

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E  
TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL**

***“SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA PARA FINS DE ESTUDOS DE  
CONFORTO AMBIENTAL, UMA CONTRIBUIÇÃO  
METODOLÓGICA PARA CIDADES DE CLIMA TROPICAL  
CONTINENTAL”***

**CARLOS EDUARDO VILELA GALVÃO**

Orientadora: **Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. KARYNA DE ANDRADE CARVALHO ROSSETI**

**CUIABÁ - MT**

**2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E**  
**TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL**

***“SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA PARA FINS DE ESTUDOS DE***  
***CONFORTO AMBIENTAL, UMA CONTRIBUIÇÃO***  
***METODOLÓGICA PARA CIDADES DE CLIMA TROPICAL***  
***CONTINENTAL”***

**CARLOS EDUARDO VILELA GALVÃO**

*Dissertação apresentada junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações.*

Orientadora: **Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. KARYNA DE ANDRADE CARVALHO ROSSETI**

**CUIABÁ - MT**

**2018**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental  
Cuiabá, Mato Grosso

**Carlos Eduardo Vilela Galvão**

**SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA PARA FINS DE ESTUDOS DE CONFORTO  
AMBIENTAL, UMA CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA CIDADES DE CLIMA  
TROPICAL CONTINENTAL**

Esta dissertação foi avaliada e julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL. Esta versão final foi aprovada pelo orientador e pela banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental.

Cuiabá, 25 de Maio de 2018.

Prof. Dr. Bismarck Castillo Carvalho  
Coordenador do PPGEEA

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Karyna De Andrade Carvalho  
Rosseti  
(Orientadora)

Departamento de Arquitetura e Urbanismo  
Faculdade de Arquitetura, Engenharia  
e Tecnologia  
Universidade Federal de Mato Grosso

Prof. Dr. João Carlos Machado Sanches  
Universidade Estadual de Mato Grosso  
Unemat

Profª. Drª. Marta Cristina de Jesus  
Albuquerque Nogueira  
Departamento de Arquitetura  
Faculdade de Arquitetura, Engenharia  
e Tecnologia  
Universidade Federal de Mato Grosso

Profª. Drª. Luciane Cleonice Durante  
Departamento de Arquitetura  
Faculdade de Arquitetura, Engenharia  
e Tecnologia  
Universidade Federal de Mato Grosso



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL  
Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367 - Boa Esperança - Cep: 78060900 - CUIABÁ/MT  
Tel : (65) 3615-8916 - Email : mestradofaet@ufmt.br

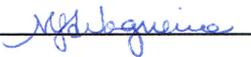
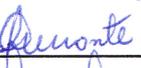
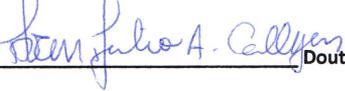
### ATA DE DEFESA PÚBLICA

Ata Nº 010/2018/PPgEEA, livro de Atas Nº 02, folha 088

**Carlos Eduardo Vilela Galvão**

Aos 25 dias do mês de maio do ano de 2018, às 08h30min, na Sala 24 da Pós-Graduação, Bloco novo da FAET, UFMT, sob a presidência do (a) professor (a) Doutor (a) Karyna de Andrade Carvalho Rosseti, orientador (a), reuniu-se em sessão pública a Banca Examinadora de defesa da Dissertação de Mestrado, o (a) discente **Carlos Eduardo Vilela Galvão** do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL, visando a obtenção de título de Mestre em Engenharia de Edificações e Ambiental. O Mestrando concluiu os créditos exigidos para obtenção do título de Mestre, na Área de Concentração Tecnologia Ambiental, e foi aprovado no Exame de Qualificação no dia 30 de outubro de 2017, de acordo com os registros constantes na Secretaria do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL. Esta foi a 86ª sessão pública de Defesa de Dissertação do Programa. Os trabalhos foram instalados às 08h30min pelo (a) presidente da Banca Examinadora, constituída pelos professores Doutores Karyna de Andrade Carvalho Rosseti (Presidente Banca/ Orientador / 01073182149), João Carlos Machado Sanches (Membro Externo/ UNEMAT / 98851942153), Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira (Examinadora Interna / 53138775187), Luciane Cleonice Durante (Examinadora Interna/ 47481013187), Ivan Julio Apolonio Callejas (Examinador Interno / 62263277153). O pós-graduando procedeu à apresentação de seu trabalho, cujo título é "Previsão microclimática para fins de estudos de conforto ambiental, uma contribuição metodológica para cidades de clima tropical continental". E em seguida foi arguido (a) pelos integrantes da banca. Os trabalhos de arguição foram encerrados às 11 horas, e após reunião a Banca deliberou por sua APROVAÇÃO. Proclamando o resultado final pelo (a) Presidente da Banca Examinadora foram concluídos os trabalhos. O título de Mestre será conferido sob condição de apresentação, na Secretaria do Programa, da versão final corrigida na(s) forma(s) e no prazo estabelecido(s) no Regimento Interno do Programa (60 dias) juntamente com o Termo de Aprovação do Orientador. Cumpridas as formalidades, às 11:20 horas, o (a) presidente da mesa encerrou a sessão de defesa, e para constar eu, Karyna de Andrade Carvalho Rosseti, membro do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos integrantes da banca examinadora em 3 vias de igual teor.

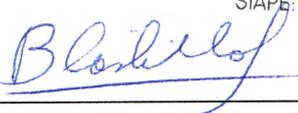
Composição da Banca Examinadora:

1.  Doutor (a) Karyna de Andrade Carvalho Rosseti (Presidente Banca / Orientadora)
2.  Doutor (a) João Carlos Machado Sanches (Examinador Externo)
3.  Doutor (a) Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira (Examinadora Interna)
4.  Doutor (a) Luciane Cleonice Durante (Examinadora Interna)
5.  Doutor (a) Ivan Julio Apolonio Callejas (Examinador Interno)

Recomendações da Banca: No verso.

Ciência do Discente: 

Bismarck Castillo Carvalho  
Coordenador do PPgEEA-UFMT  
SIAPE: 416895

CUIABÁ, 25/05/2018. Coordenação do PPgEEA: 

### **Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

V699s Galvão, Carlos Eduardo Vilela.  
SIMULAÇÃO MICROCLIMÁTICA PARA FINS DE ESTUDOS DE  
CONFORTO AMBIENTAL, UMA CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA  
CIDADES DE CLIMA TROPICAL CONTINENTAL / Carlos Eduardo Vilela  
Galvão. -- 2018  
107 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: KARYNA DE ANDRADE CARVALHO ROSSETI.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de  
Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Edificações e Ambiental, Cuiabá, 2018.  
Inclui bibliografia.

1. microclima urbano. 2. modelo climático. 3. ENVI-Met. 4. UTCI. I. 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.**

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Nilton Galvão do Nascimento e Carmeluce Vilela Garcia Nascimentos, por me mostrarem a importância dos estudos.

## **AGRADECIMENTOS**

- A Deus, por tudo que sou e pelo que tem me oferecido;
- À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Karyna de Andrade Carvalho Rosseti, por sua orientação e conhecimentos e pela grande pessoa que esta é;
- À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Luciane Cleonice Durante, por sua orientação e conhecimentos e pela grande pessoa que esta é;
- Ao Prof. Dr. Ivan Julio Apolônio Callejas, pelo apoio científico dedicado;
- À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira pelo apoio desde a iniciação científica na graduação;
- Ao Prof. Dr. João Carlos Machado Sanches por aceitar o convite de composição da banca;
- Às arquitetas Vera Cristina de Area Leão Borges, Fernanda Cavatti e Emeli Lalesca pelo apoio;
- Aos professores que passaram os ensinamentos necessários;
- Ao Programa de Engenharia de Edificação pelo curso oferecido;
- Ao Laboratório de Conforto Ambiental (Lateca) pelos equipamentos cedidos para a pesquisa;
- Aos meus colegas do programa de Pós-graduação pela convivência e troca de experiências;
- A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABELAS.....	IX
RESUMO .....	X
ABSTRACT .....	XI
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. CLIMA URBANO.....</b>	<b>15</b>
2.1.1. <i>Escalas (macro – meso – micro).....</i>	16
2.1.1. <i>Variáveis climáticas .....</i>	19
2.1.2. <i>Influências da urbanização nas variáveis climáticas.....</i>	20
2.1.3. <i>Trabalhos correlatos .....</i>	22
<b>2.2. SENSÇÃO DE CONFORTO AMBIENTAL EM AMBIENTES EXTERNOS .....</b>	<b>33</b>
2.2.1. <i>Variáveis de conforto térmico para ambientes externos .....</i>	34
2.2.2. <i>Índices de conforto externo .....</i>	37
2.2.2.1. <i>Índice termoclimático universal: Universal Thermal Climate Index (UTCI).....</i>	38
<b>2.3. MODELAGEM COMPUTACIONAL.....</b>	<b>39</b>
2.3.1. <i>ENVI-Met.....</i>	39
2.3.2. <i>Footprint – área de contribuição .....</i>	43
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>48</b>
3.2.1. <i>Área de estudo .....</i>	48
3.2.2. <i>Procedimento de escolha da Zona Urbana de estudo .....</i>	49
3.2.3. <i>Caracterização da Zona urbana – Jardim Itália.....</i>	51
3.2.3.1. <i>Aspectos Gerais .....</i>	51
<b>3.3. INSTRUMENTAÇÃO .....</b>	<b>52</b>
3.3.1. <i>Altura dos sensores .....</i>	52
3.3.1. <i>Caracterização do entorno da estação meteorológica.....</i>	54
<b>3.4. FOOTPRINT DINÂMICO .....</b>	<b>55</b>
<b>3.5. MODELAGEM COMPUTACIONAL.....</b>	<b>56</b>
3.5.1. <i>Levantamento espacial e edição do modelo.....</i>	56
3.5.2. <i>Compatibilização da base de dados de vegetação.....</i>	58

3.5.3.	<i>Configuração preliminar do arquivo de entrada</i> .....	59
3.5.3.1.	<i>Spaces</i> .....	59
3.5.3.2.	<i>ConfigWizard</i> .....	63
3.5.4.	<i>Definição dos parâmetros para análise do Conforto do pedestre - UTCI</i> .....	64
3.6.	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	65
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	68
4.1.	FOOTPRINT DINÂMICO .....	68
4.2.	ANÁLISE DE KRUSKAL-WALLIS .....	74
4.3.	ANÁLISE DOS CENÁRIOS.....	75
4.3.1.	<i>Temperatura do ar</i> .....	75
4.3.2.	<i>Umidade relativa</i> .....	80
4.3.3.	<i>Definição das equações de calibração</i> .....	85
4.4.	ANÁLISE DE CONFORTO - UTCI.....	87
5.	CONCLUSÕES .....	90
5.1.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	91
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESCALAS CLIMÁTICAS URBANAS .....	18
FIGURA 2 - ILUSTRAÇÃO DAS CAUSAS DA FORMAÇÃO DA ICU .....	22
FIGURA 3: REPRESENTAÇÃO CONCEITUAL DE FOOTPRINT .....	44
FIGURA 4: LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE CUIABÁ NO ESTADO DE MATO GROSSO E NO BRASIL.....	48
FIGURA 5: IMAGEM DE SATÉLITE E LOCALIZAÇÃO DO BAIRRO JARDIM ITÁLIA NA MACROZONA DE CUIABÁ ....	50
FIGURA 6 - MAPA DA EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO URBANA DE CUIABÁ, DESTAQUE PARA A ZONA URBANA DO BAIRRO JARDIM ITÁLIA .....	52
FIGURA 7: LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA .....	54
FIGURA 8: ENTORNO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA – RAIOS DE 500 M.....	55
FIGURA 9: CONFIGURAÇÃO INICIAL DA ABA SPACES PARA OS CENÁRIOS 01, 02, 03 E 04.....	60
FIGURA 10: EDIÇÃO DAS DIMENSÕES E COMPONENTES DA PAREDE DE TIJOLOS PADRÃO UTILIZADA NOS CENÁRIOS .....	61
FIGURA 11: EDIÇÃO DAS DIMENSÕES E COMPONENTES DA COBERTURA PADRÃO UTILIZADA NOS CENÁRIOS .....	61
FIGURA 12: EDIÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO TIJOLO DE BARRO.....	62
FIGURA 13: EDIÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA ARGAMASSA.....	62
FIGURA 14: EDIÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO CONCRETO .....	62
FIGURA 15: EDIÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO ASFALTO.....	62
FIGURA 16: MODELO DO ENVI-MET EM 3D EXTRAÍDA UTILIZADO NOS CENÁRIOS 01 E 02 .....	63
FIGURA 17: MODELO DO ENVI-MET EM 3D EXTRAÍDA UTILIZADO NOS CENÁRIOS 03 E 04 .....	63
FIGURA 18: ÀREA DO FOOTPRINT PARA O DIA 27/ABRIL/2017.....	69
FIGURA 19: FOOTPRINT HORÁRIO (UTC) DO DIA 27/ABRIL/2017.....	71
FIGURA 20: FOOTPRINT PARA UTC 15H00 DO DIA 27/ABRIL/2017.....	72
FIGURA 21: FOOTPRINT PARA UTC 23H00 DO DIA 27/ABRIL/2017.....	72
FIGURA 22: FOOTPRINT PARA UTC 04H00 DO DIA 27/ABRIL/2017.....	73
FIGURA 23: FOOTPRINT PARA UTC 08H00 DO DIA 27/ABRIL/2017.....	73
FIGURA 24: GRÁFICO DE TEMPERATURA DO AR (°C) - MEDIDO X SIMULADO (ALTURA H = 16M E 31M).....	77
FIGURA 25: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA TEMPERATURA DO AR PARA CENÁRIO 01(SIMULADO X MEDIDO) H=16M .....	78
FIGURA 26: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA TEMPERATURA DO AR PARA CENÁRIO 01(SIMULADO X MEDIDO) H=31M .....	78

<b>FIGURA 27: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA TEMPERATURA DO AR (°C) PARA CENÁRIO 02 (SIMULADO X MEDIDO) H=16M.....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 28: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA TEMPERATURA DO AR (°C) PARA CENÁRIO 02 (SIMULADO X MEDIDO) H=31M.....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 29: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA TEMPERATURA DO AR (°C) PARA CENÁRIO 03 (SIMULADO X MEDIDO) H=16M.....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 30: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA TEMPERATURA DO AR (°C) PARA CENÁRIO 03 (SIMULADO X MEDIDO) H=31M.....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 31: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA TEMPERATURA DO AR (°C) PARA CENÁRIO 04 (SIMULADO X MEDIDO) H=16M.....</b>	<b>80</b>
<b>FIGURA 32: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA TEMPERATURA DO AR (°C) PARA CENÁRIO 04 (SIMULADO X MEDIDO) H=31M.....</b>	<b>80</b>
<b>FIGURA 33: GRÁFICO DE UMIDADE RELATIVA (%) - MEDIDO X SIMULADO (ALTURA H = 16M E 31M) .....</b>	<b>82</b>
<b>FIGURA 34: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA UMIDADE RELATIVA (%) PARA CENÁRIO 01 (SIMULADO X MEDIDO) H=16M .....</b>	<b>83</b>
<b>FIGURA 35: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA UMIDADE RELATIVA (%) PARA CENÁRIO 01 (SIMULADO X MEDIDO) H=31M .....</b>	<b>83</b>
<b>FIGURA 36: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA UMIDADE RELATIVA (%) PARA CENÁRIO 02 (SIMULADO X MEDIDO) H=16M .....</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 37: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA UMIDADE RELATIVA (%) PARA CENÁRIO 02 (SIMULADO X MEDIDO) H=31M .....</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 38: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA UMIDADE RELATIVA (%) PARA CENÁRIO 03 (SIMULADO X MEDIDO) H=16M .....</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 39: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA UMIDADE RELATIVA (%) PARA CENÁRIO 03 (SIMULADO X MEDIDO) H=31M .....</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 40: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA UMIDADE RELATIVA (%) PARA CENÁRIO 04 (SIMULADO X MEDIDO) H=16M .....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 41: GRÁFICO DE DISPERSÃO DA UMIDADE RELATIVA (%) PARA CENÁRIO 04 (SIMULADO X MEDIDO) H=31M .....</b>	<b>85</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - FAIXAS DE ESTRESSE TÉRMICO CALIBRADO PARA REGIÃO DE CUIABÁ (TROPICAL).....	39
TABELA 2: CÁLCULO DO LAD .....	58
TABELA 3: QUADRO RESUMO DO ARQUIVO DE ENTRADA - CONFIGWIZARD.....	64
TABELA 4: DADOS PARA CÁLCULO DO FOOTPRINT CONFORME KLJUN (2015).....	70
TABELA 5: ESTATÍSTICA DE KRUSKAL-WALLIS COMPARANDO AS MÉDIAS DE TEMPERATURA DO AR (°C) ENTRE OS CENÁRIOS (ALTURA H = 16M EM COR AZUL / H = 31M EM COR VERDE).....	74
TABELA 6: ESTATÍSTICA DE KRUSKAL-WALLIS COMPARANDO AS MÉDIAS DE UMIDADE RELATIVA (%) ENTRE OS CENÁRIOS (ALTURA H = 16M EM COR AZUL / H = 31M EM COR VERDE).....	75
TABELA 7: INDICADOR DE DESEMPENHO ( $R^2$ ) E COEFICIENTE ANGULAR (B) DOS CENÁRIOS (TEMPERATURA DO AR) .....	76
TABELA 8: VALORES DE TEMPERATURA DO AR (°C) - MÁXIMAS E MÍNIMAS .....	76
TABELA 9: INDICADOR DE DESEMPENHO ( $R^2$ ) E COEFICIENTE ANGULAR (B) DOS CENÁRIOS (UMIDADE RELATIVA %). .....	81
TABELA 10: VALORES DE UMIDADE RELATIVA (°C) - MÁXIMAS E MÍNIMAS .....	81
TABELA 11 - FAIXAS DE ESTRESSE TÉRMICO CALIBRADO PARA REGIÃO DE CUIABÁ (TROPICAL) (BORGES, 2018) <sup>1</sup> E PARA CLIMA TEMPERADO (BLAZEJCZYK ET AL, 2010) <sup>2</sup> .....	88
TABELA 12 - MAPEAMENTO DA MÉDIA MENSAL DA SENSÇÃO TÉRMICA UTILIZANDO O ÍNDICE UTCI .....	89

## RESUMO

GALVAO, C. E. V. *Simulação Microclimática para Fins de Estudos de Conforto Ambiental, uma Contribuição Metodológica para Cidades de Clima Tropical Continental*. 2018. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

O processo de urbanização provoca alterações nas propriedades aerodinâmicas e radiativas da superfície, nas propriedades térmicas do substrato e nas propriedades hidráulicas da superfície e do solo, modificando, desta forma, as propriedades térmicas e radiométricas da atmosfera urbana. Não obstante o processo de urbanização, sabe-se que, mesmo em sítios urbanos densamente construídos, é possível, por meio de recursos adequados, a criação de microclimas específicos, com condições mais amenas que o entorno. Essas condições podem ser intencionalmente projetadas, mas há necessidade de se conhecer o clima do local, de forma a instrumentalizar os profissionais que pensam o planejamento das cidades acerca das estratégias adequadas. As condições meteorológicas do clima urbano influenciam a sensação térmica dos pedestres que circulam em ambientes a céu aberto. Desta forma, as variáveis meteorológicas desempenham importante papel para a qualidade de vida das pessoas que fazem uso desses espaços, principalmente em cidades de clima Tropical Continental. Assim sendo, justifica-se a elaboração deste trabalho pela necessidade de estabelecer uma metodologia de caracterização do microclima urbano com vistas aos estudos de conforto ambiental. O objetivo geral foi definir parâmetros metodológicos para utilização do ENVI-Met como ferramenta em estudos de conforto térmico ambiental para cidade de clima tropical continental. A metodologia de desenvolvimento deste trabalho envolve três fases principais: Levantamento (microclimático e espacial); definição do Footprint Dinâmico; e Simulação Microclimática Computacional. O levantamento microclimático foi realizado por meio de uma estação meteorológica fixa (durante o mês de abril/2017). O footprint definiu a área de influência dos dados coletados pela mesma. O levantamento espacial foi realizado por meio de observação in loco e imagens de satélite. A simulação foi desenvolvida no software ENVI-Met, para o mês estudado, em quatro cenários diferentes, sendo: cenário 1: com topografia e com simple forcing; cenário 2: com topografia e sem simple forcing; cenário 3: sem topografia e com simple forcing, e; cenário 4: sem topografia e sem simple forcing. Em geral, os resultados confirmaram a validade do modelo ENVI-Met como uma ferramenta de previsão microclimática na cidade de Cuiabá, MT. O mesmo respondeu com maior precisão a variável de temperatura do ar na microescala (16m) e no cenário 4. A análise de conforto térmico do pedestre em condição de exposição a céu aberto pelo Índice UTCI (Índice Climático Térmico Universal) evidenciam os efeitos da aclimação as condições de clima tropical continental, aumentando a sensação de conforto térmico.

**Palavras-chave:** microclima urbano, modelo climático, ENVI-Met, UTCI.

## ABSTRACT

GALVAO, C. E. V. *Microclimatic prediction for environmental comfort studies, a methodological contribution to continental tropical climate cities*. 2018. 106s. Thesis (Master degree in Building and Environmental Engineering), Post-Graduate Program in Building Engineering, Federal University of Mato Grosso, 2018.

Urbanization alters the aerodynamic and radiative properties of the surface, in the thermal properties of the substrate and in the hydraulic properties of the surface and the soil, modifying thus the thermal and radiometric properties of the urban atmosphere. Despite the urbanization process, it is known that, even in densely built urban sites, it is possible, through adequate resources, to create specific microclimates, with more favorable conditions than the surroundings, which is called the oasis effect. These conditions can be intentionally designed, but there is a need to know the climate of the place, in order to instrumentalize the professionals who think the city planning about the appropriate strategies. The urban climate has influence in the outdoor pedestrians' thermal sensation. The meteorological variables play an important role for people quality life that uses outdoor spaces, especially in cities located in Tropical Continental Climates. Therefore, the elaboration of this work is justified by the need to establish a methodology for characterizing the urban microclimate with a view to environmental comfort studies. As the general objective, to define methodological parameters for the use of ENVI-Met as a tool in environmental comfort studies for a city with a tropical continental climate. The methodology involves three main phases: Survey (microclimatic and spatial); Flux Footprint Prediction; and Simulation. The microclimatic survey was carried out by means of a fixed meteorological station (during the month of April/2017). The footprint defined the area of influence of the data collected by it. The spatial survey was performed through in situ observation and satellite images. The simulation was developed in the ENVI-Met software, for the month studied, in four different scenarios, being: scenario 1: with topography and with simple forcing; scenario 2: with topography and no simple forcing; scenario 3: without topography and with simple forcing, and; Scenario 4: No topography and no simple forcing. In general, the results confirmed the validity of the ENVI-Met model as a microclimatic forecasting tool in the city of Cuiabá, MT. It also responded more accurately to the air temperature variable in the microscale (16meters) and in scenario 4. The thermal comfort analysis of the pedestrian under open sky exposure by the UTCI (Universal Thermal Weather Index) index evidences the effects of acclimatization the conditions of continental tropical climate, increasing the sensation of thermal comfort.

**Keywords:** Urban microclimate, climate model, ENVI-Met, UTCI.

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. PROBLEMÁTICA**

Os problemas ambientais observados nas cidades têm sido reconhecidos há algum tempo. Em 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1988) identificou uma série de graves problemas ambientais causados pelo rápido crescimento urbano. Cidades de países em desenvolvimento enfrentam problemas de abastecimento de água e eliminação do esgoto, contaminação por meio dos resíduos, poluição do ar e poluição industrial. As fontes pontuais de poluentes afetam o meio ambiente urbano local e ambientes ao redor das próprias cidades.

A modificação da paisagem natural pela incorporação de edifícios e superfícies pavimentadas provoca alterações nas propriedades aerodinâmicas e radiativas da superfície, nas propriedades térmicas do substrato e nas propriedades hidráulicas da superfície e do solo. Além disso, as emissões antropogênicas de calor e poluentes, bem como alterações nos padrões de evaporação da superfície modificam as propriedades térmicas e radiométricas da atmosfera urbana (OKE, 1982; HUANG et al., 2009).

Regionalmente (escala espacial de dezenas de quilômetros), estas mudanças são observadas tanto pela ocorrência de maiores temperaturas do ar dentro do ambiente urbano, como pelo aumento no número de tempestades severas e óbitos relacionados à poluição do ar e ao desconforto térmico.

Assim, as comunidades dos aglomerados urbanos vivem em uma situação ambiental de enfrentamento caracterizada essencialmente fenômeno denominado efeito da ilha de calor. Entende-se por ilha de calor, a diferença de temperatura entre a cidade e as áreas rurais circundantes (MAITELLI, 1994). Assim, nas zonas urbanas, as temperaturas elevadas geram maior intensidade de desconforto nos espaços externos e, também, aumento do consumo de energia dos edifícios para o condicionamento do ar dos ambientes internos. Esse consumo energético introduz no

meio urbano uma nova forma de energia, o calor antropogênico, que, por sua vez é corroborada para o aquecimento do ar exterior. Desta forma, enquanto arquitetos e urbanistas, somos confrontados a interromper esse ciclo de causa e efeito, por meio de um design urbano sustentável, a fim de proporcionar melhores condições de conforto térmico nos ambientes ao ar livre (ACHOUR-YOUNSI; KHARRAT, 2016).

Os estudos de climatologia urbana são, portanto, importantes para o planejamento e a preservação da qualidade físico-ambiental urbana, mas sua aplicação permanece limitada. Isso ocorre não apenas devido à fragmentação dos diversos campos do conhecimento envolvidos, mas também porque a maioria dos trabalhos nessa área são apenas descritivos, restringindo os resultados apenas ao estudo de caso.

O efeito das estratégias bioclimáticas no clima urbano já vem sendo investigado há algum tempo. As medidas mitigadoras dos efeitos da Ilha de Calor têm se manifestado através de vários aspectos do ambiente urbano, englobando estudos sobre os efeitos da ventilação natural, a redução do calor antropogênico, a geometria dos cânions, a alteração do albedo das superfícies, a implementação de superfícies de água e de áreas verdes, apresentando assim diversidade nos seus benefícios.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

O estado de Mato Grosso, a partir da segunda metade da década de 1960, passou a ser considerado “Portal da Amazônia”, devido à sua posição estratégica de única alternativa de acesso por terra para ocupação da região norte do país. Em consequência disto, na cidade de Cuiabá, capital do estado, tem ocorrido intenso processo de urbanização e acelerada mudança no meio ambiente urbano em função das alterações nas coberturas das superfícies do solo, com substituição das áreas de vegetação nativa pelas áreas construídas e pavimentadas.

Essas transformações do solo são responsáveis por profundas mudanças no balanço de energia, causando, dentre outras consequências, alterações na dinâmica dos ventos, aumento da temperatura na cidade e o surgimento do fenômeno de ilha de calor urbana, definido como o acréscimo da temperatura do ar de regiões urbanizadas em relação às regiões rurais do entorno, em virtude da modificação e substituição de áreas de cobertura vegetal pela ocupação urbana e o excessivo adensamento.

Não obstante o processo de urbanização sabe-se que, mesmo em sítios urbanos densamente construídos, é possível, por meio de recursos adequados, a criação de microclimas específicos, com condições mais amenas que o entorno, o que é denominado de efeito oásis. Essas condições podem ser intencionalmente projetadas, mas há necessidade de se conhecer o clima do local, de forma a instrumentalizar os profissionais que pensam o planejamento das cidades acerca das estratégias adequadas.

Assim sendo, justifica-se a elaboração deste trabalho pela necessidade de estabelecer uma metodologia de caracterização do microclima urbano para aplicação em simulações computacionais com o Software ENVI-Met. Portanto, espera-se que os resultados a serem obtidos nesta pesquisa possam auxiliar os futuros estudos de simulação do clima urbano para cidades de clima tropical continental subsidiando futuras decisões de planejamento urbano.

### **1.3. OBJETIVOS**

Este trabalho tem por objetivo geral definir procedimentos metodológicos para utilização do ENVI-Met como ferramenta em estudos de eficiência energética e ambiência urbana para cidade de clima tropical continental.

Para alcançar esse objetivo geral foram necessários os seguintes objetivos específicos:

- a) Propor um modelo de referência de configuração do software ENVI-Met a partir do método de definição de Footprint dinâmico;
- b) Aplicação do índice de Conforto Térmico UTCI a nível de pedestres na área do footprint para a estação estudada.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O presente capítulo apresenta fundamentos teóricos necessários à compreensão das discussões propostas para a presente dissertação, incluindo noções de climatologia urbana, conforto térmico em espaços abertos, modelagem climática.

### **2.1. CLIMA URBANO**

A urbanização é uma das atividades humanas mais importantes nos últimos anos, sendo que essa intensificação vem causando modificações relevantes nos microclimas das cidades. As transferências do ambiente natural por zonas urbanas ocasionam o aumento da temperatura em escala local e causa a diminuição da umidade relativa, fatores que levam a origem de um clima característico, designado clima urbano (LIMA & AMORIM, 2010).

Para Monteiro (1976), o clima urbano é definido pelo clima de uma parcela terrestre e seu grau de urbanização. Entretanto, Andrade (2005) afirma que, o clima urbano é resultado das interações entre os fatores urbanos do clima regional e o meio físico existente. Logo, as alterações causadas pela urbanização na atmosfera se expandem além dos limites urbanos, alterando significativamente os climas locais e propagando seus efeitos até as áreas circundantes (MONTEIRO, 1976).

As consequências produzidas na natureza pela urbanização da superfície e nas propriedades atmosféricas de determinados locais implicam sobre a natureza e somam aos impactos que atingem a sociedade, influenciando na qualidade de vida dos habitantes. As singularidades do clima e os aspectos dinâmicos do tempo, influenciam nos níveis de conforto térmico urbano. Assim, acontece uma correlação, onde a alteração do clima, causada pelas ações antrópicas, interferem na qualidade de vida

destes (MONTEIRO, 2001). Além disso, o crescimento desalinhado, altera as trocas de energia entre superfície, atmosfera e vegetação (MOREIRA et al. 2013).

