



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

ROBERTA DANIELA DE SOUZA COLOMBO

**MODELAGEM PREDITIVA PARA ANÁLISE DOS EFEITOS DA
RECONFIGURAÇÃO DA MORFOLOGIA URBANA**

**Cuiabá - MT
2025**

ROBERTA DANIELA DE SOUZA COLOMBO

**MODELAGEM PREDITIVA PARA ANÁLISE DOS EFEITOS DA
RECONFIGURAÇÃO DA MORFOLOGIA URBANA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisitos parcial para obtenção do título de Doutora em Física Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Flávia Maria de Moura Santos
Coorientador: Prof. Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais

**Cuiabá - MT
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C718m Colombo, Roberta Daniela de Souza.

Modelagem preditiva para análise dos efeitos da reconfiguração da morfologia urbana [recurso eletrônico] / Roberta Daniela de Souza Colombo. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 83 f., il. color., pdf). -- 2025.

Orientadora: Flavia Maria de Moura Santos.

Coorientador: Jonathan Willian Zangeski Novais.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2025.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Conforto térmico. 2. Voto Médio Predito. 3. Vegetação e clima urbano. I. Santos, Flavia Maria de Moura, *orientador*. II. Novais, Jonathan Willian Zangeski, *coorientador*. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MODELAGEM PREDITIVA PARA ANÁLISE DOS EFEITOS DA RECONFIGURAÇÃO DA MORFOLOGIA URBANA

AUTORA: DOUTORANDA ROBERTA DANIELA DE SOUZA COLOMBO

Tese defendida e aprovada em 31 de MARÇO de 2025.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. PROFA DRA. FLAVIA MARIA MOURA SANTOS [Presidente Banca / **[ORIENTADORA]**]

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. PROF. DR. JONATHAN WILLIAN ZANGESKI NOVAIS [Coorientador]

INSTITUIÇÃO: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO DE MATO GROSSO

3. PROFA DRA. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA [Examinadora Interna]

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

4. PROF. DR. JOÃO BASSO MARQUES [Examinador Interno]

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

5. PROF. DR. MARCOS DE OLIVEIRA VALIN JR [Examinador Externo]

INSTITUIÇÃO: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO DE MATO GROSSO

6. PROFA. DRA. NATALIA SANCHES E SOUZA [Examinador Externo]

INSTITUIÇÃO: CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VÁRZEA GRANDE

CUIABÁ, 31/03/2025.



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO SACARDI BIUDES, Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 03/04/2025, às 11:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **FLAVIA MARIA DE MOURA SANTOS, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 03/04/2025, às 11:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Natalia Sanches e Souza, Usuário Externo**, em 03/04/2025, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jonathan Willian Zangeski Novais, Usuário Externo**, em 03/04/2025, às 13:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcos de Oliveira Valin Jr, Usuário Externo**, em 03/04/2025, às 14:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 14/04/2025, às 12:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **7764293** e o código CRC **81EE6710**.

Dedico este trabalho à minha filha, Maria Clara, que é a luz da minha vida.
À minha mãe, Conceição Colombo, meu exemplo de coragem e honestidade.

Ao meu irmão Eleandro.

Ao meu pai, Antônio Damazio, e ao meu irmão, Anderson Damazio, com a intenção de
eternizar e honrar suas memórias durante a minha vida.

E aos amigos que estiveram ao meu lado nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço primeiramente a Deus que em sua infinita bondade, ignorou o meu pouco merecimento e me capacitou para superar todos os desafios.
- Agradeço a minha família pela paciência e compreensão devido a constante ausência. Obrigada por acreditarem em mim!
- Agradeço aos meus amigos de jornada Ian, André, Amanda, Pauline, Rafaelli, Henrique, e em especial Vanusa e Valery por toda cumplicidade, sou infinitamente grata pela parceria e colaboração direta durante todo processo de aprendizagem.
- Agradeço à minha amiga Ana Cristina Hillesheim (*In Memoriam*), que partiu tão cedo, mas deixou uma marca permanente em minha vida. Seu encorajamento constante e suas palavras de sabedoria me deram força. Embora ela não esteja aqui para ver a conclusão deste trabalho, sei que ela estaria orgulhosa.
- Agradeço com profundo respeito ao Professor José de Souza Nogueira (*In Memoriam*), conhecido como “Professor Paraná”, era mais do que um mentor acadêmico; sempre oferecendo acolhimento, sabedoria e apoio incondicional aos alunos, e, não me deixou desistir no momento mais difícil.
- Agradeço aos Professores do PPGFA que contribuíram para meu crescimento intelectual.
- Agradeço a meus Orientadores Flávia e Jonathan, pela confiança e excelência no labor e que diante de minha inquietude na expansão do saber, me tornei no presente o reflexo do “Mestre” que foram e sempre serão para mim.
- A CAPES pelo apoio financeiro para esta pesquisa científica.

“Cada pessoa deve trabalhar para o próprio aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, participar da responsabilidade coletiva por toda humanidade.”

Marie Curie

RESUMO

A urbanização acelerada tem gerado intensas modificações na morfologia das áreas citadinas, alterando o balanço térmico e influenciando a dinâmica do clima local com efeitos diretos no conforto térmico. O objetivo deste estudo foi analisar os impactos da reconfiguração morfológica urbana em área de expansão no município de Cuiabá-MT. Para tanto, foram realizadas modelagens preditivas e simulações tridimensionais com o software ENVI-met, associadas à análise do conforto térmico pelo índice Voto Médio Predito (Predicted Mean Vote - PMV) para diferentes horários utilizando o módulo BIO-met, e nos períodos chuvoso e seco, em quatro cenários distintos em uma área de expansão urbana de Cuiabá-MT: cenário real, cenário com substituição da vegetação por área de estacionamento, cenário residencial unifamiliar e cenário residencial multifamiliar. A precisão do desempenho da simulação foi examinada usando raiz quadrada média do erro (RMSE), pelos coeficientes de determinação (R^2) e correlação (r), além de testes teste t e de Mann-Whitney. Os modelos foram estatisticamente precisos, não havendo diferenças estatisticamente significativas. Os resultados evidenciaram que a substituição da vegetação por superfícies impermeáveis elevou a carga térmica do ambiente, intensificando a sensação de desconforto, em ambos os períodos, com valores de PMV para às 14 horas extremamente desconfortáveis, ultrapassando os limites recomendados (superiores a +3) sendo explicados pelas altas temperaturas locais e uma possível limitação do programa BIO-met para climas tropicais. Assim, diante do aumento de eventos adversos como ondas de calor extremo, estudos sobre uso e ocupação do solo são essenciais para embasar estratégias de planejamento que considerem os impactos das diferentes tipologias construtivas no microclima local, com foco na saúde e bem-estar dos transeuntes, sendo imprescindível promover a conservação e expansão das áreas verdes, além da criação de corredores de sombra em vias e áreas públicas, visando aumentar a resiliência e a habitabilidade das cidades frente às mudanças climáticas, principalmente para cidades de clima tropical.

Palavra-chave: Conforto térmico; Voto Médio Predito; Vegetação e clima urbano.

ABSTRACT

The accelerated urbanization has led to intense modifications in the morphology of urban areas, altering the thermal balance and influencing the dynamics of the local climate with direct effects on thermal comfort. The aim of this study was to analyze the impacts of urban morphological reconfiguration in an expansion area in the municipality of Cuiabá-MT. For this purpose, predictive modeling and three-dimensional simulations were conducted using the ENVI-met software, associated with the analysis of thermal comfort through the Predicted Mean Vote (Predicted Mean Vote - PMV) index for different times using the BIO-met module, and during rainy and dry periods, in four distinct scenarios in an urban expansion area of Cuiabá-MT: real scenario, scenario with vegetation replaced by parking area, single-family residential scenario, and multi-family residential scenario. The accuracy of the simulation performance was examined using root mean square error (RMSE), determination (R^2) and correlation (r) coefficients, as well as t-tests and Mann-Whitney tests. The models were statistically accurate, with no statistically significant differences. The results showed that the replacement of vegetation with impermeable surfaces increased the thermal load of the environment, intensifying the feeling of discomfort in both periods, with PMV values at 2 PM being extremely uncomfortable, exceeding the recommended limits (above +3), explained by high local temperatures and a possible limitation of the BIO-met program for tropical climates. Thus, in the face of increasing adverse events such as extreme heat waves, studies on land use and occupation are essential to support planning strategies that consider the impacts of different building typologies on the local microclimate, focusing on the health and well-being of pedestrians. It is essential to promote the conservation and expansion of green areas, as well as the creation of shade corridors on streets and public areas, aiming to increase the resilience and habitability of cities in the face of climate change, especially for tropical climate cities.

Keyword: Thermal comfort; Predicted Mean Vote ; Vegetation and urban climate.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivo geral.....	19
1.2 Objetivos específicos	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 Clima e estruturas morfológicas em áreas urbanas	20
2.1.1 <i>Fatores climáticos</i>	25
2.1.2 <i>Elementos climáticos</i>	27
2.1.3 <i>Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas Urbanas</i>	31
2.2 Conforto térmico humano em áreas urbanas.....	32
2.2.1 <i>Índices de conforto térmico</i>	33
2.3 Modelo preditivo computacional Envi-Met	35
3 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1 Caracterização da área de estudo	38
3.2 Dados e parâmetros meteorológicos de entrada do modelo.....	41
3.2.1 <i>Simulação do cenário real</i>	46
3.2.2 <i>Simulação do cenário área de estacionamento</i>	47
3.2.3 <i>Simulação do cenário área residencial unifamiliar</i>	47
3.2.4 <i>Simulação do cenário área residencial multifamiliar</i>	49
3.3 Cálculo do Voto Médio Predito (PMV).....	50
3.4 Avaliação da performance do modelo	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 Validação dos modelos	55
4.2 Simulações dos cenários no período chuvoso e seco.....	56
4.3 Frequência de distribuição espacial dos valores do PMV no período chuvoso e seco ...	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	76
REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

O processo de formação e consolidação de uma cidade é um fenômeno dinâmico que resulta em constantes reconfigurações da morfologia urbana.

As cidades, ao se expandirem, por vezes impulsionadas por fatores socioeconômicos e demográficos, substituem vastas áreas de vegetação por infraestruturas urbanas, seja em modelos de ocupação horizontal com extensos bairros residenciais, ou vertical com altos edifícios, e, até mesmo por um uso misto do solo onde prédios e casas coexistem, refletindo a diversidade e a complexidade das formas de ocupação urbana.

A intensificação dos processos de reconfiguração da paisagem urbana não está isenta de consequências, pois a constante supressão da vegetação modifica os fluxos naturais e transforma a paisagem natural em um ambiente construído, ocasionando a deterioração do ambiente térmico citadino.

Neste âmbito, para atender à demanda de crescimento das cidades, novas áreas que outrora tinham uso rural agora são destinadas à sua expansão. Tais áreas, geralmente encontram-se interligados a bairros densamente construídos e já consolidados onde a falta de espaço disponível e a necessidade de adaptação das infraestruturas existentes são obstáculos a implementação de novas áreas verdes, pequenas praças e arborização de vias no intuito de minorar os efeitos sobre o microclima e principalmente a formação das ilhas de calor.

Perante a necessidade de soluções urbanísticas mais sustentáveis frente a eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes como ondas de calor, tempestades intensas e períodos prolongados de seca, torna-se imprescindível repensar a forma como as cidades são planejadas e estruturadas. Ressalta-se que essa pesquisa está alinhada a alguns Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, sendo elas o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) propõe tornar os assentamentos urbanos mais inclusivos, seguros e ambientalmente equilibrados, enquanto o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima) enfatiza a urgência de mitigar os impactos climáticos negativos por meio de estratégias de adaptação e resiliência.

Todavia, mediante a hipótese que a substituição de áreas vegetadas por diferentes padrões de ocupação altera significativamente o microclima local, justifica-se o uso da pesquisa pela necessidade de avaliar os efeitos dessas transformações, particularmente em áreas em processo de expansão urbana.

Assim, na contramão de diversos estudos preditivos de cenários urbanos, que investigam o quão benéfico é para o clima a inserção de vegetação, este por sua vez, tem como propósito

analisar os efeitos da substituição de uma área vegetada por diferentes modelos de ocupação no clima local e em áreas adjacentes, a fim de contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas e práticas de planejamento urbano tornem as cidades mais resilientes e sustentáveis.

1.1 Objetivo geral

Este trabalho teve por objetivo analisar o comportamento termohigrométrico, por meio de simulações, considerando a reconfiguração da morfologia urbana em diferentes padrões de ocupação do solo em área de expansão no município de Cuiabá, Mato Grosso, avaliando seus efeitos sobre o conforto térmico humano

1.2 Objetivos específicos

- a) Descrever a higrotermia da área de estudo em dois períodos distintos: chuvoso e seco;
- b) Investigar por meio da simulação de distintos cenários os efeitos inerentes a substituição de áreas verdes por edificações no conforto higrotérmico, com o auxílio dos índice Voto Médio Predito (Predicted Mean Vote - PMV) .

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Clima e estruturas morfológicas em áreas urbanas

O clima não é estático, e as condições gerais do tempo atmosférico em um dado local passam por constantes processos de modificações naturais, que podem ser constatados quando considerados períodos suficientemente longos de tempo, devido às interações de fatores globais (radiação solar, altitude, latitude, ventos etc.), locais (revestimento do solo, topografia) e elementos (temperatura, umidade, velocidade dos ventos etc.), manifestados em diferentes escalas (ROMERO, 2013; ROCHA et al., 2018).

Assim, pode-se inferir que a distribuição latitudinal da radiação solar, a curvatura da Terra e a inclinação do seu eixo controlam o clima em escalas superiores (global) enquanto as trocas de energia e matéria que ocorrem entre a atmosfera e os fatores presentes na superfície, como relevo e cobertura vegetal influenciam e controlam os elementos climáticos em escalas inferiores (RIBEIRO, 1993; SILVA, 2017).

O termo escala climática é uma referência de valor arbitrada que diz respeito à dimensão, ordem ou grandeza espacial (abrangência) e temporal (duração) que corrobora para o estudo e compreensão dos fenômenos na atmosfera (OLIVER e FAIRBRIDGE, 1987; RIBEIRO, 1993; LAZAROTTO 2015 e MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2017).

Teoricamente, as escalas espaciais de estudos do clima são compartimentada em macroclimática, a mesoclimática e a microclimática; já em relação as escalas temporais a análise é realizada considerando observações no tempo geológico, histórico ou contemporâneo (AYOADE, 2011; BRITO, 2015; MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2017).

Nesta perspectiva, Mendonça e Danni-Oliveira (2017) em seus estudos traçaram um paralelo entre as escalas, que pode ser visualizado na tabela 1, evidenciando a distinção entre os tipos de escala e subdivisões, temporalidade, a área de extensão, tanto vertical quanto horizontal.

Tabela 1 - Tipos de escala e a área de extensão vertical e horizontal

PARALELO ENTRE AS ESCALAS TEMPORAL E ESPACIAL DO CLIMA					
Grandeza	Subdivisões	Escala Horizontal	Escala Vertical	Temporalidade	Exemplo Espacial
Macroclima	Clima zonal	> 2.000 km	3 a 12km	De semanas a décadas	Um hemisfério, um continente, um oceano
	Clima Regional	Até 2.000km	3 a 12km		
Mesoclima	Clima regional	Até 2.000km	12km a 100m	De horas a semanas	Maciços residuais pé-litorâneos (Baturité)
	Clima local	Até 10km	12km a 100m		
	Topoclima	De 10km a m ²			
Microclima	Não há	De centenas a m ²	Abaixo de 100m	De segundos a horas	Uma rua, um parque, beira-rio.

Fonte: Adaptado de Mendonça e Danni-Oliveira (2007)

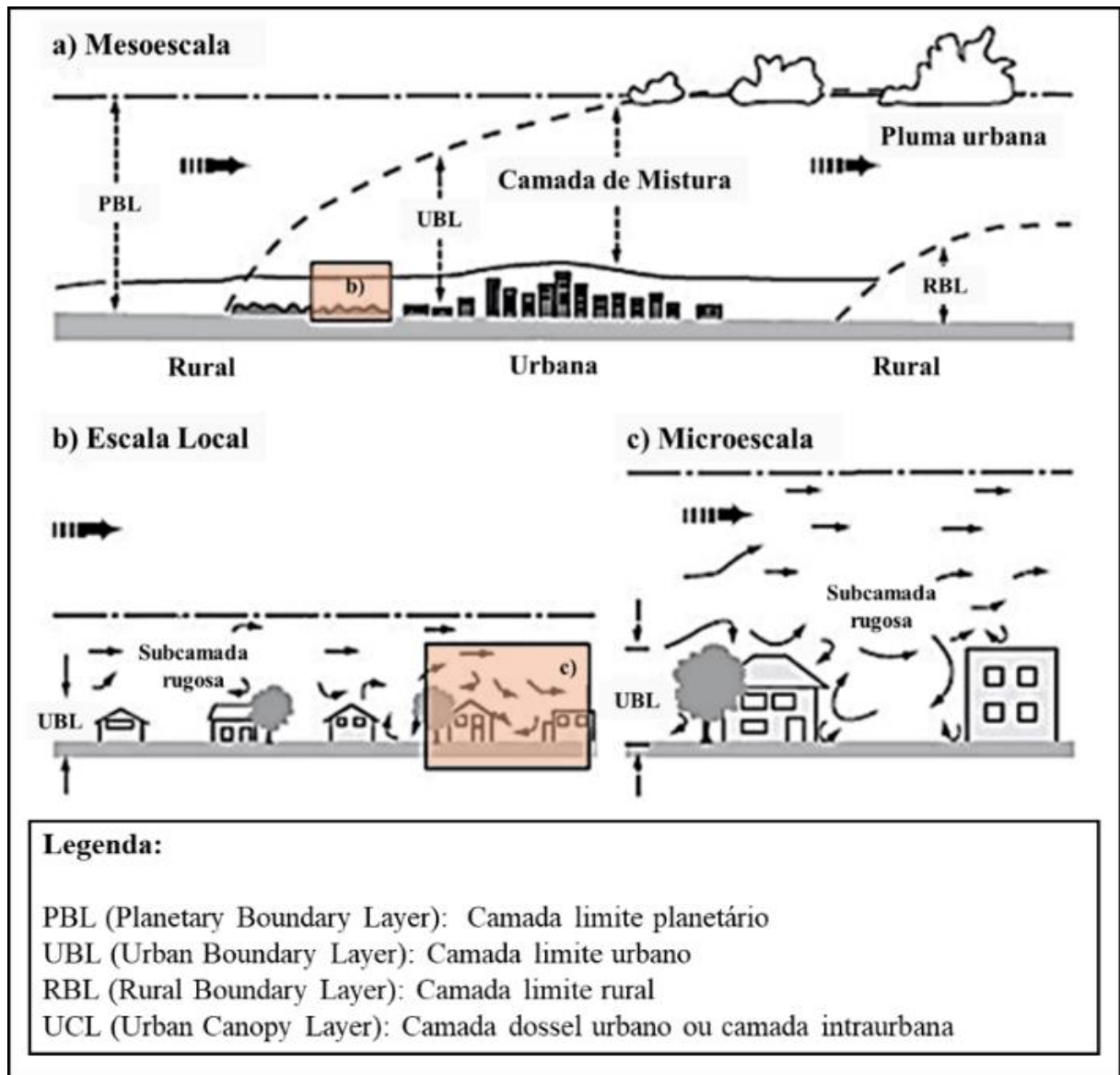
Mediante as informações contidas na tabela 1, pode-se inferir que as análises climáticas transcorrem em grandeza macro, meso e microclimática, atentando-se as subdivisões dos sistemas climáticos globais, regionais e locais considerando a ocorrência dos fenômenos de acordo com a temporalidade, em que a duração varia de segundos a horas na escala micro, de horas a semanas na escala meso e de semanas a décadas na escala macro.

A escala de grandeza macroclimática está relacionada com aspectos dos climas com vasta abrangência de extensões geográficas (como continentes ou países) e com os movimentos atmosféricos em larga escala (AYOADE, 2011), considerando a escala temporal climática de longo prazo, incluindo médias sazonais e variações anuais

Contudo, para que se possa compreender e identificar o ritmo e a dinâmica dos fenômenos climáticos em áreas urbanizadas, faz-se necessário a abordagem do conceito de escala reduzida, considerando os pré-requisitos de classificação como grandeza, subdivisão e área de extensão territorial.

É válido salientar que o clima urbano corresponde apenas uma parte do espectro completo de escalas atmosféricas, além de estar intrinsecamente relacionado ao porte da cidade (megalópole, metrópole, grande, médio ou pequeno), bem como da sua posição no relevo e da compartimentação intra-urbana, e ao considerar tais elementos, os fenômenos urbanos se restringem as escalas de espaço e tempo que mediam entre mesoescala, para grandes áreas metropolitanas e a microescala, para os elementos individuais (MONTEIRO, 1976; OKE, 1978; WANNER; FILLIGER, 1989). Na figura 1 pode-se observar a representação sintetizada dos processos atmosféricos de acordo com cada escala correspondente, a mesoescala, é aquela que engloba a área urbana como um todo; a local, que abrange partes da cidade; e microescala, que compreende ambientes mais restritos como vias e praças (MONTEIRO, 1976; OKE, 1978).

Figura 1 - Escalas espaciais do Clima urbano e Processos atmosféricos que ocorrem nas escalas espaciais urbanas: (a) mesoescala, (b) escala local, limite urbana e (c) microescala ou camada do dossel urbano ou intraurbana. A seta realçada em negrito em cada uma das Figuras secundárias indica o sentido médio o vento. As setas menores, mostradas em (b) e em (c), indicam a natureza do fluxo médio e turbulento



Fonte: Adaptado de OKE, 2017

De forma complementar, além da representação da figura 1 nos estudos de Oke (2017), outros pesquisadores como Scherer et al. (1996) e Andrade (2005) descrevem os três níveis escalares, contudo sem adoção de limites rígidos para estas dimensões:

a) Mesoclima: corresponde à influência integrada da cidade (compreendendo vários climas locais), essencialmente ao nível da Camada Limite Urbana (Urban Boundary Layer - UBL) ou, que representa a interação da atmosfera com o conjunto da cidade.

b) Clima Local: clima de uma área com uma combinação característica de elementos podendo corresponder seja a um tipo de solo diferenciado (bairro, parque urbano), seja a condições topográficas específicas (vale, colina etc.).

c) Microclima: reflete a influência de elementos urbanos individuais e dos seus arranjos mais elementares (edifícios e as suas partes constituintes; ruas, praças, pequenos jardins); a dimensão típica pode ir até cerca de uma centena de metros; a influência direta desses elementos restringe-se à Camada Urbana ao Nível das Coberturas (Urban Canopy Layer - UCL), também chamada de Camada do “Dossel” Urbano, que compreende o espaço entre o solo e o nível médio das coberturas das edificações e representa a interação entre a atmosfera e os elementos urbanos (espaço intra-urbano, micro-escala).

Outra camada também é descrita por alguns trabalhos, a Pluma Urbana (Urban Plume) corresponde a prolongação da camada limite urbana a sotavento da cidade sobre a área rural (ROMERO, 2013; ROBINSON; HENDERSON-SELLERS, 2014).

A relação clima-urbanização tornou-se uma preocupação internacional ao longo dos anos pois, o que outrora foi interpretado como desenvolvimento econômico, quando associados a um planejamento ineficaz causam alterações relevantes ao ambiente citadino, levando a periferização improvisada das cidades, devido a ocupação informal ou pela implantação de conjuntos habitacionais, em áreas de antigas glebas rurais e afastadas das manchas urbanas consolidadas, gerando problemas ambientais e prejuízos sociais (MUNIZ e CARACRISTI, 2015; SILVA, 2020; CARDOSO et al., 2020; GOUVEA; NUCCI; LIBERTI, 2021).

Neste cenário, a preocupação pautou-se em lidar com as implicações das alterações do clima e a eventos naturais extremos em áreas urbanas, visto que mais da metade da população mundial vive nestas áreas, com projeções de aumento de 70% na taxa de urbanização para o ano de 2050, (GRIMM et al., 2008; SETO et al., 2017; DESA, 2018; KUANG, 2019; MENDES, 2020).

Ademais, a de se considerar que no processo de formação e consolidação de uma cidade leva a constante reestruturação urbana, além de atuar como agente transformador da paisagem natural em um ambiente construídos devido a substituição da cobertura natural do solo por superfícies impermeáveis e não evaporativas (como asfalto, concreto e metal), interferem nos padrões de distribuição de energia (radiação, convecção, condução), condições térmicas (calor específico, albedo), condições de umidade do ar (evaporação, precipitação, fluxo superficial) e nos sistemas de circulação de ar, criando condições climáticas particulares a estas áreas, entendidas como clima urbano (GAGO et al., 2013; DENG; WU, 2013; MONTEIRO; MENDONÇA, 2015; ROMERO et al., 2019; GUNGO; CETIN 2021).

De maneira complementar, pesquisadores afirmam que a morfologia da cidade desempenha um papel multifacetado na modulação das condições climáticas em áreas urbanas, de acordo com fatores como propriedades termodinâmicas dos materiais das superfícies, por determinar a quantidade de radiação solar a ser absorvida /refletida/ emitida (KRÜGER; GONZALEZ, 2016; ALCHAPAR et al., 2018).

É importante considerar também a orientação das vias em relação à radiação solar e à direção predominante dos ventos, além da relação entre largura das vias, altura média e disposição das edificações e do fator de céu visível, por influenciarem nos padrões de vento local devido a possíveis desvios no fluxo de ar, resultando em zonas de alta pressão e baixa pressão, afetando a dinâmica e a circulação do ar (ARNFIELD, 2003; NAKATA-OSAKI et al., 2016; TORR et al., 2017; RUI et al., 2019; MUNIZ-GÄAL et al., 2020).

