

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

**ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS E ÍNDICES  
ESPECTRAIS EM VÁRZEA GRANDE/MT: UMA  
ABORDAGEM AO PLANEJAMENTO URBANO**

**SABRINE EDUARDA TONIOLI**

**PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. FLÁVIA MARIA DE MOURA SANTOS  
ORIENTADORA**

**Cuiabá, MT  
Fevereiro de 2024**

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

**ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS E ÍNDICES  
ESPECTRAIS EM VÁRZEA GRANDE/MT: UMA  
ABORDAGEM AO PLANEJAMENTO URBANO**

**SABRINE EDUARDA TONIOLI**

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

**PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. FLÁVIA MARIA DE MOURA SANTOS  
ORIENTADORA**

**Cuiabá, MT  
Fevereiro de 2024**

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

T665e Tonioli, Sabine Eduarda.

Zonas Climáticas Locais e Índices Espectrais em Várzea Grande/MT: uma Abordagem ao Planejamento Urbano.

/ Sabine Eduarda Tonioli -- 2024

129f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Flávia Maria de Moura Santos.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2024.

Inclui bibliografia.

1. Zonas Climáticas Locais. 2. Temperatura da Superfície Terrestre. 3. Índice da Vegetação por Diferença Normalizada. 4. Climatologia Urbana. 5. Planejamento Urbano. 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.**



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

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS E ÍNDICES ESPECTRAIS EM VÁRZEA GRANDE/MT: UMA ABORDAGEM AO PLANEJAMENTO URBANO**

**AUTORA: DOUTORANDA SABRINE EDUARDA TONIOLI**

Tese defendida e aprovada em **21 de fevereiro de 2024**.

**COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

- 1. Profa. Dra. FLÁVIA MARIA DE MOURA SANTOS** (Presidente Banca / **ORIENTADORA**)  
INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
- 2. Profa. Dra. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA** (Membro Interno)  
INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
- 3. Prof. Dr. JOÃO BASSO MARQUES** (Membro Interno)  
INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
- 4. Profa. Dra. DIANA CAROLINA JESUS DE PAULA** (Membro Externo)  
INSTITUIÇÃO: CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VÁRZEA GRANDE
- 5. Profa. Dra. NATALLIA SANCHES E SOUZA** (Membro Externo)  
INSTITUIÇÃO: CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VÁRZEA GRANDE

**Cuiabá, 21/02/2024.**



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO SACARDI BIUDES**, **Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 23/02/2024, às 16:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **FLAVIA MARIA DE MOURA SANTOS**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 23/02/2024, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Natallia Sanches e Souza, Usuário Externo**, em 23/02/2024, às 17:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Diana Carolina Jesus de Paula, Usuário Externo**, em 24/02/2024, às 13:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOÃO BASSO MARQUES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 26/02/2024, às 09:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 26/02/2024, às 11:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufmt.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6629778** e o código CRC **5D9A410E**.

## **DEDICATÓRIA**

À minha filha, Lara.

## **AGRADECIMENTOS**

- Aos meus pais, Dirceu e Marilene, que durante a realização desta pesquisa, tornaram-se “pais” para a minha filha.
- Ao meu marido Apollo, por entender todas as minhas ausências para a realização deste trabalho.
- A minha filha Lara, que ao nascer se tornou a minha maior força para viver e ser melhor.
- A professora orientadora Flávia, principalmente pela confiança e incentivo nos momentos difíceis.
- Ao corpo docente e coordenação do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso.

## **EPÍGRAFE**

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina”

(Cora Coralina)

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	I
LISTA DE TABELAS .....	II
LISTA DE QUADROS .....	III
LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS .....	IV
RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	VI
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. PROBLEMÁTICA .....	1
1.2. JUSTIFICATIVA .....	2
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1. CLIMA .....	5
2.2. ELEMENTOS CLIMÁTICOS E AS ALTERAÇÕES DO CLIMA.....	5
2.3. CLASSIFICAÇÃO DA MORFOLOGIA URBANA .....	6
2.3.1. Zonas Climáticas Locais (LCZ).....	7
2.3.2. LCZ Generator .....	12
2.4. GEOTECNOLOGIA .....	14
2.4.1. Sensoriamento Remoto .....	14
2.4.2. Sistema de Informação Geográfica .....	17
2.4.3. Temperatura de superfície terrestre (TST).....	19
2.4.4. Índices de vegetação normalizado .....	20
<b>3. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>23</b>
3.1.1. Histórico de Várzea Grande .....	23
3.1.2. Caracterização do município.....	25
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>

4.1.	CLASSIFICAÇÃO LCZ .....	32
3.2.1.	Áreas de treinamento .....	32
3.2.2.	Submissão de dados .....	35
3.2.3.	Processamento .....	36
3.2.4.	Análise de arquivos enviados: acurácia .....	38
3.2.5.	Pós-classificação: delimitação da área de estudo .....	43
4.2.	OBTENÇÃO DE IMAGENS SATELITAIS .....	43
4.2.1.	NDVI e TST - Landsat 5 .....	45
4.2.2.	NDVI e TST – Landsat 8 .....	49
4.3.	TRATAMENTO ESTATÍSTICO .....	54
4.3.1.	Análise da distribuição dos dados .....	55
4.3.2.	Análise da Variância da TST e NDVI.....	56
4.3.3.	Análise de Correlação .....	58
4.3.4.	Análise dos dados espaciais .....	59
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>60</b>
5.1.	CLASSIFICAÇÃO LCZ PARA VÁRZEA GRANDE.....	60
5.1.1.	Classificação LCZ para o território municipal– Ano 2005.....	60
5.1.2.	Classificação LCZ para o território municipal – Ano 2020.....	62
5.1.3.	Comparativos entre LCZ do ano 2005 e 2020 para o município de Várzea Grande .....	69
5.2.	ÍNDICES ESPECTRAIS PARA VÁRZEA GRANDE .....	79
5.2.1.	Temperatura de Superfície Terrestre (TST).....	79
5.2.2.	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	90
5.2.3.	Análise de Correlação entre NDVI e TST .....	98
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>99</b>
6.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	100
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIAS .....</b>	<b>101</b>
7.1.	BIBLIOGRAFIAS CITADAS .....	101
7.2.	BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS .....	110

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> - Estrutura das classes do sistema LCZ .....	8
<b>FIGURA 2</b> - Elementos do geoprocessamento e funções do SIG.....	14
<b>FIGURA 3</b> - Exemplos de camadas que podem integrar um SIG. ....	18
<b>FIGURA 4</b> - Formatos de arquivos SIG .....	18
<b>FIGURA 5</b> - População da cidade de Várzea Grande no período de 1970 à 2010 .....	24
<b>FIGURA 6</b> - Localização da cidade de Várzea Grande a partir do estado de Mato Grosso .....	25
<b>FIGURA 7</b> - Ordenamento do Território de Várzea Grande .....	27
<b>FIGURA 8</b> - Regiões da Macrozona Urbana de Várzea Grande .....	28
<b>FIGURA 9</b> - Fluxograma das etapas de classificação das LCZs no LCZ Generator.....	32
<b>FIGURA 10:</b> Fluxograma para discriminação de classes .....	34
<b>FIGURA 11</b> - Formulário para preenchimento virtual do LCZ Generator .....	36
<b>FIGURA 12</b> - Síntese dos dados de entrada e saída do LCZ Generator .....	38
<b>FIGURA 13</b> - Estatísticas de acurácia geral e por LCZ para a classificação do ano de 2005.....	40
<b>FIGURA 14:</b> Estatísticas de acurácia geral e por LCZ para a classificação do ano de 2020.....	41
<b>FIGURA 15</b> - Distribuição espacial das classes LCZ sobre a ROI referente ao ano de 2005.....	42
<b>FIGURA 16</b> - Distribuição espacial das classes LCZ sobre a ROI referente ao ano de 2020.....	43
<b>FIGURA 17</b> - Imagens de satélite utilizadas na pesquisa .....	45
<b>FIGURA 18</b> - Fluxograma para as etapas de cálculo da TST e do NDVI - Landsat 5.....	46
<b>FIGURA 19</b> - Fluxograma para as etapas de cálculo da TST e do NDVI - Landsat 8.....	49
<b>FIGURA 20</b> - Printscreen da calculadora e parâmetros atmosféricos para obtenção da radiância corrigida. ....	53
<b>FIGURA 21:</b> Distribuição espacial das LCZs de Várzea Grande para o ano de 2005.....	62
<b>FIGURA 22</b> - Distribuição espacial das LCZs de Várzea Grande para o ano de 2020.....	65

<b>FIGURA 23</b> - Distribuição espacial das LCZs na Macrozona Urbana para 2005 e 2020.....	65
<b>FIGURA 24</b> - Distribuição por área das LCZs identificadas no ano de 2005. ....	70
<b>FIGURA 25</b> - Distribuição por área das LCZs identificadas no ano de 2020. ....	70
<b>FIGURA 26</b> – Comparativos em resolução espacial de 2km entre as classes LCZ 9 e LCZ 3 para o bairro Vitória Régia nos anos de 2005 e 2020. ....	71
<b>FIGURA 27</b> – Comparativos em resolução espacial de 2km entre classes nos arredores do Parque Berneck nos anos de 2005 e 2020. ....	72
<b>FIGURA 28</b> – Comparativos em resolução espacial de 10km entre classes naturais entre os anos de 2005 e 2020.....	73
<b>FIGURA 29</b> – Classes LCZ 8 e LCZ 6 para o ano de 2020 no bairro industrial Capão do Pequi. Resolução espacial de 2km. ....	74
<b>FIGURA 30</b> – Classe LCZ 2 em resolução espacial de 2km identificada no ano de 2020, no bairro Centro Sul da Macrozona Urbana de Várzea Grande.....	75
<b>FIGURA 31</b> – TST em °C para Várzea Grande com referência ao ano de 2005 e 2020.....	80
<b>FIGURA 32</b> - Conjunto de dados de TST referente aos anos de 2005 e 2020 ....	83
<b>FIGURA 33</b> - TST para cada LCZ referente ao ano de 2005 .....	85
<b>FIGURA 34</b> - TST para cada LCZ referente ao ano de 2020 .....	85
<b>FIGURA 35</b> - Matriz com comparação de medianas de TST entre pares de LCZ .....	87
<b>FIGURA 36</b> - Diagrama de espalhamento Moran da TST para o ano de 2005 ...	89
<b>FIGURA 37</b> - Diagrama de espalhamento Moran da TST para o ano de 2020 ...	89
<b>FIGURA 38</b> - NDVI para Várzea Grande com referência ao ano de 2005 e 2020 .....	91
<b>FIGURA 39</b> - Conjunto de dados de TST referente aos anos de 2005 e 2020 ....	93
<b>FIGURA 40</b> -Índice NDVI para cada LCZ referente ao ano de 2005 .....	94
<b>FIGURA 41</b> - Índice NDVI para cada LCZ referente ao ano de 2020 .....	95
<b>FIGURA 42</b> - Matriz com comparação de medianas de TST entre pares de LCZ .....	96

**LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1</b> - Tipologias Construtivas para classificação por LCZ .....	8
<b>TABELA 2</b> - Cobertura do Solo para Classificação por LCZ.....	10
<b>TABELA 3</b> - Valores de referência para geometria e cobertura das superfícies das LCZs.....	11
<b>TABELA 4</b> - Caraterísticas dos satélites Landsat 5 e Landsat 8.....	16
<b>TABELA 5</b> – População dos bairros da Macrozona Urbana de Várzea Grande..	29
<b>TABELA 6</b> - Síntese do procedimento matemático de acordo com a origem das imagens satelitais. ....	54
<b>TABELA 7</b> - Descrições básicas das áreas de treinamento. ....	60
<b>TABELA 8</b> - Descrições básicas das áreas de treinamento. ....	63
<b>TABELA 9</b> - Resumo das temperaturas medianas em cada classe LCZ para o ano de 2005 e 2020 .....	88
<b>TABELA 10</b> - Resumo das temperaturas médias em cada classe LCZ para o ano de 2005 e 2020 .....	97

**LISTA DE QUADROS**

<b>QUADRO 1</b> - Síntese das classes LCZs identificadas para o ano de 2005 e 2020...	
.....	66
<b>QUADRO 2</b> - Perfil evolutivo das classes LCZs do ano 2005 ao 2020.....	76

## LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS

OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
LCZ	<i>Local Climate Zones</i> - Zonas Climáticas Locais
MT	Mato Grosso
SIG	Sistema de Informação Geográfica
WUDAPT	<i>World Urban Database Access Portal Tools</i>
SR	Sensoriamento Remoto
TST	Temperatura de Superfície Terrestre
ND	Números Digitais
QGIS	<i>Quantum Gis</i>
NDVI	Índice de Vegetação de Diferença Normalizada
NDMI	Índice de Umidade de Diferença Normalizada
NDWI	Índice de Água de Diferença Normalizada
°C	Graus Celcius
SP	São Paulo
DF	Distrito Federal
ICU	Ilha de Calor Urbana
RMVRC	Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá
h	horas
m	metros
mm	milímetros
%	porcentagem
≅	aproximadamente
OMS	Organização Mundial da Saúde
ROI	<i>Region of Interest</i> - Região de Interesse
kml	<i>Keyhole Markup Language</i>
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos da América
WGS84	Sistema Geodésico Mundial
K	Kelvin
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
µm	micrômetros
IICUS	Intensidade da Ilha de Calor Urbana Superficial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
H0	Hipótese nula
H1	Hipótese alternativa
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

## RESUMO

TONIOLI, S. E. **Zonas Climáticas Locais e Índices Espectrais em Várzea Grande/MT: Uma Abordagem ao Planejamento Urbano**. 129f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2024.

Conhecer a morfologia urbana e como esta é alterada, torna-se relevante para que também se compreenda as alterações da paisagem. Essas mudanças quando avaliadas em uma distribuição espaço-temporal, favorecem o entendimento com maiores detalhes do efeito da urbanização. A cidade de Várzea Grande compõe uma conurbação com a capital Cuiabá, e passou por intenso crescimento populacional e alterações morfológicas nas últimas décadas. Além de que, é comum que nesta região temperaturas próximas de 40°C e umidade relativa abaixo do recomendado pela OMS (60%), sejam registradas. Nesta pesquisa, o objetivo foi entender a transformação das zonas climáticas locais e índices espectrais nos anos 2005 e 2020, período em que a cidade teve aumento populacional de aproximadamente 26,64%, sendo hoje a segunda cidade mais populosa do estado. Inicialmente foi realizada a classificação da morfologia urbana sob o viés do clima para os dois anos de estudo, por meio das zonas climáticas locais, onde foi possível identificar que a LCZ A – vegetação arbórea densa, apesar de seu aumento em quantitativo total de área para o município, em algumas localidades, como próximo da Macrozona Urbana, apresentou diminuição, ao passo que as classes de LCZ 3 – com ocupação baixa compacta e LCZ 6 – de tipologia construtiva baixa aberta, para esta mesma região, aumentaram. Com o auxílio de imagens satelitais, advindas do Landsat 5 e Landsat 8, foi possível realizar o cálculo do índice NDVI e TST, visualizando que a TST média aumentou 2,74°C em um período de 15 anos, resultado este com 95% de confiança estatística. Adicionalmente, foi possível observar que nas classes LCZs relativas a tipologia construtiva onde houve o registro de aumento da temperatura, também foi identificado a diminuição do índice NDVI, resultado ao nível de 95% de confiança estatística, por meio do qual é possível inferir que locais sem cobertura vegetativa ou com cobertura de menor porte, tendem a registrar temperaturas maiores. A classe LCZ 2 foi identificada apenas na classificação por LCZ para o ano de 2020, sugerindo assim, que provavelmente este seja um possível caminho para o crescimento urbano do município, caso não sejam desenvolvidas medidas que considerem a necessidade de atenuação dos efeitos adversos da urbanização. Assim, é necessário que medidas para crescimento urbano adequadas às condições climáticas sejam tomadas, com a finalidade de tornar as cidades e comunidades sustentáveis e resilientes.

**Palavras-chave:** Zonas Climáticas Locais. Temperatura de Superfície Terrestre. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. Climatologia Urbana. Planejamento Urbano.

## ABSTRACT

TONIOLI, S. E. **Local Climate Zones and Spectral Indices in Várzea Grande/MT: An Approach to Urban Planning.** 129p. Thesis (PhD in Environmental Physics), Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2024.

Understanding urban morphology and how it is altered becomes relevant in order to also comprehend landscape changes. These changes, when evaluated in a space-time distribution, facilitate a deeper understanding of the effects of urbanization. The city of Várzea Grande forms a conurbation with the capital Cuiabá and has undergone intense population growth and morphological changes in recent decades. Additionally, it is common for temperatures near 40°C and relative humidity below the WHO-recommended level (60%) to be recorded in this region. In this research, the objective was to understand the transformation of local climatic zones and spectral indices in the years 2005 and 2020, a period in which the city experienced a population increase of approximately 26.64%, making it the second most populous city in the state. Initially, the classification of urban morphology from a climate perspective was carried out for the two study years, through local climatic zones, where it was possible to identify that LCZ A – dense tree vegetation, despite its increase in total area for the municipality, in some locations, such as near the Urban Macrozone, showed a decrease, while the classes of LCZ 3 – compact low-rise and LCZ 6 – low open building typology, for this same region, increased. With the aid of satellite images from Landsat 5 and Landsat 8, it was possible to calculate the NDVI and TST indices, visualizing that the average TST increased by 2.74°C over a period of 15 years, a result with 95% statistical confidence. Additionally, it was observed that in the LCZ classes related to building typology where an increase in temperature was recorded, a decrease in the NDVI index was also identified, a result at the 95% statistical confidence level, through which it is possible to infer that areas without vegetative cover or with smaller cover tend to record higher temperatures. The LCZ 2 class was identified only in the LCZ classification for the year 2020, suggesting that this is likely a possible path for the urban growth of the municipality, if measures are not developed to consider the need to mitigate the adverse effects of urbanization. Thus, it is necessary for measures for urban growth suitable to climatic conditions to be taken, with the aim of making cities and communities sustainable and resilient.

**Keywords:** Local Climatic Zones. Land Surface Temperature. Normalized Difference Vegetation Index. Urban Climatology. Urban Planning.

## **1. INTRODUÇÃO**

Neste capítulo foi abordado o contexto introdutório sobre o assunto pesquisado, por meio de sua problemática e justificativa.

### **1.1. PROBLEMÁTICA**

No decorrer dos últimos séculos, a humanidade passou por um processo acentuado de êxodo populacional das áreas rurais às áreas urbanas. Este processo de urbanização altera o comportamento das variáveis climáticas em âmbito local, produzindo condições atmosféricas que definem o clima urbano. Com o aumento da população urbana, surgem efeitos, cada vez mais intensos relacionados à deterioração ambiental, como: poluição do ar, ilhas de calor e chuvas ácidas.

Estas alterações climáticas, podem afetar negativamente os habitantes, tanto em suas reações humanas físicas e psicológicas (produtividade, saúde, energia mental e física) quanto a estrutura urbana por meio da elevação da temperatura atmosférica, aumento do consumo de energia e de implicações na higiene do ar.

Em algumas localidades da América Latina, perante a ocorrência de temperaturas extremas, houve aumento na taxa de mortalidade envolvendo pessoas com doenças cardiovasculares e respiratórias, principalmente idosos e crianças, quando graus elevados de temperatura facilitaram infecções virais ao prejudicar as defesas naturais do organismo.

Mesmo perante este cenário, os responsáveis pelo planejamento das cidades ainda não incorporaram recomendações climáticas em suas legislações urbanísticas, apesar de ser notória a necessidade de se relacionar as questões climáticas nos planos de ação e de planejamento urbano, adequando-se também aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos na agenda 2030.

Para que haja contribuição na atenuação dos efeitos adversos da urbanização, faz-se necessário o conhecimento sobre as variáveis climáticas em áreas urbanas, integrando-as às suas características de tipologia construtiva e cobertura do solo, já que o clima urbano é definido não somente por suas características atmosféricas, mas também pelas formações topográficas, vegetativas, permeabilidade do solo,

rugosidade urbana, tipos de superfícies, proporção de espaços abertos e etc.

Enquanto alguns fatores atmosféricos, como a luz solar, apresenta pouca variação em relação ao território da cidade, outras variáveis como a temperatura do ar e os padrões de vento, apresentam variação significativa, pois são influenciadas por fatores como a capacidade das edificações de acumular calor, o tipo de cobertura do solo e seu adensamento, o gabarito de altura das edificações e a rugosidade destas, bem como a presença de corpos d'água.

A área de estudo desta pesquisa é a cidade de Várzea Grande, a mesma faz parte da Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá, cidade esta que no mês de outubro de 2023 atingiu recorde de calor com 42,2°C, segundo dados meteorológicos publicados.

Diversos problemas ambientais, como as ondas de calor, queimadas, estiagem, baixa umidade relativa do ar, poluições e impactos na saúde poderiam ser mitigados se o planejamento urbano incorporasse estudos relacionados ao clima.

Porém, é nítido o impasse existente para a tradução dos estudos de climatologia urbana à linguagem do planejamento urbano, e este, provavelmente seja um dos motivos que explica a não integração destes estudos em projetos para implementação nas cidades.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

Com fins de contribuir para a consideração e inclusão de estudos climatológicos ao planejamento urbano, e também buscar a melhoria das condições ambientais locais, principalmente ao que tange dois dos principais Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da agenda 2030 – 11. Cidades e Comunidades Sustentáveis; 13. Ação Climática - buscou-se estudar o perímetro municipal de Várzea Grande-MT, frente às suas mudanças paisagísticas que influem no clima em um intervalo de 15 anos quando historicamente ocorreram mudanças significativas na cidade.

Esse estudo foi realizado por meio da classificação do município segundo o método proposto por Stewart e Oke (2012), a LCZ (*Local Climate Zones – Zonas Climáticas Locais*), que à época representou um novo conceito para classificação da tipologia construtiva e cobertura do solo segundo o viés climático, e até os dias atuais

é citado e utilizado em diversas pesquisas científicas para estudos envolvendo a caracterização de áreas por zonas climáticas além de configurar-se como uma padronização mundial necessária relacionada às características físicas e radiativas urbanas.

Após os anos 2000, notoriamente houve um avanço das geotecnologias, o que auxiliou os trabalhos em que se objetiva realizar uma abordagem territorial com distribuição de dados espaciais e a visualização da relação destes com variáveis relacionadas a vegetação e temperatura, podendo este processo ser aplicado também a intervalos históricos, o que coincide com os objetivos desta pesquisa.

Dados orbitais provenientes do sensoriamento remoto oferecem recursos para avaliar mudanças na paisagem com rapidez, periodicidade e de forma sinótica. Esse potencial pode ser utilizado para produção de dados informativos para o planejamento, desenho urbano e pesquisas sobre o clima da cidade. Um recurso valorizado do sensoriamento remoto reside em sua capacidade de adquirir imagens que cobrem uma grande área urbana e também o entorno rural, podendo-se quantificar diferenças na temperatura de superfície (índice espectral TST) e na cobertura vegetal (índice espectral NDVI, uso e cobertura do solo).

Diante desse contexto, e reconhecendo os poucos estudos sobre clima urbano no município de Várzea Grande, é que se explorou os dados de tipologia construtiva e cobertura da superfície municipal, sendo assim o objetivo geral do presente trabalho foi analisar a evolução das zonas climáticas locais e índices espectrais em Várzea Grande no ano 2005 e 2020.

Para alcançar o objetivo geral, foi necessário o desenvolvimento dos seguintes objetivos específicos:

- a) Classificar a tipologia construtiva e cobertura do solo do município de Várzea Grande por meio do método LCZ nos anos de 2005 e 2020;
- b) Determinar o índice NDVI e a TST a partir de imagens satelitais da área de estudo;
- c) Relacionar as classes LCZ, ao índice NDVI e TST para o município de estudo.

Esta pesquisa poderá contribuir com o planejamento urbano municipal por meio de mapas temáticos classificatórios, sensíveis às características paisagísticas de tipologia construtiva e cobertura do solo para a cidade de Várzea Grande, de modo a auxiliar os gestores da cidade na tomada de decisões ambientalmente orientadas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo tem a finalidade de apresentar conceitos decorrentes do estudo realizado e que auxiliaram o desenvolvimento desta pesquisa. A janela temporal utilizada nesta revisão de bibliografia foi de 5 anos, porém, algumas citações mais antigas foram utilizadas por sua relevante contribuição científica aderente ao tema.

### **2.1. CLIMA**

O clima é o resultado dinâmico de fatores globais como latitude, altitude, continentalidade e etc, fatores locais, como o revestimento do solo, topografia, vegetação, e também de elementos como temperatura, umidade, velocidade e direção predominante dos ventos e entre outros. Assim, clima é a integração dos estados físicos do ambiente característico de certa localidade geográfica (KOENIGSBERGER *et.al.*, 1997).

Mascaró (1996), define tempo como estado essencialmente variável, característica atmosférica de um determinado momento, considerado em relação aos fenômenos meteorológicos como temperatura, umidade e ventos. Já a definição de clima, é concedida como estado constante e previsível, relacionada à feição característica e permanente do tempo, num lugar em meio às suas infinitas variações. Assim, não há dois climas rigorosamente iguais, pois esta é a feição característica e permanente do tempo, constante e previsível.

Dentre os elementos do clima, pode-se afirmar que os de maior influência no conforto humano são: temperatura e umidade do ar, sendo a radiação solar e a ventilação os fatores climáticos mais representativos no processo (GIVONI, 1992).

Os fatores locais introduzem variações no clima condicionado, determinando e concedendo origem aos diferentes microclimas verificados em ambientes restritos como em bairros e ruas. Desta forma, o clima de uma área é composto pelos fatores climáticos, globais e locais, e ainda pelos elementos climáticos.

### **2.2. ELEMENTOS CLIMÁTICOS E AS ALTERAÇÕES DO CLIMA**

Os elementos climáticos são grandezas meteorológicas que variam no tempo e no espaço e que servem para definir o tipo climático de uma determinada região.

A temperatura do ar é um elemento climático resultante do aquecimento e resfriamento da superfície da terra. Neste sentido, a diferença de temperatura entre as áreas urbanas e seus arredores é conhecida como ilha de calor, causada pelas alterações que o desenvolvimento urbano provoca no balanço de energia onde a cidade está localizada (OKE *et. al.*, 2017).

Conforme Gartland (2010), existem duas razões para o aquecimento de regiões urbanas, a primeira se refere aos materiais de construção, que em sua maior parte são impermeáveis e estanques, assim não havendo umidade suficiente para dissipar o calor do sol. A segunda razão refere-se a combinação de materiais escuros de edifícios e pavimentos em geometria do tipo cânion, que absorvem e armazenam mais energia. Outras contribuições para a formação das ilhas de calor, são: calor antropogênico, padrões de menor velocidade do vento e poluição do ar.

É conveniente que as informações espaciais utilizadas para o entendimento dos fenômenos climáticos sejam organizadas por meio de escalas durante as análises que se deseja realizar. Pode-se buscar entender o clima na direção vertical ou horizontal, este último é o de maior utilização e é subdividido em três escalas: a mesoescala que verifica a influência da cidade no tempo e no clima, a escala local que envolve as regiões da cidade, como bairros com características semelhantes e, a microescala, ou seja, a camada limite urbana, que abrange áreas ao entorno de edificações, arruamentos, corpos hídricos e espaços verdes (OKE, 2004).

A direção vertical possui duas divisões, uma é a camada de cobertura urbana ou escala topoclimática que pode ser definida como a porção da atmosfera partindo do nível do solo até a altura média das edificações. A outra divisão da escala vertical é a camada limite urbana, que é a porção da atmosfera que está acima da camada de cobertura urbana e dentro da camada limite planetária, sendo uma cada de escala mesoclimática influenciada pelo tecido urbano (OKE, 2004).

### **2.3. CLASSIFICAÇÃO DA MORFOLOGIA URBANA**

O avanço das discussões e a presente necessidade de geração de planos de adaptação climática em função da preocupação mundial com relação as alterações climáticas, têm gerado um crescente interesse na criação de mapas climático urbano (FERREIRA; PIMENTEL; VIANNA; 2019).

Este trabalho não teve a finalidade de elaborar um mapa climático urbano, mas de promover uma classificação da paisagem, baseada em elementos que influenciam no clima, como cobertura e tipologia construtiva, podendo, assim como os mapas climáticos urbanos, auxiliar os gestores das cidades na tomada de decisões ambientalmente orientadas.

Uma das formas de se integrar os estudos relacionados à cobertura do solo em meio urbano, dimensões e afastamento entre as edificações e fator cânion urbano, é a partir das Zonas Climáticas Locais (LCZ) (OKE *et al.*, 2017). Sendo essa uma metodologia que contribuiu com a presente pesquisa, já que um dos objetivos específicos é o de classificar a morfologia construtiva e cobertura do solo da cidade de Várzea Grande-MT sob o viés climático.

### **2.3.1. Zonas Climáticas Locais (LCZ)**

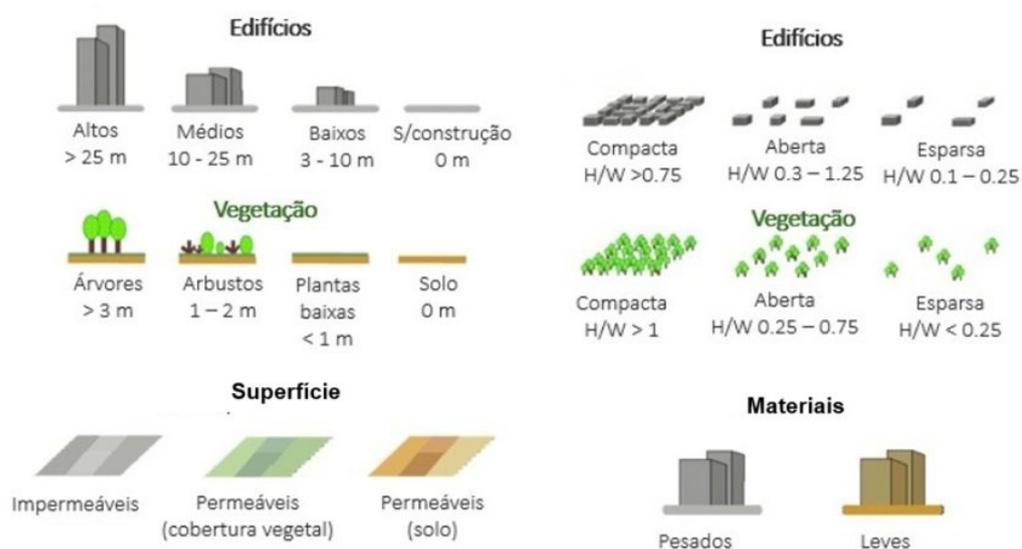
Em 1956, Landsberg comparou o centro urbano de Londres com seus arredores e observou médias térmicas anuais superiores na cidade, principalmente quando observou a temperatura mínima. No ano de 1965, Chandler monitorou a ilha de calor urbana em Londres e encontrou diferenças de até 2°C na área central, no verão, em relação às suas imediações. Em seu trabalho, Chandler utilizou uma classificação para a cidade baseada no clima e forma construída. Em 1978, Auer propôs um modelo de classificação conforme locais meteorologicamente similares, com base nas características de vegetação e construção da cidade (STEWART; OKE, 2012).

Em 1991, Ellefsen derivou algumas classes urbanas a partir da geometria, configuração da rua e materiais de construção. Oke em 2004 e 2008 desenvolveu as zonas climáticas urbanas considerando a estrutura urbana, cobertura, tecido, metabolismo e potencial de influenciar o clima natural. Anos depois, em 2011, Loridan e Grimmond desenvolveram as zonas urbanas para caracterizar as variações energéticas, ou seja, envolveu áreas urbanas conforme a radiação recebida (STEWART; OKE, 2012).

Também em 2011, Iain Stewart elaborou as Zonas Climáticas Locais (LCZs), e em 2012 em conjunto com Timothy Oke corroboraram a pesquisa por meio de publicação científica. De forma geral, o sistema é realizado com base em

uma classificação que é local na escala de análise, climático por envolver propriedades físicas e radiativas e zonal pela distribuição espacial padronizada.

Assim, as tipologias construtivas para classificação são divididas entre altura dos edifícios (alto, médio, baixo), arranjo físico (compacta, aberta, esparsa), presença de arborização, permeabilidade do solo e materiais de construção (Figura 1). As classes são baseadas em uma escala espacial horizontal de centenas de metros à vários quilômetros, desde que mantidas as características homogêneas das edificações e cobertura e uso do solo.



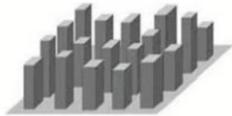
**FIGURA 1** - Estrutura das classes do sistema LCZ

FONTE: OKE, 2012

Esse sistema é composto por 17 LCZs, sendo 10 LCZs definidas por tipologias e a forma de adensamento das construções (Tabela 1) e 07 LCZs relativas a cobertura do solo e suas propriedades de superfícies (Tabela 2) (STEWART; OKE, 2012).

**TABELA 1** - Tipologias Construtivas para classificação por LCZ

Tipologia Construtiva	Definição
LCZ 1. Alto Compacto	Edifícios altos em arranjo compacto. Áreas densamente construídas, com edifícios com mais de 10 pavimentos. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de

	construção em concreto, aço, pedra e vidro.
LCZ 2. Médio Compacto	Edifícios de altura média em arranjo compacto (3 a 9 andares). Áreas densamente construídas. Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, azulejo e concreto.
	