Ao observar a expansão urbana ao longo dos anos, é possível compreender as suas inferências no clima. Atualmente as cidades ocupam 2% da massa terrestre e emitem aproximadamente 70% de dióxido de carbono (RIO+20, 2012). As zonas urbanas são ocupadas por metade da população mundial, e segundo as estimativas das Nações Unidas, até 2030 este número chegará à 60%.

Com 208 milhões de habitantes (IBGE, 2017), o Brasil possui uma população urbana de 85%, um aumento de 23 milhões de pessoas entre os anos 2000 e 2010 (PORTAL BRASIL, 2011). Neste cenário, o estado de Mato Grosso passou por uma expansão demográfica rápida e progressiva, em virtude dos programas de desenvolvimento agropecuário (CUIABÁ, 2007). Com isso, Cuiabá – MT, se tornou um polo de apoio aos deslocamentos migratórios, causando o aumento populacional de 450 mil habitantes em 50 anos (IBGE, 2010). Esse crescimento intenso nos últimos anos, fez com que o perímetro urbano fosse ampliado diversas vezes, chegando a 254,57km<sup>2</sup> em 2007 (CUIABÁ, 2007).

As transformações da paisagem natural, decorrente da expansão urbana, aumento populacional, supressão do bioclima local, impermeabilização do solo, intervenção nos fluxos de córregos e rios, também o aumento do número de veículos e atividades industriais, favorecem os ganhos de calor, e os gases poluentes na atmosfera. (ASSIS, 2005). Esses fatores provocam alterações nas propriedades aerodinâmicas e radiativas da superfície, bem como, nos padrões de evaporação e propriedades térmicas (LANDSBERG, 1981; OKE, 1982).

De acordo com Ayoade (2007), o impacto causado pelo homem tem sido tão intenso nas áreas urbanas, que o clima urbano é bastante distinto quanto ao clima das áreas rurais em volta.

### **2.1.1. Escalas (macro – meso – micro)**

As escalas espaciais e temporais atmosféricas são classificadas como macroclima, mesoclima e microclima (MINELLA, 2009). Estas denominações

auxiliam na compreensão das formas que os elementos da superfície urbana interagem com as camadas atmosféricas adjacentes (BRITTER & HANNA, 2003).

A multiplicidade da superfície urbana pode ser traduzida nos elementos nela presentes, tendo como exemplo, as edificações, que abrangem formas e materiais variados, diferindo nos ângulos e no tempo de exposição à radiação solar, incidência dos ventos, alturas e dimensões aos demais no entorno, isso faz com que o comportamento térmico seja distinto entre um elemento e outro. (ARNFIELD, 1984, 2000, PATERSON & APELT, 1989, VERSEGHY & MUNRO, 1989a, 1989b apud ROSSETI, 2013). Deve entrar em destaque ainda, as superfícies ao nível do solo, como jardins, gramados e pavimentações, (OKE, 1979), algumas vegetações também são compostas por aerodinâmicas e barreiras de sombreamento variadas (GRIMMOND; SOUCH; HUBBLE, 1996).

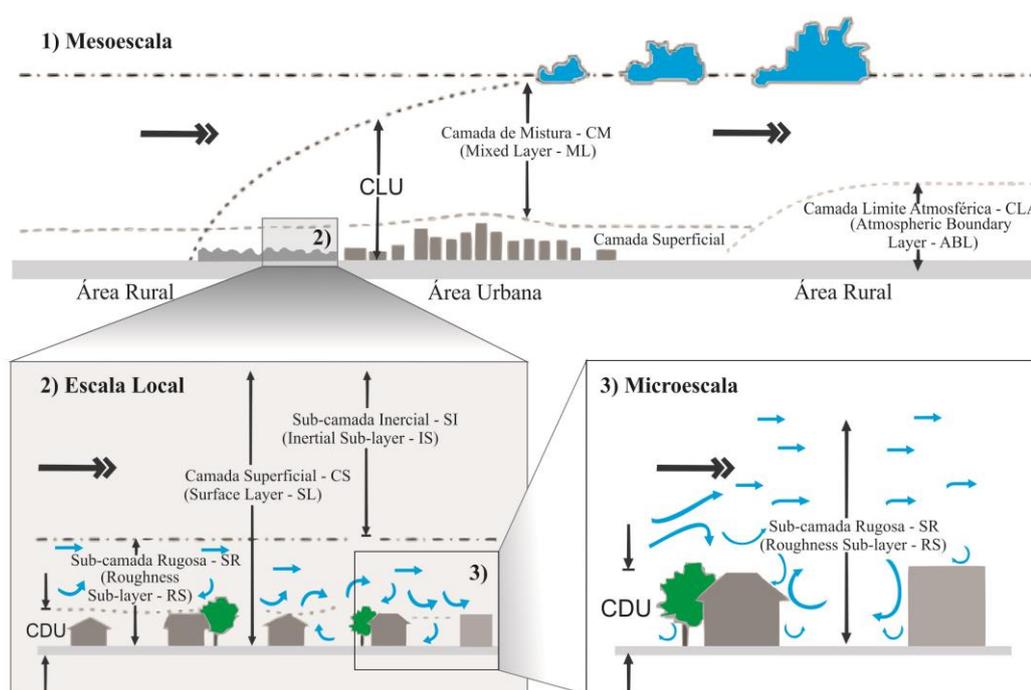
Este conjunto de elementos da superfície possuem estimativa de energia que constituem contrastes diversos nas propriedades destas superfícies, principalmente na temperatura superficial, e levam a interações mútuas de troca radiativa e de advecção em pequena escala. As unidades morfológicas fundamentais podem ser incorporadas hierarquicamente. Os cânions urbanos são exemplos da agregação, sendo compostos pelas paredes de um edifício e os elementos situados entre as edificações. Enquanto os telhados de edifícios adjacentes formam blocos da cidade, que por seguimento formam bairros, zonas de uso da terra e por fim toda a cidade.

Com referência à escala, cada elemento possui balanços energéticos diferentes, que em geral consistem em mais de uma média ponderada dos elementos individuais. Além disso, cada unidade interage com as adjacentes, da mesma categoria de escala, por advecção (CHING; CLARKE; GODOWITCH, 1983).

Com isso, as diferentes interações entre a camada atmosférica e cidade definem escalas climáticas urbanas (extensão urbana) e limites atmosféricos influenciados por unidade escalar (extensão vertical). As escalas climáticas urbanas são classificadas de acordo com Oke (2006) em (Figura 1):

- a) **Mesoescala** – escala que incorpora a influência integrada da cidade no clima urbano. Abrange dezenas de quilômetros de extensão, dependendo da dimensão da cidade estudada;

- b) **Escala Local** – escala que inclui os efeitos climáticos decorrentes da forma da paisagem, tal como as características topográficas do relevo, mas exclui os efeitos microclimáticos de cobertura de solo, tamanho e disposição dos edifícios, etc. Abrange de um a vários quilômetros;
- c) **Microescala** – escala típica do microclima urbano, está relacionada com as dimensões individuais dos elementos urbanos (edifício, árvores, estradas, ruas, pátios, jardins, etc). Varia de um metro a centenas de metros.



**Figura 1** - Escalas Climáticas Urbanas  
**Fonte:** Rosseti (2013) adaptado de Oke (2006).

As estações meteorológicas descrevem o clima geral de uma região através dos dados macroclimáticos. Já as modificações do macroclima provocadas pela topografia local, como montanhas, vales e massas de vegetações e rios são informadas pelos dados mesoclimáticos, A influência que as edificações e as ações humanas exercem no entorno são representadas pelo microclima (MASCARÓ, 2010).

Conforme Oke (1979), as influencias das escalas nos limites atmosféricos são definidos e seguem a mesma estrutura de divisão utilizada para áreas sem urbanização, como florestas, fazendas, estradas, com algumas especificidades. A compreensão dos limites no espaço urbano, deve ser oriundo da compreensão das áreas não urbanizadas.

### 2.1.1. Variáveis climáticas

O estudo do clima, segundo Romero (2001), compreende a formação resultante de dois fatores, sendo:

- a. Os fatores geomorfológicos e espaciais (sol, latitude, altitude, ventos, massas de terra e água, topografia, vegetação, solo, etc); e
- b. E caracterização definida por seus elementos (temperatura do ar, umidade do ar, movimentos das massas de ar e precipitações).

Portanto, torna-se necessário a compreensão dos princípios e para o entendimento do que deve ser controlado no ambiente a fim de se obter os resultados esperados durante o processo de desenho urbano.

Os fatores locais determinam e dão origem aos diferentes microclimas, encontrados em ambientes restritos como um bairro ou uma rua. Portanto, o clima de uma área é composto pelos fatores climáticos, globais e locais além dos elementos climáticos. Os principais fatores climáticos globais destacam-se a radiação solar, latitude, altitude, regime de ventos e a topografia (BARBIRATO et al., 2007).

No entanto os principais elementos climáticos são, temperatura do ar, umidade do ar, movimento do ar (ventos) e precipitação (chuvas) (ROMERO, 2001). Desta forma temos para:

- a. Temperatura e Umidade do ar: sofre interferência das características dos recintos urbanos, onde a quantidade de vapor de água na massa de ar é afetada pela temperatura local do ar. O teor de umidade local dependerá, da interação entre a temperatura do ar e a temperatura superficial do meio circundante (MASCARÓ e MASCARÓ, 2010);
- b. Precipitação: é o resultado de qualquer deposição em forma líquida ou sólida derivada da atmosfera. As áreas urbanas possuem em quantidade total acumulada 5 a 10% a mais de precipitação em comparação as áreas rurais, isto se deve aos movimentos ascendentes do ar sobre a cidade devido à ilha de calor, à turbulência resultante de obstáculos próprios do ambiente e da nebulosidade urbana por meio da presença de partículas na atmosfera da cidade (CONTI, 1998; BARBIRATO et al., 2007);

- c. Ventos: as modificações na ventilação na área urbana devem-se a acomodação perante os obstáculos, tais como edifícios, ruas, arborização e a topografia. No centro urbano a velocidade do vento tende a ser mais baixa que nos arredores, devido a rugosidade da superfície edificada. Enquanto que, a vegetação pode influenciar de forma a facilitar ou impedir o vento nos canyons urbanos (SILVEIRA, 2007; BARBIRATO et al., 2007; MASCARÓ e MASCARÓ, 2010).

### **2.1.2. Influências da urbanização nas variáveis climáticas**

Nas médias e grandes cidades depara-se com crises ambientais nas mais diversas áreas: níveis insalubres de ruído, emissão de gases tóxicos, poluição das águas, produção excessiva de resíduos, escassez de recursos energéticos, ilhas de calor, baixíssima qualidade de vida, dentre outros. Entretanto, não há como conter ou frear o processo de urbanização, mas há que se encontrar um caminho que permita à população conviver em um ambiente mais equilibrado dentro da continuidade do processo de crescimento das cidades.

O crescimento acelerado das cidades e a produção arquitetônica desvinculada da realidade local levou o clima das cidades à processos de mudanças em curtos períodos de tempo e, por outro lado, o ambiente urbano imposto à população decorrente dessas condições climáticas alteradas, não permite que se vivencie maiores níveis de integração entre o homem e o meio ambiente, justificado em alguns aspectos por questões que passam pela qualidade de vida e, até, pela salubridade mínima, não mais atendida pelo ambiente urbano.

O processo de urbanização produz mudança radical nas características radiativas, térmicas, de umidade e aerodinâmicas das superfícies, o que inevitavelmente produz mudanças no balanço de radiação e hidrológico, o que traz como consequência, modificações nas propriedades atmosféricas da região. Entre os processos e mecanismos relacionados à modificação dos balanços de energia e hídrico responsáveis pela formação do clima urbano, pode-se citar (OKE, 1982; HUANG et al., 2009; CALLEJAS, 2012):

- a. Fontes de calor antropogênico;

- b. Impermeabilização das superfícies urbanas;
- c. Contaminação do ar urbano; e,
- d. Cânions Urbanos.

Uma das formas de se observar as características do clima urbano é compará-lo com o meio rural adjacente. As alterações nas variáveis climáticas decorrentes da urbanização podem ser obtidas fazendo diferenças entre as observações meteorológicas urbanas e rurais. De um modo geral, observasse que o processo de urbanização reduz a incidência da radiação solar, diminui velocidade do vento devido ao aumento de rugosidade das superfícies e reduz a umidade do ar devido a impermeabilização das superfícies e supressão da vegetação, e por outro lado, de maneira inversa, aumenta a temperatura do ar devido ao maior armazenamento de energia nos cânions urbanos, a poluição atmosférica, a nebulosidade e precipitação devido a maior concentração de poluentes no ar. Todos esses efeitos introduzidos pelas mudanças microclimáticas provocadas pela ação humana na superfície urbana são responsáveis pelo fenômeno mais conhecido e documentado na literatura, a Ilha de Calor Urbana (ICU).

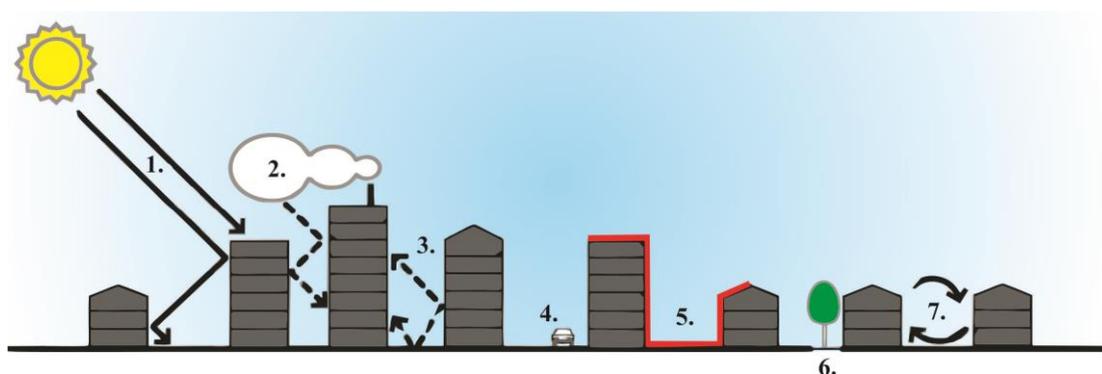
A ICU é observada em regiões urbanas densamente construídas, caracterizada pela diferenciação da temperatura do ar nestas áreas em relação a regiões próximas, não urbanizadas. Esta diferenciação é provocada pelas alterações no equilíbrio térmico natural, resultante da urbanização. A ICU é a manifestação climática mais evidente da urbanização (LANDSBERG, 1981) e sua extensão está relacionada à extensão das diferenças de temperatura em função do tempo e do espaço.

A ilha de calor urbana tem as seguintes possíveis causas (OKE, 1987; SANTAMOURIS, 2001), conforme ilustrado na Figura 2:

1. Absorção de radiação de ondas curtas do sol pelo baixo albedo (reflexão) dos materiais e retenção por múltiplas reflexões entre edifícios e a superfície da rua;
2. Poluição do ar na atmosfera urbana absorve e reemite radiação de onda longa para o ambiente urbano;
3. Obstrução do céu por edifícios resulta em uma diminuição da perda de calor por radiação de ondas longas do espaço entre os edifícios (cânion). O calor

é interceptado pelas superfícies de obstrução, e absorvido ou irradiados de volta para o tecido urbano;

4. Calor antropogênico é liberado por processos de combustão, tais como o tráfego de veículos, equipamentos de arrefecimento e as indústrias;
5. Aumento do armazenamento de calor pelos materiais de construção com grande absorção térmica. Além disso, as cidades têm uma área maior de superfície em relação às áreas rurais e, portanto, mais calor pode ser armazenado;
6. A evaporação das áreas urbanas é diminuída por causa de "superfícies impermeabilizadas" - materiais menos permeáveis, e menor ocorrência de vegetação em relação às áreas rurais. Como consequência, mais energia é absorvida na forma de calor sensível e pouca na forma de calor latente;
7. O transporte turbulento de calor no interior das ruas é diminuído por uma redução na velocidade do vento.



**Figura 2** - Ilustração das causas da formação da ICU  
**Fonte:** Rosseti (2013) adaptado de Oke (1987)

Em casos de climas com características térmicas extremas, o efeito da ICU pode ser largamente explicado por uma combinação das três primeiras causas (OKE et al., 1991).

### 2.1.3. Trabalhos correlatos

O primeiro estudo de clima urbano surgiu em Londres, em 1833, e analisava diferenças de clima entre a metrópole e sua periferia (ASSIS, 2006). Os estudos se

propagaram para a Europa Ocidental e, posteriormente, para a América do Norte, consolidando-se nos Estados Unidos, Suécia e África do Sul.

Em termos internacionais, segundo Assis (2006), avançou-se no sentido de desenvolver modelos empíricos como ferramentas para o uso de modelos de balanços de energia, abordagem considerada como a mais adequada para os estudos de clima urbano.

No momento atual, as atenções mundiais se voltam para os efeitos das mudanças climáticas e, em especial, o aquecimento global, os quais demandam para o homem do século XXI, a adoção de novos paradigmas relacionados com a sustentabilidade, sob pena de sofrer em curto espaço de tempo, as consequências de suas próprias atitudes sobre a natureza.

Em países tropicais e no Brasil, somente nos anos 70 surgiram os primeiros trabalhos (ASSIS, 2006). Este autor cita que, embora a produção mundial em climatologia tropical mais que dobrou de 1980 para 1990, representava, em número, menos que 20% da produção referente às cidades de altas e médias latitudes.

Na última década foi constatado grande desenvolvimento dos estudos na área, devido ao aumento do interesse dos arquitetos e engenheiros em estudar o ambiente construído relacionando-o ao projeto e planejamento urbano.

Em sua grande maioria, estes estudos, até hoje, alcançaram aplicação limitada e não tiveram seus resultados estendidos ao planejamento urbano, por exemplo, uma área que muito poderia se utilizar dos resultados das pesquisas. A justificativa desse fato se baseia na especificidade dos estudos feitos, que possuem caráter descritivo e cujos resultados não podem ser generalizados.

Retomando a questão do intenso processo de urbanização em ocorrência na cidade de Cuiabá, aborda-se a seguir seus impactos no clima da cidade, como consequência da substituição gradativa das áreas de vegetação por áreas construídas e impermeabilizadas. Diversos autores afirmam que as transformações das superfícies dos solos são responsáveis por profundas mudanças no balanço de energia, causando, dentre outras consequências, influência na dinâmica do movimento do ar, aumento da temperatura nas cidades e o fenômeno da Ilha de Calor Urbana (ICU) (LOMBARDO, 1985; CARNAHAN & LARSON, 1990; MENDONÇA, 2000; AYOADE, 2001; KIM & BAIK, 2005).

O ICU é conhecido como o acréscimo da temperatura do ar de regiões urbanizadas em relação às regiões rurais em seu entorno, em virtude da modificação e substituição de áreas de cobertura vegetal pela ocupação urbana e o excessivo adensamento das cidades (LI et al., 2009). Estudos sobre ICU no conglomerado urbano de Cuiabá iniciaram-se por Maitelli (1994) e Lombardo (1991), que indicaram uma ilha de calor de 2,5°C na estação seca e de 2,1°C na estação chuvosa. Na cidade de Várzea Grande foram iniciados por Souza e Maitelli (2005), que obtiveram uma diferença de 7°C em relação a área densamente ocupada e áreas suburbanas.

Maitelli (1994), para estudo da ilha de calor de Cuiabá, empregou uma abordagem tridimensional, isto é, combinou análise de série temporal, medidas horizontais fixas e móveis, medidas verticais fixas, além de estabelecer relação entre os resultados das medidas com o processo de crescimento urbano e padrões de uso do solo, entre os anos de 1920 e 1992. Seu estudo gerou isotermas e higrótermas para a cidade relativas às estações secas e chuvosas. Quanto aos resultados obtidos, destaca-se que a ilha de calor encontrada na estação seca atingiu um valor médio de 3,8°C, tendo chegado à intensidade máxima de 5°C. Já na estação chuvosa, a referência média foi de 1,8°C e a máxima, de 2,5°C.

Também relevante foi o estudo de Duarte (2000), que relacionou parâmetros urbanísticos e temperatura do ar, realizando duas séries de medições de temperatura e umidade do ar à superfície, em 1998/99, em sete sítios, durante seis dias consecutivos, identificando-os em ordem decrescente de temperatura e estabelecendo as correlações entre esta e os parâmetros urbanísticos.

Pinho (2003) que investigou a ilha de calor na cidade de Cuiabá em 2002 e comparou com a detectada por Lombardo, Maitelli e Zamparoni (1991) e Maitelli (1994), visando acompanhar a anomalia climática, concluiu que houve um acréscimo de 0,7°C na diferença térmica entre áreas urbanas vegetadas e densamente ocupadas.

Trabalho similar foi realizado por Souza (2004) na área urbana de Várzea Grande, observando que áreas densamente edificadas e com intenso fluxo de veículos eram até 7°C mais aquecidas e 25% mais secas do que bairros de baixa densidade urbana com preservação da vegetação, evidenciando que o processo de urbanização provoca alterações climáticas, produzindo microclimas ainda mais rigorosos em condições tropicais.

Sanches (2005) produziu um mapeamento detalhado da temperatura e umidade relativa do ar do Centro Histórico de Cuiabá-MT, inserido na região de ilha de calor previamente identificada por Maitelli (1994). Coletou medidas de temperatura e umidade em 30 pontos, em dezembro/2003 e junho/2004. Os resultados mostraram que os locais com elevadas atividades antrópicas, tráfego de veículos e pavimentação, bem como poucas áreas vegetadas, registraram as temperaturas mais altas e os menores índices de umidade relativa do ar. Em valores numéricos, a amplitude relativa à temperatura e à umidade relativa do ar, na estação chuvosa e no período noturno, foi de, respectivamente, 2°C e 6,3%; enquanto isso, na estação seca, a amplitude foi de, respectivamente, 3,2°C e 7,2%.

Almeida Junior (2005), constatou que as áreas arborizadas reduzem a temperatura do local, proporcionando melhores condições de conforto ambiental, isso faz com que, em regiões de clima quente, sejam recomendados à implantação de arborização para amenizar as altas temperaturas dos ambientes urbanos, sendo o Oiti a espécie arbórea apropriada para o clima de Cuiabá-MT.

Cox (2008) avaliou a influência do processo de urbanização na distribuição das temperaturas do ar e da umidade relativa e absoluta da cidade de Várzea Grande/MT, com monitoramento dessas variáveis em locais representativos com diferentes tipologias de ocupação urbana, durante três meses da estação seca (junho, julho e agosto de 2007) e durante três meses da estação chuvosa (novembro e dezembro de 2007 e janeiro de 2008). Os dados foram coletados através de estações meteorológicas automáticas instaladas em cada região monitorada, e também por meio de transectos móveis. Os resultados evidenciaram que os locais com maior porcentagem de área construída possuem as maiores médias de temperaturas e as menores médias de umidade. A autora concluiu que o comportamento térmico e de umidade da cidade de Várzea Grande sofre influência do processo de urbanização.

Pinho (2008), dando sequência aos estudos climáticos sobre a cidade de Cuiabá-MT, discutiu as relações entre o uso do solo urbano e o comportamento de algumas variáveis climatológicas, principalmente, aquelas relacionadas à configuração da ilha de calor urbana e a distribuição espacial das chuvas nas áreas urbanizadas de Cuiabá. Para tanto, realizou uma análise detalhada do uso do solo e uma combinação de métodos de análise de dados climáticos tais como: análise de série histórica (37 anos)

disponibilizados pelo 9º Distrito de Meteorologia, medidas com transecto e observações em estações meteorológicas automáticas fixas. Os resultados evidenciaram que o tipo de utilização do espaço no meio urbano exerce influência na variação da temperatura e umidade relativa do ar. As medidas itinerantes evidenciaram que a ilha de calor urbana, localizada em estudos anteriores no Centro Histórico, tem a tendência de expandir-se para direções de verticalização intensa, como a localizada ao longo da Avenida Historiador Rubens de Mendonça. Neste local, identificou-se a intensidade máxima da ilha de calor, 6,9°C, no horário das 20h. As análises da distribuição espacial das chuvas revelaram que, em geral, as áreas centrais apresentaram totais pluviométricos mais elevados, bem como ocorrências de chuvas mais intensas quando comparadas com a área rural.

Oliveira (2008), através das análises comparativas das médias horárias, das médias diárias e das médias geral das temperaturas para as duas estações (a seca e a chuvosa), constatou que a conformação urbana exerce uma grande influência no clima local.

Zeilhoffer et al. (2009) identificaram anomalias da temperatura do ar com estimativa espacial baseada em imagens termais, em decorrência do uso e ocupação do solo. Apresentou um modelo espacial da anomalia média da temperatura do ar em Cuiabá e Várzea Grande durante o mês de fevereiro de 2007, obtido a partir da sobreposição das camadas “Uso” e “Altitude”. As anomalias médias mensais no mês de fevereiro de 2007 variam entre -1,2°C e 0,8°C, sendo a maior variação observada na Estação “Centro de Cuiabá” e a menor na Estação “Rural” do estudo, a cerca de 25Km daquele. Observou que o fator determinante da anomalia é o uso e ocupação do solo, com as maiores ocorrências nas áreas centrais dos perímetros urbanos densamente urbanizadas. Áreas com vegetação remanescente ao longo dos rios Cuiabá e Coxipó apresentaram anomalias negativas. Ao longo da Avenida Historiador Rubens de Mendonça, um dos eixos principais de desenvolvimento da cidade de Cuiabá, observou um gradiente decrescente das anomalias positivas de acordo com o aumento do relevo, subindo de cerca de 155 metros nas margens do rio Cuiabá até cerca de 250 metros na região do Centro Político Administrativo. As anomalias negativas máximas ocorrem em áreas vegetadas com altitudes maiores do que 250 m.

Vasconcelos (2009) estudou o microclima de um bairro da cidade de Cuiabá, denominado Morada da Serra, que se insere na região identificada por Pinho (2008) e Zeilhoffer et al. (2009) com tendência a apresentar anomalias climáticas devido a intensa urbanização, com o objetivo de verificar os padrões de uso do solo condicionados às condições atmosféricas da região em foco, o seu reflexo no clima e a identificação da percepção dos moradores quanto a esse aspecto. Quanto ao uso do solo, a maior temperatura foi encontrada em uma área comercial de ocupação intensa, em que há alta circulação de veículos, e a menor temperatura ocorreu em área próxima a um córrego, margeado por mata ciliar, e onde a ocupação é residencial, rarefeita e com pouca circulação de veículos.

Franco (2010) observou, a partir das medições de temperatura, umidade, velocidade e direção do ar, bem como da radiação solar global no bairro Porto da cidade de Cuiabá, que locais com uso de solo e área construída semelhante tendem a ter mesmas características de umidade relativa e temperatura do ar, ao passo que locais mais arborizadas e próximos a cursos d'água possuem temperaturas menores e umidades relativas maiores, também foi notada algumas exceções com relação a característica citada anteriormente, mostrando que a ação antrópica tem grande influência na determinação de microclimas. As maiores temperaturas e menores umidades relativas tendem a ser encontrada nas regiões de maior taxa de área construída, atividade comercial e grande fluxo de veículos automotores. A conformação urbana e os processos de desenvolvimento das cidades não dependem apenas do modo e distribuição da malha urbana, mas sim do uso e ocupação do solo, da distribuição das áreas verdes e principalmente do funcionamento da vida cidadina.

Oliveira (2011) realizou medições em praças da região norte da cidade, com foco na caracterização do microclima e a influência da vegetação nos locais. Recomenda que nas praças da cidade sejam, preferencialmente, plantadas espécies que possam atingir grande porte, aliadas a valores altos de IAF, e que sejam espécies não decíduas, já que ocorre radiação solar intensa e altas temperaturas ao longo de todo o ano. Observou-se que regiões mais arborizadas das praças e com sombra densa, apresentaram menores valores de temperatura superficial, quando comparados com aquelas não arborizadas. Isto confirma que a vegetação contribuiu significativamente para o não aquecimento das superfícies do solo das praças.

Maciel (2011) verificou a influência de características do ambiente urbano sobre o comportamento da temperatura e umidade do ar, tendo como área de estudo uma parte do bairro Jardim das Américas da cidade de Cuiabá-MT. A partir de medições coletadas por meio de transecto móvel nos meses de junho a dezembro observou-se uma tendência aos pontos localizados na área verde ou com proximidade a esta de apresentarem valores de temperaturas mais baixos e valores de umidade relativa do ar mais altos.

Durante (2011) estudou dois ambientes de sala de aula sob condições distintas, sendo uma totalmente exposta à radiação solar e, outra, com sombreamento arbóreo, ambas avaliadas por meio de medições e simulações computacionais, utilizando o software EnergyPlus. Constatou-se que ocorreram melhorias das condições térmicas internas das salas com sombreamento arbóreo, que diminuiu em até 2°C a temperatura interna dos ambientes. Os resultados evidenciaram a contribuição do sombreamento arbóreo como mitigador do microclima externo, demonstrando a importância da arborização no desempenho termoenergético dos ambientes, em cidades de clima quente.

Callejas (2012) verificou que as taxas de fluxos de calor armazenado no dossel urbano e as dos fluxos de calor sensível estão diretamente relacionadas à fração de área plana impermeabilizada e inversamente à fração de área vegetada existente no entorno dos sítios urbanos pesquisados. As frações médias anuais estabelecidas para  $Q_E/Q^*$  localizaram-se acima da curva teórica estabelecida para as cidades de clima temperado, enquanto  $Q_H/Q_E$  e  $Q_H/(Q^* - \Delta Q_s)$ , abaixo, demonstrando a necessidade de aprofundamento de pesquisas sobre o tema em cidades de clima tropicais.

Santos (2012) analisou a influência da ocupação do solo no microclima em Cuiabá-MT-Brasil por meio das diferenças de temperatura e umidade do ar intraurbana do município. Para tanto, foi usada a metodologia de transectos móveis noturnos nas quatro estações do ano, utilizando-se um termohigrômetro digital, protegido por abrigo, acoplado na lateral de um veículo que saiu da periferia rural, passou pelo centro e chegou ao extremo oposto da cidade, no sentido leste/oeste e posteriormente norte/sul. Os registros foram ajustados para 20h, para análise termo-higrométrica e detecção de anomalias climáticas como ilha de calor, evidenciando a influência das mudanças antropogênicas no ambiente urbano. O adensamento urbano e a supressão

de vegetação são fatores determinantes na modificação do comportamento termohigrométrico, sendo evidente a influência do fluxo de veículos automotores nos ganhos de calor no meio, enquanto que áreas sob influência de grandes massas de vegetação, apresentaram características próprias, com microclimas diferentes das outras áreas da cidade, já que há uma contribuição na perda de energia para o meio e consequente queda de temperatura e aumento da umidade relativa do ar.

