

Impactos da inserção arbórea na temperatura do ar e umidade relativa do ar em área de expansão urbana de Cuiabá-MT

Impacts of urban tree planting on air temperature and relative humidity in an urban expansion area of Cuiabá-MT

Pauline da Mata Marques

Doutoranda em Física Ambiental, UFMT, Brasil.
paulinemarques@fisica.ufmt.br

Flávia Maria de Moura Santos

Professora Doutora, UFMT, Brasil.
flavia_mms@hotmail.com

Jonathan Willian Zangeski Novais

Professor Doutor, IFMT, Brasil.
jonathan.novais@kroton.com.br

Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira

Professora Doutora, UFMT, Brasil.
mcjanp@gmail.com

RESUMO

Este estudo avalia o impacto de estratégias de inserção arbórea nas variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar em uma parte da área de expansão urbana leste da cidade de Cuiabá-MT, sob condições de altas temperaturas e baixa umidade, visando mitigar os efeitos adversos do clima urbano. A pesquisa utilizou a ferramenta de simulação microclimática ENVI-met para modelar quadras e via com alta impermeabilização e pouca vegetação, no período quente/úmido. Cenários hipotéticos foram simulados com árvores dispostas nas quadras, para maximizar sombreamento e evapotranspiração, e ao longo de uma via, formando um corredor verde. O trabalho preenche a lacuna de estudos quantitativos sobre o papel da vegetação na melhoria da temperatura do ar e umidade relativa do ar em áreas de expansão urbana no Centro-Oeste brasileiro, destacando a relevância de soluções baseadas na natureza em contextos tropicais. As simulações revelaram redução significativa da temperatura do ar nos horários de pico e aumento da umidade relativa do ar, indicando menor estresse térmico com a presença de vegetação. O estudo fornece dados quantitativos que embasam o planejamento urbano sustentável, validando a aplicação do ENVI-met em climas tropicais. Os achados suportam diretrizes para cidades mais resilientes, promovendo conforto térmico, mitigação de impactos climáticos e ambientes urbanos mais saudáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento Urbano. Simulação Microclimática. Inserção Arbórea.

ABSTRACT

This study assesses the impact of tree insertion strategies on air temperature and relative humidity in a section of the eastern urban expansion area of Cuiabá-MT, under conditions of high temperatures and low humidity, aiming to mitigate the adverse effects of urban climate. The research employed the ENVI-met microclimate simulation tool to model blocks and streets with high imperviousness and minimal vegetation during the hot/wet period. Hypothetical scenarios were simulated with trees arranged in blocks to maximise shading and evapotranspiration, and along a street to form a green corridor. The work addresses the gap in quantitative studies on the role of vegetation in improving air temperature and relative humidity in urban expansion areas in Brazil's Central-West region, highlighting the relevance of nature-based solutions in tropical contexts. The simulations revealed a significant reduction in air temperature during peak hours and an increase in relative humidity, indicating reduced thermal stress with the presence of vegetation. The study provides quantitative data to support sustainable urban planning, validating the application of ENVI-met in tropical climates. The findings support guidelines for more resilient cities, promoting thermal comfort, climate impact mitigation, and healthier urban environments.

KEYWORDS: Urban Planning. Microclimatic Simulation. Tree Planting.

1. INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada, ocorrida principalmente em decorrência da Revolução Industrial e do êxodo rural no século XVIII, transformou os padrões de urbanização. Embora impulsionado pelo progresso econômico, tal processo frequentemente carece de planejamento, gerando desequilíbrios nos sistemas ambientais e sociais.

No Brasil, a urbanização se intensificou principalmente no século XX, incentivada pela mecanização rural e pela industrialização. As cidades cresceram rapidamente, sem planejamento urbano ou ambiental, com ausência de políticas públicas voltadas para habitação, meio ambiente e bem-estar social, onde estratégias para melhoria do conforto térmico, como a arborização de vias e espaços públicos, ainda é insuficiente, apesar de evidências científicas sobre seus benefícios. (de Oliveira, 2024).

Em Mato Grosso, a urbanização começou por volta de 1970, principalmente com as políticas de ocupação das regiões Norte e Centro-Oeste, muitas vezes com propósitos exploratórios e sem preocupação com planejamento urbano ou ambiental. Cuiabá, fundada em 1719, expandiu-se de forma desordenada e sem planejamento, o que resulta hoje em degradação ambiental, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, agravadas pela redução de áreas permeáveis e arborização (Santos, 1993).

A ausência de planejamento urbano reflete-se em ações antrópicas como a remoção excessiva de áreas verdes sem reposição adequada, impermeabilização do solo, usos incompatíveis do solo que expõem moradores à poluição, e práticas construtivas com materiais termicamente ineficientes e ambientalmente danosos.

Este estudo analisa uma área em expansão urbana na zona de expansão urbana leste de Cuiabá, onde a urbanização rápida tem causado degradação ambiental e piora na qualidade ambiental urbana significativa (Marques, 2023). Com o crescimento populacional, é essencial repensar as práticas de construção e urbanização para reduzir impactos ambientais e à saúde. Estudos em áreas consolidadas são fundamentais para propor modelos urbanísticos sustentáveis e mudanças do cenário existente.

A urbanização desordenada, desprovida de planejamento ambiental, sobrecarrega ecossistemas e exige estudos que simulem alternativas para melhorar temperatura e umidade em áreas urbanizadas, aprimorando o microclima local. Simulações de intervenções como a inserção da arborização prevista em lei e corredores verdes em vias podem orientar a criação de leis de zoneamento e uso do solo mais eficazes.