LCZ 3. Baixo Compacto	Edifícios baixos em arranjo compacto (1 a 3 andares). Áreas densamente construídas. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, azulejo e concreto.
	
LCZ 4. Alto Aberto	Edifícios altos em arranjo aberto. Áreas de menor adensamento com edifícios com mais de 10 pavimentos. Abundância de cobertura permeável do solo (vegetação herbácea, arbustiva ou árvore espalhadas). Materiais de construção em concreto, aço, pedra e vidro.
	
LCZ 5. Médio Aberto	Edifícios de altura média em arranjo aberto (3 a 9 andares). Áreas de menor adensamento. Abundância de cobertura permeável do solo (vegetação herbácea, arbustiva ou árvores espalhadas). Materiais de construção em concreto, aço, pedra e vidro.
	
LCZ 6. Baixo Aberto	Edifícios baixos em arranjo aberto (1 a 3 andares). Áreas de menor adensamento. Abundância de cobertura permeável do solo (vegetação herbácea, arbustiva ou árvores espalhadas). Materiais de construção em madeira, tijolo, pedra, azulejo e concreto.
	
LCZ 7. Baixo Precário	Edifícios baixos e leves, com pouca inércia térmica. Áreas densamente construídas, com edifícios de um pavimento. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo predominantemente compacta. Construção leve (materiais de madeira, palha, metal corrugado).
	
LCZ 8. Baixo Grande	Grandes construções de baixa altura em arranjo aberto (1 a 3 andares). Pouca ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Aço, concreto, metal e pedra como materiais de construção.
	

LCZ 9. Ocupação Esparsa



Disposição esparsa de edifícios de baixo e médio porte em um ambiente natural. Abundância de terras permeáveis com cobertura de vegetação herbácea, arbustiva ou árvores espalhadas.

LCZ 10. Indústria Pesada



Estruturas industriais baixas e médias (torres, tanques, pilhas). Poucas ou sem árvores. Cobertura do solo principalmente pavimentada ou impermeável. Materiais predominantes em metal, aço e concreto.

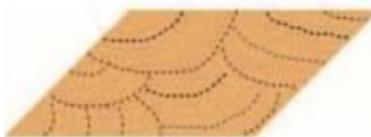
FONTE: Adaptado de STEWART; OKE, 2012

A seguir é demonstrada, pela Tabela 2, as categorias referente às possíveis coberturas do solo, para a classificação de LCZ proposta por Stewart e Oke (2012).

**TABELA 2 - Cobertura do Solo para Classificação por LCZ**

<b>Tipo de Cobertura do Solo</b>	<b>Definição</b>
LCZ A. Vegetação Arbórea Densa 	Áreas densamente cobertas por vegetação arbórea decídua e/ou perene. Cobertura do solo predominantemente permeável, com vegetação herbácea. A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.
LCZ B. Vegetação Arbórea Esparsa 	Áreas cobertas por vegetação esparsa decídua e/ou perene. Cobertura do solo predominantemente permeável, com vegetação herbácea. A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.
LCZ C. Vegetação Arbustiva 	Áreas cobertas por vegetação esparsa arbustiva e vegetação arbórea de pequeno porte. Cobertura do solo predominantemente permeável (solo exposto ou areia). A função da zona é mato natural ou agricultura.
LCZ D. Vegetação Herbácea 	Áreas cobertas por vegetação herbácea. Poucas ou nenhuma árvore. A função da zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano.
LCZ E. Rocha ou Pavimento 	Áreas cobertas por rochas ou pavimentos impermeáveis. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função de zona é o deserto natural (rocha) ou transporte urbano.

LCZ F. Solo Exposto



Áreas cobertas por solo exposto ou areia. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é deserto natural ou agricultura.

LCZ G. Água



Corpos de água: mares, lagos, rios, reservatórios e lagoas.

FONTE: Adaptado de STEWART e OKE, 2012

Após a identificação do tipo de arranjo físico e altura das edificações, procede-se para as demais propriedades (Tabela 3). As características seguintes a serem observadas são as referentes à cobertura do solo, como fração de área permeável, impermeável e projeção das edificações. Se a classe não for identificada a partir desses valores, deve-se apontar uma classe mais aproximada.

**TABELA 3** - Valores de referência para geometria e cobertura das superfícies das LCZs.

Classes LCZ	Fator de visão do céu	Relação H/W	Razão de projeção dos edifícios	Razão da área impermeável	Razão da área permeável	Altura média dos elementos	Rugosidade do terreno
1	0,2 - 0,4	> 2	40 - 60	40 - 60	< 10	> 25	8
2	0,3 - 0,6	0,75 - 2	40 - 70	30 - 50	< 20	10 - 25	6 - 7
3	0,2 - 0,6	0,75 - 1,5	40 - 70	20 - 50	< 30	3 - 10	6
4	0,5 - 0,7	0,75 - 1,25	20 - 40	30 - 40	30 - 40	> 25	7 - 8
5	0,5 - 0,8	0,3 - 0,75	20 - 40	30 - 50	20 - 40	10 - 25	5 - 6
6	0,6 - 0,9	0,3 - 0,75	20 - 40	20 - 50	30 - 60	3 - 10	5 - 6
7	0,2 - 0,5	0,1 - 0,2	60 - 90	< 20	< 30	2 - 4	4 - 5
8	> 0,7	0,1 - 0,3	30 - 50	40 - 50	< 20	3 - 10	5
9	> 0,8	0,1 - 0,25	out/20	< 20	60 - 80	3 - 10	5 - 6
10	0,6 - 0,9	0,2 - 0,5	20 - 30	20 - 40	40 - 50	5 - 15	5 - 6
A	< 0,4	> 1	< 10	< 10	> 90	3 - 30	8
B	0,5 - 0,8	0,25 - 0,75	< 10	< 10	> 90	3 - 15	5 - 6
C	0,7 - 0,9	0,25 - 1,0	< 10	< 10	> 90	< 2	4 - 5

D	> 0,9	< 0,1	< 10	< 10	> 90	< 1	3 – 4
E	> 0,9	< 0,1	< 10	> 90	< 10	< 0,25	1 – 2
F	> 0,9	< 0,1	< 10	< 10	> 90	< 0,25	1 – 2
G	> 0,9	< 0,1	< 10	< 10	> 90	-	1

**Nota:** as razões estão em porcentagem, a altura dos elementos em metros e as demais propriedades são adimensionais.

**FONTE:** Adaptado de STEWART e OKE, 2012

A classificação por LCZ por ser padronizada facilita tanto sua aplicação quanto a interpretação dos resultados obtidos, inferindo-se do processo que cada LCZ possui um regime de carga térmica proveniente das combinações dos elementos e propriedades de superfície que a compõem.

Stewart e Oke (2012), recomendam que cada LCZ tenha um diâmetro mínimo de 400 a 1.000m para que as condições de ar em uma determinada classe seja o mais homogênea possível, porém, pode ocorrer a existência de heterogeneidades internas às LCZs que pode variar entre cidades, tipos de desenho urbano, planejamento e até mesmo se um setor urbano está em fase de expansão, nas adjacências da cidade, ou totalmente consolidado.

Também, as classes principais podem não ser totalmente verificadas em algumas cidades e adaptações devem ser processadas. Uma alternativa é a criação de subclasses por meio da combinação de duas classes principais. Porém, os criadores da metodologia LCZ não recomendam a criação de muitas subclasses que podem aumentar a complexidade do processo sem benefícios. Principalmente em relação ao campo térmico, que pode não ser diferente das classes principais (STEWART e OKE, 2012).

Recentemente houve uma adaptação com relação ao processo de classificação da paisagem e, que impulsionou a aplicação das LCZs, o uso de classificadores automáticos como o *LCZ Generator* descrito pelo *World Urban Database and Access Portal Tools* (WUDAPT) e programas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

### 2.3.2. *LCZ Generator*

Hidalgo *et al* (2019) destaca um avanço na utilização de métodos de

classificação que buscam padrões homogêneos para auxiliar no planejamento e na pesquisa de clima urbano. A padronização facilita a comparação dos resultados de estudos climáticos, analisando a variabilidade entre as zonas urbanas, por exemplo.

Em 2015, como parte do projeto WUDAPT, foi desenvolvido um protocolo que permite o mapeamento de cidades em LCZs, com o auxílio de dados e pacotes de *software* gratuitos.

Esse programa utiliza imagens de satélite da coleção Landsat e Sentinel, e o procedimento para criar um mapa com a classificação de LCZ demanda um conjunto de áreas de treinamento e um algoritmo de classificação de imagens. O mapeamento pode ser realizado para diferentes períodos, a depender da evolução urbana. Para tanto, é necessário que as áreas de treinamento sejam representativas do período considerado, e uma imagem de satélite deve estar disponível nesse período (Bechtel *et al*, 2015).

O algoritmo de classificação de imagens é responsável pelo processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões homogêneos. A imagem classificada representa um mapa digital temático onde somente as classes que são espectralmente distinguíveis na imagem estarão presentes. Os valores de *pixels* que identificam uma classe específica de alvo ou objeto real da natureza, são chamados de padrões (Bechtel *et al*, 2015).

Demuzere, Kittner e Bechtel (2021) descrevem a utilização do LCZ *Generator* em três etapas, contanto que o conjunto de áreas de treinamento para seu classificador já tenha sido criado. Então, primeiramente, as informações pessoais e as áreas de treinamento são enviadas por meio do aplicativo da *web*. Se a submissão for bem sucedida, a classificação LCZ e controle de qualidade são disparados no *back-end*. Na terceira etapa os resultados são enviados ao usuário via *e-mail*.

Após a identificação do tipo de arranjo físico e altura das edificações, procede-se para as demais propriedades, como cobertura do solo em relação a área permeável, impermeável e projeção das edificações. Quando não há correspondência com nenhuma das classes dispostas no método, utiliza-se a classe de maior aproximação.

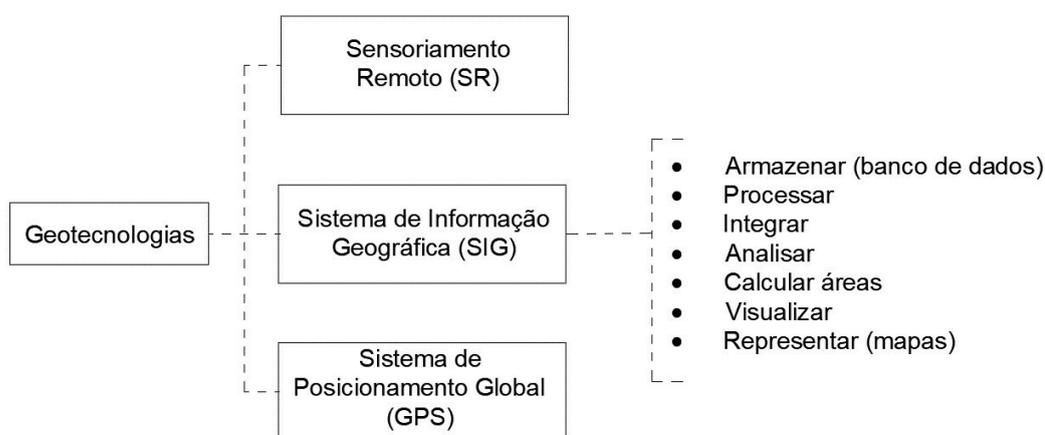
Pela Tabela 3 apresentada acima foi possível entender sobre os valores de referência que auxiliam a identificação das zonas climáticas locais, incluindo fator de visão do céu, relação altura/largura dos cânions urbanos (LCZ 1 – 7), entre

edifícios (LCZ 8 – 10) e entre árvores (LCZ A – F), razão da área de projeção dos edifícios pela área total da amostra, razão da área impermeável pela área total da amostra, razão da área permeável, altura média dos edifícios (LCZ 1 - 10) ou das árvores e plantas (LCZ A – F) e rugosidade do terreno.

Mais detalhes sobre as etapas de procedimento para elaboração do mapa classificatório de LCZ foram descritos no capítulo metodológico deste trabalho.

## 2.4. GEOTECNOLOGIA

Conforme descreve Schmitz (2012), o geoprocessamento pode ser definido como uma disciplina que utiliza de técnicas matemáticas e computacionais para tratamento de informação geográfica. Nesse contexto, existem diferentes aplicações das geotecnologias, conforme se dão os objetivos práticos do trabalho. Na Figura 2, é possível visualizar as possíveis formas de se utilizar a técnica do geoprocessamento.



**FIGURA 2** - Elementos do geoprocessamento e funções do SIG

**FONTE:** Adaptado de SCHMITZ, 2012

Adiante, foram descritas as técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizadas nos procedimentos metodológicos desta tese.

### 2.4.1. Sensoriamento Remoto

O SR pode ser definido como uma técnica empregada que permite a obtenção

de informações sobre objetos na superfície do planeta, onde no entanto, não é necessário que se tenha contato físico entre o sensor e o objeto imageado (NOVO; PONZONI, 2001).

Até meados dos anos 2000, estudos de efeitos urbanos sobre meteorologia e clima foram realizados para locais isolados e com medidas *in loco*. Com o advento dos satélites de monitoramento terrestre de alta resolução, tornou-se possível estudar esses efeitos de forma remota e em escalas continentais ou globais (BRITO, 2018).

A evolução da fotografia e da pesquisa espacial foi importante para que houvessem evoluções relacionadas ao SR, já que esse processo é realizado por sensores e equipamentos que registram dados da interação da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

Conforme relatam Novo e Ponzoni (2001), para que o procedimento do sensoriamento remoto ocorra de forma adequada, é necessário que existam quatro elementos, a saber:

- a) a radiação eletromagnética (REM);
- b) a fonte de REM;
- c) o sensor de captura e registro da REM refletida ou emitida;
- d) o alvo que é o elemento sobre o qual se deseja obter informações.

Os autores imediatamente supracitados, destacam que, as técnicas de SR coletam a energia nas regiões do espectro eletromagnético, este composto por diferentes comprimentos de onda ou regiões, mais conhecidas como bandas. Os sensores de diversos satélites são multiespectrais ou hiperespectrais, de onde infere-se que capturam imagens da superfície terrestre por bandas espectrais amplas.

Tais sensores medem variáveis, como a temperatura de superfície terrestre (TST) de forma indireta, detectando nesse caso, a radiação de onda longa, que pode ser caracterizada como radiância aparente por incluir a influência da atmosfera e de objetos vizinhos, sendo convertida em números digitais (ND) no próprio sensor, e que posteriormente deve ser convertida para radiância espectral no topo da atmosfera e depois, em temperatura de brilho (ZHOU *et al.*, 2019).

Em relação às imagens satelitais obtidas pelo procedimento do SR, infere-se

de diversas publicações científicas que as provenientes dos satélites da série Landsat têm sido amplamente utilizadas. Esta série de satélites iniciou na década de 60 e perdura até os dias atuais, neste período já foram lançados nove satélites, cada qual com suas especificidades.

Para esta pesquisa, utilizou-se imagens obtidas da série Landsat 5 e Landsat 8, por se encaixarem na série temporal de análise. O satélite Landsat 5 foi lançado no ano de 1984, e permaneceu em órbita por 28 anos até ser desativado, já o Landsat 8 está desde o ano de 2013 em atividade. Demais características de cada satélite podem ser visualizadas por meio da Tabela 4 a seguir.

**TABELA 4 - Características dos satélites Landsat 5 e Landsat 8**

	Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral		
			( $\mu\text{m}$ )	Resolução (m)	
Landsat 5	TM	Banda 1 - Azul Visível	0,45 - 0,52	30	
		Banda 2 - Verde Visível	0,52 - 0,60	30	
		Banda 3 - Vermelho Visível	0,63 - 0,69	30	
		Banda 4 - Infravermelho Próximo	0,76 - 0,90	30	
		Banda 5 - Infravermelho Próximo	1,55 - 1,75	30	
		Banda 6 - Térmica	10,40 - 12,50	120	
		Banda 7 - Infravermelho Médio	2,08 - 2,35	30	
	MSS	Banda 4 - Verde Visível	0,5 - 0,6	80	
		Banda 5 - Vermelho Visível	0,6 - 0,7	80	
		Banda 6 - Infravermelho Próximo	0,7 - 0,8	80	
		Banda 7 - Infravermelho Próximo	0,8 - 1,1	80	
	Landsat 8	OLI	Banda 1 - Aerossol Costeiro	0,43 - 0,45	30
			Banda 2 - Azul	0,45 - 0,51	30
			Banda 3 - Verde	0,53 - 0,59	30
Banda 4 - Vermelha			0,64 - 0,67	30	
Banda 5 - Infravermelho Próximo			0,85 - 0,88	30	
Banda 6 - SWIR 1			1,57 - 1,65	30	
Banda 7 - SWIR 2			2,11 - 2,29	30	
Banda 8 - Pancromática (PAN)			0,50 - 0,68	15	
Banda 9 - Cirrus			1,36 - 1,38	30	
TIRS		Banda 10 - TIRS 1	10,6 - 11,19	100	
		Banda 11 - TIRS 2	11,5 - 12,51	100	

**FONTE:** Adaptado de USGS, 2022

Importante destacar que, pode-se fazer uso de diferentes gerações de satélite, todavia, é necessário que para cada geração seja proporcionada aos devidos tratamentos de dados.

O SR pode ser aplicado em pesquisas com viés climático, tanto em meio rural/urbano como intra-urbano, onde, a partir de informações das bandas termais, pode-se obter detalhes da distribuição da temperatura superficial por malha e fazer correlações com uso do solo, forma urbana, presenças de recursos verdes ou hídricos (WERNECK, 2022).

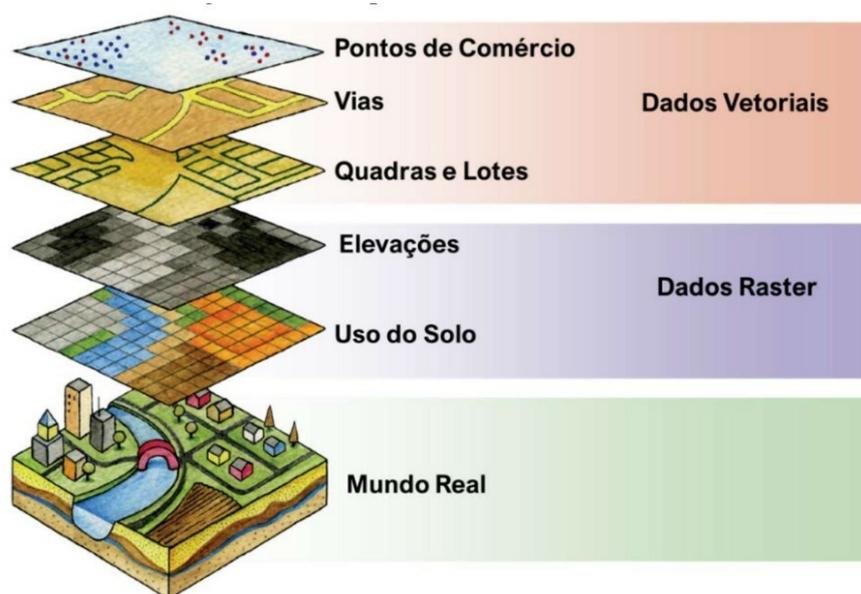
Prado, Fialho e Santos (2020), buscaram por meio da técnica de SR, analisar a espacialidade do campo termal e sua correlação com a ocorrência do uso do solo urbano para uma região de sítio de planalto dissecado, com existência de inúmeros topoclimas. A conclusão foi a de que a técnica do SR permitiu melhor espacialização e identificação de núcleos de calor.

Vale ressaltar também que quando existe o interesse de se estudar o clima urbano dos municípios, nem sempre existem estações meteorológicas, principalmente no que se refere aos municípios de médio e pequeno porte, e mesmo nos locais de grande porte, o quantitativo de estações pode ser insuficiente e não representativo de toda a área de estudo, e é neste contexto que o SR possui relevância para o desenvolvimento de pesquisas para o clima urbano.

#### **2.4.2. Sistema de Informação Geográfica**

Os SIGs, constituem-se em uma importante plataforma para a elaboração de classificações e mapas climáticos urbanos, pois é possível atualizar, gerenciar, acrescentar ao longo do tempo as diferentes informações espaciais que abastecem o sistema, e a partir do surgimento dessa tecnologia, a mesma foi aplicada nos estudos sobre climatologia urbana (FERREIRA; PIMENTEL; VIANNA; 2019).

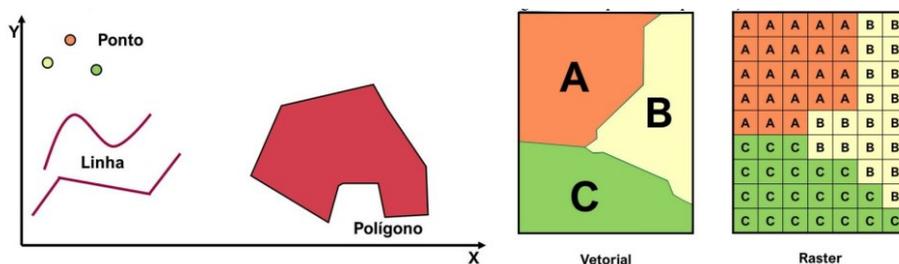
Além de que, ao manusear um programa de SIG, a informação pode ser separada em diferentes camadas independentes, que suportam ser sobrepostas, permitindo que a integração pela posição e topologia dos objetos, gerem uma nova informação. A Figura 3 demonstra alguns exemplos de camadas de dados em um SIG.



**FIGURA 3** - Exemplos de camadas que podem integrar um SIG.

FONTE: SCHMITZ, 2012

Como pode ser observado na Figura 3, os dados em um SIG, podem ser vetoriais ou matriciais (*raster*), de acordo com a forma como são inseridos no *software*. Como característica, os dados vetoriais possuem coordenadas geográficas, podendo ser expressos por meio de linhas, pontos ou polígonos. Já os dados *raster* também conhecidos como matriciais, possuem esta nomenclatura por estarem dispostos em uma estrutura matricial, chamada de grade, composta por linhas e colunas com valores associados à cada célula, que pode também ser chamada de *pixel*. A Figura 4 demonstra de forma sintetizada os tipos de dados de cada formato de arquivo SIG.



**FIGURA 4** - Formatos de arquivos SIG

FONTE: Adaptado de LIMA, 2023

Nesta tese, ambos os formatos de arquivos SIG foram utilizados para mapeamento por LCZ. Os mapas são representações cartográficas do ambiente cultural e físico, e nos últimos anos os avanços em *hardwares* de computadores e tecnologias de *softwares*, associados aos SIGs, tem modificado profundamente a forma como essas representações são criadas e utilizadas (SILVA *et al.*, 2022).

Atualmente, estão disponíveis diversos SIGs, entretanto, dois se destacam: ArcGis e *Quantum GIS* (Qgis). O Qgis foi desenvolvido em linguagem *Python*, é um *software* SIG livre de código fonte aberto, com interface em vários idiomas e comunidade de apoio ao seu desenvolvimento e elaboração de ferramentas (*plugins*). O *software* SIG utilizado nesta pesquisa foi o QGIS.

Duas das camadas, comumente aplicadas em estudos de climatologia, são relativas aos índices de vegetação como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Temperatura de Superfície Terrestre (TST), que, de acordo com o levantamento de Zhou *et. al.* (2019), o uso dessas e outras variáveis, por meio do SR ganhou impulso a partir de 2005, e isso pode ser atribuído à rápida urbanização, mas também as técnicas de SR, que melhoraram a quantidade e qualidade dos dados, em especial, àqueles oriundos da série Landsat.

### 2.4.3. Temperatura de superfície terrestre (TST)

A temperatura de superfície terrestre (TST) pode ser definida como a temperatura sentida quando há uma troca de radiação de ondas longas e fluxos de calor turbulentos na interface superfície-atmosfera. Dados para a sua determinação são obtidos por meio de imagens de satélite, onde o procedimento matemático irá depender do sensor termal acoplado ao satélite (PRADO; FIALHO; SANTOS, 2020).

Lombardo (1985), realizou uma das primeiras pesquisas envolvendo parâmetros naturais e de uso do solo urbano com imagens de satélite, encontrando um gradiente de temperatura horizontal superior a 10°C entre o centro e a área rural.

Pelo desenvolvimento do método de classificação LCZ de Stewart e Oke (2012), algumas associações entre a TST e as classes identificadas na área de estudo, foram realizadas, onde os pesquisadores buscaram discutir e compreender a heterogeneidade das áreas de estudo, as diferenças da TST entre as LCZs e como

isso reflete no clima local (MANANDHAR *et. al.*, 2019; FERREIRA, 2020; MAIGUA, 2020; WERNECK, 2022).

Manandhar *et. al.* (2019), em Abu Dhabi, classificaram o ambiente urbano por LCZs e integraram dados de temperatura adquiridos por sensores no ambiente urbano e de TST oriundos de imagens satelitais do sensor MODIS, assim, identificaram a existência do efeito da ilha de calor nas diferentes zonas climáticas.

Ferreira (2020), para a macrozona urbana de São José dos Campos – SP, detectou por análise exploratória de dados espaciais, a dependência entre a TST e o espaço, além de verificar a influência dessa nos processos de retroalimentação do sistema climático urbano.

Maigua (2020), explorou a relação existente entre a TST e LCZ para a cidade de Quito no Equador com imagens do satélite Landsat 8. Na pesquisa, foram identificadas 17 LCZ e por meio da geoestatística foi confirmada a existência de uma correlação moderada negativa com a TST.

Werneck (2022), relacionou para o Distrito Federal (DF), as LCZ existentes com TST e também índices de vegetação como Índice de Vegetação Melhorado (EVI) e o Índice de Umidade de Diferença Normalizada (NDMI), obtendo como conclusão de que existem para as classes LCZ diferentes respostas térmicas no tecido urbano do DF.

Além de que, para a Organização Meteorológica Mundial (OMM), a TST é uma variável climatológica essencial, que contribui para a caracterização do clima na Terra, podendo ser utilizada como um indicador de mudanças climáticas.

#### **2.4.4. Índices de vegetação normalizado**

Os índices de vegetação representam a atividade fotossintética da vegetação com variações estruturais do dossel (MARION, *et. al.*, 2021), e assim como citado em diversas pesquisas, podem ser obtidos por diferentes formulações.

Um dos índices de vegetação é o NDVI, que é usado como indicador para avaliar a existência e qualidade da vegetação no tecido urbano (SOUSA FILHO, *et. al.*, 2008). O NDVI quantitativamente é definido como sendo a razão existente entre o espectro vermelho e o infravermelho próximo (Equação 1).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

Equação 1

Onde;

NIR: valor da refletância da banda no infravermelho próximo;

Red: valor de refletância da banda no vermelho.

A Equação 1, gera um índice entre -1 e 1, onde valores negativos refletem regiões com corpos de água e os valores positivos, quanto maiores, maior o verdor vegetativo do local (SOUSA FILHO, *et. al.*, 2008).

Ferreira (2019), para a região metropolitana de São Paulo, além de relacionar às LCZ com a TST, a pesquisadora relacionou a vegetação por NDVI com imagens de satélite referente aos anos de 2002 e 2017, e ao final, encontrou as diversas correlações entre as variáveis em análise no área de estudo.

Reis e Lopes (2019), para a cidade de Lisboa, utilizaram imagens do Landsat 8 para estimar o potencial de resfriamento das áreas verdes com o índice NDVI, e concluíram que uma área com 50m<sup>2</sup> de vegetação tem a potencialidade de resfriar o ar em 1°C, destacando que nesse contexto, o tipo de vegetação é importante para o resfriamento.

Conforme relata Pinheiro (2021), o estudo da vegetação urbana com SR fornece múltiplos indicadores biofísicos, quais auxiliam no entendimento de situações envolvendo a supressão da cobertura vegetal, que por vezes, acompanha a impermeabilização do solo e redução da infiltração de água no solo, colaborando com as consequências negativas associadas ao clima via as alterações microclimáticas.

Pela relevância das estruturas verdes em ambientes urbanos, citados como fundamentais para a transição das cidades rumo a sustentabilidade e resiliência, e pelas intervenções que atualmente têm sido consideradas, como àquelas soluções baseadas na natureza (SBN), infraestruturas verdes e azuis, bem como arquitetura biofílica, observa-se a aplicação de técnicas tendo como base o tecido urbano extraído de imagens satelitais com análises envolvendo variáveis como TST e NDVI, que podem influenciar de forma significativa no efeito das ilhas de calor urbanas, resfriamento/aquecimento e de conforto/desconforto térmico humano, em especial, no verão ou em períodos quente-seco.

Em se tratando de período quente-seco, conforme Rodrigues *et. al.*, (2017), essa época é caracterizada por temperaturas altas e umidade relativa do ar baixa. Um agravante a ser citado é a ocorrência do fenômeno El Niño, que provoca mais chuvas na região Sul e menos no Norte do Brasil, e também proporciona um clima mais quente em algumas regiões, como Centro-Sul do país.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

Neste tópico foi realizada uma abordagem histórica da área de estudo, com ênfase em seu desenvolvimento populacional além de outras características importantes a temática da pesquisa.

#### 3.1.1. Histórico de Várzea Grande

Em meados de 1867, na margem direita do rio Cuiabá, o brigadeiro José Viera Couto de Magalhães, fundou Várzea Grande, que inicialmente abrigou o acampamento militar da Guerra do Paraguai e, após o cessar da Guerra, houve a fixação de moradias dos remanescentes da Guerra, como soldados e paraguaios. Assim, pela Lei Estadual nº 145 de 08 de abril de 1896, foi criado o distrito de Cuiabá com o nome de Várzea Grande (TAVARES, 2011).

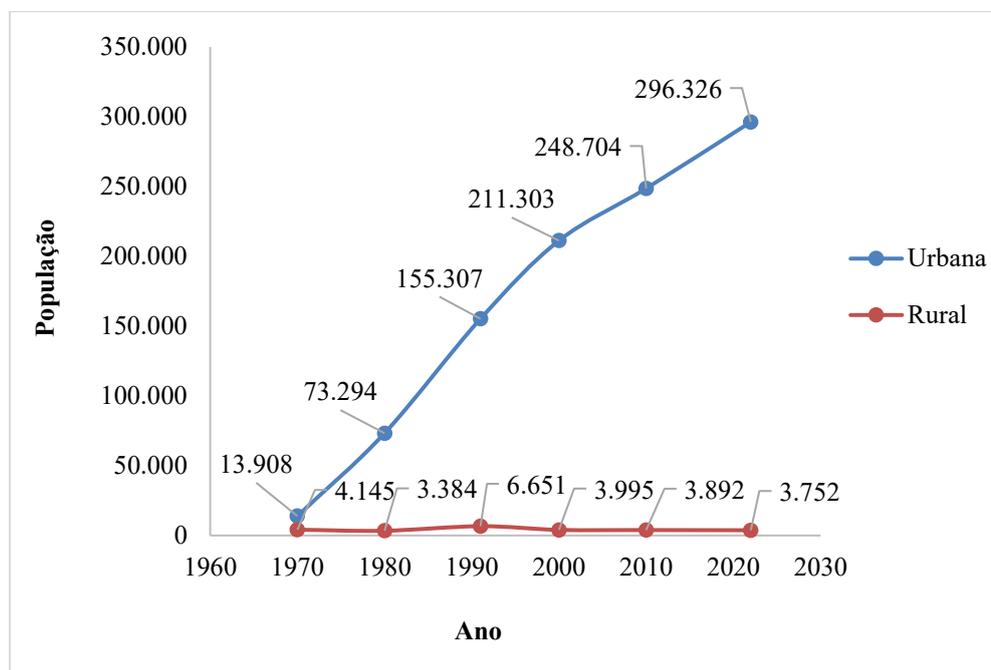
No século XX, a cidade de Várzea Grande experimentou um processo de crescimento efetivo, que se desencadeou a partir de 1942, quando o interventor Júlio Müller inaugurou a ponte de concreto unindo Várzea Grande a Cuiabá e dotou a cidade de energia elétrica. Nessa época é que de fato foram materializadas as condições com as quais o povoado do local pode crescer e pleitear a sua emancipação político-administrativa, que veio a se efetivar em 23 de setembro de 1948, pela Lei Estadual nº 126, de autoria do deputado Licínio Monteiro da Silva (NOVAIS *et al.*, 2017).

Aproximadamente um ano após sua emancipação, uma área da cidade foi repassada ao Ministério da Aeronáutica para a construção do Aeroporto Marechal Rondon, mais um fator decisivo para o aumento da população no município (SANTOS, 2013).

Antes de 1960, a população urbana várzea-grandense estava localizada nas proximidades do Aeroporto Marechal Rondon, Rio Cuiabá e Avenida da FEB. A partir da década de 70, Várzea Grande passa da categoria de cidade dormitório para a de centro industrial. Esta passou a crescer mais com as políticas de desenvolvimento e ocupação do centro-oeste a partir de incentivos fiscais e doações de terras, quando indústrias se instalaram na região (COX, 2008).

Com isso, criaram-se as bases que deram novos rumos ao desenvolvimento municipal, formando uma nova identidade econômica. Na Figura 5 é demonstrado

o crescimento da população várzea-grandense a partir dos anos 1970 até 2022.



