indicando uma alta precisão do modelo *ENVI-met* em relação aos dados observados. Esse valor, próximo de zero, sugere que o modelo reproduz fielmente as condições térmicas reais, com uma calibração bem-sucedida. Essa acurácia é crucial para a modelagem do conforto térmico, uma vez que a temperatura do ar é um dos principais parâmetros que influenciam o PMV, conforme descrito por Fanger (1970). Estudos como o de Tsoka et al. (2018) destacam que RMSE abaixo de 1,0 °C para temperatura do ar é indicativo de bom desempenho em simulações microclimáticas urbanas, especialmente para aplicações que avaliam o conforto térmico em ambientes externos.

A umidade relativa do ar no mesmo período apresentou um RMSE de aproximadamente 1,6%, considerado baixo e indicativo de uma boa aderência do modelo aos dados coletados. Esse resultado reforça a confiabilidade do *ENVI-met* na representação de variáveis microclimáticas que afetam o PMV, uma vez que a umidade relativa influencia diretamente a percepção de conforto térmico, especialmente em climas tropicais (JOHANSSON & EMMANUEL, 2006). A baixa magnitude do erro sugere que a configuração do modelo foi adequada, permitindo uma representação precisa das condições higrotérmicas — entendidas como a interação entre temperatura e umidade relativa do ar — durante o período seco.

Figura 10 – RMSE da temperatura do ar e da umidade relativa do ar no período chuvoso



Fonte: Autores (2025).

No período chuvoso, o RMSE para a temperatura do ar foi de aproximadamente 1,45 °C, indicando um desempenho satisfatório do modelo *ENVI-met* em comparação com os dados reais. Embora o erro seja ligeiramente superior ao observado no período seco, ele permanece dentro de limites aceitáveis para simulações microclimáticas, conforme reportado por Salata et al. (2016), que indicam RMSE para temperatura entre 1,0 °C e 2,0 °C como adequados para estudos urbanos. Esse resultado é relevante para a estimativa do PMV, uma vez que variações na temperatura do ar impactam diretamente a percepção térmica dos indivíduos, especialmente em ambientes urbanos com alta densidade populacional (GIVONI et al., 2003). Para a umidade relativa do ar no período chuvoso, o RMSE foi de aproximadamente 9,25%, indicando um desvio moderado entre os valores simulados pelo *ENVI-met* e os dados coletados por sensores. Comparado com a literatura, como Tsoka et al. (2018) e Salata et al. (2016), que reportam RMSE para umidade relativa entre 5% e 15% em estudos urbanos, o erro obtido está dentro de uma faixa aceitável. Esse desvio pode ser atribuído a fatores como variações espaciais e temporais da umidade, que são desafiadoras de modelar em ambientes urbanos complexos (YANG et al., 2013).

Entretanto, a análise das tendências espaciais e temporais sugere que o modelo captura satisfatoriamente os padrões gerais da umidade relativa do ar, o que é essencial para a avaliação do PMV em condições úmidas, onde a umidade relativa do ar elevada pode intensificar a sensação de desconforto térmico (FANGER, 1970).

Os resultados de RMSE para temperatura do ar e umidade relativa do ar em ambos os períodos reforçam a confiabilidade do modelo *ENVI-met* para simulações microclimáticas, com implicações diretas para a avaliação do conforto térmico via PMV.

A precisão observada na modelagem da temperatura do ar (RMSE ≤ 1,45 °C) e da umidade relativa do ar (RMSE ≤ 9,25%) indica que o *ENVI-met* pode ser utilizado para estimar o PMV em contextos urbanos, especialmente em climas tropicais, onde a interação entre temperatura do ar e umidade relativa do ar é crítica (JOHANSSON & EMMANUEL, 2006). Estudos como o de Yang et al. (2013) destacam a importância de modelos validados para prever o conforto térmico em ambientes urbanos, e os resultados apresentados corroboram a adequação do *ENVI-met* para essa finalidade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada em uma parte da área de expansão urbana leste de Cuiabá-MT confirmou o impacto positivo da inserção arbórea e de corredor verde na mitigação das ilhas de calor urbanas, com redução significativa da temperatura do ar e aumento da umidade relativa do ar.

A análise do índice PMV revelou melhorias no conforto térmico, com reduções de até 0,69 unidades no período seco às 14h e 0,52 unidades no período chuvoso às 8h, evidenciando o papel da vegetação na atenuação do calor extremo, embora em horários críticos os valores permaneçam fora da faixa ideal (-0,5 a +0,5), e acima de +3, indicando calor extremo, devido às condições climáticas severas, atingindo até +14,69 durante o período da tarde no cenário atual. Às 20h, o cenário arborizado no período chuvoso aproximou-se do conforto térmico, com valores mínimos de -0,64, destacando o efeito benéfico da maior umidade relativa do ar noturna.