Ressalta-se que a disposição e organização do conjunto características estruturais de uma cidade (como edifícios, vias, praças e espaços públicos) fazem do clima urbano um mosaico constituído por distintos microclimas, isto é, com ocorrência dos mesmos processos em pequenas escalas por toda a cidade, incluindo a formação bolsões de poluição atmosférica, diferenças locais no fluxo dos ventos e zonas de forte superaquecimento (se comparado ao ambiente rural) fenômeno conhecido como ilhas de calor urbano – ICU (DUARTE;SERRA, 2003; COSEO; LARSEN, 2014; DEBBAGE; SHEPHERD, 2015 ; GUO et al., 2015; BENINI; MATIN, 2019).

Tais diferenças entre a temperatura urbana-rural, característico da formação ICU, são decorrentes da alteração do equilíbrio térmico devido modificações na transferência de calor entre a superfície do solo e a atmosfera, em termos de armazenamento de calor, pois superfícies que antes eram permeáveis tornam-se impermeáveis e relativamente secas, favorecendo o armazenamento da radiação incidente e a liberação em forma de radiação térmica durante a noite (SANTAMOURIS, 2012; VAILSHERY; JAGANMOHAN e NEGENDRA, 2013; CARPIO et al., 2020).

Enfatiza-se que durante períodos de calmaria, caracterizados por céu limpo e ventos fracos, há uma maior propensão à formação e intensificação das ICU; por outro lado, maior cobertura de nuvens e ventos mais intensos tendem a reduzir o aquecimento, minorando consideravelmente seus efeitos nas áreas urbanas (VOOGHT e OKE, 2003; OKE et al., 2017).

A título de exemplo, o estudo realizado por Maranholi e Gonzalez (2018) investigou os efeitos da expansão urbana na formação de ICU de Cuiabá - MT por meio de imagens de satélite nos anos de 1986, 1995, 2005 e 2015, em que foi possível observar que nos anos em que a urbanização era menos densa, temperaturas mais elevadas eram pontuais na região Sul da

cidade, pertinente ao distrito industrial, mas com o passar dos anos surgiram outros pontos de altas temperaturas espalhados pela cidade ano de 2015, o que significa que a cidade tem se tornado mais quente.

De acordo com pesquisadores, os efeitos negativos da ICU não resultam apenas em baixa qualidade do ar e aumento da temperatura no ambiente urbano, como também coloca em risco a saúde e o conforto humano, causados pela intensificação das condições climáticas extremas de verão e as ondas de calor recorrentes, sendo assim, o aumento da temperatura é diretamente proporcional ao aumento da taxa de mortalidade e morbidade causada pelo estresse térmico (COSGROVE; BERKELHAMMER, 2018; ROMERO et al, 2019; YADAV et al., 2023).

Por fim, estudar o clima urbano demanda a compreensão dos fatores e elementos que o compõe, que podem ser modificados em função de transformações naturais e/ou antrópicas do meio, corroborando para o aumento das temperaturas e no desenvolvimento de ICU na atmosfera urbana.

2.1.1 Fatores climáticos

Os fatores climáticos são os responsáveis pelas características ou modificações dos elementos que determinam o clima de uma região, como: latitude, altitude, massas de ar, vegetação, relevo, maritimidade e continentalidade (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2017; GOMES, 2022).

Dentre os citados, há os fatores climáticos locais que condicionam, determinam e dão origem, em escala reduzida, a um clima com características particulares (cidade, bairro, rua etc.) os principais são: topografia, cobertura vegetal e o revestimento do solo (ROMERO, 2013; FROTA e SCHIFFER, 2016), com distintas características a serem abordadas seguir:

Topografia

A Topografia é uma ciência que consiste no estudo, descrição e representação minuciosa de um local, considerando nuances do relevo como colinas, montanhas e vales, bacias (presença ou ausência de água), e a influência sobre o clima em relação as escalas as características orográficas de uma região podem influir no clima em meso e/ou microescala, podendo facilitar ou dificultar na direção e velocidade do vento, alterando o perfil térmico e inclusive a qualidade do ar (OKE et al.,2017).

Cobertura vegetal

A cobertura vegetal desempenha um importante papel no equilíbrio higrométrico em escala local, elevando as taxas de umidade relativa, advindo dos processos biológicos dos vegetais (fotossíntese e a transpiração), e reduzindo consideravelmente os valores de temperatura do ar em relação ao seu entorno (PAULA et al., 2016; SILVA e JARDIM, 2017).

Quando a vegetação é bem distribuída o balanço de energia de toda a cidade pode ser modificado pela adição de mais superfícies evaporativas, mais radiação absorvida pode ser dissipada na forma de calor latente, acarretando a diminuição da temperatura urbana (YU; HIEN, 2006).

Então, pode-se dizer que a vegetação atua como agente coadjuvante no arrefecimento do clima devido ao efeito do sombreamento e evapotranspiração, e quanto maior a altura da árvore e maior área de projeção da copa, melhores são os efeitos de sombreamento, resfriamento e umidificação no meio (WANG et al., 2018). Estima-se que um indivíduo arbóreo absorve por meio das folhas cerca de 15 % a 35% da energia luminosa recebida, deixa passar entre 30% e 50% e reflete o restante, de 30% a 40%, no período diurno (ZHANG et al., 2013; MARTINI; BIONDI, 2015; MARTINI et al., 2017). Já no período noturno, a ausência da incidência de radiação solar inibe o processo de fotossíntese e o fechamento dos estômatos impede o resfriamento por transpiração (RENNÓ e BORMA, 2017).

O estudo realizado por Souza et al. (2020) em uma área urbana construtivamente adensada, foram analisados dois transectos com e sem a presença de árvores, nos períodos seco e chuvoso de 2017 em Cuiabá – MT, a diferença de temperatura da superfície da calçada entre os distintos transectos foi $\cong 10^{\circ}\text{C}$ maior em ambas as estações no transecto sem árvores.

Assim, admite-se que uma rede multifuncional de espaços verdes nas cidades pode dar suporte a objetivos sociais e ecológicos pela promoção do resfriamento localizado, fenômeno conhecido como “Ilhas de Frescor Urbano”, além da diminuição de poluição do ar, sonora e visual, servir de abrigo para a fauna que vive nas cidades, constituindo um clima próprio em relação ao espaço edificado envolvente, garantindo bem estar a população (SHASHUABAR; PEARLMUTTER; ERELL, 2009; BASSO; CORRÊA, 2014; ABREU-HARBICH; LABAKI; MATZARAKIS, 2015; KLAUS E KIEHL, 2021).

Revestimento do solo e suas influências no clima

A dinâmica do uso e cobertura da terra e sua impermeabilização são fenômenos indissolúveis na expansão das cidades, sendo ambos aceitos como necessários para o

desenvolvimento humano, mas com sérios efeitos socioeconômicos e ambientais negativos com consequências de longo prazo (FERREIRA, 2018; CRIADO et al., 2020).

A cidade pode ser entendida como um grande espaço heterogêneo, ocupado por uma diversidade de revestimento do solo, com influência direta no comportamento térmico, podendo diferir muito entre várias áreas da mesma cidade (YANG et al., 2018; SALVATI et al., 2019; PATEL; INDRAGANTI ; JAWARNEH, 2024).

Portanto, a morfologia urbana tem um efeito significativo no microclima urbano (LAI et al., 2019; CHEN et al., 2020). Isto ocorre pois, superfícies urbanas, como asfalto, concreto e telhados, têm propriedades térmicas diferentes das superfícies naturais.

O estudo de Oke (2017) aborda uma variedade de tipos de uso do solo urbano, considerando a complexidade das interações entre as atividades humanas microclima local, introduzindo o conceito de Local Climate Zones (LCZ), que classifica áreas urbanas com base em suas características climáticas e morfológicas, como estruturas de edifícios, cobertura do solo e padrões de vento.

A compreensão desses diferentes tipos de uso do solo, incluindo a classificação por LCZ, é fundamental para o planejamento urbano sustentável e a gestão ambiental, visando mitigar os efeitos adversos enquanto promove o desenvolvimento econômico e social das comunidades.

2.1.2 Elementos climáticos

Entender as características dos elementos do clima, bem como as variações rítmicas dos diferentes tipos de tempo é preponderante à qualidade de vida em áreas urbanizadas (SANT e NETO, 2008).

Neste pressuposto, alguns dos principais elementos do clima que condicionam e interferem no mecanismo fisiológico dos seres humanos são: radiação, temperatura do ar, umidade do ar, vento (BURIOL, 2015; PAGNOSSIN, BURIOL e ARAUJO, 2016), abordadas a seguir.

Radiação solar

A radiação solar é a energia radiante proveniente das reações termonucleares do Sol, consideradas como a principal fonte energética mantenedora da vida no planeta Terra.

Tal energia, é constituída por ondas eletromagnéticas que variam de intensidade à medida que adentram a atmosfera, sendo considerada um parâmetro determinante no balanço

energético do planeta, influenciando direta e indiretamente todos os processos que envolvem a dinâmica da atmosfera e o clima (em longas escalas de tempo) devido as trocas energéticas no sistema terrestre (CARLESSO et al., 2019; SANTOS, NUNES e VIANNA, 2021).

Ao atravessar a atmosfera, a radiação solar, em forma de ondas curtas é atenuada por processos físicos, sendo dividida e classificada como: radiação direta, a porção que atinge diretamente o planeta; e radiação difusa, que corresponde a porção de radiação que sofre um espalhamento e alteração de direção por elementos como nuvens e partículas presentes na atmosfera (BADESCU, 2008; LAMBERTS et. al., 2011; CARLESSO et al., 2019; GOMEZ, 2021). Como complemento, há ainda a radiação solar refletida, que como o próprio nome diz, corresponde a fração de radiação que é refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos) de volta para a atmosfera (MENESES, 2012; SOUZA 2018).

A radiação solar é um dos principais contribuintes para o ganho de calor da atmosfera próxima à superfície terrestre, devido sua absorção nos diversos materiais que a revestem, e a consequente troca de calor entre atmosfera e superfície resulta no aumento da temperatura do ar (SENTELHAS; PEREIRA; ANGELOCCI, 2000; STEINKE, 2016). O Centro Nacional de Pesquisas Meteorológicas da França esclarece que o efeito do acúmulo de calor é amplificado pela configuração tridimensional da área urbana, o que restringe o resfriamento do ar durante a noite em comparação com as áreas rurais abertas e sem obstruções, isto significa que a ICU não é criada apenas porque o ar urbano aquece rapidamente, mas também porque se resfria lentamente (CNRM - FRANCE, 2020).

Temperatura do ar

A temperatura do ar (Tar) pode variar diária e anualmente de acordo com a quantidade de insolação recebida inerente ao movimento de rotação e translação da Terra, e a fatores climático como localização geográfica, quantidade de nuvens, relevo e natureza da superfície, considerando-se o início da tarde o período mais quente e o fim da madrugada o mais fresco (AYOADE, 2011; YNOUE et al., 2017; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2017). Após o pôr do sol, inicia-se e o arrefecimento radiativo da superfícies e consequentemente do ar, em resposta a perda de calor da superfície por emissão de radiação de onda longa para o espaço, principalmente em condições de céu limpo (SANTOS. et al., 2007; CARNEIRO 2018).

Umidade relativa do ar

Outro elemento do clima de suma importância é a umidade relativa do ar (UR), devido sua influência em diferentes contextos, tantos relacionados ao clima quanto a saúde humana.

Assim a UR, consiste em uma medida da quantidade de vapor de água contido no ar atmosférico (umidade absoluta) sob o ponto de saturação (quantidade máxima que poderia haver na mesma temperatura), variando conforme a temperatura do ar (FROTA; SCHIFFER, 2006; OLIVEIRA, 2007). A relação entre umidade absoluta e umidade no ponto de saturação é expressa em percentual e varia de acordo com a quantidade de vapor de água no sistema atmosférico, indo de 0% , ar seco, ou seja, quando não há a presença de vapor de água no sistema, até 100% quando o ar úmido está saturado.

O vapor de água representa cerca de 4% do volume atmosférico, e sua flutuação é maior no verão do que no inverno, de forma análoga à temperatura do ar (BUTERA, 1995; AYOADE, 2011).

Ainda neste pressuposto, a marcha diária da UR segue uma periodicidade inversa à Tar, ou seja, quando a temperatura do ar é máxima a umidade relativa é mínima, e vice-versa (MARTINI et al., 2017). Os valores mais elevados da UR são registrados durante a madrugada quando a Tar decai ao valor mínimo, e mais baixo no início da tarde, correspondentemente a Tar máxima (BUTERA, 1995).

De acordo com escala psicrométrica UNICAMP, a variação dos níveis de umidade relativa do ar considerados prejudiciais à saúde humana são: entre 20% e 30% - estado de atenção; entre 12% e 20% - estado de alerta; abaixo de 12% - estado de emergência (PINTO, ZULLO E ÀVILA, 2008). Portanto, a faixa de umidade relativa do ar considerada ideal para saúde do ser humano compreende em torno de 30% a 60%.

Outro aspecto importante é a relação entre os elementos meteorológicos que condicionam o comportamento dos seres humanos, como é o caso da temperatura do ar e umidade do ar, considerados como um dos principais condicionantes para conforto térmico (FROTA; SCHIFFER, 2006; HONJO, 2009; PAGNOSSIN; BURIOL; ARAUJO, 2016).

Em ambientes em que são verificadas altas temperaturas do ar e baixos índices de umidade relativa do ar, podem surgir perturbações que primeiro atingem a percepção subjetiva, mais tarde prejudicam a capacidade física que interferem nas atividades humanas, afetando o desempenho de tarefas e a produtividade dos indivíduos (GRANDJEAN, 1998; SILVA, 2010). Isto acontece pois, a umidade relativa influencia a capacidade termorreguladora do corpo humano de dissipar calor por meio da evaporação do suor, e, mesmo em temperaturas relativamente baixas se a UR for alta, a evaporação será dificultada ocasionando a sensação popularmente conhecida como abafamento (LAMBERTS et al., 2011, BUCZKOWSKI; ŚWIRAD 2017, KJELLSTROM et al., 2022), ou seja, quanto maior for a UR, tanto maior será o desconforto.

Vento em áreas urbanas

Alguns estudos acerca do vento, o descrevem-no como um fenômeno meteorológico proveniente do escoamento de massas de ar orientados por diferença de pressão e temperatura na atmosférica ocasionando forças que deslocam parcelas do ar atmosférico das zonas de maior pressão (áreas frias) para as de menor pressão (áreas mais quentes), e quanto maior for a diferença entre as pressões dessas áreas, maior será a velocidade de deslocamento (OMETTO, 1981; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHA, 2002; LOPES, 2003; BLESSMANN, 2013).

Em estudos meteorológicos, o vento desempenha um papel crucial na compreensão e previsão dos padrões atmosféricos, sendo tradicionalmente dividido em componentes horizontais, ao longo das direções leste/oeste e norte/sul, e uma componente vertical, representando movimentos ascendentes e descendentes; ocorrendo simultaneamente nas três escalas: macro, meso e microescala (MONCRIEFF e MILLER, 1976; STULL, 1988).

A velocidade do vento e sua direção na camada limite atmosférica, onde ocorrem processos atmosféricos em meso e microescala, varia desde zero (na superfície) até a velocidade de corrente livre, podendo ser alterado devido o atrito provocado pelos obstáculos que compõem a superfície de contato e do entorno imediato, principalmente da rugosidade das superfícies (vegetação, adensamento construtivo das áreas urbanas, relevo e topografia), ou seja, quanto mais próximo da superfície, maior o efeito do atrito com o terreno contribuindo para diminuição da sua velocidade (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHA, 2002; ZIMERMANN, 2009; CLEUGH e GRIMMOND, 2012; PAIVA et al., 2014; PAOLI e OLIVEIRA, 2018; YU et al., 2021; FONSECA et al., 2023).

Pesquisadores explicam ainda que, a rugosidade interfere diretamente no perfil vertical do vento, e em áreas densamente verticalizadas, podem ocorrer a canalização do ar, alteração da direção, aumentando a turbulência mecânica e atingindo velocidades maiores do que em pontos abertos entre as edificações podendo acarretar prejuízos para as edificações e a população das áreas urbanas (OKE, 1978; ALCOFORADO et al., 2006; TORRES, 2017; ISHIHARA; QIAN; QI, 2020).

Principalmente em regiões de clima quente, a ação do vento é essencial de maneira a garantir o conforto térmico humano nas cidades, porém as constantes reestruturas do tecido urbano gera diferentes padrões de fluxos do vento ocasionando diferentes taxas de remoção de calor, tendo como resultado a diminuição no arrefecimento destas áreas. (ALCOFORADO et al., 2006; ALLEGRINI; DORER; CARMELIET, 2015).

2.1.3 *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas Urbanas*

Diante das informações descritas neste estudo até o presente subtópico, no contexto urbano, deve-se ressaltar a importância das cidades se tornarem resilientes, visando a melhoria da qualidade de vida, além da otimização de recursos para infraestrutura adequada, sustentabilidade e gestão de riscos e desastres naturais (SANTOS; CASTAÑON, 2023).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), cidades resilientes são aquelas capazes de se preparar, resistir e se recuperar de desastres naturais e impactos socioambientais, minimizando danos e preservando o bem-estar da população por meio de planejamento sustentável e infraestrutura adaptativa (ONU, 2018).

Nesse sentido, em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou a Agenda 2030, um plano global para o desenvolvimento sustentável que visa enfrentar desafios socioambientais por meio da cooperação entre governos, instituições e sociedade civil (ONU, 2018). A agenda estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que abrangem metas voltadas à erradicação da pobreza, redução das desigualdades, promoção da sustentabilidade ambiental e fortalecimento da resiliência urbana. Entre eles, destacam-se o ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis e o ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima, fundamentais para a adaptação das cidades às mudanças climáticas e à mitigação dos impactos ambientais.

A fim de alinhar as metas globais de sustentabilidade às políticas locais, é fundamental considerar os planos diretores municipais como instrumentos estratégicos, por estabelecerem diretrizes claras para o uso do solo, infraestrutura e desenvolvimento urbano de uma cidade.

Embora o Brasil esteja amparado por um conjunto de leis e diretrizes, como a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que institui o Estatuto da Cidade (Brasil, 2001), e estabelece instrumentos urbanísticos com o objetivo de subordinar a propriedade urbana ao cumprimento de sua função social, priorizando o direito coletivo em detrimento do direito individual e promovendo um desenvolvimento mais justo e sustentável, pesquisadores apontam que, na fase inicial de implementação, os planos diretores acabaram por consolidar um modelo de crescimento urbano que favoreceu a expansão periférica e o adensamento intensivo das áreas centrais (JESUS et al., 2016).

Esse padrão resultou em um processo de verticalização desordenada, evidenciando a desconexão entre o planejamento urbano idealizado e a realidade das cidades, como destacado por Gomes, (2009), que observa a incapacidade do planejamento urbano em resolver de fato os problemas estruturais das cidades.

Além disso, o Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/2001) estabelece ainda que os planos diretores dos municípios devem ser revisados periodicamente, com intervalo máximo de 10 anos.

Em relação ao município de Cuiabá, o primeiro Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) foi elaborado após a promulgação da Constituição Federal de 1988, sendo aprovado em 1992, revisado em 2007. De acordo com o site oficial da Prefeitura Municipal, a nova revisão do Plano Diretor estava prevista para 2021, com o objetivo de adequar as diretrizes urbanísticas às novas exigências do município (CUIABÁ, 2010). Contudo, após quase 16 anos de vigência do atual Plano Diretor, sua revisão, apesar do atraso justificado pelo período pandêmico, encontrava-se no ano de 2023 em fase final, prestes a ser submetida à aprovação da Câmara de Vereadores (ANTONIACOMI, 2023).

É válido salientar que cidade de Cuiabá, nas últimas duas décadas, vivenciou um processo de expansão urbana rápida e desordenada, o que aliado a um planejamento ineficaz do poder público, resultou em modificações ambientais (JESUS et al., 2016). Tais modificações no ambiente urbano resultam em uma série de desafios para a qualidade de vida da população, principalmente no que tange ao conforto térmico e à sustentabilidade.

Assim, torna-se imprescindível levar em conta não apenas o ritmo de crescimento acelerado e desordenado das cidades, como também as especificidades dos arranjos intra-urbano que a compõem, além das significativas implicações em sua gestão, em que um dos maiores desafios é tornar o planejamento urbano adaptável e flexível frente as necessidades e demandas dos seus habitantes, a fim de garantir qualidade de vida à sua população.

2.2 Conforto térmico humano em áreas urbanas

Alguns trabalhos conceituam conforto térmico humano como “um estado da mente que reflete satisfação com o ambiente térmico”, contudo não se trata de uma condição fixa, mas sim um equilíbrio dinâmico entre a sensação térmica subjetiva e os parâmetros ambientais, variando de acordo com fatores individuais, atividades realizadas e vestimenta (FANGER, 1970; ISO 7730, 2005; ANSI/ASHRAE, 2017; GANESH et al., 2021).

Compreender e abordar a relação térmica entre homem e o meio onde habita tornou-se crucial para o planejamento urbano contemporâneo.

É válido mencionar que o estudo do conforto térmico humano em ambientes internos tem sido amplamente explorado, com ênfase nas tecnologias de climatização e no controle das condições ambientais das edificações. Porém, é igualmente relevante a compreensão de como

a exposição prolongada a elementos climáticos como calor intenso, variações na umidade relativa do ar e ventos pode afetar o conforto das pessoas ao realizarem suas atividades cotidianas ao ar livre.

Entretanto, a avaliação do conforto térmico externo nas cidades é considerada uma tarefa complexa devido a diversidade das superfícies e as características dos materiais que consequentemente tornam as condições térmicas menos estáveis (MIDDEL et al., 2016; JOHANSSON et al., 2017).

Assim, a busca pelo conforto térmico humano em áreas urbanas é mais do que simplesmente garantir que as pessoas caminhem e pedalem pelas ruas das cidades, o enfoque se estende além da simples disponibilização de espaços adequados para circulação, para um desafio de maior magnitude e importância, o de conjugar-se ao objetivo de atender às exigências do conforto térmico para as práticas sociais do homem (ROMERO, 2013; GEHL, 2015).

Diante da compreensão de que o conforto térmico nas cidades está intrinsecamente relacionado às condições climáticas e arranjos urbanos, naturalmente surgem questões cruciais sobre a saúde pública em relação a exposição da população, isto pois, o corpo humano reage ao calor excessivo desencadeando uma série de respostas que podem ser psicológicas, psicofisiológicas e patológicas, sendo que, a psicológica refere-se à sensação de mal-estar e às preocupações com o desconforto do local; já a psicofisiológica está relacionada a elevação da carga de trabalho do coração e do sistema circulatório, e as respostas patológicas ocorrem quando há agravos de doenças preexistentes (BARBIRATO; TORRES; SOUZA, 2011; GOMES, 2015; CHANG; BERNARD; LOGAN, 2017; ROSA; LIMA, 2019; SOUZA et al., 2020).

Neste contexto, estudos inerentes ao conforto térmico tornam-se fundamentais, e para Bracarense et al. (2018), sua análise deve partir da presença de três fatores como: a satisfação do homem ou seu bem-estar permitindo se sentir termicamente confortável; a performance humana, onde os estudos mostram uma clara tendência de que o desconforto causado por calor ou frio reduz o desempenho nas atividades intelectuais, manuais e perceptivas; e a conservação de energia, pois conhecendo-se as condições e características referentes ao conforto térmico dos ocupantes do ambiente evitam-se desperdícios com aquecimento e refrigeração.

2.2.1 Índices de conforto térmico

O conforto térmico humano se difere de acordo com as condições climáticas de uma região, isto é, a sensação de conforto térmico em habitantes de uma região de clima quente e

úmido não são as mesmas que proporcionam sensação de conforto em habitantes de clima quente e seco e, muito menos em habitantes de regiões de clima temperado ou frio (Frota, 2016).

Nesse sentido, o desafio pautou-se no desenvolvimento de métodos para identificação e avaliação de situações de conforto e desconforto que incorporassem além das condições meteorológicas, as temperaturas das superfícies presentes no ambiente e as atividades cotidianas realizadas pelas pessoas (FROTA e SCHIFFER, 2016; THORSSON et al., 2016; UNGER et al., 2017).

Para tanto, vários parâmetros foram utilizados para composição de índices de conforto termohigrométrico distintos, que pudessem ser aplicados às cidades do mundo, como uma maneira de qualificar espaços internos e espaços públicos externos, alguns relativamente simples e fáceis de usar, bem como índices mais complexos que incluem as diferenças das pessoas em seus cálculos (KRUGER; TAMURA, 2015; GUNGOR e CETIN 2021).

Frota (2016), classifica e descreve os índices de conforto térmico de acordo com seu desenvolvimento, tendo como base diferentes aspectos do conforto humano, como:

- a) Índices biofísicos — baseado nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos. Exemplos de índices biofísicos incluem o índice de temperatura efetiva (ou índice de temperatura de globo e umidade - ITGU), o índice de resfriamento pelo vento (Wind Chill), e o índice de temperatura úmida (Wet Bulb Globe Temperature - WBGT);
- b) Índices fisiológicos — aqueles que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar. São exemplos de índices fisiológicos frequentemente usados a Escala de Resposta Voto Médio Preditado (Predicted Mean Vote - PMV) e a Escala de Sensação Térmica Porcentagem Prevista de Insatisfação (Predicted Percentage Dissatisfied - PPD);
- c) Índices subjetivos — tem por base as sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam. Um exemplo bem conhecido de índice subjetivo é a Escala de Sensação Térmica de Sensação (Thermal Sensation Scale), que varia de "muito frio" a "muito quente".

O pesquisador citado anteriormente explica que a escolha do tipo de índice de conforto deve estar relacionada com as condições ambientais, a atividade desenvolvida pelo indivíduo e pela maior ou menor importância de um ou de outro aspecto do conforto (FROTA 2016).