**FIGURA 5** - População da cidade de Várzea Grande no período de 1970 à 2010

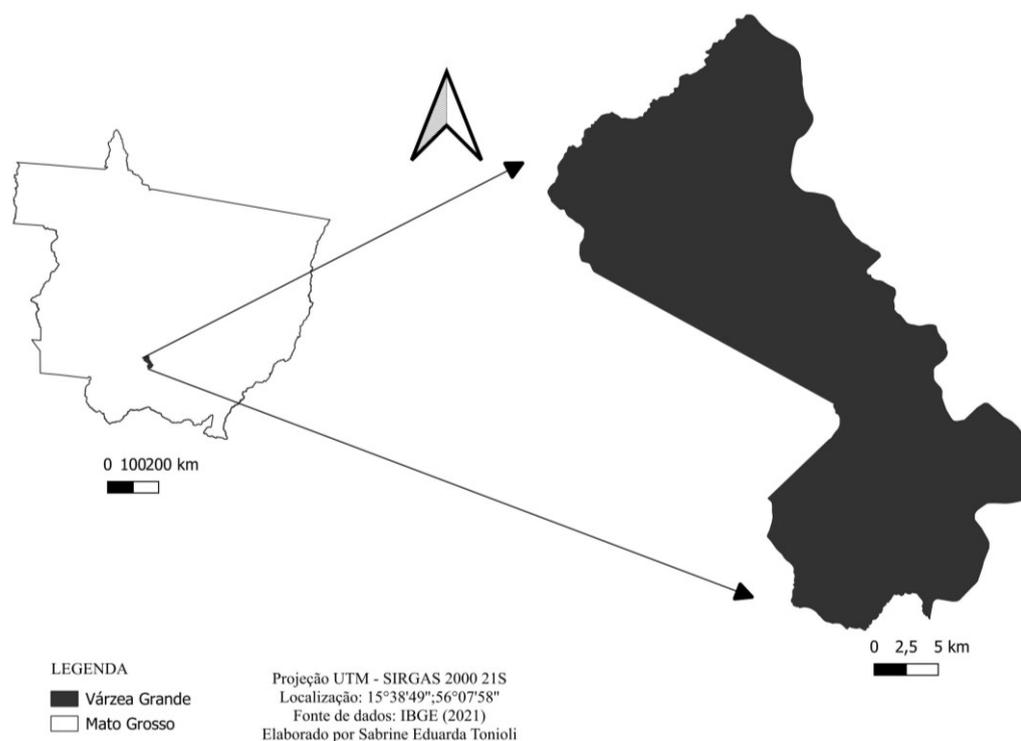
**FONTE:** Adaptado de IBGE, 2022

O período entre 1980 e 1990 foi o de maior crescimento populacional da cidade, e que também é marcado por construções informais de habitações e deficiências em infraestrutura urbana. Nos anos de 1990 e 2000, houve crescimento no número de loteamentos da cidade em vistas à sua expansão, porém o número de loteamentos aprovados pela prefeitura não acompanhou o crescimento populacional da cidade (OLIVEIRA, 2016). Conforme o Censo Demográfico publicado no ano de 2022, a população do município atingiu 300.078 habitantes (IBGE, 2022).

Pode-se perceber que na cidade de Várzea Grande, houve um intenso crescimento nos últimos 50 anos, o que provocou profundas e significativas alterações no ambiente natural de forma não controlada e não planejada, acarretando em prejuízos ao meio físico e na qualidade de vida da população. Essa ocupação desenfreada e desordenada originou um município com cerca de 60% das moradias classificadas como sem infraestrutura urbana, como pavimentação, iluminação e rede de esgoto (IBGE, 2010).

### 3.1.2. Caracterização do município

Várzea Grande (Figura 6), situa-se à margem direita do rio Cuiabá, pertence à Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá (RMVRC), é a segunda cidade mais populosa do estado e a sétima cidade mais populosa da Região Centro-Oeste, apresentando uma densidade demográfica de 414,31 habitantes/km<sup>2</sup> com extensão territorial de 724,279km<sup>2</sup> e 69,7% de arborização em vias públicas (IBGE, 2022)



**FIGURA 6** - Localização da cidade de Várzea Grande a partir do estado de Mato Grosso

FONTE: IBGE, 2021

A cidade está localizada a 15°38'49'' latitude sul e a 56°07'58'' longitude oeste, onde o bioma predominante é o cerrado o que lhe confere uma cobertura vegetal típica, possuindo também traços do bioma amazônico. O clima na cidade é caracterizado como tropical de savana de acordo com a classificação climática de Koppen-Geiger, e a temperatura média anual fica em torno de 25,9°C, com tempo médio de insolação de 1.500 horas anuais e umidade relativa de 60%. A precipitação média é de 1.750 milímetros anuais distribuídos de forma concentrada

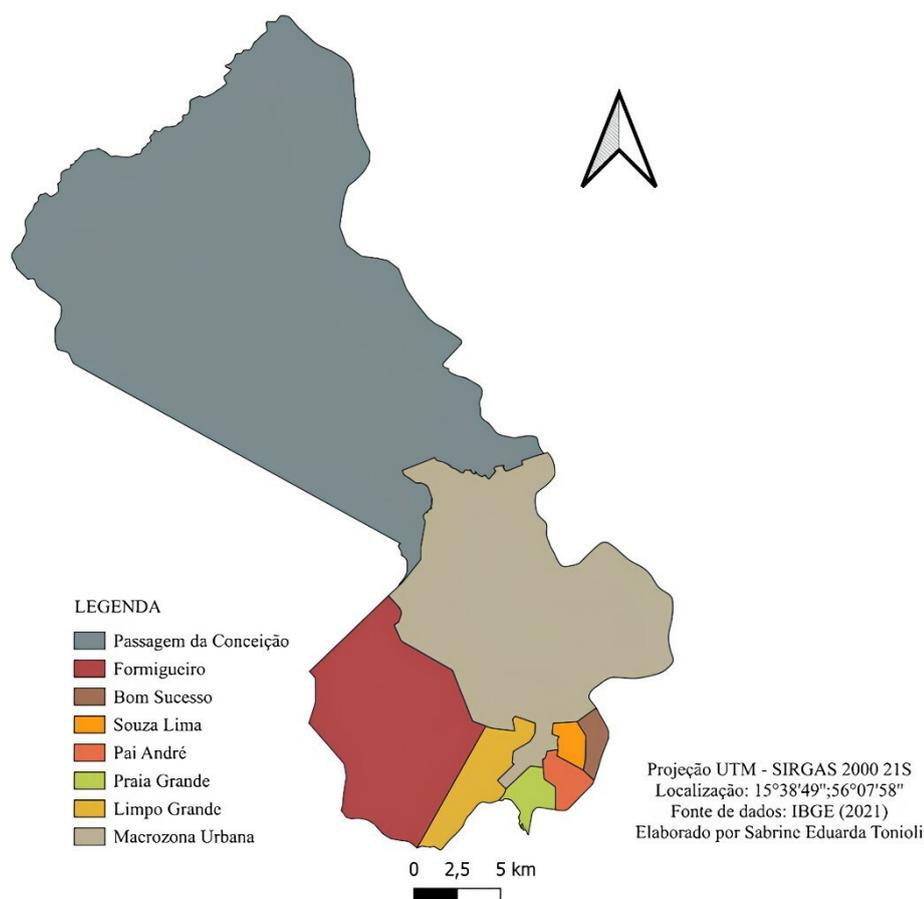
nos meses de janeiro, fevereiro e março (SANTOS, 2012).

No município existe a predominância entre os meses de julho e agosto do período de seca e, esta também é a época do ano com maior incidência e recorrência de queimadas dentro do perímetro municipal, o que por consequência, pode acarretar em umidade relativa de cerca de 13% (KRUGUER, 2021).

Importante frisar que na cidade de Várzea Grande, os estudos relacionados à climatologia urbana ainda são escassos, principalmente quando comparados com a cidade vizinha, a capital Cuiabá. Ainda, é notório o crescimento populacional da região nos últimos anos, o que modificou a estrutura e a cobertura do ambiente natural, em um curto espaço de tempo.

Adicionalmente, é comum a região registrar temperaturas consideradas altas, acima de 40°C e índices de umidade relativa baixo, em torno de 13%, enquanto que o recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), é de acima de 60%. Daí, a relevância e a necessidade de se entender como o fenômeno da urbanização tem afetado o clima da região de estudo, com fins de melhoria da qualidade de vida da população e traçado de estratégias para mitigações destes efeitos deletérios e promoção de expansões urbanas com planejamento também sob o viés do clima.

Conforme a Lei Complementar nº4.695 de 2021, o território de Várzea Grande é composto por oito distritos, sendo estes: Passagem da Conceição, Formigueiro, Bom Sucesso, Souza Lima, Pai André, Praia Grande, Limpo Grande e a Macrozona Urbana. Na Figura 7, são demonstradas as oito regiões do município de Várzea Grande.



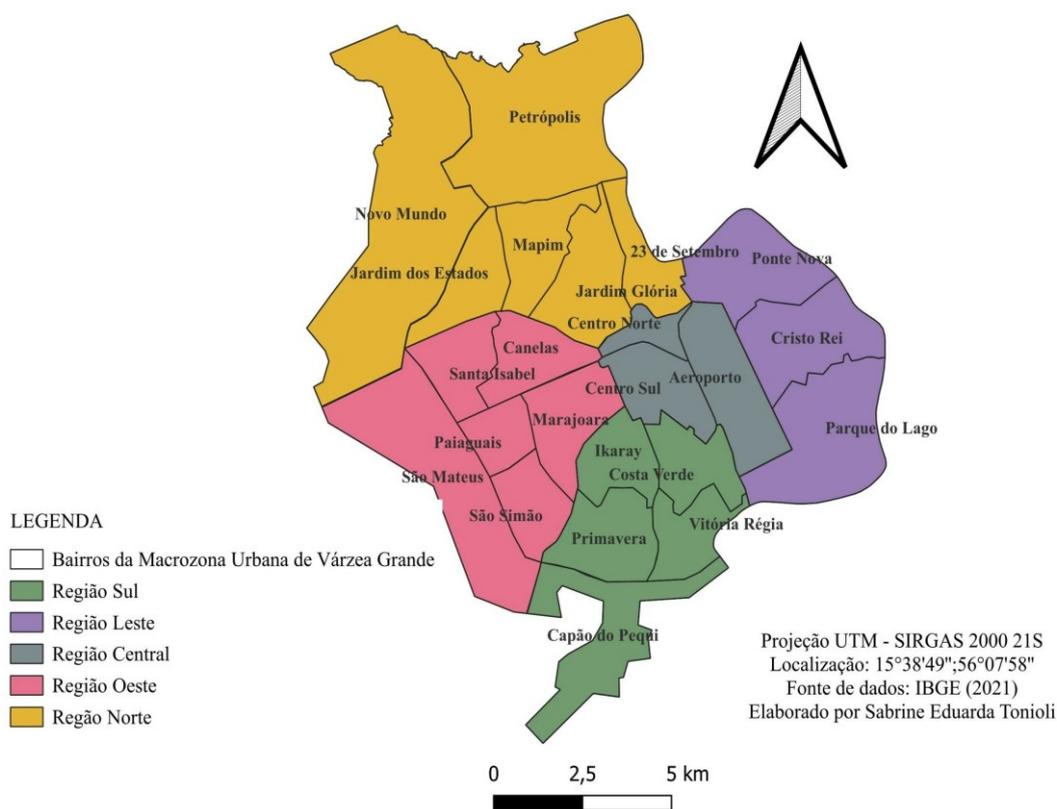
**FIGURA 7 - Ordenamento do Território de Várzea Grande**

**FONTE: IBGE, 2021**

Conforme Lima (2023), a região Passagem da Conceição é composta por aglomerados rurais, onde predomina a agricultura familiar, pecuária, suinocultura, piscicultura e plantio de hortaliças. As áreas mais próximas do perímetro urbano desenvolvem atividade econômica turística, com restaurantes e uma das igrejas históricas da região, a Igreja Nossa Senhora da Conceição. Na região Formigueiro também é predominante a atividade de agricultura familiar. Já na região Bom Sucesso, além da agricultura de subsistência, a atividade econômica da região deriva da pesca e turismo. É característico da região Bom Sucesso ser um aglomerado de núcleo urbano com extensão em faixa de aproximadamente um quilômetro, possuindo apenas uma rua principal. Ao lado da região Bom Sucesso, está a região Souza Lima, possuindo um aglomerado populacional rural em seu centro, com diversos acessos. A atividade econômica também é de agricultura familiar.

Na região Pai André, a economia é desenvolvida por meio da atividade pesqueira e agricultura de subsistência, além da indústria da cerâmica ser uma atividade importante na região, assim como o artesanato. A região Praia Grande foi formada por lavradores, pecuaristas e pescadores, desenvolvida às margens da estrada que liga Várzea Grande à Nossa Senhora do Livramento. Além da agricultura familiar, a confecção de redes de algodão artesanais predomina na região Limpo Grande. Considerando apenas a região da Macrozona Urbana, esta pode ser subdividida em cinco regiões as quais comportam todos os bairros do perímetro urbano de Várzea Grande (LIMA, 2023).

Pela Figura 8, ilustra-se as regiões da macrozona urbana de Várzea Grande, e os respectivos bairros que compõem cada região.



**FIGURA 8** - Regiões da Macrozona Urbana de Várzea Grande

**FONTE:** IBGE, 2021

Na Tabela 5 adiante é demonstrado o quantitativo populacional de cada bairro das cinco regiões que compõem a Macrozona Urbana de Várzea Grande e sua variação do ano 2000 a 2010, destaca-se que não foi possível obter informações

para os anos de 2005 e 2020, uma vez que os dados foram obtidos do regime censitário do Brasil, que aconteceu em 2000 e 2010. A Tabela 5 também possui dados de densidade demográfica de cada bairro e da Macrozona Urbana nos anos de descrição dos dados.

Infere-se da Tabela 5, que das cinco regiões, apenas a região Central é que diminuiu sua densidade demográfica, sendo essa diminuição mais acentuada no bairro Centro Norte, que compõem porções residenciais, industriais e também comercial, pois seus limites tangenciam uma das avenidas de maior comércio do município, a Avenida Couto Magalhães.

Além do bairro Centro Norte, a região Central é composta pela área da zona de preservação do Aeroporto e bairro Centro Sul. Destaca-se que o bairro Centro Sul é onde está localizado o *Shopping* de Várzea Grande. A região Central é assim caracterizada pelo alto grau de polarização e concentração de atividades diversas das funções urbanas, com predominância ao uso comercial e de serviços, sendo admitido o uso residencial.

**TABELA 5** – População dos bairros da Macrozona Urbana de Várzea Grande.

Região	Bairros	População	
		2000	2010
Norte	23 de setembro	1460	3338
	Jardim Glória	21687	18985
	Mapim	19964	17678
	Jardim dos Estados	3789	8833
	Novo Mundo	348	353
	Petrópolis	3764	6161
	Σ	51012	55348
<b>Densidade demográfica</b>		<b>8,14</b>	<b>8,84</b>
Oeste	Canelas	7599	16299
	Santa Isabel	9677	13801
	Marajoara	12977	15482
	Paiguais	347	1546
	São Simão	984	4076
	São Mateus	4729	8545
	Σ	36313	59749
<b>Densidade demográfica</b>		<b>1031,33</b>	<b>1696,93</b>
Central	Aeroporto	-	-
	Centro Norte	7206	4496
	Centro Sul	20548	20134

	$\Sigma$	27754	24630
<b>Densidade demográfica</b>		<b>2040,74</b>	<b>1811,03</b>
Leste	Ponte Nova	15357	16343
	Cristo Rei	28495	29502
	Parque do Lago	22542	23895
	$\Sigma$	66394	69740
<b>Densidade demográfica</b>		<b>2648,34</b>	<b>2781,81</b>
Sul	Ikaray	931	9409
	Costa Verde	5163	7895
	Vitória Régia	2375	3136
	Primavera	2444	5989
	Capão do Pequi	9716	9694
	$\Sigma$	20629	36123
<b>Densidade demográfica</b>		<b>771,47</b>	<b>1350,90</b>
	$\Sigma$	202102	245590
<b>Densidade demográfica</b>		<b>1237,91</b>	<b>1504,29</b>

FONTE: IBGE, 2022

A região de maior densidade demográfica, é a Região Leste, tanto para o ano de 2000 como para o ano de 2010. Essa é uma região limítrofe entre o Rio Cuiabá e o Aeroporto, por isso possui zonas de conservação e preservação ambiental, com predominância para àquelas de preservação da natureza, evitando-se interferências humanas.

A região Leste abriga o maior bairro do município em termos populacionais, o Cristo Rei, que possui um setor comercial no próprio bairro, além de indústrias do ramo alimentício e um centro universitário.

Na região Oeste, todos os seis bairros que a compõem, aumentaram de população no período de aquisição dos dados, por isso sua densidade demográfica aumentou de 2000 a 2010. Essa é uma região com indústrias diversas, comércio e conjuntos residenciais. O maior bairro dessa região em extensão territorial é o São Mateus, com uso múltiplo de forma que os usos comerciais foram integrados às áreas de uso residencial.

A zona de proteção do Parque Berneck faz parte da região Oeste, local em que a expansão urbana deve priorizar a atenção em possíveis impactos negativos advindos da impermeabilização do solo, sendo permitido apenas o uso residencial. Este é o maior parque urbano da cidade de Várzea Grande, com aproximadamente 280.000km<sup>2</sup>

A região Sul é composta por cinco bairros, dentre eles, o bairro Capão do Pequi, região de ocupação urbana em consolidação, de uso múltiplo e industrial. Os demais bairros desta região correspondem a áreas já consolidadas de uso residencial e comercial.

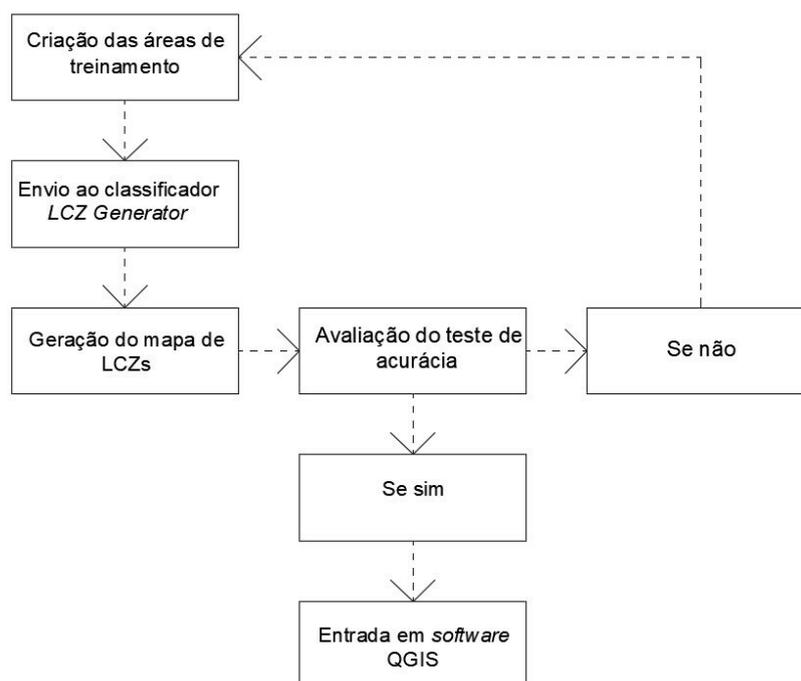
A maior região em extensão de território do município é a Região Norte, e também é a de menor densidade demográfica dentre as cinco regiões da Macrozona Urbana. É uma região com predominância de uso múltiplo em consolidação, possuindo também zonas de subcentro correspondente a áreas polinizadoras de localidades do seu entorno com atividades diversificadas. Possui também área com zona de interesse especial, destinada à implantação de centro tecnológico estadual e de instituições de ensino superior e técnico, bem como demais atividades de economia criativa, inovadoras e técnicas.

## 4. METODOLOGIA

Neste capítulo foi descrito os procedimentos metodológicos utilizados para que os objetivos da pesquisa fossem atingidos.

### 4.1. CLASSIFICAÇÃO LCZ

Para esta pesquisa, a classificação LCZ se deu por um processo automatizado pelo programa disponível via *web*, o *LCZ Generator* versão 1.2, publicado por Demuzere, Kittner e Bechtel (2021), que demanda para sua utilização: áreas de treinamento, imagens de satélite e um algoritmo de classificação de imagens (LIMA e AMORIM, 2020). As etapas estão fluxionadas a seguir (Figura 9), e nos próximos tópicos foram descritas de forma detalhada.



**FIGURA 9** - Fluxograma das etapas de classificação das LCZs no *LCZ Generator*.

#### 3.2.1. Áreas de treinamento

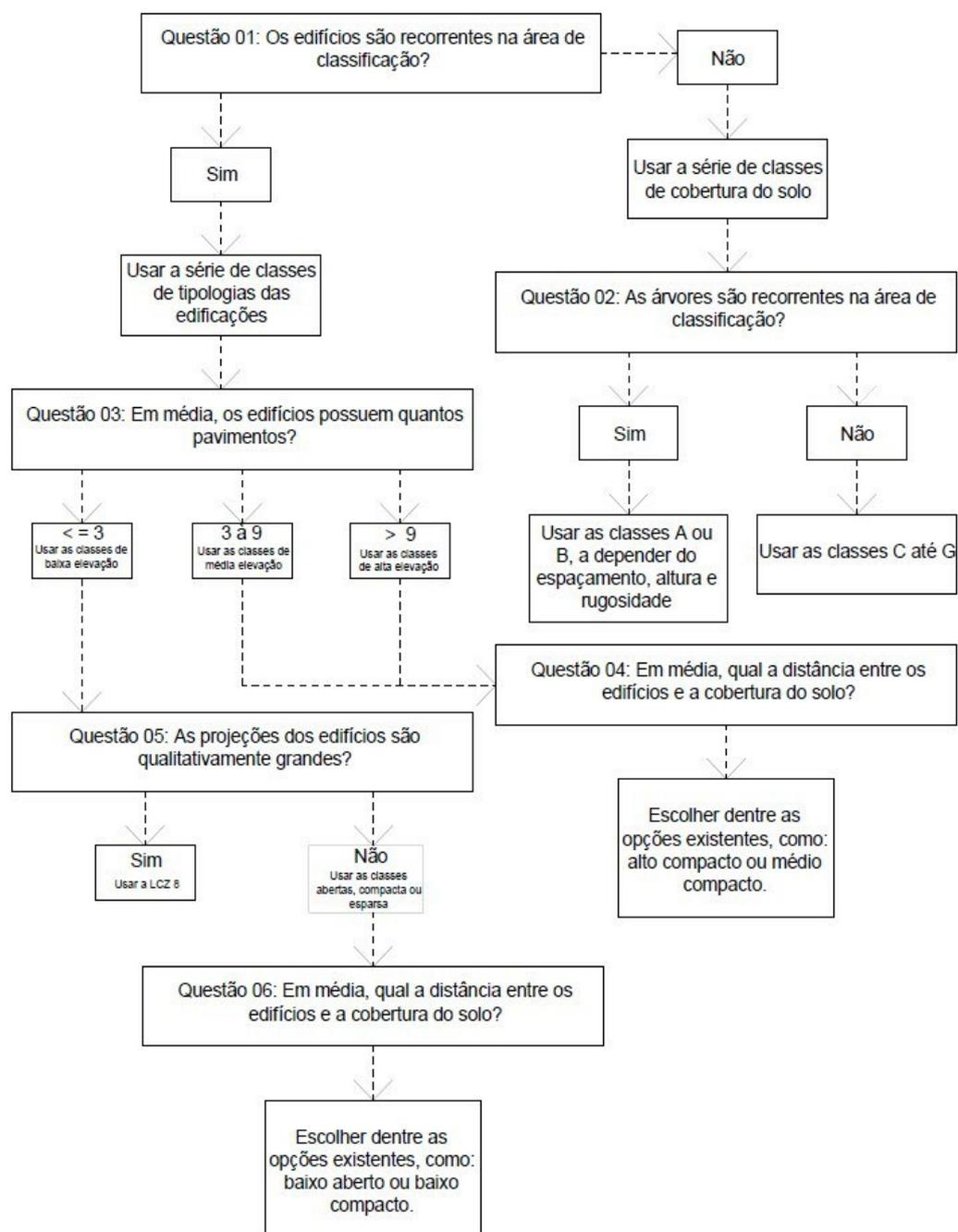
A identificação das áreas de treinamento reflete na avaliação da acurácia do

mapa de classificação. Essas áreas foram identificadas a partir da análise das tipologias construtivas e coberturas de solo apresentadas na Tabela 1 e 2 e nos parâmetros morfológicos apresentados na Tabela 3.

Para esse processo, contou-se com um modelo padronizado de rótulos das classes principais do sistema LCZ, disponibilizado pelo WUDAPT, do qual também se seguiu o protocolo de digitalização de áreas de treinamento em ambiente digital do *Google Earth Pro*.

Com fins de evitar classificações errôneas, utilizou-se como apoio durante este processo o guia de campo proposto por Stewart (2018), que ajudou a identificar as LCZs com base em observações diretas, não instrumentalizadas. Esse guia segue uma sequência lógica de etapas de identificação direcionadas às áreas de interesse que podem ser urbanas ou rurais, onde cada etapa tem resultados alternativos que determinaram qual a próxima etapa a ser seguida. Os primeiros passos do guia, foram preparatórios, abordando qualitativamente as questões de escala e perspectiva. As próximas etapas foram de teor quantitativo em decorrência das medidas de cobertura do solo, altura do edifício e sua estrutura.

O guia foi transformado em fluxograma, para melhor entendimento e utilização. O fluxograma é apresentado a seguir (Figura 10).



**FIGURA 10:** Fluxograma para discriminação de classes

**FONTE:** Adaptado de STEWART, 2018

Assim, a classificação seguiu três principais passos:

- Identificação visual das classes baseado no fluxograma da Figura 10;
- Verificação dos parâmetros morfológicos em áreas amostrais de resolução espacial de 200x200m: altura dos edifícios, rugosidade, projeção dos

edifícios e área permeável. Neste passo, foi utilizado o *Google Street View*;

c) Digitalização das áreas de treinamento no *Google Earth Pro* seguindo o protocolo do WUDAPT.

Ao fim, foi traçada uma região de interesse, conhecida como ROI (*Region of Interest*), que é um parâmetro definido como um polígono maior que cobre a extensão dos polígonos menores das áreas de treinamento. Conforme orientação de Demuzere; Kittner; Bechtel, B. (2021), para que se mantenha a eficiência computacional, o tamanho máximo de ROI permitido no LCZ Generator é de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ , ou seja, aproximadamente 277,85 x 277,85km.

Para o ano de 2005, as áreas de treinamento produzidas na classificação do município totalizaram 70 polígonos e um quantitativo de área treinada com 16,54km<sup>2</sup>. E, as áreas de treinamento realizadas para a classificação do município referente ao ano de 2020 totalizaram 87 polígonos e um quantitativo de área com 31,88km<sup>2</sup>.

### **3.2.2. Submissão de dados**

Esta etapa foi realizada pelo preenchimento e envio de um formulário na página virtual do LCZ Generator ([https://lcz-generator.rub.de/ta\\_submission](https://lcz-generator.rub.de/ta_submission)). O *printscreen* da tela com as informações que devem ser preenchidas, pode ser visualizado na Figura 11.

---

**1. Informações pessoais**

Primeiro nome \*  Sobrenome \*  Endereço de email \*

**2. Informações sobre a área de treinamento**

Continente \*  País \*

Nome da Cidade \*

Carregar arquivo kmz/kml \*  Data representativa das Áreas de Formação \*

**3. Adicione informações adicionais**

Referência

Referência para o arquivo da área de treinamento - Forneça um DOI, se disponível - Caso contrário, forneça uma referência completa, incluindo um link que aponte para o recurso - Se não houver nenhuma referência, deixe em branco.

Observações

Adicione coautores: nome, sobrenome (se vários, separe-os com ; ) Adicione qualquer outra coisa para descrever suas áreas de treinamento

Autorizo mostrar meu nome na tabela de submissão e na ficha informativa LCZ ?

Concordo com os Termos de Serviço e a Declaração de Consentimento e li as Diretrizes de Atribuição \*

\* obrigatório

**FIGURA 11 - Formulário para preenchimento virtual do LCZ Generator**

FONTE: LCZ GENERATOR, 2023

Nesta etapa da classificação, os desenvolvedores impuseram algumas verificações, que se não fossem atendidas, o processo não teria início. O arquivo a ser enviado deveria estar na extensão “.kml” (*Keyhole Markup Language*), ou na sua versão compacta com extensão “.kmz”. Além de que as áreas de treinamento deveriam estar de acordo com o protocolo do WUDAPT para correta classificação e por fim, o ROI deve ter o tamanho citado anteriormente.

Com todos os itens supracitados atendidos, uma mensagem foi retornada indicando que as informações estavam corretas e o processamento fora iniciado.

### 3.2.3. Processamento

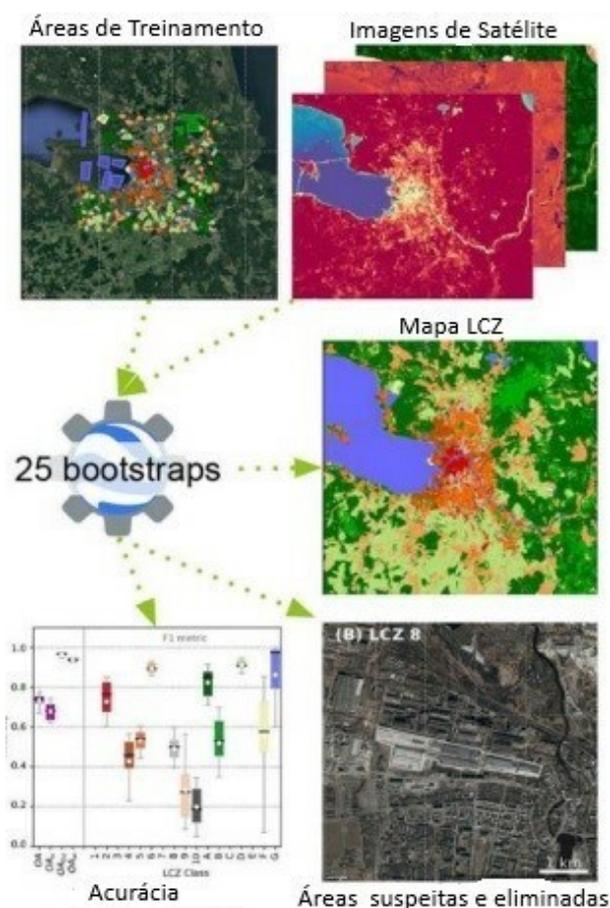
Esta etapa foi realizada em ambiente computacional de forma inacessível fisicamente aos usuários, pois foi realizado em nuvem. Nesse processo, o *Google Earth Engine* (GEE) foi utilizado, pelo fato de possuir acesso ao conjunto de imagens de satélite do Landsat e do Sentinel. Assim, as imagens de satélite foram utilizadas em conjunto com as áreas de treinamento, formando os dados de entrada

para o classificador das LCZs.

Conforme Demuzere, Kittnerr e Bechtel (2021) descrevem, um total de 33 recursos de entrada disponíveis globalmente e armazenados de forma *online* no GEE estão à disposição em uma resolução espacial de 100x100m, sendo: 16 recursos oriundos do Landsat 8; 5 recursos do Sentinel 1; 8 recursos do Sentinel 2 e 4 recursos adicionais que refletem o terreno e a altura do dossel das árvores.

Como saída de processamento, o principal dado é o mapeamento digital de LCZs em resolução espacial de 100x100m. Além disso, foi enviado por *e-mail* também descrições básicas das áreas de treinamento como quantidade e áreas dos polígonos, gráfico boxplot e teste de acurácia, sob os quais é possível inferir informações, como classe com predominância de ocorrência na área mapeada.

Vale ressaltar que o processo de mapeamento executa validação cruzada de forma automatizada com *bootstraps*. Este é um método estatístico não paramétrico de reamostragem, onde em cada *bootstrap* 70% dos polígonos da área de treinamento foram utilizados para treinar e 30% para testar. Os polígonos foram submetidos a amostragem aleatória, mantendo a distribuição de frequência da classe LCZ original. Esse procedimento (Figura 12) foi repetido por 25 vezes até que se obteve o resultado de melhor qualidade.



**FIGURA 12** - Síntese dos dados de entrada e saída do LCZ Generator

FONTE: Adaptado de DEMUZERE, KITTNER E BECHTEL, 2021

### 3.2.4. Análise de arquivos enviados: acurácia

Os dados desta etapa foram recebidos via *e-mail*. Os documentos enviados, em resumo, foram:

- Mapeamento de LCZs com resolução de 100x100m (.tif);
- Áreas de treinamento submetidas (.kml);
- Estatística básica das áreas de treinamento (.csv);
- Controle de qualidade dos polígonos das áreas de treinamento (.shp);
- Figura de frequência das áreas de treinamento por classe (.png);
- Figura do mapa de LCZs (.jpg);
- Figura dos boxplots de acurácias (.jpg).