Este trabalho avalia o conforto térmico em quadras altamente impermeabilizadas e uma via na zona de expansão urbana leste de Cuiabá, utilizando o software ENVI-met para modelar o cenário atual, e uma intervenção prevendo a arborização nas calçadas das quadras e um corredor verde em via. As simulações visam reduzir a temperatura do ar, aumentar a umidade relativa do ar e melhorar índices de conforto térmico, oferecendo diretrizes para um planejamento urbano sustentável.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A inserção arbórea em áreas urbanizadas é uma estratégia essencial para a mitigação dos impactos climáticos negativos decorrentes da urbanização, especialmente na regulação da

temperatura do ar e da umidade relativa do ar. Em cidades como Cuiabá-MT, onde a urbanização acelerada e desordenada intensifica o desconforto térmico e fenômenos como as ilhas de calor urbanas (ICU), a arborização desempenha um papel crucial na melhoria do microclima, promovendo benefícios ambientais, sociais e econômicos.

A vegetação urbana atua como um regulador natural do microclima, influenciando diretamente a temperatura do ar e a umidade relativa do ar. Árvores reduzem a temperatura por meio de sombreamento, que bloqueia a radiação solar direta, e pela evapotranspiração, que libera vapor d'água, aumentando a umidade relativa do ar e resfriando o ambiente circundante.

Segundo Santamouris *et al.* (2017), a presença de árvores em áreas urbanas pode reduzir a temperatura do ar em até 2–4°C em dias quentes e elevar a umidade relativa do ar em até 10–20%, dependendo da densidade e do tipo de vegetação. Esses efeitos são particularmente relevantes em climas tropicais, como o de Cuiabá, onde altas temperaturas, frequentemente acima de 35°C, e baixa umidade relativa do ar, muitas vezes inferior a 30% durante a estação seca, predominam (Silva *et al.*, 2020).

Rodríguez e Valdez (2024) destacam que a arborização urbana, especialmente com espécies nativas, é fundamental para mitigar os impactos das ilhas de calor urbanas. Os autores enfatizam que árvores nativas, adaptadas ao clima local, promovem maior eficiência na regulação térmica e higrométrica, além de serem mais resilientes a eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, comuns em Cuiabá. Eles defendem o “paisagismo sustentável”, pautado na utilização de espécies regionais para o paisagismo urbano.

O software ENVI-met, um modelo tridimensional de microclima amplamente utilizado na análise de ambientes urbanos, tem sido empregado para simular os impactos da arborização na regulação térmica e higrométrica. Segundo Bruse e Fleer (1998), o ENVI-met permite modelar interações entre superfícies urbanas, vegetação e atmosfera, considerando variáveis como radiação solar, vento, temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Estudos que utilizaram o ENVI-met, como o de Morakinyo *et al.* (2016), demonstraram que a inserção de árvores em áreas urbanas pode reduzir a temperatura do ar em até 2,5°C e aumentar a umidade relativa em 8–15% em cenários tropicais, corroborando os benefícios da arborização em cidades como Cuiabá. Além disso, o ENVI-met permite avaliar configurações específicas, como corredores verdes, que amplificam a ventilação natural e reduzem a concentração de calor em cânions urbanos, promovendo maior conforto térmico.

Em Cuiabá, a urbanização acelerada resultou na supressão de áreas verdes e na alta impermeabilização do solo, agravando as condições climáticas adversas. De Oliveira (2024) aponta que a substituição de vegetação nativa por superfícies pavimentadas intensifica as ICUs, elevando as temperaturas superficiais e reduzindo a umidade relativa do ar. Estudos locais, como o de Almeida e Santos (2023), utilizaram sensoriamento remoto para mapear a impermeabilização em Cuiabá, constatando que áreas com alta densidade de asfalto e concreto apresentam temperaturas superficiais até 8°C superiores às de áreas com cobertura vegetal, além de uma redução de 15–25% na umidade relativa do ar durante os meses mais secos.

A pesquisa de Armson *et al.* (2012) demonstra que superfícies arborizadas podem reduzir a temperatura superficial em até 12°C em comparação com áreas pavimentadas, enquanto a evapotranspiração contribui para a manutenção da umidade relativa do ar. Esse efeito é amplificado em configurações como corredores verdes, que conectam áreas vegetadas, promovendo ventilação natural e reduzindo a concentração de calor em cânions urbanos. Em

Cuiabá, o decreto municipal nº 5.144/2012 regulamenta a arborização pública, priorizando árvores com dossel para sombreamento, mas a ausência de um plano abrangente de arborização limita a eficácia dessas medidas (Cuiabá, 2012).

A influência da arborização na temperatura e umidade é amplamente documentada. Segundo Ballinas e Barradas (2016), em um estudo na Cidade do México, a presença de árvores em áreas urbanas reduziu a temperatura do ar em 1,5–3°C e aumentou a umidade relativa do ar em 5–15% em comparação com áreas sem vegetação. Esses resultados são corroborados por Doick *et al.* (2014), que analisaram o impacto de parques urbanos no Reino Unido, constatando que áreas com alta densidade arbórea apresentaram temperaturas até 4°C mais baixas e maior umidade relativa do ar, especialmente durante ondas de calor.

Em contextos tropicais, como o de Cuiabá, a arborização urbana deve ser priorizada, devido às condições climáticas extremas. Garcia e Labaki (2024) investigaram o impacto da arborização viária em cidades brasileiras, concluindo que árvores de grande porte com dossel denso podem reduzir a temperatura radiante média em até 10°C em ruas urbanas, além de aumentar a umidade relativa do ar em 10–12%.

Esses benefícios são maximizados quando combinados com pavimentos permeáveis, que permitem maior infiltração de água e amplificam os efeitos da evapotranspiração. Simulações realizadas com o ENVI-met em contextos brasileiros, como as conduzidas por Garcia e Labaki (2024), indicaram que a combinação de árvores de grande porte e pavimentos permeáveis pode reduzir a temperatura radiante em até 12°C em ruas urbanas, com um aumento de 10–15% na umidade relativa do ar, especialmente em áreas com alta densidade de construção.