Salienta-se que, diante da ampla variedade de índices de conforto termohigrométrico disponíveis, optou-se pela utilização do Voto Médio Predito - PMV (Predicted Mean Vote) devido à sua abordagem fisiológica e compatibilidade com o modelo preditivo ENVI-met, que conta com o módulo BIO-met para simulação biometeorológica.

O PMV, desenvolvido por Fanger (1970), é um dos índices amplamente adotados em estudos sobre conforto térmico, pois considera variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade, velocidade do vento e radiação térmica) e fatores humanos (metabolismo e vestimenta), proporcionando uma avaliação quantitativa e padronizada da sensação térmica. Além disso, pesquisadores destacam que sua utilização facilita a comparação entre diferentes estudos, permitindo a análise de tendências globais e garantindo reprodutibilidade e confiabilidade nos resultados, sem a necessidade de categorizações subjetivas (RUSSO; ESCOBEDO; ZERBE, 2016; GATTO et al., 2020; ABDI & ZAREHAGHI, 2020).

2.3 Modelo preditivo computacional Envi-Met

Uma das estratégias para identificação das interações entre as tipologias urbanas as condições atmosféricas locais é o uso de modelos matemáticos para simulação e análise dos efeitos da urbanização no microclima.

Dentre eles destaca-se *software* o ENVI-met, que trata-se de um modelo preditivo desenvolvido por Bruse e Fleer (1998) da Universidade de Bochum, Alemanha, que baseia-se nas leis da dinâmica dos fluidos e da termodinâmica, para simular cenários hipotéticos que envolvem interações entre edifícios, solo, vegetação e atmosfera; com cálculos que abrangem diversas variáveis ambientais como radiação direta, radiação difusa, radiação de onda longa, sombreamento causado por edifícios e vegetação, além de considerar os fluxos de calor latente e sensível entre esses elementos do meio urbano (ROSHEIDAT; HOFFMAN; BRYAN, 2008; SHINZATO, 2019; NOVAIS, 2020; ALTUNKASA & USLU, 2020).

Devido sua abordagem abrangente, capaz de prever os efeitos potenciais das intervenções urbanas, densificação populacional, do aumento da cobertura vegetal ou sua supressão, é considerado como uma ferramenta útil para o planejamento e tomada de decisões para o desenvolvimento das cidades, e da implementação de estratégias para mitigação de ilhas de calor (HERDE e KLEMM, 2018; MAUREE et al., 2020).

O software conta com diversas métricas biometeorológicas, disponibilizando índices de conforto térmico, sendo calculados a partir dos valores de saída meteorológica do ENVI-met

ou extraídos diretamente do BIO-met, que é uma ferramenta de pós-processador do ENVI-met (LIU et al., 2021), sendo um deles o índice Voto Médio Predito (Predicted Mean Vote - PMV).

O PMV foi desenvolvido por Ole Fanger (1970), após experimentos na Dinamarca sobre conforto térmico, sendo um modelo de conforto térmico de abordagem racional amplamente utilizado, adotado por padrões nacionais e internacionais como ISO 7730 publicada pela primeira vez em 1984 (revisada 1994 e 2005) e ANSI/ASHARE 55-1991. Estes por sua vez, baseiam-se em fatores ambientais como por exemplo a temperatura do ar interior, velocidade do ar, umidade relativa e temperatura média radiante, e, fatores pessoais relacionados aos ocupantes como as taxas metabólicas e isolamento térmico das roupas utilizadas (DE DEAR, 2011; CARLUCCI; DEAR; YANG, 2018; ZHANG et al., 2019; ZHANG; LIN, 2020).

Pesquisadores explicam que, taxa metabólica é a produção de energia do corpo, ou seja, quanto maior a atividade física, maior será a taxa metabólica e, conseqüentemente, o calor produzido pelo corpo afetando a sensação térmica; já o isolamento térmico das vestimentas, expressa pela unidade de medida “clo”, descreve capacidade das roupas em isolar a troca de calor entre a pele e o ambiente externo à vestimenta, resistência térmica das vestimentas (clo), sendo um dos fatores que influenciam o PMV (WANG et. al, 2020; LIU; FOGED; MOESLUND, 2022).

O equacionamento deste índice expressa uma avaliação da média das respostas fisiológicas do sistema termorregulador, previstas por um grupo de mais de 1300 pessoas, em condições ambientais controladas (LAMBERTS, 2011). Possui uma escala de sensações de sete pontos, variando de -3 (muito frio) a +3 (muito quente), com 0 representando uma condição neutra de conforto térmico, como descrito na tabela 2.

Tabela 2 -Escala de Resposta Fisiológica do Voto Médio Predito – PMV

PMV (Predicted Mean Vote)	Sensação Térmica
-3	Muito frio
-2	Frio
-1	Levemente frio
0	Confortável
+1	Levemente quente
+2	Quente
+3	Muito quente

Fonte: Adaptado de Fanger (1970)

Conforme a tabela 2, é válido mencionar que de acordo Fanger (1970), considera-se aceitáveis quando o PMV se situa entre "levemente frio (-1,0)" e "levemente quente (+1,0)",

com o ponto neutro em 0. A Neutralidade térmica é definida como a condição na qual uma pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente a seu redor (FANGER, 1970).

A condição de neutralidade térmica não é suficiente para prover conforto térmico a uma pessoa, podendo esta encontrar-se em neutralidade térmica e não estar em condição de conforto térmico (LAMBERTS, 2011; LI et al., 2020). Os pesquisadores explicam ainda que isto ocorre devido a exposição a algum tipo de desconforto localizado, isto é, exposição a uma assimetria de radiação significativa, a alguma corrente de ar localizada, ou ainda estar sobre algum tipo de piso frio ou aquecido.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no município de Cuiabá, capital do Estado de Mato Grosso, considerada como um dos principais polos de desenvolvimento da região Centro-Oeste do Brasil, na qual está situado na porção centro-sul do estado sob as coordenadas 15° 35' 46" de latitude Sul, e 56° 5' 48" de longitude Oeste, com área aproximada de 3.538,17 Km², sendo dessa área, 254,57 Km² a macrozona urbana e 3.283,60 Km² a área rural; e de acordo com o último levantamento censitário possui população 650.877 habitantes (SANTOS et al., 2013; BRASIL, 2022), no encontro de três importantes biomas brasileiros: o Pantanal, o Cerrado e a Floresta Amazônica.

A cobertura vegetal é caracterizada por fitofisionomias de Cerrado, cerradão, matas ciliares e por vegetação introduzida nos quintais e praças da cidade, de espécies diversas como frutíferas, ornamentais e gramíneas, (GUARIM NETO, 1991; PASA et al., 2020).

O perfil climático de Cuiabá segundo a classificação de Koppen é do tipo Aw, Tropical Continental semiúmido, sem influência marítima, com regime de precipitação em dois períodos distintos: uma seco (outono-inverno) de abril a outubro, e outro chuvoso (primavera-verão) de novembro a março, e índice pluviométrico anual de 1250 a 1500 mm (OLIVEIRA, 2012; BIUDES et al., 2012; ALVARES et al., 2013).

O município de Cuiabá é popularmente conhecido como uma das capitais mais quentes do país com temperaturas média anual variando entre 25°C e 26°C apresentando frequentemente máximas acima dos 35°C (MAITELLI, 2005; ROCHA, 2018). Isto deve-se as características geomorfológicas da região, denominada Depressão Cuiabana, com variações de relevo entre plano a suavemente ondulado (declive inferior a 5%), e altitude entre 146 e 250 metros acima do nível do mar, o que contribui para a baixa frequência e velocidade dos ventos (ultrapassando pouco os 5,0 m s⁻¹), que no período chuvoso são predominantemente oriundos da direção N (norte) e NO (noroeste) e no período seco da direção S (sul) (Jr., 1990; CUIABÁ, 2012; RIBEIRO et al., 2022).

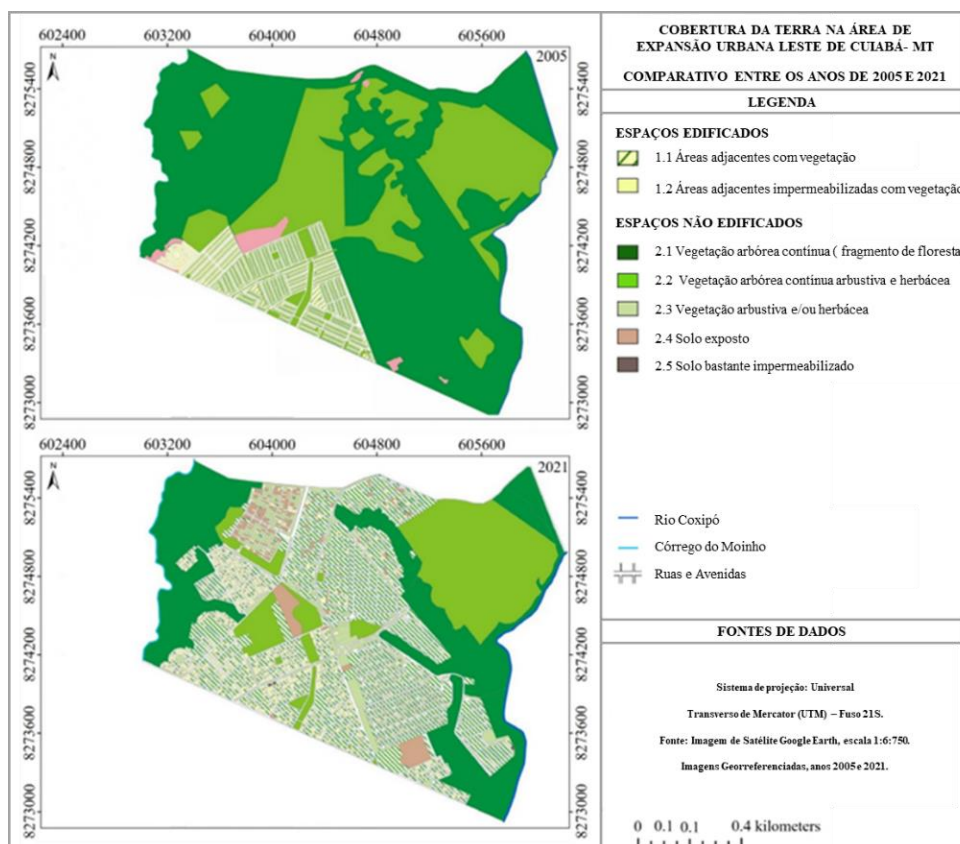
Neste sentido, pesquisas realizadas pela Prefeitura Municipal junto a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano - SMDU (CUIABÁ, 2013) destacam Cuiabá como uma das capitais de maior crescimento nas últimas décadas do século XX, em que a ocupação urbana se estabeleceu com novas áreas de loteamento residenciais, conjuntos habitacionais, condomínios, além de outras formas de ocupação urbana espontânea ou induzida.

Na Macrozona Urbana, algumas áreas que apresentam características rurais são destinadas a ampliação da ocupação urbana, denominadas como Área de Expansão urbana. Ainda de acordo com a pesquisa da SMDU (Cuiabá, 2013) o município possui quatro Áreas de Expansão urbana localizados na Região Norte, Sul, Leste, e Oeste que foram paulatinamente ocupada com a construção de novos empreendimentos, como os loteamentos, condomínios, conjuntos habitacionais e mesmo ocupações irregulares.

Das região mencionadas, a Área de Expansão Leste se sobressaiu as demais, sendo composta por 115 localidades (loteamentos regulares, loteamentos clandestinos, assentamentos informais, núcleos habitacionais, condomínios) distribuídas em 49 bairros, sendo a região delimitada ao sul pela Avenida das Torres, ao norte pela Rua Um, ao oeste pelo Córrego do Moinho e ao leste pelo Rio Coxipó (CUIABÁ, 2013).

O intenso processo de urbanização da região nas últimas décadas foi descrito nos estudos realizados por Marques (2023), em que é possível evidenciar pelas imagens espaciais da figura 2 a substituição contínua de áreas verdes por um ambiente construído.

Figura 2 – Evolução do processo de urbanização da Área de Expansão Leste

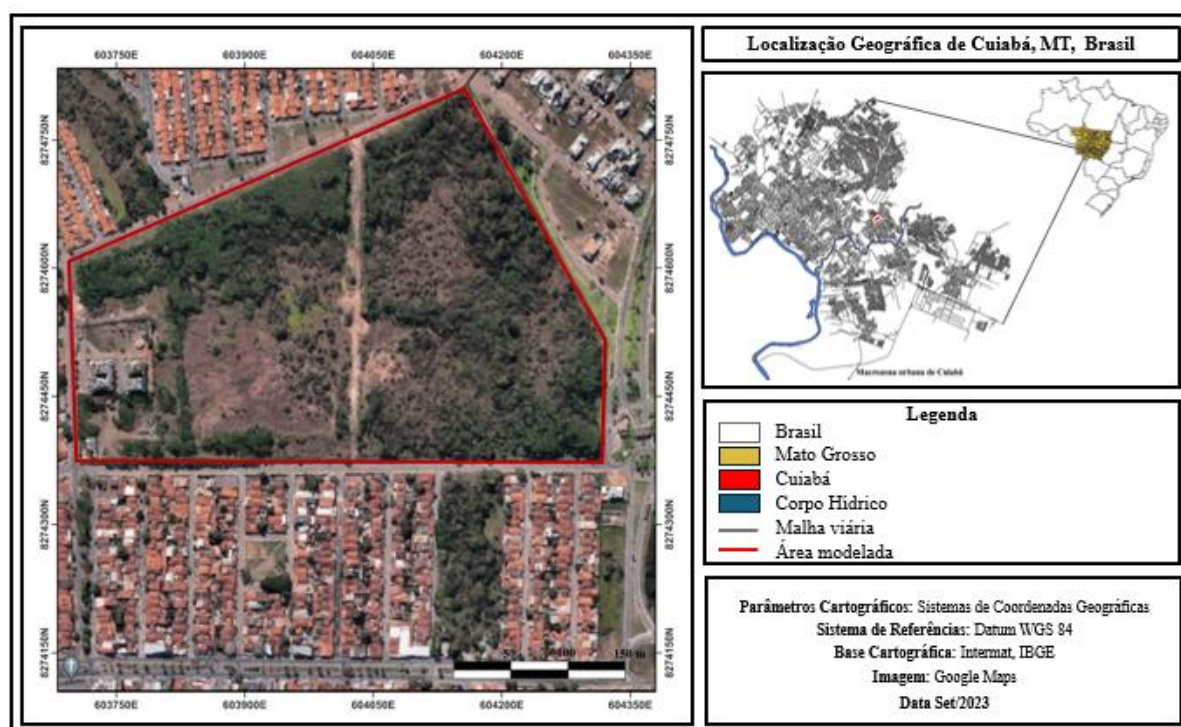


Fonte: Adaptado de Martins, 2022.

De acordo com a pesquisa supramencionada, constatou-se que o crescimento desta área foi 16 vezes maior à extensão original, em um período de aproximadamente 10 anos, sendo ocupada predominantemente por edificações unifamiliares e multifamiliares, comerciais e industriais emergentes na região (MARTINS, 2022; MARQUES 2023).

Assim, a escolha da região a ser estudada considerou o franco crescimento urbano na Área de Expansão Leste, além da tendência a se verticalizar. A partir de visitas *in loco* optou-se pela escolha de um recorte urbano para as reconfigurações, localizado no bairro Jardim Imperial, representado na figura 3.

Figura 3 – Localização Geográfica do município de Cuiabá, MT, Brasil; com destaque para o traçado vermelho que refere-se de intervenções para modelagem, no bairro Jardim Imperial



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2023.

Na figura 3, é possível visualizar a área que passará por intervenções para modelagem dos distintos cenários (em destaque), na qual corresponde ao polígono de aproximadamente 205.702,00 m².

De maneira geral, devido à ausência e/ou ineficiência de planejamento urbano, a região possui características de uso e ocupação do solo diversificadas, composta por áreas de vegetação com potencial construtivo, solo exposto, pavimentadas e áreas construídas constituídas por vários condomínios que surgiram nas últimas décadas no bairro, sendo os principais: Condomínios Belvedere I e II, Residencial Maria de Lourdes, Condomínio Chapada

dos Colibris, Recanto Salvador, Condomínios Rio São Lourenço, Rio Claro, Rio Manso, Rio Jangada, Rio Cachoeirinha e Reserva Rio Cuiabá, além dos condomínios menores, como Recanto, Residencial Alto do Moinho, Passaredo e Gileade; e população estimada habitantes. A valorização dessa área é atribuída à sua demanda significativa no mercado imobiliário.

3.2 Dados e parâmetros meteorológicos de entrada do modelo

O software utilizado para a modelagem foi o ENVI-met versão 5, com simulações tridimensionais de microclima de cenários hipotéticos e índices de conforto térmico, envolvendo interações entre superfícies, solo, vegetação e atmosfera de ambientes urbanos, com resolução espacial de 0,5 a 10m e resolução temporal de 10 segundos, levando em consideração o vento, dispersão de poluentes, fluxos radiativos e temperatura de solo (MIDDEL et al., 2014; MORAKINYO e LAM, 2016).

Para modelagem preditiva dos distintos cenários no software ENVI-met, foram estabelecidas algumas etapas. A primeira delas consiste na preparação do arquivo base, em que são inseridos os parâmetros relativos às dimensões da área modelada, dados de latitude e longitude, tamanho das células ou grids (componentes da malha ortogonal do programa, nos eixos x, y e z), a rotação no eixo do Norte, para representação gráfica da situação real na área em estudo, em formato 2D.

Posteriormente, foram acrescentadas informações para configurações espaciais e de modelagem da área, com a inclusão dos parâmetro de entrada como temperatura do ar e umidade relativa do ar, e valores médios diários de velocidade e direção do vento, correspondentes a dados horários de 24 horas para um dia representativos do clima do município de Cuiabá em períodos distintos do ano de 2023, no mês de março (período chuvoso) e no mês setembro (no período seco). Tais dados são provenientes da estação meteorológica automática (A 901), disponibilizados para consulta pública e download na plataforma BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), localizada em região próxima as áreas estudadas.

Ademais, o modelo utiliza dados meteorológicos de umidade específica do ar a 2500 m de altitude, sendo estes coletados pelo aeroporto da cidade de Cuiabá, disponibilizados no site do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de Wyoming, Estados Unidos (WYOMING UNIVERSITY, 2023). Os dados de entrada para simulação ENVI-met são mostrados na tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetro de entrada para simulação ENVI-met

Período do Ano			
<i>Chuvoso</i>		<i>Seco</i>	
Data início da simulação:	26/03/2023	Data início da Simulação	11/09/2023
Hora início simulação:	21:00 h	Hora início simulação	21:00 h
Hora simuladas:	48 h	Hora simuladas	48 h
Velocidade do vento:	1,85 m/s	Velocidade do vento	1,1 m/s
Direção do vento:	315 °	Direção vento:	225°
Umidade (2500 m)	9,16 g H2O/kg ar	Umidade (2500 m):	6,36 H2O/kg ar

Fonte: Dados INMET (2023) e Wyoming University (2023)

Após a etapa de processamento dos dados climáticos pelo ENVI-met (Tabela 3), da modelagem de 24 horas foram escolhidos 3 horários para demonstração e discussão dos resultados, às 8h, em seguida às 14h e finalmente às 20h, baseado em recomendações realizadas pela Organização Mundial de Meteorologia (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO, 2004).

Como parâmetro de morfologia de superfície, para o comprimento da rugosidade para terrenos urbanizados de baixa densidade, adotou-se valores distintos aos cenários, conforme proposto por Oke (2017):

Tabela 4 - Valores de rugosidade adotados de acordo com a morfologia de superfície e cada cenário

Descrição dos cenários	Rugosidade (m)
Cenário Real	0,5
Área de Estacionamento	0,4
Área Residencial Unifamiliar	0,5
Área Residencial Multifamiliar	0,6

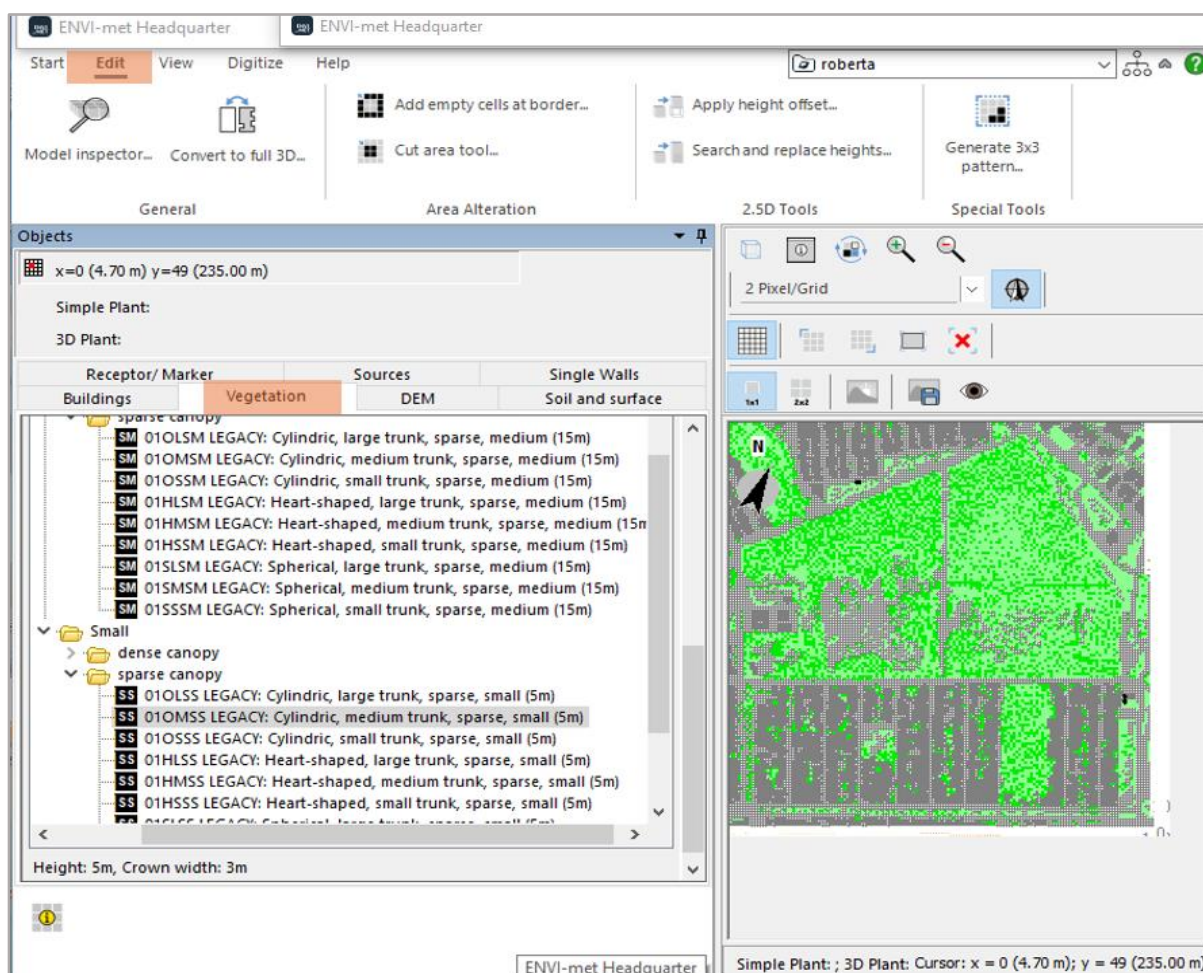
Fonte: Adaptado de OKE (2017)

Também foram acrescentadas informações pertinentes as características presente na área de estudo como largura de vias, vegetação, áreas pavimentadas, áreas de solo exposto, distintas tipologias construtivas e altura do modelo (configurada para ser o dobro da altura da edificação mais alta para cada cenário).

Em relação as plantas no modelo ENVI-met, são descritas como um meio poroso que interage com o ambiente por meio de transpiração, evapotranspiração e fotossíntese, levando em conta a densidade de área foliar (LAD) por ser um parâmetro importante para modelar a turbulência e a troca de calor entre a vegetação e os arredores (ZHANG et al., 2018).

Neste pressuposto, a configuração “Edit/Vegetation” permite configuração e distribuição da vegetação dentro do recorte urbano, sendo possível selecionar diferentes tipos de vegetação disponíveis no banco de dados do ENVI-met, como árvores, arbustos, gramíneas, entre outros, e atribuí-los às áreas designadas, além de ajustes em parâmetros como altura das árvores, densidade da copa, taxa de cobertura do solo, entre outros, para refletir com precisão as características da vegetação real na área modelada (Figura 4).