O endereço eletrônico para acesso dos documentos supracitados, conforme o

ano de análise também ficam disponíveis no site do *LCZ Generator*. Assim o *link* com a síntese dos resultados para o ano de 2005 é: (<https://encr.pw/sz3KO>) e para o ano de 2020 é (<https://encr.pw/6d3jQ>).

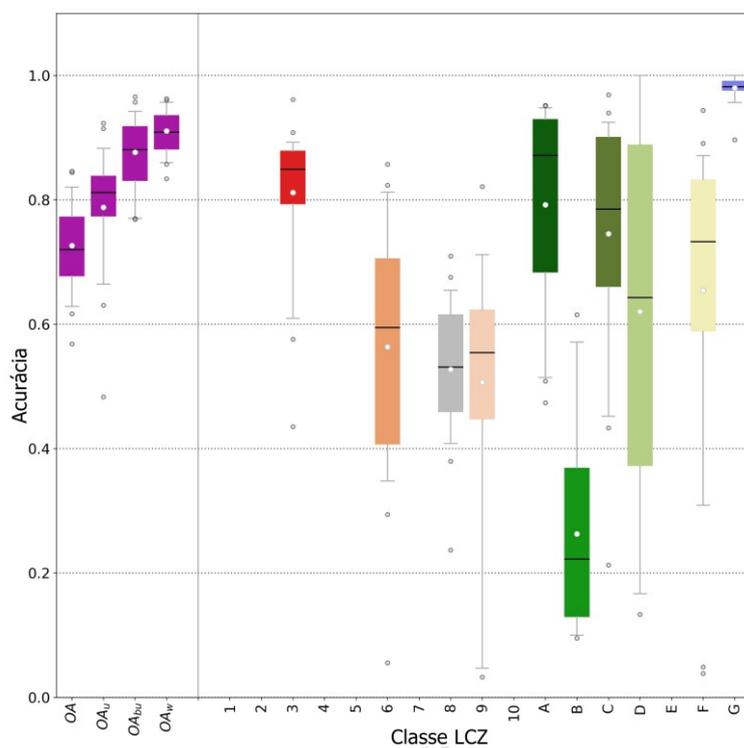
De posse dos documentos enviados, foi avaliado se o mapa de LCZ gerado estava condizente com a área de estudo e também se os valores de acurácia geral estavam acima de 70%, parâmetro escolhido na pesquisa para corte de resultados (DEMUZERE; KITTNER, BECHTEL; 2021; WERNECK, 2023)

Dentre os arquivos enviados, tem-se um gráfico com diversos boxplots, envolvendo cada LCZ encontrada na área e um boxplot geral. Esse dado possibilitou uma análise dos intervalos de todas as métricas de acurácia, onde foi possível avaliar as classes de melhor classificação e auxiliou na decisão sobre se o processo precisaria ser melhorado ou se o mesmo seria aceitável.

O treinamento das áreas foi iniciado a partir de imagem do ano de 2020, já que a paisagem estaria com maiores alterações, tornando a classificação posterior, do ano de 2005, com treinamento otimizado.

Esse processo foi realizado com 27 tentativas para o ano de 2020 e 11 tentativas para o ano de 2005. Informa-se que as três primeiras tentativas tinham como objetivo o entendimento metodológico funcional do programa.

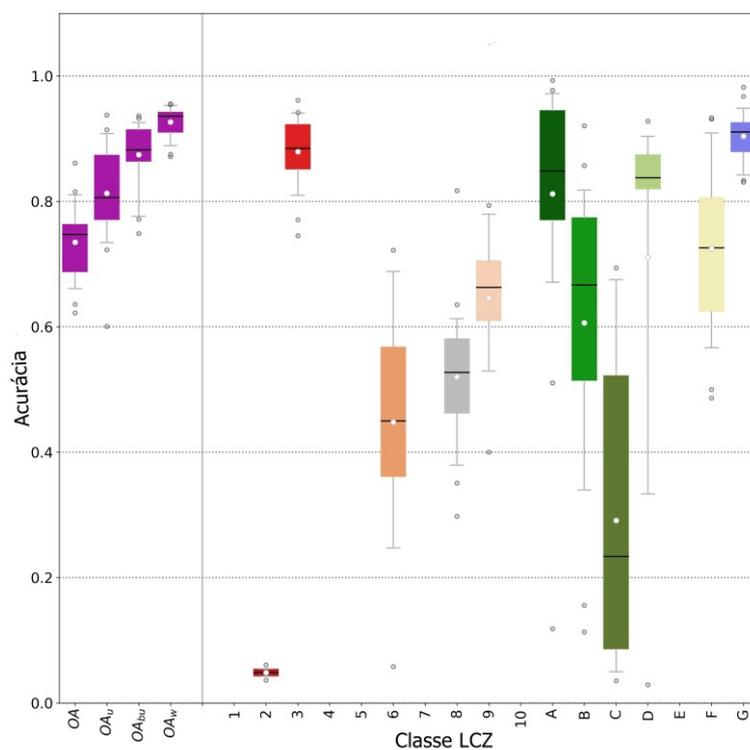
Os resultados de acurácia geral, parâmetro de corte de resultado utilizado nesta pesquisa, para o ano de 2005 a variação foi de 52% à 73% (Figura 13), e para o ano de 2020 variou de 25% à 73% (Figura 14) , o melhor valor de acurácia geral foi definido como resultado final desse procedimento.



**FIGURA 13** - Estatísticas de acurácia geral e por LCZ para a classificação do ano de 2005

**FONTE:** Gráfico produzido pelo programa *LCZ GENERATOR*

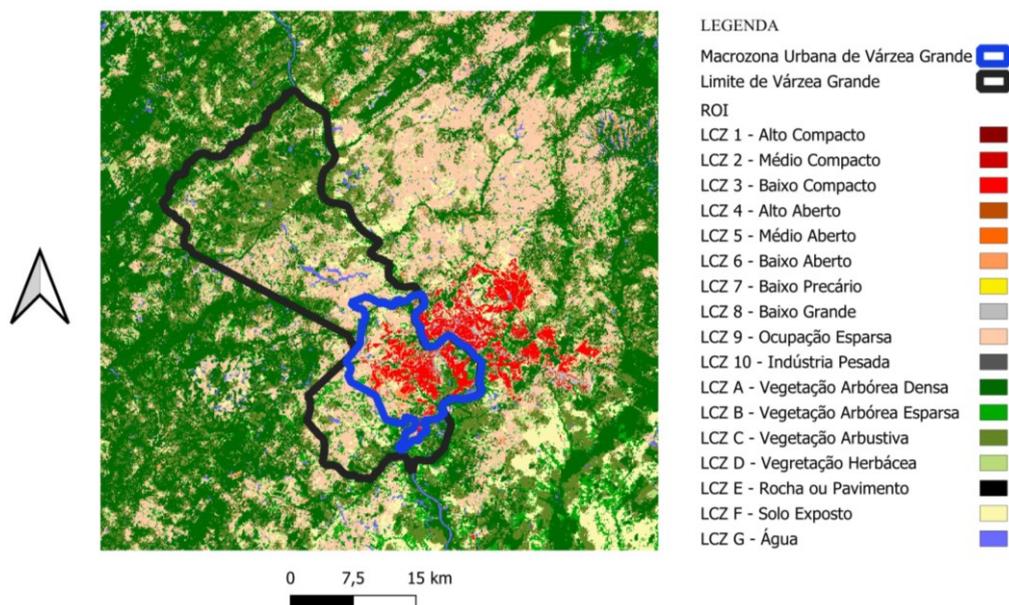
Por meio das Figuras 13 e 14 também foi possível verificar a acurácia de cada classe LCZ identificada.



**FIGURA 14:** Estatísticas de acurácia geral e por LCZ para a classificação do ano de 2020.

**FONTE:** Gráfico produzido pelo programa *LCZ GENERATOR*.

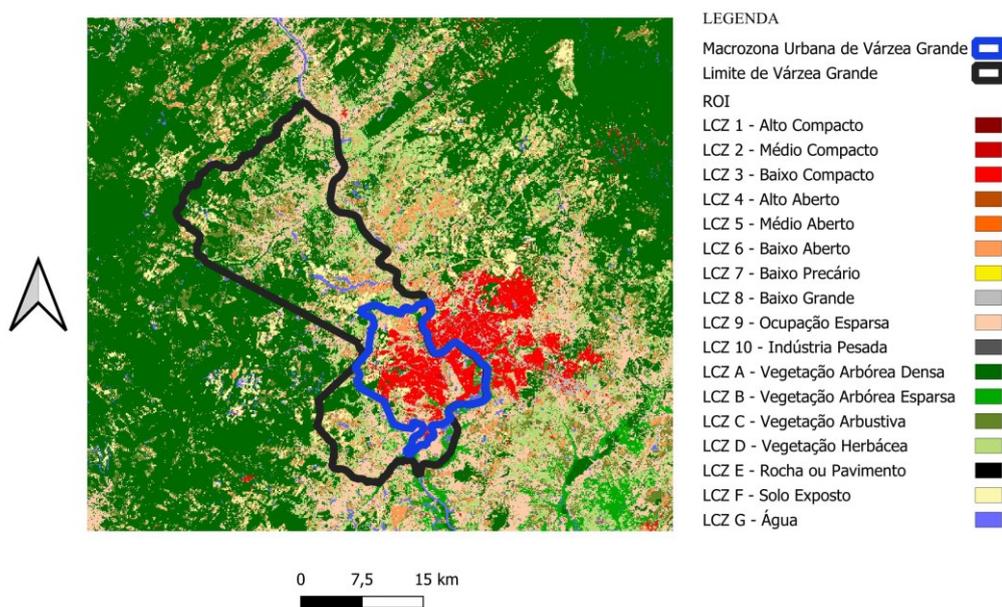
A distribuição espacial das LCZs sobre a ROI produzidas pelo *LCZ Generator* é demonstrada na Figura 15 e 16, para o ano de 2005 e de 2020, respectivamente.



**FIGURA 15** - Distribuição espacial das classes LCZ sobre a ROI referente ao ano de 2005.

**FONTE:** Imagem produzida pelo programa *LCZ Generator* e adaptada pela autora.

A ROI foi composta pelo município de Várzea Grande e uma porção municipal de Cuiabá, isso ocorreu porque as cidades possuem suas divisas próximas, separadas pelo curso do Rio Cuiabá.



**FIGURA 16** - Distribuição espacial das classes LCZ sobre a ROI referente ao ano de 2020

**FONTE:** Imagem produzida pelo programa *LCZ GENERATOR* e adaptada pela autora

### 3.2.5. Pós-classificação: delimitação da área de estudo

Como a ROI foi composta por uma área maior do que a de interesse para esta pesquisa, então a área de estudo foi recortada em *software* gratuito Qgis (versão 3.30.3), com referência à localização SIRGAS 2000 | UTM Zona 21S, sobre os limites do município de Várzea Grande para futuras análises.

Portanto, após o recebimento e análise dos dados oriundos do programa *LCZ Generator*, o mapa de classificação foi transformado de *raster* para um arquivo vetorial com a ferramenta polinizar e após, foi realizado o recorte da área a ser estudada, por extração da camada de máscara. Para este processo, estabeleceu-se uma poligonal de interesse para recortar o mapeamento de LCZs, realizado em *software* Qgis, que foi o perímetro territorial do município de Várzea Grande.

## 4.2. OBTENÇÃO DE IMAGENS SATELITAIS

As imagens de satélite utilizadas nesta pesquisa foram obtidas gratuitamente do Serviço Geológico dos Estados Unidos da América (USGS), por meio do

endereço eletrônico (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Foi necessário o uso de dados originados por mais de um satélite com a finalidade de adequação ao intervalo de estudo, portanto, as imagens selecionadas foram advindas da série Landsat 5 e Landsat 8, ambas da órbita 226 e ponto 71.

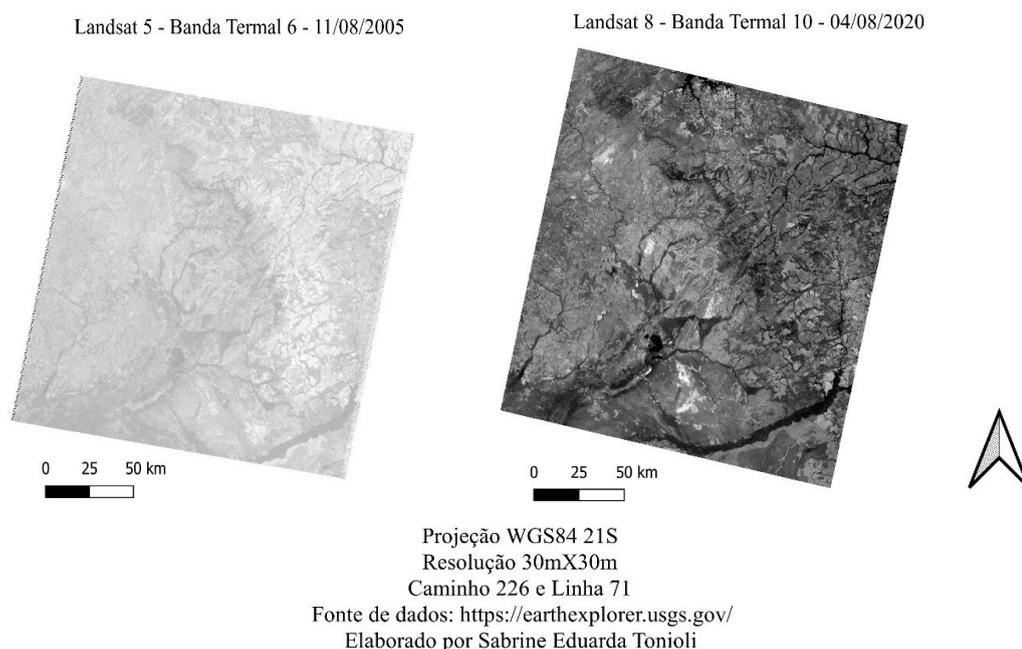
Para a procura das imagens digitais, determinadas informações foram inseridas no *site* do USGS, como nome da cidade, sua coordenada geográfica de latitude e longitude e critérios de seleção: intervalo de data, nebulosidade máxima e de qual satélite a imagem deveria ser filtrada.

Nesse contexto, para o ano de 2005, o satélite escolhido foi o Landsat 5. A imagem satelital poderia apresentar até 10% de nebulosidade (LIMA, 2023), e o intervalo de data foi o mês de agosto. Já para o ano de 2020, a alteração foi com relação ao satélite, que passou a ser o Landsat 8, mantendo como critério de seleção a nebulosidade em até 10% e o mês de agosto como intervalo de data.

Para os dois satélites selecionados, optou-se por imagens advindas da Coleção 2 Nível 1, já que estes possuem aprimoramento de dados, geometria e radiometria.

Após isto, foram selecionadas duas imagens, uma para cada ano de estudo, sendo uma imagem do dia 11 de agosto de 2005 com passagem do satélite no local imageado às 09horas 33minutos e 38segundos em horário local e data juliana de 2453593.89836. A outra imagem foi referente ao dia 04 de agosto de 2020, em horário local de 09horas 45minutos e 33segundos e data juliana de 2459065.90663.

A Figura 17 demonstra exemplo de imagens digitais obtidas por meio desse processo, ambas as imagens foram advindas de bandas termiais.



**FIGURA 17** - Imagens de satélite utilizadas na pesquisa

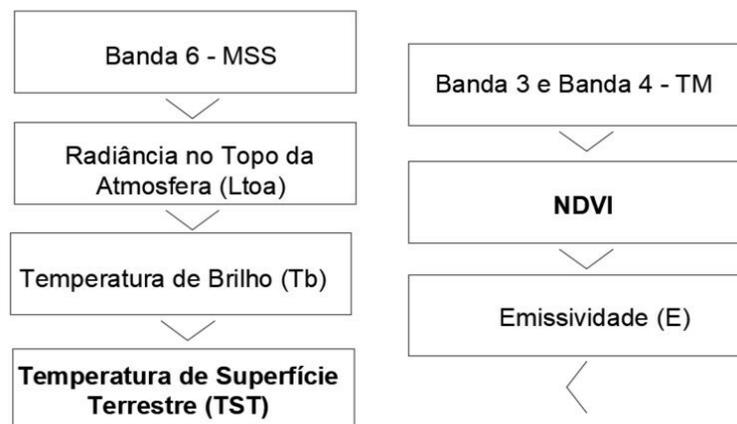
As imagens de satélite da Figura 13, e também outras bandas das imagens digitais, foram utilizadas para o desenvolvimento de cálculo e obtenção da TST e do índice NDVI. O procedimento metodológico foi semelhante entre os anos avaliados, mas como as imagens foram oriundas de satélites diferentes, e assim com sensores de configurações específicas, a metodologia para a obtenção da TST e do índice NDVI teve de ser descrita de forma individualizada nos próximos tópicos para melhor entendimento e execução.

Inicialmente, todas as imagens digitais passaram por uma etapa de pré-processamento, onde houve uma reprojeção, visto que estas originalmente foram disponibilizadas pelo USGS no Sistema Geodésico Mundial (WGS 84). A partir do dia 25 de fevereiro de 2015 o Brasil adotou o Sistema de Referência Geocêntrico das Américas – SIRGAS 2000 (IBGE, 2017), e esta foi a referência utilizada, sob a qual as imagens foram reprojctadas em *software* SIG, com a função reprojctar *raster*.

#### 4.2.1. NDVI e TST - Landsat 5

O fluxograma com as etapas de cálculo está demonstrado na Figura 18. Adiante, cada uma das etapas foram descritas, onde as bandas 3, 4 e 6 foram

utilizadas como arquivo de entrada para o procedimento metodológico aqui descrito.



**FIGURA 18** - Fluxograma para as etapas de cálculo da TST e do NDVI - Landsat 5.

#### A. Radiância no Topo da Atmosfera (Ltoa)

O sensor infravermelho do Landsat 5 MSS mede a intensidade do fluxo radiante proveniente da superfície terrestre. Essa radiância é denominada radiância aparente por incluir influência da atmosfera e de objetos vizinhos, sendo convertida em ND no próprio sensor, escalonados em diferentes amplitudes (SANTOS *et al.*, 2014).

Após a obtenção das imagens de satélite, o primeiro processo é converter os NDs em radiância (NDOSSI e AVDAN, 2016). Para o tratamento da imagem infravermelha termal, os números digitais da banda termal 6 foram convertidos para radiância espectral do topo da atmosfera (Ltoa), conforme Equação 2.

$$L_{toa} = [(L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{m}n}) / (Q_{calm\acute{a}x} - Q_{calm\acute{m}n})] * (Q_{cal} - Q_{calm\acute{m}n}) + L_{m\acute{m}n} \quad \text{Equação 2}$$

Onde;

Ltoa: radiância espectral no topo da atmosfera;

Lmáx: radiância espectral máxima;

Lmín: radiância espectral mínima;

Qcal: número digital de cada pixel da banda 6;

Qcalmáx: valor máximo que o Qcal pode atingir;

Qcalmín: valor mínimo que o Qcal pode atingir.

Com exceção do Qcal, que é a própria imagem da banda 6, as demais variáveis incluídas na fórmula, representam parâmetros de calibração e tiveram seus valores retirados do arquivo de metadados fornecido em conjunto com as imagens digitais. As variáveis obtiveram as seguintes constantes:

- a) Lmáx: 15.303
- b) Lmín: 1.238
- c) Qcalmáx: 255
- d) Qcalmín: 1

#### B. Temperatura de Brilho (Tb)

A temperatura de brilho do sensor assume que a Terra é um corpo negro, assim, com emissividade igual a 1, e inclui efeitos atmosféricos como absorção e outras emissões (SANTOS *et. al.*, 2014). A temperatura de brilho é também chamada de temperatura radiante, e foi estimada pela Equação 3.

$$T_b = \frac{k_2}{\ln((k_1/L_{toa})+1)} \quad \text{Equação 3}$$

Onde;

Tb: temperatura de brilho no sensor, medido em Kelvin (K);

Ltoa: radiância espectral no topo da atmosfera;

k1: constante de calibração 1;

k2: constante de calibração 2;

As constantes de calibração 1 e 2 foram também obtidas pelo arquivo de metadados do satélite, que neste caso, para o Landsat 5, o valor de k1 é 607,76 e k2 é de 1.260,56.

#### C. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI além de ter sido um parâmetro objeto de estudo da pesquisa, foi pelo qual se tornou possível conhecer a emissividade de diferentes materiais da superfície terrestre (VAN DE GRIEND *et. al.*, 1992), conforme a Equação 1.

Destaca-se que, para o Landsat 5, a banda 4 corresponde a faixa do infravermelho próximo e a banda 3 é relativa ao intervalo do vermelho.

#### D. Emissividade (E)

Para poder associar a temperatura da energia térmica infravermelha irradiada por um dado objeto, é necessário conhecer a emissividade desse objeto. A emissividade corresponde a relação que compara a capacidade de irradiação de uma superfície com a de um corpo negro (KRUSE *et al.*, 1962). No mundo real, um material que satisfaz as propriedades de um corpo negro perfeito não existe. Como resultado disso, há a necessidade de fazer a correção da E ao calcular a TST.

Conforme Van de Griend *et. al.* (1992), a relação entre emissividade e o NDVI pode ser expresso pela Equação 4, quando o valor do NDVI varia de 0,157 para 0,727.

$$E = 1,0094 + 0,047 * \ln(NDVI) \quad \text{Equação 4}$$

Para a área em que o valor do NDVI está fora da faixa (0,157-0,727), é dividido em cinco faixas e seus valores de emissividade correspondentes poderiam ser inseridos manualmente pela interface do programa SIG (ZHANG *et al.*, 2006).

#### E. Temperatura da Superfície Terrestre

A equação de Planck corrige a emissão de uma substância em comparação a um corpo negro (Equação 5) (NDOSSI e AVDAN, 2016). Importante destacar que a Equação 5 foi originalmente determinada para o cálculo de temperatura em Kelvin, e assim, para este trabalho, a equação foi adaptada para que o resultado fosse em graus celcius (°C).

$$TST = [tb/(1+(\lambda*Tb/\rho)*\ln(E))-273,15 \quad \text{Equação 5}$$

Onde;

TST: Temperatura da superfície (°C);

Tb: temperatura de brilho (K);

$\lambda$ : Comprimento de onda médio da banda termal 6, sendo 11,45  $\mu\text{m}$ ;

$\rho$ :  $1,438 \times 10^{-2}$  mK, proveniente de a:  $(h \times c / \sigma)$ , sendo:

h: constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  Js),

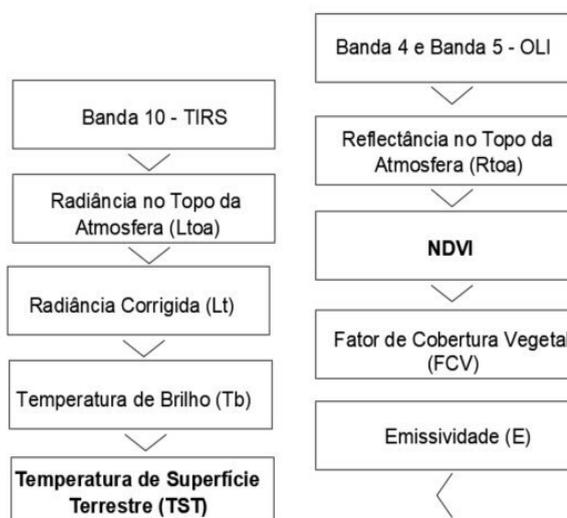
c: velocidade da luz ( $2,998 \times 10^8$  m/s)

$\sigma$ : constante de Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K);

E: Emissividade espectral.

#### 4.2.2. NDVI e TST – Landsat 8

O fluxograma com as etapas de cálculo está demonstrado na Figura 19, e assim como para os dados oriundos da série Landsat 5, para os dados do Landsat 8, cada uma das etapas foram descritas. Diferente da análise para o ano de 2005, as bandas 4, 5 e 10 foram utilizadas como arquivo de entrada para o procedimento metodológico.



**FIGURA 19** - Fluxograma para as etapas de cálculo da TST e do NDVI - Landsat 8

#### A. Radiância no Topo da Atmosfera (Ltoa)

Para a imagem infravermelha termal, os NDs da banda 10 foram convertidos em radiância espectral no topo da atmosfera (Ltoa). A equação é disponibilizada pelo USGS (2022) e as constantes e fatores multiplicativo e de redimensionamento foram obtidas no arquivo de metadados da imagem.

$$L_{toa} = (ML * Q_{cal}) + AL \quad \text{Equação 6}$$

Ltoa: radiância espectral no topo da atmosfera;

ML: fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 0.00033420;

Qcal: número digital de cada pixel da banda 10;

AL: fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0,10000.

#### B. Reflectância no Topo da Atmosfera (Rtoa)

As imagens produzidas por sensores em nível orbital sofrem influência da atmosfera. Tendo em vista que os sensores em nível orbital adquirem imagens em diferentes geometrias, visada e iluminação, torna-se necessário entender o efeito que cada variável tem sobre as respostas espectrais dos alvos da superfície terrestre. Assim, a variação dos ângulos zenitais e azimutais da radiação solar incidente, assim como os ângulos zenitais e azimutais do sensor, pode dificultar a caracterização de imagens obtidas em momentos distintos (JENSEN, 2009).

Assim, tanto a banda 4 quanto a banda 5, utilizadas para o cálculo da reflectância no topo da atmosfera, tiveram a sua reflectância corrigida, conforme Equação 7 disponibilizada pela USGS (2022).

$$R_{toa} = (ML * Q_{cal} + AL) / \sin(\theta) \quad \text{Equação 7}$$

Onde;

Rtoa: reflectância no topo da atmosfera;

ML: fator multiplicativo de redimensionamento para a banda 4 e banda 5, sendo:

ML – banda 4: 0,00005

ML – banda 5: 0,00005

Qcal: número digital de cada pixel da banda 4 e banda 5;

AL: fator de redimensionamento aditivo para a banda 4 e banda 5, sendo:

AL – banda 4: -0,100000

AL – banda 5: -0,100000

$\theta$ : Elevação do ângulo solar, encontrado no arquivo de metadados da imagem, correspondente ao valor de 45,24065061.

#### C. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

A determinação do NDVI foi realizada pela Equação 1. Todavia, para a série do Landsat 8, a Banda 5 é correspondente à faixa do infravermelho próximo e a Banda 4 corresponde ao intervalo do vermelho.

#### D. Fator de Cobertura Vegetal (FCV)

O fator de cobertura vegetal é a fração do solo coberto por vegetação, e sua utilização é importante para a melhoria da acurácia do NDVI, o qual interfere diretamente o cálculo da TST (LIMA, 2023). Foi calculado pela Equação 8.

$$FCV = [(NDVI - NDV_{\text{mín}}) / (NDV_{\text{máx}} - NDV_{\text{mín}})]^2 \quad \text{Equação 8}$$

Onde;

FCV: fator de cobertura vegetal;

NDVI: índice de vegetação por diferença normalizada;

NDV<sub>mín</sub>: valor mínimo do NDVI na área de estudo;

NDV<sub>máx</sub>: valor máximo do NDVI na área de estudo.

#### E. Emissividade (E)

Foi calculada de acordo com a função proposta por Valor e Caselles (1996), aqui descrita na Equação 9.

$$E=(E_v*FCV)+E_g*(1-FCV)*(1-1,74*FCV)+1,7372*FCV*(1-FCV) \quad \text{Equação 9}$$

Onde;

E: emissividade espectral;

FCV: fator de cobertura vegetal;

$E_v$ : emissividade referente a vegetação, assumida em 0,985;

$E_g$ : emissividade do solo, definida como 0,96.

#### F. Radiância Corrigida ( $L_t$ )

Para cálculo da temperatura superficial, a radiância espectral deve ser corrigida atmosféricamente a partir dos valores de transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida pela superfície, obtidos pelo *site* da Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica (NASA) (<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>).

O *site* da NASA leva a uma calculadora de parâmetros ambientais (Figura 20), na qual foram incluídos dados respectivos à imagem, como dia, mês, ano, hora e minuto de sua captura. Também foi necessário colocar as coordenadas de latitude e longitude do local imageado. Os resultados foram enviados para o *e-mail* informado durante o preenchimento dos dados na calculadora.

As variáveis utilizados para este passo metodológico, foram:

- a)  $L_u$ : radiância emitida pela superfície;
- b)  $L_d$ : radiância recebida pela superfície;
- c)  $t$ : transmissividade da atmosfera.

Enter the parameters for which you wish calculate atmospheric transmission and upwelling radiance:

**Atmospheric Correction Parameter Calculator**

Date (yyyy-mm-dd): 2020-08-04  
 Input Lat/Long: -15.651/ -56.136  
 GMT Time: 9:45

L8 TIRS Band 10 Spectral Response Curve  
 Mid-latitude summer standard atmosphere  
 User input surface conditions  
 Surface altitude (km): -999.000  
 Surface pressure (mb): -999.000  
 Surface temperature (C): -999.000  
 Surface relative humidity (%): -999.000

Band average atmospheric transmission: 0.79  
 Effective bandpass upwelling radiance: 1.74 W/m<sup>2</sup>/sr/um  
 Effective bandpass downwelling radiance: 2.84 W/m<sup>2</sup>/sr/um

Atm Profiles for: 20.08.04 9:45 -15.6505/-56.136

Altitude (km) vs Pressure (mb) and Altitude (km) vs Atm Temperature (C) plots.

Altitude (km) vs Rel Humidity (%) plot.

t = 0.79  
 Lu = 1.74  
 Ld = 2.84

Generated for: prof.eduardo.eng at t2023.10.7.23.

**FIGURA 20 -** Printscreen da calculadora e parâmetros atmosféricos para obtenção da radiância corrigida.

Com os dados obtidos e demonstrados na Figura 20, foi realizada a correção radiométrica de acordo com a Equação 10 (OLIVEIRA; PONZONI; MORAES., 2009).

$$L_t = ((L_{toa} - L_u - (1 - E) * L_d) / (E * t))$$

Equação 10

Onde;

L<sub>t</sub>: radiância espectral corrigida no topo da atmosfera;

L<sub>toa</sub>: radiância espectral no topo da atmosfera;

E: emissividade;

L<sub>u</sub>: 1,74

L<sub>d</sub>: 2,84

t: 0,79

G. Temperatura de Brilho (T<sub>b</sub>)

A temperatura de brilho foi calculada conforme a Equação 3, porém, as constantes de calibração 1 e 2 foram atualizadas ao satélite em questão – Landsat 8, assumindo para k<sub>1</sub> o valor de 774,8853 e para k<sub>2</sub>: 1.321,0789. Ainda, a variável

Ltoa é substituída pela variável Lt, que corresponde à radiância corrigida no topo da atmosfera.

#### H. Temperatura de Superfície Terrestre (TST)

A temperatura da superfície terrestre foi calculada a partir da Equação 5, adaptando o índice  $\lambda$  ao comprimento de onda médio da banda termal 10, sendo 10,895  $\mu\text{m}$ .

Na Tabela 6 foram sumarizadas as fórmulas utilizadas para determinação dos índices espectrais trabalhados nesta pesquisa, de acordo com cada ano de estudo.

**TABELA 6** - Síntese do procedimento matemático de acordo com a origem das imagens satelitais.

Parâmetro	Ano de 2005 - Landsat 5	Ano de 2020 - Landsat 8
Radiância no Topo da Atmosfera (Ltoa)	$L_{toa} = [(L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{i}n}) / (Q_{calm\acute{a}x} - Q_{calm\acute{i}n})] * (Q_{cal} - Q_{calm\acute{i}n}) + L_{m\acute{i}n}$	$L_{toa} = (ML * Q_{cal}) + AL$
Refletância no Topo da Atmosfera (Rtoa)	Não se aplica	$R_{toa} = (ML * Q_{cal} + AL) / \text{sen}(\theta)$
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$	$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$
Fator de Cobertura Vegetal (FCV)	Não se aplica	$FCV = [(NDVI - NDVI_{m\acute{i}n}) / (NDVI_{m\acute{a}x} - NDVI_{m\acute{i}n})]^2$
Emissividade (E)	$E = 1,0094 + 0,0047 \ln(NDVI)$	$E = (E_v * FCV) + E_g * (1 - FCV) * (1 - 1,74 * FCV) + 1,7372 * FCV * (1 - FCV)$
Radiância Corrigida (Lt)	Não se aplica	$L_t = ((L_{toa} - L_u - (1 - E) * L_d) / (E * t))$
Temperatura de Brilho (Tb)	$T_b = k_2 / \ln((k_1 / L_{toa}) + 1)$	$T_b = k_2 / \ln((k_1 / L_t) + 1)$
Temperatura de Superfície (TST)	$TST = [T_b / (1 + (\lambda * T_b / \rho) * \ln(E))] - 273,15$	$TST = [T_b / (1 + (\lambda * T_b / \rho) * \ln(E))] - 273,15$

### 4.3. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Foram utilizados dois *softwares* para as análises estatísticas realizadas nesta pesquisa. Após o mapeamento das classes LCZs e dos índices espectrais, esses

dados foram integrados em ambiente SIG para todo o perímetro do município de Várzea Grande, em uma resolução espectral de 100x100 metros, compondo 72.376 polígonos.

As análises estatísticas desenvolvidas foram baseadas no pressuposto de que cada LCZ identificada, tanto para o ano 2005 quanto para o ano de 2020, resultariam em valores de temperatura de superfície significativamente diferentes.