Franco (2013) estudou três bairros da Cidade de Cuiabá sendo, Boa Esperança, Santa Cruz e Jardim Universitário, escolhidos por ainda possuírem considerável área de vegetação nativa e proximidade ao Rio Coxipó. Para tanto foram realizadas coletas de dados micrometeorológicos através de estações automáticas (24h) e transecto móvel (8h, 14h, 20h) em dois períodos diferentes, quente-seco e quente-úmido. Nesses períodos as diferenças de temperatura do ar entre os pontos, variaram entre 0,9°C a 3,7°C e a umidade relativa, entre 1,8% a 10,6%. Na análise considerando apenas as características de uso e ocupação do solo as temperaturas tiveram uma variação de 0,1°C a 0,4°C. Assim nota-se que não é somente a ocupação urbana que é responsável pelo comportamento microclimático, mas vários fatores que em maior ou menor grau corroboram para o desempenho climático de cada local. O fator canyon urbano também foi considerado representativo no estudo do desempenho microclimático, pois esse fator pode ser responsável pela quantidade de radiação solar incidente, e consequentemente o aquecimento.

Rosseti (2013) avaliou os efeitos de telhados vegetados em uma ilha de calor urbana com simulação pelo software ENVI-Met na cidade de Cuiabá, MT. A simulação computacional considerou dois períodos do ano, em quatro cenários diferentes, sendo um cenário real, um com incorporação do telhado vegetado em 10% dos telhados, outro em 50% e outro em 100%. Os resultados confirmaram a validade do modelo ENVI-Met como uma ferramenta de previsão microclimática na cidade de Cuiabá, MT. Todos os cenários interferem no microclima local, validando o telhado vegetado como uma estratégia para minimização dos efeitos da ilha de calor urbana, principalmente na região acima dos telhados e ao nível dos quintais. Os impactos mais expressivos foram obtidos no cenário com 100% de cobertura vegetada, admitindo redução na temperatura do ar de até 1,56°C e elevação na umidade relativa do ar de até 4,80%. No entanto, os cenários com telhado vegetado interferem no conforto

térmico ao nível do solo, evidenciando a importância e os benefícios do telhado vegetado como estratégia passiva de condicionamento térmico tanto dos edifícios quanto do espaço urbano, reforçando a importância do planejamento urbano bioclimático para garantia da qualidade de vida dos seus habitantes.

Luz (2013) analisou duas regiões com características distintas no município de Cuiabá/MT em dois períodos distintos: estação quente-seca e estação quente-úmida. A Região 01 trata-se do campus da Universidade Federal de Mato Grosso localizado em área central e a Região 02 trata-se do bairro Pedra 90 localizado próximo ao limite do perímetro urbano do município. As medições ocorreram entre agosto e outubro de 2011 e entre março e maio de 2012. Com base nos dados apresentados, observou-se que a Região 02 apresenta temperaturas mais amenas e maior umidade diante de equivalente radiação solar. Apesar de a Região 01 ter apresentado valores mais altos de temperatura solar e baixos valores de umidade relativa do ar, apresentou um desempenho térmico satisfatório. No entanto, um fator preocupante são as grandes áreas impermeabilizadas que impactam no conforto ambiental de seus usuários. A autora atenta para a importância de áreas verdes ou sombreadas e diminuição das áreas impermeabilizadas como forma de mitigar o rigor climático imposto pelo clima de cidades, ainda em desenvolvimento, como Cuiabá.

Maciel (2014) avaliou, por meio de simulações computacionais com o software ENVI-met, as estratégias de mitigação de ilhas de calor urbanas por meio do estudo de caso do campus da Universidade Federal de Mato Grosso, localizado em Cuiabá-MT. Foram avaliados os efeitos das estratégias telhado fresco, telhado verde, pavimento fresco e incremento de áreas vegetadas nas variáveis temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa do ar (%). Todas as estratégias avaliadas apresentaram efeitos sobre a temperatura do ar (redução) e umidade do ar (aumento), em maior ou menor grau, durante as duas estações climáticas consideradas. O maior efeito de redução da temperatura média do ar, ao longo do dia, durante os dois períodos estudados foi registrado pela de pavimentos frescos, com  $1,20^{\circ}\text{C}$  no período úmido (13h) e  $1,96^{\circ}\text{C}$  (12h) para o período seco. O mesmo resultado foi encontrado para a variável umidade relativa do ar, que teve o maior efeito verificado na mesma estratégia. Foram registrados valores de aumento de 9,76% para o período úmido e de 9,34% para o período seco.

Tocantins (2015) verificou como a vegetação e o revestimento do solo, cada qual com seus diferentes albedos, afetam as condições ambientais em áreas urbanas e influenciam na manifestação de sentidos das pessoas quanto às variáveis microclimáticas de temperaturas e umidade do ar. Os resultados evidenciaram o caráter fundamental de se manter e envidar esforços para a proliferação das regiões vegetadas de modo a colaborar para a atenuação do microclima local e, dentre outros benefícios, a promover a sensação de bem estar termo-higrométrico.

Angelini (2015) constatou que as estimativas dos balanços de radiação e energia por sensoriamento remoto indicaram ser adequadas para avaliar os efeitos do uso do solo no microclima urbano. O albedo da superfície no solo exposto foi significativamente maior do que dos demais tipos de uso do solo. As áreas de vegetação densa apresentaram valores significativamente maiores de calor latente e evapotranspiração. O Saldo de radiação apresentou diferença significativa entre as estações, sendo maior na estação chuvosa em até 37,5% para o solo exposto e 31,9% para o asfalto. A evapotranspiração em área construída foi até 80,5% maior na estação seca para o solo exposto e 59,9% maior para área construída. Com o aumento do albedo da superfície ocorre a redução no saldo de radiação, todavia, com o aumento do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) houve uma diminuição no albedo da superfície tanto nas estações chuvosa e seca. A substituição de vegetação nativa por áreas alteradas como construções afetou os balanços de radiação e energia.

Souza (2016) analisou a relação da radiação solar na formação de ilhas de calor em diferentes configurações urbanas em Cuiabá-MT. A partir de medição de variáveis climáticas durante o período de agosto/2014 a julho/2015, observou-se a formação de ilhas de calor em porções com urbanização mais densa, enquanto que a porção com maior índice vegetativo e hídrico, apresentou a formação de ilha de frescor. As porções urbanas que apresentaram ilha de calor urbana têm seu pico no período matutino, entre às 8 e 10h. Assim, nota-se que a ocupação do meio urbano, ou seja, os materiais nele contido, influenciam no microclima da região e na formação de anomalias térmicas como ilhas de calor.

Silva (2016), através de sensoriamento remoto em Cuiabá/MT de 1985 a 2011, identificou anomalias térmicas e sua relação espaço-temporal com as diferentes ocupações do solo. A temperatura da superfície apresentou variação temporal

significativa, resultantes do acelerado crescimento urbano. A substituição de áreas vegetadas por áreas antropizadas afetou negativamente o balanço térmico da superfície. Foram identificadas predominantemente anomalias térmicas nas regiões norte e leste da cidade, causadas pelo aumento de áreas construídas e tecidos urbanos.

Paula (2016) analisou a influência pós intervenções urbanas no microclima da cidade de Cuiabá-MT, utilizando dados registrados nas quatro estações do ano em 2011-2012 e 2016. Observou-se aumento de 2,86°C na intensidade da ilha de calor apontada por Santos (2012) e decréscimo de 6% de umidade relativa do ar em relação as áreas mais úmidas, quando comparadas as médias entre os anos. Este impacto está relacionado ao aumento de cobertura impermeável e diminuição de cobertura vegetal. Também foi constatado a configuração de ilha de frescor e umidade nas proximidades do parque urbano Massairo Okamura, com diminuição de 2,68°C de temperatura do ar e aumento de 7,43% de umidade relativa com relação as áreas mais aquecidas e secas, quando comparadas entre os anos. Portanto, as intervenções urbanas ocorridas entre 2011-2012 a 2016 devem ser consideradas, pois verificou-se alterações no comportamento termo-higrométrico em escala microclimática devido as amplitudes térmicas observadas, associadas as áreas revestidas com materiais impermeáveis.

Como descrito pelos diversos estudos acima, o clima da cidade de Cuiabá tem demonstrado os efeitos do processo de urbanização nos níveis macro e microclimático. As variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar apontam de forma eficiente essa influência. Além disso, os autores que avaliaram medidas de mitigação dos efeitos de Ilha de Calor apontaram a estratégia de sombreamento como a medida mais eficiente para as condições climáticas de Cuiabá, tanto nos períodos quente-seco e quente-úmido.

Rosseti (2013) e Maciel (2014) validaram a simulação computacional através do software ENVI-met como uma importante ferramenta de previsão microclimática na cidade de Cuiabá, MT.

## **2.2. SENSACÃO DE CONFORTO AMBIENTAL EM AMBIENTES EXTERNOS**

A Bioclimatologia é uma das principais técnicas de avaliação do ambiente térmico exterior no planejamento urbano (VANOS et al., 2010). Neste cenário as modificações são propostas quanto aos aspectos físicos do espaço urbano para que ocorra a melhoria das condições térmicas em ambientes externos e, assim, incentivar o uso dos espaços abertos.

Além disso, as condições térmicas internas sofrem influência indireta de ambientes externos, interferindo no conforto térmico do usuário e no consumo energético destas edificações.

As ruas podem chegar a reunirem um número expressivo de transeuntes durante todo o ano, incluindo os consumidores, trabalhadores de escritório, etc, especialmente em regiões com clima tropical. Se os aspectos de planejamento urbano e o meio ambiente térmico resultante mantiverem uma correlação estável, certamente a qualidade dos espaços exteriores poderia ser significativamente melhorada (BRÖDE et al., 2012).

Na Europa o projeto RUROS (Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces – Redescobrimo o Ambiente Urbano e Espaços Abertos), tem sido desenvolvido em 14 cidades, onde seu objetivo é estudar as relações entre o espaço urbano e o conforto térmico dos usuários (NIKOLOPOULOU, 2003). O projeto conclui que os fatores que mais afetam a percepção térmica dos transeuntes é a temperatura média radiante e a velocidade do vento nos cânions urbanos.

Em Havana, Cuba, Tablada et al. (2009) na busca por maior qualidade dos espaços abertos, sugerem algumas recomendações de projetos preliminares para edifícios residenciais no centro histórico da cidade. Os mapas de clima urbano são instrumentos indispensáveis no fornecimento de informações sobre o microclima urbano aos planejadores da cidade (REN et al., 2011). Já Shashua-Bar et al. (2011), apresentaram orientações e exemplos práticos de projetos de espaços urbanos ao ar livre. Katzschner et al. (2007), compararam medições de campo com os resultados de modelagem numérica, utilizando os modelos Solweig e ENVI-Met. Ali-Toudert e Mayer (2006), essas investigações microclimáticas experimentais foram usadas como uma ferramenta para o desenho urbano e mostraram que para muitas configurações de

cânion, é necessária a incorporação de sombras e efeitos de resfriamento adicional por vegetação e vento para manter o conforto dentro dos limites aceitáveis.

Com isto, percebe-se a necessidade de definir limites e condições microclimáticas ideais a serem atingidas nos espaços de ar de livre, para que o planejamento urbano possa ser direcionado. A responsabilidade do planejamento urbano seria a de aplicar recursos e estratégias diversas, como sombreamento, inserção de praças e áreas de vegetação, adoção de fontes d'água, entre outros, de forma a melhorar o microclima destes espaços. Compreender e quantificar os efeitos da morfologia urbana no microclima gerado por ela torna-se um caminho para melhorar a sensação térmica em ambientes abertos (BRÖDE et al, 2012).

### **2.2.1. Variáveis de conforto térmico para ambientes externos**

Para Souza (2012) os estudos das ilhas de calor mostram as consequências do desconforto térmico em áreas urbanas, uma vez que a qualidade de vida pode ser interferida pelas reações ao frio e ao calor, essas reações envolvem: questões de saúde pública, de rentabilidade do trabalho, de consumo de energia e de sociabilidade.

O conforto térmico consiste na condição de auto regulação dos mecanismos no organismo humano, ou seja, a sensação de conforto é atingida quando as características térmicas do ambiente proporcionam ao maior número de pessoas a sensação de satisfação térmica em relação ao ambiente que ocupam. Ao passo que quando não há condições térmicas agradáveis tem-se a condição de desconforto térmico (GARCÍA, 1992; GOMES e AMORIM, 2003).

As variáveis ambientais e individuais influenciam no conforto térmico. Dentre estas, a temperatura, a umidade relativa ar e a velocidade do vento têm grande importância para a determinação das diferentes faixas de conforto. Quanto as variáveis individuais destacam-se as características das vestimentas e do metabolismo (sexo, idade, raça, atividade exercida e hábitos alimentares), o que pode mudar substancialmente as preferências térmicas de pessoa para pessoa (SILVA, 2008).

As variáveis ambientais têm recebido maior consideração na Climatologia Urbana. Estas variáveis, segundo Frota e Schiffer (2003), estão intrinsicamente relacionadas com o regime de chuvas, vegetação, permeabilidade do solo, águas

superficiais e subterrâneas, topografia, entre outras características locais que podem ser alteradas pela presença humana.

De acordo com Bartholomei (2003):

[...] A radiação é um processo no qual a energia radiante é transmitida de uma superfície quente para outra fria por meio de ondas eletromagnéticas [...]. A quantidade de energia transmitida por radiação térmica varia conforme a temperatura superficial do corpo e não depende do ar ou de qualquer outro meio para se propagar (BARTHOLOMEI, 2003, p. 9).

Segundo Pagnossin, Buriol e Graciolli (2001):

[...] O conforto térmico exprime satisfação com o ambiente térmico, sendo vários fatores que influenciam, entre eles os aspectos físicos relacionados aos processos de trocas de calor: condução, convecção, radiação e evaporação que ocasionam no organismo ganhos e perdas de energia com o meio, através da influência das variáveis meteorológicas como a temperatura, umidade, movimento do ar e radiação responsáveis por uma maior ou menor sensação de conforto térmico. Deve-se considerar também, as variáveis fisiológicas e psicológicas que variam de indivíduo para indivíduo conforme a percepção e preferências térmicas (PAGNOSSIN, BURIOL; GRACIOLLI, 2001, p. 151).

Sendo assim, quando a temperatura média de radiação do ambiente é superior à temperatura do corpo humano, este irá ganhar calor por radiação. Porém, se a temperatura média de radiação do ambiente for menor ao corpo humano este perderá calor por radiação.

Nos estudos de conforto térmico a temperatura do ar destaca-se com importância da grandeza meteorológica, pois esta é a responsável pela troca de calor por convecção.

[...] A remoção do calor por convecção ocorre quando o ar ambiente possui uma temperatura inferior à do organismo, dessa forma o corpo transfere calor pelo contato com o ar frio ao seu redor. O aquecimento do ar ao seu redor provoca um movimento de ascensão, assim, o ar quente sobe e o ar frio ocupa seu lugar formando um ciclo de convecção. No caso de a temperatura do ar ser igual à do corpo, não ocorrerá troca térmica por esse processo. Já quando a temperatura do organismo é inferior à do ambiente, este último cederá calor para o corpo, invertendo-se o mecanismo (BARTHOLOMEI, 2003, p. 9).

Os processos fisiológicos que mantem o equilíbrio térmico do organismo são dados através do suor da pele e da respiração. A umidade relativa do ar desempenha a função de transferir calor entre o indivíduo e o meio através da evapotranspiração. Esta

variável meteorológica varia inversamente ao valor da temperatura (AYOADE, 1986). Assim, esta relação é capaz de acentuar situações de desconforto térmico.

Para escapar da forte radiação solar, busca-se o sombreamento e brisas podem ser geradas por meio da ventilação, o entanto, não há como escapar dos efeitos da alta umidade acompanhada de alta temperatura. A sensação do aumento de calor com altas umidades está relacionada com a diminuição do resfriamento evaporativo (WINTERLING, 1979 apud CAMARGO et al. 2000).

A direção e intensidade do vento também influenciam no estudo do conforto térmico, uma vez que esta variável meteorológica influencia e é influenciado por outros elementos, provocando condições específicas no espaço urbano. Esta atuação interfere nos processos de transporte de calor (convecção) e de umidade (evaporação), bem como na dispersão da poluição (VAREJÃO, 2006).

Para Ruas (2001) o índice de conforto é um parâmetro de medida que combina as principais variáveis intervenientes. Com ele, é possível avaliar a situação de conforto térmico em um ambiente e obter estratégias para melhor adequá-lo às necessidades humanas.

Segundo Roriz (2003), os métodos teóricos de sensações térmicas humanas podem ser divididos em duas principais correntes de análise, sendo corrente racional, por Fanger (1972) e a corrente adaptativa, representada por Humphreys (1978).

Fanger (1972 apud RORIZ, 2003) ao desenvolver equações que pudessem quantificar a sensação térmica humana, levou em consideração que “por serem biologicamente idênticas, as pessoas de qualquer parte do planeta devem ter as mesmas preferências térmicas”.

No entanto, Humphreys (1978 apud RORIZ, 2003) defendeu que pessoas que habitam em zonas mais quentes, por exemplo, seriam mais tolerantes ao calor, e aceitariam menos temperaturas mais frias, ocorrendo o inverso com pessoas que morassem em localidades frias.

Contudo, no Brasil, o modelo adaptativo tem sido aceito nos estudos da Climatologia Geográfica. Desta forma, a classificação da sensação térmica obtida através das diversas equações importadas de outras latitudes tende a sofrer adaptações.

### 2.2.2. Índices de conforto externo

O clima é uma das características que mais influenciam o comportamento humano em espaços urbanos. Os pedestres, como exemplo, apresentam comportamentos distintos em diferentes regiões brasileiras, isso acontece devido as características climáticas das cidades, que geram um ambiente térmico ao qual faz com que o ser humano adapte-se suas atividades (NAKATA, 2010).

As ações urbanas deveriam partir do conhecimento das faixas ideais de temperatura, radiação solar global, velocidade do vento, umidade do ar, e outras condições climáticas para intervir em ambientes externos, reduzindo o índice de desconforto térmico. Como a sensação térmica depende da relação conjunta de diversos fatores climáticos e não climáticos, em geral, se adotam alguns índices para expressar essas relações.

Os principais índices que integram os fatores térmicos ambientais e humanos são: o Voto Médio Estimado (VME) (Predicted Mean Vote – PMV) (FANGER, 1972), a Temperatura Efetiva Padrão (TEP\*) (Standard Effective Temperature - SET\*) (GAGGE et al., 1986), a Temperatura Efetiva Padrão Externa (TEP-EXT\*) (Outdoor Standard Effective Temperature - OUT\_SET\*) (SPAGNOLO; DEAR, 2003) e a Temperatura Fisiológica Equivalente (TFE) (Physiological Equivalent Temperature – PET) (VDI, 1998). O VME, e o TEP\* tem uma base sólida para uso em espaços internos, enquanto que os índices TEP-EXT\* e TFE foram concebidos primordialmente para utilização em espaços ao ar livre (SPAGNOLO; DEAR, 2003).

A Comissão da Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB – International Society of Biometeorology) desenvolveu o Índice Climático Térmico Universal (UTCI) com base no mais avançado modelo multi-nó da termorregulação que representa progresso na ciência nas últimas três ou quatro décadas, tanto em termo-fisiológico como em teoria de troca de calor (JENDRITZKY; DEAR; HAVENITH, 2012). Além de ser amplamente utilizado em estudos de avaliação de conforto térmico para espaços abertos, o mesmo foi calibrado para o clima tropical continental por Borges (2018) e foi como parâmetro de avaliação de conforto ambiental térmico na presente pesquisa.

### *2.2.2.1. Índice termoclimático universal: Universal Thermal Climate Index (UTCI)*

Segundo Jendritzky, Dear e Havenith (2012), o UTCI é um índice internacional baseado na modelagem da resposta humana para condições meteorológicas incluindo consequente aclimação. Assim, um índice unidimensional foi estimado, conforme a resposta dinâmica multidimensional do corpo humano frente às diferentes combinações: temperatura corporal, taxa de sudorese, temperatura da pele, redução da resistência térmica e evaporativa da roupa provocada pelo vento e pelo movimento da pessoa andando a 4km/h em superfície plana (BLAZEJCZYK et al., 2010), que o adapta às diferentes condições do ambiente. Tem escala de avaliação baseada em diferentes combinações de temperatura retais e cutâneas, taxa de sudorese, tremores, causando valores não únicos para variáveis únicas como a temperatura retal ou média da pele, além de considerar condições climáticas diferentes com o mesmo valor UTCI (HAVENITH et al., 2012).

Pode ser calculado por meio de softwares entre os quais cita-se RAY-Man (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER, 2007), BioKlima 2.6 (BLAZEJCZYK, 2010), UTCI calculator (WOJTACH, 2014) entre outros. Destaca-se que o UTCI é um dos poucos índices capazes de quantificar as sensações térmicas extremas (de calor e de frio).

O índice termoclimático universal: Universal Thermal Climate Index (UTCI) tem sido amplamente usado em várias regiões com climas diversos, com abordagens diferentes: desde simples método de predição de sensação térmica, instrumento de análise para influência de morfologia urbana, estresse por calor, ilhas de calor, situações de risco ambiental, impactos do estresse térmico sobre o bem estar humano, estresse por calor e performance no trabalho, efeitos do sombreamento, simulações para previsibilidade de catástrofes, bem como avaliações comparativas com outros índices térmicos. Em quase todas as pesquisas produzidas, este foi aplicado em ambientes a céu aberto, visto que ele foi desenvolvido para este fim (BORGES, 2018).

A temperatura UTCI é equivalente para dada combinação das variáveis climáticas (vento, radiação, umidade e temperatura do ar) e é definida como a temperatura do ar do ambiente de referência, que produz o mesmo valor de estresse

térmico do ambiente real. Segue-se a Tabela 1 com as faixas de estresse térmico calibrado para região de Cuiabá (Clima Tropical Continental).

**Tabela 1** - Faixas de Estresse térmico Calibrado para região de Cuiabá (Tropical)

<b>Categorias de Estresse Térmico</b>	<b>Faixas de UTCI Cuiabá (Tropical)<sup>1</sup></b>	<b>Faixas de UTCI (Temperado)<sup>2</sup></b>
Muito estresse por frio	*	-27 a -13°C
Frio	≤ 14,56°C	-13 a 0°C
Pouco frio	14,56 a 21,65°C	0 a 9°C
Sem estresse térmico	-	9 a 18°C
<i>Conforto</i>	<i>21,65 a 28,74°C</i>	18 a 26°C
Pouco calor	28,74 a 35,83°C	26 a 32°C
Calor	35,83 a 42,93°C	32 a 38°C
Muito estresse por calor	≥ 42,93°C	38 a 46°C

**Fonte:** <sup>1</sup>BORGES (2018) e <sup>2</sup>BLAZEJCZYK et al. (2010)

## 2.3. MODELAGEM COMPUTACIONAL

Nos estudos de planejamento urbano e conforto térmico é comum o uso de ferramentas computacionais para armazenamento e simulações de informações climáticas e ambientais. Nesse contexto, o desenvolvimento da ferramenta ENVI-met como um freeware e a sua aplicação em diversos estudos, que vêm considerando-a como uma ferramenta eficiente em simulações de desempenho ambiental térmico, conferem-lhe uma indicação como instrumento potencial para pesquisa.

### 2.3.1. ENVI-Met

O modelo numérico microclimático ENVI-Met é um modelo tridimensional, não hidrostático, que foi criado por Michael Bruse como parte de sua tese de doutorado, realizada na Alemanha (BRUSE; FLEER, 1998).

Este software utiliza modelos numéricos de simulação de fluxos de ar, de turbulências, fluxos de radiação, de estratificação da temperatura e da umidade do ar, que ocorrem entre a atmosfera e as superfícies próximas ao solo, simulando as interações entre as superfícies urbanizadas, vegetação e atmosfera. Além disso, o software prevê os fluxos de radiação entre as superfícies edificadas (paredes, telhados, pisos, solos e vegetação), a partir da temperatura superficial e da emissividade de cada

material. Para simular as interações entre as plantas e a atmosfera, o ENVI-Met utiliza modelos de cálculos da evapotranspiração e do comportamento aerodinâmico do vento no perfil vertical das áreas vegetadas (BRUSE; FLEER, 1998).

Os dados de saída do programa são apresentados na forma de mapas ou gráficos, facilitando a análise da interação entre os parâmetros físicos, do ambiente construído, e o microclima. O programa pode ser utilizado como uma ferramenta no processo de planejamento urbano, sendo útil na comparação de diferentes cenários, com variações na morfologia urbana, na tipologia construtiva, na densidade construtiva, na permeabilidade do solo e no índice de vegetação (PEZZUTO et al., 2011).

A versatilidade do ENVI-Met tem despertado interesse em pesquisadores e usuários em todo o mundo, destacando-se os trabalhos de Silveira (2007) e Assis (2006), Nakata (2010), Silva e Romero (2009), Shinzato (2009), Brandão (2009), Nakata (2010), Dacanal (2011), Minella e Krüger (2011), Nogueira (2011), Francisco (2012), Souza (2013), Shinzato (2014), Gusson (2014), Sirqueira (2014) e Duarte (2015) em cidades brasileiras; Rosseti (2013) e Maciel (2014) na cidade de Cuiabá-MT; Taleghani et al. (2015), Salata et al. (2016), Du et al. (2016) Wang e Akbari (2016) pelo mundo.

A fim de executar o modelo, os usuários devem conhecer detalhes do solo, dos edifícios, da vegetação e das condições atmosféricas iniciais para o domínio do modelo. As condições iniciais atmosféricas, necessárias para executar simulações, incluem a velocidade e direção do vento a 10 m acima do chão, a altura da camada de rugosidade ( $Z_0$ ), a temperatura inicial da atmosfera, a umidade específica a 2500 m de altura e a umidade relativa a 2 m de altura (HEDQUIST et al., 2009).

Katzschner et al. (2007) utilizaram esse modelo para a análise e simulação do espaço urbano. Também aplicando a mesma ferramenta, Lahme e Bruse (2003) realizaram observações locais do clima e da qualidade do ar. Os dois trabalhos concluíram que o ENVI-Met reproduz os dados observados com suficiente confiança, além de ser adequado a investigações que trabalham em escalas de alta precisão, com resoluções da grade da célula entre 0,5 e 10 m, e com precisão de tempo de 10 segundos (HEDQUIST et al., 2009).

Diversos autores apontam para as possibilidades apresentadas pelo programa, porém, pelos próprios resultados alcançados, sua aplicação não deve ser indiscriminada (NAKATA, 2010). Como cada local tem características térmicas específicas, acredita-se que uma validação do modelo para cada região de estudo deve sempre preceder à simulação. Nesse sentido tornam-se necessários estudos e testes específicos para esse fim.

Rosseti (2013) recomenda que sejam realizados estudos mais aprofundados sobre o arquivo de configuração do modelo ENVI-Met de forma a estudar os impactos de cada variável no clima de Cuiabá.

Para melhor compreensão dessa interface computacional e dos requisitos necessários para a sua aplicação, cabe aqui destacar alguns pontos técnicos sobre o ENVI-met.

Para que o programa possa simular as condições ambientais de um dado local de estudo necessita-se da elaboração e inserção de dois arquivos de entrada: o arquivo de área (Spaces) e o arquivo de dados de configuração (ConfigWizard).

No arquivo de área deve-se definir: a configuração da área construída (dimensões de largura e altura), a existência e tipo de vegetação, o tipo de superfície (asfalto, calçada, arenoso, argiloso, etc.), o ângulo de rotação do Norte, a localização (latitude e longitude), o número de grids (eixos x, y e z) e a escala dos grids. No arquivo de dados de configuração, são solicitados os dados mínimos exigidos para a simulação:

- a. Velocidade do vento a 10 m (m/s);
- b. Direção do vento (0: N; 90: E; 180: S; 270: W);
- c. Rugosidade;
- d. Temperatura Inicial Atmosférica (K);
- e. Umidade Específica a 2500 m (g água / kg ar);
- f. Umidade Relativa a 2 m (%).

Dentre os diversos parâmetros ambientais, o ENVI-met fornece, a partir de sua simulação, os seguintes:

- a. Velocidade do vento (m/s);
- b. Mudança de velocidade do vento (%);
- c. Direção do vento (deg);

- d. Perturbação de pressão (Diff);
- e. Temperatura Potencial (K);
- f. Mudança de Temperatura Potencial (K/h);
- g. Umidade específica (g/kg);
- h. Direta Sw Radiação (W/m<sup>2</sup>);
- i. Difusa Sw Radiação (W/m<sup>2</sup>);
- j. Lw Radiação do ambiente (W/m<sup>2</sup>);
- k. Fator de visão do céu (somente construções);
- l. Fator de visão do céu (construções e vegetações);
- m. Temperatura de Parede (K);
- n. PPD;
- o. PMV;
- p. Temperatura radiante média (K);
- q. CO<sub>2</sub>.

A versão 4.0 do modelo, ainda em fase de testes, tem como principais avanços (HUTTNER; BRUSE, 2009; GUSSON, 2014; SHINZATO, 2014; DUARTE 2015):

**a. Novas características no editor da área de estudo;**

Na versão anterior 3.1, para se criar a área de estudo no modelo usava-se um formato 2.5D para construção e armazenagem dos dados, isto é, para cada célula na malha, apenas 1 valor acima e abaixo do valor de contorno no eixo z podia ser especificado em edifícios e plantas. Entre as vantagens, esse recurso possibilita salvar o arquivo como um simples arquivo de texto e editar por meio de programas editores de texto, mas não permite a construção de edifícios ou de um tecido urbano mais complexo.

Na nova versão 4.0 (preview), a modelagem é construída num formato 3D de visualização, com uma maior facilidade de desenho e também permitindo ao usuário especificar as propriedades físicas em cada elemento individualmente.

Assim, numa fachada de edifício é possível definir as aberturas e especificar as características dos materiais de caixilharia, vidro e alvenaria.