Figura 4 - Edição da vegetação do cenário real pelo software ENVI-met



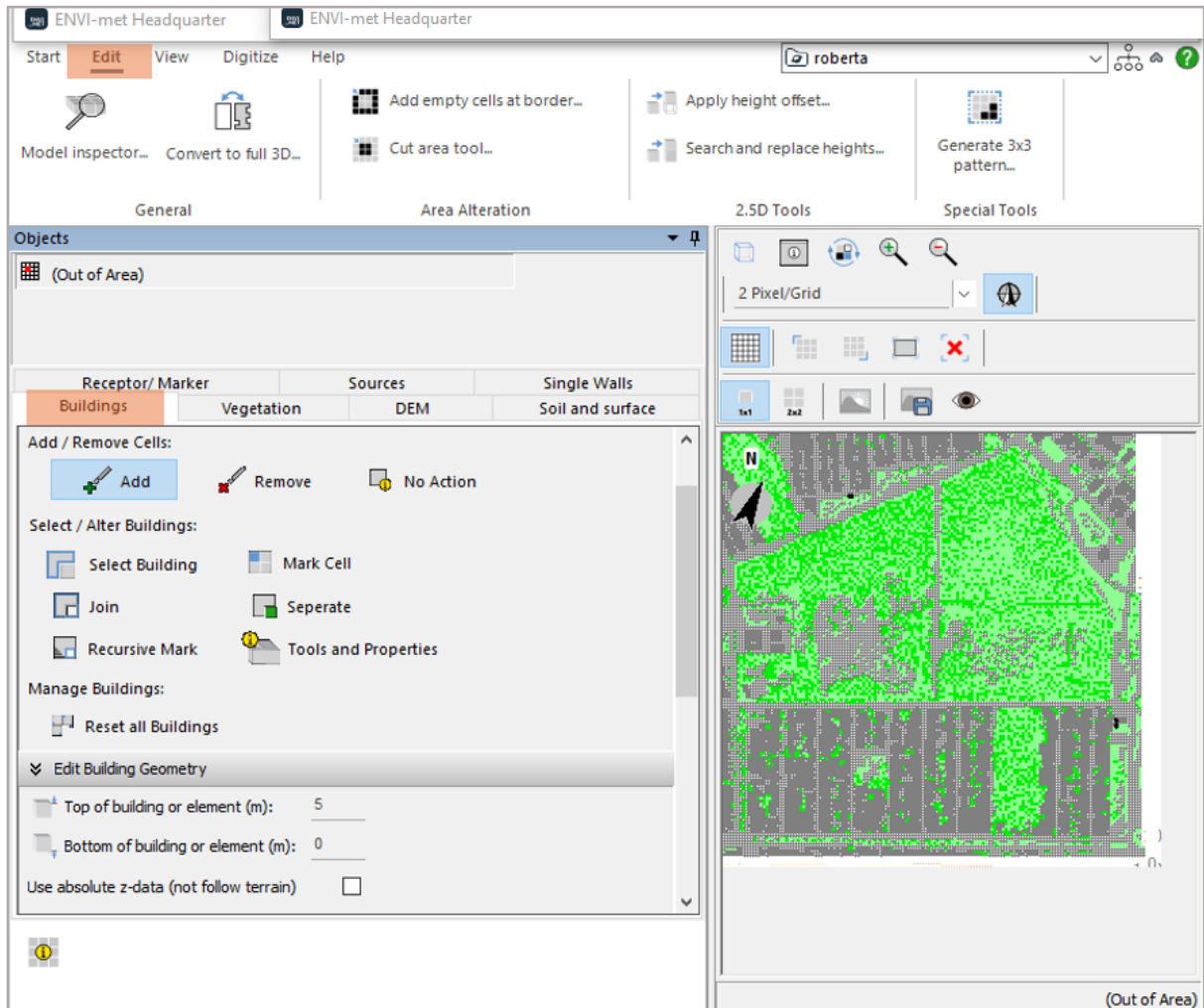
Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

A configuração “Edit/Building” possibilita a seleção dos materiais de construção entre uma variedade disponíveis no banco de dados do ENVI-met e atribuí-los às edificações, considerando suas propriedades térmicas, refletância solar, absorção de calor.

Algumas das funcionalidades específicas dessa configuração incluem a criação ou remoção de edificações como casas, prédios residenciais, comerciais, industriais, entre outros, de acordo com a distribuição real no ambiente estudado. Permite ainda o ajuste das dimensões

e forma das edificações especificando o número de pavimentos ou a altura, de acordo com os grids selecionado anteriormente (Figura 5).

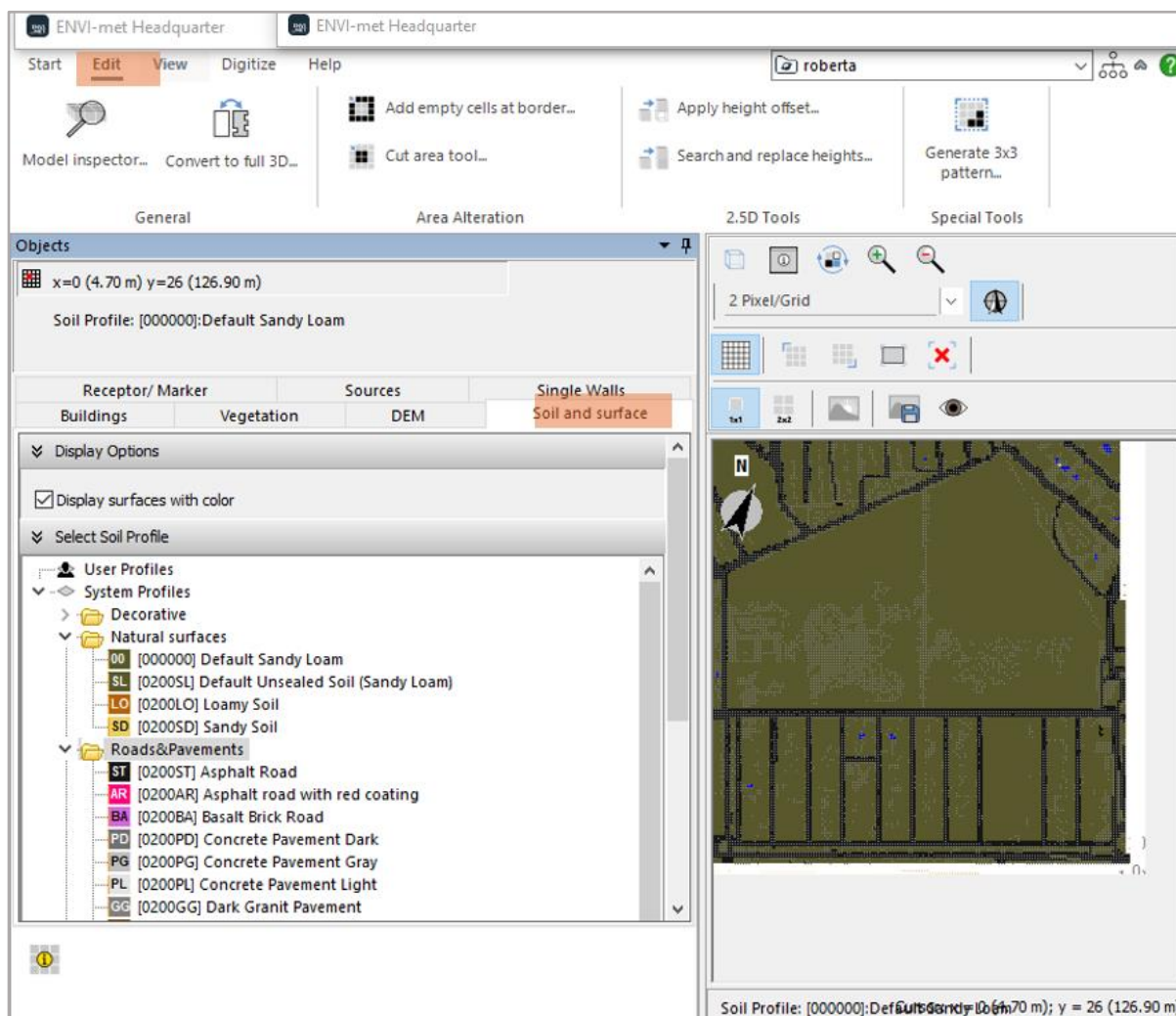
Figura 5 - Edição das características construtivas do cenário real pelo software ENVI-met



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora.

Outra configuração importante é “Edit/Soils”, permite a inserção de diferentes tipos de coberturas superficiais dentro do ambiente modelado, como asfalto (pavimento flexível), concreto (pavimento rígido), solo exposto, areia, argila, solo urbano compactado, entre outros, com propriedades físicas específicas (Figura 5).

Figura 6 - Edição do solo e superfícies do cenário real pelo software ENVI-met



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora.

Ressalta-se que, novos cenários foram criados a partir da alteração do cenário inicial, com modificações no polígono constituído com extensa área verde, sendo substituída pela inserção de distintas tipologias construtivas, representando a tendência futura, sem alterar o seu entorno construído. Estes serão descritos individualmente no próximos subcapítulos.

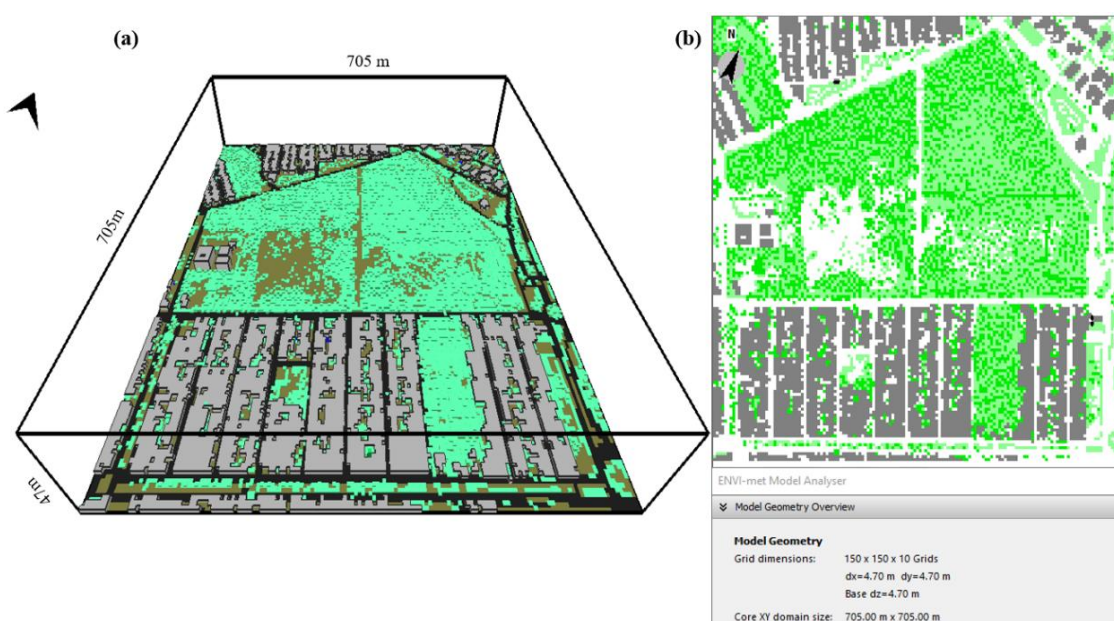
Em cada cenário modelado foi implantado receptores na área de edição (no mesmo local), com a finalidade de obter informações quanto as variáveis para posterior análise estatística.

A partir cumprimento das etapas mencionadas, a interface gráfica do software Leonardo será utilizada para criação de mapas temáticos, contribuindo na análise espacial dos resultados dos parâmetros previamente configurados.

3.2.1 Simulação do cenário real

As informações pertinentes a primeira tipologia espacial da área de estudo e a modelagem dos dados de entrada no software Envi-met configurou o cenário real (Figura 7), e a partir deste, reconfigurações serão realizadas para os futuros cenários.

Figura 7 - Modelo do recorte urbano, Cenário Real em 3D (a) e 2D (b) no Envi-met



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

Neste cenário as dimensões foram para a base 150 grids de 4,70 m de largura para “X” e “Y” e 5 grids de 4,70 m em “Z” (altura), e o cenário foi rotacionado 30° em relação ao norte para melhor encaixe dos grids.

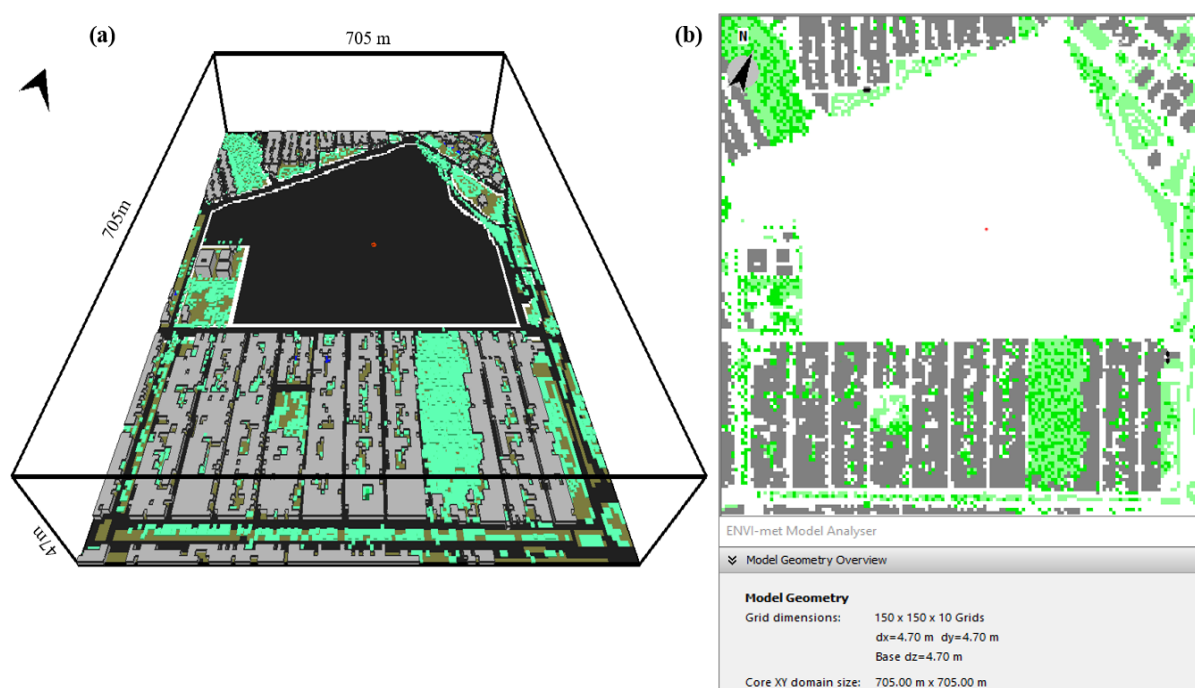
Para uma representação mais aproximada do cenário real, no banco de dados padrão do modelo, buscou-se por tipos de indivíduos arbóreos e gramíneas semelhantes a tipologia vegetal presente no recorte urbano em estudo. Foram inseridos indivíduos arbóreos decíduos com 5 metros de altura (Deciduous trees, cylindrical, médium trunk, sparse, small) e grama com 25 centímetros de altura (Grass 25 cm aver dense). A escolha da espécie arbórea decídua para os modelos, considerou características das vegetação do cerrado, que são espécies de copa irregular que perdem suas folhas durante a estação seca para reduzir a perda hídrica.

Também foram incluídas no modelo todas as vias de circulação asfaltadas, assim como o padrão de ocupação dos lotes por edificações térreas e de até 4 pavimentos.

3.2.2 Simulação do cenário área de estacionamento

Nesta representação, apenas a tipologia vegetal presente no recorte urbano foi substituído por uma superfície composta por pavimentação asfáltica (Asphalt Road) por ser uma opção comumente utilizada para a pavimentação de áreas de estacionamento devido custo-benefício dos projetos. Foram acrescentadas superfícies de calçadas (Concrete Pavement light) no entorno da área.

Figura 8 - Modelo do recorte urbano, Cenário Área de Estacionamento em 3D (a) e 2D (b) no Envi-met. Com destaque para receptor (em vermelho) na área de edição



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

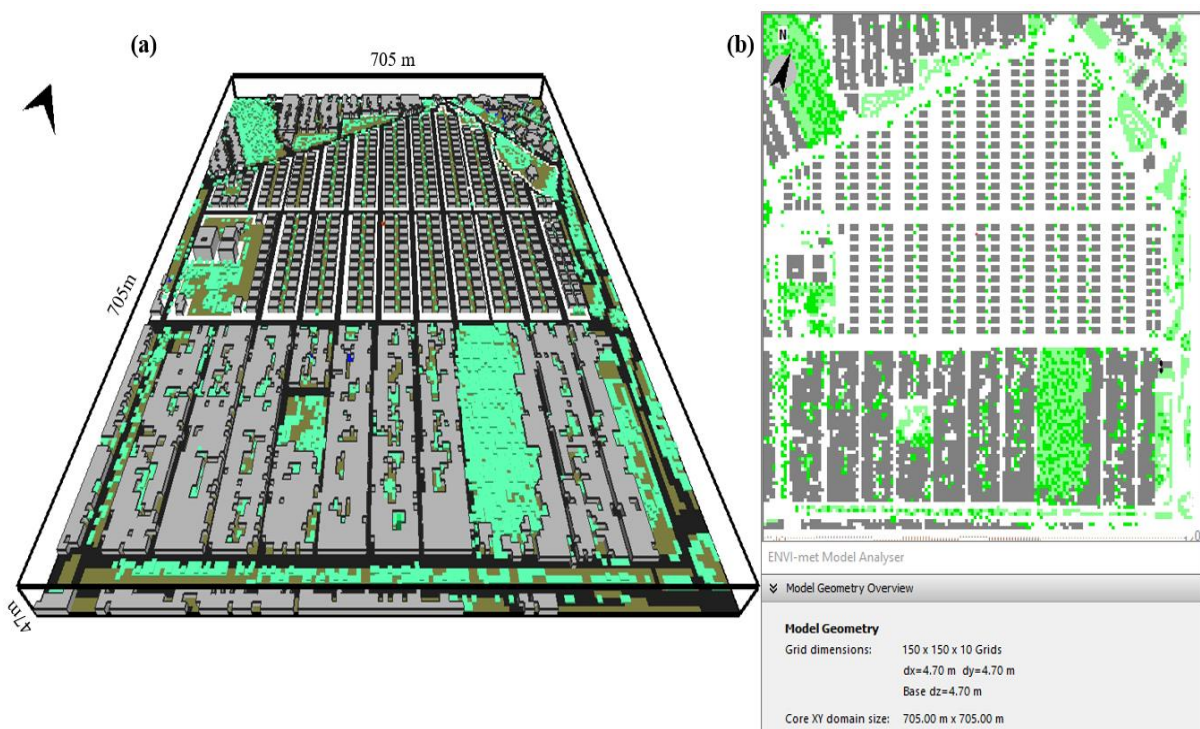
As dimensões do cenário Área de Estacionamento foram para a base 150 grids de 4,70 m de largura para “X” e “Y” e 5 grids de 4,70 m em “Z” (altura), e o cenário foi rotacionado 30° em relação ao norte para melhor encaixe dos grids.

3.2.3 Simulação do cenário área residencial unifamiliar

Nesta simulação, na área de edição do modelo, a tipologia vegetal presente no recorte urbano foi substituído por edificações residenciais unifamiliares de um pavimento e altura de cinco metros.

Seguindo o traçado das vias de circulação das áreas adjacentes, ruas compostas de superfície pavimentação asfáltica (Asphalt Road) foram acrescentadas ao modelo, delimitando as quadras. No entorno das quadras, inseriu-se calçadas concretadas (Concrete Pavement light), alguns indivíduos arbóreos decíduos com cinco metros de altura (Deciduous trees, cylindrical, médium trunk, sparse, small) e áreas compostas por solo natural sem a presença de revestimento (Default Sandy Loam) conforme figura 9.

Figura 9 - Modelo do recorte urbano, Cenário Área Residencial Unifamiliar em 3D (a) e 2D (b) no Envi-met. Com destaque para receptor (em vermelho) na área de edição



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora.

A área foi ocupada por 20 quadras de tamanhos distintos (figura 9), e em seu interior, um conjunto variável de edificações residenciais configura os arranjos heterogêneos deste modelo.

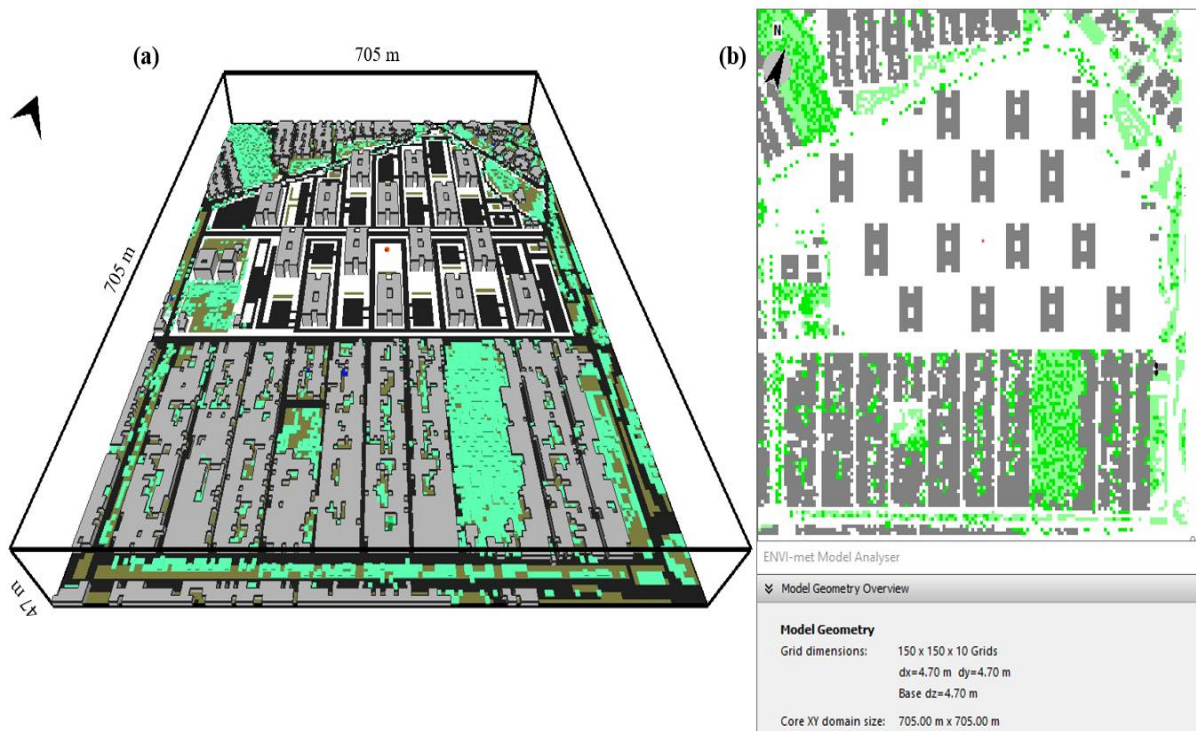
As dimensões do cenário Residencial Unifamiliar foram par a base 150 grids de 4,70 m de largura para “X” e “Y” e 5 grids de 4,70 m em “Z” (altura), e o cenário foi rotacionado 30° em relação ao norte para melhor encaixe dos grids.

3.2.4 Simulação do cenário área residencial multifamiliar

Para a simulação deste modelo, a tipologia construtiva do cenário anterior (edificações residenciais unifamiliares de um pavimento) foi substituído por edificações residenciais multifamiliares de cinco pavimentos e altura de 15 (quinze) metros. As configurações das quadras, ruas e calçadas foram mantidas.

A alteração principal neste cenário consiste na modelagem com ocupação de todos os lotes, nos interiores das quadras, por edificações verticalizadas, áreas asfaltadas (Asfalte Road) e concretadas (Concrete Pavement light), conforme figura 10 .

Figura 10 - Modelo do recorte urbano, Cenário Área Residencial Multifamiliar em 3D (a) e 2D (b) no Envi-met. Com destaque para receptor (em vermelho) na área de edição



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

Conforme representação na figura 10, as áreas ocupadas por quadras de tamanhos distintos do cenário anterior (Figura 9) foram mantidas, e em seu interior inseridas 15 (quinze) edificações verticalizadas, calçadas concretadas e áreas de superfície em pavimentação asfáltica representativas dos espaços para as vagas de garagem ao ar livre, configuram os arranjos heterogêneos deste modelo.

As dimensões do cenário Área Residencial Multifamiliar foram para a base 150 grids de 4,70 m de largura para “X” e “Y” e 8 grids de 4,70 m em “Z” (altura), e o cenário foi rotacionado 30° em relação ao norte para melhor encaixe dos grids.

3.3 Cálculo do Voto Médio Predito (PMV)

Após a simulação de microclima, foi calculado o Voto Médio Predito (Predicted Mean Vote - PMV) pelo módulo BIO-met 5.5.1.

O voto médio predito é um índice de conforto térmico proposto por Fanger (1970), que utilizou câmaras climatizadas para a definição dos parâmetros de conforto, sugerindo uma escala de 7 pontos, em que a faixa de PMV varia de -3., muito frio, a +3, muito quente, e de -0.5 a 0.5 a zona de conforto. Desde então, o modelo foi estendido para condições externas e é mais adequado para avaliar as respostas térmicas humanas (sensações de frio e calor) (HOPPE, 2002; BAO et al., 2023).

Foi utilizado como parâmetro de entrada do modelo dados representativos de um indivíduo do sexo masculino de 35 anos, 75 kg, vestindo short, camiseta, meia e tênis, os demais dados estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetro de entrada para simulação PMV Bio-met

	PMV
Velocidade de caminhada	0,55 m/s
Taxa metabólica	68,56 W/m ²
Isolamento térmica de vestimentas	0,32 clo

Os dados acima (Tabela 5) foram utilizados para gerar resultados nos horários 8:00, 14:00 e 20:00 horas.

3.4 Avaliação da performance do modelo

O estudo baseia-se em um modelo empírico em que os dados da estação meteorológica são comparados aos dados resultante da modelagem dos cenários reais às 8:00, 14:00 e 20:00 horas.

A precisão do desempenho da simulação foi examinada usando raiz quadrada média do erro (RMSE), pelos coeficientes de determinação (R^2) e correlação (r), além de testes de normalidade de Shapiro-Wilk. Com base nos resultados, será possível optar entre técnicas

estatísticas paramétricas e não paramétricas para verificar a ocorrência de diferenças estatisticamente significativas entre as medidas, com um nível de significância de 5%.

Para melhor entendimento, é pertinente realizar uma breve descrição das métricas estatísticas supramencionadas. Assim, a Raiz Quadrada Média do Erro (RMSE) é uma métrica utilizada para avaliar a precisão de um modelo preditivo, calculando a raiz quadrada da média dos erros ao quadrado entre os valores previstos e os valores observados, quanto menor o RMSE, mais preciso é o modelo (CHAI; DRAXLER, 2014; KARUNASINGHA, 2022).