Inicialmente, realizou-se análise de distribuição dos dados e testes de normalidade para verificar se os dados são paramétricos ou não paramétricos. Portanto, as análises estatísticas realizadas para esta pesquisa, foram:

- a) Análise da distribuição dos dados;
- b) Análise da variância da TST e NDVI;
- c) Análise de correlação;
- d) Análise dos dados espaciais.

#### **4.3.1. Análise da distribuição dos dados**

Para esta etapa, foi optado pelo uso do gráfico boxplot, já que esta é uma técnica que pode ser utilizada para comparar grupos e demonstrar a distribuição dos dados, de forma padronizada (SILVA, 2023).

Conforme Montgomery (1991), no caso do gráfico de caixa, este é construído com base em um resumo de cinco valores: o valor mínimo, primeiro quartil (Q1), mediana, terceiro quartil (Q3) e valor máximo. Sendo os valores máximo e mínimo, respectivamente o maior e menor valor do conjunto de dados. A mediana é a medida de posição central dos dados e divide na metade o tamanho da amostra. Os quartis dividem os dados em três conjuntos contendo cada um 25% dos dados.

Essas análises foram feitas por meio do recurso explorar dados do programa Geoda, que é uma ferramenta gratuita de código aberto, útil para a ciência de dados espaciais. Este *software* foi desenvolvido e lançado no ano de 2003 pelo professor Luc Anselin e sua equipe da Escola de Ciências Geográficas e Planejamento Urbano da Universidade do Estado do Arizona, e possui código fonte aberto livre para *download* (<https://geodacenter.github.io/download.html>)

#### 4.3.2. Análise da Variância da TST e NDVI

Para realizar o estudo sobre a variância dos dados da TST e NDVI, aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (RESCHENHOFER, 1996). Este teste foi realizado no Qgis, que além de seu uso nativo, também possui funções relacionadas a análises estatísticas e sumarização destas, mas nesta pesquisa, além das funções previamente existentes, foi adicionado um complemento relacionado à *scripts* do *software* R, potencializando aplicações estatísticas dentro da interface SIG, como testes estatísticos de variância dos dados.

Para a análise de distribuição da TST e NDVI, foi selecionada a opção *basic statistics* por meio do *script kolmogorov-Smirnov\_test*. Neste caso, as hipóteses testadas, foram:

- a) Hipótese nula (H0): distribuição dos dados é normal (valor  $\rho > 0,05$ );
- b) Hipótese alternativa (H1): distribuição dos dados não é normal (valor  $\rho < 0,05$ ).

Uma vez que os dados testados não aderiram a distribuição gaussiana, o teste de Kruskal-Wallis foi realizado, para identificar as diferenças entre as classes (KRUSKAL e WALLIS, 1952). Esta é uma análise estatística não paramétrica, utilizada para comparar 3 ou mais grupos independentes por suas medianas. Portanto, esse teste foi utilizado com fins de comparação de medianas das LCZs para a variável TST e NDVI na escala temporal abordada nesta pesquisa.

A parte inicial do teste é realizado para verificar se existem ou não diferenças nas classes LCZs, da seguinte forma:

- a) Hipótese nula (H0): não existe diferença estatística entre as classes LCZs (valor  $\rho > 0,05$ );
- b) Hipótese alternativa (H1): existe pelo menos uma diferença significativa entre as classes LCZs (valor  $\rho < 0,05$ ).

Com a verificação de que existe pelo menos uma diferença significativa entre

as classes LCZs com relação a TST e NDVI, para que se pudesse entender quais são estas diferenças, foi realizado o teste de *post-hoc* de Dunn, por comparação entre pares, com resultado ajustado pelo método de Bonferroni. As hipóteses testadas, foram:

#### Para TST

- a) Hipótese nula (H0): TST da LCZx 2005 = TST da LCZy 2020 (valor  $\rho > 0,05$ );
- b) Hipótese alternativa (H1): TST da LCZx 2005  $\neq$  TST da LCZy 2020 (valor  $\rho < 0,05$ ).

#### Para NDVI

- a) Hipótese nula (H0): NDVI da LCZx 2005 = NDVI da LCZy 2020 (valor  $\rho > 0,05$ );
- b) Hipótese alternativa (H1): NDVI da LCZx 2005  $\neq$  NDVI da LCZy 2020 (valor  $\rho < 0,05$ ).

Desta forma, inicialmente foram comparadas as mesmas classes entre os anos, como: LCZ A – 2005 com LCZ A 2020; LCZ B – 2005 com LCZ B 2020, e assim por diante, para todas as classes identificadas em ambos os anos.

Também foram comparadas as classes entre si, conforme cada ano, da seguinte maneira:

#### Para TST - 2005

- a) Hipótese nula (H0): TST da LCZx 2005 = TST da LCZy 2005 (valor  $\rho > 0,05$ );
- b) Hipótese alternativa (H1): TST da LCZx 2005  $\neq$  TST da LCZy 2005 (valor  $\rho < 0,05$ ).

#### Para TST - 2020

- a) Hipótese nula (H0): TST da LCZx 2020 = TST da LCZy 2020 (valor  $\rho > 0,05$ );
- b) Hipótese alternativa (H1): TST da LCZx 2020  $\neq$  TST da LCZy 2020 (valor  $\rho < 0,05$ ).

#### Para NDVI - 2005

- a) Hipótese nula (H0): NDVI da LCZx 2005 = NDVI da LCZy 2005 (valor  $\rho > 0,05$ );
- b) Hipótese alternativa (H1): NDVI da LCZx 2005  $\neq$  NDVI da LCZy 2005 (valor  $\rho < 0,05$ ).

#### Para NDVI - 2020

- a) Hipótese nula (H0): NDVI da LCZx 2020 = NDVI da LCZy 2020 (valor  $\rho > 0,05$ );
- b) Hipótese alternativa (H1): NDVI da LCZx 2020  $\neq$  NDVI da LCZy 2020 (valor  $\rho < 0,05$ ).

Após as análises, os resultados foram distribuídos em uma matriz por comparação de medianas, onde as células da matriz foram preenchidas com o valor  $\rho$  de coloração azul ou vermelha, sendo a cor azul para quando a hipótese alternativa foi corroborada, ou seja, em comparações onde foi identificada diferença estatística, e a cor vermelha quando a hipótese nula foi aceita não existindo diferença estatística entre as classes comparadas.

#### 4.3.3. Análise de Correlação

Também foi realizada análise para compreender a relação existente entre duas variáveis, neste caso, entre a TST e o NDVI. Como na etapa anterior foi identificado que os dados não seguem a distribuição normal, foi escolhido um método não-paramétrico de correlação, sendo então utilizado o coeficiente de Spearman ( $\rho$ ) (SPEARMAN, 1904).

Essa correlação avalia a relação de forma monotônica entre duas variáveis, ou seja, as variáveis tendem a mudar, mas não necessariamente a uma taxa constante. No delineamento, a TST foi estabelecida como variável dependente e o índice NDVI como variável explicativa.

A saída de resultado fica dentro de um intervalo de valores de 1 e -1, onde o 0 significa a ausência de correlação, valores negativos inferem uma correlação

inversa e positivos uma correlação direta, e quanto maior o valor do coeficiente, mais forte é a relação entre as variáveis.

Esta análise foi realizada em ambiente SIG por meio do recurso *basic statistics*.

#### 4.3.4. Análise dos dados espaciais

Analisar os dados espacialmente se faz necessário para identificar a existência de padrões e interdependência entre as variáveis de um conjunto de dados. Nesta pesquisa, optou-se por utilizar o índice global de Moran (I), para avaliar a dependência espacial de um atributo como a TST ou NDVI e os polígonos, que neste caso, são as classes LCZs identificadas para cada ano avaliado.

O valor do índice global de Moran (I) representa uma medida de associação espacial para todo o conjunto de dados. Os índices foram estabelecidas considerando os valores dos vizinhos mais próximos, por meio de uma matriz de pesos (W), sob o critério de contiguidade do tipo rainha (em alusão ao compartilhamento de informações entre os polígonos em um lado comum), de primeira ordem (ANSELIN, 2020).

Após a obtenção do gráfico de espalhamento de Moran, foi realizado o teste de pseudo-significância com a finalidade de estimar a significância do índice obtido, com 999 permutações. As hipóteses verificadas por esta análise, são:

- a) Hipótese nula (H0): não há autocorrelação espacial (valor  $\rho > 0,05$ );
- b) Hipótese alternativa (H1): há autocorrelação espacial (valor  $\rho < 0,05$ ).

Esse procedimento foi realizado por meio da opção *Univariate Moran's I*, do programa Geoda, onde a saída de resultados varia de -1 à 1, sendo o -1 a representação de uma correlação espacial inversa e 1 correlação espacial direta, já pelo valor 0 infere-se que não há padrão espacial.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo foram sumarizados e discutidos os resultados provenientes da metodologia escrita no capítulo 4.

### 5.1. CLASSIFICAÇÃO LCZ PARA VÁRZEA GRANDE

Este tópico apresenta e discute os resultados obtidos com a aplicação do programa *web LCZ Generator*, que utiliza o sistema de classificação da paisagem desenvolvido por Stewart e Oke (2012). Nesta pesquisa, foi realizada uma abordagem classificatória histórica, descritas a seguir, por ano analisado.

#### 5.1.1. Classificação LCZ para o território municipal– Ano 2005

A acurácia geral do processo de classificação para o ano de 2005 foi de 73% (OA), a acurácia das classes com ocupação urbana (OAu) foi de 79% e a acurácia geral para classes urbanas *versus* naturais (OAbu) foi de 88%. Já a acurácia ponderada (OAw) foi de 91%.

Foram identificadas 10 classes LCZs, sendo 04 relacionadas à tipologia construtiva e 06 com referência à cobertura do solo. A Tabela 7 apresenta dados descritivos oriundos do processo de classificação.

**TABELA 7 -** Descrições básicas das áreas de treinamento.

Classe	Quantidade de Polígonos Treinados	Soma da área de treinamento (km <sup>2</sup> )
LCZ 3 – Baixo Compacto	11	4,53
LCZ 6 – Baixo Aberto	6	0,78
LCZ 8 – Baixo Grande	5	1,17
LCZ 9 – Ocupação Esparsa	4	1,31
LCZ A – Vegetação Arbórea Densa	9	1,87
LCZ B – Vegetação Arbórea Esparsa	6	0,28
LCZ C – Vegetação Arbustiva	8	2,1
LCZ D – Vegetação Herbácea	4	0,26

LCZ F – Solo Exposto	7	3,61
LCZ G - Água	10	1,07
Total	67	16,98

\*Classes LCZs com menos de 1km<sup>2</sup> em área de extensão e um quantitativo menor que 5 polígonos, foram incluídas na classificação por entender que se referem a importantes modificações na área de estudo.

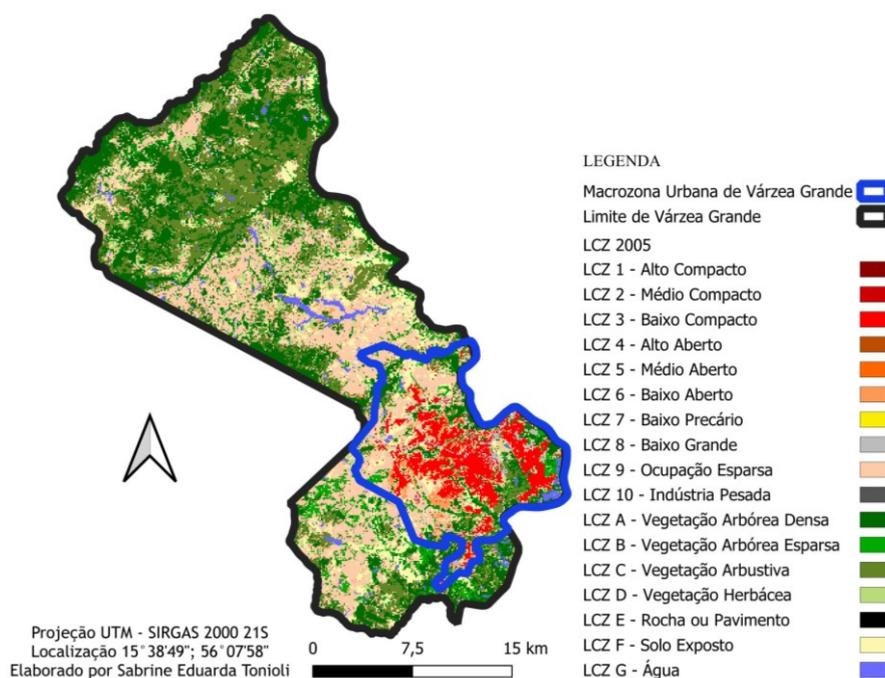
As classes LCZ 1, LCZ 2, LCZ 4 e LCZ 5 não foram identificadas na área de estudo, assim como a LCZ 7, LCZ 10 e LCZ E.

Em se tratando da LCZ 1 e LCZ 4, que são relativas a ocupações alta compacta e aberta, respectivamente, esta tipologia construtiva não foi identificada em escala local na área avaliada para o ano de 2005, assim como a LCZ 2 e LCZ 5 com ocupações média compacta e aberta. Com relação às LCZ 7, LCZ 10 e LCZ E, as mesmas existem na área de estudo, porém em distribuição espacial menor do que o mínimo definido por Stewart e Oke (2012), que é de diâmetro entre 400 a 1000m.

A classe com maior quantidade de polígonos foi a LCZ 3 com ocupação baixa compacta, isso por ter sido de fácil identificação principalmente na zona urbana do município. A LCZ 3 assim como a LCZ G – Água, possuíram as maiores acurácias, o que corrobora com a inferência de que estas áreas foram treinadas de forma que sua identificação pelo algoritmo foi mais eficiente quando comparada com as demais classes.

As classes de LCZ B, LCZ D e LCZ 6 obtiveram acurácias menores, e também são as classes com menor quantitativo de área treinada, porque foram identificadas em menores proporções na área de estudo. Ou seja, uma classe com poucas áreas de treinamento tende a fornecer uma quantidade limitada de informações sobre ela, existindo a probabilidade de o classificador automático do *LCZ Generator* não a identificar corretamente (VERDONCK *et al.*, 2019). Por isso, um dos testes estatísticos realizados nesta pesquisa teve a finalidade de identificar a existência de diferenças significativas entre as classes LCZs e seus atributos como TST e NDVI – resultados apresentados no item 4.2..

Na Figura 21 adiante apresenta-se a classificação LCZ para o município de Várzea Grande referente ao ano 2005.



**FIGURA 21:** Distribuição espacial das LCZs de Várzea Grande para o ano de 2005

**FONTE:** Elaborado pela autora a partir da classificação obtida pelo *LCZ GENERATOR*

Pelo recorte da área de estudo, demonstrado na Figura 21, a Macrozona Urbana do município tem predominância de ocorrência da LCZ 3, tipologia construtiva esperada para uma área urbanizada, assim como, quando se afasta da região central da cidade, a LCZ 9 com ocupação esparsa foi identificada em maior recorrência. Resultados similares foram encontrados por outros pesquisadores, como: Ferreira (2019), Werneck (2022) e Santos (2023).

Na região Passagem da Conceição, região rural e assim pouco urbanizada, a predominância é das LCZ B, LCZ C e LCZ D com significativa presença de regiões arbóreas.

### 5.1.2. Classificação LCZ para o território municipal – Ano 2020

Assim como aconteceu no ano de 2005, a acurácia geral para a classificação do ano de 2020 foi de 73% (OA), diferindo para o ano de 2020 a acurácia das classes com ocupação urbana (OAu) que atingiu 81% e a acurácia geral para classes

urbanas *versus* naturais (OAbu) com 87%. Já a acurácia ponderada (OAw) foi de 93%.

Foram identificadas as mesmas 10 classes LCZs relativas ao ano de 2005, acrescida da LCZ 2, assim sendo 05 classes relacionadas à tipologia construtiva e 06 com referência à cobertura do solo. A Tabela 8 sintetiza dados descritivos oriundos do processo de classificação.

**TABELA 8** - Descrições básicas das áreas de treinamento.

Classe	Quantidade de Polígonos Treinados	Soma da área de treinamento (km <sup>2</sup> )
LCZ 2 – Médio Compacto	2	1,03
LCZ 3 – Baixo Compacto	21	12,10
LCZ 6 – Baixo Aberto	4	2,02
LCZ 8 – Baixo Grande	10	2,78
LCZ 9 – Ocupação Esparsa	8	2,96
LCZ A – Vegetação Arbórea Densa	5	2,89
LCZ B – Vegetação Arbórea Esparsa	5	1,07
LCZ C – Vegetação Arbustiva	4	1,07
LCZ D – Vegetação Herbácea	4	1,60
LCZ F – Solo Exposto	8	1,82
LCZ G - Água	16	2,74
Total	87	31,88

\*Classes LCZs com menos de 1km<sup>2</sup> em área de extensão e um quantitativo menor que 5 polígonos, foram incluídas na classificação por entender que se referem a importantes modificações na área de estudo.

Assim como ocorreu com a classificação do ano de 2005, a LCZ 1, LCZ 4 e LCZ 5 não foram identificadas na área de estudo, bem como a LCZ 7, LCZ 10 e LCZ E.

Em se tratando da LCZ 1 e LCZ 4, que são relativas a ocupações alta compacta e aberta, respectivamente, esta tipologia construtiva não foi identificada em escala local na área avaliada para o ano de 2020, assim como a LCZ 5 com ocupações média aberta. Em relação às LCZ 7, LCZ 10 e LCZ E, as mesmas existem na área de estudo, porem em distribuição espacial menor do que o mínimo definido por

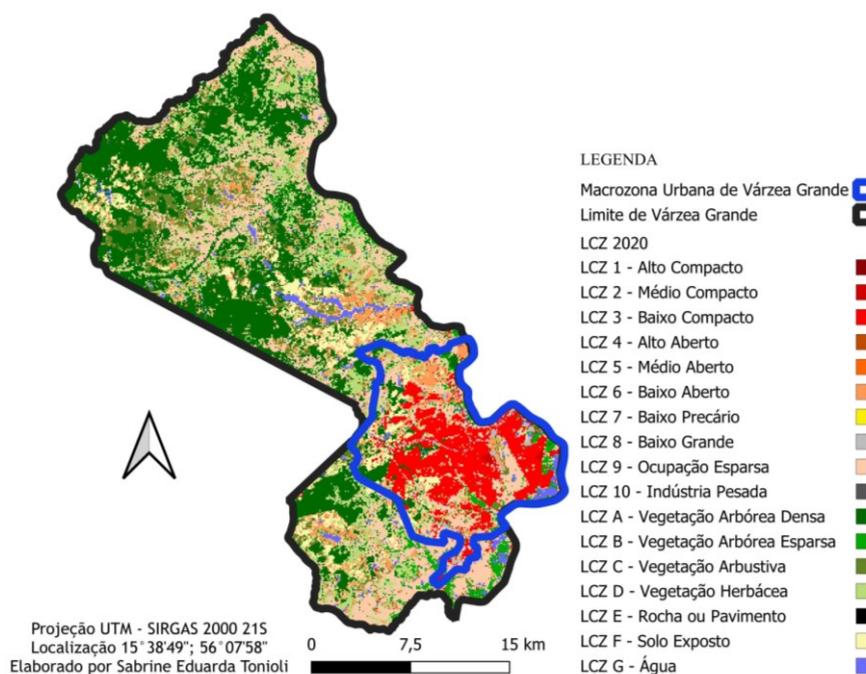
Stewart e Oke (2012), que é de diâmetro entre 400 - e 1000m, assim como aconteceu na classificação para o ano de 2005.

Em 2020 a classe LCZ 2 com ocupação média compacta foi identificada, porém durante a inserção das áreas de treinamento, foi possível perceber que esta classe existia com pouca presença no espaço da área estudada, o que explica esta classe ter apresentado acurácia mais baixa em relação as demais classes.

A classe com maior quantidade de polígonos identificados foi novamente a LCZ 3 com ocupação baixa compacta, isso por outra vez ter sido a classe mais simples de treinar e de fácil identificação na zona urbana do município.

Além da LCZ 2, a LCZ C de vegetação arbustiva, também apresentou acurácia baixa, e isso pode ser explicado pelas poucas vezes em que estas foram identificadas na área de estudo. Outras classes, como a LCZ B, também possuiu pouca área de treinamento, mas neste caso, obteve acurácia maior, provavelmente porque as suas áreas treinadas possuíram maiores detalhes e informações sobre sua composição, o que fez com que o algoritmo obtivesse maior precisão durante a classificação.

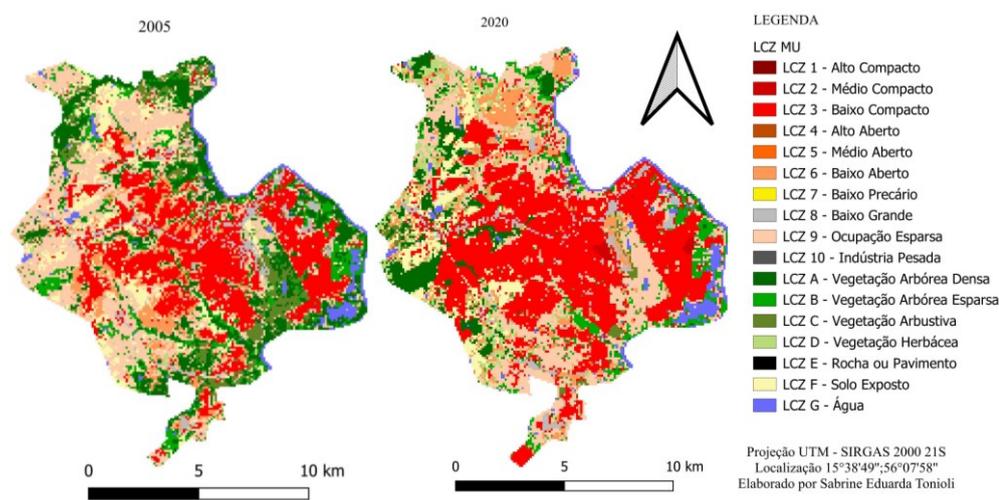
Na Figura 22 adiante apresenta-se a classificação LCZ para o município de Várzea Grande com relação ao ano de 2020.



**FIGURA 22** - Distribuição espacial das LCZs de Várzea Grande para o ano de 2020

**FONTE:** Elaborado pela autora a partir da classificação obtida pelo *LCZ GENERATOR*

Pelo recorte da área de estudo, demonstrado na Figura 22, observa-se novamente a predominância da LCZ 3 na Macrozona Urbana, além de que é possível identificar visualmente que sua ocorrência aumentou do ano de 2005 à 2020 (Figura 23), o que significa a existência de adensamento de áreas mais compactas e que favorecem a ocorrência de áreas com maiores gradientes de temperatura.



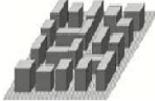
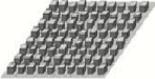
**FIGURA 23** - Distribuição espacial das LCZs na Macrozona Urbana para 2005 e 2020

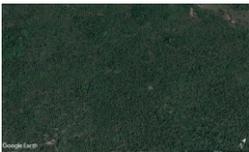
**FONTE:** Elaborado pela autora a partir da classificação obtida pelo *LCZ GENERATOR*

Percebe-se pela Figura 23 que a expansão da LCZ 3 foi observada em todas as regiões da Macrozona Urbana. Analogamente, pode-se inferir que as classes naturais de cobertura vegetativa tiveram diminuição em todo o perímetro municipal na janela temporal avaliada. E, em vista de estas serem regiões de atenuação térmica, sua diminuição ou ausência, também contribui para a geração de temperaturas cada vez maiores no município.

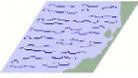
O Quadro 1 apresentado adiante relaciona de forma resumida as classes por zonas climáticas locais identificadas em cada ano de estudo.

**QUADRO 1 - Síntese das classes LCZs identificadas para o ano de 2005 e 2020**

Classes	Imagens e Síntese
<p style="text-align: center;"><b>LCZ 2</b></p>	
<p style="text-align: center;">Alto Compacto</p> 	<p>Classe identificada apenas na análise referente ao ano de 2020. Apresentou uso residencial e cobertura do solo predominantemente impermeabilizada e edifícios com mais de três até cinco pavimentos. Sua localização foi pontual para os bairros Jardim Aeroporto e Nova Várzea Grande. Ressalta-se que em outros locais da cidade essa classe também fora identificada, porém a área de abrangência não atingiu o mínimo sugerido por Stewart e Oke (2012).</p>
<p style="text-align: center;"><b>LCZ 3</b></p>	
<p style="text-align: center;">Médio Compacto</p> 	<p>Esta foi a classe mais abundante no perímetro urbano da cidade de Várzea Grande em 2005 e também 2020, e a que apresentou aumento entre a janela de tempo analisada nesta pesquisa. Caracterizou-se por ser uma área facilmente identificada, compondo grandes polígonos homogêneos, com construções de uso misto (residencial e comercial) de até três pavimentos, e cobertura do solo predominantemente impermeabilizada. Observada em diversos bairros como Centro Norte, Vinte e Três de Setembro e Cristo Rei.</p>
<p style="text-align: center;"><b>LCZ 6</b></p>	
<p style="text-align: center;">Baixo Aberto</p> 	<p>Essa classe aumentou aproximadamente 4,5% do ano de 2005 ao ano de 2020, fixando-se em regiões afastadas do centro da cidade, e ao mesmo tempo, contornando o perímetro urbano. Sua ocorrência predominou em bairros periféricos como São Matheus, Santa Isabel e Jardim Mariana, com uso misto, residencial e comercial, atendendo a demandas de bairros mais distantes do centro do município. Nesta classe, as áreas possuíram maiores espaços verdes, identificados por lotes vazios e também nos quintais dos lotes ocupados.</p>

<p><b>LCZ 8</b></p>	
<p>Baixo Grande</p> 	<p>Galpões, estacionamentos, lojas de departamento, supermercados e indústrias compõem a paisagem da classe LCZ 8, além de apresentar cobertura do solo predominantemente impermeável e pouca presença de vegetação. Foi identificada em locais específicos de Várzea Grande, como na região industrial do bairro Capão do Pequi e ao longo da Avenida da FEB.</p>
<p><b>LCZ 9</b></p>	
<p>Ocupação Esparsa</p> 	<p>Esta foi a classe de tipologia construtiva mais presente no município de Várzea Grande, com mais de 20% de ocupação na área de estudo tanto para o ano de 2005 quanto para o ano de 2020. Caracterizou-se por ser uma região periurbana, ou seja, transitiva entre área urbana/rural com função residencial e/ou rural e abundante presença de áreas permeáveis. Para o ano de 2005, estas áreas estavam localizadas próximo da região urbana municipal, já para o ano de 2020 com o aumento de outras classes como a LCZ 3, a LCZ 9 foi observada em regiões mais afastadas dos bairros urbanos, como Bom Sucesso, Capão Grande e Vinte e Quatro de Dezembro.</p>
<p><b>LCZ A</b></p>	
<p>Vegetação Arbórea Densa</p> 	<p>Arranjo denso de árvores que, ao nível dos olhos, observa-se alta obstrução do céu. Foi identificada em aproximadamente 26% e 27% do território de Várzea Grande, para os anos de 2005 e 2020 respectivamente, ou seja, em termos quantitativos, não houve alteração de forma considerável. Apresentou localização próximo às regiões noroeste e limítrofes do município, compondo áreas de proteção, principalmente à margem direita do Rio Cuiabá.</p>
<p><b>LCZ B</b></p>	

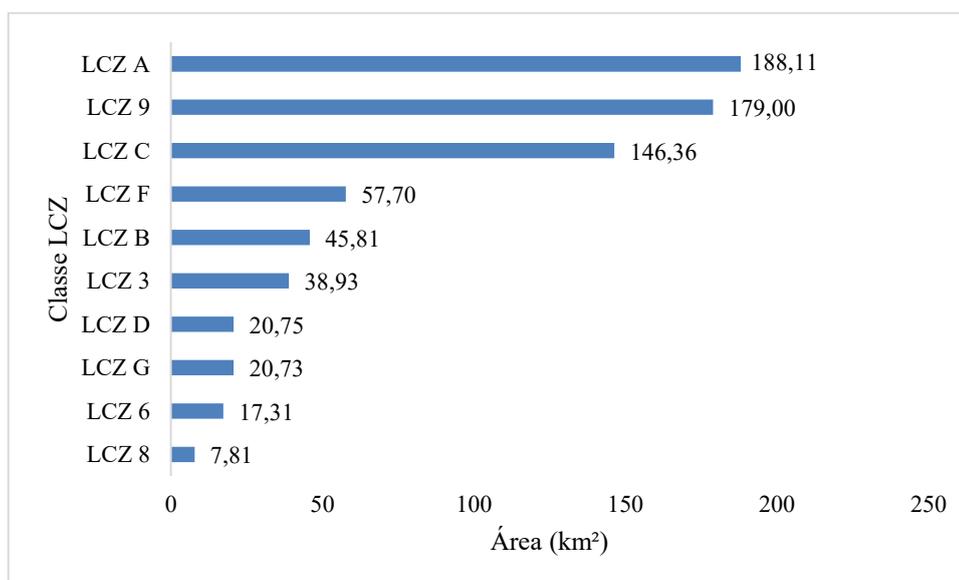
<p>Vegetação Arbórea Esparsa</p> 	<p>Dentre as classes com vegetação, foi a segunda menos predominante em 2005, e a de menor predominância para o ano de 2020. Com arranjo esparsado de árvores, foi identificada em regiões próximas da LCZ A e LCZ 9.</p>
<p><b>LCZ C</b></p>	
<p>Vegetação Arbustiva</p> 	<p>Classe localizada com maior abrangência na região noroeste da área avaliada, e em menores áreas nas regiões perimetrais do município. Conforme Figura 32, trata-se de um arranjo aberto de vegetação arbustiva com altura média de 2 metros e solo com areia ou solo exposto. Dentre as classes naturais, foi a que apresentou maior alteração, com diminuição de mais de 12% de área. Foi identificada em regiões de campos abertos não ocupados.</p>
<p><b>LCZ D</b></p>	
<p>Vegetação Herbácea</p> 	<p>Das classes naturais, essa foi a que apresentou maior aumento comparativamente entre o ano de 2005 e 2020, com incremento de área de aproximadamente 10%. Com plantas herbáceas de até um metro de altura e presença de grama, podendo apresentar árvores de forma esparsa, foi identificada de forma distribuída no município, exceto zona urbana.</p>
<p><b>LCZ F</b></p>	
<p>Solo Exposto</p> 	<p>É definida por superfícies com areia ou solo exposto, com pouca ou nenhuma presença de vegetação. Foi identificada em trechos de obras relacionadas à expansões urbanas e porções próximas da LCZ D.</p>

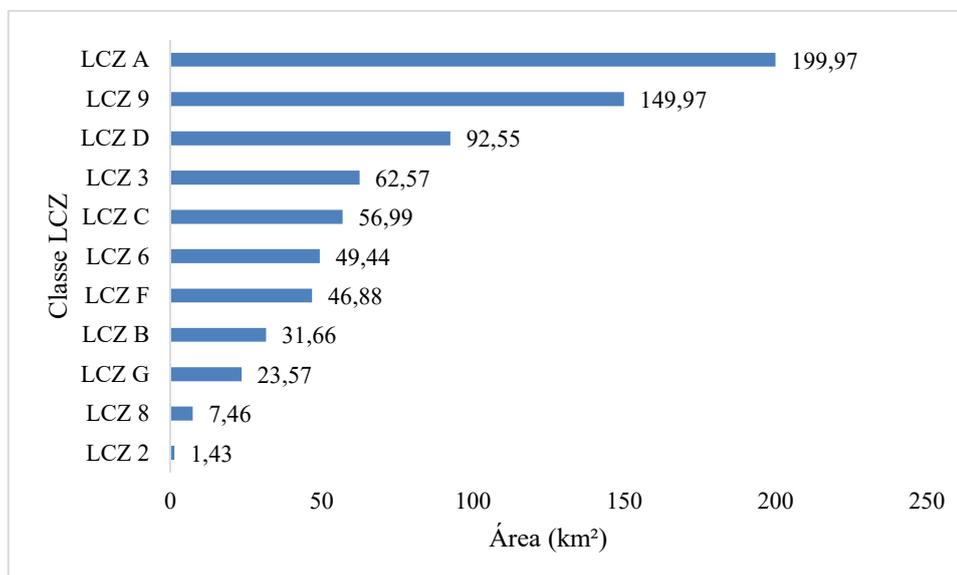
<p>LCZ G</p>	
<p>Água</p> 	<p>A maior presença dessa classe foi referente ao Rio Cuiabá. Também foram identificados pequenos e médios reservatórios em regiões periféricas do município.</p>

Como se pode inferir do Quadro 1, a identificação da LCZ 2, ocorreu apenas para o ano de 2020. Mesmo esta sendo uma classe com a menor acurácia no processo classificatório, é importante que seja salientada neste estudo por se tratar de um possível adensamento urbano de característica média compacta.

### 5.1.3. Comparativos entre LCZ do ano 2005 e 2020 para o município de Várzea Grande

Com o objetivo de se compreender as alterações na paisagem da área estudada, foram realizadas análises quantitativas, conforme é demonstrado na Figura 24 e 25 a seguir.



**FIGURA 24** - Distribuição por área das LCZs identificadas no ano de 2005.**FIGURA 25** - Distribuição por área das LCZs identificadas no ano de 2020.

