

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

**ANÁLISE ESPAÇO – TEMPORAL DA ILHA DE CALOR URBANA
SUPERFICIAL EM VÁRZEA GRANDE – MT**

LUCIANA OLIVEIRA DA SILVA LIMA

**PROFA. DRA. FLÁVIA MARIA DE MOURA SANTOS
ORIENTADORA**

**Cuiabá, MT
março, 2023**

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

ANÁLISE ESPAÇO–TEMPORAL DA ILHA DE CALOR URBANA
SUPERFICIAL EM VÁRZEA GRANDE – MT

LUCIANA OLIVEIRA DA SILVA LIMA

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

PROFA. DRA. FLÁVIA MARIA DE MOURA SANTOS
ORIENTADORA

Cuiabá, MT
março, 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

L732a Lima, Luciana Oliveira da Silva.
Análise Espaço-Temporal da Ilha e Calor Urbana Superficial em Várzea Grande – MT
[recurso eletrônico] / Luciana Oliveira da Silva Lima. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 89 f., il.
color., pdf). -- 2023.

Orientador: Flávia Maria de Moura Santos.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de
Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2023.

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

Inclui bibliografia.

1. Microclima urbano. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Classificação de Uso do Solo. I.
Santos, Flávia Maria de Moura, *orientador*. II. 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: ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA ILHA DE CALOR URBANA SUPERFICIAL EM VÁRZEA GRANDE-MT

AUTORA: DOUTORANDA LUCIANA OLIVEIRA DA SILVA LIMA

Tese defendida e aprovada em **08 de MARÇO de 2023**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

- 1. Profa. Dra. FLÁRIA 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. Prof. Dr. MARCOS DE OLIVEIRA VALIN JR.** (Membro Externo)
INSTITUIÇÃO: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
- 5. Prof. Dr. JONATHAN WILLIAN ZANGESKI NOVAIS** (Membro Externo)
INSTITUIÇÃO: Universidade de Cuiabá

CUIABÁ, 08/03/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos de Oliveira Valin Jr, Usuário Externo**, em 11/03/2023, às 13:32, 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 11/03/2023, às 18:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jonathan Willian Zangeski Novais, Usuário Externo**, em 13/03/2023, às 10:38, 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 13/03/2023, às 16:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 14/03/2023, às 12:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5590029** e o código CRC **A6B6DF5E**.

DEDICATÓRIA

À Deus pela vida e oportunidade, e aos queridos familiares e amigos, pelo amor, apoio e compreensão nas horas difíceis.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus pelo privilégio de poder realizar este sonho e ter me fortalecido, para não desanimar no meio do caminho.
- Á Profa. Dra. Flávia Maria De Moura Santos, pela orientação e principalmente pelo incentivo, apoio, pela confiança e grande amizade, ingredientes que possibilitaram a realização deste trabalho.
- A todos os professores e técnicos do Programa de Pós Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, onde transmitiram seus conhecimentos;
- A todos os colegas de curso que me ajudaram e incentivaram, tornando-se em grandes amigos.

“Se o Senhor não edificar a casa, em vão trabalham os que a edificam; se o Senhor não guardar a cidade, em vão vigia a sentinela.” (Salmos 127:1)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS	XV
RESUMO	XVI
ABSTRACT	XVII
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 PROBLEMÁTICA.....	18
1.2 JUSTIFICATIVA	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 ILHAS DE CALOR URBANA	21
2.2 TIPOS DE ILHAS DE CALOR.....	22
2.2.1 <i>Ilha de Calor Atmosférica</i>	22
2.2.2 <i>Ilha de Calor Vertical</i>	23
2.2.3 <i>Ilha de Calor Urbana Superficial</i>	23
2.3 FORMAS DE IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR	24
2.4 SENSORIAMENTO REMOTO	25
2.4.1 <i>Satélites Landsat</i>	27
2.5 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG).....	30
2.5.1 <i>ArcGis</i>	33
2.5.2 <i>Quantum GIS (QGIS)</i>	33
3 MATERIAL E MÉTODO.....	34
3.1 ÁREA DE ESTUDO	34
3.1.1 <i>Surgimento de Várzea Grande</i>	37
3.1.2 <i>Clima</i>	38
3.1.3 <i>Relevo</i>	40
3.2 HARDWARE E SOFTWARE.....	42
3.3 SELEÇÃO E AQUISIÇÃO DAS IMAGENS.....	43
3.4 CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO	45
3.5 CÁLCULO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE (TST)	55
3.5.1 <i>Algoritmo de Mono Janela (MWA)</i>	57
3.5.2 <i>Equação de Transferência Radiativa (RTE)</i>	58
3.5.3 <i>Modelos EST baseados em Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Limite (NDVI^{THM})</i>	58
3.5.4 <i>Cálculo da TST – Landsat 5</i>	60
3.5.4.1 <i>Conversão de ND para Radiação de Topo da Atmosfera (L_λ)</i>	60
3.5.4.2 <i>Temperatura de Brilho (T_b)</i>	62
3.5.4.3 <i>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</i>	62
3.5.4.4 <i>Emissividade da Superfície Terrestre (ε)</i>	63
3.5.5 <i>Temperatura de Superfície Terrestre</i>	63
3.6 CÁLCULO DA TST – LANDSAT 9	64
3.6.1.1 <i>Radiação de Topo da Atmosfera (L_λ)</i>	65