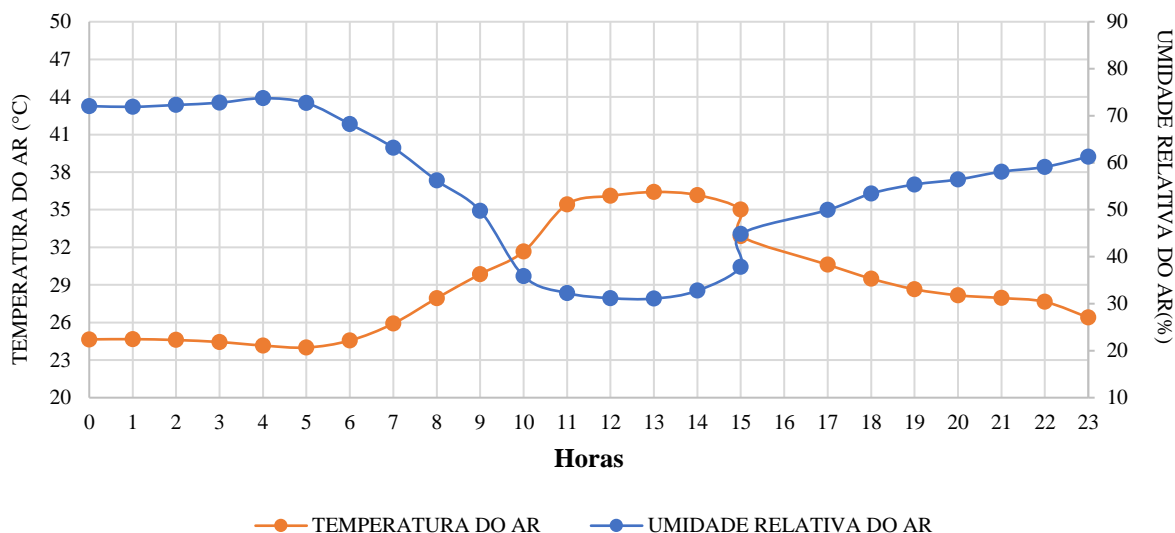
Já o coeficiente de correlação, é utilizado para evidenciar se há relações lineares entre duas variáveis, podendo ter correlação linear negativa ($r = -1$), positiva perfeita ($r = 1$) ou não ter relação linear ($r = 0$) (FERREIRA, 2018; CASTRO ET AL., 2021). Enquanto o coeficiente de determinação, comumente representado como R^2 , é uma medida que indica a proporção da variabilidade de uma variável dependente que é explicada pela variabilidade da variável independente em um modelo de regressão, variando entre 0 e 1, em que os valores próximos a 1 sugerem que o modelo explica bem a variação dos dados, valores próximos a 0 indicam que o modelo explica pouco da variação observada (MATOS; RODRIGUES; LEITE, 2021; SANTIAGO; OLIVEIRA, 2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as datas descritas anteriormente (Tabela 3), na aba Envi-Guide (opção *Meteorology – Simple forcing*) foram obtidas (Figura 11 e 12) as variações das médias horárias de temperatura do ar e umidade relativa do ar, para representação das simulações do dia referente ao período chuvoso (26/03/2023) e seco (11/09/2023), provenientes aos dados de entrada da estação meteorológica automática INMET.

As variações no período chuvoso podem ser visualizadas na representação gráfica a seguir (Figura 11).

Figura 11 – Variação dos valores médios horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar, ciclo de 24h, no Período chuvoso (26/03/2023), obtidos na aba Envi-Guide (opção *Meteorology – Simple forcing*)



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

Na análise da variação média horária da temperatura do ar e da umidade relativa do ar ao longo de um dia típico do período chuvoso (Figura 11) pode-se notar um padrão atmosférico característico de regiões tropicais. Observa-se que, durante a madrugada e as primeiras horas da manhã (00h - 05h), a temperatura do ar se mantém relativamente estável, variando entre 24°C e 25°C. Com o nascer do sol, inicia-se uma elevação gradual da temperatura, tornando-se mais acentuada a partir das 6h e atingindo o valor máximo entre 13h e 14h, com cerca de 36°C. Após esse período, verifica-se um declínio progressivo da temperatura, que retorna a valores próximos aos da madrugada por volta das 19h - 20h.

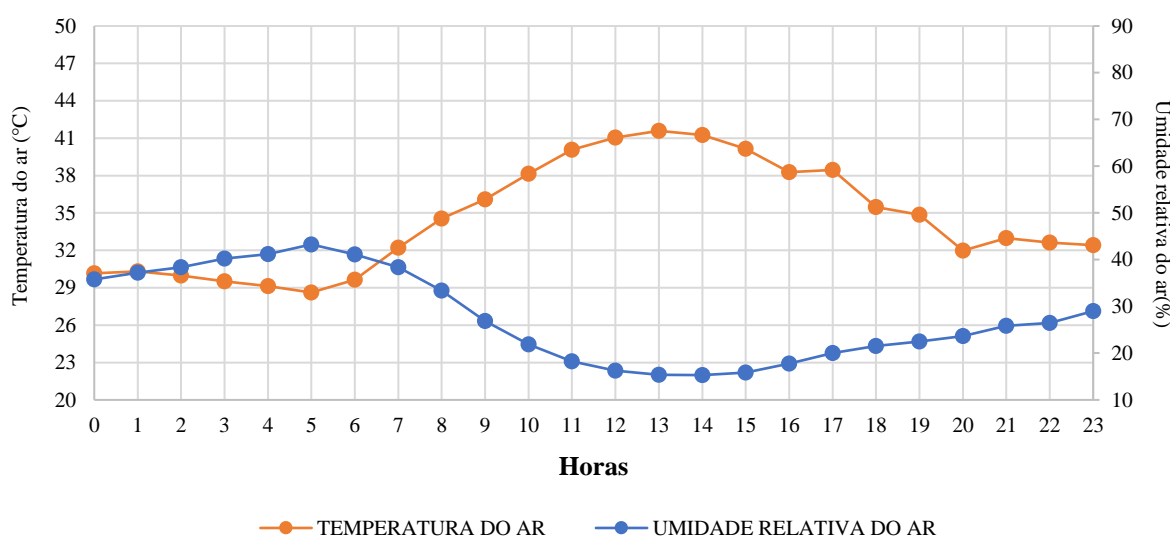
A umidade relativa do ar apresenta comportamento inversamente proporcional à temperatura do ar. Durante a madrugada, os valores permanecem elevados, variando entre 70%

e 75%. A partir do início da manhã, a umidade começa a diminuir gradualmente, alcançando os valores mínimos entre 12h e 13h, próximos de 30%. Esse padrão reflete a maior capacidade do ar em reter vapor d'água conforme sua temperatura aumenta. No final da tarde e início da noite, com o resfriamento progressivo da atmosfera, a umidade relativa volta a subir, retornando a patamares mais elevados ao longo da madrugada

Em relação as variações do período seco, (mês de setembro), é valido salientar que os invernos de cidades de clima Aw, de regiões centrais brasileiras costumam ter secas rigorosas, além do aumento na ocorrência de focos de queimadas nesta região do país (ALENCAR et al., 2022) tornado possível que mesmo no inverno no hemisfério Sul do globo, a temperatura seja maior do que a no verão.

As variações no período seco estão representadas graficamente na figura 12.

Figura 12– Variação dos valores médios horários da temperatura do ar e umidade relativa do ar, ciclo de 24h, no Período seco (11/09/2023), obtidos na aba Envi-Guide (opção *Meteorology – Simple forcing*)



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

Na análise da variação média horária da temperatura do ar e da umidade relativa do ar ao longo de um dia típico do período seco (Figura 12), observa-se que a temperatura do ar apresenta um comportamento mais acentuado durante o dia, com uma leve oscilação durante a noite. Na madrugada e primeiras horas da manhã (00h - 05h), a temperatura do ar se mantém estável, variando entre 28°C e 30°C. No entanto, a partir do início da manhã, com o aumento da radiação solar, ocorre uma elevação rápida da temperatura. Entre 12h e 14h, a temperatura do ar atinge seu valor máximo, alcançando até 41,5°C, o que é característico de um clima seco

e quente. Esse valor é significativamente mais alto quando comparado ao período chuvoso, que registrou temperaturas em torno de 36°C às 14h.

Após o pico da temperatura, observa-se uma leve diminuição, mas permanecendo elevada ao longo da tarde e início da noite, com os valores não retornando tão rapidamente aos níveis da madrugada.

Em relação à umidade relativa do ar, ela segue um padrão inverso ao da temperatura do ar, e, durante a madrugada e as primeiras horas da manhã, permanece mais elevada, variando entre 35% e 43%. No entanto, com o aumento da temperatura do ar, a umidade relativa do ar começa a declinar gradualmente ao longo do dia. Entre 12h e 15h, os valores de umidade relativa atingem seu ponto mais baixo, cerca de 15% a 16%. No final da tarde e início da noite, com a queda da temperatura do ar, a umidade relativa começa a subir novamente, com alcance máximo de 30%.

Na dinâmica de tempo atmosférico observada na variação da temperatura do ar e da umidade relativa do ar ao longo do dia (em ambos os períodos), nota-se que a umidade relativa diminui à medida que a temperatura aumenta e vice-versa, reflexo da interação entre a capacidade do ar de reter vapor d'água e as mudanças térmicas ao longo do dia. Durante o período chuvoso, a umidade relativa tende a ser mais alta nas primeiras horas da manhã devido às temperaturas mais baixas, enquanto no período seco, com a maior intensidade de radiação solar e o consequente aumento da temperatura, a umidade relativa se reduz expressivamente.

Essa relação inversa é amplamente discutida por pesquisadores como Martini et al. (2017), que explicam que a temperatura do ar influencia diretamente a capacidade do ar de reter vapor d'água, resultando em um comportamento cíclico de variação entre a temperatura e a umidade relativa do ar.

É válido mencionar ainda que os valores de umidade relativa estiveram em níveis preocupantes, muito abaixo do mínimo recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), entre 50 e 60%.

De acordo com estudos de Souza et al. (2020), o período seco no município de Cuiabá é caracterizado por baixos índices de umidade relativa do ar, com valores médios próximos a 55%, podem chegar a 15% em casos extremos entre julho, agosto e setembro, quando a temperatura média fica em torno de 24°C e não ocorrem frentes frias na região.

No entanto, devido Cuiabá estar localizada em uma das regiões mais quentes do país, a temperatura frequentemente chega a 40°C, como registrado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no inverno de 2023, com valores de temperatura de 41,8°C entre os

meses de agosto e setembro, além de chuvas abaixo da média, com um déficit de 30% na precipitação (INMET, 2023).

4.1 Validação dos modelos

A acurácia do modelo foi validada, por três testes estatísticos: Raiz quadrada média do erro (RMSE), coeficientes de determinação (R^2) e correlação (r), e teste de normalidade de Shapiro-Wilk. No período seco, os dados atenderam aos pressupostos de normalidade, enquanto no período chuvoso não apresentaram distribuição normal. Assim, para verificar diferenças estatisticamente significativas entre as medidas, com um nível de significância de 5%, foi aplicado o teste t, uma técnica paramétrica, ao período seco, enquanto o teste U de Mann-Whitney, uma técnica não-paramétrica, foi utilizado para o período chuvoso. Os resultados estão descritos na tabela 6.

Tabela 6 – Validação do modelo por meio dos teste: Raiz quadrada média do erro (RMSE), coeficientes de determinação (R^2) e correlação (r), teste t ao período seco, e de U Mann-Whitney para o período chuvoso

Análises Estatísticas			
Período		Temperatura	Umidade Relativa
Chuvoso	RMSE	1,057	4,405
	R^2	0,985	0,950
	r	0,981	0,960
	U Mann-Whitney	0,407	0,418
Seco	RMSE	1,413	2,768
	R^2	0,967	0,981
	r	0,958	0,991
	Test t	0,665	0,387

Ao se comparar os valores de RMSE de temperatura do ar entre os períodos (chuvoso e seco), percebe-se que os menores valores foram para o período chuvoso. Já a umidade relativa, o modelo aproximou-se mais das medidas no período seco.

Alguma das diferenças observadas podem ser explicadas conforme Yang et al. (2013), Lee et al. (2016) e Zhang et al. (2022) que sugerem que o ENVI-met tem uma tendência a superestimar temperatura do ar e subestimar umidade relativa do ar.

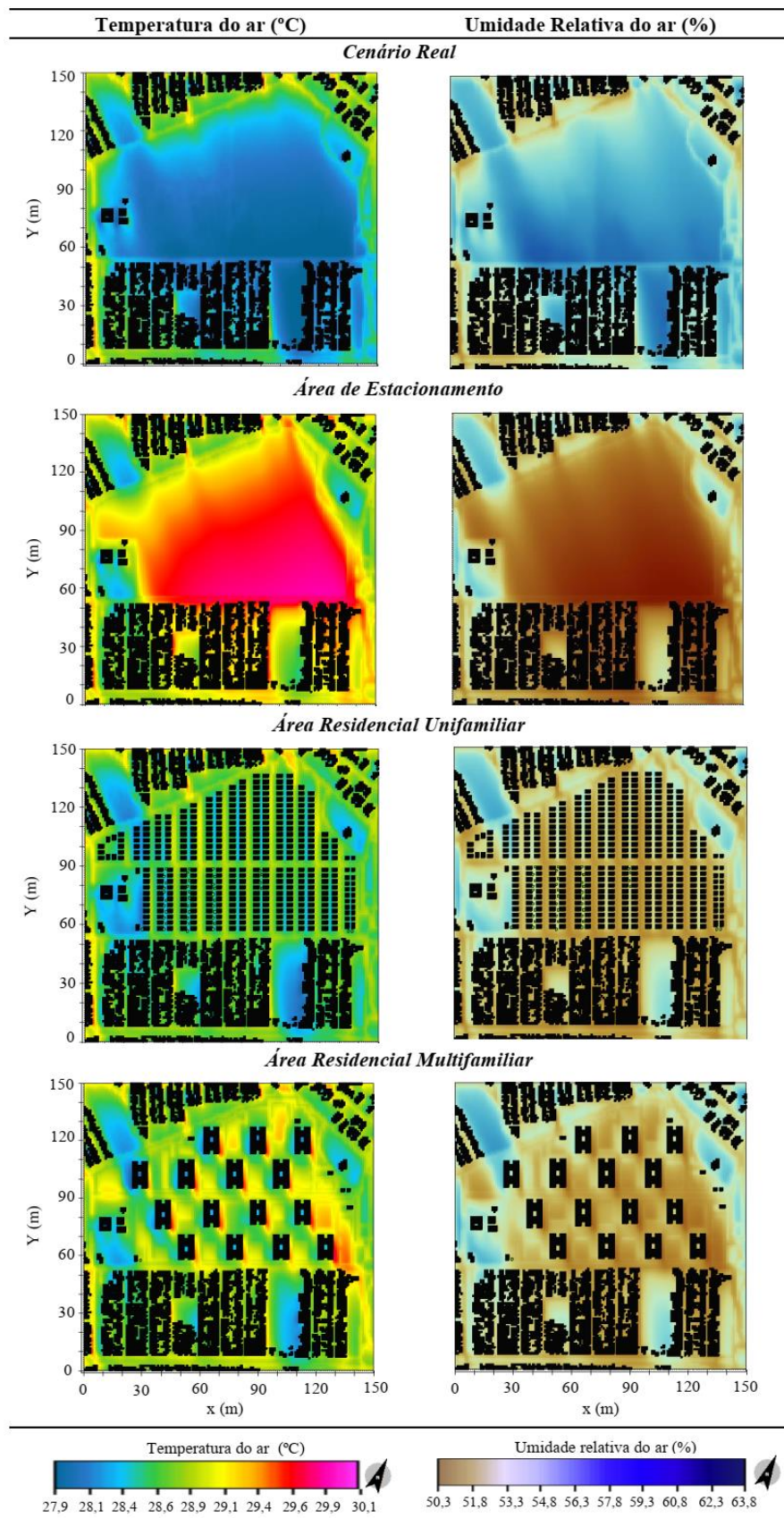
Apesar de ocorrerem diferenças entre os resultados medidos e modelados, ao se aplicar o teste t e o de Mann-Whitney, não ocorreram diferenças estatísticas significativas (p-

value>0,05) para nenhum dos conjuntos de dados, resultado corroborado pelos coeficientes de determinação e correlação.

4.2 Simulações dos cenários no período chuvoso e seco

Em uma análise agrupada da prancha de mapas das simulações termohigrométricas realizadas pelo programa ENVI-met, destaca-se a importância dos intervalos de variação da temperatura média do ar (Tar) e umidade relativa média do ar (UR), pois serão norteadores na análise dos impactos nos cenários alterados. Os cenários simulados às 08:00 horas da manhã do período chuvoso, podem ser visualizadas na figura 13.

Figura 13 - Prancha de mapas de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%) as simulações no cenário real e dos cenários alterados, às 08:00 horas do período chuvoso, na área de Expansão Leste.



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

Ao observar os mapas das simulações dos distintos cenários da figura 13, nota-se que a Tar às 8h variou entre 27,9°C e 30,01°C. No respectivo horário, a UR variou entre 50,3 % e 63,8%.

O cenário real registrou os menores valores de Tar, variando principalmente entre 27,9°C e 29,0°C, com predominância de tons azuis e Os valores de UR variando de 50,3% a 63,8%. Isso é um reflexo da presença da área verde preservada, que modera a temperatura devido aos processos de evapotranspiração. Nas áreas adjacentes, onde há um adensamento ocupação construtivo, proveniente da porção mais antiga do bairro, observa-se os maiores registros de Tar, com alcance dos 29°C, e, UR em torno dos 51%.

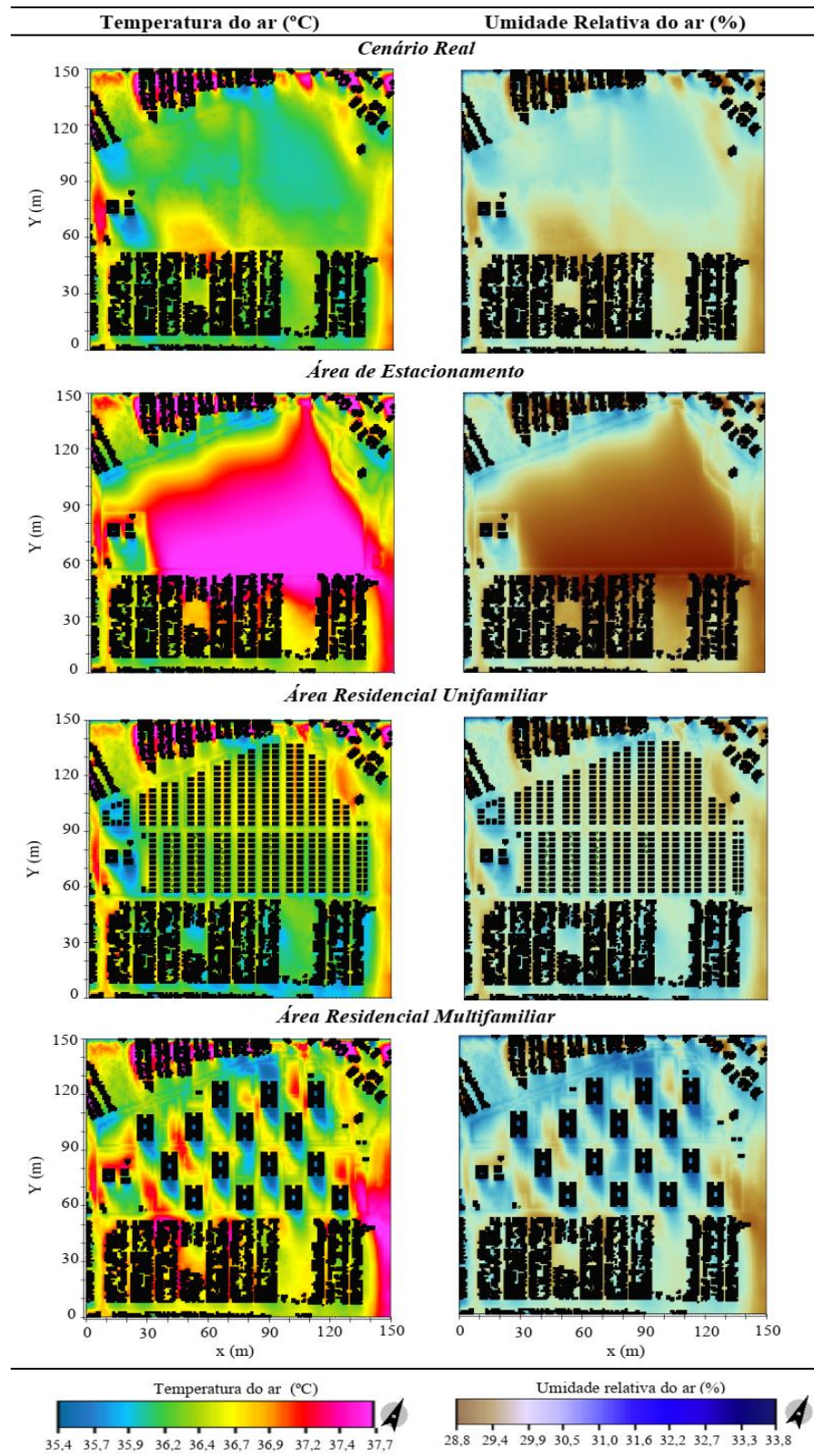
Na simulação do cenário Área de estacionamento, a substituição da vegetação por uma área de pavimentação asfáltica contribuiu para um aumento na retenção de calor elevando a Tar, com alcance maior que 30°C, com cores vermelhas e magenta representando esse aumento. Tal fato, também contribuiu para diminuição acentuada na UR, com valores entre 50,3% e 54,8%, predominantemente marrons.

O Próximo cenário, Área Residencial Unifamiliar, a Tar continuou elevada, variando entre 28,4°C e 29,4°C, com tons verdes e amarelos no mapa. A UR para horário variou entre 50% e 54%, com tons marrons. O efeito de aquecimento é ligeiramente menor em comparação à área de estacionamento, mas consideráveis em comparação ao cenário real.

Na Área Residencial Multifamiliar, com a presença de edifícios, a Tar variou entre 28,1°C e 29,6°C. Há uma maior variação de temperatura, com partes do mapa em azul e verde, o que pode ser influenciado pelo sombreamento proporcionado pelos edifícios. De maneira análoga ao cenário anterior (residencial unifamiliar) a UR variou entre 50% e 54%.

Para a análise das simulações dos cenários às 14:00 horas no período chuvoso, a Tar variando entre 35,4°C e 37,7°C, além da diminuição da UR com variação entre 28,8 % e 33,8%, conforme figura 14.

Figura 14 - Prancha de mapas de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) das simulações no cenário real e dos cenários alterados, às 14:00 horas do período chuvoso, na área de Expansão Leste.



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

No Cenário Real (Figura 14), na área de intervenção, a Tar às 14:00h, variou entre 35,4°C e 36,9°C e a UR em torno de 29%. Altos valores de Tar e baixos valores de UR foram evidente em todas as regiões do mapa.

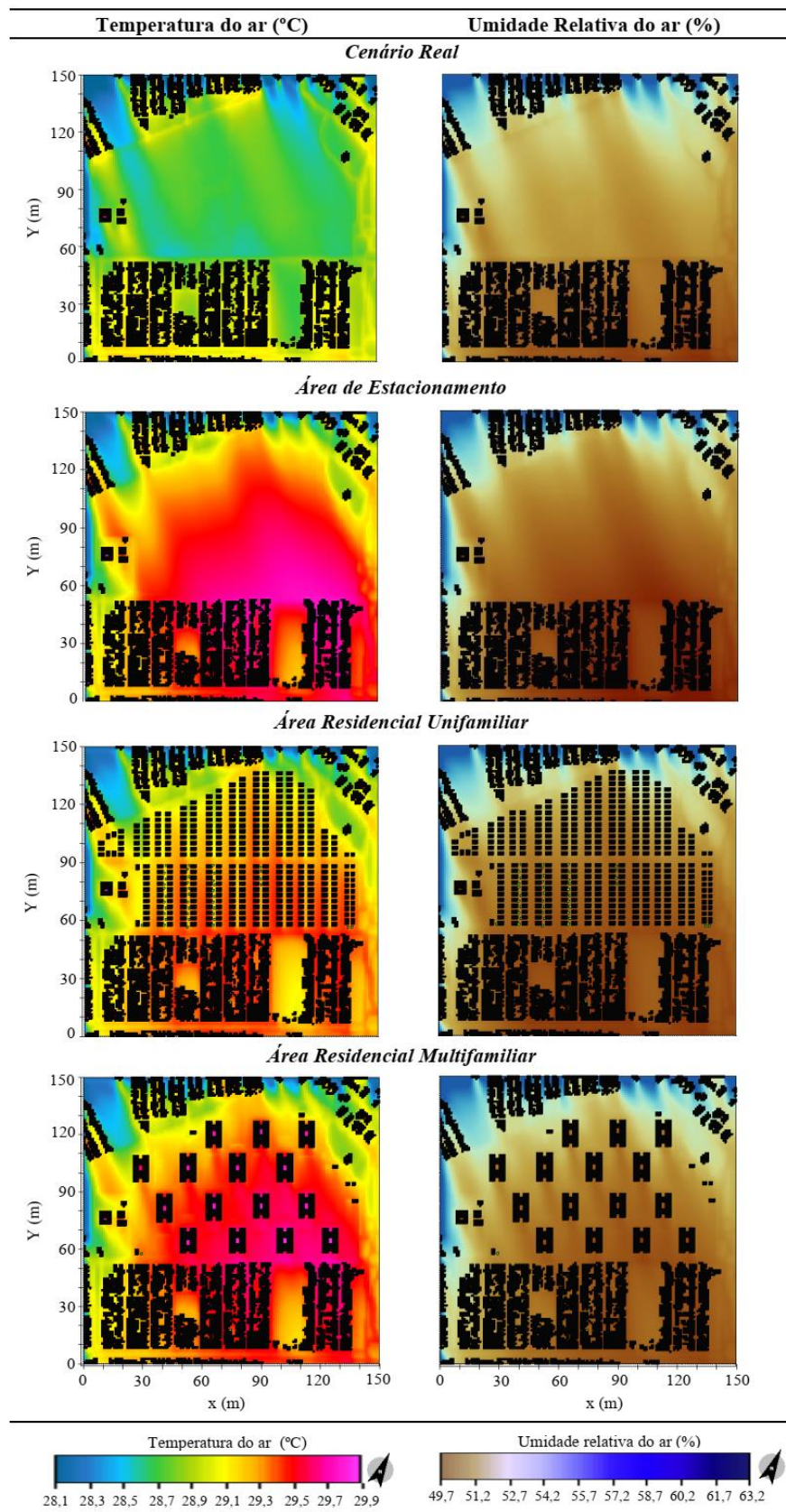
Para o mesmo horário, na Área de Estacionamento, os valores de Tar alcançaram seus valores médios máximos (área de intervenção), variando entre 37,2°C e 37,7°C, com grande parte da área central exibindo tons magenta, indicando temperaturas extremas, e UR em torno dos 28% representados por tons marrons. Em comparação ao Cenário Real, houve um aumento de cerca de 2°C na Tar e diminuição de 2% da UR. Houve interferência nas áreas adjacentes (parte inferior do mapa) principalmente na área mais antiga do bairro, com alcance dos 37,7°C.