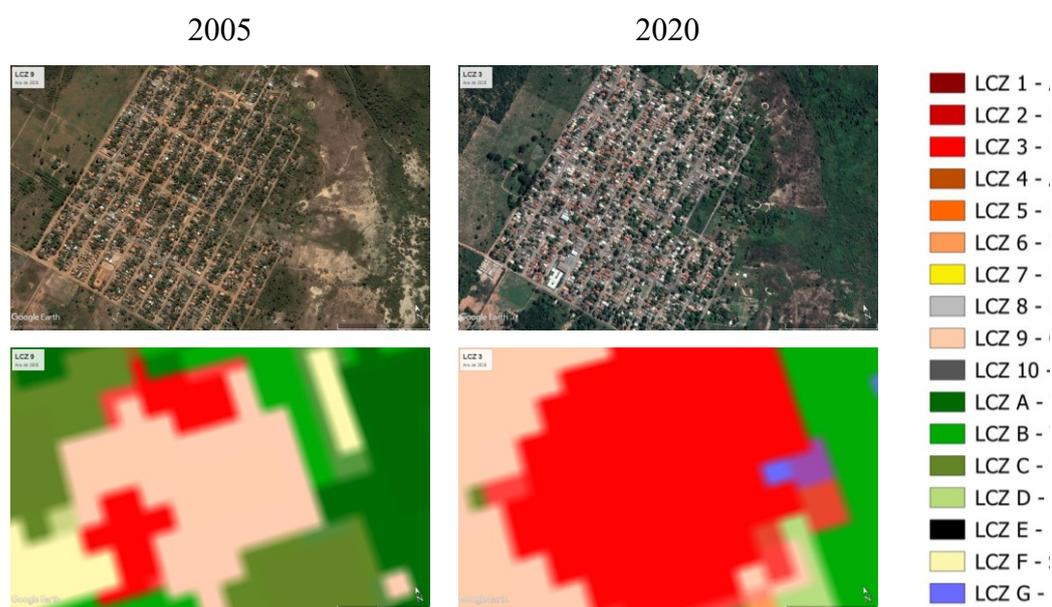
As Figuras 24 e 25 representam o quantitativo de área abrangido por cada LCZ no intervalo de análise, em ordem decrescente. Acrescenta-se que, ao nível de 95% de confiança estatística, foi identificada diferença significativa entre todas as classes LCZs identificadas em 2005 quando comparadas com as suas respectivas classes do ano de 2020.

Assim, a LCZ A com vegetação arbórea densa e a LCZ 9 relativa a ocupação esparsa, possuem a maior abrangência no território municipal respectivamente, e as mantiveram do ano de 2005 para o ano de 2020. A LCZ A representou 26,03% de ocupação do território analisado em 2005, e atingiu 27,67% no ano de 2020, permanecendo assim, sem expressivas modificações.

A LCZ 9 passou da cobertura de 24,77% em 2005 para 20,75% em 2020, diminuindo cerca de 4,02% ou 29,03km<sup>2</sup>, e isso pode ser, em partes, justificado pela expansão da LCZ 3, que aumentou de 2005 à 2020 cerca de 3,22% e, para ambos os anos analisados, apresentou predominante localização na Macrozona Urbana. A Figura 26 apresenta um exemplo para esta justificativa, onde em 2005 uma porção do bairro Vitória Régia (15°41'48,69''S; 56°7'26,95''O) na região Sul da

Macrozona Urbana possuía classificação de LCZ 9 com ocupação esparsa, e já para o ano de 2020 essa mesma região passou a ser classificada como LCZ 3 de tipologia baixa compacta.

Ressalta-se que entre os anos 2000 e 2010 a população do bairro Vitória Régia aumentou em 761 habitantes aproximadamente e a densidade demográfica da região Sul, qual o bairro faz parte dobrou entre 2000 e 2010.



**FIGURA 26** – Comparativos em resolução espacial de 2km entre as classes LCZ 9 e LCZ 3 para o bairro Vitória Régia nos anos de 2005 e 2020.

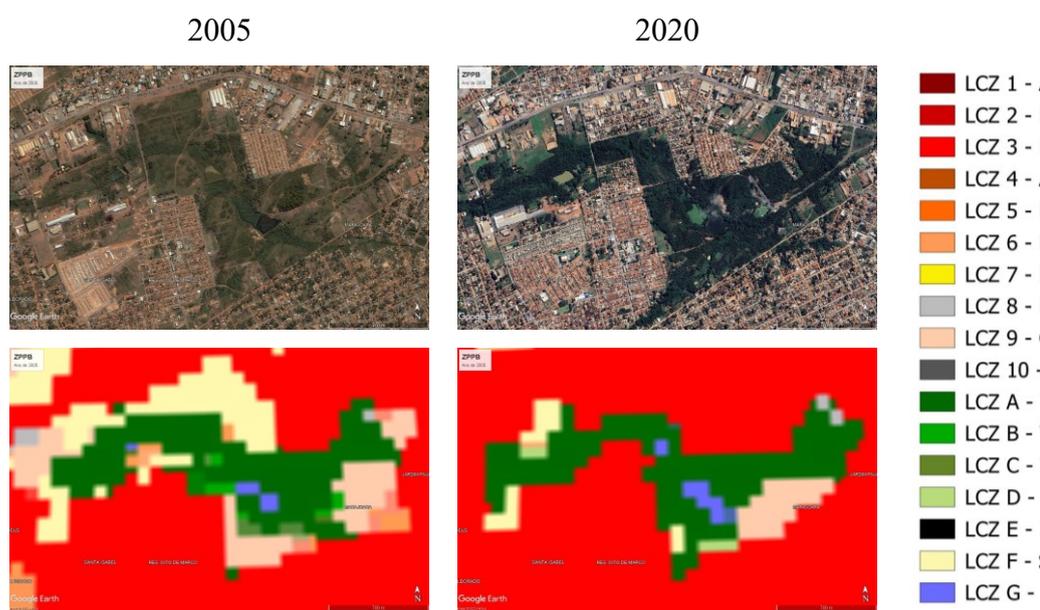
**FONTE:** Google *Earth Pro* e *LCZ Generator*.

O avanço da tipologia construtiva LCZ 3 de ocupação baixa compacta também pode ser percebida entre os anos de 2005 e 2020 na região Oeste da Macrozona Urbana, mais precisamente nos arredores da zona de proteção do Parque Berneck ( $15^{\circ}38'53.84''S$ ;  $56^{\circ}10'14.72''O$ ). Por meio da Figura 27 é possível verificar que as classes LCZ 9 e LCZ F, relativas a ocupação esparsa e solo exposto, respectivamente, foram suprimidas pela classe LCZ 3 de ocupação média compacta.

A região entre as proximidades do Parque Berneck faz parte da zona de proteção do parque, onde se permite apenas o uso residencial e devem ser verificados os possíveis impactos oriundos da impermeabilização do solo, que entre os anos

avaliados neste pesquisa, apresentou notório avanço, com menor possibilidade de ocorrência nas proximidades do parque para os próximos anos.

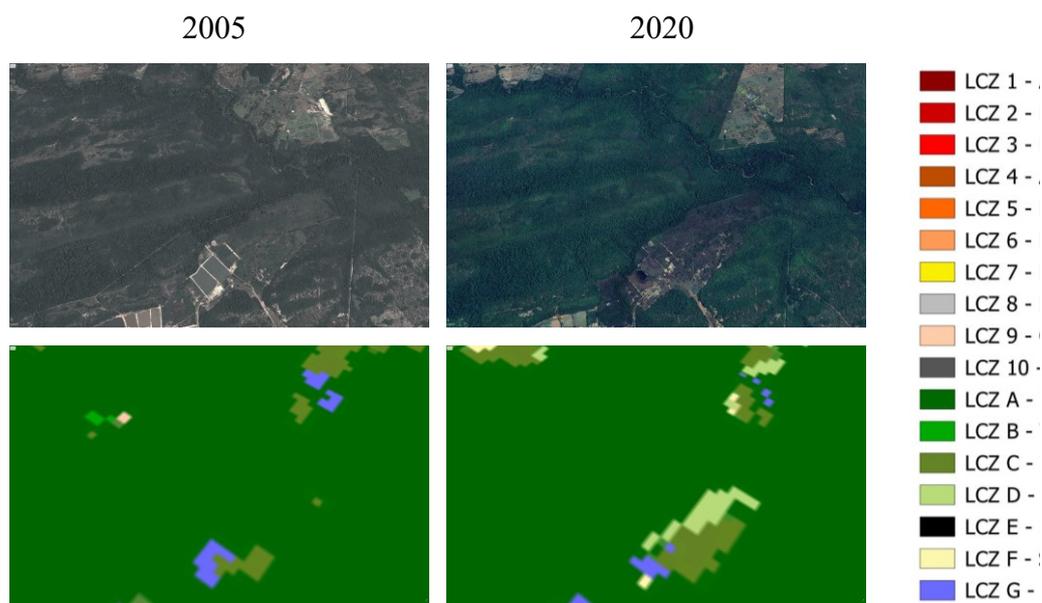
A região Oeste, onde o Parque Berneck está localizado, entre os anos 2000 e 2010 apresentou crescimento populacional em todos os seus bairros.



**FIGURA 27** – Comparativos em resolução espacial de 2km entre classes nos arredores do Parque Berneck nos anos de 2005 e 2020.

**FONTE:** Google Earth Pro e LCZ Generator.

A LCZ D foi a terceira classe com maior predominância no município em 2020, aumentado cerca de 71,80km<sup>2</sup> a partir de 2005 até 2020. De forma contrária, a LCZ C diminuiu sua abrangência em 89,37km<sup>2</sup> no mesmo intervalo de análise. Sendo a LCZ C a caracterização da paisagem com vegetação arbustiva, e a LCZ D com vegetação herbácea, pode-se inferir desse comparativo que a vegetação herbácea, com menor porte, ocupou espaço que no ano de 2005 possuía vegetação arbustiva. Isso pode ser aferido tanto pelos dados quantitativos apresentados neste tópico (Figura 24 e 25), quanto de forma qualitativa pela Figura 28 com a análise uma área de região rural Passagem da Conceição (15°35'26.43"S; 56°12'46.05"O).



**FIGURA 28** – Comparativos em resolução espacial de 10km entre classes naturais entre os anos de 2005 e 2020.

**FONTE:** Google *Earth Pro* e *LCZ Generator*.

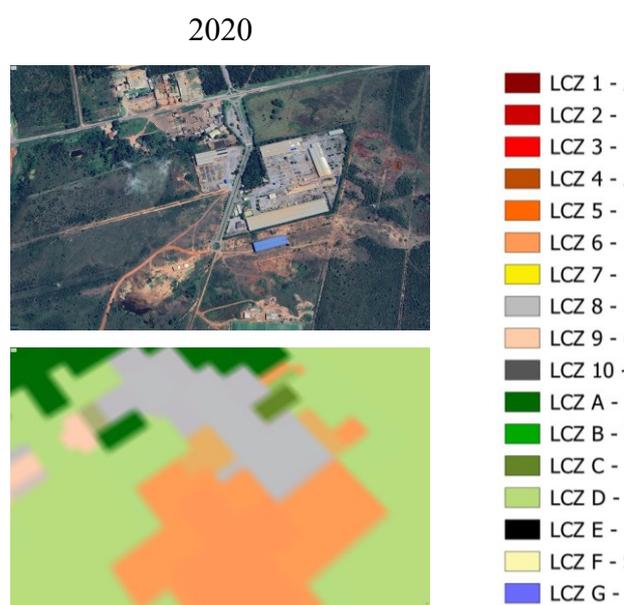
Percebe-se pela Figura 28 que para a mesma área, no ano de 2020 houve a presença da classe LCZ D de vegetação herbácea, e um quantitativo maior de área da LCZ C com vegetação arbustiva e arbórea de pequeno porte quando comparado com a classificação realizada para o ano de 2005, onde a vegetação arbórea densa continha maior quantitativo de área.

Ressalta-se que, apesar da LCZ A, com vegetação arbórea densa, ter apresentado maior área para os anos de 2005 e 2020, a diminuição de seu porte vegetativo foi identificada por meio desta pesquisa. E, este fato ocorreu também em regiões urbanas como o exposto pela Figura 27.

No que se refere a LCZ 8 de ocupação baixa grande, tipicamente desenhada com galpões, a mesma passou da abrangência de 7,81km<sup>2</sup> em 2005 para 7,46km<sup>2</sup> em 2020, uma diminuição de menos de 0,5km<sup>2</sup>. Já a LCZ 6 de característica baixa aberta aumentou de 17,31km<sup>2</sup> em 2005 para 49,44km<sup>2</sup> no ano de 2020, obtendo assim um aumento de área com mais de 30km<sup>2</sup>.

Compreende-se que de processos expansivos de regiões industriais com galpões, estas passaram a ocupar o espaço com caracterização baixa aberta - LCZ 6, e não mais baixa grande – LCZ 8, em vista de que um crescimento industrial na área de estudo ocorreu durante o intervalo de estudo.

Pela Figura 29 com demonstração de uma porção de área da região Sul da Macrozona Urbana, é possível identificar que locais próximos da LCZ 8 foram classificados pelo algoritmo do *LCZ Generator* como sendo de LCZ 6, inferindo-se que bairros industriais como a do Capão do Pequi (15°43'36.19"S; 56° 8'55.91"O) podem estar próximas, ou até ocupar espaços de tipologia construtiva baixa aberta.



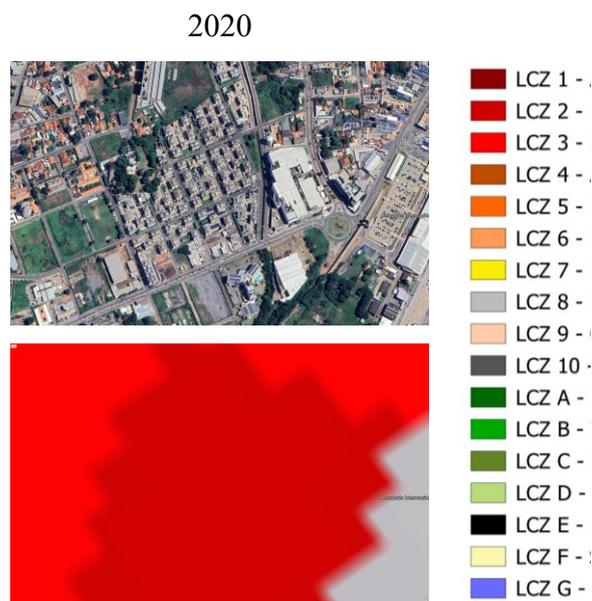
**FIGURA 29** – Classes LCZ 8 e LCZ 6 para o ano de 2020 no bairro industrial Capão do Pequi. Resolução espacial de 2km.

**FONTE:** Google *Earth Pro* e *LCZ Generator*.

A classe LCZ F, relacionada a solo exposto, diminuiu 1,5% no intervalo analisado, já a classe G de água, aumentou 0,4%, classes sem evidentes alterações na paisagem avaliada.

Destaca-se que a região central da Macrozona Urbana já possuía classificação com LCZ 3 em sua maior parte territorial em 2005, e que seu crescimento “vertical” é uma das opções encontradas por gestores urbanos perante o crescimento de cunho comercial destas localidades em especial.

Pela Figura 30 é possível observar uma das áreas classificadas como LCZ 2 com ocupação média compacta nas proximidades do *Shopping* de Várzea Grande e do Aeroporto Internacional Marechal Rondon (15°39'15.36"S; 56° 7'25.47"O).



**FIGURA 30** – Classe LCZ 2 em resolução espacial de 2km identificada no ano de 2020, no bairro Centro Sul da Macrozona Urbana de Várzea Grande.

**FONTE:** *Google Earth* e *LCZ Generator*.

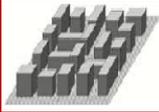
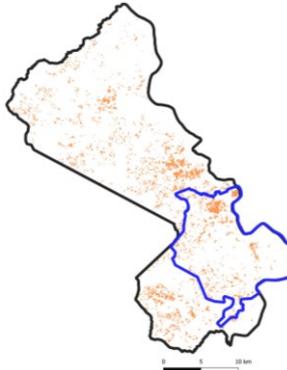
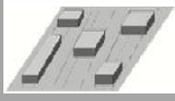
Do ano de 2005 para o ano de 2020, a LCZ A aumentou com a menor proporção em relação às classes com cobertura vegetativa, a LCZ B e LCZ C diminuíram e a LCZ D aumentou, havendo assim de forma geral uma diminuição do porte vegetativo de cobertura do solo.

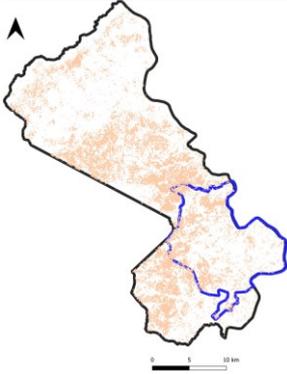
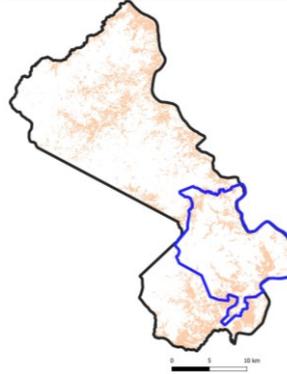
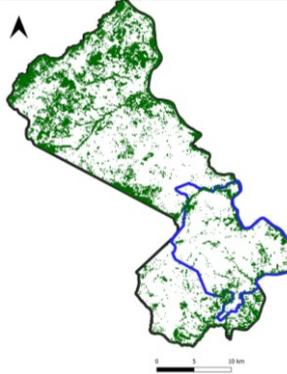
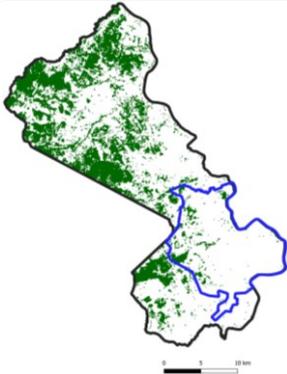
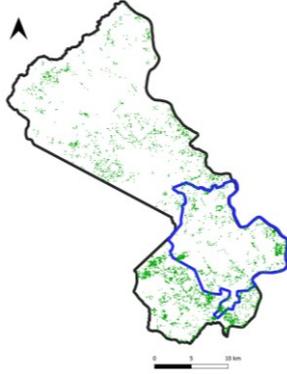
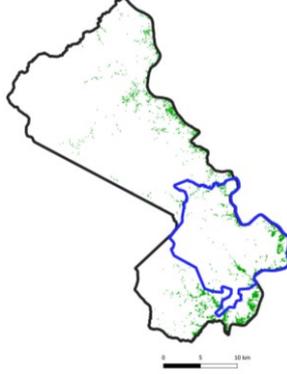
Com relação às tipologias construtivas, houve notório aumento da classe LCZ 3 de tipologia baixa compacta e diminuição em proporções similares da LCZ 9 de ocupação baixa esparsa, um efeito esperado frente às expansões urbanas, onde espaços antes esparsos, passam a ser compactos.

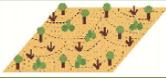
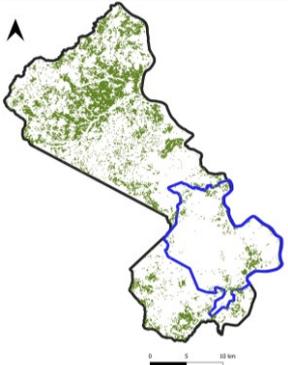
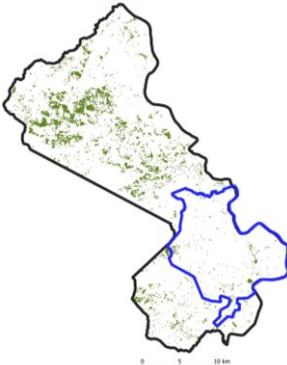
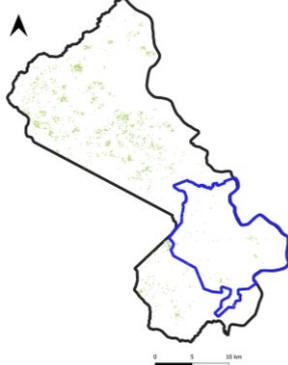
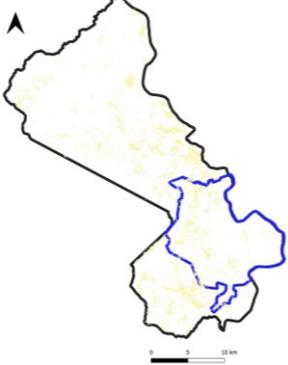
A simultaneidade dessas modificações em relação à cobertura do solo e tipologia construtiva convergem para a geração de regiões quentes na paisagem, e consequentemente, para o incremento dos gradientes de temperatura.

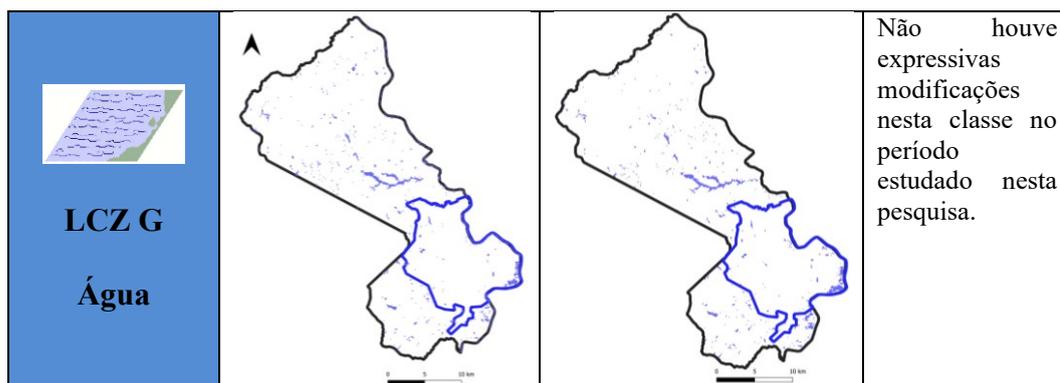
O Quadro 2 apresenta uma análise do perfil evolutivo sobre as classes LCZs identificadas na área de estudo.

QUADRO 2 - Perfil evolutivo das classes LCZs do ano 2005 ao 2020.

Classes LCZ/Ano	2005	2020	Alterações
 <p><b>LCZ 2</b> <b>Alto Compacto</b></p>			Classe registrada em regiões onde no ano de 2005, eram ocupadas pela LCZ 3, resultando em um adensamento morfológico, próximo às regiões centrais da Macrozona Urbana.
 <p><b>LCZ 3</b> <b>Médio Compacto</b></p>			Classe que apresentou aumento de 23,64km <sup>2</sup> , expandindo-se nas regiões da Macrozona Urbana, como região Leste, Sul, Oeste e Norte.
 <p><b>LCZ 6</b> <b>Baixo Aberto</b></p>			Esta classe teve um aumento de 32,13km <sup>2</sup> de área, migrando da região Oeste para a Norte da Macrozona Urbana e região Passagem da Conceição, Formigueiro e Souza Lima.
 <p><b>LCZ 8</b> <b>Baixo Grande</b></p>			Não houveram expressivas modificações nesta classe no período estudado nesta pesquisa.

 <p><b>LCZ 9</b> <b>Ocupação Esparsa</b></p>		 <p>Esta foi a única classe de tipologia construtiva que apresentou diminuição, com 29,03 km<sup>2</sup> a menos de área em 2020. Destaca-se que em 2005 regiões traçadas como LCZ 9 passaram a ser LCZ 6, como na porção central da região Passagem da Conceição, Formigueiro e Souza Lima.</p>
 <p><b>LCZ A</b> <b>Vegetação Arbórea Densa</b></p>		 <p>Houve uma redistribuição com a classe natural mais abundante da área estudada. A LCZ A passou a ter uma concentração em pontos específicos maior na região rural Passagem da Conceição e Formigueiro.</p>
 <p><b>LCZ B</b> <b>Vegetação Arbórea Esparsa</b></p>		 <p>A LCZ B apresentou diminuição em torno de 14,15km<sup>2</sup>, não sendo mais identificada na porção central da região Passagem da Conceição e Formigueiro, que passaram a ser ocupadas pelas LCZs C e D.</p>

 <p><b>LCZ C</b> <b>Vegetação Arbustiva</b></p>			<p>Esta foi a classe que registrou a maior diminuição em área, com cerca de 89,37km<sup>2</sup> a menos, tendo suas áreas de 2005 ocupadas pelas classes LCZ 9 e D na análise de 2020.</p>
 <p><b>LCZ D</b> <b>Vegetação Herbácea</b></p>			<p>Classe que aumentou 71,80km<sup>2</sup>, expandindo-se para as regiões Passagem da Conceição nas proximidades do Rio Cuiabá e também na região Formigueiro.</p>
 <p><b>LCZ F</b> <b>Solo Exposto</b></p>			<p>Esta classe além de diminuir cerca de 10,82km<sup>2</sup> apresentou uma redistribuição na paisagem, migrando de porções limítrofes do Rio Cuiabá, para a outra extremidade, ou seja para a região Oeste do município, compondo principalmente a morfologia da região Passagem da Conceição, Formigueiro e região Oeste da Macrozona Urbana.</p>



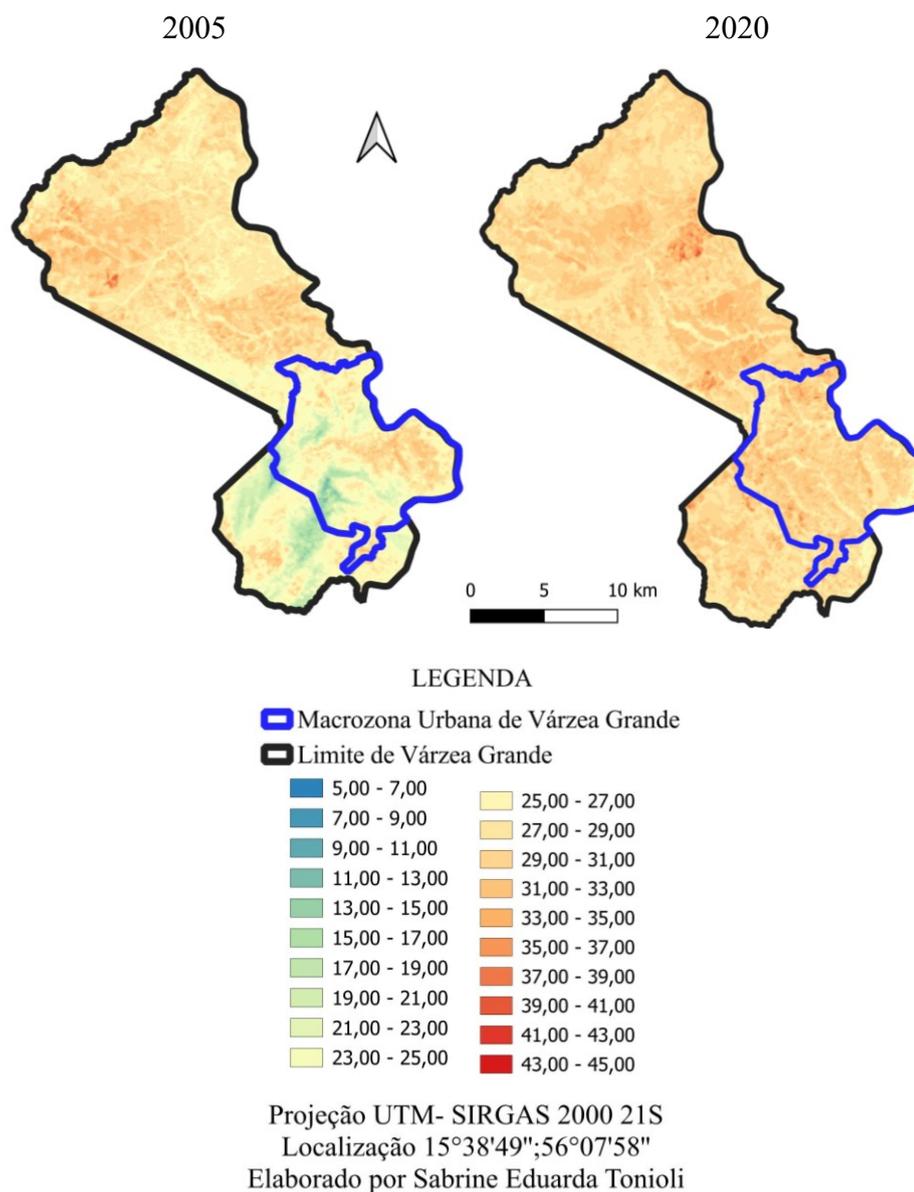
## 5.2. ÍNDICES ESPECTRAIS PARA VÁRZEA GRANDE

Este tópico apresenta e discute os resultados obtidos para TST e NDVI a partir dos procedimentos metodológicos envolvendo álgebra de mapas realizados em *software* SIG com imagens digitais de satélite da série Landsat 5 e Landsat 8, para os anos de 2005 e 2020.

Para a apresentação de resultados dos índices espectrais, foram elaborados mapas temáticos que serão, logo em seguida, apresentados de acordo com índice estudado.

### 5.2.1. Temperatura de Superfície Terrestre (TST)

Pelas Figura 31 é possível observar o mapa temático para TST em relação ao território municipal para o ano de 2005 e 2020, respectivamente.



**FIGURA 31** – TST em °C para Várzea Grande com referência ao ano de 2005 e 2020

Na Figura 31, relativa a análise de 2005, pode-se inferir que as temperaturas mais baixas ( $\cong 9^{\circ}\text{C}$ ) estão localizadas na região da Macrozona Urbana, Formigueiro e Souza Lima. As duas últimas, são regiões rurais onde a agricultura familiar é a base econômica dos moradores locais. Estas áreas possuíam à época, ocupações esparsas, com significativa presença de cobertura do solo permeável, composto por vegetação arbórea (LCZ A e LCZ B) e arbustiva (LCZ C), o que foi identificado pela classificação por LCZ ao intervalo e local em questão (Figura 21). Com relação

as temperaturas menores para a análise de 2020, estas foram registradas em locais com vegetação arbórea densa (LCZ A) e presença de água (LCZ G), em gradientes de  $\cong 23^{\circ}\text{C}$ .

No que se refere a Macrozona Urbana, para o ano 2005, as temperaturas mais amenas foram identificadas nas regiões Sul, Oeste e Norte, registrando temperaturas em  $\cong 11^{\circ}\text{C}$ . Nas demais regiões, como Leste e Central, as temperaturas registradas foram maiores, chegando a atingir  $\cong 33^{\circ}\text{C}$ . Nestas regiões com temperaturas mais altas, a classificação LCZ predominou em LCZ 3 (baixo compacto), LCZ 6 (baixo aberto) e LCZ 9 (ocupação esparsa), o que pode ter contribuído para o registro de temperaturas  $\cong 30^{\circ}\text{C}$ . Para o ano de 2020, não houve a identificação de temperaturas menores de  $\cong 23^{\circ}\text{C}$  tanto para a Macrozona Urbana como para as demais regiões do município de Várzea Grande.

Na região rural Passagem da Conceição em 2005, as temperaturas identificadas foram mais elevadas quando comparadas às outras regiões rurais, todavia isso não permite concluir que àquela seja uma região onde temperaturas maiores ocorrem cotidianamente. Ainda assim, as temperaturas registradas para o ano de 2005 na região Passagem da Conceição foram menores ( $\cong 30^{\circ}\text{C}$ ) do que quando comparadas aos registros do ano de 2020 ( $\cong 35^{\circ}\text{C}$ ). Quanto as classes LCZs para a região Passagem da Conceição, em 2020 houve um incremento de área da LCZ 9 (ocupação esparsa), além da identificação das classes já existentes, como as de cobertura do solo (LCZ A à LCZ G)

O que pode ter acontecido em 2005 para culminar em uma extensão de área predominantemente quente na região Passagem da Conceição, é que como as imagens de satélite foram obtidas com referência ao mês de agosto, período quente-seco quando são registradas altas temperaturas e baixo índice de umidade relativa, esta é uma época em que existe a recorrência de queimadas no município, o que pode contribuir para o aumento da temperatura nas proximidades dos focos de incêndio.

Conforme Borunda (2021), os incêndios também afetam a própria atmosfera, isso porque as partículas de fumaça são escuras, por isso, absorvem a luz solar e aquecem a si mesmas e o ar ao seu redor, colaborando para o aumento dos gradientes de temperatura. Além de que, estas partículas de fumaça tornam algumas

nuvens mais densas e mais comprimidas com pequenas gotículas, sendo esta uma combinação que torna a água existente nas nuvens menos propensa a cair na forma de chuva, e atenuar as altas temperaturas.

Ainda, sendo a região Passagem da Conceição caracterizada por aglomerados rurais, onde a população exerce como atividade financeira a agricultura familiar, com o plantio de diversas cultivares e também realiza a prática da pecuária, é possível que estivesse ocorrendo uma ausência temporária vegetativa entre safras a depender da janela de cultivo da cultivar de interesse, ou ainda, é possível que houvessem áreas caracterizadas como campo para atividade pecuária e que no momento em que a imagem foi capturada, provavelmente o solo estivesse coberto com vegetação de menor porte ou até descoberto, já que se trata do período seco.