	x
3.6.1.2 Temperatura de Brilho	65
3.6.1.3 NDVI.....	65
3.6.1.4 Proporção da Vegetação (Pv).....	66
3.6.1.5 Emissividade da Superfície	66
3.6.2 TST.....	66
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
4.1 CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO	67
4.2 TEMPERATURA SUPERFICIAL	71
4.2.1 <i>Temperatura Superficial por Regiões</i>	72
4.2.1.1 Região de Passagem da Conceição	72
4.2.1.2 Região do Perímetro Urbano de Várzea Grande	73
4.2.1.3 Região de Formigueiro	74
4.2.1.4 Região de Limpo Grande	74
4.2.1.5 Região de Praia Grande.....	75
4.2.1.6 Região de Pai André.....	76
4.2.1.7 Região de Souza Lima.....	76
4.2.1.8 Região de Bom Sucesso	77
4.2.2 <i>Relação entre Uso do Solo e Temperatura Superficial</i>	77
4.2.3 <i>Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)</i>	78
4.2.4 <i>Intensidade da Ilha de Calor Urbana Superficial (IICUS)</i>	79
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	85
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil de Ilha de Calor Urbana.	21
Figura 2 – Intensidade das Ilhas de Calor.....	22
Figura 3 – Estratificação Vertical da Atmosfera Urbana.	23
Figura 4 – Terminologias de imagens digitais.....	26
Figura 5 – Imageamento multiespectral usando espelho de varredura e detectores discretos.	26
Figura 6 – Cronologia de lançamentos operações de satélites Landsat.....	27
Figura 7 – Comparação das bandas espectrais dos sensores OLI e TIRS do Landsat-9 e TM do Landsat-5.	29
Figura 8 – Estrutura básica um SIG.....	30
Figura 9 – Exemplo de Camadas de um SIG.....	31
Figura 10 – Tipos de dados vetoriais de um SIG.	32
Figura 11 – Esquema de representação de dado vetorial e raster.	32
Figura 12 – Localização do município de Várzea Grande - MT.	34
Figura 13 – Imagem aérea de Várzea Grande.	35
Figura 14 – Evolução populacional de Várzea Grande.	35
Figura 15 – Ordenamento Territorial de Várzea Grande.....	36
Figura 16 – Regiões do Perímetro Urbano de Várzea Grande.	37
Figura 17 – Classificação climática de Várzea Grande.....	39
Figura 18 – Dados climáticos de Várzea Grande.	40
Figura 19 – Mapa de Declividade de Várzea Grande.....	41
Figura 20 – Mapa Hipsométrico de Várzea Grande.....	42
Figura 21 – Notebook Odyssey (GeForce® GTX 1050Ti).....	43
Figura 22 – Amostra das imagens selecionadas.	44
Figura 23 – Etapas para obtenção da estimativa de expansão urbana.	45
Figura 24 – Roteiro de utilização do Cloud Making (<i>Open and Load</i>).....	46
Figura 25 – Roteiro de utilização do Cloud Making (<i>Filters and Mask</i>)	47
Figura 26 – Resultado do Cloud Masking.....	48
Figura 27 – Exemplo de composição RGB 753 utilizando a imagem de 2011.....	48
Figura 28 – Composição RGB para as imagens de satélite.....	49