Nos mapas seguintes da Área Residencial Unifamiliar e Área Residencial Multifamiliar evidenciou-se a similaridade no que tange a variabilidade da Tar, na área de intervenção variou entre 36,2°C e 36,9°C, ligeiramente mais baixas se comparados aos valores do Cenário Real, além disso houve uma pequena redução da UR que variou em torno dos 28,8% e 29%. Contudo, tais valores de Tar e UR indicam um ambiente quente, mas com uma leve moderação em comparação ao estacionamento.

É válido mencionar a ocorrência da maior variação dos valores de Tar, com áreas de aquecimento pontuais, e locais de temperatura mais amena devido a presença do sombreamento das edificações multifamiliares (edificações 5 andares), representada pela cor azul. Ademais, os valores de UR foram discretamente superiores em relação aos cenários anteriores, especialmente nas áreas próximas às edificações, sugerindo que o sombreamento pode ajudar a manter a umidade mais alta em certas partes da área.

Para a análise das simulações dos cenários às 20:00 horas no período chuvoso, a Tar variou entre 28,1°C e 29,9°C, além da diminuição da UR com variação entre 49,7% e 63,2%, conforme figura 15.

Figura 15 - Prancha de mapas de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) das simulações no cenário real e dos cenários alterados às 20:00 horas do período chuvoso, na área de Expansão Leste.



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

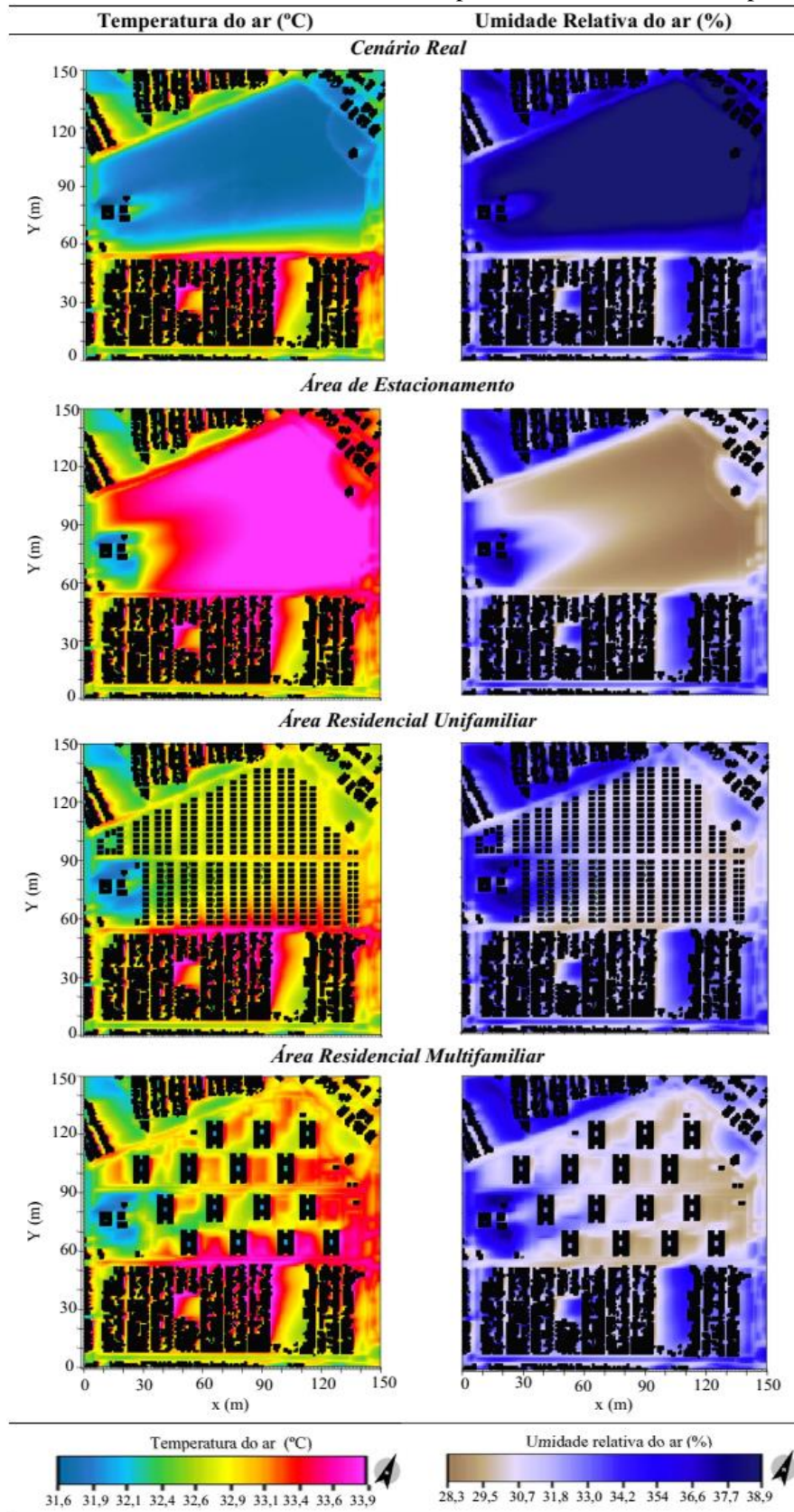
No Cenário Real (Figura 15), a Tar às 20h (área de intervenção), variou dentro da faixa que corresponde a 28°C e a UR em torno dos 51%. Houve pouca variação da Tar (cerca de 1°) entre as áreas deste cenário, assim como os valores de UR (cerca de 5%) nas demais regiões do mapa, com o alcance dos 54% onde localiza-se a parte residencial mais recente do bairro.

Na Área de Estacionamento, os valores de Tar alcançaram seus valores médios máximos na (área de intervenção), variando na faixa dos 29°C, e UR entorno dos 49,7%. Neste cenário os valores de Tar foram maiores, assim como os de UR menores em comparação ao cenário real.

Nas simulações dos cenários da Área Residencial Unifamiliar e Área Residencial Multifamiliar também foram constatadas similaridades na variabilidade da Tar, na área de intervenção variou entre 28,9°C e 29,9°C. A UR manteve-se em níveis mais baixos em torno dos 49%. Em comparação ao Cenário Real, houve um aumento aproximadamente de 2°C na Tar.

No período seco, observa-se nos mapas das simulações dos distintos cenários na figura 16, que a Tar às 08:00 horas, variou entre 31,6 °C e 33,9 °C. No respectivo horário, a UR variou entre 28,3% e 38,9%.

Figura 16- Prancha de mapas de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) das simulações no cenário real e dos cenários alterados, às 08:00 horas do período seco, na área de Expansão Leste.



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

No Cenário Real (Figura 16), com área verde preservada, Tar às 8h, foi 31°C e a UR em torno dos 38,9%, representando um ambiente mais ameno quando comparado com as áreas adjacentes, onde há a presença de adensamento construtivo por se tratar da porção mais antiga do bairro. Netas áreas foram observados os maiores registros de temperatura média do ar, com alcance dos 33,9 °C, e, umidade relativa do ar em torno dos 33%.

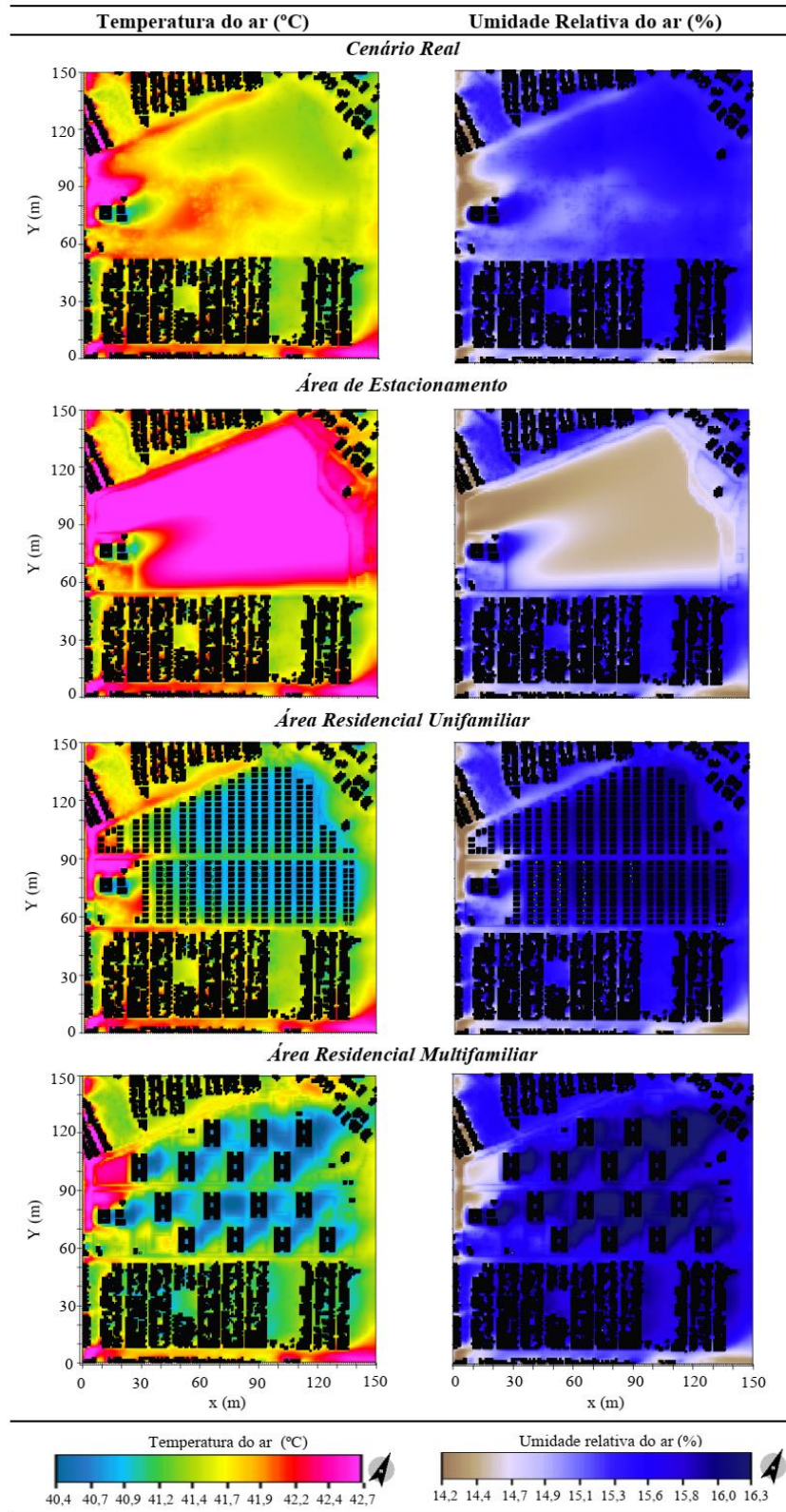
Na simulação da Área de Estacionamento para o respectivo horário, nota-se que a substituição da vegetação por uma área representativa de estacionamento, resultou em um aumento de 2°C na Tar, aproximando-se dos 34°C. Além disso, a redução da evapotranspiração e o aumento da Tar contribuíram para o decréscimo na UR (cerca de 10%), com registros de 28,3%. Foi possível evidenciar que o aumento de cerca de 2°C na temperatura, também foi observado em áreas adjacentes na região onde há uma ocupação mais recente dos condomínios residenciais.

Em relação as simulações da Área Residencial Unifamiliar, a Tar na área de intervenção variou entre 32,4°C e 33,4°C, ligeiramente mais altas se comparados aos valores do Cenário Real, além disso houve uma pequena redução da UR que variou em torno dos 30%.

No último cenário, correspondente a Área Residencial Multifamiliar, é possível evidenciar o aumento da Tar em algumas áreas, com alcance da máxima 33,9°C, com UR próximo aos valores mínimos registrados 30%. Na comparação com o Cenário Real, observa-se a influência nas áreas adjacentes, com o aumento da Tar nas imediações de áreas recém ocupadas por condomínios residenciais (parte superior do mapa), e a diminuição da umidade relativa do ar.

Para a análise das simulações dos cenários às 14:00 horas no período seco, é evidente o aumento expressivo da Tar variando entre 40,4°C e 42,7°C, além da diminuição da UR com variação entre 14,2% e 16,3%, conforme figura 17.

Figura 17 - Prancha de mapas de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) das simulações no cenário real e dos cenários alterados, às 14:00 horas do período seco, na área de Expansão Leste



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

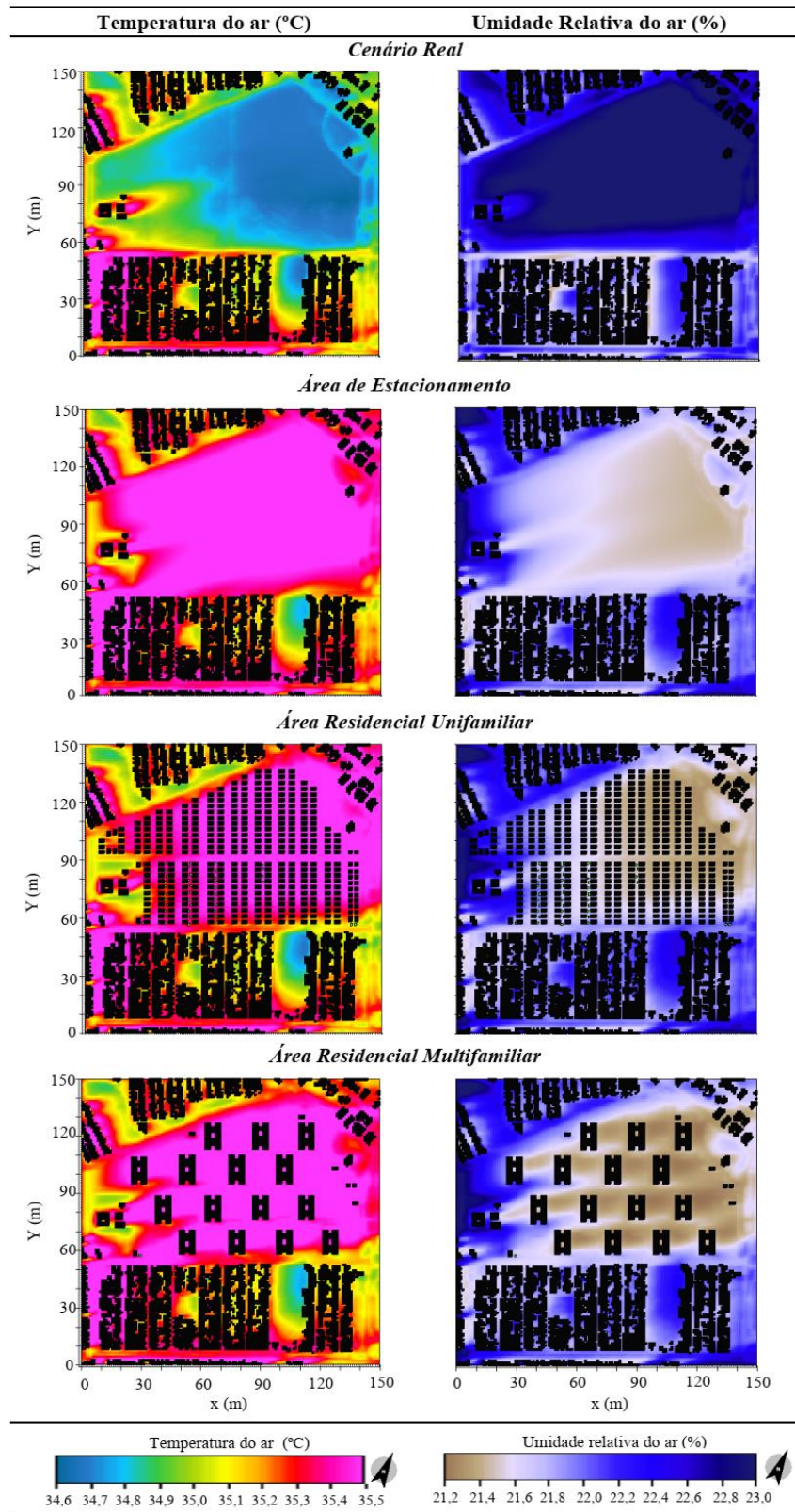
No Cenário Real (Figura 17), a Tar às 14h (área de intervenção), variou entre 41,2°C e 42°C e a UR em torno dos 15%. Altos valores de Tar e baixos valores de UR foram evidente em todas as regiões do mapa.

Na simulação da Área de Estacionamento para as 14:00, os valores de Tar alcançaram seus valores médios máximos (área de intervenção), variando entre 42,0°C e 42,7°C, e UR em torno dos 14%. Em comparação ao Cenário Real, houve um aumento de cerca de 2°C na Tar e diminuição de 2% da UR. Não observou-se a interferência nas áreas adjacentes que mantiveram-se na faixa dos 41°C.

Nos mapas seguintes da Área Residencial Unifamiliar e Área Residencial Multifamiliar evidenciou-se a similaridade no que tange a variabilidade da Tar, na área de intervenção variou entre 40,4°C e 41,7°C, ligeiramente mais baixas se comparados aos valores do Cenário Real, além disso houve uma pequena redução da UR que variou em torno dos 15,3% e 16,3%. Em ambos os cenários observa-se a presença do sombreamento advindos tanto das residências unifamiliares (edificações 1 pavimento) quanto do multifamiliar (edificações 5 andares), não foram observadas influências nas áreas adjacentes.

Para a análise das simulações dos cenários às 20:00 horas no período seco, a Tar variou entre 34,6°C e 35,5°C, além da diminuição da UR com variação entre 21,2% e 23,0%, conforme figura 18.

Figura 18 - Prancha de mapas de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) das simulações no cenário real e dos cenários alterados às 20:00 horas do período seco, na área de Expansão Leste



Fonte: ENVI-Met (2024), adaptado pela autora

No Cenário Real (Figura 18), a Tar às 20h (área de intervenção), variou entre 34,6°C e 35,35,1°C e a UR em torno dos 23%. Nesta área os valores de Tar foram mais baixos e de UR mais elevados quando comparado as demais regiões do mapa, com o alcance dos 35,5°C onde localiza-se a parte residencial mais antiga do bairro.

Na Área de Estacionamento, os valores de Tar alcançaram seus valores médios máximos na (área de intervenção), variando na faixa dos 35,0°, e UR entorno dos 21%.

Assim como simulações das 14h, na análise da Área Residencial Unifamiliar e Área Residencial Multifamiliar também foram constatadas similaridades na variabilidade da Tar, na área de intervenção variou entre 35,3°C e 35,5°C.

Em comparação ao Cenário Real, houve um aumento de cerca de 1°C na Tar e diminuição de 2% da UR para todos os demais cenários, com interferências na Tar e UR, nas áreas adjacentes, principalmente nas regiões de ocupação residencial recente (parte superior do mapa, representada pela cor magenta).

A comparação entre os cenários, de ambos os períodos do ano analisados, chuvoso e seco, nos três horários (8h, 14h, 20h), revela a influência direta da vegetação e do uso do solo no microclima urbano. No cenário real, com vegetação, observa-se condições mais favoráveis para conforto térmico, com temperaturas mais amenas e maior retenção de umidade. Isso reforça a importância da vegetação urbana como um fator importante na moderação das variáveis microclimáticas, no entanto, o efeito geral de aquecimento é evidente.

Ainda em comparação (chuvoso e seco), a simulação da Área de Estacionamento destacou-se com os maiores valores de Tar e menores de UR, pois a conversão de áreas vegetadas para superfícies impermeáveis aliada à grande incidência de radiação solar, contribui para ganho térmico, uma vez que, o asfalto betuminoso absorve grande parte dessa energia, pelo baixo valor de albedo deste material, resultando a absorção e acúmulo de energia térmica que será transmitindo para o meio em forma de calor (NOVAIS et al., 2020).

Desta maneira, pode-se inferir que a substituição da vegetação por superfícies impermeáveis como estacionamentos e/ou edificações (casas e prédios) amplifica os efeitos no microclima, contribuindo diretamente para o aumentando das temperaturas e redução da umidade relativa. Esses efeitos foram também visíveis no cenário de Área Residencial Multifamiliar, em que a temperatura do ar atingem valores máximos enquanto a umidade relativa do ar os mínimos. Contudo, neste cenário houve a ocorrência zonas de sombreamento em decorrência da presença de edificações mais altas, o que contribuiu (ainda que discretamente) para a mitigação dos efeitos térmicos, pontuais, para os pedestre.

Tal fato ocorre pois, o sombreamento gerado pelas edificações diminui a quantidade de radiação solar que atinge o solo, contribuindo para uma redução na temperatura superficial, resultando em uma sensação térmica mais agradável para os pedestres durante suas atividades cotidianas, especialmente em regiões com climas quentes, onde a proteção contra a radiação direta é essencial para o conforto térmico.

Este é um efeito conhecido como "cânion urbano" e ocorre quando ruas estreitas e edifícios altos criam uma geometria influenciando a retenção de calor e a distribuição da umidade, podendo moderar as temperaturas diurnas, mas agravar o calor noturno devido à radiação térmica armazenada nas superfícies construídas (KARIMIMOSHAVER; KHALVANDI; KHALVANDI, 2021).

Outrossim, um dos possíveis motivos para a intensificação dos efeitos de ganho térmico no cenário da Área Residencial Multifamiliar e em suas áreas adjacentes (principalmente às 14h) pode estar relacionado à interferência da verticalização na circulação dos ventos, que reduz a ventilação natural e, conseqüentemente, diminui a troca térmica por convecção, contribuindo para a retenção do calor entre as edificações e dificultando sua dissipação. Dessa forma, alguns pesquisadores supramencionados explicam que a orientação das vias em relação à radiação solar e à direção predominante dos ventos, bem como a relação entre a altura das edificações e a largura das ruas, influencia os padrões de circulação do ar, criando zonas de alta e baixa pressão que afetam a dinâmica dos ventos e a dispersão do calor (ARNFIELD, 2003; NAKATA-OSAKI et al., 2016; TORR et al., 2017; RUI et al., 2019; MUNIZ-GÄAL et al., 2020).

Nas simulações das 20h, chuvoso e seco, os valores estimados da Tar foram elevados, com várias áreas atingindo o máximo de 29,9°C e 35,5°C (respectivamente), principalmente em torno dos prédios. Esses achados nos cenários noturnos, tornam evidentes os efeitos negativos do aquecimento causado pela impermeabilização de superfícies naturais, com acúmulo de energia térmica ao longo de todo dia que posteriormente serão liberadas mais lentamente à noite, resultando em temperaturas mais elevadas, ilustrando bem o efeito das ilhas de calor urbano, principalmente no horário noturno.

É importante ressaltar que, os valores registrados de UR, não assemelhando-se ao cenário real, mantendo uma tendência de valores mais baixos, sobretudo nas áreas construídas, como é o caso dos cenários de Área Residencial Unifamiliar e Multifamiliar onde há pouca ou nenhuma vegetação. Tais valores mantiveram-se abaixo do recomendado para saúde humana, em todos cenários e horários simulados. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (WORD HEALTH ORGANIZATION - WHO, 2004) o nível ideal da umidade relativa do ar

está entre 80% e 60%, além disso, a escala psicrométrica UNICAMP destaca os níveis de umidade relativa do ar considerados prejudiciais à saúde humana, indicando que: entre 20% e 30% - estado de atenção; entre 12% e 20% - estado de alerta; abaixo de 12% - estado de emergência (PINTO, ZULLO e ÀVILA, 2008).

A substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis promove a intensificação do aquecimento e de níveis extremamente baixos de umidade relativa do ar no ambiente urbano, agravando o desconforto térmico. No entanto, a análise comparativa dos cenários evidencia que, embora a presença de vegetação contribua para a atenuação das temperaturas, sua quantidade e distribuição podem não ser suficientes para assegurar níveis de conforto térmico aceitáveis, especialmente em regiões com adensamento construtivo e clima quente.