Com relação ao ano de 2020 e aos dados avaliados na pesquisa, é possível perceber pela Figura 31 que houve uma distribuição homogênea de temperaturas acima de  $\cong 23^{\circ}\text{C}$ , com a identificação de pontos quentes de  $\cong 40^{\circ}\text{C}$  nas regiões rurais Passagem da Conceição e Formigueiro, além da Macrozona Urbana.

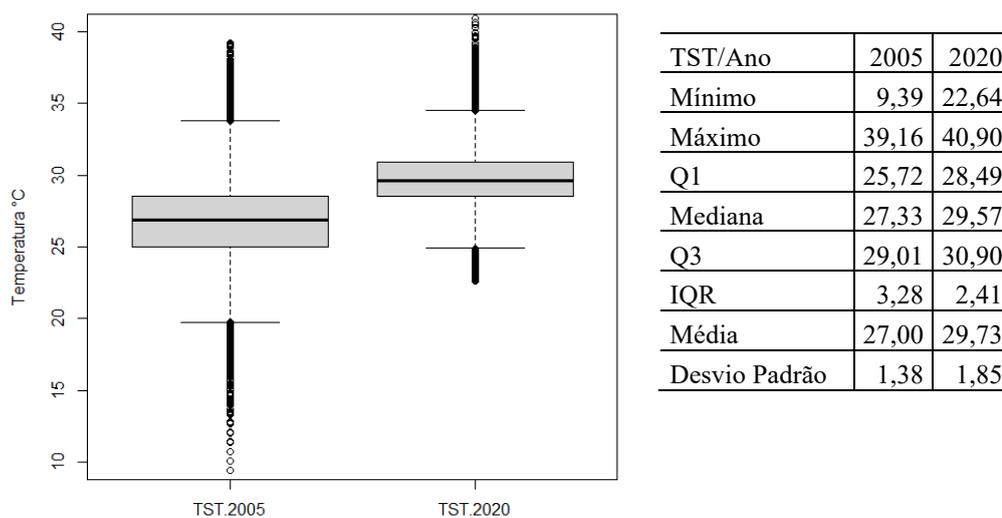
Os pontos quentes nas regiões rurais foram localizados em cobertura de solo exposto (LCZ F). Neste sentido, Santos (2016), descreve que o regime térmico de um solo é determinado pelo aquecimento de sua superfície pela radiação solar e transporte, por condução, de calor sensível – àquele que gera variação de temperatura, sem produzir mudança de fase - para seu interior. Assim, solos descobertos estão mais expostos à incidência solar, e por isso, possuem maiores gradientes de temperatura do que solos cobertos mesmo que com vegetação de menor porte.

Como dito acima, não houve registro de regiões com temperaturas menores que  $\cong 23^{\circ}\text{C}$  para a análise referente ao ano de 2020, no local e imagem analisada, oriunda de período quente-seco e capturada próximo das 09h45min local. Nesta região o nascer do sol ocorre próximo das 06h, assim, havendo um tempo estimado de 4h para exposição ao sol, o que pode justificar não haver registros menores de  $\cong 23^{\circ}\text{C}$  nesta análise.

A imagem do ano de 2005 foi capturada próximo das 9h33min, com aproximadamente 12 minutos de diferença em relação à imagem do ano de 2020, e assim com menor tempo de exposição à incidência solar, e isso pode ter contribuído para o registro de gradientes menores de temperatura para o ano de 2005.

Outro fator que pode ter contribuído para a presença de regiões com temperaturas amenas no ano de 2005 é a presença de vegetação em maior porte, o que foi modificado para o ano de 2020, ano em que as regiões Sul da Macrozona Urbana, Bom Sucesso, Souza Lima, Pai André, Praia Grande e Limpo Grande, tiveram as coberturas vegetativas suprimidas ou com diminuição de porte, por exemplo, de arbórea para arbustiva ou herbácea. Nestas regiões, também foi identificado o processo de impermeabilização do solo, com o aumento da presença de tipologias construtivas LCZ 3, LCZ 6 e LCZ 9, de característica baixo compacto, aberto e esparsa, respectivamente.

Análises estatísticas relacionadas aos polígonos (classes LCZs) e seus atributos (TST), foram realizadas com fins de validação dos resultados e interpretações desta pesquisa. Inicialmente, os dados foram avaliados com relação à sua distribuição, por meio do gráfico de caixa demonstrados pela Figura 32.



**FIGURA 32** - Conjunto de dados de TST referente aos anos de 2005 e 2020

O gráfico de caixa da TST 2005, apresenta a tendência de centralidade dos dados em 27,33°C, com uma dispersão de 3,28°C e uma distribuição simétrica. Para esta variável existe a presença de *outliers*. A média da TST para a área de estudo no ano de 2005 foi identificada em 27°C.

Com relação ao gráfico de caixa da TST 2020, a distribuição dos dados também apresentou simetria já que a tendência de centralidade dos dados (29,57°C), está delineada no centro da caixa do diagrama. A média da TST para o ano de 2020 foi

de 29,73°C, com dispersão de 2,41°C. Neste conjunto de dados também houve a identificação de *outliers*.

Perante os *outliers* identificados por meio desta análise, optou-se por verificar a integralidade de cada conjunto de dados, com a finalidade de entender sua ocorrência, isso porque, os *outliers* representam dados que se diferenciam das demais observações, e podem levantar suspeitas sobre a observação daquele dado em específico. O ideal é que após a detecção de um *outlier*, este seja excluído ou conservado no conjunto de dados, a depender do real motivo de seu surgimento (MONTGOMERY, 1991).

Os *outliers* do gráfico da TST, variaram em amplitude para os anos de 2005 e de 2020, porém representam as mesmas áreas, sendo as de maior temperatura, *pixels* que cobriram a Região Central da Macrozona Urbana de Várzea Grande e suas proximidades, e os *pixels* de menor temperatura localizados na Zona Rural denominada Formigueiro e Souza Lima em Várzea Grande. Portanto, assim optou-se para estes dados da TST, em deixá-los no conjunto de dados.

Foi realizado o teste de kolmogorov-smirnov com a finalidade de entender a distribuição dos dados. Adiante é apresentado o resultado da análise deste teste estatístico para a variável TST em cada ano avaliado.

```

TST - 2005
Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: Layer[[Field]]
D = 0.13331, p-value < 2.2e-16

```

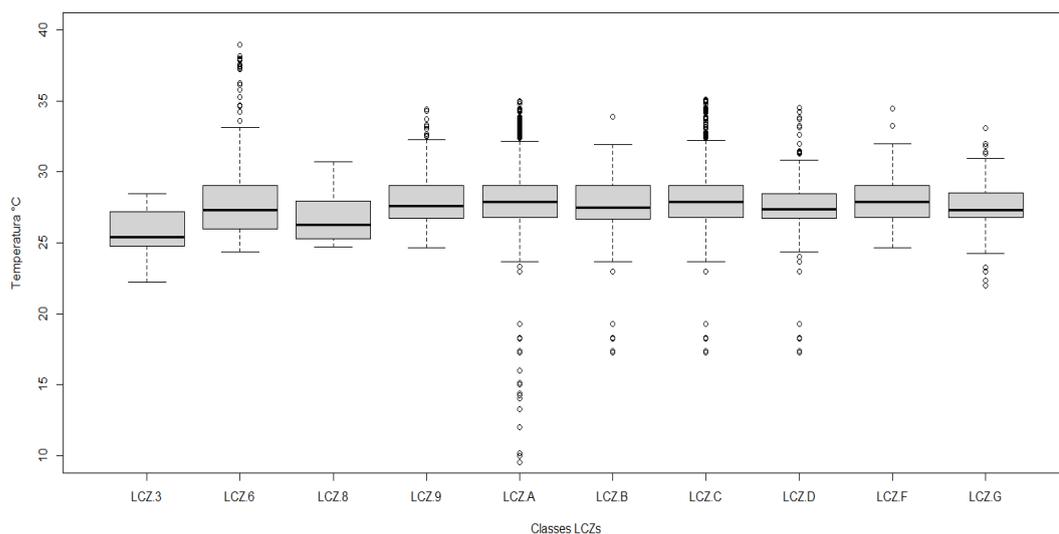
```

TST - 2020
Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: Layer[[Field]]
D = 0.036171, p-value < 2.2e-16

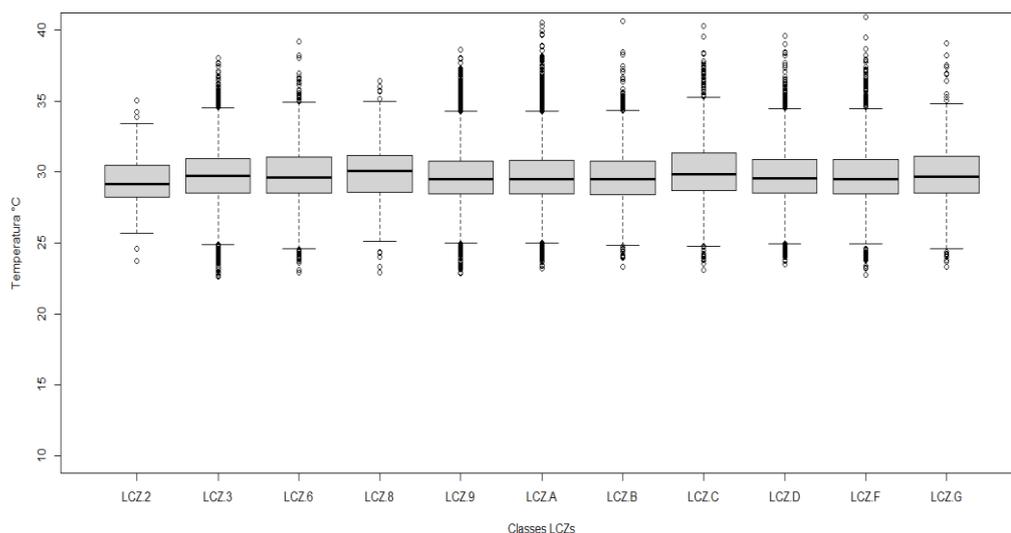
```

Como o resultado final obtido para o valor de  $\rho$  foi menor que 0,05 então a hipótese nula testada foi recusada, concluindo com 95% de confiança que os dados não aderem a distribuição Normal, tanto para o ano de 2005 quanto para o ano de 2020.

As Figuras 33 e 34 representam por meio do gráfico de caixa, a temperatura média para cada uma das classes LCZs identificadas nos anos de 2005 e 2020.



**FIGURA 33 - TST para cada LCZ referente ao ano de 2005**



**FIGURA 34 - TST para cada LCZ referente ao ano de 2020**

Pela Figura 33, observa-se os diagramas de caixa da TST para as classes LCZ do ano 2005, e é possível perceber que todas as temperaturas médias em cada LCZ aumentaram quando comparadas com as temperaturas médias de 2020 demonstradas na Figura 34. A classe LCZ A, com maior abrangência em termos de área, entre os dois anos avaliados passou da temperatura média de 27,47°C para 26,69°C (a menor temperatura entre as classes para o ano de 2020). A classe LCZ 3 com ocupação baixa compacta, aumentou cerca de 4,34°C, passando de 25,41°C para 29,75°C.

O teste de Kruskal-Wallis foi realizado com o objetivo de verificar a existência de diferença significativa envolvendo as classes LCZs iguais com as variáveis TST entre o ano de 2005 e 2020. O teste inicia com a verificação da existência de diferenças significativas entre as classes LCZs em ambos os anos estudados. A conclusão advinda do teste foi de que ao nível de 95% de confiança, existe pelo menos uma diferença significativa entre as classes LCZs frente os valores de TST [ $H_{(20)}=7568,1;p=5,62^{-56}$ ], tanto para o ano de 2005 quanto para o ano de 2020.

Também foram comparadas as classes LCZ entre si conforme cada ano do intervalo estudado nesta pesquisa, concluindo ao nível de 95% de significância que existe pelo menos uma diferença estatística entre as classes LCZ e seus valores de TST para o ano 2005 [ $H_{(9)}=5090,1;p=0$ ], e para o ano 2020 [ $H_{(10)}=205,23;p=1,30^{-38}$ ].

Pelo *post-hoc* de Dunn foi possível identificar os pares com diferenças entre si, demonstrados na Figura 35 por matriz de comparação entre as medianas da TST 2005 e 2020 com cada LCZ. A cor vermelha indica pares de classes onde não foi identificada diferença significativa entre o polígono (LCZ) e seu atributo (TST) quando comparado entre os anos de análise, ao passo que a cor azul se relaciona com pares de classes estatisticamente diferentes. As células internas da matriz foram preenchidas com os quantitativos do valor  $p$  do teste em questão.

		Ano de 2020										
		LCZ 2	LCZ 3	LCZ 6	LCZ 8	LCZ 9	LCZ A	LCZ B	LCZ C	LCZ D	LCZ F	LCZ G
Ano de 2005	LCZ 2	-	6,71E-01	6,28E-01	5,13E-01	1,71E-01	2,24E-01	1,57E-01	3,55E-01	3,89E-01	2,57E-01	7,37E-01
	LCZ 3	-	0,00E+00	7,90E-01	1,37E-02	3,19E-07	6,19E-06	3,00E-04	7,83E-10	2,81E-02	1,99E-03	7,80E-04
	LCZ 6	-	2,23E-08	0,00E+00	1,06E-02	1,47E-05	1,90E-04	1,14E-03	2,04E-09	8,32E-02	8,02E-03	6,40E-01
	LCZ 8	-	3,52E-10	5,17E-02	7,56E-04	3,49E-06	1,46E-05	1,37E-05	6,34E-03	5,30E-04	7,85E-05	3,63E-02
	LCZ 9	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,90E-04	2,51E-03	7,58E-01	0,00E+00	2,26E-03	2,70E-04	1,90E-04
	LCZ A	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,95E-07	3,54E-01	0,00E+00	2,29E-02	4,17E-02	1,16E-03
	LCZ B	-	0,00E+00	2,47E-10	1,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,06E-02	3,02E-02	1,51E-03
	LCZ C	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,54E-05	0,00E+00	0,00E+00	2,10E-05
	LCZ D	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,94E-09	0,00E+00	1,97E-01	6,80E-03
	LCZ F	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,69E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,56E-03
LCZ G	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,99E-03	2,00E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,38E-02	8,70E-05	

**FIGURA 35** - Matriz com comparação de medianas de TST entre pares de LCZ

A classe LCZ 2 como foi identificada apenas no ano de 2020, não teve comparação entre pares no ano de 2005 e para o ano de 2020, quanto ao parâmetro de TST não apresentou diferença significativa quando comparada com as demais classes.

Algumas classes LCZs não apresentaram diferença estatística, dentre elas a LCZ 6 – 2020 e a LCZ 8 – 2005. Em vista de que, durante a elaboração do mapa classificatório, foi possível identificar áreas caracterizadas com a tipologia construtiva da LCZ 8, porém com a cobertura do solo da LCZ 6 de predominância permeável, isso pode justificar o porquê de não existir diferença significativa entre essas classes.

Perante as análises do valor  $p$  ajustado pelo método Bonferroni, para o ano de 2020, cerca de 70,90% dos dados apresentam mudanças significativas em termos de suas medianas, sugerindo que essas classes apresentam diferentes respostas para a TST, na área e intervalo de análise. Com relação ao ano de 2005, os dados com diferenças estatísticas significativas sobe para 95,55%.

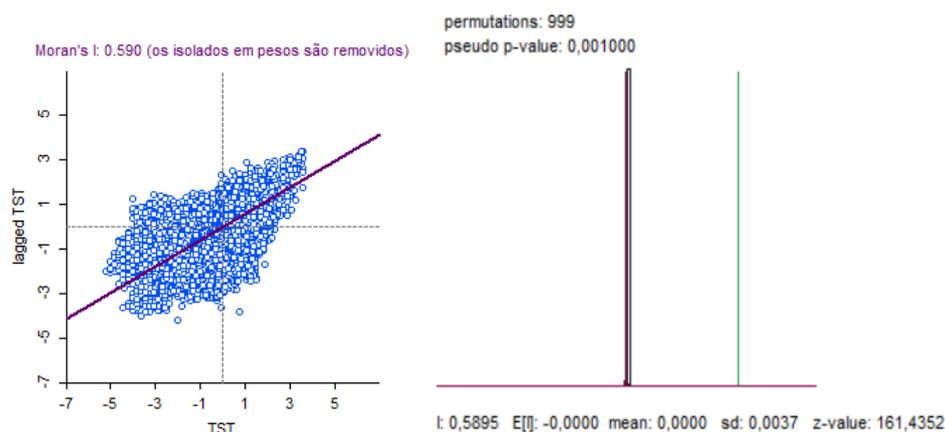
A Tabela 9 sumariza os dados das medianas de temperatura em cada classe LCZ, sendo assim, possível identificar as alterações ocorridas na área de estudo no intervalo de 15 anos. Todas as classes obtiveram aumento de temperatura, assim como foi identificado pelos diagramas de caixa das Figuras 34 e 35, e apresentaram resultados significativos, ou seja, existe diferença significativa entre as temperaturas das mesmas classes LCZs entre o ano 2005 e 2020.

**TABELA 9** - Resumo das temperaturas medianas em cada classe LCZ para o ano de 2005 e 2020

Classe LCZ	Temperatura (°C)			ρ Kruskal-Wallis
	2005	2020	Variação	
LCZ 2		29,85		
LCZ 3	25,41	29,75	+4,34	0
LCZ 6	25,23	29,80	+4,57	0
LCZ 8	25,27	29,88	+4,61	7,56E-04
LCZ 9	26,77	29,66	+2,89	0,00059
LCZ A	27,47	26,69	+2,22	1,95E-07
LCZ B	25,93	29,66	+3,73	0
LCZ C	27,97	30,02	+2,05	9,54E-05
LCZ D	28,31	29,74	+1,43	0
LCZ F	26,74	29,71	+2,97	0
LCZ G	26,97	29,80	+2,83	0,000087
Mediana anual	27,00	29,73	+2,73	0

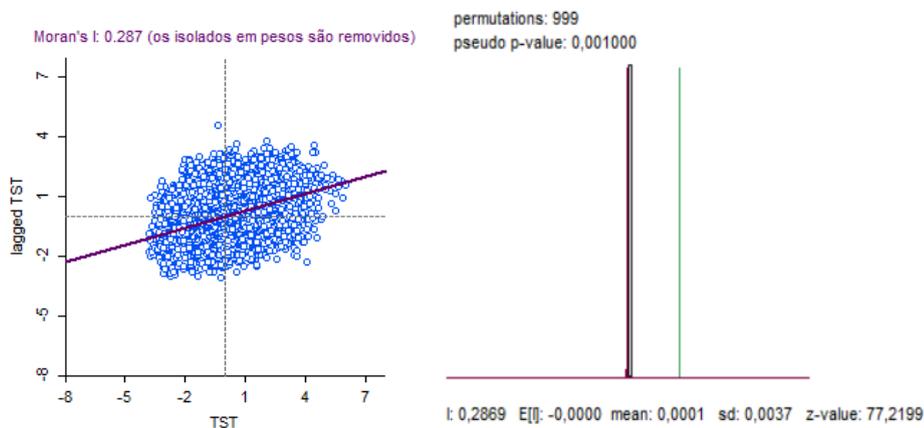
Da Tabela 9, também infere-se que as alterações mais expressivas ocorreram com as classes relacionadas à tipologia construtiva, sendo a LCZ 3, LCZ 6 e LCZ 8. É possível que as classes de tipologia construtiva tenham contribuído em maiores proporções quando comparadas as demais classes, para o aumento em °C da temperatura mediana local. Assim, na escala de tempo e área avaliada, ao nível de 95% de confiança, houve um aumento mediano de temperatura em 2,73°C do ano de 2005 para 2020 para o município de Várzea Grande.

As Figuras 36 e 37 apresentam os diagramas de espalhamento de Moran para a TST, referente aos anos avaliados.



**FIGURA 36** - Diagrama de espalhamento Moran da TST para o ano de 2005

Perante as análises realizadas, pode-se inferir que existe similaridade entre o atributo (TST) e a sua localização (LCZs) porque os índices obtidos foram de 0,590 para o ano de 2005 e 0,287 para o ano de 2020.



**FIGURA 37** - Diagrama de espalhamento Moran da TST para o ano de 2020

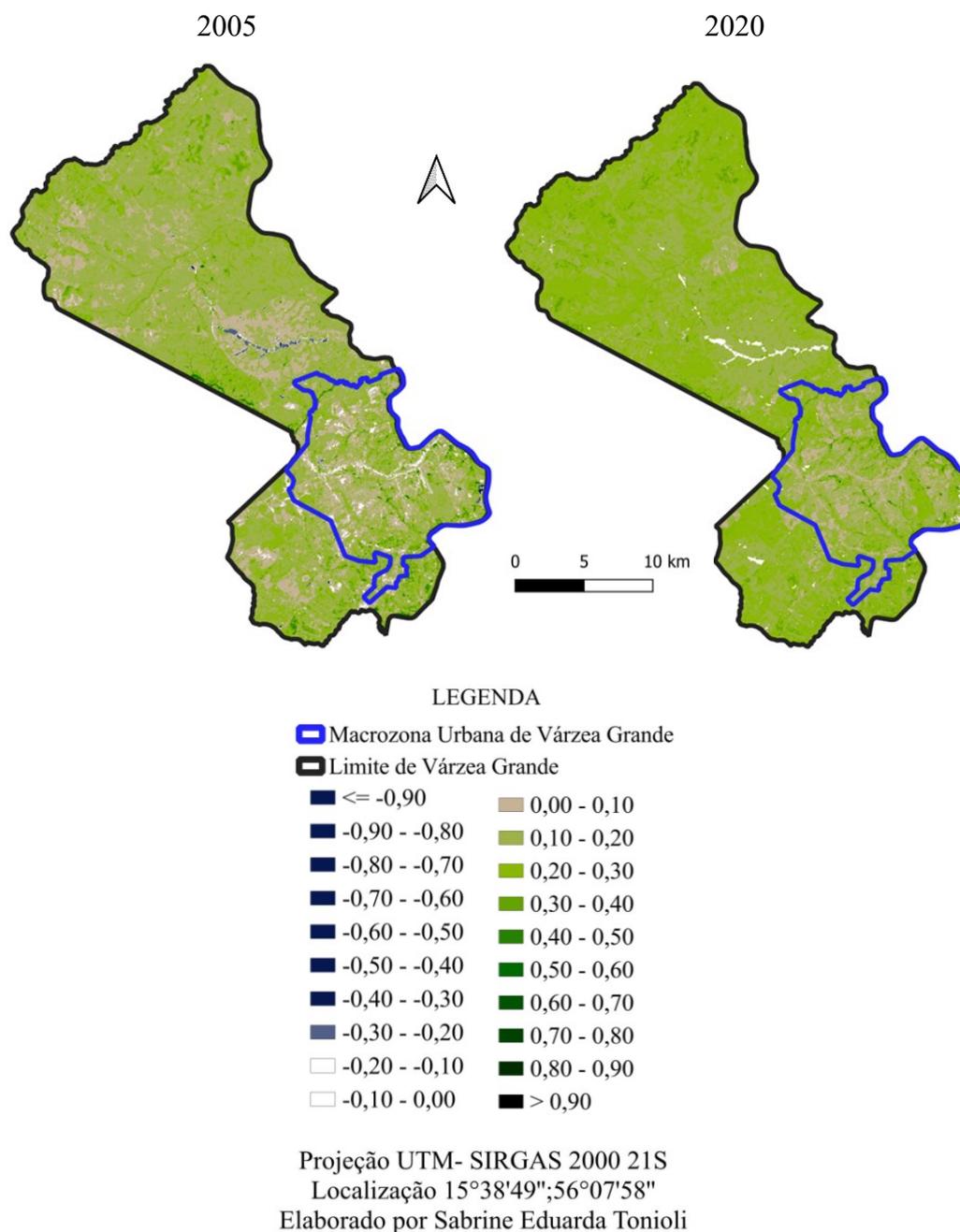
Foram realizadas 999 permutações para o teste de pseudo valor, com a finalidade de verificar a significância do índice Moran obtido e com fins de verificar as hipóteses do teste. Como o valor  $\rho$  obtido para a verificação em ambos os anos da TST foi menor que 0,05 rejeita-se a hipótese nula, concluindo que existe autocorrelação espacial entre o atributo TST e a localização das classes LCZs para ambos os anos estudados, e que os índices de Moran obtidos possuem significância de 95%.

Portanto, os resultados da análise de autocorrelação indicam presença de dependência espacial da TST e das classes LCZs. Esta interpretação também foi obtida por Werneck (2022) e Santos (2023), quando ambas as pesquisadoras estudaram sobre a temática e relacionaram as classes LCZs a alguns de seus atributos, dentre eles a TST.

### **5.2.2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**

Pela Figura 38, onde é demonstrado o índice NDVI – 2005 para o município de Várzea Grande característico do momento em que a imagem foi capturada.

É possível verificar que na região Passagem da Conceição, nas áreas onde as temperaturas superficiais foram maiores ( $\cong 39^{\circ}\text{C}$ ), houveram menores índices de NDVI (0 à 0,10) sugerindo não haver vegetação presente no local imageado ou a presença ser em menor porte vegetativo ou até, não sendo uma vegetação sadia, o que foi confirmado pela classificação por LCZ, pois nesta área a classe identificada foi a LCZ F (solo exposto), além das classes naturais de menor porte como LCZ D (vegetação herbácea) e LCZ C (vegetação arbustiva).



**FIGURA 38** - NDVI para Várzea Grande com referência ao ano de 2005 e 2020

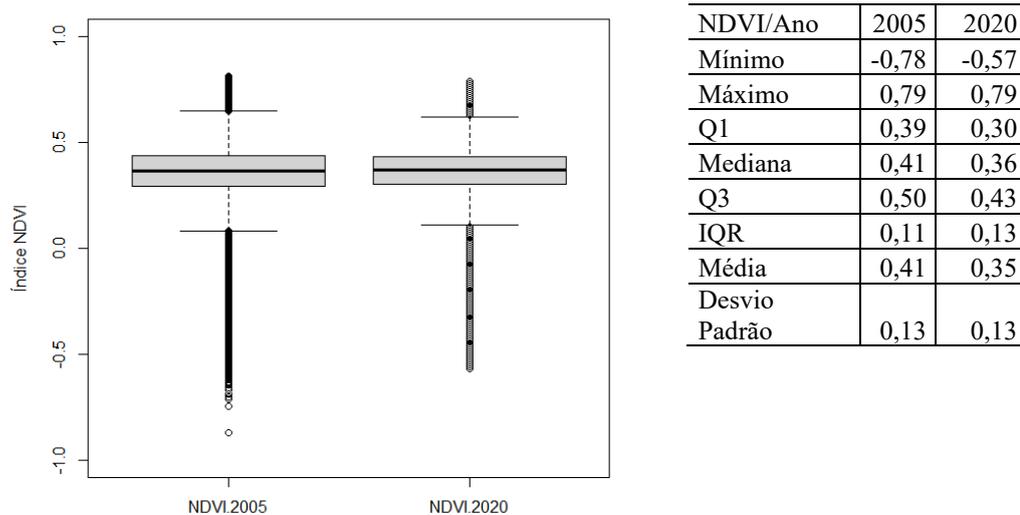
Além de áreas como a Passagem da Conceição, o índice NDVI foi menor na região da Macrozona Urbana do município, local em que também houveram temperaturas de superfície mais elevadas e impermeabilização do solo por tipologias construtivas como a LCZ 3 (baixo compacto) e LCZ 6 (baixo aberto). Tal fato pode ser observado tanto para as análises de 2005 quanto para 2020.

Para ambos os anos de estudo, os maiores valores positivos do índice NDVI, variaram entre 0,50 e 0,75 e foram identificados nas áreas em que existiram a presença de vegetação arbórea densa (LCZ A), esparsa (LCZ B) ou arbustiva (LCZ C), conforme identificado por LCZ (Figura 19), e essas foram regiões caracterizadas com temperaturas mais amenas,  $\cong 23^{\circ}\text{C}$  no ano de 2005 e  $\cong 25^{\circ}\text{C}$  em 2020.

Para o ano de 2005, valores de NDVI próximos à zero foram identificados ao longo dos arruamentos, estes concentrados no perímetro urbano de Várzea Grande, e porções nas demais regiões do município com solo exposto e assim classificados como LCZ F. Nestes pontos a TST atingiu temperaturas  $\cong 35^{\circ}\text{C}$ , de onde é possível inferir que a ausência vegetativa é mais um dos fatores que contribuem para o aumento de temperatura (ZAMBRANO; MERO, 2020).

Já para o ano de 2020, os índices de NDVI em torno de zero foram identificados em porções com solo exposto (LCZ F) e também em reservatórios hídricos (LCZ G) com temperaturas  $\cong 25^{\circ}\text{C}$  e  $\cong 27^{\circ}\text{C}$ . Neste caso, o que pode ter acontecido é que a coloração do reservatório poderia se assimilar à cor de rochas ou pavimentos. Conforme Mariani (2024), alguns fenômenos como espessura dos grãos de areia, sedimentos, chuva, maré alta e a incidência da luz solar impactam na coloração. No caso dos rios, estes levam sedimentos como folhas em decomposição, areia e barro de coloração marrom, resultando na tonalidade mais escura das águas.

Análises estatísticas relacionadas aos polígonos (classes LCZs) e seus atributos (NDVI), foram realizadas com fins de validação dos resultados e interpretações desta pesquisa. Inicialmente, os dados foram avaliados com relação à sua distribuição, por meio do gráfico de caixa demonstrados pela Figura 39.



**FIGURA 39** - Conjunto de dados de TST referente aos anos de 2005 e 2020

Pela Figura 39 e interpretação dos diagramas de caixa, percebe-se que a posição de tendência central dos dados de NDVI é o valor do índice de 0,41 para o ano de 2005 com dispersão de 0,11 e índice 0,36 no ano de 2020 com uma dispersão de 0,13 (intervalo interquartilico), indicando uma diminuição do índice NDVI no intervalo de tempo escolhido para esta pesquisa.

Apesar do baixo valor de dispersão entre os dados, é possível identificar presença de *outliers*, indicando a presença de valores discrepantes. A distribuição pode ser considerada simétrica pelo fato de que a linha da mediana está próximo do centro do retângulo do diagrama. Com relação a média do NDVI para o ano de 2005 em Várzea Grande, esta é de 0,35.

Na verificação do conjunto de dados do NDVI de 2005 e de 2020, os valores considerados *outliers* foram todos os índices negativos, neste caso, os *pixels* que cobrem os rios e reservatórios hídricos internos do município e a região limítrofe da área de estudo, com o Rio Cuiabá. Também foram identificados como *outliers* valores de índices acima de 0,70 intervalo este pouco identificado na área imageada pelo satélite. Sendo os *outliers* dados presentes na área de estudo e podendo ser explicados, optou-se por deixá-los no conjunto de dados.

Foi realizado o teste de kolmogorov-smirnov com a finalidade de entender a distribuição dos dados. Adiante é apresentado o resultado da análise deste teste estatístico para a variável NDVI em cada ano avaliado.

```

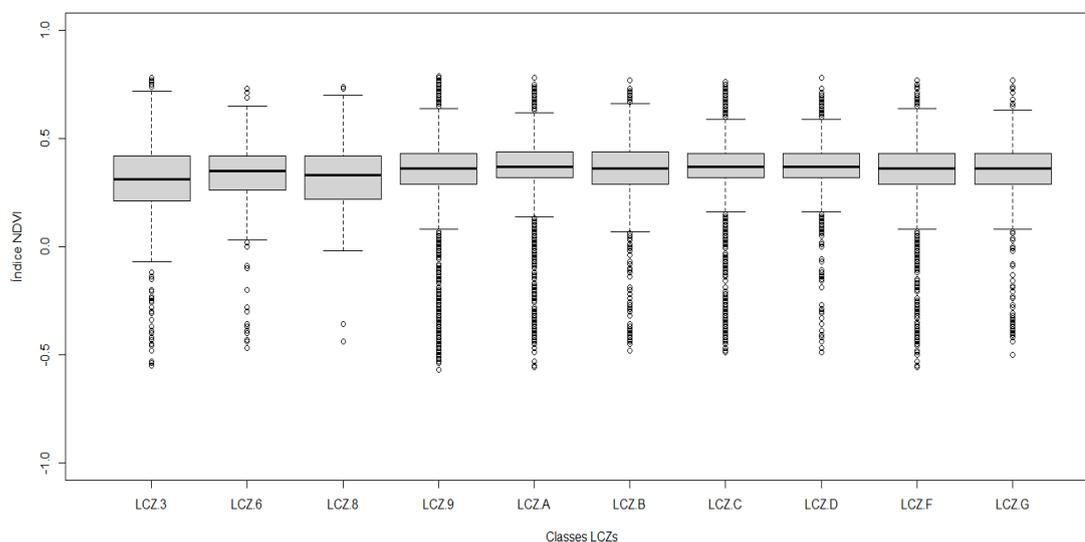
NDVI - 2005
Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: Layer[[Field]]
D = 0.08234, p-value < 2.2e-16

NDVI - 2020
Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: Layer[[Field]]
D = 0.09578, p-value < 2.2e-16

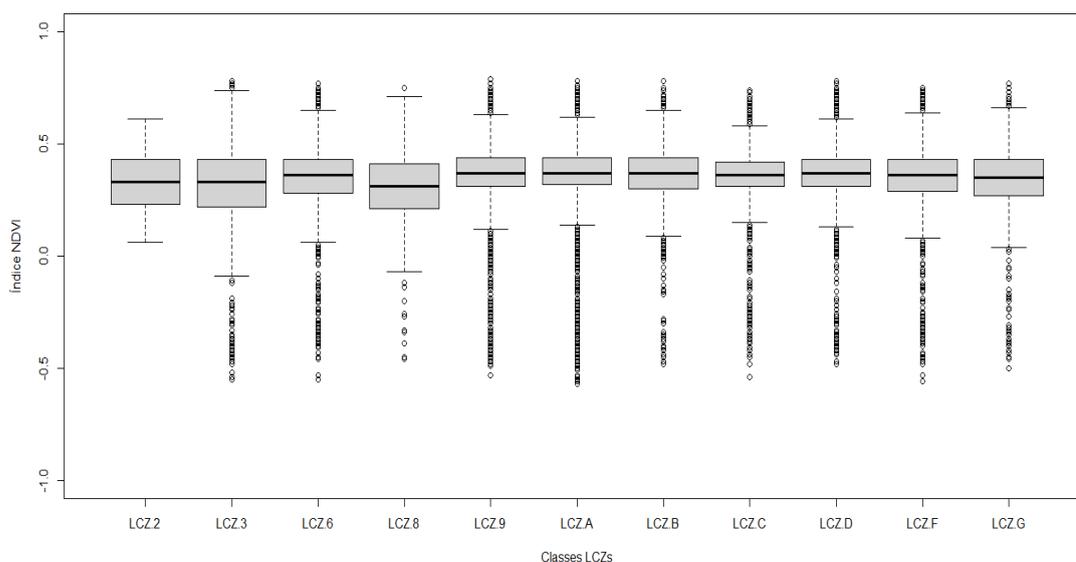
```

Como o resultado final obtido para o valor de  $\rho$  foi menor que 0,05 então a hipótese nula testada foi recusada, concluindo com 95% de confiança que os dados não aderem a distribuição Normal, tanto para o ano de 2005 quanto para o ano de 2020.