Figura 29 – Gráfico de Dispersão da coleta de amostras para a Imagem de 1992.	50
Figura 30 – Princípio de funcionamento do Método da Probabilidade Máxima.	50
Figura 31 – Funcionamento do Filtro predominante.	51
Figura 32 – Exemplo de aplicação da Suavização dos Limites.	51
Figura 33 – Configuração do plugin AcATaMa para geração de amostras de determinação de precisão.	52
Figura 34 – Caixa de diálogo de classificação.	53
Figura 35 – Imagens de satélite selecionadas para o cálculo da temperatura superficial... ..	55
Figura 36 – Fluxograma de Cálculo da TST.	60
Figura 37 – Fluxograma para o cálculo da TST utilizando imagem do Landsat 9.	64
Figura 38 – Classificação de Uso do Solo da Cidade de Várzea Grande.	67
Figura 39 – Gráfico de Uso do Solo de Várzea Grande.	68
Figura 40 – Classificação de Uso do Perímetro Urbano de Várzea Grande.	69
Figura 41 - Gráfico de Uso do Solo no Perímetro Urbano de Várzea Grande.	70
Figura 42 – Mapa de Temperatura Superficial para Várzea Grande.	71
Figura 43 – Diferença da Temperatura Superficial para as Regiões de Várzea Grande	72
Figura 44 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Passagem da Conceição.	73
Figura 45 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região do Perímetro Urbano de Várzea Grande.	73
Figura 46 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Formigueiro	74
Figura 47 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Limpo Grande.	75
Figura 48 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Praia Grande.	75
Figura 49 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Pai André.	76
Figura 50 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Souza Lima.	76
Figura 51 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Bom Sucesso.	77
Figura 52 – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.	79
Figura 53 – Média da Temperatura Superficial Rural de Várzea Grande.	80
Figura 54 – Diferença entre a Média da Temperatura Superficial da Área Rural e a Temperatura Superficial.	81
Figura 55 – Classificação da Intensidade da Ilha de Calor Urbana Superficial.	81
Figura 56 – Mapa da classificação de uso do solo, NDVI e TST para o ano de 2003.	83

Figura 57 – Mapa da classificação de uso do solo, NDVI e TST para o ano de 2022. 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Bandas espectrais do sensor TM	28
Tabela 2 – Bandas espectrais do sensor OLI e TIRS.	29
Tabela 3 – Características dos satélites Landsat 5 e Landsat 9.	30
Tabela 4 – Classificação do relevo e intervalo de declividade.	41
Tabela 5 – Horário de coleta das imagens.	44
Tabela 6 – Matriz de Confusão da classificação das imagens.....	54
Tabela 7 – Qualidade da Classificação das imagens conforme índice kappa.....	55
Tabela 8 – Resultado da Calculadora de Parâmetros de Correção Atmosférica para imagem de 2003 e 2022.	57
Tabela 9 – Parâmetros de calibração para a imagem de 2003.....	61
Tabela 10 – Área ocupada por classe de Uso do Solo.....	68
Tabela 11 – Área e percentual de alterações nas classes de Uso do Solo para Várzea Grande.	68
Tabela 12 – Área e percentual de alterações nas diferentes classes de Uso do Solo para o perímetro urbano de Várzea Grande.....	70
Tabela 13 – Resumo Estatístico da Temperatura Superficial para Várzea Grande.....	71
Tabela 14 – Média da Temperatura Superficial por cobertura do solo em Várzea Grande	78
Tabela 15 – Relação entre a IICUS e sua área de preenchimento.	82

LISTA DE ABREVIATURAS

EST	Emissividade da Superfície Terrestre
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
GMT	Tempo Médio de Greenwich
ICU	Ilha de Calor Urbana
ICUS	Ilha de Calor Urbana Superficial
IICUS	Intensidade de Ilha Superficial
MDE	Modelo Digital de Elevação
MWA	Algoritmo de Mono Janela
NASA	administração Nacional Aeronáutica e Espacial
ND	Números Digitais
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NDVI ^{THM}	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Limite
NIR	infravermelho próximo
OLI-2	Gerador de Imagem Operacional Terrestre 2
PV	Proporção de Vegetação
RTE	Equação de Transferência Radiativa
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
Tb	Temperatura de Brilho
TIRS-2	Sensor Termal Infravermelho 2
TM	Mapeador Temático
TOA	Radiação de Topo da Atmosfera
TS	Temperatura Superficial
TST	Temperatura Superficial Terrestre
UTM	Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercador
WGS84	Sistema Geodésico Mundial 84

RESUMO

LIMA, L. O. S. **Análise espaço-temporal da Ilha de Calor Urbana Superficial em Várzea Grande-MT.** Cuiabá, 2023, 89. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