**b. Avanços no cálculo de temperatura da fachada e no balanço de energia dos fechamentos verticais;**

As versões anteriores não levam em consideração a inércia térmica das fachadas, mas os cálculos da temperatura de superfície de fachadas foram incluídos na nova versão. O cálculo está baseado em um modelo em regime transiente. As propriedades físicas da parede incluem dados de reflexão, absorção, transmissão, emissividade, coeficiente de transferência de calor, inércia térmica específica e a espessura da parede.

**c. Forcing;**

Nas versões anteriores as condições atmosféricas de contorno da simulação só podem ser introduzidas no modelo nos valores iniciais a partir dos quais o modelo passa a deduzir direta (radiação incidente) ou indiretamente (ventos, temperatura do ar e umidade) a variação diurna das condições de contorno da simulação. Em outras palavras, nas versões anteriores, o modelo não assimilava dados. Já na versão 4.0 é possível informar a variação diurna das condições atmosféricas e da radiação incidente. Isso permite uma melhor comparação entre os valores medidos em campo e as simulações pelo ENVI-met.

**d. Vegetação 3D;**

O modelo de vegetação apresenta significativos avanços em relação ao modelo da versão 3.1, no que se refere à visualização do formato das árvores, de acordo as diferentes camadas de DAF (densidade de área foliar). Foi implementado um banco de dados 3D para definir as árvores de uma forma mais elaborada.

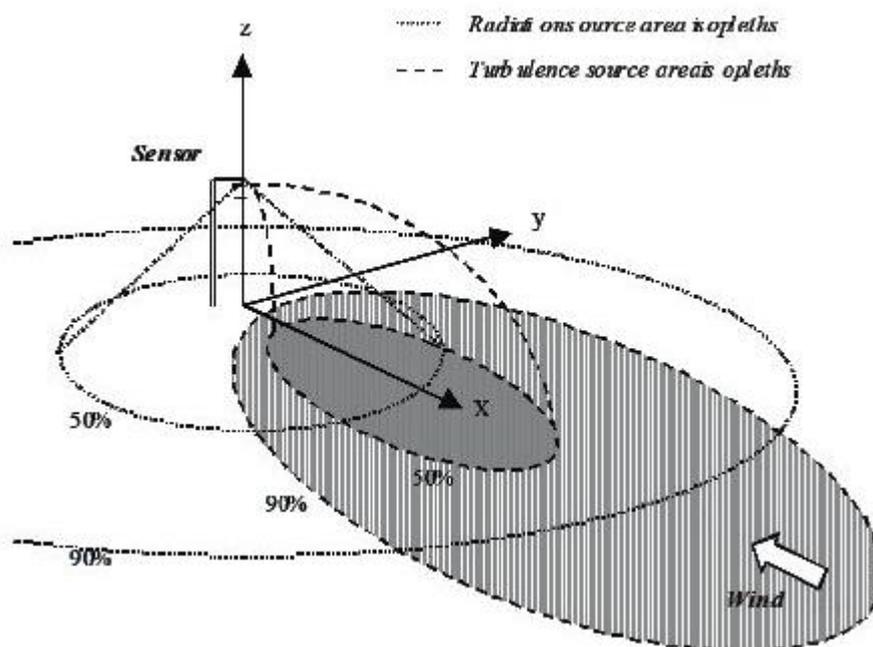
**2.3.2. Footprint – área de contribuição**

Entende-se por Footprint de uma estação meteorológica como a parcela da área do entorno imediato do sítio estudado que os sensores “vêm”, podendo ser chamadas de áreas de contribuição. Essas áreas podem ser calculadas através de modelos simplificados, denominados estáticos, ou mais complexos, denominados dinâmicos (CALLEJAS, 2012).

O conceito de Footprint (área de influência) foi apresentado por Pasquill (1972) que observou que as medições de variáveis climáticas de um certo ponto poderiam ser representativas de uma superfície adjacente, porém de forma desigual.

Oke (2006) caracteriza o termo Footprint como a área capaz de influenciar os dados coletados por estações meteorológicas. Esta área depende da altura de instalação dos sensores e das características do entorno da mesma. Nos modelos estáticos, como regra geral, Oke (2006) destaca que os sensores de temperatura ou umidade apresentam um círculo de influência de aproximadamente 500m de raio.

Nos modelos dinâmicos, as áreas de contribuição são dependentes da direção do vento a barlavento, das condições meteorológicas e do sistema de medição dos fluxos instalados no sítio (GRIMMOND; CLEUGH; OKE, 1991; KLJUN, 2015). Por este motivo, as áreas de contribuição variam consideravelmente no tempo e no espaço ao longo do dia, principalmente devido às condições de estabilidade da atmosfera e da direção do vento. Elas apresentam formato elíptico e posicionada no sentido contrário a direção do vento predominante (Figura 3).



**Figura 3:** Representação conceitual de Footprint  
**Fonte:** Alves e Biudes (2013) adaptado de Oke (2006)

De acordo com Schmid (2002), o crescente número de torres de monitoramento climático, desde 1972, demandou por um método de estimativa de área de influência (footprint). Desde então, esses modelos de footprint foram usados para o planejamento e projeto de instalação de novas torres e, também, aplicados à maioria das observações de estações meteorológicas pelo mundo, como suporte à interpretação das variáveis medidas.

A modelagem da área de influência (footprint) são frequentemente usados para interpretação das medições realizadas por sensores de estações meteorológicas, para estimar a posição e tamanho das áreas de influência, e a contribuição relativa dessas fontes nos fluxos medidos. Além disso, Kljun (2015) destaca que o conhecimento da área de footprint é importante para quantificação de gases de efeito estufa.

A interpretação dos dados medidos por estações meteorológicas requer vários cálculos, visto que os sensores estão expostos a condições atmosféricas que são constantemente variáveis. Segundo Kljun (2015), apesar do uso generalizado de modelos de área de influência (footprint), a definição de um modelo adequado é um grande desafio. Existem modelos complexos baseados em simulação de grande porte – (Large-eddy Simulation – LES) (LUHAR; RAO, 1994; LECLERC; SHEN; LAMB, 1997; STEINFELD; RAASCH; MARKKANEN, 2008; WANG; DAVIS, 2008), Modelos Eulerianos (Eulerian models of higher-order turbulence closure) (SOGACHEV; LLOYD, 2004), Modelo de dispersão de partículas estocásticas lagrangianas (Lagrangian stochastic Particle Dispersion – LPD) (LECLERC; THURTELL, 1990; HORST; WEIL, 1992; FLESCHE, 1996; BALDOCCHI, 1997; RANNIK et al., 2000; KLJUN, ROTACH; SCHMID, 2002; HSIEH et al., 2003), ou a combinação dos modelos LES e LPD (MARKKANEN et al., 2009; HELLSTEN et al., 2015). Esses modelos podem resolver o cálculo de áreas de influência de estruturas complexas e heterogêneas (como florestas e cânions urbanos). No entanto, Kljun (2015) classifica esses modelos como de execução difícil, requerendo computadores de grande porte para simulação, além disso, na prática são aplicáveis apenas a uma escala temporal pequena (estudo de caso em horas ou no máximo, poucos dias) e, também, a uma variação de condição atmosférica homogênea. Estes modelos complexos não são adequados para lidar com o crescente aumento de torres e estações meteorológicas e séries temporais de dados muito extensos.

Por outro lado, há os modelos mais simples (SCHUEPP et al., 1990; LECLERC; THURTELL, 1990; SCHMID; OKE, 1990; WILSON; SWATERS, 1991; HORST; WEIL, 1992, 1994; SCHMID, 1994, 1997; HAENEL; GRÜNHAGE, 1999; KORMANN; MEIXNER, 2001) mas sua validade é restrita a intervalos de altura dos receptores e a condições atmosféricas que não são comumente observados no cotidiano (KLJUN, 2015).

Visto a extensa gama de deficiências mencionadas acima, Kljun (2015) propõe um novo modelo parametrizado de predição de área de influência (footprint). Nesse modelo foi implementado a influência do coeficiente de rugosidade, a propagação e velocidade do vento.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

De forma a possibilitar o atendimento dos objetivos desta pesquisa, considerando a amplitude de disciplinas abordadas, foi necessário o desenvolvimento de diferentes métodos de levantamento de dados e modelagem, com uso de instrumentação específica que serão detalhados nos itens que se seguem.

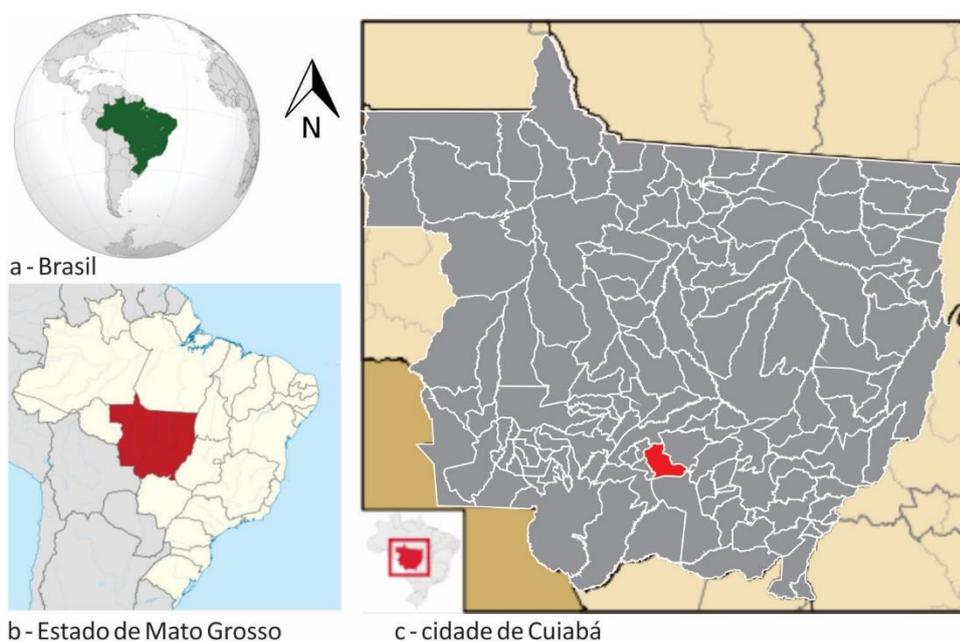
Foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos:

- a. Instalação da estação meteorológica;
- b. Definição da área de influência dos sensores da estação meteorológica conforme método definido por Kljun et al. (2015);
- c. Caracterização da área de estudo de acordo com a dimensão e características compatíveis com o software ENVI-Met;
- d. Testes prévios de simulação computacional com o software adotado, verificando os dados de entrada e formato dos resultados obtidos;
- e. Organização e preparação dos dados de entrada para as simulações com o software ENVI-met através da seleção dos dias estáveis dentre os dias monitorados para utilização em análises e simulações; escolha de escalas e versões a serem utilizadas para a simulação; configuração dos arquivos de entrada de representação da área de estudo e de condições meteorológicas;
- f. Simulações de situação real do cenário definido pelo Footprint;
- g. Calibração dos resultados simulados com os dados medidos e definição de equação de calibração;
- h. Propor um modelo de referência de configuração do software ENVI-Met a partir do método de definição de Footprint dinâmico;
- i. Analisar os parâmetros de conforto térmico a nível de pedestres na área do footprint para o período estudado.

## 3.2. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 3.2.1. Área de estudo

A área de estudo encontra-se na cidade de Cuiabá (MT) (Figura 4), capital do Estado de Mato Grosso, tem como coordenadas geográficas  $15^{\circ} 35' 56''$  de latitude sul (S) e  $56^{\circ} 06' 01''$  de longitude Oeste (W) de Greenwich (Gr). Possui área de  $3.538,17 \text{ km}^2$ , sendo que  $254,57 \text{ km}^2$  (7,2%) corresponde ao perímetro da cidade. A distância entre os seus pontos extremos é de 79,50km entre os paralelos  $15^{\circ}$  (norte) e  $15^{\circ} 50'$  (sul), e de 94,90 km entre os meridianos  $55^{\circ}30'$  (leste) e  $56^{\circ}20'$  (oeste) (CALLEJAS, 2012).



**Figura 4:** Localização da cidade de Cuiabá no estado de Mato Grosso e no Brasil

Moreno e Higa (2005), considerando as chuvas, temperatura e vegetação regional, apresentam Cuiabá com o clima: tropical de savana, subdividido em quente úmido quente seco. De acordo com a classificação climática de Koppen (PEEL, FINLAYSON e MCMAHON, 2007), Cuiabá está inserida no clima tipo Aw (tropical com chuvas de verão).

A distribuição de chuvas é tipicamente de clima tropical, com o máximo de precipitação no verão e clima seco no inverno. Sendo que 70% das chuvas são acumuladas entre os meses de novembro e março (DURANTE, 2012). Para Duarte

(2000), o clima da região definido por três períodos: uma estação seca e mais fresca no inverno; uma estação de transição seca e mais quente, um pouco antes das chuvas, e uma estação úmida e quente, durante as chuvas do verão.

Cuiabá, juntamente com o município vizinho de Várzea Grande, constitui um aglomerado urbano de cerca de 900.000 habitantes (IBGE, 2010). A população total do município até 1960 mantinha-se em aproximadamente 50 mil habitantes; na década de 60, duplicou, chegando a mais de 100 mil habitantes em 1970, continuando a se incrementar com levas de migrantes durante as décadas de 70 e 80 (CUIABÁ, 2007).

Segundo Durante (2012) a cidade é conhecida pelo seu rigor climático, cujas características de clima tropical são acentuadas por sua localização geográfica da cidade, situada numa área rebaixada situada entre o Planalto dos Guimarães e a província serrana, com altitudes variando entre 200m, no limite sul, e 450 m no alto vale dos rios Cuiabá e Manso, denominada Depressão Cuiabana (CUIABÁ, 2007). O comportamento dos ventos na cidade é influenciado pelo relevo que a circunda, caracterizando baixa ventilação durante o ano todo. A direção predominante é a norte nos meses de agosto a maio, ocorrendo também ventos de oeste, noroeste e sul, nos meses de junho e julho, com os quais se alternam condições de calmaria e ventos de norte. Sendo importante ressaltar que apesar da baixa velocidade do vento predominante, em dezembro ocorrem rajadas em diversas direções com velocidades superiores a 1 m/s (DURANTE, 2012).

### **3.2.2. Procedimento de escolha da Zona Urbana de estudo**

A seleção do fragmento para a área de estudo adotou os critérios conforme o Projeto de Pesquisa CORRELAÇÃO ENTRE O MICROCLIMA URBANO E A CONFIGURAÇÃO DO ESPAÇO EDIFICADO, UM ESTUDO NA CIDADE DE CUIABÁ, MT, BRASIL, ao qual esse trabalho está vinculado, sendo eles:

- a. ser plana;
- b. ter residências térreas ou de poucos pavimentos;
- c. próximo ao Campus Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso;

- d. possibilidade de instalação em uma estrutura existente que possibilitasse o levantamento microclimático na Sub-camada Rugosa (SR), caracterizada pela região acima dos edifícios;
- e. apresentar uma área verde significativa para fins de análise.

Os dois primeiros critérios visam facilitar a entrada de dados no programa ENVI-Met, levando intuitivamente a resultados mais fidedignos e para o segundo critério optou-se pela predominância de edificações baixas para maior padronização entre as áreas de estudo. O terceiro critério visa facilitar a manutenção da estação meteorológica. O quarto critério visa utilizar um local onde fosse possível a instalação da estação meteorológica numa estrutura existente com altura superior aos edifícios do entorno. E o último critério destina-se a uma análise mais precisa sobre a diferença da sensação térmica nos arredores de uma área arborizada e em pontos sem essa característica, rodeados apenas de edificações e asfalto. Visto que a estratégia de arborização e sombreamento mais recomendadas por estudos de climatologia urbano realizados na cidade de Cuiabá conforme levantamento sistemático realizado no capítulo 2.1.3 Trabalhos correlatos.



**Figura 5:** Imagem de satélite e Localização do Bairro Jardim Itália na Macrozona de Cuiabá  
**Fonte:** Adaptado de Google Earth (2018) Cuiabá (2012)

Tais critérios permitiram a escolha do bairro Jardim Itália para instalação da estação meteorológica e realização do estudo (Figura 5).

O fragmento da área de estudo será definido a partir da determinação do footprint dinâmico da estação meteorológica conforme estabelecido por Kljun et al. (2015).

### **3.2.3. Caracterização da Zona urbana – Jardim Itália**

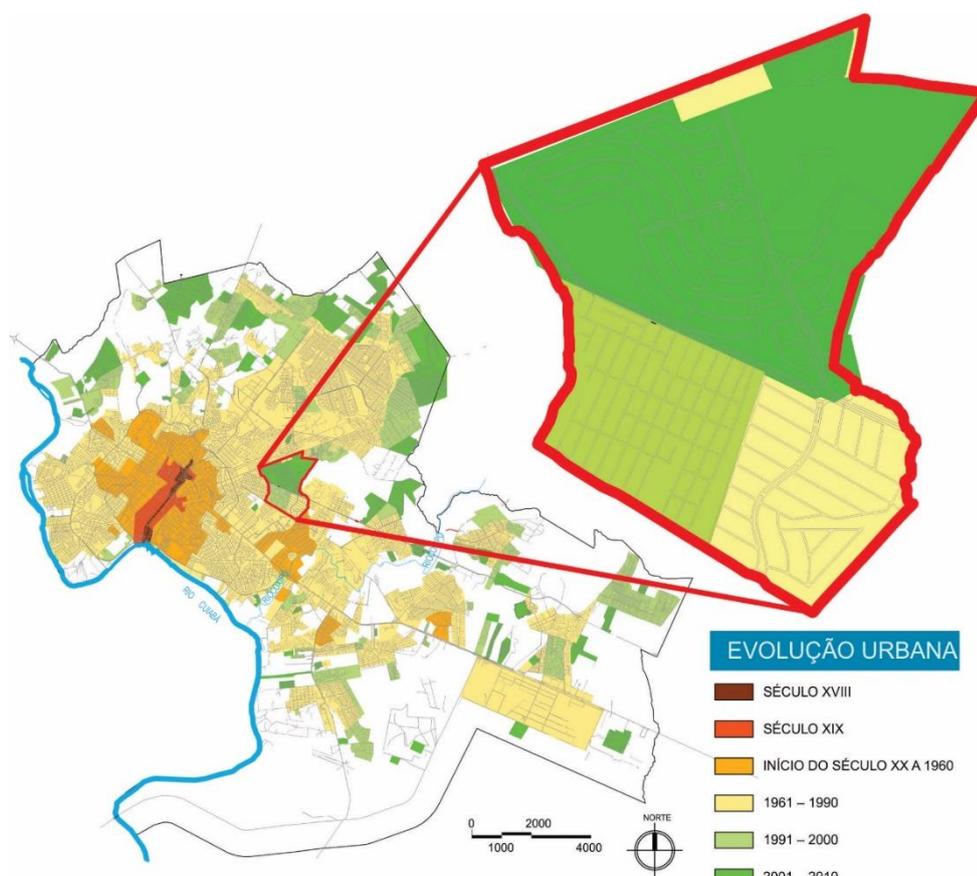
#### **3.2.3.1. Aspectos Gerais**

O bairro Jardim Itália se localiza na região Leste da cidade de Cuiabá, nas coordenadas geográficas 15° 36' 24" de latitude sul (S) e 56° 03' 29" de longitude a oeste (W) de Greenwich (Gr), próximo ao Campus Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso (Figura 5).

A região se destaca na cidade pela grande proporção de áreas verdes em relação às áreas edificadas e pavimentadas. É formada por lotes extensos, quando se compara ao padrão de lotes observado no restante da cidade, e edificações também de grandes dimensões. Segundo o SMDU (2012) o bairro é definido como classe de renda média-alta.

O bairro possui 5.815 habitantes no total, apresenta densidade populacional semelhante à média urbana, verificada no município de Cuiabá, sendo 22,37 hab./ha e 21,24 hab./ha, respectivamente, para o ano de 2010 (IBGE, 2010). Este valor evidencia a baixa densidade de ocupação da área, uma vez que, em áreas altamente adensadas, chega-se a observar valores de densidade demográfica em torno de 177 hab./ha, como é o caso do bairro Jardim Eldorado (CUIABÁ, 2012).

Apesar de não ser um bairro tradicional na sociedade cuiabana, com ocupação consolidada entre os anos de 1961 e 1990 (Figura 6), já se encontra consolidado quando tratam-se das características de suas ruas e edificações. Quando avaliada a evolução de sua ocupação, a zona urbana, compreendida pelo bairro Jardim Itália, apresenta três períodos de ocupação e expansão, sendo a primeira entre a década de 60 e 90, a segunda entre 1991 e 2000 e a terceira e mais recente compreendida pelos parcelamentos Alpaville I e II entre 2001 e 2010.



**Figura 6** - Mapa da evolução da ocupação urbana de Cuiabá, destaque para a zona urbana do Bairro Jardim Itália

**Fonte:** Adaptado de CUIABÁ (2012)

### 3.3. INSTRUMENTAÇÃO

#### 3.3.1. Altura dos sensores

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário a obtenção de dados microclimáticos de forma a possibilitar a configuração do arquivo de entrada, para simulação no software ENVI-Met, e ainda para a validação dos dados gerados pelo software.

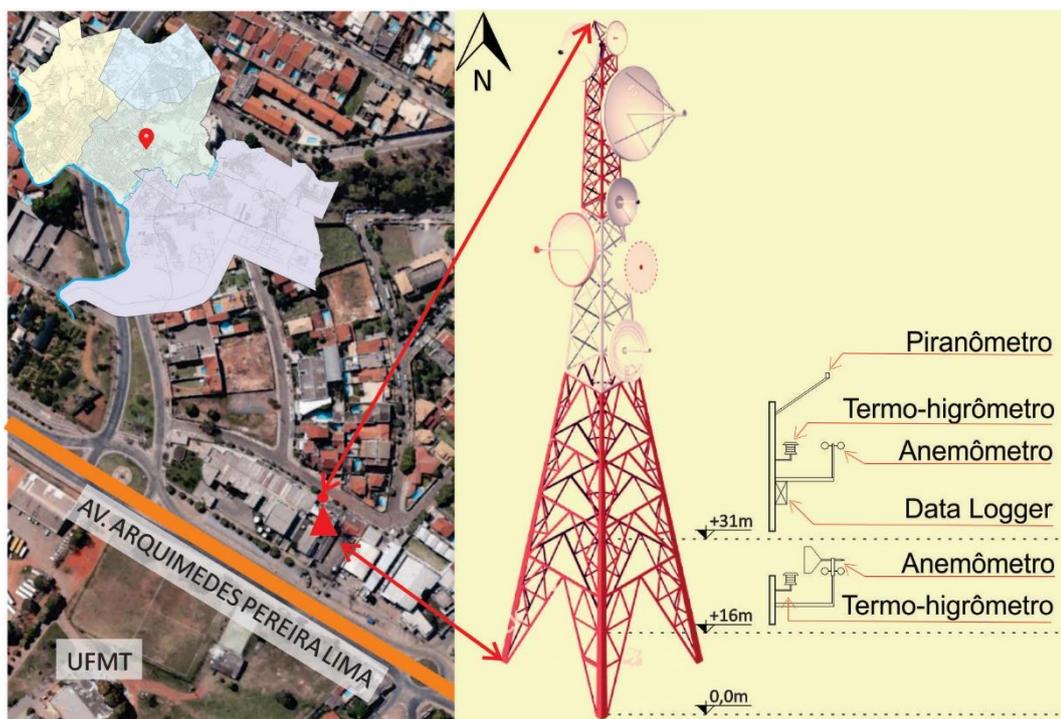
Os dados microclimáticos para configuração do arquivo de entrada do ENVI-Met foram obtidos através da estação de referência (83362), localizada no Aeroporto Marechal Rondon, em Várzea Grande, MT, conforme determinações impostas pelos desenvolvedores do software.

Já os dados microclimáticos para definição do footprint dinâmico foram obtidos através de uma estação meteorológica na Sub-camada Rugosa (SR), caracterizada pela região acima dos edifícios.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram necessários os seguintes materiais:

- Software ENVI-Met para a realização das simulações computacionais;
- Estação meteorológica para medição das variáveis microclimáticas composta dos seguintes equipamentos e sensores:
  - a. Data Logger U30 GSM;
  - b. Sensor de Radiação Solar S-LIB-M003;
  - c. Sensor de Temperatura e Umidade do ar S-THB-M002;
  - d. Sensor de direção e Velocidade do vento S-WSET-A;
  - e. Sensor de Umidade do Solo S-SMC-M005;
  - f. Sensor de Temperatura do Solo S-TMBM00;
  - g. Suporte para o Sensor de Radiação M-LBB;
  - h. Suporte para o Anemômetro M-CAA -Proteção contra radiação solar RS3;
  - i. Painel Solar SOLAR-6W;
  - j. Software Hoboware Pro BHW-PRO-CD;
  - k. Plano GSM.

A estação meteorológica foi instalada na Torre da Rádio Band situada na Av. Jornalista Arquimedes Pereira Lima, nas proximidades do Campus Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso (Figura 7). Composta por sensores de temperatura, umidade do ar, velocidade e direção do vento ao nível de 16m de altura em relação ao solo. E sensores de radiação, pressão atmosférica, temperatura, velocidade do vento, umidade do ar e data logger ao nível de 31m de altura em relação ao solo.



**Figura 7:** Localização da Estação Meteorológica  
**Fonte:** Google Earth (adaptado)

O monitoramento dos dados climáticos foi realizado nos períodos de 01/abril/2017 a 30/abril/2017 período que caracteriza a transição da estação quente úmida para quente e seca. Foram realizadas medições climáticas ininterruptas para a estabilização dos equipamentos e para possibilitar a seleção de dias estáveis e típicos da estação para análise.

### 3.3.1. Caracterização do entorno da estação meteorológica

Analisando o entorno da estação meteorológica num raio de 500 metros (Figura 8) observa-se uma prevalência de edificações residenciais unifamiliares com gabarito de altura entre 4 e 8 metros. As edificações comerciais concentram-se nas principais vias de circulação viária, sendo a Av. Arquimedes Pereira Lima e Av. Itália – classificadas como Via Estrutural e Via Principal, respectivamente, conforme hierarquização viária da cidade (CUIABÁ, 2012).



**Figura 8:** Entorno da Estação Meteorológica – raio de 500 m  
**Fonte:** Google Earth (adaptado)

### 3.4. FOOTPRINT DINÂMICO

Para o cálculo de footprint segundo método proposto por Kljun et al. (2015) foi necessário o cálculo das seguintes variáveis:

- $z_m$  – altura do receptor (m);
- $L$  – Comprimento de Obukhov (m);
- $\sigma_v$  - desvio padrão das flutuações da velocidade lateral ( $m\ s^{-1}$ );
- $u^*$  - velocidade de fricção ( $m\ s^{-1}$ );
- $h$  – altura da camada limite planetária (m);

- f.  $z_0$  – coeficiente de rugosidade (m);
- g.  $u_{(zm)}$  - velocidade média do vento à altura da medição ( $m s^{-1}$ ).

Esses dados foram utilizados para calcular o footprint dinâmico por meio de uma ferramenta online e gratuita através do link (<http://footprint.kljun.net/ffp.php>). As configurações necessárias para o cálculo nesses softwares estão disponíveis para download no link ([http://footprint.kljun.net/download\\_2.php](http://footprint.kljun.net/download_2.php)).

Para possibilitar a seleção de períodos estáveis, foram realizadas medições de variáveis microclimáticas no período de 01 a 30 de abril de 2017 num intervalo de 5 minutos. Como critério de seleção dos dados medidos, adotou-se como premissa a seleção de períodos com direção do vento predominante, visto que o Footprint está diretamente relacionado com o mesmo (OKE, 2006; KLJUN, 2015).

### **3.5. MODELAGEM COMPUTACIONAL**

#### **3.5.1. Levantamento espacial e edição do modelo**

Existem várias versões do software ENVI-met, sendo que a utilizada neste estudo para simulação do ambiente térmico é o ENVI-met 4. Trata-se da versão mais atual disponível através do link (<http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=root:start>). O ENVI-met 4 oferece um conjunto enorme de inovações e avanços de última geração e novos módulos de simulação para compreender e quantificar as interações entre seu ambiente local e o microclima ao ar livre.

Para que o programa possa simular as condições ambientais de um dado local de estudo necessita-se da elaboração e inserção de dois arquivos de entrada: o arquivo de área (Spaces) e o arquivo de dados de configuração (ConfigWizard). O primeiro deles trata-se da área que deverá ser caracterizada com a configuração da área construída (dimensões de largura e altura), a existência e tipo de vegetação, o tipo de superfície (asfalto, calçada, arenoso, argiloso, etc.), o ângulo de rotação do Norte, a localização (latitude e longitude), o número de grids (eixos x, y e z) e a escala dos grids.

Para essa caracterização foi sobreposto as plantas das quadras adquiridas na Prefeitura Municipal de Cuiabá com as imagens aéreas do Google Earth. Através da comparação dessas duas fontes e de levantamentos in loco, foi possível traçar os perímetros das edificações, alinhamento de lotes, calçadas e ruas e presença de massa arbórea. Esse procedimento facilitou a análise e importação da mesma para a plataforma de edição de área de entrada do ENVI-met.

Para a correta compatibilização do modelo microclimático com a área de estudo, foram classificadas de todas as superfícies, verticais e horizontais, quanto as suas propriedades radiativas de reflexão (albedo).

Na edição de área, configuram-se primeiramente alguns parâmetros:

- a. Número de grids do modelo nos eixos 'x', 'y' e 'z';
- b. Número de 'nesting grids';
- c. Tamanho da célula do grid em metros;
- d. Método de geração de grid vertical (equidistante e telescópico);
- e. Rotação do modelo em relação ao norte;
- f. Localização (cidade, país, latitude e longitude);
- g. Referência no fuso horário.

Após essa configuração, realiza-se a representação da área de estudo em si trabalhando-se em forma de camadas: edição de construção e vegetação, edição de solo, edição de receptores, edição de fontes de partículas, entre outros.