As Figuras 40 e 41 representam por meio do gráfico de caixa, o índice NDVI para cada uma das classes LCZs identificadas nos anos de 2005 e 2020.



**FIGURA 40** -Índice NDVI para cada LCZ referente ao ano de 2005



**FIGURA 41** - Índice NDVI para cada LCZ referente ao ano de 2020

Identifica-se pelas Figuras 40 e 41, que os valores para o índice NDVI não apresentaram alterações em grandes amplitudes tanto entre as classes de um mesmo ano, seja para 2005 como para 2020, quando entre os anos de análise, predominando valores entre os índices de 0 à 0,50 – vegetação esparsa de menor porte, como a LCZ B (vegetação arbórea esparsa), LCZ C (vegetação arbustiva) e LCZ D (vegetação herbácea).

O teste de Kruskal-Wallis foi realizado com o objetivo de verificar a existência de diferença significativa envolvendo as classes LCZs iguais com a variável NDVI entre o ano de 2005 e 2020. O teste inicia com a verificação da existência de diferenças significativas entre as classes LCZs em ambos os anos estudados. A conclusão advinda do teste foi de que ao nível de 95% de confiança, existe pelo menos uma diferença significativa entre as classes LCZs frente os valores de TST [ $H_{(20)}=2578,12; p=5,62^{-302}$ ], tanto para o ano de 2005 quanto para o ano de 2020.

Também foi realizado o teste entre as classes de NDVI identificadas para cada ano no intervalo de tempo de estudo da pesquisa, e a conclusão advinda do teste foi de que ao nível de 95% de confiança, existe pelo menos uma diferença significativa entre as classes LCZs frente os valores do índice NDVI, tanto para o ano de 2005 [ $H_{(9)}=1167,38; p=1^{-245}$ ], quanto para o ano de 2020 [ $H_{(10)}=1101,9; p=2^{-230}$ ].

Pelo *post-hoc* de Dunn foi possível identificar os pares com diferenças entre si, demonstrados na Figura 42 pela matriz de comparação entre as medianas do NDVI 2005 e 2020 para cada LCZ. A cor vermelha indica pares de classes em que não foi

identificada diferença significativa entre o polígono (LCZ) e seu atributo (NDVI) quando comparado entre os anos de análise, ao passo que a cor azul se relaciona com pares de classes estatisticamente diferentes. As células internas da matriz foram preenchidas com os quantitativos do valor  $p$  do teste em questão.

		LCZ 2	LCZ 3	LCZ 6	LCZ 8	LCZ 9	LCZ A	LCZ B	LCZ C	LCZ D	LCZ F	LCZ G
Ano de 2005	LCZ 2	-	8,44E-01	8,80E-03	1,67E-01	3,00E-05	3,00E-06	3,00E-04	1,80E-03	3,00E-05	7,20E-03	8,90E-03
	LCZ 3	-	9,65E-10	0,00E+00	4,70E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,00E-11
	LCZ 6	-	1,00E-10	0,00E+00	0,00E+00	2,00E-14	0,00E+00	5,00E-04	3,82E-03	1,00E-12	7,88E-01	3,50E-03
	LCZ 8	-	4,64E-02	8,10E-03	0,00E+00	1,00E-10						
	LCZ 9	-	0,00E+00	6,00E-12	3,00E-15	0,00E+00	4,00E-04	3,99E-02	2,00E-08	9,11E-01	2,00E-13	0,00E+00
	LCZ A	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,46E-07	6,00E-05	0,00E+00	1,30E-03	0,00E+00	0,00E+00
	LCZ B	-	0,00E+00	4,00E-10	5,00E-14	7,44E-01	4,00E-15	1,46E-09	6,28E-02	5,69E-02	1,20E-03	3,00E-08
	LCZ C	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,80E-03	9,00E-12	6,32E-10	4,00E-07	7,33E-02	4,00E-06
	LCZ D	-	0,00E+00	2,00E-16	0,00E+00	5,00E-05	4,31E-02	1,00E-03	1,80E-01	4,19E-07	1,00E-11	0,00E+00
	LCZ F	-	0,00E+00	1,00E-06	7,00E-11	1,11E-02	0,00E+00	2,93E-02	0,00E+00	2,00E-07	5,49E-11	1,70E-03
	LCZ G	-	0,00E+00	2,00E-04	2,00E-08	2,78E-02	2,00E-16	3,43E-02	1,00E-13	3,00E-06	6,20E-01	1,05E+00

**FIGURA 42** - Matriz com comparação de medianas de TST entre pares de LCZ

De acordo com o que se infere da Figura 42, para o ano de 2005, cerca de 93,33% dos dados apresentaram diferença significativa entre as classes LCZ para os índices de NDVI. Três pares de classes não identificaram diferenças entre si, sendo: LCZ B e LCZ 9; LCZ D e LCZ C; LCZ G e LCZ F. Já para o ano de 2020, aproximadamente 84,44% das classes LCZs apresenta diferença estatística para os índices do NDVI, não obtendo diferença entre pares de classes como LCZ 2 e LCZ 3; LCZ 9 e LCZ D; LCZ B e LCZ D.

A Tabela 10 sumariza os dados das medianas do índice NDVI em cada classe LCZ, sendo assim, possível identificar as alterações ocorridas na área de estudo no intervalo de 15 anos. Das 11 classes identificadas, 10 delas apresentaram resultados significativos, ou seja, existe diferença estatística entre os índices NDVI das mesmas classes LCZs entre o ano 2005 e 2020.

**TABELA 10** - Resumo das temperaturas médias em cada classe LCZ para o ano de 2005 e 2020

Classe LCZ	Índice NDVI			$\rho$
	2005	2020	Variação	Kruskal-Wallis
LCZ 2	-	0,32	-	-
LCZ 3	0,32	0,31	- 0,01	9,65E-10
LCZ 6	0,33	0,31	- 0,02	0
LCZ 8	0,32	0,30	- 0,02	0
LCZ 9	0,35	0,34	- 0,01	0
LCZ A	0,37	0,38	+ 0,01	2,46E-07
LCZ B	0,35	0,36	+ 0,01	1,46E-09
LCZ C	0,37	0,35	- 0,02	6,32E-10
LCZ D	0,36	0,37	+ 0,01	4,19E-07
LCZ F	0,34	0,35	+ 0,01	5,49E-11
LCZ G	0,34	0,34	0	1,05
Mediana anual	0,35	0,33	-0,02	0

Da Tabela 10, infere-se que dentre todas as classes identificadas, apenas a LCZ G relacionada a água, não apresentou alteração do índice NDVI permanecendo em 0,34 de 2005 para 2020. Assim, do teste Kruskal-Wallis interpreta-se não haver diferença estatística entre o NDVI da LCZ G de 2005 e 2020.

Para as demais classes, todas apresentaram variações no índice NDVI, seja por diminuição ou incremento. Todas as classes de tipologia construtiva apresentaram diminuição do índice NDVI entre o ano de 2005 e 2020. Já as classes naturais, excetuando-se a LCZ C, apresentaram aumento do índice NDVI.

Ressalta-se que as classes de tipologia construtiva apresentaram os maiores aumentos de temperatura de superfície, conforme apresentado anteriormente pela Tabela 9, e também, foram classes em que o índice NDVI apresentou diminuição, corroborando a ideia de que áreas não vegetadas ou com vegetação em menor porte apresentam temperaturas de superfície mais elevadas (PINHEIRO, 2021; FILHO; BEZERRA; PESSOA, 2023;).

Assim, na escala de tempo e área avaliada, com nível de 95% de confiança, houve uma diminuição mediana do índice NDVI de 0,02 do ano de 2005 para 2020 para o município de Várzea Grande.

### 5.2.3. Análise de Correlação entre NDVI e TST

Partindo do pressuposto que o NDVI influencia a TST pelos parâmetros encontrados de sua cobertura, avaliou-se a relação monotônica entre as duas variáveis.

Cabe ressaltar que a média e mais frequente índice NDVI encontrado foi 0,35 (2020) – 0,41 (2005) valores considerados moderados e associados à presença de vegetação esparsa arbustiva e gramíneas. A seguir é apresentada a saída do resultado da análise deste teste estatístico para cada variável e ano avaliado.

```
TST / NDVI - 2005
Non parametric test
data: Layer[[Field]]
Spearman, rho -0,61
```

```
TST / NDVI - 2020
Non parametric test
data: Layer[[Field]]
Spearman, rho -0,67
```

O valor final obtido para esta análise foi um coeficiente de Spearman  $\rho$  de -0,61 para 2005 e -0,67 para a análise de 2020 com 95% de confiança. Esse resultado indica a existência de uma correlação inversa entre a TST e o NDVI, de tal forma que conforme a TST aumenta o índice NDVI diminui, e o contrário também ocorre.

Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que maiores valores de NDVI representam áreas com vegetação densa e sadia, o que foi identificado com as classes LCZs relacionadas à cobertura do solo, onde inclusive, a classe de maior abrangência na área de estudo para os dois anos avaliados foi a LCZ A – vegetação arbórea densa.

Ao passo que quanto menor o valor do índice NDVI maiores são as temperaturas encontradas. Sabendo que NDVI com valores menores que 0,30 ou próximos de 0 indicam locais com pouca ou nenhuma vegetação, justifica o aumento da temperatura pela ausência de vegetação ou pequeno porte da mesma.

## 6. CONCLUSÃO

Perante a importância do conhecimento da morfologia urbana em escala local sob o viés do clima, nesta pesquisa foi utilizado o sistema de classificação por zonas climáticas locais para o município de Várzea Grande. Para que fosse possível compreender como a mudança na paisagem, seja por ação antropogênica ou natural, têm alterado a morfologia urbana, a classificação LCZ foi realizada em um intervalo de 15 anos (2005 – 2020). No ano de 2005 foram identificadas 10 classes LCZs e para o ano de 2020, 11 classes.

Com os mapas classificatórios, pode-se inferir que as classes relacionadas a tipologia construtiva aumentaram, como a LCZ 3 (baixo compacto), LCZ 6 (baixo aberto) e LCZ 9 (ocupação esparsa), ao passo que as classes relacionadas a cobertura do solo, diminuíram, como a LCZ D (vegetação herbácea).

Com a utilização de imagens satelitais do Landsat 5 e Landsat 8 foi possível a determinação do índice NDVI e da TST em cada ano na área de estudo. Com esses dados, foi identificado que a temperatura mediana aumentou  $2,73^{\circ}\text{C}$  em 15 anos, resultado significativo ao nível de 95% de confiança estatística. Ao mesmo nível de significância, o índice NDVI passou da mediana anual em 2005 do valor de 0,35 para 0,33 no ano de 2020.

Percebeu-se pelas análises realizadas, que as classes LCZs de tipologia construtiva foram as que apresentaram os maiores incrementos em  $^{\circ}\text{C}$  de temperatura, chegando a aumentar  $4,61^{\circ}\text{C}$  (LCZ 8 – baixo grande), e também nestas classes o índice NDVI diminuiu em torno de 0,01 e 0,02. Deste fato, pode-se inferir que a ausência de vegetação simultânea a impermeabilização do solo contribui para o aumento da temperatura superficial.

A classe LCZ 2 foi identificada apenas na classificação morfológica para o ano de 2020, ainda em pequenas proporções, com polígonos menores que  $1\text{km}^2$ , porém representam um possível crescimento urbano de forma média compacta e sugere como o desenvolvimento da cidade poderá se dar caso não existam orientações para o crescimento urbano que seja sensível às condições climáticas.

Neste sentido, torna-se necessário medidas para atenuação dos efeitos deletérios das anomalias térmicas com fins de proporcionar meios para o desenvolvimento de cidades e comunidades sustentáveis e resilientes.

## 6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Entendendo que a contribuição desta pesquisa reflete parte de uma parcela maior de conhecimento sobre a temática, sugere-se outros estudos adjacentes à temática, sendo:

- a) Análises com imagens de satélite noturnas;
- b) Estudos que envolvam a RMVRC;
- c) Integração com dados de temperatura do ar obtidos por termopares instalados estrategicamente na área de estudo;
- d) Simulação de alterações urbanas que favoreçam a ocorrência de frescor no ambiente com ICUS e em expansões, incluindo nesta as SBN como a arquitetura biomimética;
- e) Relacionamento desta pesquisa com estudos de justiça climática;
- f) Desenvolvimento de estudos sobre letramento climático.

## 7. BIBLIOGRAFIAS

### 7.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ANSELIN, L.. Local spatial autocorrelation. University of Chicago, Center for Spatial Data Science. 2020. Disponível em: <[https://geodacenter.github.io/workbook/6a\\_local\\_auto/lab6a.html#fn1](https://geodacenter.github.io/workbook/6a_local_auto/lab6a.html#fn1)>. Acesso em: 24/10/2023.

BECHTEL, B.; ALEXANDER, P.; BÖHNER, J.; CHING, J.; CONRAD, O.; FEDDEMA, J.; MILLS, G.; SEE, L. Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. **International Journal of Geo-Information**. Basel, Switzerland, v. 4, n°1, p. 199-219. 2015. <https://doi.org/10.3390/ijgi4010199>

BRANDÃO, A. M. P. M. O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro. **Clima urbano**. São Paulo, SP, v. 2. p. 121-153. 2003.

BRITO, P. V. C. **Análise Espaço-Temporal das Ilhas de Calor Urbanas de Superfície na Cidade de Cuiabá-MT**. 2018. 123f. Tese de Doutorado - Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

BORUNDA, A. **Fumaça de incêndios florestais afeta nuvens e diminui chances de chuva**. 25/08/2021. Disponível em: < <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2021/08/fumaca-de-incendios-florestais-afeta-nuvens-e-diminui-chances-de-chuva>> Acesso em: 14/01/2024.

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

DEMUZERE, M.; KITTNER, J. e BECHTEL, B. LCZ Generator: A Web Application to Create Local Climate Zone Maps. **Frontiers in Environmental Science**. Reino Unido, v. 9, p. 637455, 2021. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.637455>

EMMANUEL R.; KRÜGER E. Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK. **Building and Environment**. v. 53, p.137–149, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.020>

FERREIRA, C. C. M.; PIMENTEL, F. O.; VIANNA, Y. C. G. Proposta metodológica aplicada ao estudo de clima urbano. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.12, n° 6, p.2023-2040, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.6.p2023-2040>

FERREIRA, L. S. **Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo**. 2019.197f. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

FERREIRA, F. L. e S. **Estimativas de temperatura superficial por satélite e análise climática em município de grande porte no Brasil**. 2020. 181f. Tese de Doutorado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2020.

FREITAS, R. F. M.; AZERÊDO, J. F. F. A.; CARVALHO, L. T.; COSTA, R. F. Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**. Roraima, v. 23, p.1-31, 2021. <https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202108pt>

FILHO, D. F. F.; BEZERRA, P. E. S.; PESSOA, F. C. L. A Dinâmica da Vegetação e suas Influências Hidroclimáticas no município de Paragominas -PA. **Revista AIDIS**. Cidade do México, v. 14, p.46-49, 2023. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.69497>

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 248p.

GIVONI, B. Confort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Building**, v.18. p. 11 - 23. 1992. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K)

GONÇALVES, C.E.C. **Ruas confortáveis, ruas com vida - Proposição de diretrizes de**

**desenho urbano bioclimático para vias públicas.** 2019. 93f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. – Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

HIDALGO, J.; LEMONSU, A.; MASSON, V. Between progress and obstacles in urban climate interdisciplinary studies and knowledge transfer to society. **The New York Academy of Sciences**, Nova York, NY, v. 1436, n°1, p. 5-18. 2019. <https://doi.org/10.1111/nyas.13986>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: < <https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 28 mar. 2022.

\_\_\_\_\_. **Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 84p.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico.** 2022. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/apps/pgi/#/home>> Acesso em: 24 dez. 2023.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** 2ª. ed. São José dos Campos -SP: Parentese, 2009. 585p.

JÚNIOR, J. C. U. e AMORIM, M. C. D. C. T. Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **Revista do Departamento de Geografia.** São Paulo, SP, v. Especial, p.160-173, 2016. <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.119402>

KOENIGSBERGER, O.H.; INGERSOLL, T.G.; MAYHEW, A. SZOKOLAY, S.V. **Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales.** Madri: Paraninfo, 1977. 328 p.

KRUGUER, K. **Umidade relativa do ar pode chegar a 13% em Cuiabá após mais de 30 dias sem chuva.** 13/07/2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2021/07/13/umidade-relativa-do-ar-pode-chegar-a-13percent-em-cuiaba-apos-mais-de-30-dias-sem-chuva.ghtml>> Acesso em: 11/08/2023.

KRUSE P. W.; MCGLAUCHLIN L. D.; RICHMOND B. MCQUISTAN R. B. Elements of Infrared Technology. Generation, Transmission and Detection. **Materials Science**. v. 137, p. 123, 1962. <https://doi.org/10.1126/science.137.3524.123>

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, Londres, UK, v.47, n°260, p.583-621. 1952. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. Nova York: Academic Press, 2019. 278p.

LI S., MO H.; DAI Y. Spatio-temporal pattern of urban cool island intensity and its ecoenvironmental response in Chang-Zhu-Tan urban agglomeration. **Communications in Information Science and Management Engineering**. v.1, p. 1–6, 2011.

LIMA, M. e AMORIM, F. **Random Forest**. 08/07/2020.. Disponível em: <https://lamfo-unb.github.io/2020/07/08/Random-Forest/#:~:text=Random%20Forest%20%C3%A9%20um%20m%C3%A9todo,aleat%C3%B3rios%20independentes%20e%20identicamente%20distribu%C3%ADdos>. Acesso em: 15/08/2023.

LIMA, L. O. S. **Análise espaço-temporal da ilha de calor urbana superficial em Várzea Grande-MT**. 2023. 89f. Tese de Doutorado - Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2023.

LOMBARDO, M. **Ilha de calor nas metrópoles**. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

MAIGUA, D. P. **Ciudad y Cambio Microclimático**. 2020. 322f. Tese de Doutorado Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

MANANDHAR, P.; BANDE, L.; TSOUPOS, A.; REDDY MARPU, P.; ARMSTRONG, P.

A study of local climate zones in Abu Dhabi with urban weather stations and numerical simulations. **Sustainability**, Suíça, v. 12, n°1, p. 1-15, 2019. <https://doi.org/10.3390/su12010156>

MARIANI, M. **Areia fina, influência de rios e chuva: entenda porque o mar do Paraná não é tão azul.** 13/01/2024. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2024/01/13/areia-fina-influencia-de-rios-e-chuva-entenda-por-que-o-mar-do-parana-nao-e-tao-azul.ghtml>> Acesso em: 14/01/2024.

MARION, F. A.; ANDRES, J.; HENDGES, E. R. Evolução dos Índices de Vegetação e sua Relação com o Estresse Hídrico: Uma Revisão. **Geofronter**, Campo Grande, MS , v.7, p. 1-18, 2021.

MASCARÓ, L. **Ambiência Urbana.** 1. ed. Porto Alegre: Sagra – DC Luzzatto, 1996. 199p.

MENEZES, P.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: UnB, 2012. 277p.

MIRANDA, Y. C. **Sensoriamento Remoto Aplicado à Detecção de Ilhas de Calor Urbanas: uma revisão sistemática.** 2018. 23f. Especialização. Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental em Municípios. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2018.

MONTGOMERY, D. C. - **Design and Analysis of Experiments.** 3 ed. New York: John Wiley. 1991. 758p.

NDOSSI, M. I. e AVDAN, U. Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: a PyQGIS plugin. **Remote sensing**, v. 8, n. 5, p. 413, 2016. <https://doi.org/10.3390/rs8050413>

NOVAIS, J. W. Z.; FARIAS, F. M.; REIS, N. M. S.; MARQUES, A. C. A.; SIQUEIRA, A. Y.; JOAQUIM, T. D.; RIBEIRO, B. V. A melhoria climática e conforto térmico

proporcionado pela arborização em uma escola estadual em Várzea Grande-MT. **Revista Brasileira da Sociedade de Arborização Urbana**, Piracicaba, SP, v.12, n° 3, p. 01-14, 2017. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v12i3.63546>

NOVO, E. e PONZONI, F. **Introdução ao sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2001. 68p.

OKE, T.R. The Energetic Basis of the Urban Heat Island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.108, n.455, p.1-24. 1981. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>

OKE, T. R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report, TD. **World Meteorological Organization**, Geneva, n° 1250, p. 1-52. 2004.

OKE, T.R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A. e VOOGT, J. **Urban Climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 526p.

OLIVEIRA, L. G. L.; PONZONI, F. J.; MORAES, E. C. Conversão de dados radiométricos orbitais por diferentes metodologias de caracterização atmosférica. **Revista Brasileira de Geofísica**. Rio de Janeiro, RJ, v. 27, n°1, p.121-133. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2009000100010>

OLIVEIRA, J. H. D. **Transformações socioespaciais em Várzea Grande - MT: entre negócios urbanos e remoções de famílias no contexto da realização da Copa do Mundo de 2014**. 2016. 120f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Departamento de Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá. 2016.

PINHEIRO, C. de A. Detecção remota: possibilidades para uma abordagem dinâmica e integrada do ecossistema urbano. **Revista de Morfologia Urbana**, Porto, v. 9, n. 1, p.e00155. 2021. <https://doi.org/10.47235/rmu.v9i1.155>

REIS, C. e LOPES, A. Evaluating the Cooling Potential of Urban Green Spaces to Tackle Urban Climate Change in Lisbon. **Sustainability**, Basel, Switzerland, v. 11, n° 9, p. 2480.

2019. <https://doi.org/10.3390/su11092480>

PRADO, L. B.; FIALHO, E. S.; SANTOS, L. G. F. o sensoriamento remoto e o clima urbano: uma perspectiva de investigação através do campo térmico de superfície, na área central do município de Viçosa – MG. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 27, p. 1-28. 2020. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.76384>

RESCHENHOFER, E. Generalization of the kolmogorov-Smirnov test. **Computational Statistics & Data Analysis**. v. 24, nº 5, p. 433-441. 1996. [https://doi.org/10.1016/S0167-9473\(96\)00077-1](https://doi.org/10.1016/S0167-9473(96)00077-1)

RODRIGUES, L. O.; SOUZA, W. M.; COSTA, V. S. O.; PEREIRA, M. L. T. **Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do agreste de Pernambuco**. v. 10, nº6, p. 1995-2009. 2017. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p1995-2009>

SANTOS, E. S. **Aspectos Geográficos e Epidemiológicos da hanseníase em Cuiabá e Várzea Grande**. 2012. 140f. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Departamento de Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

SANTOS, A. R. **Sensoriamento Remoto no ArcGIS 10.2.2 Passo a Passo: Processamento de Imagens Orbitais** – 1. ed. Alegre: CAUFES, 2014. 107 p.

SANTOS, V. A. F. dos. **O aeroporto de Cuiabá na história regional: do “Campo Velho” ao novo aeroporto de Cuiabá em Várzea Grande (1929-1969)** 2013. 188f. Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciências Humanas e Sociais. Programa de Pós-Graduação em História. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2013.

SANTOS, E. O. **Capítulo 6. Temperatura do solo e do ar**. 2016. Disponível em: <[file:///C:/Users/eng\\_s/Downloads/Apostila\\_Meteorologia\\_Basica\\_Capitulo\\_6\\_Temp\\_Solo\\_Ar\\_Atual\\_izad\\_RCD\\_ED.pdf](file:///C:/Users/eng_s/Downloads/Apostila_Meteorologia_Basica_Capitulo_6_Temp_Solo_Ar_Atual_izad_RCD_ED.pdf)> Acesso em: 14/01/2014.

SANTOS, F. F. D. **Ilhas de calor urbana em Sorocaba/SP: uma abordagem com base no sistema**

**das zonas climáticas locais.** 2023. 130f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba, 2023.

SILVA, F. **Análise exploratória de dados com o gráfico de boxplot.** 09/06/2023. Disponível em: <<https://analisemacro.com.br/econometria-e-machine-learning/analise-exploratoria-de-dados-com-o-grafico-de-boxplot/>> Acesso em: 14/08/2023.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS, 3. 2022. Online. **Anais eletrônicos.** 2022. Disponível em: [https://www.inde.gov.br/simposio-14-anos/pdf/ANAIS\\_3SBIDE.pdf](https://www.inde.gov.br/simposio-14-anos/pdf/ANAIS_3SBIDE.pdf) . Acesso em: 20 mar. 2023.

SCHMITZ, A. **Geographic Information Systems for Today and Beyond.** Saylor: Academy, 2012. 167p.

SOUSA FILHO, C. R. Detecção de exsudações de hidrocarbonetos por geobotânica e sensoriamento remoto multi-temporal: estudo de caso no remanso do fogo (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, Sociedade Brasileira de Geologia, v. 38, n. 2, p. 228–243, 2008.

SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association between Two Things. **The American Journal of Psychology.** v. 15, n<sup>o</sup>, p 72 – 101. 1904. <https://doi.org/10.2307/1412159>

STEWART, I.D.; OKE, T.R. Local Climate Zones For Urban Temperature Studies. **American Meteorological Society**, Washington, NY, v.93, p. 1879-1900, 2012. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

STEWART, I. D. Developing a field guide to identify local climate zones in cities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 10.; SYMPOSIUM ON THE URBAN ENVIRONMENT, 14. 2018. New York City. **Anais.** 2018. p. 1-6.

STEINECKE K. Urban climatological studies in Reykjavik, subarctic environment, Iceland. **Atmospheric Environment**. v.33, n° 24-25, p. 4157–4162, 1999. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00158-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00158-2)

TAVARES, J. W. **Várzea Grande: História e Tradição**. Cuiabá: KCM Editora, 2011. 80p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, U. S. G. S.-. **Landsat 9.**, 2022. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>>. Acesso em: 19/09/23.

VALOR, E. e CASELLES V. Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American Areas. **Remote Sensing of Environment**. v.57, p.167-184. 1996. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(96\)00039-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(96)00039-9)

VAN DE GRIEND, A.; OWE, M.; VUGTS, H.; RAMOTHWA, G. Botswana Water and Surface Energy Balance Research Program. Part 1: Integrated Approach and Field Campaign Results; **NASA Goddard Space Flight Center: Greenbelt**, v. 70, n° 11, p. 1 – 8. 1992.

VERDONCK, M. L, DEMUZERE, M., BECHTEL, B., BECK, C., BROUSSE, O., DROSTE, A., FENNER, D., LECONTE, F., & VAN C. F. The Human Influence Experiment (Part 2): Guidelines for Improved Mapping of Local Climate Zones Using a Supervised Classification. **Urban Science**, Basel, Switzerland, v. 3, n° 1, p.27 2019. <https://doi.org/10.3390/urbansci3010027>

WERNECK, R. D. **Variabilidade da temperatura de superfície diurna entre as zonas climáticas locais (LCZ): um estudo para a área urbana do Distrito Federal**. 2022. 177f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília. 2022.

ZAMBRANO, G. D. C. C.; MERO, J. L. C. **Arquitetura Bioclimática**. Polo Del Conocimiento. v. 5, p. 751-779. 2020. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i3.1381>

ZHANG, J., WANG, Y., LI, Y. A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. **Computers & geosciences**, v.10, p.1796-1805, 2006.

ZHOU, D., ZHAO, S., ZHANG, L., SUN, G., LIU, Y. The footprint of urban heat island effect in China. **Scientific Reports** v.5, n° 11160, p. 1-11. 2015. <https://doi.org/10.1038/srep11160>

ZHOU, D.; XIAO, J.; BONAFONI, S.; BERGER, C.; DEILAMI, K.; ZHOU, Y.; FROLKING, S.; YAO, R.; QIAO, Z.; SOBRINO, J.A. Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives. **Remote Sensing**. v. 11, n° 48, p. 1 – 36, 2019.

## 7.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e cidade – A abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. 1. ed. Macéio: EDUFAL, 2007. 164p.

CALLEJAS, J. A. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; BIUDES, M. S.; DURANTE, L. C. Variação sazonal do balanço de energia em cidade localizada na região central do Brasil. **Mercator, Fortaleza**, v.15, n.3, p. 85-106, 2016. <https://doi.org/10.4215/RM2016.1503.0006>

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

FERREIRA, F, L, S. **Medição do albedo e análise de sua influencia na temperatura superficial de materiais utilizados em coberturas de edifícios**. 2003. 103 f. Dissertação Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

FERREIRA, D. G.; ASSIS E. S.; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, v.9, p. 255-270. 2017. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.sup11.ao01>

DURANTE, L., NOGUEIRA, M. C. J. A. Efeitos do sombreamento arbóreo nas condições termohigrométricas e lumínicas de ambientes internos e externos de edificações. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Universidade Federal de Santa Maria, v. 9, p. 1980-1998, 2013. <https://doi.org/10.5902/223611707704>

GIVONI, B. **Man Climate and Architecture**. 2. ed. London: Applied Science, 1976. 483p.

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

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. L. **Vegetação Urbana**. 3. ed. Porto Alegre:UFRGS 2010. 216p.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. 25 ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, Série Teses e Monografias, 1976.

NÓBREGA, R. S.; LEMOS, T. V. S. O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. **Revista de Geografia**, Recife, PE, v.28, n°1, p. 93 – 109. 2011.

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer heat islands. **Atmosphere**. v. 14, n° 4, p.268 – 277. 1976. <https://doi.org/10.1080/00046973.1976.9648422>

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2. ed. Londres: Routledge, 1987. 464p.

PAULA, D. C. J. **Análise termohigrométrica pós intervenções urbanas em Cuiabá-MT**. 2017. 90f. Dissertação de Mestrado– Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

PAULA, D. C. J. **Simulação de cenários futuros de ilhas de calor e morfologia urbana como instrumento no planejamento de cidades**. Cuiabá, 2021. 119f. Tese de Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2021.

PEZZUTO, C. C.; LABAKI, L. C.; FRANCISCO FILHO, L. L. Conforto térmico nos espaços urbanos abertos: a morfologia urbana e a relação com as condições climáticas. In: VII ENCAC E CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3. 2013. Curitiba. **Anais**. 2013.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. 2. ed. São Paulo: Projeto, 2011. 67p.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. Do autor, 2017. 220p.

ROVATI, J. F. Urbanismo versus planejamento urbano? **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Roraima, v. 15, n. 1, p. 33-58, 2013. <https://org.doi/10.22296/2317-1529.2013v15n1p33>

SAMPAIO, A. H. L. **Correlações entre o uso do solo e ilhas de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador**. 1981. 110f. Dissertação de Mestrado. – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

SILVA, F. S.; FERREIRA, H. S.; SANTOS, M. O. **Considerações sobre os Estudos em Clima Urbano**. v.1, n. 2, p. 162-175. 2015.

SIQUEIRA, F. R. P. S. **Efeito da urbanização no balanço de energia da superfície ´por sensoriamento remoto em Várzea Grande** 2019. 80f. Tese de Doutorado. Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019.

SCHERER, D. FEHRENBACH, U. PARLOW, E. Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. **Atmospheric Environment**. v. 33, p. 4185-4193. 1999. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00161-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00161-2)

SOUZA, V. **Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa-PB**. 2010. 114 f. Dissertação

de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

**PAVÃO, V. M. Efeitos da correção atmosférica em imagens landsat 8 e diferentes modelos de radiação solar global na estimativa do saldo de radiação superficial.** 2016. 61f. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.