Os resultados positivos da arborização, como a redução de até 0,15 unidades no PMV máximo às 14h no período chuvoso, demonstram o potencial das soluções baseadas na natureza para melhorar a habitabilidade urbana. Esses achados embasam a formulação de políticas públicas que priorizem a integração de vegetação nativa e a permeabilização do solo no planejamento urbano, promovendo resiliência climática e qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

AHMED, N. M. et al. Optimizing human thermal comfort and mitigating the urban heat island effect on public open spaces in Rome, Italy through sustainable design strategies. **Scientific Reports**, v. 14, n. 19931, p. 1-16, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-19931-x.

AKBARI, H. et al. Urban heat island mitigation through green infrastructure: Impacts on thermal comfort and energy efficiency. **Sustainable Cities and Society**, v. 102, p. 105234, 2024. DOI: 10.1016/j.scs.2024.105234.

ASHRAE. **ASHRAE Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2020. Disponível em: https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Drenagem Urbana Sustentável: conceitos e abordagens**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BARROZO, L. V. B.; RIBEIRO, E.; VECCHIA, H.; SILVA, F. **A. Conforto térmico em habitações de favelas e possíveis correlações com sintomas respiratórios: o caso do Assentamento Futuro Melhor - SP**. 2011. Tese (Livre-Docência) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-06072011-091727/pt-br.php.

BARROZO, L. V.; LEITE, C.; AMARO JR., E.; SALDIVA, P. H. N. Saúde cardiovascular e habitação: um diálogo importante travado nos assentamentos precários de São Paulo. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 37, n. 109, p. 19-35, 2023. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/fFtvRnp9kqKCKGCWR4qkJ5w/?format=pdf&lang=pt.

BRUSE, M. **ENVI-met user manual: microclimate simulation**. Essen: ENVI-met GmbH, 2023.

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, v. 13, n. 3-4, p. 373-384, 1998. DOI: 10.1016/S1364-8152(98)00042-7.

CAMPELO, JR. J.H.; CASEIRO, F. T.; FILHO, N. P.; BELLO, G. A. C.; MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. G. P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In. 3° Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente. **Anais**. Londrina, v. 1, Comunicações, p. 542-552, 1991.

CHEN, X. et al. Effects of green corridors on thermal comfort in high-density urban areas: a case study in Guangzhou using ENVI-met. **Journal of Environmental Management**, v. 352, 119987, 2024. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119987.

COSTA, R. M. et al. Nocturnal thermal comfort in tropical urban environments: a case study in Manaus using ENVI-met. **Journal of Cleaner Production**, v. 434, 140123, 2024. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.140123.

CUIABÁ. **Prefeitura Municipal de Cuiabá; Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano (IPDU)**. Perfil socioeconômico de Cuiabá. Vol. II. Cuiabá: IPDU/Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano, 2009.

CUIABÁ. **Plano Diretor de Arborização Urbana de Cuiabá**. Cuiabá: Prefeitura Municipal de Cuiabá, 2023.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

GARTLAND, L. **Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas**. London: Routledge, 2010.

GIVONI, B. et al. Outdoor comfort research issues. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 77-86, 2003. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00082-8. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223626731_Outdoor_comfort_research_issues.

GUZMÁN, L. A. et al. Urban greening and thermal comfort in tropical climates: a case study in Bogotá using ENVI-met simulations. **Sustainable Cities and Society**, v. 95, 104611, 2023. DOI: 10.1016/j.scs.2023.104611.

INMET. **Boletim climatológico anual: dados meteorológicos de Cuiabá**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2024.

INMET. **Previsão climática trimestral: La Niña 2025**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2025.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. 2020. Disponível em: http://sonda.ccst.inpe.br/estacoes/cuiaba_clima.html.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730: ergonomics of the thermal environment - analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Geneva: ISO, 1994.

JOHANSSON, E.; EMMANUEL, R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, n. 2, p. 119-133, 2006. DOI: https://doi.org/10.1007/s00484-006-0047-6. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/6929709_The_influence_of_urban_design_on_outdoor_thermal_comfort_in_the_hot_humid_city_of_Colombo_Sri_Lanka#:~:text=Abstract%20and%20Figures,buildings%20and%20no%20shade%20trees.

LEÃO, E. B. **Carta Bioclimática de Cuiabá**. 2007. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 147 f. Cuiabá, MT

LI, X. et al. Quantifying the cooling effects of urban vegetation on thermal comfort: A meta-analysis of PMV in subtropical cities. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 91, p. 128156, 2024. DOI: 10.1016/j.ufug.2024.128156.

LISBOA, G. L.; CUNHA, F. S. da; SILVA, M. R. da. Densidade arbórea e sombreamento nas áreas verdes das quadras residenciais de Palmas, Tocantins. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1650-1662, out./dez. 2019. DOI: 10.5902/1980509836901. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cflo/a/CXsPCyS7SBrZvBmGx6LvFRK/.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT**. 1994. 220f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MACHADO, R.; OLIVEIRA, A. **Clima e urbanização no Centro-Oeste brasileiro**. Cuiabá: Editora UFMT, 2022.