No arquivo de dados de configuração, são solicitados os dados mínimos exigidos para a simulação:

- a. Velocidade do vento a 10 m (m/s);
- b. Direção do vento (0:N.;90:E.;180:S.;270:W.);
- c. Rugosidade;
- d. Temperatura Inicial Atmosférica (K);
- e. Umidade Específica a 2500 m (g água / kg ar);
- f. Umidade Relativa a 2 m (%).

Como o programa ENVI-met solicita alguns dados gerais de condições térmicas e os simula para o ambiente dado, fornecendo dados de condições térmicas pontuais em forma de malha sobre o mesmo, as quais foram previamente definido que as variáveis climáticas a serem analisadas foram: temperatura do ar e umidade relativa.

Os dados simulados pelo programa foram comparados com os dados medidos no local pela ‘estação meteorológica’.

### 3.5.2. Compatibilização da base de dados de vegetação

O modelo ENVI-Met trabalha com a interação entre solo, superfície e atmosfera e simula os processos fisiológicos da vegetação presente nesta superfície até 2m abaixo dela. A caracterização dos indivíduos vegetais no modelo é feita através de 10 medidas de Densidade de Área Foliar (DAF) (Leaf Area Density - LAD), medidos do solo até o topo da copa e 10 medidas de Densidade de Área Radicular (DAR) (Radix Area Density - RAD), medidos da superfície até 2m de profundidade. Além disso, ainda deve-se informar ao modelo a tipologia das plantas, caracterizadas pelo método de fixação de CO<sub>2</sub> e pela perda ou não de folhas, a resistência dos estômatos, o albedo das folhas, a altura e a profundidade das raízes. A base de dados do modelo possui uma série de vegetais, já caracterizados conforme estas especificações (ROSSETI, 2013).

Considerando a impossibilidade de obtenção de muitas destas especificações para as espécies vegetais brasileiras no software ENVI-Met, foi realizado um estudo para definição desses parâmetros para as espécies arbóreas locais através de uma pesquisa de iniciação científica realizada pela aluna Malu Herrera Scaffi sob orientação da Profa. Dra. Karyna de Andrade Carvalho Rosseti. Os parâmetros utilizados estão na Tabela 2.

**Tabela 2:** Cálculo do LAD

CAMADAS	FATORES	BAIXA	MÉDIA	ALTA
10	0,5	0,178	0,25	0,306
9	1,5	0,534	0,75	0,918
8	2	0,712	1	1,224
7	2,5	0,89	1,25	1,53
6	2	0,712	1	1,224
5	1	0,356	0,5	0,612
4	0,5	0,178	0,25	0,306
3	0	0	0	0
2	0	0	0	0
1	0	0	0	0
<b>SOMA TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>3,56</b>	<b>5</b>	<b>6,12</b>

Fonte: Scaffi (2016)

### **3.5.3. Configuração preliminar do arquivo de entrada**

A configuração do arquivo de entrada é um dos pontos mais importantes na construção do modelo. Nele são informados os dados climáticos de entrada além de todas as definições necessárias para o processamento do modelo. A definição dos parâmetros para a configuração deste arquivo tomará como referência as recomendações apresentadas por Rosseti (2013) definidas no âmbito do Grupo de Pesquisa GPDAT e do LATECA.

Visando responder o objetivo formulado para a pesquisa, definiu-se quatro cenários para análise, sendo:

- a. Cenário 01 - com topografia e com simple forcing;
- b. Cenário 02 - com topografia e sem simple forcing;
- c. Cenário 03 - sem topografia e com simple forcing;
- d. Cenário 04 - sem topografia e sem simple forcing.

A justificativa de escolha desses cenários se baseou com o objetivo de testar a incorporação de duas ferramentas na versão 4 do ENVI-met, sendo a topografia e o simple forcing. E, através da comparação dos dados simulados com os medidos in loco pela estação meteorológica, definir qual a melhor configuração para estudos na cidade de Cuiabá. As informações referentes a topografia da área de estudo foram obtidas através de mapas em DWG disponibilizados pela prefeitura de Cuiabá.

O simple forcing permite alterar dinamicamente os valores de temperatura e umidade no nível de 2m dentro de um ciclo de 24h. Para o simple forcing, foram informados o horário e o valor de ocorrência das temperaturas máxima e mínima (°C) e umidade relativa (%) no modelo de configuração ConfigWizard dos cenários 01 e 03. Esses valores foram obtidos através da estação de referência (83362), localizada no Aeroporto Marechal Rondon, em Várzea Grande, MT.

#### **3.5.3.1. Spaces**

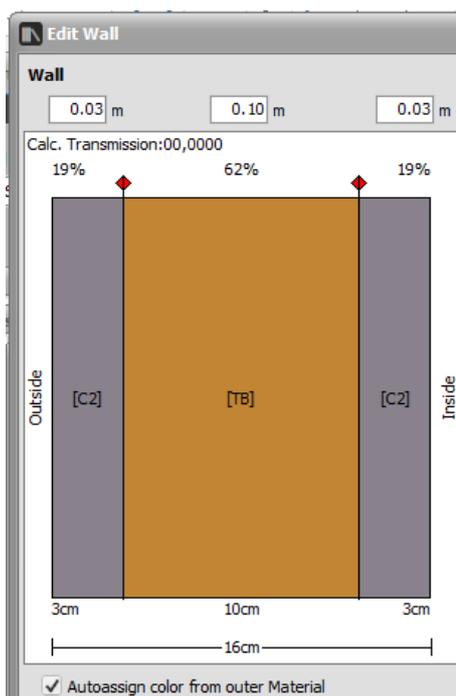
O primeiro passo para se iniciar a simulação é determinar a base para a inserção da área que será estudada. A Figura 9 mostra imagem do editor com os dados utilizados para os cenários 01, 02, 03 e 04.

Por se tratar de um modelo tridimensional, na opção *Grid size and structure in main area* é preciso se determinar a dimensão de grade, que é uma base auxiliar para a inserção da área, em três eixos. Foi escolhido um tamanho de 3m x 3m x 3m, pois as calçadas do local têm, em média, 3m.

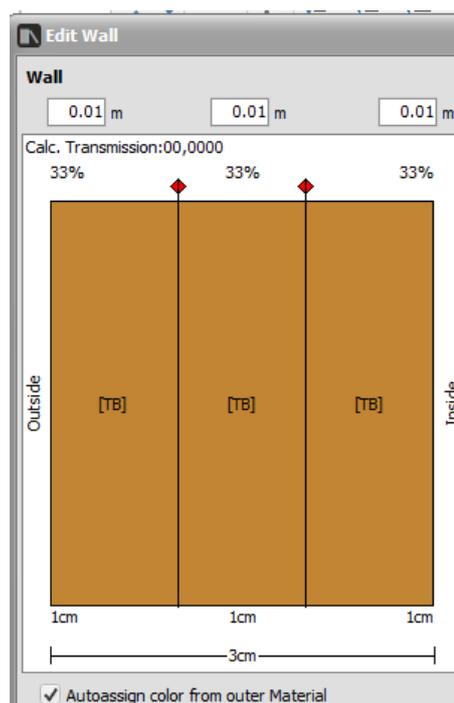
**Figura 9:** Configuração inicial da aba Spaces para os cenários 01, 02, 03 e 04

**Fonte:** ENVI-met 4 (adaptado pelo autor)

O modelo ENVI-met 4.0 apresenta como uma das novas ferramentas a de edição dos materiais a serem empregados, tanto nas edificações quanto nos pavimentos, solos e demais superfícies. Com esta nova ferramenta chamada de Database Manager, pode-se editar um material já existente no banco de dados do modelo ou criar um novo. Os dados de entrada para cada material são: espessura, coeficiente de absorção, de transmissão, de reflexão (albedo) e de emissividade, calor específico, condutibilidade térmica e densidade.



**Figura 10:** Edição das dimensões e componentes da parede de tijolos padrão utilizada nos cenários  
**Fonte:** ENVI-met 4 (adaptado pelo autor)



**Figura 11:** Edição das dimensões e componentes da cobertura padrão utilizada nos cenários  
**Fonte:** ENVI-met 4 (adaptado pelo autor)

Para as quatro simulações foram criados no Database Manager materiais com características térmicas compatíveis às que se observaram in loco. Para as propriedades térmicas, utilizou-se como referências a NBR 15220 – parte 02 (ABNT, 2003). A partir de levantamento in loco, adotou-se um material predominante para as paredes e coberturas das edificações da área de estudo. Nas Figura 10 e Figura 11 apresentam-se o exemplo de como foi utilizado o editor de materiais para as paredes e cobertura, respectivamente. Além das paredes o DB Manager é a ferramenta para edição de: solos, perfis de solo, vegetação (2D e 3D), fontes de poluição e dos materiais (sem estar vinculados a um objeto, como parede ou solo). O exemplo abaixo é das paredes e cobertura dos edifícios que foram utilizadas para as simulações e seus componentes, como tijolo e argamassa e a sua espessura. Nas Figura 12 e Figura 13 é possível observar as propriedades térmicas do tijolo e dos rebocos (respectivamente) obtidas na NBR 15220 – parte 02 (ABNT, 2003).

Database-ID: [TB]	
Name:	TELHA DE BARRO LATECA
Color:	
Parameter	Value
Default Thickness	0.05000
Absorption	0.77500
Transmission	0.00000
Reflection	0.22500
Emissivity	0.90000
Specific Heat	920.00000
Thermal Conductivity	0.90000
Density	1700.00000
Extra ID	0

**Figura 12:** Edição das propriedades térmicas do tijolo de barro

**Fonte:** ENVI-met 4 (adaptado pelo autor)

Database-ID: [C2]	
Name:	ARGAMASSA ALVENARIA
Color:	
Parameter	Value
Default Thickness	0.30000
Absorption	0.35000
Transmission	0.00000
Reflection	0.65000
Emissivity	0.90000
Specific Heat	1000.00000
Thermal Conductivity	1.15000
Density	620.00000
Extra ID	0

**Figura 13:** Edição das propriedades térmicas da argamassa

**Fonte:** ENVI-met 4 (adaptado pelo autor)

Os pavimentos ou perfis de solo utilizados para a simulação da área de estudo também foram baseados na maior ocorrência do mesmo, por tipo de pavimento. No interior das quadras e nas calçadas, foi utilizado o concreto. Nas ruas foi utilizado o mesmo tipo de asfalto em ambas as áreas. Na edição dos pavimentos é necessária a entrada de dados de solo até uma profundidade de 450 cm. O modelo tem um default de materiais, mas também é possível a criação de novos materiais para compor o pavimento. As propriedades térmicas do concreto e do asfalto (Figura 14 e Figura 15) foram obtidas NBR 15220 – parte 02 (ABNT, 2003) e ara os valores de albedo, foram utilizados os dados obtidos por Rosseti (2013).

Database-ID: [PP]	
Name:	CALCADA CONCRETO LATECA, used/ dirty
Color:	
Parameter	Value
z0 Roughness Length	0.01000
Albedo	0.27000
Emissivity	0.90000
ExtraID	0
Surface is irrigated	False
Additional Value 1	0.00000
Additional Value 2	0.00000

**Figura 14:** Edição das propriedades térmicas do concreto

**Fonte:** ENVI-met 4 (adaptado pelo autor)

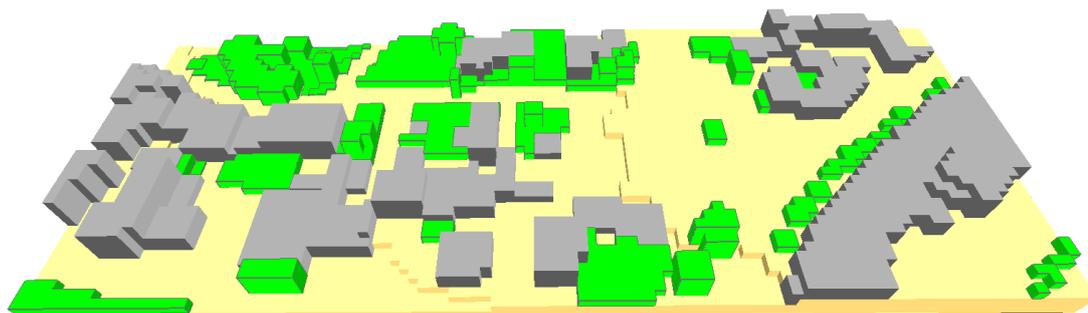
Database-ID: [AL]	
Name:	ASFALTO LATECA
Color:	
Parameter	Value
z0 Roughness Length	0.01000
Albedo	0.10000
Emissivity	0.94000
ExtraID	0
Surface is irrigated	False
Additional Value 1	0.00000
Additional Value 2	0.00000

**Figura 15:** Edição das propriedades térmicas do asfalto

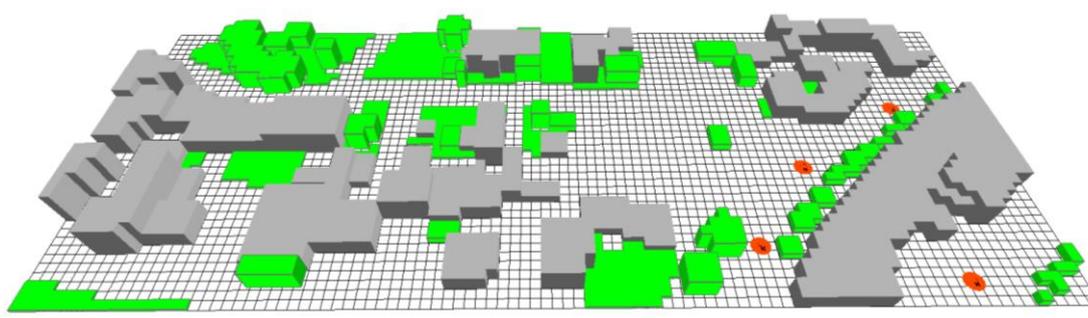
**Fonte:** ENVI-met 4 (adaptado pelo autor)

A especificação dos materiais ficou mais complexa, porém muito mais precisa na versão 4, pois o modelo faz os cálculos de transmissão de calor entre os espaços internos e externos dos edifícios, ou seja, o modelo considera a massa térmica dos edifícios para o cálculo de variáveis microclimáticas de áreas urbanas (GUSSON, 2014).

Após a edição dos materiais se iniciou o desenho da área ser simulada nos quatro cenários no ENVI-met (Figura 16 e Figura 17). Para facilitar o desenho no software a imagem de referência foi rotacionada em 20,22° para que as quadras e ruas respeitassem os eixos x e y do modelo. Nota-se na Figura 16 a incorporação da topografia utilizada nos cenários 01 e 02.



**Figura 16:** Modelo do ENVI-met em 3D extraída utilizado nos cenários 01 e 02  
**Fonte:** ENVI-met 4 (adaptado pelo autor)



**Figura 17:** Modelo do ENVI-met em 3D extraída utilizado nos cenários 03 e 04  
**Fonte:** ENVI-met 4 (adaptado pelo autor)

### 3.5.3.2. *ConfigWizard*

Na aba ConfigWizard são inseridos dados como: dia, mês, ano e hora de início da simulação, bem como sua duração em horas, velocidade e direção do vento, rugosidade da área, temperatura atmosférica inicial, umidade específica a 2500 m do nível do mar e umidade relativa a 2m. Todos os dados foram os mesmos que os utilizados nas simulações dos cenários 01, 02, 03 e 04, exceto os valores adotados no simple forcing (utilizados apenas nos cenários 01 e 03) (Tabela 3).

Tabela 3: Quadro resumo do arquivo de entrada - ConfigWizard

Parâmetro	Valor
Data da Simulação <sup>a</sup> :	27.04.2017
Hora de início:	20:00:00
Duração total:	48 horas
Intervalo de registro:	60 min
Velocidade do vento 10 m acima do solo:	2.5 m/s
Direção do vento:	330°
Rugosidade z0 no ponto de referência <sup>b</sup> :	0.1
Temperatura inicial da atmosfera:	25.49°C
Umidade específica em 2500 m <sup>c</sup> :	9.76 g/kg
Umidade relativa em 2m [%]:	87.07 %
Horário de ocorrência da Temperatura Mínima (h) <sup>d</sup> :	06h00
Temperatura mínima (°C) <sup>d</sup> :	14°C
Horário de ocorrência da Temperatura Máxima (h) <sup>d</sup> :	16h00
Temperatura máxima (°C) <sup>d</sup> :	28°C
Horário de ocorrência da Umidade Relativa Mínima (h) <sup>d</sup> :	16h00
Umidade Relativa mínima (%) <sup>d</sup> :	50%
Horário de ocorrência da Umidade Relativa Máxima (h) <sup>d</sup> :	06h00
Umidade Relativa Máxima (%) <sup>d</sup> :	70%

<sup>a</sup> dia hipotético que representa o mês estudado. Os dados de velocidade do vento, temperatura inicial da atmosfera, umidade específica e relativa representam valores médios do mês de abril de 2017; <sup>b</sup> define a rugosidade da superfície no local onde a estação de referência está localizada; <sup>c</sup> define a umidade na parte superior do modelo; <sup>b</sup> e <sup>c</sup> são necessários para a iniciação do modelo e são mantidos constantes no decorrer da simulação; <sup>d</sup> valores adotados apenas nos cenários 01 e 03. **Fonte:** o autor

### 3.5.4. Definição dos parâmetros para análise do Conforto do pedestre - UTCI

Para análise de conforto térmico, adotou como referência a média dos receptores 3, 4 e 6 no cenário 04. A escolha desses receptores se justifica por estarem locados na calçada, visto que o objetivo da análise é avaliar o conforto do usuário em ambiente externo.

A sensação de conforto térmico foi avaliada pelo índice UTCI, utilizando-se o software RayMan 1.2 Pro que desenvolvido por Matzarakis, Rutz, Mayer (2007). Os dados utilizados estão descritos a seguir:

- a. Dia;
- b. Horário
- c. Coordenadas geográficas;
- d. Altitude do ponto simulado referente ao nível do mar;
- e. Temperatura do ar a altura de 1,50m ( $T_a$  °C) calibrada conforme Equação 8;

- f. Umidade relativa do ar a altura de 1,50m (UR %) calibrada conforme Equação 9;
- g. Velocidade do vento a 10m de altura ( $V_a$  m/s);
- h. Temperatura radiante ( $T_{rmt}$  °C).

Para as características físicas das pessoas, adotaram-se as padronizadas para o índice UTCI, ou seja, aquelas definidas para o ambiente de referência, a saber: corpo do indivíduo idealizado como elemento cilíndrico e esférico constituído de camadas de tecido anulares concêntricas com propriedades termofísicas e funções fisiológicas adequadas, peso de 73,5kg, conteúdo de gordura no corpo de 14%, área de superfície corporal de 1,86m<sup>2</sup> e taxa metabólica correspondente à atividade de caminhar a 1,1m/s (2,3Met ou 135W/m<sup>2</sup>) (FIALA, LOMAS e STOHRER, 1999).

Foi elaborado mapa de sensação térmica a partir da calibração proposta por Borges (2018) para o cenário simulado.

### 3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A metodologia utilizada para avaliar a distância entre os valores das séries temporais medidas e os valores das séries temporais previstas pelo modelo ENVI-Met foram o Coeficiente de Correlação  $r$ , e a estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis (LEE; WANG, 2003) para avaliar a significância das diferenças nos valores de temperatura e umidade absoluta do ar decorrentes da adoção de topografia e simple forcing nos cenários 01, 02,03 e 04.

#### 3.6.1. Coeficiente de Correlação – $r$

A precisão de uma predição é dada pelo Coeficiente de Correlação ( $r$ ). Este índice estatístico indica o grau de associação entre duas variáveis, no caso deste trabalho, entre a série temporal medida ( $M$ ) e série temporal prevista ( $P$ ) pelo modelo ENVI-Met, com um número total de  $N$  observações. O Coeficiente de Correlação  $r$  é dado pela equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (M - \bar{M})(P - \bar{P})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^N (M - \bar{M})^2][\sum_{i=1}^N (P - \bar{P})^2]}} \quad \text{Equação 1}$$

De modo que, o grau máximo de associação,  $r=1$ , significa uma correlação perfeita positiva entre as duas séries temporais,  $r=-1$ , significa uma correlação negativa perfeita entre as duas séries, isto é, se uma aumenta a outra diminui, e  $r=0$  que as séries não possuem associação uma com a outra.

### 3.6.2. Coeficiente angular da reta de regressão – $\beta_{y,x}$

Medida da variação que ocorre em uma característica quando outra característica se modifica em uma unidade. Representa a inclinação da reta, medindo a correlação de aproximação através do aumento ou redução em  $y$  para cada aumento de uma unidade em  $x$ . O coeficiente angular da reta de regressão linear é dado pela equação:

$$\beta_{x,y} = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2} = \frac{\sum xy - \left[\frac{(\sum x)(\sum y)}{n}\right]}{\sum x^2 - \left[\frac{(\sum x)^2}{n}\right]} \quad \text{Equação 2}$$

De modo que, se ele for zero a reta não tem inclinação alguma, então  $x$  não interfere em  $y$ . Se for igual a 1, a reta tem inclinação de  $45^\circ$ , evidenciando a existência de correlação positiva entre as variáveis medidas e estimadas pelo modelo, indicando que elevações na temperatura e na umidade medidas são acompanhadas por elevações na temperatura e na umidade estimadas.

### 3.6.3. Teste de Kruskal-Wallis

O teste de Kruskal-Wallis (KW) é um teste não paramétrico utilizado para comparar três ou mais populações. Ele é usado para testar a hipótese nula de que todas as populações possuem funções de distribuição iguais contra a hipótese alternativa de que ao menos duas das populações possuem funções de distribuição diferentes. Nesta pesquisa o mesmo será utilizado para avaliar se há diferença significativa entre os cenários pesquisados.

O teste de Kruskal Wallis é calculado pela equação:

$$H = \left[ \frac{12}{(N \cdot (N + 1))} \right] \cdot \left[ \frac{\sum R_1^2}{n_1} + \frac{\sum R_2^2}{n_2} + \frac{\sum R_3^2}{n_3} \right] - 3 \cdot (N + 1) \quad \text{Equação 3}$$

Onde  $N$  é o número de dados em todos os grupos;  $n$  é o número de sujeitos em cada grupo, e;  $\sum R$  é a somatória dos postos de cada grupo.

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado o resultado preliminar referente ao footprint dinâmico, obtido durante os procedimentos metodológicos, necessário para a elaboração e configuração do modelo no software ENVI-met. Além disso também são apresentados os resultados da simulação micro e mesoclimática para os quatro cenários de configuração do software ENVI-met, com o auxílio de tabelas e gráficos, definiu-se o melhor cenário de configuração e avaliou o índice de conforto UTCI para o mesmo.

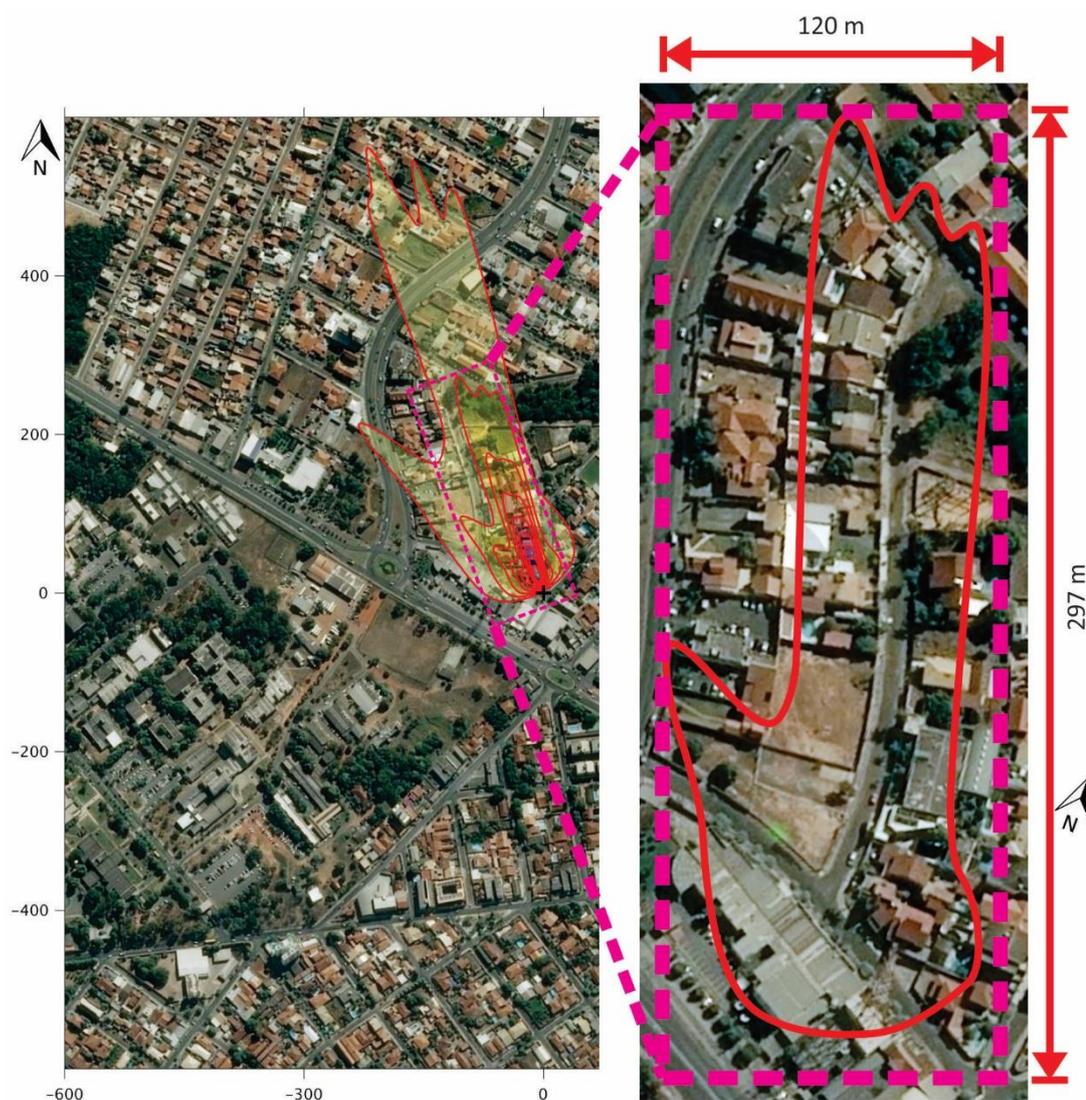
### 4.1. FOOTPRINT DINÂMICO

A partir da série temporal (01 a 30 de abril de 2017) de dados microclimáticos medidos pela estação meteorológica com sensores instalados e em duas alturas, sendo 16m e 31m (conforme descrito no Capítulo 3.3 – Instrumentação), foi selecionado o dia mais representativo do mês com relação a uniformidade da direção do vento para o cálculo do footprint, ou seja, o dia com menor variação da direção do vento, sendo o dia 27 de abril de 2017. As variáveis necessárias para a definição do footprint, conforme método proposto por Kljun (2015), estão apresentados na Tabela 4, sendo:

- a. yyyy = ano;
- b. mm = mês [1-12];
- c. day = dia do mês [1-31];
- d. HH = Horário [0-23] ou [1-24] – converter para format UTC;
- e. MM = minutos, por exemplo [0 30];
- f. zm = altura do sensor [m];
- g. d = Displacement height [m];

- h.  $z_0$  = coeficiente de rugosidade [m];
- i.  $u_{\text{mean}}$  = velocidade do ar na altura do sensor [m/s];
- j.  $L$  = Comprimento de Obukhov [m];
- k.  $\sigma_v$  = Desvio padrão da flutuação da velocidade do ar [m/s];
- l.  $u_{\text{star}}$  = Velocidade de fricção [m/s];
- m.  $\text{wind\_dir}$  = Direção do vento (360) para rotação do footprint.

A Figura 18 apresenta o resultado o contorno do footprint calculado para o dia 27 de abril de 2017. Também é possível notar a área de recorte utilizada para modelagem no software ENVI-met, sendo um formato retangular de medida 120m x 297m.