A expansão e desenvolvimento das cidades e a sua densificação implicam em mudanças climáticas que influenciam no conforto térmico, qualidade do ar, consumo de energia, poluição sonora, dentre outros. Devido às características e propriedades de seus elementos corre a tendência da elevação da temperatura nas áreas centrais e densas das cidades se comparadas com áreas de seus arredores. Quando este fenômeno é observado a partir da Temperatura Superficial Terrestre (TST) recebe o nome de Ilha de Calor Urbana Superficial (ICUS). Várzea Grande é a segunda cidade mais populosa de Mato Grosso e possui a terceira maior economia, sendo um importante polo comercial e industrial do estado. Devido ao seu acelerado crescimento nos últimos anos, pode ser afetada por ICUS. Assim, este trabalho tem como objetivo geral a análise espaço-temporal da ICUS para a cidade de Várzea Grande – MT, empregando imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 9. Para tal estudo, foram gerados mapas de uso do solo utilizando imagens de satélite para os anos de 1985, 1992, 2003, 2011 e 2022. Com o emprego de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) foi verificada a qualidade das imagens escolhidas em relação à presença de nuvens sobre a área de estudo, classificação supervisionada de uso do solo em cinco classes principais e definiu-se uma metodologia para o emprego de imagens do satélite para obtenção da Temperatura Superficial (TS) e ICUS, obtendo-se uma diferença de 7,5 °C entre a TS média da área rural e a TS máxima da área de estudo, para o ano de 2022. As classes de localidades de Solo Exposto e Área Construída possuem a maior TS em relação às outras classes. Os resultados obtidos podem ser utilizados no planejamento e implementação de melhorias que atenuem os efeitos da ICUS nas localidades urbanas.

Palavras-chave: Microclima urbano. Sensoriamento Remoto. Classificação de Uso do Solo.

ABSTRACT

LIMA, L. O. S. **Space-time analysis of the Superficial Urban Heat Island in Várzea Grande-MT**. Cuiabá, 2023, 89f. Thesis (Doctorate in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

The expansion and development of cities and their densification imply climate changes that influence thermal comfort, air quality, energy consumption, noise pollution, among others. Due to the characteristics and properties of its elements, there is a tendency for the temperature to rise in the central and dense areas of cities compared to surrounding areas. When this phenomenon is observed from the Earth's Surface Temperature (TST) it receives the name of Superficial Urban Heat Island (ICUS). Várzea Grande is the second most populous city in Mato Grosso and has the third largest economy, being an important commercial and industrial center in the state. Due to its accelerated growth in recent years, it can be affected by ICUS. This work has as its general objective the space-time analysis of the ICUS for the city of Várzea Grande – MT, using Landsat 5 and Landsat 9 satellite images. For this study, land use maps were generated using satellite images for the years de 1985, 1992, 2003, 2011 and 2022. With the use of Geographic Information Systems (GIS) the quality of the chosen images was verified in relation to the presence of clouds over the study area, supervised classification of land use in five classes and a methodology was defined for the use of satellite images to obtain the Surface Temperature (TS) and ICUS, obtaining a difference of 7.5 °C between the average TS of the rural area and the maximum TS of the study area , for the year 2022. The Exposed Soil and Built-up Area classes of locations have the highest TS in relation to other classes. The results obtained can be used in the planning and implementation of improvements that mitigate the effects of ICUS in urban locations.

Keywords: Urban microclimate. Remote sensing. Land Use and Occupation Classification.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

A expansão e desenvolvimento das cidades e a sua densificação implicam em mudanças climáticas que influenciam no conforto térmico, qualidade do ar, consumo de energia, poluição sonora, dentre outros. Esses impactos na qualidade de vida são mais intensos em áreas metropolitanas e geram preocupações com o ambiente urbano.

Dentre os muitos e variados fatores do processo de urbanização, a mudança do balanço energético favorece o surgimento de microclimas intraurbanos. Devido às características e propriedades de seus elementos, ocorre a tendência da elevação da temperatura nas áreas centrais e densas das cidades se comparadas com áreas de seus arredores, fenômeno este que recebe o nome de Ilha de Calor Urbana (ICU). O cálculo da ICU ocorre utilizando e comparando os dados de temperatura do ar das estações meteorológicas entre a área urbana e rural.

Porém, existe também a Ilha de Calor Urbana Superficial (ICUS) que investiga a diferença entre a Temperatura Superficial Terrestre (TST) obtidas através de dados de sensoriamento remoto. Os efeitos das ICU e ICUS têm sido o foco de muitos estudos nas últimas décadas e diante dos cenários de crescimento populacional e expansão das cidades, sendo agravada pela crescente parcela da população que se fixará nos centros urbanos.

Estima-se que metade da população mundial seja afetada pelo fenômeno de ilha de calor e, associados há este fenômeno, ocorre o a indisposição ao trabalho, estresse físico, aumento da mortalidade devido às ondas de calor elevado, maiores custos com sistemas de refrigeração, aumento da poluição do ar devido ao incremento de gases do efeito estufa que influencia diretamente no aquecimento global.

Neste contexto, a cidade de Várzea Grande está em conurbação com Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, uma vez que as duas cidades são vizinhas, separadas apenas pelo Rio Cuiabá.