Ferreira e Ugeda Júnior (2021), em um estudo específico sobre Cuiabá, utilizaram imagens ASTER para analisar a variação da temperatura superficial em Zonas Climáticas Locais (LCZs). Os autores verificaram que áreas com cobertura arbórea densa (LCZ A) apresentavam temperaturas até 5°C mais baixas e maior umidade relativa em comparação com áreas densamente construídas (LCZ 2 e 3).

Esses resultados reforçam a importância de estratégias como a inserção de corredores verdes e arborização na mitigação das ICUs em Cuiabá. Complementarmente, simulações com o ENVI-met em Cuiabá, conforme estudo de Souza *et al.* (2023), demonstraram que a inserção de árvores nativas em áreas urbanas densas (LCZ 2) pode reduzir a temperatura do ar em até 3°C e aumentar a umidade relativa em 10–12%, com maior eficácia quando combinada com corredores verdes e pavimentos permeáveis.

Além disso, estudos recentes sobre o clima de Cuiabá destacam os desafios impostos pela alta impermeabilização. Segundo Costa *et al.* (2022), a expansão urbana na região leste de Cuiabá resultou em uma redução de 40% nas áreas permeáveis entre 2000 e 2020, contribuindo para o aumento da temperatura média do ar em 1,5°C e uma diminuição da umidade relativa em até 20% em áreas urbanizadas. Esses dados corroboram a necessidade de estratégias de arborização para contrabalancear os efeitos da impermeabilização e do rigor climático local.

Além da regulação térmica e higrométrica, a arborização urbana oferece benefícios sociais, como redução do estresse e melhoria da saúde mental, e econômicos, como valorização imobiliária e redução de custos com energia devido à menor necessidade de climatização (De Oliveira, 2024).

Contudo, desafios persistem, incluindo a falta de planejamento integrado e a seleção

inadequada de espécies. Ahern (2002) destaca que corredores verdes requerem planejamento em múltiplas escalas para garantir conectividade ecológica e eficácia climática, enquanto Nucci (2008) enfatiza a necessidade de políticas públicas que incorporem o planejamento da paisagem para equilibrar desenvolvimento urbano e conservação ambiental.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada na cidade de Cuiabá, capital de Mato Grosso, 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 possui uma extensão de 3.538,17 km², sendo 254,57 km² de macrozona urbana e 3.283,60 km² de área rural (Santos *et al.*, 2013).

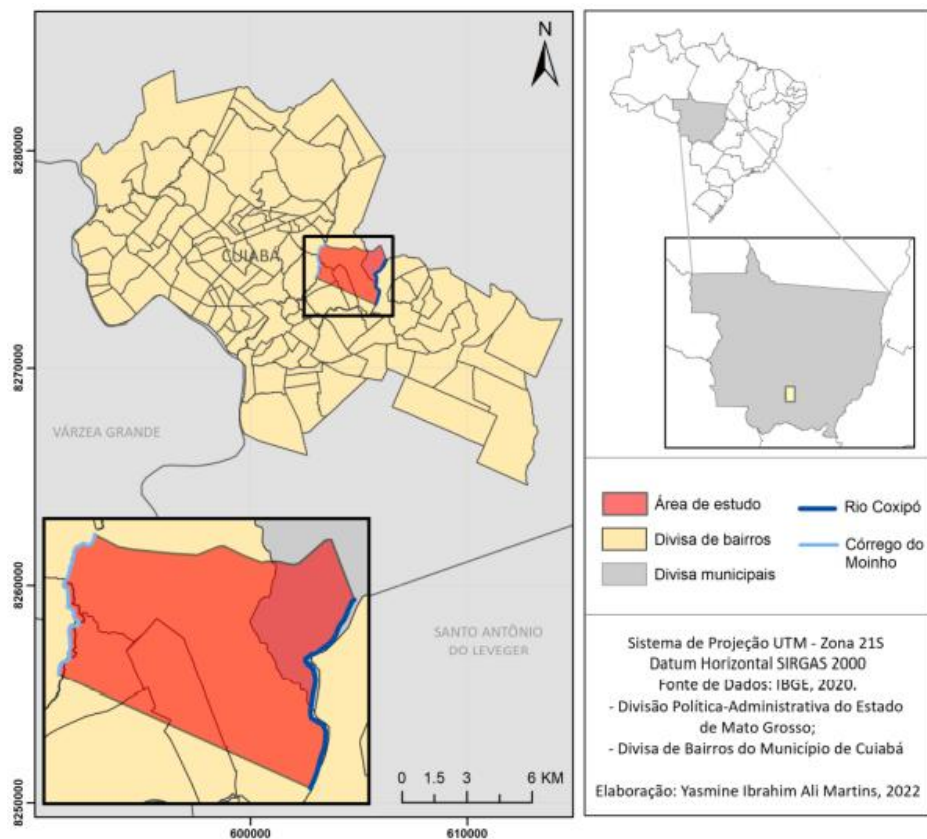
O clima de Cuiabá, classificado segundo Köppen-Geiger como tropical continental semiúmido (Aw), caracteriza-se pela ausência de influência marítima e por duas estações definidas: uma chuvosa, de outubro a março (primavera e verão), com maior precipitação no verão, e outra seca, de abril a setembro (outono e inverno), com chuvas reduzidas. As condições térmicas são influenciadas pela localização continental, amplitude latitudinal, relevo e sistemas de circulação atmosférica, conforme apontado por Monteiro (1951), Maitelli (1994), Machado *et al.* (2015) e INMET (2023).

Complementarmente, Tarifa (2011) enquadra o município na Subunidade Intrarregional Megatérmica Úmida dos Baixos Planaltos e Depressões (IIID3), parte da Unidade Climática Tropical Continental Alternadamente Úmida e Seca, destacando-se o elevado aquecimento do solo e do ar próximo à superfície, devido à baixa altitude e ao relevo plano ou suavemente ondulado, que contribuem para menores totais pluviométricos e temperaturas elevadas, caracterizando a região como megatérmica.