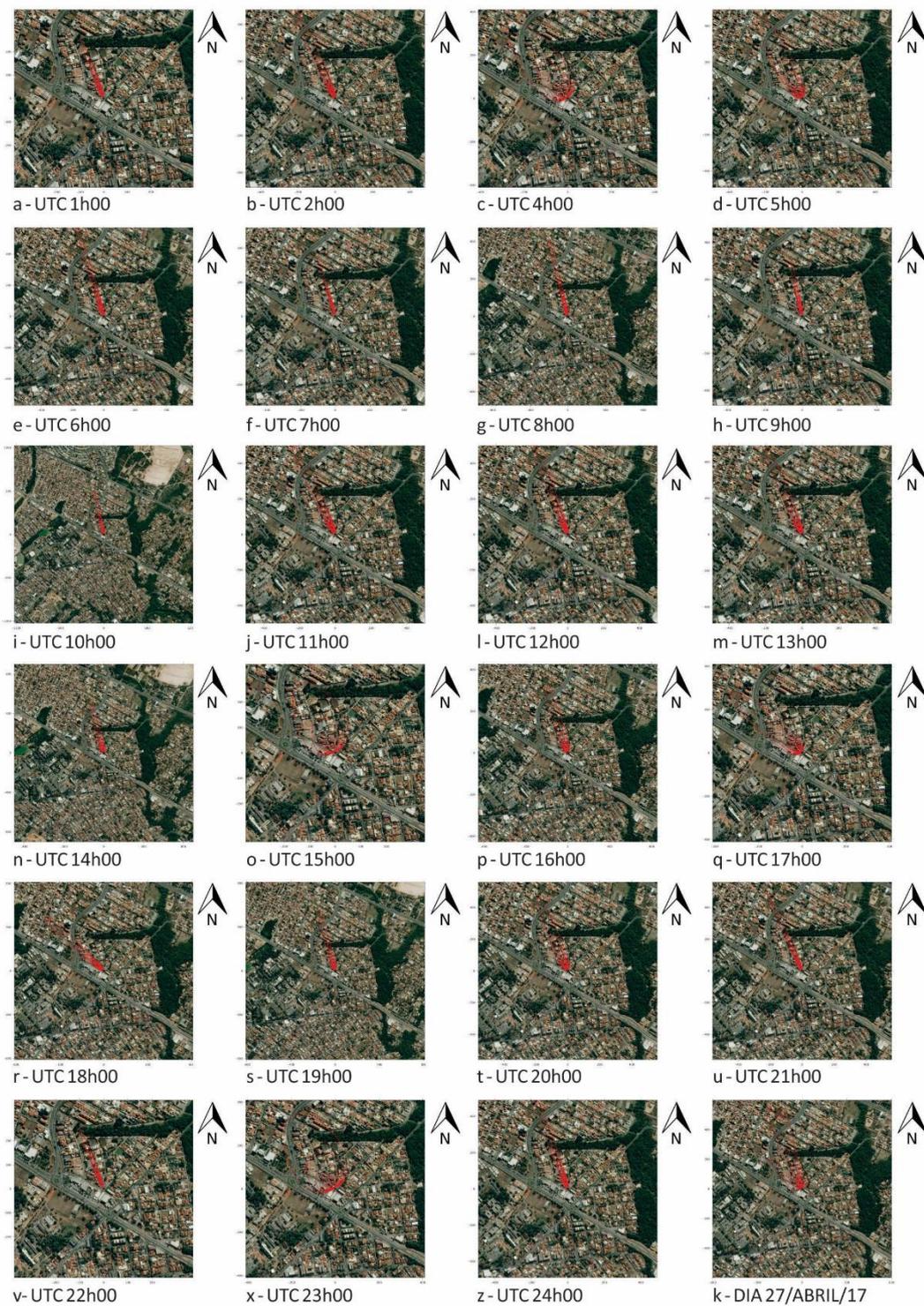
**Figura 18:** Área do Footprint para o dia 27/abril/2017  
**Fonte:** Kljun (2015) adaptado

**Tabela 4:** Dados para cálculo do Footprint conforme Kljun (2015)

yyyy	mm	day	HH_UTC	MM	zm	d	z0	u_mean	L	sigma_v	u_star	wind_dir
2017	4	27	1	0	15,62	4,11	0,4	2,17	-39.710	0,26	1.036	338,83
2017	4	27	2	0	15,62	4,11	0,4	2,19	-24.870	0,27	0,715	336,08
2017	4	27	4	0	15,62	4,11	0,4	2,34	-9.514	0,5	0,284	322,92
2017	4	27	5	0	15,62	4,11	0,4	2,53	-21.085	0,61	0,58	332,25
2017	4	27	6	0	15,62	4,11	0,4	2,48	-45.888	0,42	1.394	343,33
2017	4	27	7	0	15,62	4,11	0,4	3,56	-72.511	0,45	2.072	343,25
2017	4	27	8	0	15,62	4,11	0,4	3,86	-103.109	0,53	2.269	346,25
2017	4	27	9	0	15,62	4,11	0,4	3,44	-74.424	0,55	1.973	348,25
2017	4	27	10	0	15,62	4,11	0,4	3,7	-79.915	0,53	2.072	347,83
2017	4	27	11	0	15,62	4,11	0,4	2,95	-46.164	0,56	1.357	334,83
2017	4	27	12	0	15,62	4,11	0,4	2,92	-38.890	0,52	1.455	339,58
2017	4	27	13	0	15,62	4,11	0,4	2,8	-24.458	0,46	1.024	337,58
2017	4	27	14	0	15,62	4,11	0,4	2,77	-21.317	0,51	1.085	345
2017	4	27	15	0	15,62	4,11	0,4	2,26	-3.402	0,33	0,185	333,83
2017	4	27	16	0	15,62	4,11	0,4	2,51	-18.987	0,62	0,974	342
2017	4	27	17	0	15,62	4,11	0,4	2,16	-9.090	0,5	0,518	310,25
2017	4	27	18	0	15,62	4,11	0,4	2,71	-27.512	0,55	1.283	312,75
2017	4	27	19	0	15,62	4,11	0,4	2,74	-27.891	0,48	1.110	344,42
2017	4	27	20	0	15,62	4,11	0,4	2,48	-18.283	0,47	0,728	338,42
2017	4	27	21	0	15,62	4,11	0,4	2,5	-25.611	0,25	1.011	335,92
2017	4	27	22	0	15,62	4,11	0,4	2,68	-36.672	0,28	1.209	338,17
2017	4	27	23	0	15,62	4,11	0,4	2,24	-6.487	0,56	0,222	329,67
2017	4	27	24	0	15,62	4,11	0,4	2,08	-29.421	0,29	0,863	340,58

**Fonte:** o autor

A partir da interpretação dos dados da Tabela 4 e dos Footprints por hora apresentados na Figura 19, nota-se influência da direção do vento. Além disso, fica evidenciado que a principal variável a influenciar no formato do footprint é a velocidade de fricção ( $u_{star}$  em m/s), sendo que valores entre 0 e 0,3m/s apresentam elipses mais abertas (Figura 20, Figura 21 e Figura 22), a passo que quanto maior essa velocidade, mais espichadas são as formas das elipses, por exemplo UTC 08h00 (Figura 23).



**Figura 19:** Footprint horário (UTC) do dia 27/abril/2017

**Fonte:** Kljun (2015) adaptado



**Figura 20:** Footprint para UTC 15h00 do dia 27/abril/2017  
**Fonte:** Kljun (2015) adaptado



**Figura 21:** Footprint para UTC 23h00 do dia 27/abril/2017  
**Fonte:** Kljun (2015) adaptado



**Figura 22:** Footprint para UTC 04h00 do dia 27/abril/2017  
**Fonte:** Kljun (2015) adaptado



**Figura 23:** Footprint para UTC 08h00 do dia 27/abril/2017  
**Fonte:** Kljun (2015) adaptado

## 4.2. ANÁLISE DE KRUSKAL-WALLIS

Utilizou-se a estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis (LEE; WANG, 2003) para avaliar a significância das diferenças nos valores de temperatura e umidade absoluta do ar (Tabela 5 e Tabela 6) entre os cenários 01, 02, 03 e 04.

Ao analisar a temperatura do ar (Tabela 5) nota-se que apenas há diferença significativa quando se compara o cenário 02 com os demais para as alturas de 16m e 31m.

**Tabela 5:** Estatística de Kruskal-wallis comparando as médias de temperatura do ar (°C) entre os cenários (altura h = 16m em cor azul / h = 31m em cor verde)

	<b>Cenário 01</b> com topografia e com simple forcing	<b>Cenário 02</b> com topografia e sem simple forcing	<b>Cenário 03</b> sem topografia e com simple forcing	<b>Cenário 04</b> sem topografia e sem simple forcing
<b>Cenário 01</b> com topografia e com simple forcing	-	H: 24,9 p: 6,039E-07 <b>Há diferença significativa</b>	H: 0,06643 p: 0,7966 Não há diferença significativa	H: 1,909 p: 0,1671 Não há diferença significativa
<b>Cenário 02</b> com topografia e sem simple forcing	H: 29,75 p: 4,915E-08 <b>Há diferença significativa</b>	-	H: 23,98 p: 9,716E-07 <b>Há diferença significativa</b>	H: 10,95 p: 0,0009345 <b>Há diferença significativa</b>
<b>Cenário 03</b> sem topografia e com simple forcing	H: 0,07185 p: 0,7887 Não há diferença significativa	H: 28,41 p: 9,796E-08 <b>Há diferença significativa</b>	-	H: 2,328 p: 0,127 Não há diferença significativa
<b>Cenário 04</b> sem topografia e sem simple forcing	H: 2,755 p: 0,09691 Não há diferença significativa	H: 12,72 p: 0,0003605 <b>Há diferença significativa</b>	H: 3,56 p: 0,05917 Não há diferença significativa	-

Fonte: o autor

Comparando a umidade relativa do ar (Tabela 6) observa-se que não há diferença significativa entre as médias apenas ao comparar os cenários 01 e 03.

**Tabela 6:** Estatística de Kruskal-wallis comparando as médias de umidade relativa (%) entre os cenários (altura h = 16m em cor azul / h = 31m em cor verde)

	<b>Cenário 01</b> com topografia e com simple forcing	<b>Cenário 02</b> com topografia e sem simple forcing	<b>Cenário 03</b> sem topografia e com simple forcing	<b>Cenário 04</b> sem topografia e sem simple forcing
<b>Cenário 01</b> com topografia e com simple forcing	-	H: 7,749 p: 0,005373 <b>Há diferença significativa</b>	H: 0,03837 p: 0,8447 Não há diferença significativa	H: 10,08 p: 0,001496 <b>Há diferença significativa</b>
<b>Cenário 02</b> com topografia e sem simple forcing	H: 13,32 p: 0,0002625 <b>Há diferença significativa</b>	-	H: 4,959 p: 0,02594 <b>Há diferença significativa</b>	H: 21,52 p: 3,49E-06 <b>Há diferença significativa</b>
<b>Cenário 03</b> sem topografia e com simple forcing	H: 0,003827 p: 0,9507 Não há diferença significativa	H: 12,72 p: 0,0003607 <b>Há diferença significativa</b>	-	H: 11,3 p: 0,0007766 <b>Há diferença significativa</b>
<b>Cenário 04</b> sem topografia e sem simple forcing	H: 8,215 p: 0,004155 <b>Há diferença significativa</b>	H: 26,15 p: 3,157E-07 <b>Há diferença significativa</b>	H: 8,453 p: 0,003645 <b>Há diferença significativa</b>	-

Fonte: o autor

A partir dessa análise estatística foi realizada uma análise gráfica do comportamento das variáveis de temperatura e umidade do ar para os cenários propostos.

### 4.3. ANÁLISE DOS CENÁRIOS

O output do Cenários 01, 02, 03 e 04 para cada receptor foi configurado de forma a permitir sua comparação com os dados fornecidos pela estação fixa. Os dados horários, para as alturas de 16 metros e 31 metros, das variáveis de temperatura e umidade relativa do ar dos sete receptores, configuraram um valor médio para cada um dos quatro cenários. As variáveis obtidas pela estação fixa e as médias obtidas através dos receptores foram plotadas em gráficos de linha e de dispersão e analisados os indicadores de desempenho do modelo.

#### 4.3.1. Temperatura do ar

Ao comparar o indicador de desempenho ( $R^2$ ) (Tabela 7) observa-se que o  $R^2$  se apresenta elevado para a micro e mesoescala. No entanto, nota-se que o software ENVI-met aproxima mais os resultados na microescala. Os cenários 02 e 04 são os

que apresentam o valor de  $R^2$  mais próximos de 1. É importante destacar que os mesmos não utilizaram a configuração simple forcing.

**Tabela 7:** Indicador de desempenho ( $R^2$ ) e coeficiente angular ( $\beta$ ) dos cenários (Temperatura do ar)

Variável/Cenário	Microescala (16m)		Mesoescala (31m)	
	$R^2$	$\beta$	$R^2$	$\beta$
Cenário 01 <b>com topografia e com simple forcing</b>	$R^2 = 0,8117$	0,42	$R^2 = 0,7761$	0,38
Cenário 02 <b>com topografia e sem simple forcing</b>	$R^2 = 0,9855$	0,31	$R^2 = 0,9738$	0,28
Cenário 03 <b>sem topografia e com simple forcing</b>	$R^2 = 0,8467$	0,48	$R^2 = 0,8151$	0,43
Cenário 04 <b>sem topografia e sem simple forcing</b>	$R^2 = 0,9592$	0,65	$R^2 = 0,9492$	0,61

Fonte: o autor

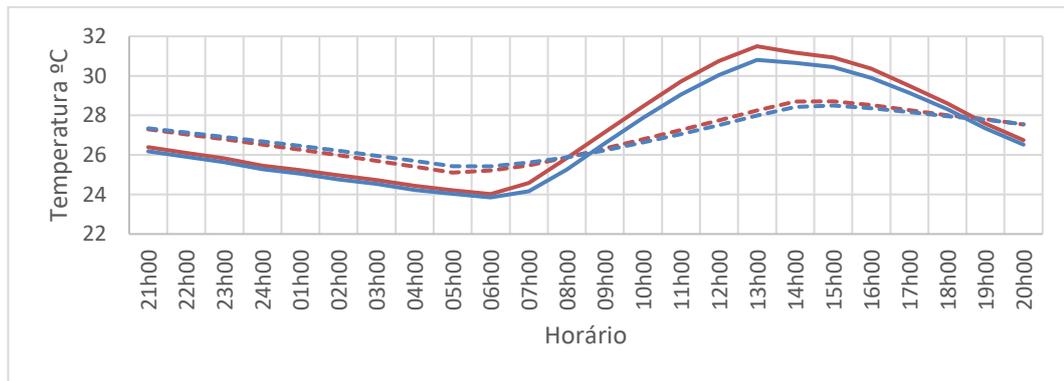
Porém, ao analisar o comportamento da curva de temperatura do ar ao longo do dia (Figura 24), observa que o cenário 02 (Figura 24b) apresenta maior diferença entre os valores simulados e medidos, principalmente na temperatura máxima, sendo  $5,35^\circ\text{C}$  a 16m (microescala) e  $4,85^\circ\text{C}$  (mesoescala) (Tabela 8). Sendo o cenário 04 (sem topografia e sem forcing) o que apresentou dados muito próximos aos medidos.

Ao se comparar os valores medidos e simulados da variável temperatura do ar para o cenário 04 (Figura 24d e Tabela 8), observa-se que foi o cenário que apresentou maior aproximação das curvas simuladas e medidas. As maiores diferenças entre dados medidos e simulados ocorreram às 14h, com  $2,28^\circ\text{C}$  a menos nos dados simulados e às 07h, com  $0,46^\circ\text{C}$  a mais nos dados simulados, para microescala (16m). Ao passo que na mesoescala (31m), a maior diferença ocorreu as 15h, com  $1,96^\circ\text{C}$  a menos no dado simulado e a temperatura mínima às 07h, com  $0,78^\circ\text{C}$  a mais no dado simulado.

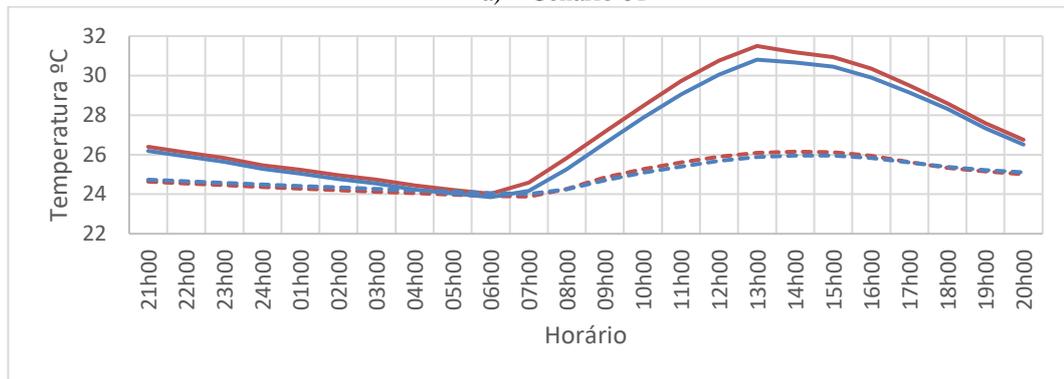
**Tabela 8:** Valores de temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ) - máximas e mínimas

	Temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ) 16 metros				Temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ) 31 metros			
	Mín.	$\neq$	Máx.	$\neq$	Mín.	$\neq$	Máx.	$\neq$
<b>Medido</b>	24,02	-	31,50	-	23,85	-	30,81	-
<b>Cenário 01</b>	25,11	<b>-1,09</b>	28,71	<b>2,79</b>	25,43	<b>-1,58</b>	28,50	<b>2,31</b>
<b>Cenário 02</b>	23,88	<b>0,14</b>	26,15	<b>5,35</b>	24,01	<b>-0,16</b>	25,95	<b>4,85</b>
<b>Cenário 03</b>	24,99	<b>-0,97</b>	29,14	<b>2,36</b>	25,36	<b>-1,51</b>	28,84	<b>1,96</b>
<b>Cenário 04</b>	24,48	<b>-0,46</b>	29,21	<b>2,28</b>	24,63	<b>-0,78</b>	28,85	<b>1,96</b>

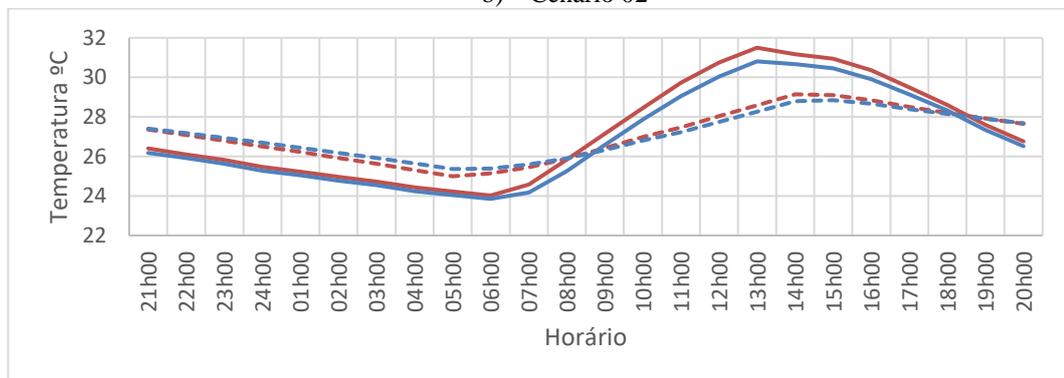
Fonte: o autor



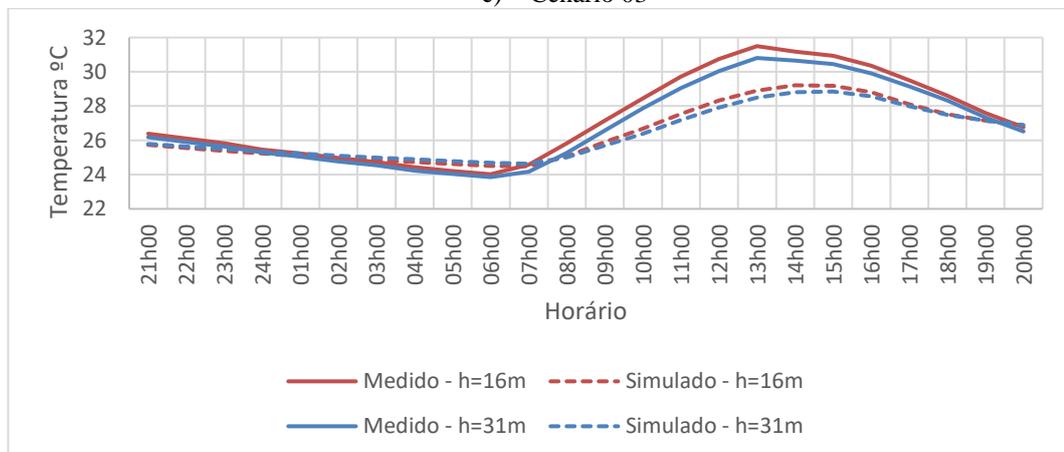
a) Cenário 01



b) Cenário 02



c) Cenário 03

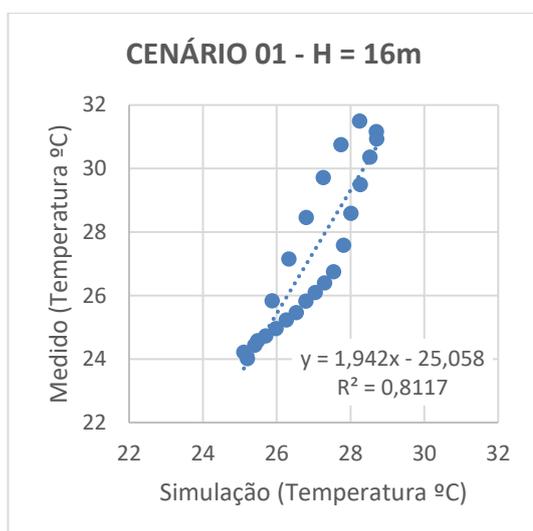


d) Cenário 04

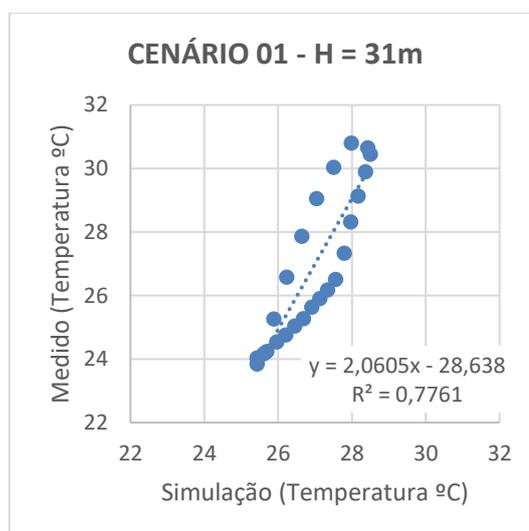
**Figura 24:** Gráfico de temperatura do ar (°C) - Medido x Simulado (altura h = 16m e 31m)**Fonte:** o autor

Ao comparar o comportamento da curva entre os cenários 01 e 03, observa que a ferramenta simple forcing ajusta os dados simulados e o comportamento da curva. No entanto, observa que a utilização da topografia sem o ajuste do simple forcing faz com que a simulação perca desempenho no Cenário 02, apresentando maior diferença entre as curvas e maior diferença de temperatura máxima, sendo 5,35°C e 4,85°C a menos na micro e mesoescala, respectivamente.

Os cenários 01 e 03 apresentam similaridade quando comparados os seus gráficos de dispersão (Figura 25, Figura 26, Figura 29 e Figura 30), essa semelhança evidencia que o simple forcing, configuração utilizada em ambos cenários, tende a aproximar os dados medidos e simulados, independente do uso ou não da topografia.

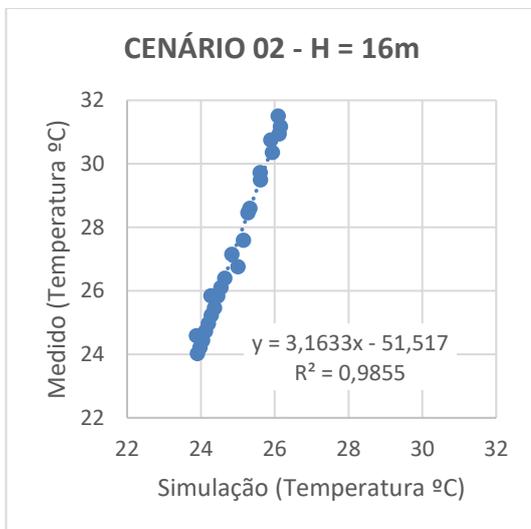


**Figura 25:** Gráfico de dispersão da temperatura do ar para Cenário 01 (simulado x medido) h=16m  
**Fonte:** o autor

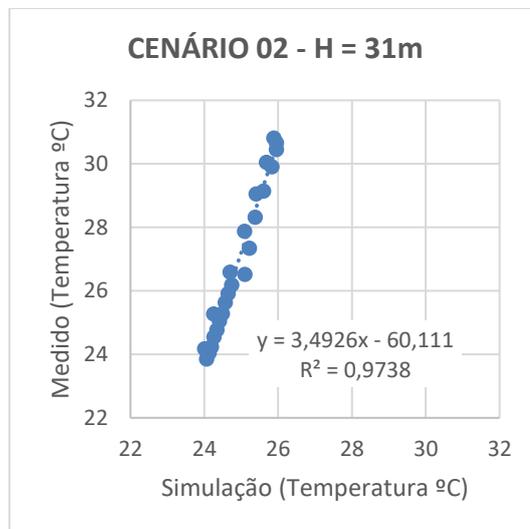


**Figura 26:** Gráfico de dispersão da temperatura do ar para Cenário 01 (simulado x medido) h=31m  
**Fonte:** o autor

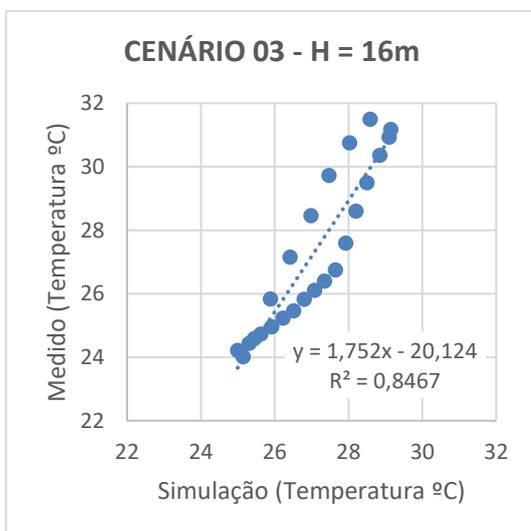
Ao analisar os gráficos de dispersão, observa-se que a inclinação da reta do cenário 02 (Figura 27, Figura 28 e Tabela 7), para ambas escalas climáticas, é que possui o valor de coeficiente angular ( $\beta$ ) mais próximo de 0, apesar dos valores de  $R^2$  serem mais próximo de 1 e possuir uma dispersão dos pontos satisfatória ao longo da reta. Essa inclinação “aguda” dos gráficos de dispersão linear do cenário 02, evidencia o resultado da análise de Kruskal-Wallis no qual o mesmo apresentou diferença significativa quando comparado aos demais cenários.



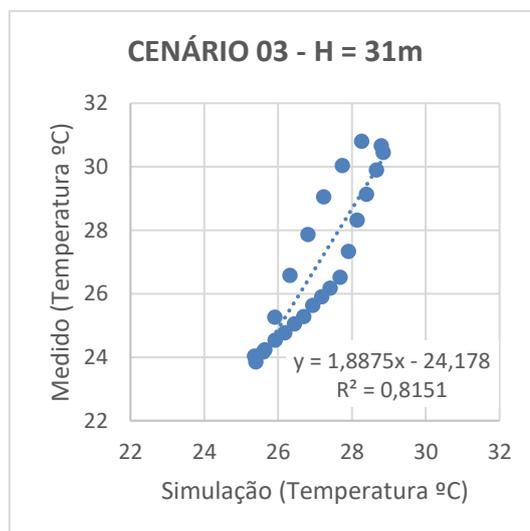
**Figura 27:** Gráfico de dispersão da temperatura do ar (°C) para Cenário 02 (simulado x medido) h=16m  
**Fonte:** o autor



**Figura 28:** Gráfico de dispersão da temperatura do ar (°C) para Cenário 02 (simulado x medido) h=31m  
**Fonte:** o autor



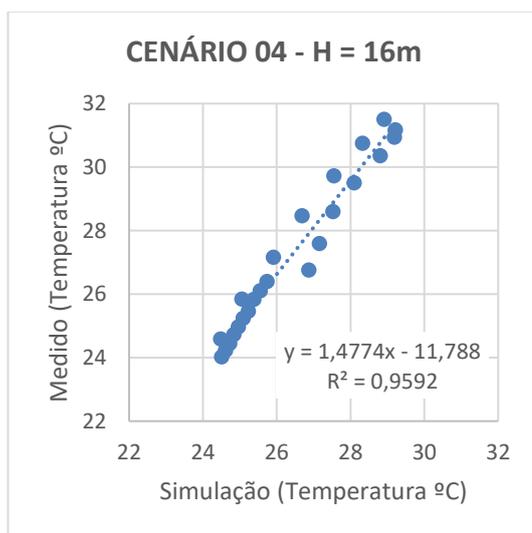
**Figura 29:** Gráfico de dispersão da temperatura do ar (°C) para Cenário 03 (simulado x medido) h=16m  
**Fonte:** o autor



**Figura 30:** Gráfico de dispersão da temperatura do ar (°C) para Cenário 03 (simulado x medido) h=31m  
**Fonte:** o autor

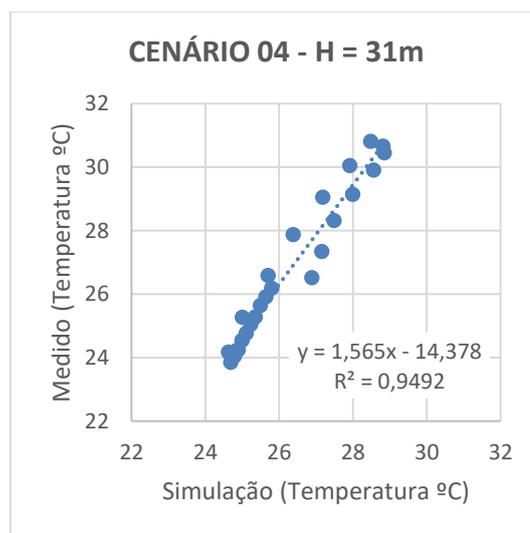
A Figura 31 e Figura 32 ilustram os gráficos de regressão linear entre a temperatura do ar estimada pelo cenário 04 e medida, na micro e mesoescala, respectivamente. A reta de regressão, presente nas figuras, evidencia a existência de correlação positiva entre as variáveis medidas e estimadas, sendo as que mais se

aproximam de ângulo de 45° (representado pelo coeficiente angular  $\beta$  na Tabela 7), indicando que elevações na temperatura medida são acompanhadas por elevações na temperatura estimada. A dispersão dos pontos em torno da reta de regressão reforça os indicadores de desempenho ilustrados na Figura 24d e Tabela 8.



**Figura 31:** Gráfico de dispersão da temperatura do ar (°C) para Cenário 04 (simulado x medido) h=16m

**Fonte:** o autor



**Figura 32:** Gráfico de dispersão da temperatura do ar (°C) para Cenário 04 (simulado x medido) h=31m

**Fonte:** o autor

Assim, pode-se concluir que mesmo utilizando o simple forcing, os cenários 01 e 03 apresentaram diferenças na temperatura do ar de até 2,79°C, mas ainda assim as curvas de temperatura do ar e os gráficos de regressão linear, para ambos cenários, obtiveram bom desempenho, para este caso de estudo específico, no clima da cidade de Cuiabá. Também, conclui-se que o melhor cenário de simulação foi o 04 – sem topografia e sem simple forcing, desempenho demonstrado pelas menores diferenças de temperatura entre os dados simulados e medidos.

#### 4.3.2. Umidade relativa

Ao comparar o indicador de desempenho ( $R^2$ ) (Tabela 9), para umidade relativa, observa-se que o  $R^2$  são menores (entre 0,6 e 0,8) que os valores encontrados na análise da variável temperatura ar (entre 0,77 e 0,98). No entanto, nota-se que o software ENVI-met aproxima mais os resultados na microescala que na mesoescala.