Com o crescimento do agronegócio e implantação de indústrias na região, ocorreu a aceleração do processo de urbanização, com problemas ambientais que foram intensificados na cidade de Várzea Grande, a segunda cidade mais populosa de Mato Grosso. Essa expansão desencadeou a transformação da paisagem natural (solo, água e

vegetação) pela paisagem antropizada, formada pelos materiais diversos que compõem a envoltória das edificações e todo o cenário urbano.

O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para estudos de clima urbano e ilhas de calor, graças à sua versatilidade e por possibilitar a transformação de dados do infravermelho termal em temperatura da superfície.

A análise de dados obtidos por meio de sensoriamento remoto é realizada através de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Esta ferramenta computacional possibilita uma porção de interações espaciais e numéricas de objetos geográficos, acrescidos da capacidade de armazenamento, localização, tabulação e representação de dados, favorecendo a junção de novas tecnologias e a incorporação de novas técnicas e formas de planejamento territorial.

Com a estabilização de satélites de alta resolução que acompanham as transformações na superfície terrestre, é possível analisar estes efeitos remotamente e em uma macro escala, o que é imprescindível para o mapeamento da gestão de recursos naturais e de infraestrutura.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os resultados obtidos devem ser utilizados para auxiliar no planejamento de expansão das cidades de forma a suavizar os impactos advindos do aumento das temperaturas urbanas, além de permitir identificar e traçar estratégias eficientes para as regiões com elevados índices de temperatura, no intuito de melhorar a qualidade de vida de sua população.

Para a cidade de Cuiabá existem vários estudos referentes ao clima urbano, porém o mesmo não ocorre para Várzea Grande. Mesmo possuindo o mesmo clima de Cuiabá, Várzea Grande possui um relevo mais plano, poucas edificações verticais entre outros fatores que interferem no seu microclima.

Este trabalho tem como objetivo geral a realizar a análise espaço-temporal da Ilha de Calor Urbana Superficial na cidade de Várzea Grande – MT.

Para atingir tal objetivo foram definidos alguns objetivos específicos tais como:

- Criar um mapa de classificação do uso do solo para avaliar a expansão urbana de Várzea Grande;

- Determinar a temperatura da superfície a partir de imagens de satélite Landsat e gerar mapa de temperatura superficial no período de 1985 a 2022, com intervalos de cerca de 10 anos;
- Mapear e caracterizar a Intensidade de Ilha de Calor Urbana Superficial de acordo com as características urbanas de Várzea Grande.

Diante do exposto, busquei contribuir com estudos futuros relacionados ao clima urbano e sensoriamento remoto com o intuito de tornar as regiões urbanas mais confortáveis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

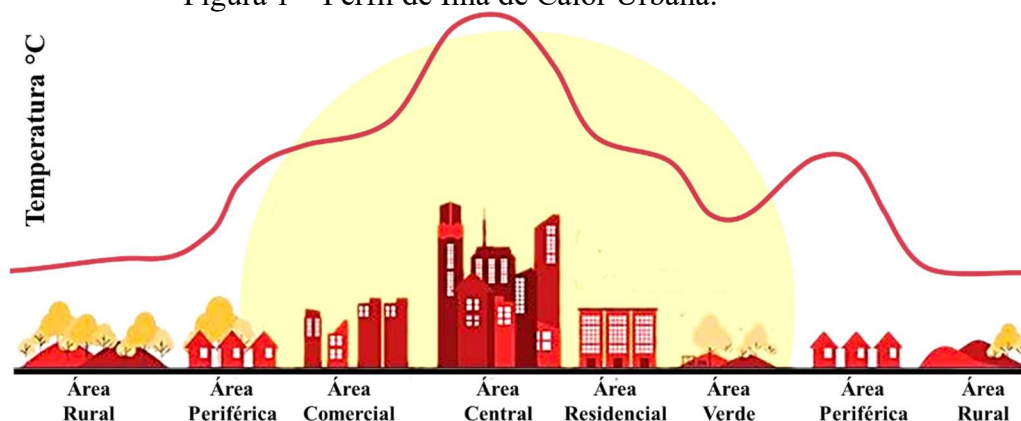
2.1 ILHAS DE CALOR URBANA

Com o desenvolvimento e o crescimento dos centros urbanos, cada vez mais espaços naturais vem sendo utilizados e transformados para atender as necessidades humanas, como a construção de edificações e outras melhorias (RIBEIRO, GONÇALVES e BASTOS, 2018).