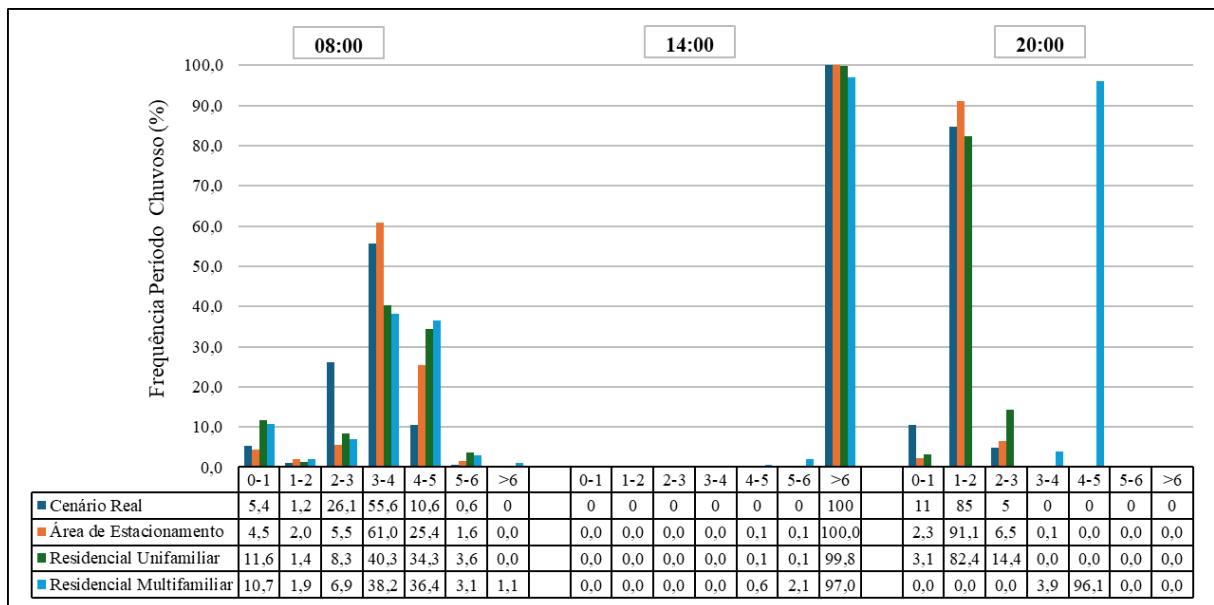
Neste sentido, o trabalho realizado por uma equipe de pesquisadores do clima urbano em Cuiabá – MT, encontrou resultados similares, não evidenciando diferenças estatísticas significativas entre zonas vegetadas e não-vegetadas, reforçando a ideia de que para esta região brasileira a vegetação ajuda com sombreamento e evapotranspiração, porém não são suficientes (SOUZA et al., 2020).

4.3 Frequência de distribuição espacial dos valores do PMV no período chuvoso e seco

Após a caracterização das condições meteorológicas utilizadas no modelo, e feita as simulações dos cenários reais e dos cenários alterados, calculou-se o Voto Médio Predito (Predicted Mean Vote - PMV) para todos os cenários (08:00 h, 14:00 h e 20:00 h), em ambos os períodos do ano (chuvoso e seco).

Para melhor entendimento, os resultados das variações das frequências de distribuição do percentual do PMV para os cenários: Cenário Real, Área de Estacionamento, Residencial Unifamiliar e Residencial Multifamiliar, do período chuvoso, estão dispostas graficamente na figura 19, em que cada faixa de valores do PMV representa diferentes níveis de conforto térmico, indo de -3 (muito frio) a +3 (muito quente), sendo que valores acima de +3 indicam desconforto térmico extremo.

Figura 19 – Frequência de distribuição dos valores de PMV para os cenários real e alterados às 8:00 h, 14:00 h e 20:00 h, no período chuvoso



No gráfico acima (Figura 19), os valores do PMV chegam até 6 (08:00 h e principalmente às 14:00 h), caracterizando cenários com desconforto mais intenso.

Pela manhã, 08:00 h, a maior parte das frequências do PMV dos cenários está concentrada nas faixas entre +3 e +4, além da +4 e +5, e dentre as faixas citadas, estão cerca de 66,2% do Cenário Real, enquanto o cenário de Área de Estacionamento registra 86,4%, seguidos pelo cenário Residencial Unifamiliar e Multifamiliar com distribuições semelhantes e concentrações de 74,6,% e 74,6%, sendo classificados com sensação térmica de “muito quente”, especialmente nas áreas com menos vegetação como a Área de Estacionamento.

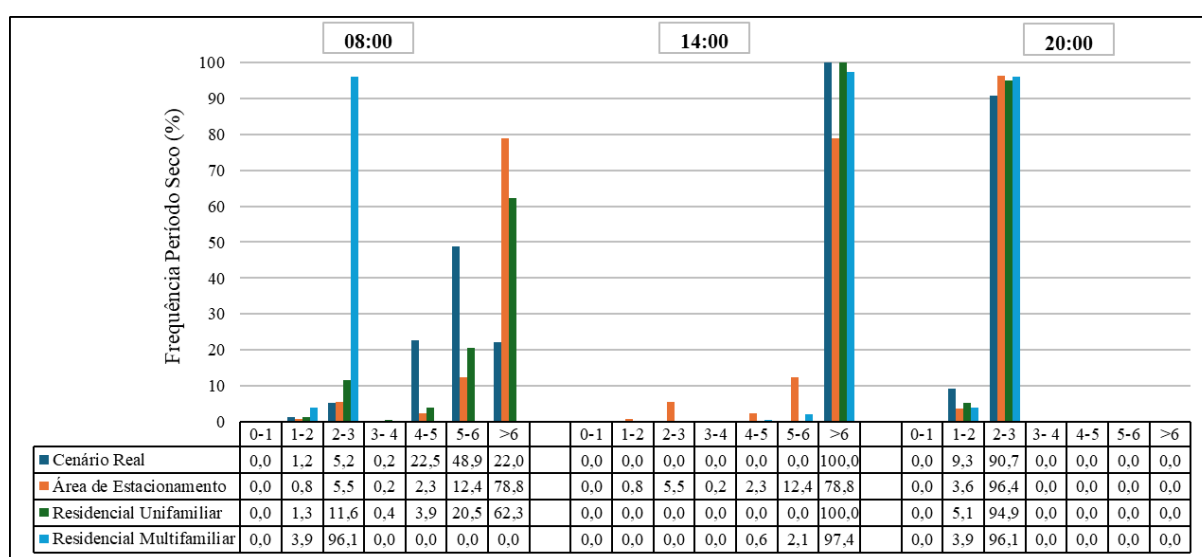
Nas simulações das 14:00 h, as frequências do PMV dos cenários atingiram, majoritariamente, valores extremos, superiores a +6 em todos os cenários, com condições de “calor intenso” e desconforto térmico elevado, indicando que áreas com adensamento construtivo, mesmo com a presença de vegetação, são impactadas com o desconforto térmico extremo durante esse horário.

Para as simulações das 20:00 h, o desconforto térmico diminuiu consideravelmente, em que a maioria dos cenários possuem frequências nas faixas +1 e +2, com classificação da sensação térmica entre levemente quente a quente, estando nesta faixa cerca de 85% do Cenário Real, enquanto o cenário Área de Estacionamento 91,1%, seguido Residencial Unifamiliar com 82,4%. Já no cenário Área Residencial Multifamiliar, cerca de 96,1% mantiveram-se na faixa de distribuição entre +4 e +5 com classificação desconforto intenso. Tais resultados indicam que, embora o desconforto extremo tenha diminuído, o calor ainda é evidente devido a

dissipação lenta do calor acumulado no decorrer do dia, principalmente onde há maior número de edificações como no cenário Residencial Multifamiliar.

Os resultados das variações das frequências de distribuição do percentual do PMV para os cenários: Cenário Real, Área de Estacionamento, Residencial Unifamiliar e Residencial Multifamiliar, do período seco, estão dispostas graficamente na figura 20, em que cada faixa de valor representa diferentes níveis de conforto térmico, indo de -3 (muito frio) a +3 (muito quente), sendo que valores acima de +3 indicam desconforto térmico extremo.

Figura 20 – Frequência de distribuição dos valores de PMV para os cenários real e alterados às 08:00 h, 14:00 h e 20:00 h, no período seco



Nesta representação gráfica (Figura 20), assim como no período seco, os valores do PMV foram superiores a 6 (08:00 h e 14:00 h), configurando cenários com desconforto ainda mais intenso.

Na análise das 08:00 h, o Cenário Real apresenta uma alta frequência, cerca de 48,9% na faixa entre +5 e +6, indicando desconforto térmico por calor já início da manhã. Já no cenário de Área de Estacionamento, as maiores concentrações foram observadas na faixa superior a +6, cerca de 78,8% correspondente a desconforto extremo devido ao calor. Para os cenários de Área Residencial Unifamiliar e Multifamiliar também indicam desconforto térmico elevado, mas com menor intensidade do que a Área de Estacionamento, em que a distribuição do primeiro cenário, cerca de 96,1%, concentra-se na faixa entre +2 e +3, e, o segundo na faixa superior a +6, cerca de 62,3%.

As simulações do PMV para às 14:00 h, nota-se que a sensação térmica relacionada ao calor extremo é dominante em todos os cenários, com frequências e concentradas na faixa

superior a +6. No Cenário Real e Área Residencial Unifamiliar a distribuição das frequências alcançou os 100% da simulações, seguida pela Área Residencial Multifamiliar com cerca de 97,4% e Área de Estacionamento com 78,8%.

No horário das 20:00h, as concentrações das frequências do PMV foram dominante na faixa entre +2 e +3 classificada como quente e muito quente que apesar de indicar desconforto, pode-se considerar uma sensação menos extrema em comparação as frequências das 14:00h. No Cenário Real a distribuição das frequências alcançou os 90,7%, seguida pela Área de Estacionamento com cerca de 96,4%, e os cenários Residencial Unifamiliar 94,9% e Multifamiliar 96,1%. Em geral todos os cenários que passaram por intervenções mantiveram frequências mais altas, indicando uma demora maior para dissipar o calor acumulado ao longo do dia.

Considerando ambos os períodos (chuvoso e seco), a análise da distribuição de frequências do PMV, evidenciou que todos os cenários apresentaram graus de desconforto térmico. No entanto, a maioria dos valores mensurados ultrapassaram os limites máximos estabelecidos pelo PMV, +3 enquadrando na classificação de “muito quente”.

Os valores de PMV acima de +5 indicam desconforto extremo, onde o corpo humano se esforça intensamente para dissipar o calor, o que pode gerar efeitos psicofisiológicos adversos à saúde, especialmente em períodos secos e com baixa umidade relativa do ar.

Nos cenários simulados com alta concentração de superfícies impermeáveis (asfalto e edificações) foi notório concentrações de desconforto térmico relativamente mais altos, especialmente nas simulações das 14:00 h, considerado termicamente o horário mais quente do dia. Ademais, as altas temperaturas do ar e baixas umidades relativas deste horário, fizeram com que os valores do PMV ficassem excessivamente altos quando comparados a pesquisas de PMV de climas tropicais Aw.

Outro ponto importante desta pesquisa, foi que o cenário com maior cobertura vegetal, ainda apresenta desconforto térmico elevado, mas com menor intensidade em comparação com áreas asfaltadas ou densamente construídas, ressaltando a importância de estratégias de mitigação, como aumento da cobertura vegetal e redução das superfícies pavimentadas para melhorar o conforto térmico urbano

É válido mencionar que, embora o PMV tenha sido desenvolvido para condições extremas de calor, talvez não seja o mais indicado para regiões de clima extremamente quente, podendo ultrapassar seus limites de aplicação (-3 a +3). Como identificado no estudo de Zhang, et al. (2022) encontraram para Guangzhou valores simulados no ENVI-met de PMV maiores

que 5, assim apesar da escala sétima de Fanger (1970) sugerir valor entre -3 e 3, para condições térmicas mais extremas o módulo BIO-Met extrapola estes valores.

Neste pressuposto, o estudo realizado na capital de Mato Grosso por Ribeiro et al., (2020) utilizando dois índices de conforto térmico PMV e PET em diferentes tipos de coberturas em ambiente aberto na cidade de Cuiabá-MT, e obteve valores que ultrapassaram a classificação de sensação térmica “muito quente”.

Do mesmo modo, a pesquisa realizada por Campos (2018), utilizou o software ENVI-met e o índice PMV com o objetivo avaliar o conforto higrotérmico de uma praça pública localizada no bairro da Tijuca na capital do estado do Rio de Janeiro, resultou em valores superiores da percepção térmica de “muito quente” do PMV, em período do ano diferentes (verão e inverno).

Além destes estudos, outro estudo realizado por Fank (2022), analisou o conforto térmico no entorno da Arena Pantanal, em Cuiabá-MT, simulando os efeitos da inserção da vegetação no cenário atual. Os resultados indicaram que essa estratégia de implantação não foi suficiente para melhorar significativamente o conforto térmico em ambos os períodos analisados (chuvoso e seco), com percepção térmica de “muito quente” do PMV (superior a +3) principalmente às 14 h.

Ainda neste contexto, Oliveira e Calixter (2020) analisaram a contribuição da vegetação no conforto térmico da Praça da Liberdade, em Teresina-PI, por meio de simulação do microclima durante os períodos seco (outubro) e úmido (março), utilizando o software ENVI-met, e, e os resultados das simulações evidenciaram altas temperaturas em ambos os períodos, com maior desconforto no período seco, especialmente às 15 h, quando o índice PMV variou de +3,5 a +5,5, indicando "muito calor". Os autores reiteram que, apesar da vegetação proporcionar melhores condições de conforto, o local não apresentou sensação de conforto térmico em nenhum período, sugerindo a necessidade de estratégias bioclimáticas adicionais.

Existem poucos estudos de revisão sobre análise das condições dinâmicas e as limitações do programa BIO-met. Nesse sentido, Zhang et al. (2022) argumentam que, para otimizar o planejamento urbano, é essencial aprimorar o BIO-met, com ajustes e/ou calibrações específicas no software para o aumento da precisão das simulações dos índices de conforto, especialmente em regiões com condições extremas de temperatura, como Cuiabá, a fim de que estudos futuros corroborem para tornar as cidades de clima tropical, mais resiliente frente as condições extremas de temperaturas e umidades relativas do ar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados, em ambos os períodos do ano analisados, pode-se inferir que os objetivos deste trabalho foram alcançados, uma vez que, as alterações na morfologia do cenário real resultaram em alterações na higrotermia, evidenciando os efeitos da urbanização e a importância de manter áreas verdes em áreas destinadas para expansão urbana, especialmente em cidades onde o clima é predominantemente quente e a perda de vegetação pode agravar ainda mais as condições de desconforto térmico.

Para as simulações noturnas, não houve influência relevante da presença da vegetação na comparação entre cenários, evidenciando o armazenamento e o acúmulo de carga térmica ao longo do dia. Esse fenômeno caracteriza a presença do efeito de ilha de calor urbano, resultando em temperaturas elevadas durante a noite, com todos os cenários enquadrando-se na classificação de “muito quente”.

Os resultados do PMV destacaram os efeitos negativos da substituição de áreas verdes, evidenciando que, embora a presença da vegetação no cenário real tenha proporcionado alguma mitigação do desconforto térmico, não foi suficiente para garantir valores indicativos de conforto térmico. Esse efeito foi mais evidente às 14 h, quando os valores do PMV em todos os cenários atingiram níveis extremamente desconfortáveis, o que pode ser atribuído às altas temperaturas locais e a uma possível limitação do programa BIO-met para climas tropicais.

No que tange as limitações do programa supramencionadas, faz-se necessário ajustes do índice PMV, principalmente em relação a sua escala de sensações térmicas de sete pontos padronizada entre “confortáveis” e “desconfortáveis”, a fim de torná-lo adequado para estudos especialmente em cidades de clima tropical, como é caso de Cuiabá.

Isto posto, adverte-se que medidas isoladas podem não atender plenamente às necessidades de mitigação térmica e adaptação urbana, fazendo-se necessário ações integradas de forma mais robusta a políticas públicas voltadas para o conforto térmico, especialmente no que tange à requalificação urbana. Nesse sentido, estratégias como a criação de corredores de sombra e programas de incentivo à arborização, em conformidade com as diretrizes do Plano Diretor municipal, que prevê a proteção de áreas de vegetação e a criação de novos espaços verdes são fundamentais a fim de garantir a qualidade de vida da população, promovendo a sustentabilidade urbana e a adaptabilidade da cidade frente ao aumento dos eventos adversos como ondas de calor extremo.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para realização de novos estudo, a investigação por meio de modelagem preditiva em áreas de uso comum e interesse público, utilizando-se outros índices disponibilizados pelo BIO-met.

Ademais, recomenda-se que estudos futuros investiguem o efeito canyon urbano na cidade de Cuiabá, considerando como a altura e a disposição dos edifícios influenciam a ventilação, o aprisionamento de calor e a formação de ilhas de calor.

Tais investigações podem contribuir para estratégias de planejamento urbano mais eficientes, visando mitigar impactos térmicos e melhorar o conforto ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABDI, B.; HAMI, A.; ZAREHAGHI, D. Impact of small-scale tree planting patterns on outdoor cooling and thermal comfort. **Sustainable Cities and Society**, v. 56, p. 102085, 2020.
- ALCHAPAR, N. L.; PEZZUTO, C. C.; CORREA, É. N. Parâmetros morfomateriais urbanos e sua correlação com as temperaturas do ar no verão. **Ambiente Construído**, v. 18, não. 4, pág. 199-213, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400301>.
- ALCOFORADO, M. J.; LOPES, A.; ANDRADE, H.; VASCONCELOS, J. Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa. **Energy and Buildings**, v. 11, p. 1-10, 2006.
- ALENCAR, A. A., Arruda, V. L., Silva, W. V. D., Conciani, D. E., Costa, D. P., Crusco, N., Vélez-Martín, E. I. Long-term landsat-based monthly burned area dataset for the Brazilian biomes using deep learning. **Remote Sensing**, v. 14, n. 11, p. 2510, 2022.
- ALLEGRI, J., DORER, V. E CARMELIET, J. Influência das morfologias no microclima em bairros urbanos. **Jornal de Engenharia Eólica e Aerodinâmica Industrial**, v. 144, p. 108-117, 2015.
- ALTUNKASA, C.; USLU, C. Use of outdoor microclimate simulation maps for a planting design to improve thermal comfort. **Sustainable Cities and Society**, v. 57, p. 102137, 2020.
- ALVARES, C. A. J. L.; STAPE, P. C.; SENTELHAS, J. L. M. GONÇALVES, 2013. **Modeling monthly mean air temperature for Brazil**. – Theor. Appl. Climatol. 113, 407–427.
- ANDRADE, H. O clima urbano-natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, v. 40, n. 80, 2005.
- ANSI/ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, Standard 55-2017. **Thermal Environment Conditions for Human Occupancy**; Atlanta: ASHRAE, 2017.
- ANTONIACOMI, J. G. **Um novo Plano Diretor para uma nova Cuiabá**. *Gazeta Digital*, segunda-feira, 11 set. 2023. Disponível em: <<https://www.gazeta digital.com.br/colunas-e-opiniao/colunas-e-artigos/um-novo-plano-diretor-para-uma-nova-cuiab/746740>>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology: a Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 23, n. 1, p. 1-26, 2003.
- AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 15ª. Ed. **Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011**.
- BADESCU, V. **Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface**. Springer-Verlag, 2008.
- BARUTI, M. M.; JOHANSSON, E.; ÅSTRAND, J. Review of studies on outdoor thermal comfort in warm humid climates: challenges of informal urban fabric. **International journal of biometeorology**, v. 63, p. 1449-1462, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01757-3>.

BASSO, J. M.; CORRÊA, R. S. Arborização urbana e qualificação da paisagem. **Paisagem e Ambiente**, n. 34, p. 129-148, 2014.

BENINI, S. M.; MARTIN, E. S. Análise qualitativa das áreas verdes públicas na cidade contemporânea. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 15, n. 4, 2019.

BIUDES, M.S.; NOGUEIRA, J.S.; DALMAGRO, H.J.; MACHADO, N.G.; DANELICHEN, V.H.M. & SOUZA, M.C. Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no norte do Pantanal. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 61-68, 2012.

BLESSMANN, J. **O vento na engenharia estrutural**. Editora da UFRGS, 2013.

BRACARENSE, L. S. F. P.; CRUZ, B.C.B.L.; MONTEIRO, A.J.F; SANTOS, A.P.F.; VENÂNCIO, S.L.A.; PEREIRA, E.C. Índices de conforto térmico: limitações e variações de classificação. In: **Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**. 2018.

BRASIL. I.B.G.E. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico, 2022**. Disponível em: <https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2022/Previa_da_Populacao/MT_POP2022.pdf>. Acesso em: 14 de jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Estatuto da Cidade. Brasília, 2001. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2001/110257.htm>. Acesso em: 10 de mar. 2025.

BRITO, É. G.; SILVA, M. V. C.; CRISPIM, A. B. Climatologia. **Fortaleza: EdUECE**, 2015.

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.

BUCZKOWSKI, R., ŚWIRAD, Z. Thermal comfort assessment in different spaces based on the results of subjective surveys and physical measurements. **Energy and Buildings**, 153, 376-385, 2017.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; RIGHI, E. Z.; BRESSAN, V. C. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v. 45, n. 2, 2015.

BUTERA, F. **Architettura e ambiente**. Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici. Etas libri, Milano, 1995.

CAMPOS, M. O uso do ENVI-met na análise microclimática urbana: a praça Afonso Pena–Tijuca, RJ. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2018.

CARDOSO, A. C. D., LIMA, J. J. F., PONTE, J. P. X., VENTURA, R. D. S., RODRIGUES, R. M. Morfologia urbana das cidades amazônicas: a experiência do Grupo de Pesquisa Cidades na Amazônia da Universidade Federal do Pará. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, p. e20190275, 2020.

CARLESSO, F., GÓMEZ, J. M. R., VIEIRA, L. E. A., SAVONOV, G. D. S., BERNI, L. A., COSTA, L. L. Conceitos básicos de radiômetros de substituição elétrica para medidas da Irradiância Solar Total. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, p. e20180220, 2019.

CARLUCCI, CARLUCCI, S., BAI, L., DE DEAR, R., YANG, L. Review of adaptive thermal comfort models in built environmental regulatory documents. **Building and Environment**, v. 137, p. 73-89, 2018.

CARNEIRO, R. G. **Erosão da camada limite noturna e suas implicações no crescimento da camada limite convectiva na região central da Amazônia (experimento GOAMAZON 2014/15)**. 2018. Tese de Doutorado. Doctoral thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brazil. 152p.(<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2018/01.18.01.59>).

CARPIO, M.; GONZÁLEZ, A.; GONZÁLEZ, M.; VERICHEV, K. Influence of pavements on the urban heat island phenomenon: A scientific evolution analysis. **Energy and Buildings**, v. 226, 2020.

CASTRO, S. M. D. J., MANCUSO, A. C. B., CAMEY, S. A., LEOTTI, V. B., HIRAKATA, V. N., BORGES, R. B. PSS Health: How to calculate sample size to estimate mean, proportion, and correlation. **Clinical and biomedical research. Porto Alegre. Vol. 41, n. 3 (Out. 2021), p. 267-274**, 2021.

CHAI, T.; DRAXLER, R. R. Mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)?—Arguments against avoiding RMSE in the literature. **Geoscientific model development**, v. 7, n. 3, p. 1247-1250, 2014.

CHANG, C. H.; BERNARD, T. E.; LOGAN, J. Effects of heat stress on risk perceptions and risk taking. **Applied Ergonomics**, v. 62, p. 150-157, 2017.

CHEN, G., WANG, D., WANG, Q., LI, Y., WANG, X., HANG, J., WANG, K. Scaled outdoor experimental studies of urban thermal environment in street canyon models with various aspect ratios and thermal storage. **Science of The Total Environment**, v. 726, p. 138147, 2020.

CLEUGH, H.; GRIMMOND, S.. Urban climates and global climate change. **The Future of the World's Climate (Second Edition)**, p. 47-76, 2011.

CNRM FRANCE. Centre National de Recherches Météorologiques. Climate urbain. Disponível online em: <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?rubrique134&lang=fr>. Acesso em: 24 jun 2023.

COSEO, P.; LARSEN, L. Como os fatores de uso/cobertura do solo, configuração do edifício e fontes e sumidouros de calor adjacentes explicam as Ilhas de calor urbano em Chicago. **Paisagismo e Planejamento Urbano**, v. 125, p. 117-129, 2014.

COSGROVE, A.; BERKELHAMMER, M. Downwind footprint of an urban heat island on air and lake temperatures. **npj Climate and Atmospheric Science**, v. 1, n. 1, p. 46, 2018.

CRIADO, M.; Santos-Francês, F.; Martínez-Graña, A.; Sanchez, Y.; Mercan, L. Multitemporal analysis of soil sealing and land use changes linked to urban expansion of Salamanca (Spain)

using landsat images and soil carbon management as a mitigating tool for climate change. **Remote Sensing**, v. 12, n. 7, p. 1131, 2020.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá / Composição dos Bairros de Cuiabá – Data base 2011. 3. Edição revista e atualizada. SMDU – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Cuiabá: 2013. 68 p.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano. Perfil socioeconômico de Cuiabá. Vol.V - Cuiabá: IPDU/AS&M/Central de Texto, 2012. 564 p.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano – IPDU. Diretoria Estadual de Pesquisa e Informação – DPI. Perfil pelo governo socioeconômico de Cuiabá, volume IV. Organização Adriana Bussiki Santos; coordenação Jandira Maria Pedrollo. Cuiabá: 2010.

DEAR, R. Recent enhancements to the adaptive comfort standard in ASHRAE 55-2010. In: **Proceedings of the 45th annual conference of the Architectural Science Association, Sydney, Australia**. 2011. p. 16-19.