O cenário 02 é o que apresenta os maiores valores de  $R^2$  para micro e mesoescala (sendo 0,80 e 0,758, respectivamente), e o cenário 01 que apresenta os menores valores de  $R^2$  para micro e mesoescala (sendo 0,754 e 0,661, respectivamente).

**Tabela 9:** Indicador de desempenho ( $R^2$ ) e coeficiente angular ( $\beta$ ) dos cenários (Umidade relativa %)

Variável/Cenário	Microescala (16m)		Mesoescala (31m)	
	$R^2$	$\beta$	$R^2$	$\beta$
Cenário 01 <b>com topografia e com simple forcing</b>	$R^2 = 0,7544$	0,40	$R^2 = 0,6615$	0,31
Cenário 02 <b>com topografia e sem simple forcing</b>	$R^2 = 0,8041$	0,36	$R^2 = 0,7582$	0,34
Cenário 03 <b>sem topografia e com simple forcing</b>	$R^2 = 0,7894$	0,45	$R^2 = 0,7047$	0,35
Cenário 04 <b>sem topografia e sem simple forcing</b>	$R^2 = 0,7796$	0,70	$R^2 = 0,7505$	0,67

Fonte: o autor

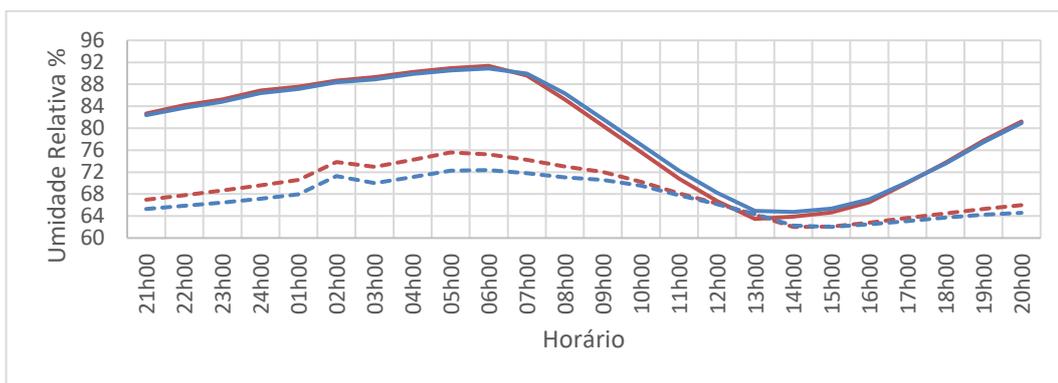
Ao analisar o comportamento da curva da umidade relativa ao longo do dia (Figura 33), observa-se que as curvas encontradas pelas simulações nos cenários 01, 03 e 04 se aproximaram dos valores medidos, com exceção do cenário 02. O cenário que apresenta melhor desempenho e aproximação da curva são os cenários 01 e 03, o que mais uma vez evidencia o ajuste da configuração simple forcing, visto que esse parâmetro foi adotado em ambos.

Ao se comparar os valores medidos e simulados da variável umidade relativa para o cenário 04 (Figura 33d e Tabela 8), observa-se que apesar da curva ser semelhante, foi o cenário que apresentou maiores diferenças entre os valores máximos e mínimos, sendo que os valores máximos de umidade ocorreram as 21h00 na simulação e apresentou uma diferença de 20,96% a menos na microescala e 21,05% a menos na mesoescala. Os valores mínimos de umidade ocorreram as 15h00, sendo uma diferença de 13,28% e 13,86% a menos na micro e mesoescala, respectivamente.

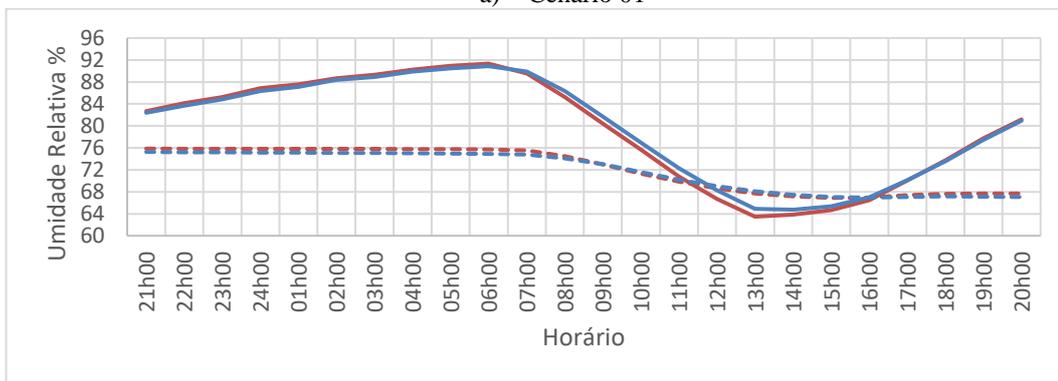
**Tabela 10:** Valores de umidade relativa ( $^{\circ}\text{C}$ ) - máximas e mínimas

	Umidade relativa (%) 16 metros				Umidade relativa (%) 31 metros			
	Mín.	$\neq$	Máx.	$\neq$	Mín.	$\neq$	Máx.	$\neq$
<b>Medido</b>	63,47	-	91,34	-	64,75	-	90,88	-
<b>Cenário 01</b>	62,02	<b>1,45</b>	75,59	<b>15,76</b>	62,03	<b>2,72</b>	72,37	<b>18,51</b>
<b>Cenário 02</b>	66,89	<b>-3,41</b>	75,88	<b>15,47</b>	66,96	<b>-2,21</b>	75,26	<b>15,62</b>
<b>Cenário 03</b>	61,40	<b>2,08</b>	76,95	<b>14,39</b>	61,45	<b>3,30</b>	73,04	<b>17,84</b>
<b>Cenário 04</b>	50,19	<b>13,28</b>	70,38	<b>20,96</b>	50,89	<b>13,86</b>	69,83	<b>21,05</b>

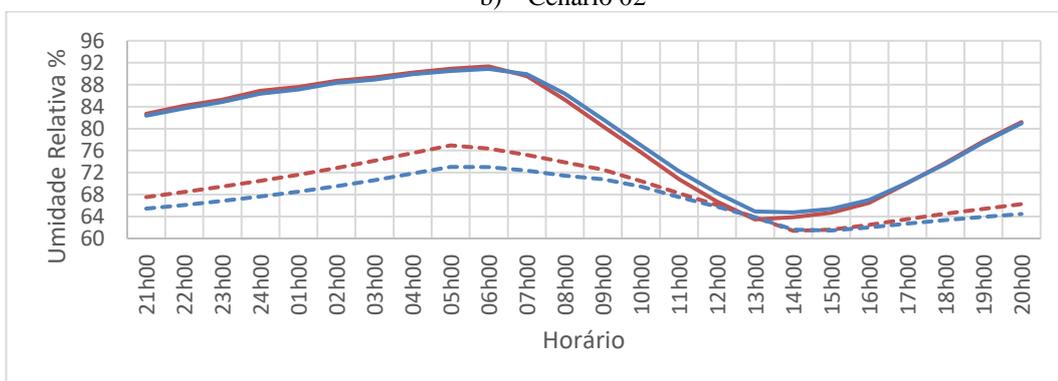
Fonte: o autor



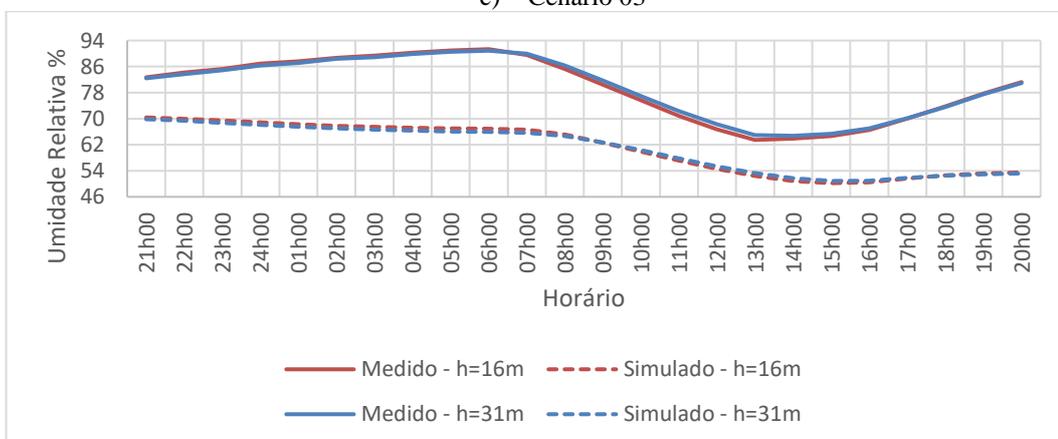
a) Cenário 01



b) Cenário 02



c) Cenário 03

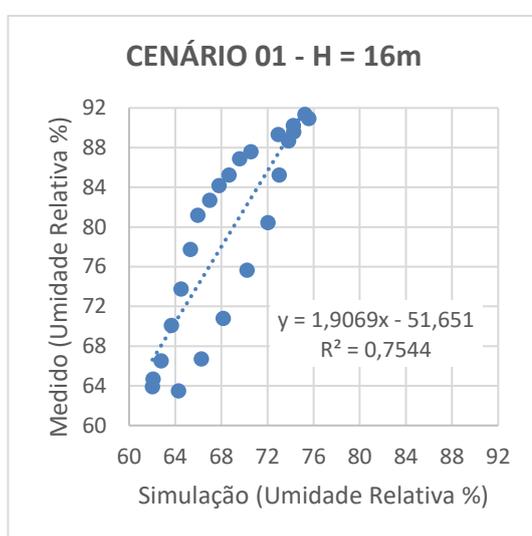


d) Cenário 04

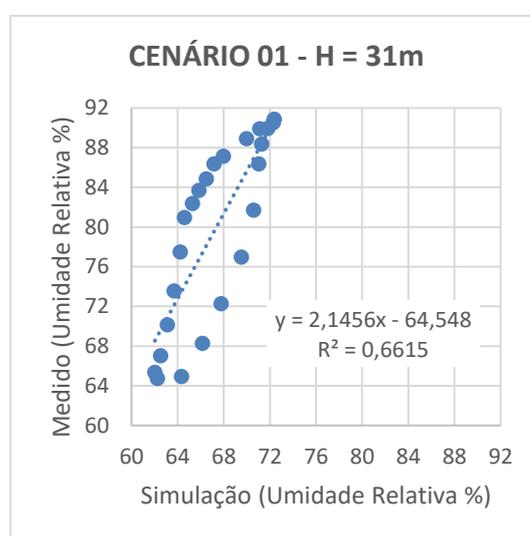
**Figura 33:** Gráfico de Umidade relativa (%) - Medido x Simulado (altura h = 16m e 31m)

**Fonte:** o autor

Assim como ocorrido na análise da temperatura do ar, os cenários 01 e 03 novamente apresentaram similaridade quando comparados os seus gráficos de dispersão (Figura 34, Figura 35, Figura 38 e Figura 39), essa semelhança evidencia que o simple forcing, configuração utilizada em ambos cenários, aproxima os dados medidos e simulados, independente do uso ou não da topografia. O possível observar o uma semelhança na inclinação da reta, no valor do  $R^2$  e a na distribuição dos pontos ao longo da mesma. Essa semelhança também foi encontrada no resultado da análise de Kruskal-Wallis, sendo que os cenários 01 e 03 foi o único par que não apresentou diferença significativa

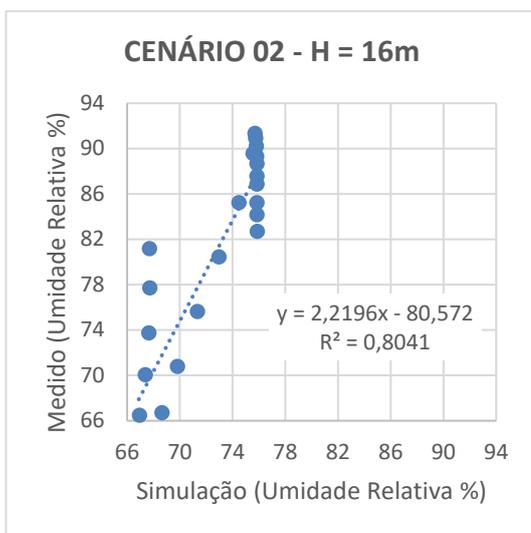


**Figura 34:** Gráfico de dispersão da umidade relativa (%) para Cenário 01 (simulado x medido) h=16m  
**Fonte:** o autor

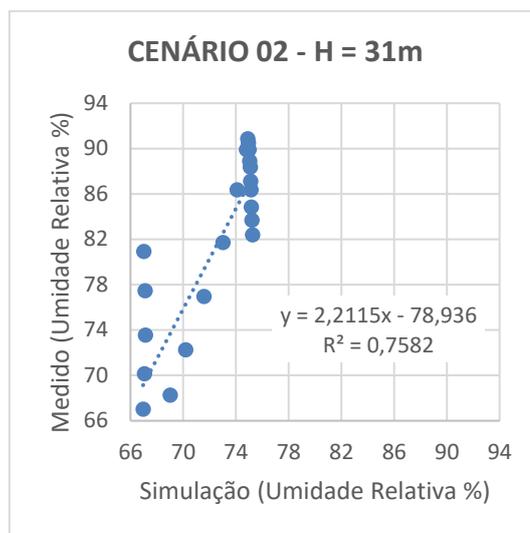


**Figura 35:** Gráfico de dispersão da umidade relativa (%) para Cenário 01 (simulado x medido) h=31m  
**Fonte:** o autor

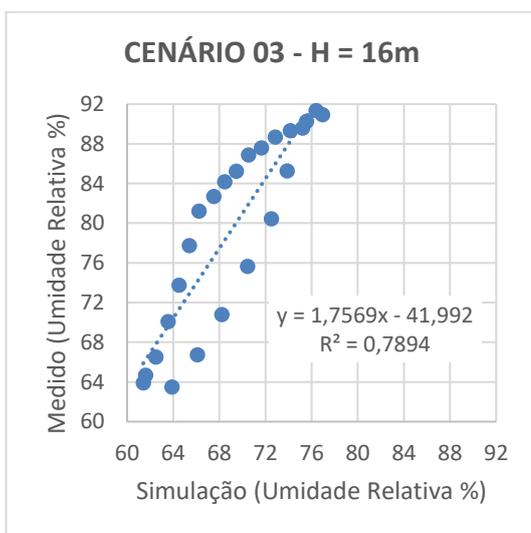
Ao analisar os gráficos de dispersão da Figura 36 e Figura 37, referentes a micro e mesoescala do cenário 02, respectivamente, observa-se que a inclinação da reta do é a mais inclinada comparada aos demais cenários, apesar dos valores de  $R^2$  serem mais próximo de 1, a dispersão heterogênea do pontos ao longo da reta de regressão evidencia uma não similaridade entre os valores medidos e simulados.



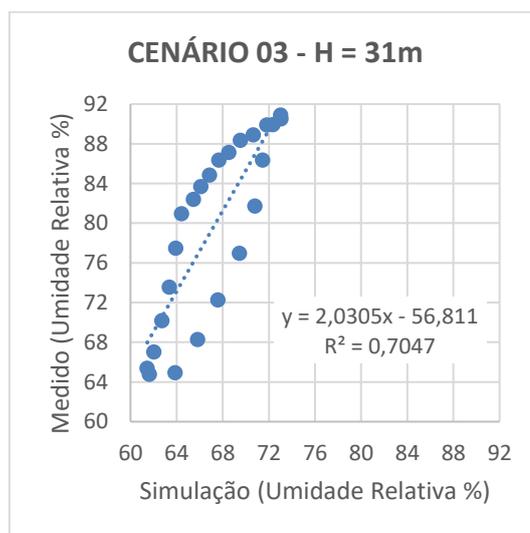
**Figura 36:** Gráfico de dispersão da umidade relativa (%) para Cenário 02 (simulado x medido) h=16m  
**Fonte:** o autor



**Figura 37:** Gráfico de dispersão da umidade relativa (%) para Cenário 02 (simulado x medido) h=31m  
**Fonte:** o autor



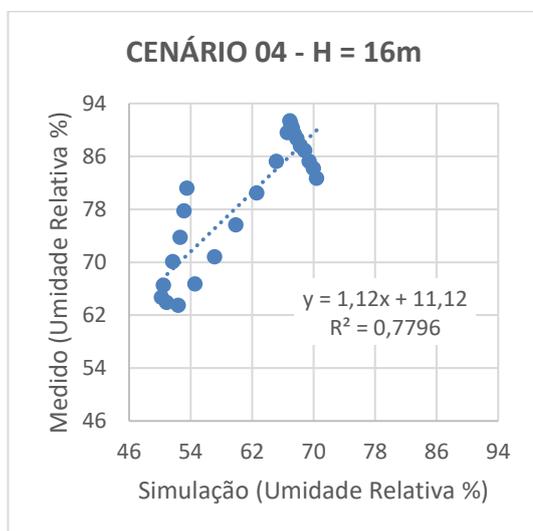
**Figura 38:** Gráfico de dispersão da umidade relativa (%) para Cenário 03 (simulado x medido) h=16m  
**Fonte:** o autor



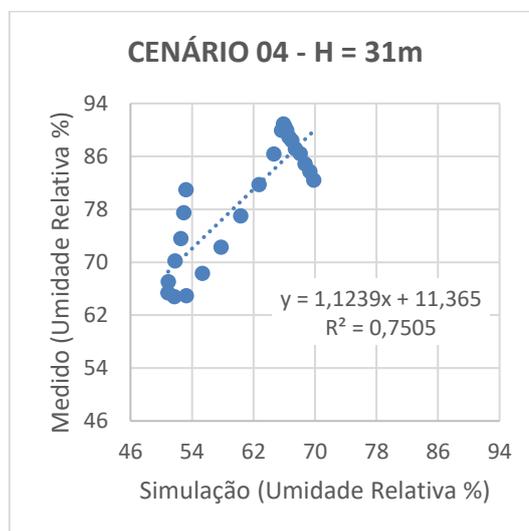
**Figura 39:** Gráfico de dispersão da umidade relativa (%) para Cenário 03 (simulado x medido) h=31m  
**Fonte:** o autor

A Figura 40 e Figura 41 ilustram os gráficos de regressão linear entre a umidade relativa medida e simulada pelo ENVI-met para o cenário 04, na micro e mesoescala, respectivamente. A reta de regressão, presente nas figuras, evidencia a existência de correlação positiva entre as variáveis medidas e estimadas, sendo as que mais se

aproximam de ângulo de 45°, indicando que elevações na umidade relativa são acompanhadas por elevações na umidade simulado estimada (Tabela 9).



**Figura 40:** Gráfico de dispersão da umidade relativa (%) para Cenário 04 (simulado x medido) h=16m  
**Fonte:** o autor



**Figura 41:** Gráfico de dispersão da umidade relativa (%) para Cenário 04 (simulado x medido) h=31m  
**Fonte:** o autor

No geral, conclui-se o ENVI-met consegue reproduzir com elevada precisão a variável de temperatura do ar, sendo o cenário sem topografia e sem o simple forcing com o melhor desempenho (cenário 04).

Diferentemente disto, principalmente pelo fato de a umidade do ar, no arquivo de entrada do modelo, ser uma média, enquanto os dados observados representam a situação no instante do tempo de medição. O ENVI-Met não possui capacidade de moderar valores extremos da variável umidade relativa do ar.

#### 4.3.3. Definição das equações de calibração

Considerando os resultados obtidos nos quatro cenários, identificou-se que o cenário 04 (sem topografia e sem simple forcing) foi capaz de apresentar as melhores equações de calibração para o período estudado.

Desta forma as equações Equação 4 e Equação 5 representam as correções a para os dados de temperatura do ar para micro e mesoescala, respectivamente, e a Equação 6 e Equação 7 representam as correções para as variáveis de umidade relativa do ar para micro e mesoescala, respectivamente. Para calibrar os dados de temperatura

e umidade relativa do ar na altura de 1,50m para o cálculo do índice UTCI, foram elaboradas a de calibração para essa altura.

a) Temperatura do ar – microescala (h=16m)

$$T = 1,4774t_e - 11,788 \quad \text{Equação 4}$$

em que T representa a temperatura do ar corrigida e  $t_e$  a temperatura estimada pelo modelo.

b) Temperatura do ar – mesoescala (h=31m)

$$T = 1,565t_e - 14,378 \quad \text{Equação 5}$$

em que T representa a temperatura do ar corrigida e  $t_e$  a temperatura estimada pelo modelo.

c) Umidade relativa do ar - microescala (h=16m)

$$URs = 1,7569ur_e - 41,992 \quad \text{Equação 6}$$

em que UR representa a umidade relativa do ar corrigida e  $UR_e$  a umidade relativa estimada pelo ENVI-met.

d) Umidade relativa do ar – mesoescala (h=31m)

$$URs = 2,0305ur_e - 56,811 \quad \text{Equação 7}$$

em que UR representa a umidade relativa do ar corrigida e  $UR_e$  a umidade relativa estimada pelo ENVI-met.

e) Temperatura do ar – nível calçada (h=1,50m)

$$T = 1,0668t_e - 0,9317 \quad \text{Equação 8}$$

em que T representa a temperatura do ar corrigida e  $t_e$  a temperatura estimada pelo modelo.

f) Umidade relativa do ar – nível calçada (h=1,50m)

$$UR_s = 0,8637ur_e - 26,755 \quad \text{Equação 9}$$

em que UR representa a umidade relativa do ar corrigida e  $UR_e$  a umidade relativa estimada pelo ENVI-met.

#### 4.4. ANÁLISE DE CONFORTO - UTCI

O mapeamento apresentado na Tabela 11 apresenta o comportamento das temperaturas UTCI ao longo do dia simulado no cenário 04 para a escala definida por Borges (2018) e Blazejczyk et al (2010).

A análise geral do mapeamento, segundo a escala calibrada por Borges (2018), permite inferir que as sensações térmicas são: “conforto”, “pouco calor” e “calor”. A condição de “conforto” ocorre entre 18h00 as 07h00 (equivalente a 58,3% das horas avaliadas) sendo o período em que não há presença de radiação solar. O período diurno (compreendido entre 08h00 as 17h00) é caracterizado em sua totalidade por desconforto pelo calor. Ao passo que ao avaliar com a escala proposta por Blazejczyk et al (2010), observa uma redução das horas de conforto (reduzindo para 37,5% do total de horas avaliadas) e a sensação térmica “Muito forte estresse para o calor” (representado na cor vermelha) das 11h00 às 15h00 (equivalente a 20,83%).

Callejas, Durante e Nogueira (2013) apresentam resultado semelhante no mapeamento da sensação térmica em espaços abertos em região de clima tropical continental a partir da escala de estresse térmico definidas por Blazejczyk et al (2010) (Tabela 12).

Apesar de os valores máximos para o mês de referência (abril) encontrados por Callejas, Durante e Nogueira (2013) serem inferiores aos observados neste trabalho a escala proposta por Borges (2018) possibilitou a identificação de sensação de conforto, não observada no mapeamento apresentado por Callejas (2013) e, também, na avaliação considerando a escala proposta por Blazejczyk et al (2010) na Tabela 11. A sensação de “muito forte estresse para o calor” não foi identificada na área de estudo quando se considera a escala proposta por Borges (2018).

**Tabela 11** - Faixas de Estresse térmico Calibrado para região de Cuiabá (Tropical) (BORGES, 2018)<sup>1</sup> e para clima temperado (BLAZEJCZYK et al, 2010)<sup>2</sup>

HORA	UTCI (°C) <sup>1</sup>	UTCI (°C) <sup>2</sup>
00:00	24,9	24,9
01:00	24,6	24,6
02:00	24,2	24,2
03:00	24,0	24,0
04:00	23,7	23,7
05:00	23,6	23,6
06:00	23,4	23,4
07:00	26,7	26,7
08:00	32,7	32,7
09:00	35,6	35,6
10:00	37,3	37,3
11:00	38,7	38,7
12:00	39,9	39,9
13:00	40,6	40,6
14:00	40,6	40,6
15:00	39,5	39,5
16:00	36,6	36,6
17:00	29,6	29,6
18:00	28,3	28,3
19:00	27,4	27,4
20:00	26,9	26,9
21:00	26,3	26,3
22:00	25,8	25,8
23:00	25,3	25,3

**<sup>1</sup>Legenda (BORGES, 2018):**

- Frio**  
≤ 14,56°C
- Pouco frio**  
14,56 a 21,65°C
- Conforto**  
21,65 a 28,74°C
- Pouco calor**  
28,74 a 35,83°C
- Calor**  
35,83 a 42,93°C
- Muito estresse por calor**  
≥ 42,93°C

**<sup>2</sup>Legenda (BLAZEJCZYK et al, 2010):**

- Pouco estresse para o frio**  
0 a 9°C
- Sem estresse térmico**  
9 a 18°C
- Conforto térmico**  
18 a 26°C
- Moderado estresse para o calor / 26 a 32°C**
- Forte estresse para o calor / 32 a 38°C**
- Muito forte estresse para o calor / 38 a 46°C**

Fonte: o autor

Tabela 12 - Mapeamento da média mensal da sensação térmica utilizando o Índice UTCI

Hora/meses	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
00:00	29,2	27,7	27,6	29,0	28,1	28,0	27,7	28,3	24,7	23,9	23,8	25,0
01:00	28,2	27,4	27,1	28,8	27,9	27,6	27,6	28,0	24,4	23,5	23,3	24,3
02:00	27,8	27,0	26,8	28,7	27,9	27,3	27,3	27,7	24,0	23,0	22,9	23,6
03:00	27,5	26,7	26,6	28,6	27,7	27,1	27,1	27,5	23,6	22,6	22,4	22,9
04:00	26,8	26,3	26,5	28,4	27,5	26,9	27,0	27,3	23,2	22,2	21,8	22,4
05:00	26,5	26,1	26,3	28,2	27,3	26,7	27,0	27,1	22,9	21,7	21,4	21,9
06:00	26,4	26,1	26,6	28,3	27,7	26,7	26,9	26,9	22,5	21,3	21,3	21,6
07:00	27,5	27,7	29,0	30,2	29,6	27,4	27,5	27,3	22,6	21,2	21,2	21,7
08:00	30,5	30,3	31,4	33,2	31,7	29,6	29,5	30,7	25,3	23,5	23,3	25,1
09:00	33,1	31,9	32,6	35,3	33,5	32,2	31,6	33,9	28,8	28,1	27,8	29,3
10:00	35,4	33,9	33,1	36,2	34,5	33,4	33,2	35,8	30,8	30,6	30,2	31,7
11:00	37,7	35,1	33,3	37,3	35,5	33,7	35,1	37,4	32,7	32,3	32,1	33,5
12:00	39,2	36,1	34,5	38,5	37,0	35,4	35,9	37,9	33,9	33,8	33,9	35,1
13:00	40,4	37,0	35,6	38,2	36,2	35,7	35,3	38,6	34,7	34,9	34,8	36,0
14:00	41,1	37,6	35,9	38,0	36,2	35,9	35,5	38,4	35,1	35,3	35,6	36,9
15:00	40,9	36,8	35,7	36,8	34,0	35,3	35,6	37,5	35,1	35,4	35,8	36,9
16:00	39,8	35,4	34,9	35,6	32,9	34,3	33,8	36,2	34,3	34,5	35,2	36,7
17:00	37,7	34,8	33,7	34,3	32,1	33,5	32,1	34,7	31,8	31,6	33,0	34,7
18:00	34,7	32,4	31,3	32,1	30,7	32,0	30,1	31,5	29,0	28,7	29,3	30,7
19:00	32,9	31,0	29,8	30,8	29,4	30,1	29,1	30,3	27,8	27,4	27,7	28,9
20:00	32,0	30,1	29,0	30,3	29,2	29,4	28,6	29,5	27,0	26,3	26,6	27,8
21:00	31,2	29,4	28,6	30,0	29,1	28,9	28,4	29,1	26,3	25,4	25,7	26,8
22:00	30,4	28,9	28,2	29,6	28,6	28,5	28,2	28,9	25,7	24,7	24,9	26,2
23:00	29,8	28,3	27,9	29,3	28,3	28,3	28,0	28,6	25,3	24,3	24,2	25,5

## Legenda:

	<b>Pouco estresse para o frio</b> 0 a 9°C		<b>Moderado estresse para o calor</b> 26 a 32°C
	<b>Sem estresse térmico</b> 9 a 18°C		<b>Forte estresse para o calor</b> 32 a 38°C
	<b>Conforto térmico</b> 18 a 26°C		<b>Muito forte estresse para o calor</b> 38 a 46°C

Fonte: Callejas, Durante e Nogueira (2013)

## 5. CONCLUSÕES

A partir destes resultados é possível confirmar a validade da utilização da ferramenta computacional de previsão microlimática ENVI-Met para fins de análise de conforto ambiental em espaços abertos para cidades de clima Tropical Continental.

A utilização da metodologia de Footprint Dinâmico possibilitou maior detalhamento da área de estudo no software, definindo uma área de influência menor que a proposta pela metodologia de Footprint estático. Deve-se, no entanto, observar o parâmetro de Velocidade de fricção para determinação de qual metodologia mais adequada para a definição deste footprint (até 0,3m/s) uma vez que o software Envi-met possui limites de dimensão na configuração da área de estudo. Áreas maiores direcionam a uma redução no detalhamento da área no software.

De uma forma geral o software é capaz de simular de forma mais precisa a variável de temperatura do ar quando comparada a umidade relativa do ar. Além disso simula melhor a atmosfera em microescala (16m) que em mesoescala (31m).

Quanto a configuração do cenário utilizando-se as ferramentas de topografia nota-se que, para cenários com pequenas variações topográficas a incorporação da mesma distancia os valores simulados dos valores medidos pela estação meteorológica para as duas variáveis analisadas.

A ferramenta Simple Forcing possibilita a aproximação dos dados simulados e medidos, corrigindo até mesmo o distanciamento provocado pela incorporação da topografia, para as duas variáveis analisadas.

O cenário que melhor representou a situação real do local de estudo foi o cenário sem incorporação das ferramentas Topografia e Simple Forcing.

Quanto a análise da sensação de conforto Térmico observa-se que a escala proposta por Borges (2018) possibilitou a ausência da sensação de “muito estresse por

calor” quando comparada com o mesmo período utilizando-se da escala proposta por Blazejczyk et al (2010). Demonstrando a importância de considerar-se o parâmetro da aclimatação ao clima local nas análises de conforto em climas tropicais.