O processo de urbanização influencia diretamente no clima urbano em decorrência das conjunções do meio ambiente urbano com a influência dos tipos de materias e suas propriedades de permeabilidade, contração das áreas verdes, grau de verticalização, rugosidade, dentre outros fatores que intervêm nas propriedades climáticas locais (JÚNIOR e AMORIM, 2016).

Um dos fatores que implicam diretamente na formação de Ilha de Calor Urbana (ICU) é a substituição dos elementos da cobertura vegetal e natural elemnetos feitos eplo homem, como concreto, vidro, pedras, asfalto, metal e materiais semelhantes que, aliados com as mudanças na atmosfera próxima à superfície do solo, estão diretamente relacionadas à ação humana que refletem no balanço térmico local, fazendo com que a cidade tenha carcateristicas climáticas locais próprias (GANHO, 1999). A Figura 1 ilustra o perfil da ilha de calor.

Figura 1 – Perfil de Ilha de Calor Urbana.



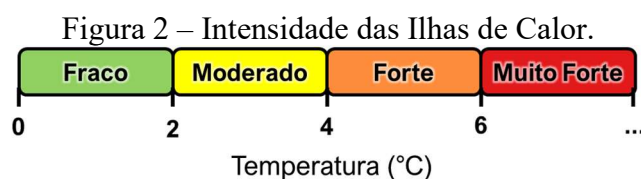
Fonte: Adaptado de (IBERDROLA, 2022).

A influência dessas alterações se verifica na umidade relativa do ar, nas precipitações, na elevação da temperatura do ar e na velocidade e direção dos ventos, o

que possibilita o surgimento de ilhas de calor, que se caracterizam pela elevação da temperatura nos centros urbanos em relação à zona rural circunvizinha. As plantas conservam a temperatura menor ou igual à temperatura do ar enquanto que os materiais empregados nas construções absorvem e retêm mais calor da radiação solar, impactando diretamente na sensação de conforto térmico dos habitantes da cidade (GARTLAND, 2010).

A complexidade de análise das ilhas de calor se deve em grande parte às peculiaridades e intrincados fatores correlatos que as áreas urbanas envolvem, bem como da interação entre vários deles, padrões meteorológicos e fluxos de calor envolvidos. É de suma importância conhecer o efeito da urbanização no microclima urbano, para se formular soluções que possam mitigar ou amenizar os seus efeitos negativos (RIBEIRO, GONÇALVES e BASTOS, 2019).

As ilhas de calor podem ser categorizadas de acordo com a sua intensidade (BRANDÃO, 2003). A Figura 2 ilustra essa classificação.



Fonte: Adaptado de (BRANDÃO, 2003).

2.2 TIPOS DE ILHAS DE CALOR

Existem diferenças entre as ilhas de calor de acordo com as diversas técnicas de monitoramento que podem ser empregadas e que permitem observar fenômenos diferentes (FIALHO, 2012). Os principais tipos são:

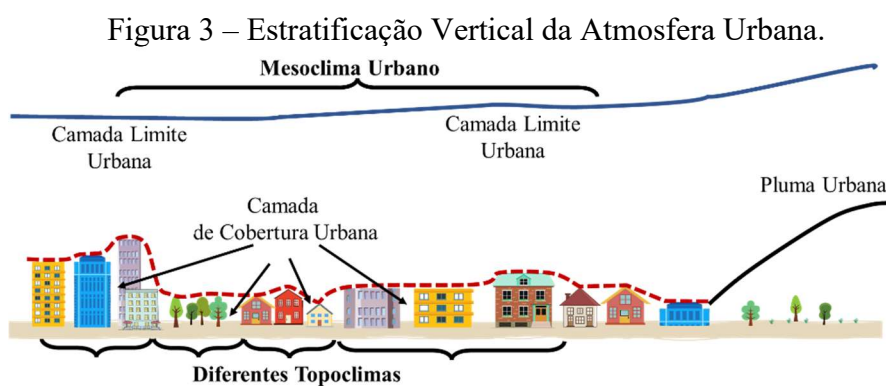
- Ilha de Calor Atmosférica;
- Ilha de Calor Vertical;
- Ilha de Calor Superficial.

2.2.1 Ilha de Calor Atmosférica

Este tipo de fenômeno considera a diferença entre os tipos de uso e cobertura do solo, localização e topografia da área. Evidencia-se no período noturno, com as medidas de temperatura sendo normalmente realizados em dois ou mais locais estacionários ou através de transecto móvel (STEWART e OKE, 2012).