Adicionalmente, a baixa frequência e velocidade dos ventos, com direção predominante norte-noroeste durante a maior parte do ano e sul no inverno (Campelo Jr. *et al.*, 1991; Santos *et al.*, 2013), intensificam os efeitos do ambiente urbano impermeabilizado, reduzindo trocas térmicas por convecção e agravando impactos das mudanças climáticas, como o aumento da temperatura do ar e a diminuição da umidade relativa. A combinação de urbanização intensa e condições climáticas megatérmicas favorece a formação de ilhas de calor urbanas, demandando estratégias como arborização adequada para mitigar esses efeitos e melhorar o conforto térmico.

A área de pesquisa abrange 5,74 km² na região leste de Cuiabá, incluindo partes dos bairros Jardim Imperial, Recanto dos Pássaros e 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 01).

Figura 01 - Localização da área de estudo na região do bairro Jardim Imperial e adjacências em Cuiabá-MT



Fonte: Martins, 2022

A área de intervenção, situada no perímetro de estudo na região leste de Cuiabá, foi selecionada com o objetivo de promover melhorias na temperatura do ar e na umidade relativa do ar. Para tanto, propõe-se a implementação de um corredor verde ao longo da Avenida das Palmeiras, aliado à arborização nas quadras adjacentes, conforme estipulado pela legislação municipal.

Essa estratégia procura destacar o papel da vegetação urbana na mitigação de ilhas de calor e na melhoria da qualidade ambiental. Além disso, a arborização planejada segue as diretrizes do Plano Diretor de Arborização Urbana de Cuiabá, que visa aumentar a cobertura vegetal para melhorar o microclima e a qualidade de vida da população, conforme orientações da Lei Complementar nº 150, de 29 de janeiro de 2007 (Cuiabá, 2007), que estabelece normas para o paisagismo e a arborização urbana, priorizando o uso de espécies nativas (Figura 02).

Figura 02 – Imagem de satélite da localização com destaque das áreas de intervenção



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2025

Durante a visita in loco à Avenida das Palmeiras, constatou-se a presença de escassa arborização, predominando palmeiras, como sugerido pelo nome da via. Contudo, essas árvores, típicas de florestas tropicais e pertencentes à classe das monocotiledôneas, não favorecem o sombreamento adequado e não são nativas do bioma Cerrado, característico da região de Cuiabá. Essa escolha de espécies limita a capacidade de mitigação das ilhas de calor urbanas, visto que árvores de copas densas e adaptadas ao bioma local promovem o conforto térmico e a sustentabilidade ambiental em áreas urbanas do Centro-Oeste brasileiro.

3.2. Procedimento de modelagem no ENVI-Met

Para parâmetros de entrada atmosférica e validação do modelo, os dados de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento foram obtidos a partir da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), código A901, localizada em Cuiabá, referentes ao período chuvoso, compreendendo médias dos dias 02 a 05 de janeiro de 2025.

A escolha desse intervalo temporal foi baseada na representatividade do período chuvoso para a análise das condições climáticas locais, com o objetivo de fornecer dados confiáveis para as simulações no software ENVI-met. Os dados foram extraídos diretamente do banco de dados do INMET, disponível em sua plataforma oficial, utilizando os registros horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Os valores horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram organizados em planilhas para cálculo das médias, que foram utilizadas como entrada para o software ENVI-met, a fim de parametrizar as condições climáticas nas simulações.

O software ENVI-met 5.7.2, versão gratuita, foi empregado para realizar as simulações microclimáticas. Os dados médios de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram inseridos no módulo de configuração climática do software, onde as simulações foram configuradas para representar as condições típicas do período chuvoso na área de estudo, com o objetivo de avaliar a temperatura do ar e a umidade relativa do ar no cenário atual, e o impacto da inserção da vegetação nestas variáveis.

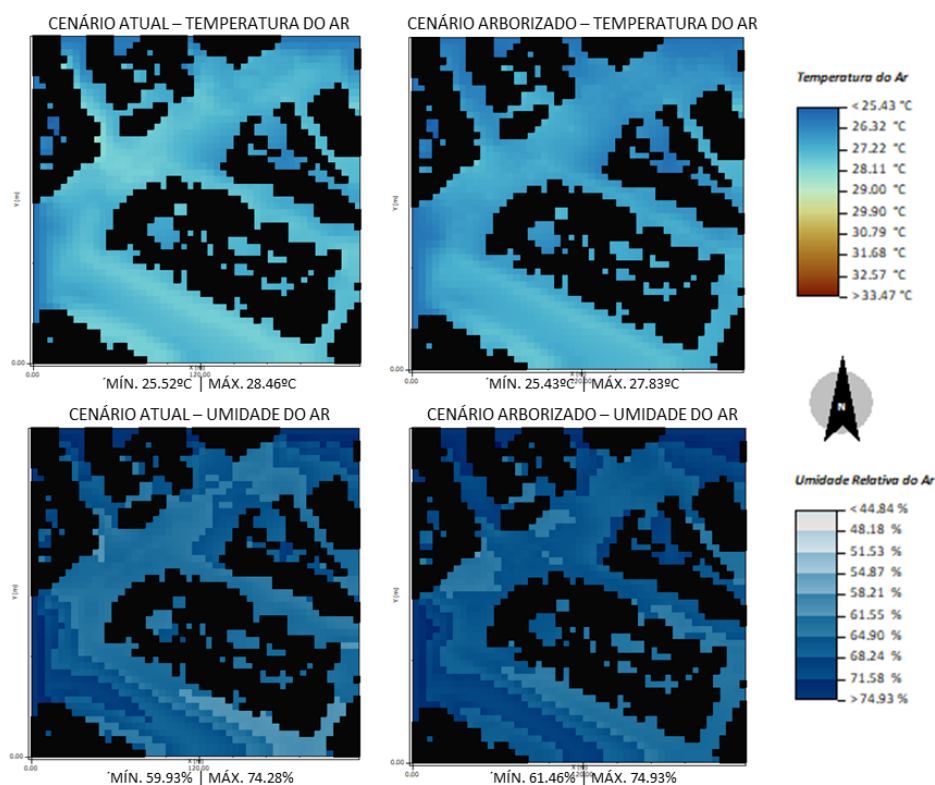
A área foi dividida em grids configurados com a resolução de 4.8 m x 4.8 m no plano

relativa do ar entre o cenário atual e arborizado, pois, a umidade relativa do ar atua como regulador térmico, moderando extremos de temperatura ao aumentar a disponibilidade de umidade e apoiar o resfriamento evaporativo. Isso é corroborado por pesquisas que mostram que o aumento da cobertura arbórea, como simulado, não apenas reduz as temperaturas, mas também mantém níveis mais altos de umidade, contribuindo para um ambiente térmico urbano equilibrado (Huter *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2021).