### **5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Considerando os resultados obtidos para uma zona urbana de baixa declividade, recomenda-se análise em terrenos mais acidentados para verificar se a topografia continua distanciando os dados simulados.

Tendo em conta a redução da área a ser estudada através do uso de Footprint dinâmico, recomenda-se a disseminação desta metodologia e desenvolvimento de novos trabalhos utilizando a mesma.

Recomenda-se ainda que sejam realizados estudos em outras estações do ano.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHOUR-YOUNSI, S.; KHARRAT, F. Outdoor Thermal Comfort: Impact of the Geometry of an Urban Street Canyon in a Mediterranean Subtropical Climate – Case Study Tunis, Tunisia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 216, p. 689–700, 2016.

ALI-TOUDERT, F; MAYER, H. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy* 81 (2006) Nr6. P 742 – 754. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acesso em: 24 Jul. 2017.

ALMEIDA JUNIOR, N. L. “Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica”. Cuiabá. Dissertação (Mestrado), 2005. Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 94 f.

ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Method for determining the footprint área o fair temperature and relative humidity. In: *Ascta Scientiarum*. Maringá, v. 35, n. 2, p. 187-194, 2013.

ANGELINI, L. P. Efeitos do uso do solo sobre o balanço de radiação e energia em Cuiabá/MT. Cuiabá, 2015, 60f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física. Universidade Federal de Mato Grosso.

ARNFIELD, A. J. Simulating radiative energy budgets within the urban canopy layer. *Modeling and Simulation*, v. 15, p. 227–233, 1984.

ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: *ENCAC – ELACAC*. Maceió: Alagoas, 2005.

ASSIS, E. S. de. Aplicações da Climatologia Urbana no Planejamento da Cidade: Revisão dos Estudos Brasileiros. In: *Revista de Arquitetura e Urbanismo* n° 9. Salvador. Jan/Jun. 2006. Pág. 20-25. Disponível em :<<https://portalseer.ufba.br/index.php/rua/article/view/3149>>. Acesso em 24 jul 2017.

AYOADE, J. O. Introdução a climatologia para os trópicos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 332p.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. São Paulo: Difel, 1986.

AYOADE, J.O. Introdução à climatologia para os trópicos. 12ª Edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

BALDOCCHI, D. Flux Footprints Within and Over Forest Canopies, Boundary-Layer. Meteorol., 85, 273–292, 1997.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. Clima e cidade – A abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. 1ª ed. Maceió: EDUFAL, 165f. 2007.

BARTHOLOMEI, C. L. B. Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000318350>>. Acesso em: 21 ago. 2017.

BŁAŚEJCZYK K., BROEDE P., FIALA D., HAVENITH G., HOLMÉR I., JENDRITZKY G., KAMPMANN B., KUNERT A., 2010, Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale. *Miscellanea Geographica*, v. 14, p. 91–102, 2010.

BORGES, V. C. de A. L. Validação do Índice Climático Térmico Universal (UTCI) para o Clima Tropical Continental. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

BRANDÃO, R. S. As interações espaciais urbanas e o clima: incorporação de análises térmicas e energéticas no planejamento urbano. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) - São Paulo: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, 27 mar. 2009.

BRITTER, R.; HANNA, S. R. Flow and dispersion in urban areas. *Annual Review of Fluid Mechanics*, v. 35, p. 469–496, 2003.

BRÖDE, P.; KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A.; FIALA, D. Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—a case study in Southern Brazil *International journal of biometeorology*, v. 56, n. 3, p. 471-480, 2012.

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

CALLEJAS, I. J. A. Avaliação temporal do balanço de energia em ambientes urbanos na cidade de Cuiabá-MT. Cuiabá, 2012. 265f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, M. C. de J. A. Mapeamento da sensação térmica em ambiente urbano a céu aberto em clima tropical continental. In: XII ENCAC – Encontro Nacional do Conforto no Ambiente Construído / VII

ELACAC – Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, 2013. Brasília. Anais. Brasília. 2013.

CAMARGO, C. G.; PADILHA, C. K.; PAZ, S. R.; ASSIS, S. V. Avaliação sistemática do grau de desconforto para a cidade de Pelotas/RS. In: Congresso Brasileiro De Meteorologia, 11., 2000. Rio de Janeiro. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-533788fd27a17aaa82601f544a8af608.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2017.

CANHAM, C. D. GLI/C: Software for calculation of light transmission through forest canopies using colour fisheye photography. Copyright © 1995: Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, NY. 1995.

CARNAHAM, W. H. & LARSON, R. C. An analysis of an urban heat sink. Remote Sensing of Environment, v. 33, p. 65-71, 1990.

CHING, J. K. S.; CLARKE, J. F.; GODOWITCH, J. M. Modulation of heat flux by different scales of advection in an urban environment. Boundary- Layer Meteorology, v. 25, p.171–191, 1983.

CIONCO, R. M.; ELLEFSEN, R. High resolution urban morphology data for urban wind flow modeling. Atmospheric Environment, v. 32, p. 7–17, 1998.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). Nosso futuro comum. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1988.

CONTI, J. B. Clima e Meio Ambiente. São Paulo: Atual, 1998, 3ª ed.

COSTA, A.; LABAKI, L.; ARAUJO, V. Medicoes de campo na área urbana: o desafio da padronização. Revista de Urbanismo e Arquitetura, v. 7, n. 1, p. 26-31, 2006.

COX, E. P. – Interação entre clima e superfície urbanizada: o caso da cidade de Várzea Grande/MT. Cuiabá, 2008. 141p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano: Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá. Cuiabá, MT. 147 p. 2007.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano - SMDU: Perfil Socioeconômico de Cuiabá. Cuiabá, MT. Central do Texto, 2012.

DACANAL, C. Fragmentos florestais urbanos e interações climáticas em diferentes escalas: estudos em Campinas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2011.

DU, H. et al. Influences of land cover types, meteorological conditions, anthropogenic heat and urban area on surface urban heat island in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration. Science of The Total Environment, 2016.

DUARTE, D. H. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima Tropical Continental. 2000. 296f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

DUARTE, D. H. S. O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano. Contribuições a uma abordagem interdisciplinar. Tese (Livre Docência em Desempenho Térmico, Acústico e Luminoso e Eficiência Energética de Edificações)—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2015.

DUARTE, D.; SERRA, G. Padroes 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. 7-70, 2003.

DURANTE, L. C. Sombreamento arbóreo e desempenho termoenergético de edificações. Cuiabá, 2011. 262p. Tese (Doutorado) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

FANGER, P. O. *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineers*. USA; Kingsport Press, 1972, 243p.

FIALA, D. LOMAS K. J., STOHRER M, A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: The passive system, *Journal of Applied Physiology*, 87(5): 1957-1972, 1999.

FILA, G.; BELLOCCHI, G.; ACUTIS, M.; DONATELLI, M. IRENE: a software to evaluate model performance. *European Journal of Agronomy*, v.18, n. 3, p. 369-372, 2003.

FLESCH, T. K. The Footprint for Flux Measurements, from Backward Lagrangian Stochastic Models, *Boundary-Layer. Meteorol.*, 78, 399–404, 1996.

FRANCISCO, R. C. A. Clima urbano: um estudo aplicado a Belo Horizonte, MG. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável)—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

FRANCO, F. M. Análise do comportamento termo-higrométrico urbano sob a ótica do uso e ocupação do solo em Cuiabá - MT. Cuiabá, 2013. 124f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

FRANCO, F. M. Configuração Urbana e sua Interferência no Microclima Local: Estudo de Caso no Bairro do Porto em Cuiabá-MT. 2010. 153f. Dissertação (Mestrado em Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. *Manual do conforto térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 2003. Disponível em: <<http://www.esac.pt/rnabais/H&S/H&S2008-2009/S&H-DEZ/ManualConfortoTERMICO.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2017.

GAGGE, A. P.; FOBELETS, A. P.; BERGLUND, L. G. A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transactions*, v. 92, p. 709–731, 1986.

GARCIA, C. M. Estudio del clima urbano de Barcelona: la isla de calor. Barcelona. 193f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia Física e Análise geográfica Regional, Universidade de Barcelona, 1992.

GOMES, M. A. S.; AMORIM, M. C. C. T. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). *Caminhos de Geografia*, v. 7, n. 10, p. 94-106, set. 2003. Disponível em: <[www.caminhosdegeografia.ig.ufu.br/include/getdoc.php?id](http://www.caminhosdegeografia.ig.ufu.br/include/getdoc.php?id)>. Acesso em: 28 jul. 2017.

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

GRIMMOND, C. S. B.; CLEUGH, H. A.; OKE, T. R. An objective heat storage model and its comparison with other schemes. *Atmos. Environ.*, v. 25B, p. 311–326, 1991.

GRIMMOND, C. S. B.; SOUCH, C.; HUBBLE, M. D. Influence of tree cover on summertime surface energy balance fluxes, San Gabriel Valley, 1996.

GUSSON, C. DOS S. Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São Paulo, SP. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) —São Paulo: Universidade de São Paulo, 26 maio 2014.

HAENEL, H.-D.; GRÜNHAGE, L. Footprint Analysis: A Closed Analytical Solution Based on Height-Dependent Profiles of Wind Speed and Eddy Viscosity, *Boundary-Layer. Meteorol.*, 93, 395–409, 1999.

HAVENITH, G.; FIALA, D.; BŁAZEJCZYK, K.; RICHARDS, M.; BRÖDE, P.; HOLMÉR, I.; RINTAMAKI, H.; BENSHABAT, Y.; JENDRITZKY, G. The UTCI-clothing model. *Int J Biometeorol*, v. 56, n. 3, p. 461–470, 2012.

HEDQUIST, B. C.; BRAZEL, A. J.; DI SABATINO S.; CARTER, W.; FERNANDO, H. J. S. Phoenix urban heat island experiment: micrometeorological aspects. In: *PROCEEDINGS OF THE EIGHTH SYMPOSIUM ON THE URBAN ENVIRONMENT*, 2009.

HELLSTEN, A.; LUUKKONEN, S. M.; STEINFELD, G.; KANANI-SUHRING, F.; MARKKANEN, T.; JÄRVI, L.; VESALA, T.; RAASCH, S. Footprint Evaluation for Flux and Concentration Measurements for an Urban-like Canopy with Coupled Lagrangian Stochastic and Large-eddy Simulation Models, *Boundary-Layer. Meteorol.*, 157, 191–217, 2015.

HORST, T. W.; WEIL, J. C. Footprint Estimation for Scalar Flux Measurements in the Atmospheric Surface Layer, *Boundary-Layer. Meteorol.*, 59, 279–296, 1992.

HORST, T. W.; WEIL, J. C. How Far is Far Enough?: The Fetch Requirements for Micrometeorological Measurement of Surface Fluxes, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 11, 1018–1025, 1994.

HSIEH, C. I.; SIQUEIRA, M.; KATUL, G.; CHU, C.R. Predicting Scalar Source-Sink and Flux Distributions Within a Forest Canopy Using a 2-D Lagrangian Stochastic Dispersion Model, *Boundary-Layer. Meteorol.*, 109, 113–138, 2003.

HUANG, S.; TANIGUCHI, M.; YAMANO, M.; WANG, C. Detecting urbanization effects on surface and subsurface thermal environment – a case study of Osaka. *Science of the Total Environment*, v. 407, p. 3142-3152, 2009.

HUTTNER, S.; BRUSE, M. Numerical modelling of the urban climate - A preview on ENVI-met 4.0. In: *The seventh International Conference on Urban Climate (ICUC- 7)*, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan. 2009. Proceedings disponível em: <[http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended\\_abstracts/pdf/382880-2090514010851002.pdf](http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/382880-2090514010851002.pdf)>. Acesso em novembro de 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Censo 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=510340>. Acesso em 23 set. 2017.

ISO (International Organization Standardization). ISO 7730. Moderate thermal environments – determination of the PMV e PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Standard. 2005.

JENDRITZKY, G. Human biometeorology, Part I. *Experientia*, v. 49, n. 9, p. 733-740, 1993.

JENDRITZKY, G.; DE DEAR, R.; HAVENITH, G. UTCI - why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, 56 (3), pp. 421 – 428. 2012.

KANTZ, H.; SCHREIBER, T. *Nonlinear time series analysis*. Cambridge university press, 2004.

KATZSCHNER, Lutz; MAYER, Helmut; DREY, Christl; BRUSE, Michael. Strategies and concepts for thermal comfort discussions in urban planning to mitigate the impacts of climate extremes. In: *PLEA 2007 – The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Proceedings...* Singapore, 103-108 p., 2007.

KIM, Y. H. & BAIK, J. J. Spatial and temporal structure of urban heat island in Seoul. *American Meteorological Society*, v. 44, p. 591-605, 2005.

KLJUN, N.; ROTACH, M. W.; SCHMID, H. P. A 3D Backward Lagrangian Footprint Model for a Wide Range of Boundary Layer Stratifications, *Boundary-Layer. Meteorol.*, 103, 205–226, 2002.

KLJUN, N.; CALANCA, P.; ROTACH, M. W.; SCHMID, H. P. A simple parameterization for flux footprint predictions. *Boundary-Layer Meteorology*, v. 112, n. 3, p. 503, 2004.

KLJUN, N.; CALANCA, P.; ROTACH, M. W.; SCHMID, H. P. A simple two-dimensional parameterisation for Flux Footprint Prediction (FFP), *Geosci. Model Dev.*, 8, 3695-3713, 2015.

KORMANN, R.; MEIXNER, F. X.: An Analytical Footprint Model for Non-Neutral Stratification, *Boundary-Layer. Meteorol.*, 99, 207–224, 2001.

KRÜGER, E.L.; MINELLA, F. O.; RASIA, F. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brasil. In: *Building and Environment*, 2011. Nr 46. P 621 – 634. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acesso em: 25 ago 2017.

LAHME, E.; BRUSE, M. Microclimatic effects of a small urban park in a densely build up área: measurements and model simulations. University of Bochum, Bochum, Germany. ICUC5, Lodz 1-5 Setembro, 2003. Disponível em: <http://www.envimet.de/scidocs.htm>.

LANDSBERG, H. E. *The Urban Climate*. Academic Press, New York World Commission on Environment and Development, 1987. *Our Common Future*. Oxford, New York, 1981, 271 p.

LECLERC, M. Y.; THURTELL, G. W. Footprint Prediction of Scalar Fluxes Using a Markovian Analysis, *Boundary-Layer. Meteorol.*, 52, 247–258, 1990.

LECLERC, M. Y.; SHEN, S.; LAMB, B. Observations and Large-Eddy Simulation Modeling of Footprints in the Lower Convective Boundary Layer, *J. Geophys. Res.*, 102, 9323–9334, 1997.

LEE, E. T., WANG, J. W. *Statistical methods for survival data analysis*. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.

LI, J.; WANG, X-R.; WANG, X-J.; MA, W.; ZHANG, H. Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai Metropolitan Area, China. *Ecological Complexity*. v. 6, ed. 4, p. 413-420, 2009.

LIMA, G. N.; AMORIM, M. C. C. T. Análise das características noturnas dos elementos climáticos em um episódio de verão no município de Teodoro Sampaio - SP. *Revista Geografia em Atos*, n. 10, v.1, p. 01-25. 2010.

LOMBARDO, M. A. *Ilha de Calor nas Metrôpoles: O Exemplo de São Paulo*. HUCITEC: São Paulo, 1985.

LOMBARDO, Magda Adelaide; MAITELLI, G T; ZAMPARONI, C A P G. *Ilha de calor em Cuiabá - MT: uma abordagem do clima urbano*. Anais. Londrina: Núcleo de Estudos do Meio Ambiente-Universidade Estadual, 1991.

LUHAR, A. K; RAO, K. S. Source Footprint Analysis for Scalar Fluxes Measured in Flows over an Inhomogeneous Surface, *NATO Chal. M.*, 18, 315–322, 1994.

LUZ, V. S. “Estudo da interação das variáveis microclimáticas com a cobertura do solo urbano”. 65f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

MACIEL, C. R. “Análise da relação entre características do ambiente urbano e comportamento de variáveis microclimáticas: Estudo de caso em Cuiabá-MT”. 127f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

MACIEL, C. R. “Condições Microclimáticas de Espaços Abertos: Simulação de Estratégias por meio do Software ENVI-Met”. 93f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

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

MARKKANEN, T.; STEINFELD, G.; KLJUN, N.; RAASCH, S.; FOKEN, T. Comparison of conventional Lagrangian stochastic footprint models against LES driven footprint estimates, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 5575–5586, 2009.

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. L. *Vegetação Urbana*. Porto Alegre. 3ª Edição. 2010.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the RayMan model. *Int J Biometeorol*, v. 51, p. 323-334, 2007.

MENDONÇA, F. O. *Clima Urbano de Cidade de Porte Médio e Pequeno: Aspectos teórico-metodológicos e estudos de caso*. Sant’Anna Neto, J. L.; Zavantini, J.A. (orgs). *Variabilidade e Mudanças climáticas: Implicações Ambientais e Socioeconômicas*. Maringá: Eduem, 2000.

MINELLA, F. C. O. *Avaliação da influência de aspectos da geometria urbana sobre os níveis de conforto térmico em ruas de pedestres de Curitiba*. Dissertação – Mestrado em Tecnologia – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

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

MONTEIRO, C. A. F. *Teoria e Clima Urbano*. IGEOG-USP, Série Teses e Monografias, n. 25, São Paulo: USP, 1976. 181p.

MOREIRA, E. B. M., NOBREGA, R. S., SILVA, B. B. *Influência da expansão urbana em recife (PE) no fluxo de calor sensível através de imagens digitais do TM Landsat 5*. *Revista de Geografia*, v. 30, n. 2, 2013.

MORENO, G.; HIGA, T. C. S., (orgs.); colaboradora MAITELLI, G. T. *Geografia de Mato Grosso: território, sociedade, ambiente*. Cuiabá: Entrelinha, 2005.

NAKATA, C. M. Comportamento do Pedestre e Ambiente Térmico Urbano. 132p. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-graduação Stricto-sensu em Design, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.

NIKOLOPOULOU, M. L.; STEEMERS, K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. In: *Energy and Buildings* 35, 95-101. 2003.

NOGUEIRA, M. P. N. Configuração urbana e microclimas: estudo em loteamento horizontal de Maceió-Alagoas. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) —Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2011.

OKE, T. R. Adjectively-assisted evapotranspiration from irrigated urban vegetation. *Boundary Layer Meteorology*, v. 17, p. 167–173, 1979.

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

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*, Routledge, 2nd edition. p. 262–303, 1987.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, v.11, p. 103–13, 1988.

OKE, T. R.; JOHNSON, G. T.; STEYN, D. G.; WATSON, I. D. Simulation of surface urban heat islands under ‘ideal’ conditions at night—part 2 Diagnosis of causation. *Boundary Layer Meteorology*, v. 56, p. 339–358, 1991.

OKE, T. R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report, TD. World Meteorological Organization, Geneva, 2006.

OLIVEIRA, A. S. Influência da vegetação arbórea no microclima e uso de praças públicas. 2011. 162f. Tese (Doutorado em Física Ambiental). Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT.

OLIVEIRA, A.G. Avaliação das Temperaturas Superficiais do Solo em relação à Conformação Urbana existentes na Praça do Aeroporto Marechal Rondon em Várzea Grande/MT. 80 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

PAGNOSSIN, E. M.; BURIOL, G. A.; GRACIOLLI, M. A. Influência dos elementos meteorológicos no conforto térmico humano: bases biofísicas. *Disciplinarum Scientia*. Série: Ciên. Biol. e da Saúde, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 149-161, 2001. Disponível em: <<http://sites.unifra.br/Portals/36/CSAUDE/2001/influencia.pdf>>. Acesso em: 4 ago. 2017.

PASQUILL, F. Some aspects of boundary layer description. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v 98, n. 417, p. 469-494, 1972.

PATERSON, D.A.; APELT, C. J. Simulation of wind flow around three-dimensional buildings. *Building and Environment*, v. 24, p. 39–50, 1989.

PAULA, D. C. J. Análise termohigrométrica pós intervenções urbanas em Cuiabá-MT. Cuiabá, 2016, 104f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

PEZZUTO, C. C.; DACANAL, C.; MELO, E. O.; LABAKI, L. C. Análises do microclima urbano através de medições experimentais e simulações no programa envi-met. In: XI Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído E VII Encontro Latino Americano De Conforto No Ambiente Construído. Búzios, RJ, 2011.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, European Geosciences Union, 11 (5), pp.1633-1644. 2007.

PINHO, J. G. de. A Evolução da Intensidade da Ilha de Calor em Cuiabá – MT: 1990 a 2002. 2003. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Geografia). Departamento de Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá - MT.

PORTAL BRASIL. Economia e Emprego. 2011. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2011/04/total-de-habitantes-das-areas-urbanas-cresce-e-chega-a-84-4-em-2010>>. Acesso em 23 set. 2017.

RANNIK, Ü.; AUBINET, M.; KURBANMURADOV, O.; SABELFELD, K. K.; MARKKANEN, T.; VESALA, T. Footprint Analysis for Measurements over a Heterogeneous Forest, *Boundary-Layer. Meteorol.*, 97, 137–166, 2000.

REGO, R. L.; MENEGUETTI, K. S. A respeito de morfologia urbana. Tópicos básicos para estudos da forma da cidade. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 33 n. 2, p. 123-127, 2011.

REN, C.; NG, E.; KATZSCHNER, L. Urban climatic map studies: a review. *International Journal of Climatology*, v. 31, n. 15, p. 2213-2233, 2011.

RIO+20. Fatos sobre as cidades. Organização das Nações Unidas 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/cidades.pdf>>. Acesso em 23 set. 2017.

ROMERO, M. A. B. Princípios bioclimáticos para o desenvolvimento urbano. São Paulo: Projeto, 2001. 2ª edição, 128p.

RORIZ, M. Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo. In: Encontro Nacional Sobre Conforto No Ambiente Construído, 12.; Conferência Latino-Americana Sobre Conforto E Desempenho Energético De Edificações, 3., 2003, Curitiba. Anais eletrônicos... Curitiba: 2003. Disponível em: <[http://www.ppgciv.ufscar.br/arquivos/File/roriz\\_artigos/Roriz06.pdf](http://www.ppgciv.ufscar.br/arquivos/File/roriz_artigos/Roriz06.pdf)>. Acesso em: 10 ago 2017.

ROSSETI, K.A.C. Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas com simulação pelo software ENVI-Met. 2013. 273f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

RUAS, Á. C. Avaliação de conforto térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <[http://www.fundacentro.gov.br/ARQUIVOS/PUBLICACAO/1/Avaliacao\\_de\\_Conforto\\_Termico.pdf](http://www.fundacentro.gov.br/ARQUIVOS/PUBLICACAO/1/Avaliacao_de_Conforto_Termico.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2017.

SALATA, F. et al. Urban microclimate and outdoor thermal comfort. A proper procedure to fit ENVI-met simulation outputs to experimental data. *Sustainable Cities and Society*, v. 26, p. 318–343, 2016.

SANCHES, J. C. M. O estudo de microclimas como ferramenta para o planejamento urbano. Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Brasil. 2005.

SANCHES, J. C. M. O estudo de microclimas como ferramenta para o planejamento urbano. 2005. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá/ MT, 2005.

SANTAMOURIS, M. *Energy and climate in the urban built environment*. London: James and James, 2001.

SANTOS, F. M. M. Influência da ocupação do solo na variação termohigrométrica na cidade de Cuiabá-MT. Cuiabá, 2012. 88f. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.

SAVI, M. A. *Dinâmica não-linear e caos*. Editora E-papers, 2006.

SCHMID, H. P. Source Areas for Scalars and Scalar Fluxes, *Boundary-Layer Meteorol.*, 67, 293–318, 1994.

SCHMID, H. P. Experimental Design for Flux Measurements: Matching Scales of Observations and Fluxes, *Agr. Forest Meteorol.*, 87, 179–200, 1997.

SCHMID, H. P. Footprint modeling for vegetation atmosphere exchange studies: a review and perspective. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 113, n. 1-2, p. 159-183, 2002.

SCHMID, H. P.; OKE, T. R. A Model to Estimate the Source Area Contributing to Turbulent Exchange in the Surface Layer over Patchy Terrain, *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 116, 965–988, 1990.

SCHUEPP, P. H.; LECLERC, M. Y.; MACPHERSON, J. I.; DESJARDINS, R. L. Footprint prediction of scalar fluxes from analytical solutions of the diffusion equation. *Boundary-Layer Meteorology*, v. 50, n. 1-4, p. 355-373, 1990.

SHASHUA-BAR, L.; PEARLMUTTER, D.; ERELL, E. The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology*, v. 31, n. 10, p. 1498-1506, 2011.

SHINZATO, P. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) —São Paulo: Universidade de São Paulo, 29 maio 2014.

SHINZATO, P. O impacto da vegetação nos microclimas urbanos. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) —São Paulo: Universidade de São Paulo, 24 abr. 2009.

SILVA, N. R. Avaliação do conforto térmico. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Santa Cecília, Santos. Disponível em: <<http://www.ergopro.com.br/downloads/monografia.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2017.

SILVA, P.C.B.S. Identificação de anomalias térmicas por sensoriamento remoto em Cuiabá/MT, 66 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

SILVEIRA, A. L. R. C. Parâmetros bioclimáticos para avaliação de conjuntos habitacionais na região tropical sub-úmida do Brasil. Brasília, 2007. 312f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

SIRQUEIRA, C. A. DE. Estudo microclimático de recortes urbanos vegetados em Belo Horizonte – MG, através de modelagem micrometeorológica. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) —Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

SOGACHEV, A.; LLOYD, J. Using a One-And-a-Half Order Closure Model of the Atmospheric Boundary Layer for Surface Flux Footprint Estimation, *Boundary-Layer Meteorol.*, 112, 467– 502, 2004.

SORANO, E.C. Ergonomia de quadras urbanas: condição térmica do pedestre.

SOUZA, D. M de. NERY, J. T. O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. *Geografia (Londrina)*, v. 21, n. 2, p. 65-83, 2012.

SOUZA, D. M. Clima urbano no planejamento do município de Ourinhos - SP. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOUZA, D. M. DE. Clima urbano no planejamento do município de Ourinhos – SP. Dissertação (Mestrado em Geografia na área de Climatologia) —Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2013.

SOUZA, N. S. Análise da relação da radiação solar na formação de ilhas de calor em diferentes configurações urbanas em Cuiabá – MT. 73f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

SOUZA, S.C. Análise das variações espaciais de temperatura e umidade do ar em área urbana de Várzea Grande/MT. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2004.

SOUZA, S.C.; MAITELLI, G.T. Mudanças climáticas na interface superfície atmosfera. Anais... X Encontro dos Geógrafos da América Latina. São Paulo, USP, mar 2005.

SPAGNOLO, J.; DE DEAR, R. J. A field study of thermal comfort in outdoor and semi outdoor environments in subtropical Sydney, Australia. *Building and Environment*, v. 38, p. 721–38, 2003.

STEINFELD, G.; RAASCH, S.; MARKKANEN, T. Footprints in Homogeneously and Heterogeneously Driven Boundary Layers Derived from a Lagrangian Stochastic Particle Model Embedded into Large-Eddy Simulation, *Boundary-Layer. Meteorol.*, 129, 225– 248, 2008.

SUCKLING, P. W. The energy balance microclimate of a suburban lawn. *Journal of Applied Meteorology*, v. 19, p. 606–608, 1980.

TABLADA, A.; DETROYER, F.; BLOCKEN, B.; CARMELIET, J.; VERSCHURE, H. On natural ventilation and thermal comfort in compact urban environments - the Old Havana case. *Building and Environment*, v. 44, n. 9, p. 1943–1958, 2009.

TALEGHANI, M. et al. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, v. 83, p. 65–78, 2015.

TOCANTINS, I. Praças públicas em Cuiabá-MT: influências nas variáveis microclimáticas. Cuiabá, 2015, 69p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

VANOS, J.; WARLAND, J.; GILLESPIE, T.; KENNY, N. Review of the physiology of human thermal comfort while exercising in urban landscapes and implications for bioclimatic design. *International journal of biometeorology*, v. 54, n. 4, p. 319-334, 2010.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia. Recife: Versão Digital, 2006. Disponível em: <[http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA\\_E\\_CLIMATOLOGIA\\_VD2\\_Mar\\_2006.pdf](http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf)>. Acesso: 8 set. 2017.

VASCONCELOS, L. C. da S. Os Efeitos da Urbanização no Microclima do Bairro Morada da Serra/MT. Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

VDI. Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning. Part I: climate. VDI guideline 3787, Part 2. Berlin: Beuth, 1998.

VERSEGHY, D.L.; MUNRO, D. S. Sensitivity studies on the calculation of the radiation balance of urban surfaces: I. Shortwave radiation. *Boundary Layer Meteorology*, v. 46, p. 309–331, 1989a.

VERSEGHY, D.L.; MUNRO, D. S. Sensitivity studies on the calculation of the radiation balance of urban surfaces: II. Longwave radiation. *Boundary Layer Meteorology*. v. 48, p. 1–18, 1989b.

WANG, W.; DAVIS, K. J. A Numerical Study of the Influence of a Clearcut on Eddy-Covariance Fluxes of CO<sub>2</sub> Measured Above a Forest, *Agr. Forest Meteorol.*, 148, 1488–1500, 2008.

WANG, Y.; AKBARI, H. Analysis of urban heat island phenomenon and mitigation solutions evaluation for Montreal. *Sustainable Cities and Society*, v. 26, p. 438–446, 2016.

WILSON, J. D.; SWATERS, G. E. The Source Area Influencing a Measurement in the Planetary Boundary Layer: The “Footprint” and the “Distribution of Contact Distance”, *Boundary-Layer. Meteorol.*, 55, 25–46, 1991.

WOJTACH, B. UTCI Calculator. Institute of Meteorology and Hydrology, 2014. Disponível em: <<http://www.utci.org/utcineu/utcineu.php>>. Acesso: 25 abr. 2018.

ZEILHOFER, P.; SCHREINER, S.; VASCONCELOS, L. C. S. Técnicas de Geoprocessamento para modelação de anomalias de temperatura nos perímetros urbanos de Cuiabá e Várzea Grande MT. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 1, p. 4371-4376, 2009.