2.2.2 Ilha de Calor Vertical

Seu conceito surge a partir da divisão do extrato atmosférico da camada urbana em duas escalas, onde uma é a Camada de Cobertura Urbana, logo acima da superfície até aproximadamente o nível da cobertura das edificações, e a outra é a Camada Limite Urbana, acima da altura média das edificações, até a área de influência da cidade na atmosfera (OKE, 1981). Este tipo de ilha de calor é mesurado através de torres meteorológicas, sensoriamento remoto ou aeronaves. A Figura 3 ilustra a estratificação vertical da atmosfera urbana.



Fonte: Adaptado de (ANDRADE, 2005).

Nesta modalidade de ilha de calor, a camada limite urbana demonstra um perfil vertical térmico diferenciado em relação ao das áreas rurais.

2.2.3 Ilha de Calor Urbana Superficial

Está diretamente associada à radiação emitida pelos elementos da superfície terrestre, que podem ser reproduzidos em valores de temperatura, convertidos a partir de valores de radiância obtidas por sensoriamento remoto, na faixa do infravermelho termal.

A diferença entre a ICU e a ICUS se deve aos mecanismos que contribuem para a sua formação. Enquanto a ICU é originada principalmente pela diferença na taxa de resfriamento radiativo entre as áreas urbanas e rurais durante a noite, na ICUS é provocada essencialmente pela variação no aquecimento radioativo da superfície durante o dia na área urbana e imediações. Desta maneira, a variação na distribuição espacial e no padrão temporal podem ser distintos (TRAN, UCHIHAMA, *et al.*, 2006).

Outro ponto interessante é que a TST possui uma atuação indireta, mais relevante na temperatura do ar, principalmente entre a camada mais próxima da superfície terrestre e o dossel urbano. Essa temperatura do ar se eleva em função da dissipação da radiação térmica absorvida pelos diferentes materiais que compõe a superfície terrestre, principalmente em dias de céu limpo e com pouco vento (A.D. BIRYUKOV, 2021).

A pesquisa sobre ICUS utilizando a TST é imprescindível para estipular os componentes térmicos nas áreas urbanas e tipificar a ICUS.

2.3 FORMAS DE IDENTIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR

Dentre as metodologias empregadas para a identificação de ilhas de calor, merece destaque: estações fixas, transectos móveis, sensoriamento remoto, sensoriamento vertical e balanços de energia (ROMERO, BAPTISTA, *et al.*, 2019).

O método das estações fixas se evidencia pela utilização de estações meteorológicas fixas em pontos estratégicos dentro da área de estudo, permitindo comparação de dados provenientes de cada estação, possibilitando contrapor esses dados e, caso possua o registro de uma série histórica, avaliar as tendências ao longo do tempo. Entretanto, para o estudo de vários pontos, esbarra-se na necessidade de possuir uma estação fixa para cada ponto a ser analisado (GARTLAND, 2010).

O transecto móvel constitui-se em medir a temperatura e a umidade relativa do ar, através da locomoção a pé, de bicicleta ou utilizando um veículo com um termohigrometro, possibilitando alcançar uma área maior do que as estações fixas permitem.

Já o sensoriamento remoto por satélite é mais empregado para obter a temperatura e outras características superficiais de grandes áreas. Sua larga utilização ocorre em grande parte à disponibilização gratuita de imagens de satélite com grande resolução espacial, possibilitando avaliar mudanças na paisagem de uma localidade, sua cobertura vegetal, uso do solo, dentre outros.

Nos últimos anos, o campo de sensoriamento remoto desempenhou bem os estudos Ilha de Calor Urbano Superficial (ICUS) e a sua utilização vêm crescendo graças à sua precisão e baixo custo para análise da Temperatura Superficial Terrestre (TST) em áreas urbanas e rurais (PFEIFF, MOTA e LIMA, 2020).

O estudo de ICUS utilizando sensoriamento remoto foi proposto por Rao em 1972, descrevendo a distribuição espacial da ICUS (RAO, 1978).

2.4 SENSORIAMENTO REMOTO

O termo “*sensoriamento remoto*” foi concebido nos anos de 1960 para expressar as mudanças ocorridas no projeto de fotointerpretação aérea, uma vez que ao utilizar imagens advindas de sensores que mediam radiação eletromagnética fora do espectro da luz visível, acreditaram que o termo “*fotografia*”, que significa “*escrever com luz*” não deveria mais ser utilizado (JENSEN, 2009).