4.1. Simulações das 08h

As simulações realizadas por meio do software ENVI-met no período da manhã, às 8h, revelam melhorias significativas nas condições microclimáticas ao se comparar o cenário atual (predominantemente impermeabilizado) com o cenário arborizado (com inserção arbórea). Observa-se que houve diminuição de temperatura do ar e o aumento da umidade relativa do ar, nas regiões em que foram inseridos os indivíduos arbóreos, nas calçadas e no corredor verde (Figura 04).

Figura 04 – Cenário atual e arborizado às 8h
HORÁRIO: 8H



Fonte: Autoria Própria.

Em termos de temperatura do ar, o cenário atual apresenta uma mínima de 25,52°C e uma máxima de 28,46°C, enquanto o cenário arborizado reduz esses valores para uma mínima de 25,43°C e uma máxima de 27,83°C. A diminuição média de temperatura na área, em geral, é atribuída aos efeitos de sombreamento e evapotranspiração proporcionados pelas árvores inseridas, melhorando o conforto térmico na área de estudo durante as horas da manhã.

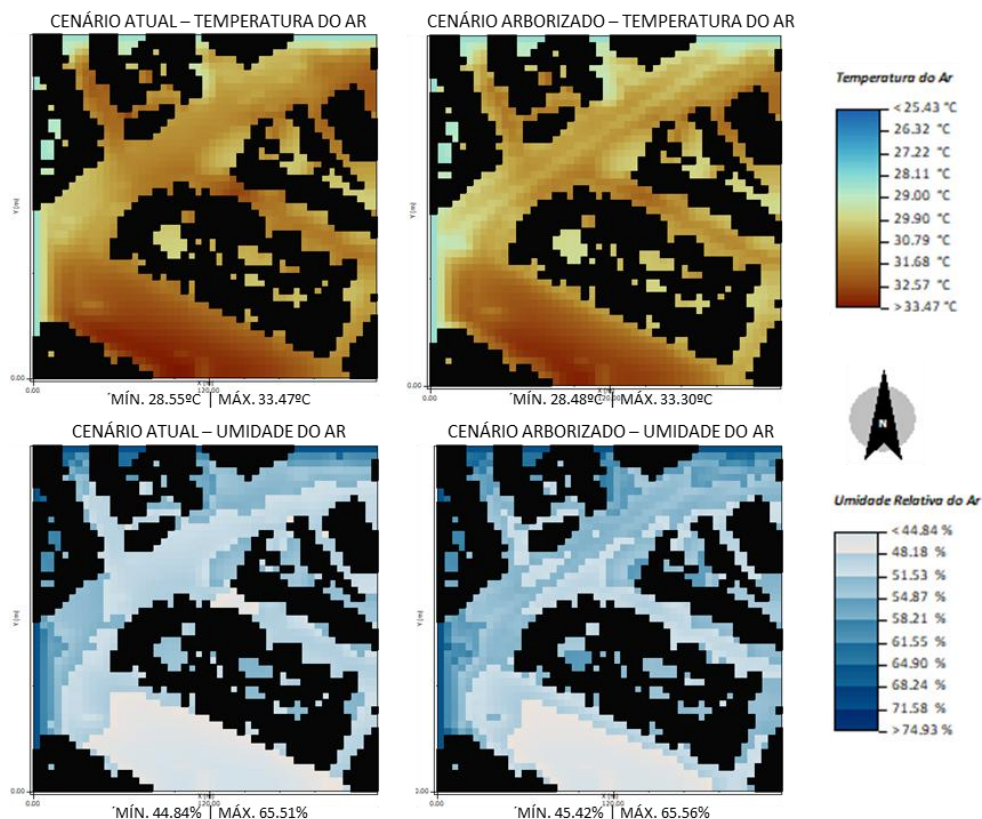
Quanto à umidade relativa do ar, a simulação indica um aprimoramento notável no cenário arborizado. O cenário atual registra uma umidade relativa mínima de 59,93% e uma máxima de 74,28%, enquanto o cenário arborizado eleva esses valores para uma mínima de 61,46% e uma máxima de 74,93%, provavelmente devido à maior retenção de umidade e transpiração das copas das árvores.

As simulações destacam o potencial da inserção arbórea no ambiente urbano para mitigar o efeito de ilha de calor e melhorar os níveis de umidade relativa do ar, corroborados por estudos como Yang *et al.* (2020), que documentaram reduções de temperatura do ar de até 2°C em cidades chinesas, e Zhang *et al.* (2019), que observaram incrementos de 5-10% na umidade em ambientes urbanos áridos. As melhorias observadas enfatizam a importância de integrar a arborização no planejamento urbano para aprimorar a qualidade ambiental e a habitabilidade.

4.2. Simulações das 14h

Nas simulações do período da tarde, às 14h, os benefícios da inserção arbórea são mais significativos (Figura 05). A menor umidade relativa do ar foi detectada no período vespertino, chegando a 44,84%, onde também se nota a temperatura do ar mais elevada, atingindo 33,47%. No cenário arborizado, observa-se a diminuição da temperatura e o aumento da umidade, principalmente nas regiões que foram arborizadas, no corredor verde e no entorno das quadras, que melhoram o microclima local.