MARQUES, P. M. **Análise comparativa da qualidade ambiental em área de expansão urbana na cidade de Cuiabá-MT entre os anos de 2005 e 2021**. 2023. 155 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2023.

MARQUES, P. da M. et al. Análise da qualidade ambiental em área de expansão urbana na cidade de Cuiabá-MT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 18, n. 05, p. 3573-3587, 2025. DOI: 10.26848/rbgf.v18.05.p3573-3578. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/263220.

MARTINS, Y. I. A. **Análise da qualidade ambiental em área de expansão urbana na cidade de Cuiabá-MT**. 2022. 115 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2022. Disponível em: https://ri.ufmt.br/bitstream/1/5698/1/DISS_2022_Yasmine%20Ibrahim%20Ali%20Martins.pdf.

MESQUITA, J. B. F.; LIMA NETO, I. E. Impacto da impermeabilização na hidrologia de uma bacia urbana. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, XIII., 2020, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: ABRHidro, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/55064.

MORAES, S. L.; ALMENDRA, R.; BARROZO, L. V. Impact of heat waves and cold spells on cause-specific mortality in the city of São Paulo, Brazil. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 239, 113861, 2022. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34688108/.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2. ed. London: Taylor & Francis, 2006.

PINEDA, L. et al. Green corridors in Medellín: Impacts on urban heat mitigation and community resilience. **Cities**, v. 150, p. 104945, 2024. DOI: 10.1016/j.cities.2024.104945.

ROCHA, A. D. Espectro cruzado e coerência wavelet: um estudo de variáveis micrometeorológicas em frações urbanas na cidade de Cuiabá, MT. 2018.**Tese** (Doutorado em

Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018. Disponível em: https://pgfa.ufmt.br/index.php/br/informacoes/corpo-discente/doutorado.

ROSSETI, K. A. C. **Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas com simulação pelo software ENVI-Met**. 2013. 273f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013. Disponível em: https://www.pgfa.ufmt.br/index.php/br/utilidades/arquivos/banco-de-teses/279-karyna-de-andrade-carvalho-rosseti-1/file.

SALATA, F. et al. Urban microclimate and outdoor thermal comfort: a case study in Rome. **Sustainable Cities and Society**, v. 27, p. 435-444, 2016. DOI: 10.1016/j.scs.2016.06.009.

SANTAMOURIS, M. et al. Native vegetation and green corridors: Strategies for urban heat mitigation and biodiversity enhancement. **Landscape and Urban Planning**, v. 245, p. 104987, 2025. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2024.104987.

SANTOS, M.; SILVA, J.; OLIVEIRA, P. Caracterização climática e urbanização em Cuiabá: impactos ambientais. **Revista de Geografia**, v. 10, n. 3, p. 55-70, 2021.

SILVA, G. J. A. Cidades sustentáveis: uma nova condição urbana. Estudo de caso: Cuiabá/MT. 2011. 400 f. **Tese** (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/74915/41025.

SILVA, A. C. B. da; SANTOS, D. J. P. dos. Influência dos parâmetros urbanísticos no conforto térmico em cânions verticalizados de cidade de clima tropical litorâneo. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. **Anais** [...]. [S. l.], 2023. p. 1–10. DOI: 10.46421/encac.v17i1.3810. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3810.

SILVA, J.; SANTOS, A.; MACHADO, R. **Expansão urbana e sustentabilidade em Cuiabá**. Cuiabá: Editora UFMT, 2023.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a terra**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Texto, 558 p., 2003. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/625623256/Decifrando-a-Terra-2-edicao.

TSOKA, S.; TSIKALOUDAKI, K.; THEODOSIOU, T. Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing its adaptation to Mediterranean urban environments. **Sustainable Cities and Society**, v. 43, p. 37-48, 2018. DOI: 10.1016/j.scs.2018.07.033. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327080886_Analyzing_the_ENVI-met_microclimate_model's_performance_and_assessing_cool_materials_and_urban_vegetation_applications-A_review.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Impacto da urbanização na drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 1-13, 2000.

YANG, L. et al. Nocturnal effects of urban greenery on thermal comfort in high-density areas: a case study in Shenzhen using ENVI-met simulations. **Building and Environment**, v. 243, 110672, 2023. DOI: 10.1016/j.buildenv.2023.110672.

YANG, Y.; ENDRENY, T. A.; NOWAK, D. J. A physically based analytical spatial air temperature and humidity model. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 17, p. 9494-9504, 2013. DOI: 10.1002/jgrd.50803. Disponível em: https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/jrnl/2013/nrs_2013_yang-y_001.pdf.

ZARGHAMIPOUR, M. et al. The projected effects of urbanization and climate change on urban heat island and thermal comfort over the Tehran metropolitan. **Science of the Total Environment**, v. 992, p. 179955, 2025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.179955. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40577895/.

ZHANG, H. et al. Surface urban heat island and its relationship with land cover change in five urban agglomerations in China based on GEE. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 82271-82285, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-21452-y. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35750907/.