DEBBAGE, N.; SHEPHERD, J. M. O efeito de ilha de calor urbana e a contiguidade da cidade. **Computadores, Meio Ambiente e Sistemas Urbanos**, v. 54, p. 181-194, 2015.

DENG, C.; WU, C. Examinando os impactos das composições biofísicas urbanas na superfície da ilha de calor urbana: uma abordagem de mistura espectral e mistura térmica. **Sensoriamento remoto do ambiente**, v. 131, p. 262-274, 2013.

DESA, U. N. Revision of world urbanization prospects. Dynamic control of room air temperature for stratum ventilation based on heat removal efficiency: method and experimental validations. **UN Department of Economic and Social Affairs**, v. 16, 2018.

DUARTE, D. H. S.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. **Ambiente construído**, v. 3, n. 2, p. 7-20, 2003.

ESCOBEDO, J. F., GOMES, E. N., OLIVEIRA, A. P., SOARES, J. Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. **Renewable Energy**, v. 36, n. 1, p. 169-178, 2011.

FANGER, P. **Thermal Comfort**. New York: McGraw-Hill, 1970.

FANK, N. C. Simulação da influência de vegetação para as condições de conforto térmico no entorno da Arena Pantanal. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-graduação stricto sensu. **Cuiabá: Universidade de Cuiabá – UNIC**, 2022.

FERREIRA, C. S.S; WALSH, Rory PD; FERREIRA, António JD. Degradation in urban areas. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 5, p. 19-25, 2018.

FERREIRA, D.F. **Estatística básica**. 3. ed. Revisada e Ampliada. Lavras: UFLA, 624 p., 2018.

FONSECA, N., ASSIREU, A., PIMENTA, F., DE FREITAS, R. M., JÚNIOR, A. T., NETO, F. A., SAAVEDRA, O. R. Comprimento de rugosidade na região costeira partir de imagens de satélite e de medidas de vento via lidar e torre micrometeorológica. 2023.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2006. E-book.

FROTA, A. B. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 2016.

GAGO, E. J.; PACHECO TORRES, R.; ETXEBARRÍA B. S. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 25, p. 749-758, 2013.

GANESH, G. A., SINHA, S. L., VERMA, T. N., DEWANGAN, S. K. Investigation of indoor environment quality and factors affecting human comfort: A critical review. **Building and Environment**, v. 204, p. 108146, 2021.

GATTO, E., BUCCOLIERI, R., AARREVAARA, E., IPPOLITO, F., EMMANUEL, R., PERRONACE, L., & SANTIAGO, J. L. Impact of urban vegetation on outdoor thermal comfort: Comparison between a mediterranean city (Lecce, Italy) and a northern European city (Lahti, Finland). **Forests**, v. 11, n. 2, p. 228, 2020.

GEHL, J. **Cidades para pessoas**. 3 ed. São Paulo: Perspectiva, 2015.

GOMES, A. S., PEREIRA, F. D. S., SILVA, M. E. S. D., VIANA, M. C., CAETANO, O. C. Fatores e elementos climáticos usando a classificação de Köppen-Geiger. **Projeto de Extensão**, 2022.

GOMES, N. C. A. **Os efeitos do ambiente térmico: avaliação subjetiva e numérica**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho (Portugal).

GOMES, P.S. LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 73-91, jan./mar. 2009.

GÓMEZ, J. M. R. La influencia del Sol en la Tierra y otros planetas: Clima espacial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.

GOUVEA, G. M.; NUCCI, J. C.; LIBERTI, E. Cobertura da terra e qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Vila Pinheiros, Curitiba, Paraná (Brasil). **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 80, p. 153-168, 2021.

GRIMM, N. B., FAETH, S. H., GOLUBIEWSKI, N. E., REDMAN, C. L., WU, J., BAI, X., BRIGGS, J. M.. Global change and the ecology of cities. **science**, v. 319, n. 5864, p. 756-760, 2008.

GUARIM NETO, G. Plantas do Brasil: angiospermas do estado de Mato Grosso-Pantanal. **Acta Botanica Brasilica**, v. 5, p. 25-47, 1991.

GUNGOR, Senay; CETIN, Mehmet; ADIGUZEL, Fatih. Calculation of comfortable thermal conditions for Mersin urban city planning in Turkey. **Air Quality, Atmosphere & Health**, v. 14, p. 515-522, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00955-y>

GUO, G.; WU, Z.; XIAO, R.; CHEN, Y.; LIU, X.; ZHANG, X. Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. **Landscape and Urban Planning**, v. 135, p. 1-10, 2015.

HERDE, A.; KLEMM, O. ENVI-met as a tool for microclimatic analysis in urban planning: A review. **Urban Climate**, 24, 360-371, 2018.

HONJO, T. Thermal comfort in outdoor environment. **Global environmental research**, v. 13, n. 2009, p. 43-47, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1080/01944369>.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia . Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Estações Convencionais. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesconvencionais>>. Acesso em: 07 de nov. 2023.

INMET– Instituto Nacional de Meteorologia. *Inverno 2023: Cuiabá (MT) teve temperaturas acima e chuva abaixo da média*. Publicado em 02 out. 2023. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/noticias/inverno-2023-cuiaba-mt-teve-temperaturas-acima-e-chuva-abaixo-da-media>>. Acesso em: 15 de mar. 2025.

ISHIHARA, T.; QIAN, G-W; QI, Y-H. Numerical study of turbulent flow fields in urban areas using modified k– ϵ model and large eddy simulation. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 206, p. 104333, 2020.

ISO (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. **Management**, v. 52, 2005.

JESUS, A. T. C., SAMPAIO, M. D. M. A., ALVES, A. K., MACEDO, K. C.. Avaliação do uso e ocupação do solo na região norte de Cuiabá-MT e sua relação com a Lei Complementar N° 102. **Ciência e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 103-123, 2016.

JOHANSSON, E.; YAHIA, M. W.; ARROYO, I.; BENGS, C. Outdoor thermal comfort in public space in warm-humid Guayaquil, Ecuador. **International Journal of Biometeorology**, United States, v. 62, n. 3, p. 387–399, 2017.

JR.C.P.R. Carta Geotécnica de Cuiabá. **Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. Fundação Universidade de Mato Grosso/Prefeitura de Cuiabá**, 1990.

KARIMIMOSHAVER, M.; KHALVANDI, R.; KHALVANDI, M.. The effect of urban morphology on heat accumulation in urban street canyons and mitigation approach. **Sustainable Cities and Society**, v. 73, p. 103127, 2021.

KARUNASINGHA, D. S. K.. Root mean square error or mean absolute error? Use their ratio as well. **Information Sciences**, v. 585, p. 609-629, 2022.

KJELLSTRÖM, E.; HANSEN, F.; BELUŠIĆ, D.. Contributions from changing large-scale atmospheric conditions to changes in Scandinavian temperature and precipitation between two climate normals. **Tellus. Series A, Dynamic meteorology and oceanography**, v. 74, n. 1, 2022.

KLAUS, V. H.; KIEHL, K. Uma estrutura conceitual para restauração e reabilitação ecológica urbana. **Ecologia Básica e Aplicada**, v. 52, p. 82-94, 2021.

KRUGER, E., TAMURA, C. Urban climate studies in a subtropical location: literature review and current perspectives for Curitiba, Brazil. **Energy and Emission Control Technologies**, p. 55-66, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.2147/EECT.S60290>.

KUANG, W. Mapping global impervious surface area and green space within urban environments. **Science China Earth Sciences**, v. 62, p. 1591-1606, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11430-018-9342-3>.

LAI D.Y., LIU W.Y., GAN T.T., LIU K.X., CHEN Q.Y.. A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. **Science of the Total Environment**, v. 661, p. 337-353, 2019.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L. Desempenho térmico de edificações. **Universidade Federal**, 2000.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R. D. **Conforto e Stress Térmico. Apostila**. Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina - SC. 2011.

LAZAROTTO, Gerusa et al. Variáveis de ocupação do solo e microclimas urbanos no período noturno bairro Camobi, Santa Maria-RS. 2015.

LEE, H.; MAYER, H.; CHEN, L. Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. **landscape and urban planning**, v. 148, p. 37-50, 2016.

KUBICKI, S., YAN, D. Development of an adaptation table to enhance the accuracy of the predicted mean vote model. **Building and Environment**, v. 168, p. 106504, 2020.

LIU, J.; FOGED, I.W.; MOESLUND, T.B. Taxa de isolamento de roupas e estimativa da taxa metabólica para avaliação de conforto térmico individual na vida real. **Sensors**, v. 22, n. 2, p. 619, 2022.

LIU, Z., CHENG, W., JIM, C. Y., MORAKINYO, T. E., SHI, Y., NG, E. Heat mitigation benefits of urban green and blue infrastructures: A systematic review of modeling techniques, validation and scenario simulation in ENVI-met V4. **Building and Environment**, v. 200, p. 107939, 2021.

LOPES, A. M. S., ALCOFORADO, M. J., SARAIVA, J. M. A., UNIVERSIDADE DE LISBOA. **Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano: vento, ilha de calor superfície e balanço energético**. 2003.

MAITELLI, G. T. Interações Atmosfera-Superfície. In: Moreno G.; Higa T. C. S. organizadores. Geografia de Mato Grosso: território, sociedade e ambiente. **Entrelinhas: Cuiabá**, 2005. 296p.

MARANHOLI, H. N. G.; GONZALEZ, A. Z. D.. Análise da evolução da ilha de calor na cidade de Cuiabá e alterações durante o evento el niño. **Revista Equador**, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2018.

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.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. As diferenças microclimáticas entre as tipologias de floresta urbana e dados registrados pela estação meteorológica oficial. **Scientia Plena**, Curitiba, v. 13, n. 3; p. 1-7, 2017.

MARTINS, Y. I. A.. Análise da qualidade ambiental em área de expansão urbana na cidade de Cuiabá-MT. 2022.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C.; LEITE, W. L. Efeito indireto do nível socioeconômico sobre a proficiência em matemática. 2021.

MAUREE, D.; DEMUZERE, M.; BRUNDIERS, K.; KOHLER, M.; NEWMAN, J. ENVI-met: An overview and a review of recent and future developments. **Urban Climate**, 31, 100546, 2020.

MENDES, L. A. S. A produção do urbano e do imobiliário na região metropolitana de Belém. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 44, 2020. Doi:10.4000/confins.26489.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília**, 2012.

MIDDEL, A.; SELOVER, N.; HAGEN, B.; CHHETRI, N. Impact of shade on outdoor thermal comfort—a seasonal field study in Tempe, Arizona. **International Journal of Biometeorology**, United States, v. 60, n. 12, p. 1849–1861, 2016.

MONCRIEFF, M. W. H.; MILLER, M. J. H. The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 102, n. 432, p. 373-394, 1976.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano In: Série Teses e Monografias, n. 25. **Instituto de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo**, p. 181, 1976.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. Clima urbano. **São Paulo: Contexto**, 2015.

MORAKINYO, T. E., LAM, Y. F. Simulation study on the impact of tree-configuration, planting pattern and wind condition on street-canyon's micro-climate and thermal comfort. **Building and environment**, v. 103, p. 262-275, 2016.

MORAKINYO, T. E.; LAM, Y. F. Simulation study on the impact of tree-configuration, planting pattern and wind condition on street-canyon's micro-climate and thermal comfort. **Building and environment**, v. 103, p. 262-275, 2016.

MUNIZ-GÄAL, L. P., PEZZUTO, C. C., CARVALHO, M. F. H. MOTA, L. T. M. Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. **Building and Environment**, v. 169, p. 106547, 2020.

NAKATA-OSAKI, C. M., SOUZA, L. C. L. DE, RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, v. 16, p. 73-87, 2016.. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000300093>.

NOVAIS, J. W. Z., DALMASO, S. F., SOUZA, R. D., SANTOS BRITO, N. S. Simulação por ENVI-met das Condições Higrotérmicas da Universidade de Cuiabá, Campus Barão. **Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas**, v. 21, n. 2, p. 200-205, 2020.

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978. 372p.

OKE, T. R., MILLS, G., CHRISTEN, A., VOOGT, J. A. Timothy R. **Urban climates**. Cambridge university press, 2017.

OLIVEIRA, A. S., NOGUEIRA, M. C. J. A., SANCHES, L., MUSIS, C. R. Microclima Urbano: Praças Públicas em Cuiabá/MT/Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 43, p. 311-325, 2012.

OLIVEIRA, P. M. P. Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. 2022.

OLIVEIRA, Y. L. M.; CALIXTER, A. L.. Conforto térmico em áreas verdes urbanas: simulação do microclima na Praça da Liberdade, em Teresina-PI. 2021.

OLIVER, J. E.; FAIRBRIDGE, R. W. The Encyclopedia of Earth Sciences. **The Encyclopedia of Podręcznik elektroniczny pakietu STATISTICA**, 1987.

OMETTO, J. C. *Bioclimatologia vegetal*. 1981.

ONU - Organização das Nações Unidas . **Documentos Temáticos. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 6-7-11-12-15**. Brasília, Julho de 2018. <Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/publications/documentos-tematicos-ods-6-ods-7-ods-11-ods-12-e-ods-15>>. Acesso em: 15 de març. 2025.

PAGNOSSIN, E. M.; BURIOL, G. A.; ARAUJO GRACIOLLI, M. Influência dos elementos meteorológicos no conforto térmico humano: bases biofísicas. **Disciplinarum Sciential Saúde**, v. 2, n. 1, p. 149-161, 2016.

PAIVA, L.M.S.; BODSTEIN, G.C.R.; PIMENTEL, L.C.G. Influence of high-resolution surface databases on the modeling of local atmospheric circulation systems. **Geoscientific Model Development**, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2014.

PASA, M. C., LENCI, L. H. V., PEREIRA, N. D. V., OLIVEIRA MIRANDA, R. A. Vegetation and microclimate in open urban areas. Cuiabá, Mato Grosso-Brazil. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p. 1089-1099, 2020.

PATEL, S., INDRAGANTI, M., JAWARNEH, R. N. Urban planning impact on summer human thermal comfort in Doha, Qatar. **Building and Environment**, v. 254, p. 111374, 2024.

PAULA, D. C. J., DE MIRANDA, S. A., GAIO, D. C., DE MOURA SANTOS, F. M., DE SOUZA NOGUEIRA, J., NOGUEIRA, M. C. D. J. A. FATOR DE VISÃO DO CÉU E

SOMBREAMENTO ARBÓREO EM ÁREA VERDE URBANA DE CLIMA TROPICAL. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 11, n. 4, p. 18-31, 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C.. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. 2002.

PINTO, H. S.; ZULLO JR., J.; ÀVILA, A. M. H. **Umidade do Ar - Saúde no Inverno - Cuidados a Serem Tomados**. Cepagri/Unicamp: setembro de 2008. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/umidade-do-ar-saude-no-inverno.html>>. Acesso em: 21 de jun. 2024.

RENNÓ, C. D. E BORMA, L. S. Processos hidrológicos – Evapotranspiração. INPE: 2017. Apresentação digital. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/pdf/03evapotranspiracao.pdf>.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. *Boletim Geografia Teorética*, Rio Claro, v. 23, p.288-294, 1993.

RIBEIRO, A. G.. As escalas do clima. *Boletim de Geografia Teorética*, v. 23, n. 45-46, p. 288-294, 1993.

RIBEIRO, K. F. A., JUSTI, A. C. A., DE MOURA SANTOS, F. M., NOGUEIRA, M. C. D. J. A., DE MUSIS, C. R. Análise dos índices de conforto térmico PMV e PET em diferentes tipos de coberturas em ambiente aberto na cidade de Cuiabá-MT. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 26, 2020.

RIBEIRO, K. F. A., JUSTI, A. C. A., NOVAIS, J. W. Z., DE MOURA SANTOS, F. M., NOGUEIRA, M. C. D. J. A., MIRANDA, S. A., MARQUES, J. B.. Calibration of the Physiological Equivalent Temperature (PET) index range for outside spaces in a tropical climate city. *Urban Climate*, v. 44, p. 101196, 2022.

RIBEIRO, K. F. A., VALIN JR, M. DE O., SANTOS, F. M. DE M., DE MUSIS, C. R., ALMEIDA JÚNIOR, E. S., MARQUES, J. B., NOGUEIRA, M. C. DE J. A.. SENSACÃO TÉRMICA EM DIFERENTES CENÁRIOS URBANOS DE CUIABÁ-MT. *Revista Da Sociedade Brasileira De Arborização Urbana*, 14(3), 50–67. Doi: <https://doi.org/10.5380/revsbau.v14i3.66975>.

ROBINSON, P. J.; HENDERSON-SELLERS, A. *Contemporary climatology*. Routledge, 2014.

ROCHA, A. D.. **Espectro cruzado e coerência wavelet: um estudo de variáveis micrometeorológicas em frações urbanas na cidade de Cuiabá, MT**. 2018. 142 f. 2018. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Física Ambiental)-Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

ROMERO, M. A. B.; BAPTISTA, G. M. M.; LIMA, E. A.; WERNECK, D. R.; VIANNA, E. O.; SALE, G. L. ROMERO, Marta Adriana Bustos et al. Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas. 2019.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. SciELO-Editora UnB, 2013.

ROSA, Victor Cupertino; LIMA, Luiz Eduardo Melo. O estresse térmico visto como um risco ocupacional. **Revista Gestão Industrial**, v. 15, n. 2, 2019.

ROSHEIDAT, A.; HOFFMAN, D.; BRYAN, H. Visualizing pedestrian comfort using ENVI-met. **Proceedings of SimBuild**, v. 3, n. 1, p. 198-205, 2008.

RUI, L., BUCCOLIERI, R., GAO, Z., GATTO, E. DING, W. Study of the effect of green quantity and structure on thermal comfort and air quality in an urban-like residential district by ENVI-met modelling. In: **Building simulation**. Tsinghua University Press, 2019. p. 183-194. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0498-9>.

RUSSO, A., J ESCOBEDO, F., ZERBE, S. Quantifying the local-scale ecosystem services provided by urban treed streetscapes in Bolzano, Italy. **AIMS Environmental Science**, v. 3, n. 1, p. 58-76, 2016.

SALVATI A., P. MONTI, H.C. ROURA, C. CECERE. Climatic performance of urban textures: Analysis tools for a Mediterranean urban context. **Energy and Buildings**, v. 185, p. 162-179, 2019.

SANT, J. L.; NETO, A.. Da climatologia geográfica à geografia do clima Gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**, v. 4, n. 04, p. 51-72, 2008.

SANTAMOURIS, M.; GAITANI, N.; SPANOU, A.; SALIARI, M; GIANNOPOULOU, K.; VASILAKOPOULOU, K.; KARDOMATEAS, T. Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas—Design realization and results of the flisvos project. **Building and Environment**, v. 53, p. 128-136, 2012.

SANTIAGO, S. B.; DE OLIVEIRA JÚNIOR, M. C. A Função da Logística Humanitária na Gestão Epidemiológica e no Atendimento de Refugiados: Análise por meio de um Modelo Conceitual. **Revista Ciências Administrativas**, v. 28, p. e11961-e11961, 2022.

SANTOS, M.. O Brasil: Territórios e sociedade no início do século XXI. 17ª ed. Rio de Janeiro: Record, 2013.

SANTOS, R. M. N.; FISCH, G.; DOLMAN, A. J.; WATERLOO, M. Modelagem da camada limite noturna (CLN) durante a época úmida na Amazônia, sob diferentes condições de desenvolvimento. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 22, p. 387-407, 2007.

SANTOS, V. L.; NUNES, A. B.; VIANNA, J. C. T. Development of low-cost experimental solarimeter with Arduino. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 7370-7380, 2021.

SANTOS, R. C.; CASTAÑÓN, J. A. B. Construção de Cidades Resilientes: quais os passos a serem seguidos?. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 17, p. e260111738994-e260111738994, 2022.

SCHERER, D., FEHRENBACH, U., BEHA, H. D., PARLOW, E. Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 24-25, p. 4185-4193, 1999.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. Meteorologia Agrícola. 3. ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 172 p.

SETO, K. C., GOLDEN, J. S., ALBERTI, M., & TURNER, B. L. Sustainability in an urbanizing planet. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 114, n. 34, p. 8935-8938, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1606037114>.

SHINZATO, P.; SIMON, H.; SILVA DUARTE, D. H.; BRUSE, M. Calibration process and parametrization of tropical plants using ENVI-met V4–Sao Paulo case study. **Architectural Science Review**, v. 62, n. 2, p. 112-125, 2019.

SILVA, M. R.; JARDIM, C. H.. Influência da Topografia e Uso da Terra na Variação dos Elementos Climáticos em Belo Horizonte, Ibirité, Sete Lagoas e Conceição do Mato Dentro–MG: O Segmento Temporal Entre 11 a 23/09/2016. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 48-57, 2017.

SILVA, R.D.S.L. QUALIDADE AMBIENTAL EM VEÍCULO AUTOMOTOR DA FROTA DO TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO DO MUNICÍPIO DE CUIABÁ-MT. 2020. 83 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade de Cuiabá –UNIC. Cuiabá –MT.

SOUZA, M. B., TONOLO, E. A., YANG, R. L., TIEPOLO, G. M., URBANETZ JR, J.. Determinação da Irradiação Difusa a Partir da Irradiação Global Horizontal–Estudo para a Cidade de Curitiba. **Smart Energy**, v. 5, p. 184-190, 2018.

SOUZA, R. D., NOVAIS, J. W. Z., PIERANGELI, M. A. P., LANSSANOVA, M. D., FERNANDES, T., HOKI, V. S. P., SOUZA, P. J. Urban microclimate in vegetated and non-vegetated areas in rainy and sunny conditions. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 47, n. 1, p. 136-149, 2020. DOI: 10.5380/raegaCuritiba, v.47, n.1, p. 136-149, Jul/2020 eISSN:2177-2738.

STEINKE, E. T. **Climatologia fácil**. Oficina de Textos, 2016.

STULL, R. B.. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Springer, 1988.

THORSSON, S.; RAYNER, D.; LINDBERG, F.; MONTEIRO, A.; KATZSCHNER, L.; LAU, K. K-L.; CAMPE, S.; KATZSCHNER, A.; KONARSKA, J.; ONOMURA, S.; VELHO, S.; HOLMER, B. Present and projected future mean radiant temperature for three European cities. **International journal of biometeorology**, v. 61, p. 1531-1543, 2017.

TORK, L. D., TIBIRIÇÁ, A. C. G., TIBIRIÇÁ, Á. M. B. Analysis of natural ventilation according to master plans: research results in Belem, PA. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 329-351, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100138>.

TORRES, S. C. **Forma e Conforto: estratégias para (re) pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática**. 2017.

UNGER, J.; SKARBIT, N.; GAL, T. Evaluation of outdoor human thermal sensation of local climate zones based on long-term database. **International journal of biometeorology**, v. 62, p. 183-193, 2018.

VAILSHERY, L. S.; JAGANMOHAN, M.; NEGENDRA, H. Effect of street trees on microclimate and air pollution in a tropical city. **Urban forestry & urban greening**, v. 12, n. 3, p. 408-415, 2013.

- VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote sensing of environment**, v. 86, n. 3, p. 370-384, 2003.
- WANG, W.; WANG, H.; XIAO, L.; HE, X.; WANG, Q.; WEI, C. Microclimate regulating functions of urban forests in Changchun City (north-east China) and their associations with different factors. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, v. 11, n. 1, p. 140, 2018.
- WANG, Z., CAO, B., JI, W., ZHU, Y. Estudo sobre distribuição de isolamento de vestimentas entre meios-corpos e seus efeitos no conforto térmico em ambientes frios. **Energy and Buildings**, v. 211, p. 109796, 2020.
- WANNER, H.; FILLIGER, P. Influência Orográfica no Clima Urbano. **Tempo e clima**, 9: 22-28, 1989.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION – Occupational noise: Assessing the burden of disease from work-related hearing impairment at national and local levels. **Environmental Burden of Disease Series**, No. 9, Geneva. 32p. 2004.
- YADAV, N., RAJENDRA, K., AWASTHI, A., SINGH, C., BHUSHAN, B.. Exploração sistemática do impacto das ondas de calor na mortalidade e na ilha de calor urbana: uma revisão de 2000 a 2022. **Urban Climate**, v. 51, p. 101622, 2023.
- YANG, S.-R., LIN, T.-P. An integrated outdoor spaces design procedure to relieve heat stress in hot and humid regions. **Building and Environment**, v. 99, p. 149-160, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.01.001>.
- YANG, X., ZHAO, L., BRUSE, M., MENG, Q. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. **Building and Environment**, v. 60, p. 93-104, 2013.
- YNOUE, R. Y., REBOITA, M. S., AMBRIZZI, T., SILVA, G. A. **Meteorologia: noções básicas**. Oficina de Textos, 2017.
- YU, C.; HIEN, W. N. Wong Nyuk. Thermal benefits of city parks. **Energy and buildings**, v. 38, n. 2, p. 105-120, 2006.
- YU, Y., DEAR, R., CHAUHAN, K., NIU, J. Impacto da turbulência do vento na percepção térmica do microclima urbano. **Jornal de Engenharia Eólica e Aerodinâmica Industrial**, v. 216, p. 104714, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2021.104714>.
- ZHANG, S.; LIN, Z.. Estendendo o voto médio previsto usando abordagem adaptativa. **Construção e Meio Ambiente**, v. 171, p. 106665, 2020.
- ZHANG, Y., LIN, Z., FANG, Z., ZHENG, Z. An improved algorithm of thermal index models based on ENVI-met. **Urban Climate**, v. 44, p. 101190, 2022.
- ZHANG, Z.; Lv, Y.; Pan, H. Cooling and humidifying effect of plant communities in subtropical urban parks. **Urban forestry & urban greening**, v. 12, n. 3, p. 323-329, 2013.
- ZIMERMANN, H. R. Z. **Um modelo numérico 3D de dispersão atmosférica. 2009. 202 f.** 2009. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).