Figura 05 – Cenário atual e arborizado às 14h



Fonte: Autoria Própria.

A diminuição da temperatura do ar máxima foi em grande parte devido aos efeitos de sombreamento e evapotranspiração das árvores inseridas. Outrossim, a simulação revela melhoria da umidade relativa do ar no cenário arborizado, resultado da maior retenção de umidade e transpiração das copas das árvores.

Esses achados são corroborados por diversos estudos, incluindo uma pesquisa em Piracicaba que verificou que o acréscimo de 14,31% a 27,70% de cobertura arbórea pode reduzir a temperatura em 1°C dependendo da estação (Duarte, 2015), um estudo em Brasília que mostrou uma queda de 2,5°C a 3°C em áreas vegetadas (Fröhlich; Matzarakis, 2016), uma investigação em Barcelona que observou uma redução de 2,7°C nas temperaturas ao nível dos pedestres em ruas densamente arborizadas (Rion *et al.*, 2017), e uma pesquisa em Mossoró que confirmou temperaturas mais baixas e maior umidade em zonas bem arborizadas durante períodos quentes e secos (Oliveira *et al.*, 2011).

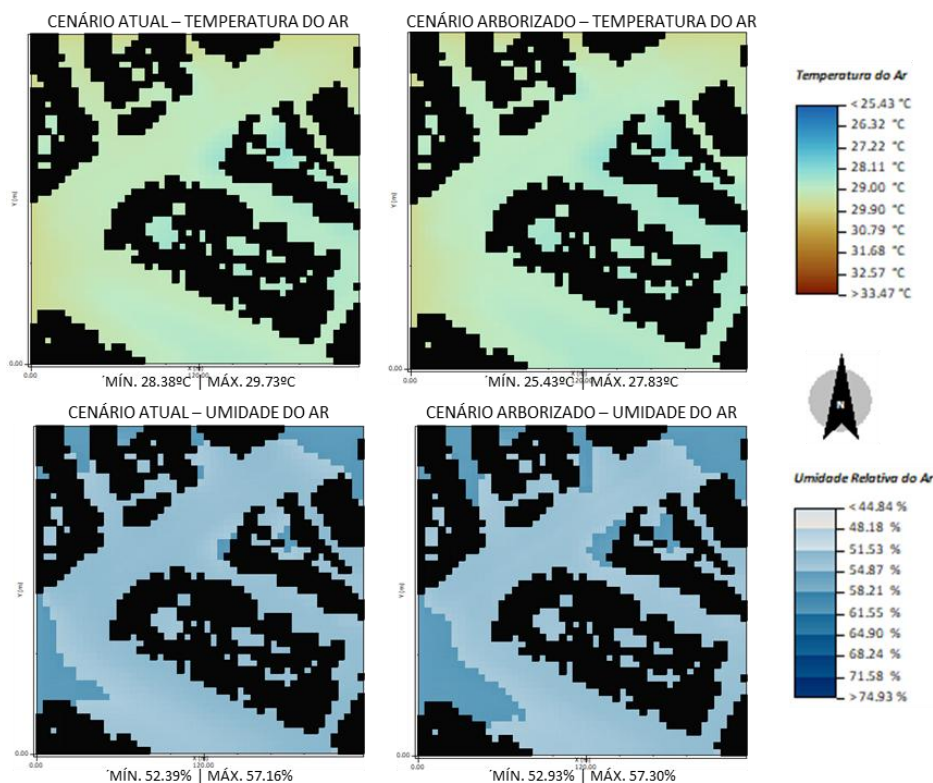
A inserção arbórea é fundamental para a melhoria da temperatura do ar e da umidade relativa do ar no microclima, reforçando a importância de estratégias de infraestrutura verde para mitigar os efeitos das ilhas de calor urbanas, especialmente em horários de maior insolação e desconforto térmico, como o período da tarde em cidades como Cuiabá. Destaca-se a importância da vegetação urbana no aumento da umidade relativa do ar em períodos quentes, devido à liberação de vapor d'água pelas folhas. Esse aumento na umidade pode melhorar o conforto térmico, visto que a baixa umidade relativa pode intensificar a sensação de calor.

4.3. Simulações das 20h

Durante o período noturno, os efeitos de resfriamento da vegetação são importantes, mesmo somados à ausência de radiação solar direta e à liberação de calor armazenado pelas superfícies urbanas. A alta umidade relativa do ar neste período, e a pouca variação nas variáveis com a inserção arbórea, reforça que a vegetação desempenha um papel positivo na regulação térmica e na manutenção de níveis de umidade relativa do ar mais elevados, o que pode melhorar o conforto térmico e a qualidade do ar (Figura 06).

Figura 06 – Cenário atual e arborizado às 20h

HORÁRIO: 20H



Fonte: Autoria Própria.

A temperatura do ar teve uma diminuição média de cerca de 1,9°C, atribuível aos efeitos de sombreamento e evapotranspiração das árvores, melhorando o conforto térmico noturno. Já a umidade relativa aumentou em média 0,14%, devido à maior retenção de umidade e transpiração das copas das árvores. Esses achados estão alinhados com diversas pesquisas, como a pesquisa em Salzburg que mostrou resfriamento significativo de árvores maduras (Rahman *et al.*, 2019) e uma análise global indicando melhorias na umidade em ambientes urbanos com aumento da cobertura arbórea (Zhang *et al.*, 2017), modelados pelo software ENVI-met (Huter *et al.*, 2020).

Um relatório da Environmental Protection Agency (EPA, 2021) sobre ilhas de calor urbanas destaca que a vegetação pode ajudar a reduzir temperaturas noturnas, mas o impacto depende de fatores como a densidade da cobertura vegetal e a ventilação urbana. Além disso, a vegetação contribui para benefícios adicionais, como a melhoria da qualidade do ar e a redução do estresse térmico para os habitantes. No geral, os resultados obtidos validam a eficácia do ENVI-met na modelagem dos impactos da vegetação nos climas urbanos, reforçando a importância de estratégias de arborização urbana para aprimorar a qualidade ambiental e a habitabilidade à noite.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou que a inserção arbórea em uma região da área de expansão

leste de Cuiabá-MT, por meio de arborização nas calçadas das quadras e da implementação de um corredor verde na Avenida das Palmeiras, é uma estratégia eficaz para diminuir a temperatura do ar e aumentar a umidade relativa do ar na zona de expansão urbana leste de Cuiabá-MT. Porém, para melhores resultados e melhorias, deve-se pensar em maior inserção arbórea, especialmente dentro dos lotes.

As simulações realizadas com o software ENVI-Met revelaram reduções significativas na temperatura do ar, especialmente nos horários de pico térmico. Esses resultados destacam o papel da vegetação urbana na mitigação das ilhas de calor urbanas, promovendo um microclima mais ameno e confortável em áreas altamente impermeabilizadas, e também em períodos do dia em que o desconforto térmico é maior.

Os resultados obtidos reforçam a importância de soluções baseadas na natureza, como a arborização com espécies nativas de copas densas, para enfrentar os desafios climáticos em contextos tropicais como Cuiabá, onde altas temperaturas e baixas umidades predominam. A pesquisa validou a aplicação do ENVI-met como ferramenta confiável para simulações microclimáticas em climas tropicais, fornecendo dados quantitativos que embasam o planejamento urbano sustentável. Além dos benefícios térmicos, a vegetação urbana contribui para a qualidade do ar, a saúde mental dos moradores e a valorização de áreas urbanas, alinhando-se aos objetivos de cidades mais resilientes e habitáveis.

Por fim, o estudo também destaca a necessidade de políticas públicas que priorizem a arborização planejada, conforme estipulado no Plano Diretor de Arborização Urbana de Cuiabá, e a integração de corredores verdes no desenho urbano. Recomenda-se a adoção de espécies nativas do Cerrado, mais adaptadas às condições locais, para maximizar os benefícios microclimáticos e ecológicos. Este estudo preenche uma lacuna no conhecimento sobre o impacto da vegetação em áreas de expansão urbana no Centro-Oeste brasileiro, oferecendo diretrizes para a formulação de leis de zoneamento e uso do solo que promovam ambientes urbanos mais saudáveis e sustentáveis. Futuras pesquisas podem explorar a combinação de arborização com outras estratégias, como pavimentos permeáveis, para ampliar os benefícios climáticos e socioambientais.

REFERÊNCIAS

AHERN, J. Greenways as strategic landscape planning: Theory and application. **Landscape and Urban Planning**, v. 58, n. 2-4, p. 147–160, 2002.

AHERN, J. Greenways as strategic landscape planning: theory and application. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 62, n. 3, p. 131-155, 2002.

ALMEIDA, R.; SANTOS, J. Análise da impermeabilização do solo e ilhas de calor urbanas em Cuiabá -MT utilizando sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, n. 2, p. 345-360, 2023.

ARMSON, D.; STRINGER, P.; ENNOS, A. R. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 11, n. 3, p. 245–255, 2012.

ARMSON, D.; STRINGER, P.; ENNOS, A. R. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. **Urban Forestry & Urban Greening**, Amsterdam, v. 11, n. 3, p. 245-255, 2012.

BALLINAS, M.; BARRADAS, V. L. The urban tree as a tool to mitigate the urban heat island in Mexico City: A simple phenomenological model. **Journal of Environmental Quality**, v. 45, n. 1, p. 157–166, 2016.

BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software, Amsterdam**, v. 13, n. 3-4, p. 373-384, 1998.

CAMPELO JR., J. H. et al. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 3., 1991, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: [s.n.], 1991. v. 1, p. 542-552.

COSTA, F.; SILVA, M.; PEREIRA, L. Impactos da expansão urbana na permeabilidade do solo e no microclima de Cuiabá-MT (2000-2020). **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 123-140, 2022.

CUIABÁ. **Decreto nº 5.144**, de 10 de outubro de 2012. Regulamenta a arborização pública no município de Cuiabá. Diário Oficial do Município, Cuiabá, ano 10, n. 1234, p. 1-5, 11 out. 2012.

CUIABÁ. **Decreto nº 5.144**, de 15 de fevereiro de 2012. Regulamenta a arborização pública em áreas urbanas e sedes distritais. Cuiabá: Prefeitura Municipal, 2012.

CUIABÁ. **Lei Complementar nº 150**, de 29 de janeiro de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá e dá outras providências. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br>. Acesso em: 4 jul. 2025.

DE OLIVEIRA, M. Arborização urbana e seus benefícios socioeconômicos em Cuiabá-MT. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 16, n. 1, p. 78-92, 2024. Disponível em: <http://www.revistagestaourbana.org.br/artigos/2024/oliveira.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2025.

DE OLIVEIRA, S. B. B. **O impacto da arborização viária no conforto térmico em diferentes cenários de cobertura arbórea**. 2023. 168 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2023.

DOICK, K. J.; PEACE, A.; HUTCHINGS, T. R. The role of one large urban park in mitigating the urban heat island effect. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 13, n. 4, p. 718–727, 2014.

DOICK, K. J.; PEACE, A.; HUTCHINGS, T. R. The role of one large urban park in mitigating the urban heat island effect. **Urban Forestry & Urban Greening**, Amsterdam, v. 13, n. 4, p. 718-727, 2014.

DUARTE, D. H. S., et al. The impact of vegetation on urban microclimate: A study in Piracicaba, Brazil. **Urban Ecosystems**, 18(3), 789-802, 2015.

EPA. Heat Island Effect: Mitigation Strategies. United States **Environmental Protection Agency**, 2021. Disponível em: <<https://www.epa.gov/heatlands/heat-island-cooling-strategies>>. Acesso em: 01 jul. 2025.

FERREIRA, H. V. L.; UGEDA JÚNIOR, J. C. Variação da temperatura da superfície através de imagens Aster em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 1-15, 2021. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14217>>. Acesso em: 25 abr. 2025.

FERREIRA, R.; UGEDA JÚNIOR, J. Análise da temperatura superficial em Zonas Climáticas Locais (LCZs) em Cuiabá -MT utilizando imagens ASTER. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 73, n. 2, p. 210-225, 2021.

FRÖHLICH, D., & MATZARAKIS, A. (2016). Modeling the effects of urban greenery on thermal comfort in Brasília. **Theoretical and Applied Climatology**, 126(1-2), 21-32, 2016.

GARCIA, A.; LABAKI, L. Impacto da arborização viária no conforto térmico em cidades brasileiras: estudo com simulações ENVI-met. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 24, n. 1, p. 45-60, 2024. Disponível em: http://www.ambienteconstruido.org.br/artigos/2024/garcia_labaki.pdf. Acesso em: 03 jul. 2025.

GARCIA, T.; LABAKI, L. Avaliação da flutuação da temperatura de globo em função da proximidade de copas de árvores. Estudo de caso: Chapéu de sol (Terminalia catappa). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, [S.l.]. **Anais [...]**. [S.l.]: ANTAC, 2024. p. 1-10. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/6179/4745>>. Acesso em: 25 abr. 2025.

HUTER, A., et al. Validation of ENVI-met for urban microclimate modeling under different climatic conditions. **Urban Climate**, 32, 100589, 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020**. Brasília: INMET,

2023. Disponível em: <<https://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 3 jul. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados da Estação Meteorológica Automática A901 - Cuiabá**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 4 jul. 2025.

MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S.; QUERINO, C. A. S.; DANELICHEN, V. H. de M.; VELASQUE, M. C. S. Seasonal and interannual pattern of meteorological variables in Cuiabá, Mato Grosso State, Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 33, n. 3, p. 1-10, 2015.

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

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

MONTEIRO, C. A. F. Derivações antropogenéticas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. **Ra'ega**, Curitiba, v. 1, n. 5, p. 197-226, 2001.

MORAKINYO, T. E.; KONG, L.; LAU, K. K.-L.; YUAN, C.; NG, E. A study on the impact of shadow-cast and tree species on the thermal performance of urban streets: a case study with ENVI-met. **Building and Environment**, Amsterdam, v. 104, p. 262-275, 2016.

NUCCI, J. C. Planejamento da paisagem e conservação ambiental em áreas urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008, p. 203-225.

NUCCI, J. C. Planejamento da paisagem: Conceitos e aplicações. **Revista Geografia**, v. 17, n. 2, p. 7–15, 2008.

OLIVEIRA, R. S.; SILVA, T. C.; PEREIRA, L. M. Impactos da arborização urbana no conforto térmico em cidades tropicais. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 4, p. 255-270, 2020.

OLIVEIRA, S., et al. Urban heat island mitigation by green spaces in Mossoró, Brazil. **Environmental Research Letters**, 6(2), 024004, 2021.

RION, R., et al. Cooling effect of urban trees on pedestrian thermal comfort in Barcelona. **Building and Environment**, 125, 1-11, 2017.

RODRÍGUEZ, M.; VALDEZ, J. Paisagismo sustentável e mitigação de ilhas de calor urbanas com espécies nativas. **Revista Brasileira de Planejamento Urbano**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 101-118, 2024.

RODRÍGUEZ, S. L.; VALDEZ, N. P. D. Mobiliário urbano para corredores verdes en Monterrey y su área metropolitana. MADGU. Mundo, Arquitectura, **Diseño Gráfico y Urbanismo**, v. 7, n. 13, p. 1-23, 2024. Disponível em: <<https://madgu.unison.mx/index.php/madgu/article/view/105/117>>. Acesso em: 25 abr. 2025.

SALATA, F., et al. Relating microclimate, human thermal comfort and health during heat waves: An analysis of heat island mitigation strategies through a case study in an urban outdoor environment. **Energy and Buildings**, 152, 501-514, 2017.

SANTAMOURIS, M.; DING, L.; FIORITO, F.; OLDFIELD, P.; OSMOND, P.; PAOLINI, R.; PRASAD, D.; SYNNEFA, A. Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects. **Solar Energy**, v. 154, p. 14-33, 2017.

SANTAMOURIS, M.; DING, L.; OSMOND, P. Urban heat island mitigation through urban greening: a review of strategies and their effectiveness. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 149, p. 254-268, 2017.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993.

SANTOS, R. C.; SILVA, J. A.; CAMPELO JR., J. H. Dinâmica climática e urbanização em Cuiabá. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 9, n. 1, p. 78-92, 2013.

SILVA, J.; COSTA, R.; SANTOS, M. Condições climáticas e desconforto térmico em Cuiabá-MT: análise da temperatura e umidade relativa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 567-580, 2020.

SOUZA, L.; FERREIRA, M.; ALMEIDA, R. Simulações de microclima em Cuiabá-MT com ENVI-met: impactos da arborização em áreas urbanas densas. **Revista Brasileira de Climatologia**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 89-104, 2023. Disponível em: http://www.revistaclimatologia.org.br/artigos/2023/souza_ferreira.pdf. Acesso em: 03 jul. 2025.

TARIFA, J. R. Regionalização climática do Brasil: Uma proposta para os trópicos continentais. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 16., 2011, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: [s.n.], 2011.

YANG, J., et al. The cooling effect of urban green spaces on local climate: A case study in Beijing, China. **Urban Forestry & Urban Greening**, 54, 126770, 2020.

YANG, J., et al. Green infrastructure and its benefits for urban climate adaptation: A review using bibliometric and meta-analysis tools. **Sustainable Cities and Society**, 67, 102749, 2021.

ZHANG, L., et al. Impact of urban tree canopy on microclimate in arid regions: A study in Xi'an, China. **Landscape and Urban Planning**, 189, 51-60, 2019.