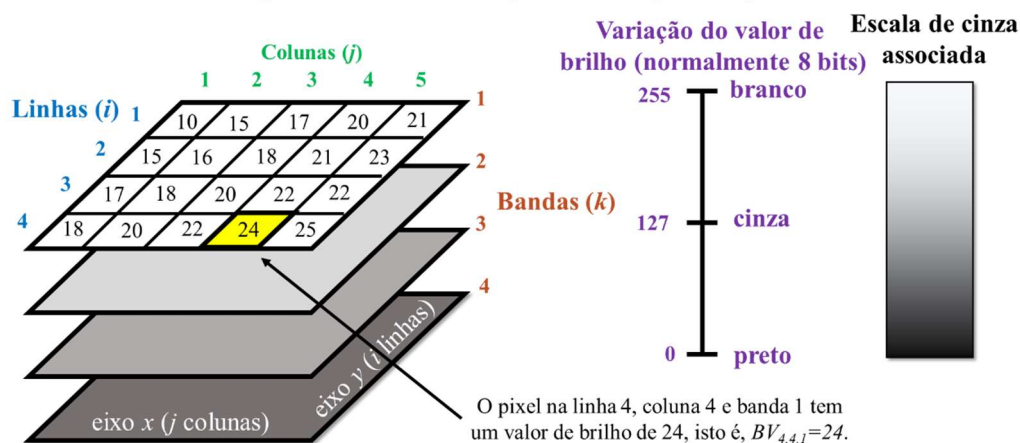
De modo genérico, o sensoriamento remoto pode ser definido como a obtenção de dados sobre um objeto sem tocá-lo. Os sensores possibilitam extrair informações do objeto estudado através da energia eletromagnética refletida ou absorvida pelo objeto ou área geográfica, substituindo a propriedade real sob investigação. Após a conversão das medições de energia eletromagnética mediante processamento digital e técnicas visuais, possibilitando o acompanhamento dos recursos terrestres em escala global.

A dimensão e o número de intervalos de comprimentos de onda, geralmente chamado de bandas ou canais, no espectro eletromagnético aos quais um instrumento de sensoriamento remoto é sensível, denomina-se de resolução espectral. Já a resolução temporal está relacionada à frequência com que o sensor registra imagens de uma área escolhida.

A energia emitida ou refletida de uma área de estudo ou objeto em múltiplas bandas do espectro eletromagnético são registradas por sistemas multiespectrais. Quando o sistema é hiperespectral, os dados são coletados em centenas de bandas. Em ambos os sistemas a coleta de dados é feita em um formato digital.

Os dados digitais obtidos através de um sensor são dispostos no formato de uma matriz. Os valores de brilho de cada pixel estão localizados na linha i , coluna j e banda k . Normalmente esses valores são armazenados em bytes de 8bits, possibilitando valores de 0 a 255. A Figura 4 detalha a terminologia utilizada em imagens digitais.

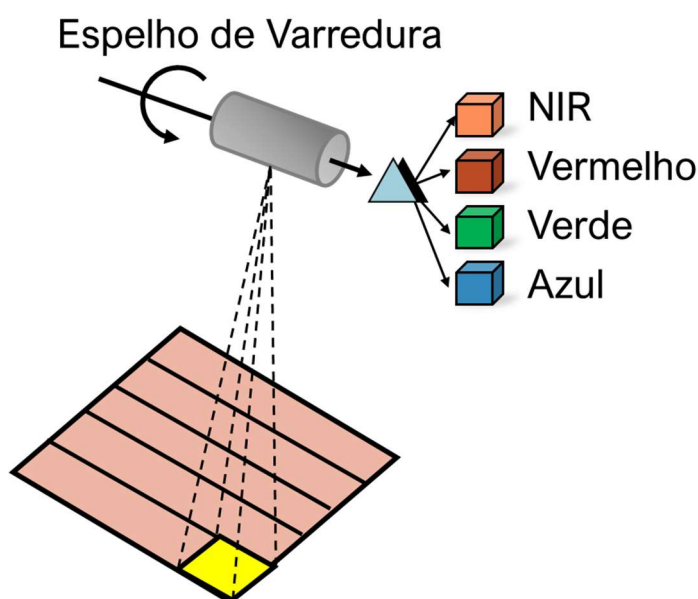
Figura 4 – Terminologias de imagens digitais.



Fonte: Adaptado de (JENSEN, 2009).

Os sensores remotos que possuem dispositivos para aquisição de dados multiespectrais com espelho de varredura e detectores discretos atuam como escaneadores do terreno. Percorrem o terreno capturando os dados em bandas diferenciadas segundo o comprimento de onda da emissão ou reflexão da onda eletromagnética sobre a área onde está sendo realizada a leitura. As bandas vão desde o infravermelho próximo (NIR, do inglês “*near infrared*”) até o limite do comprimento de onda que o sensor permite. Na Figura 5 é possível ver um esquema simplificado de como esse sistema funciona.

Figura 5 – Imageamento multiespectral usando espelho de varredura e detectores discretos.



Fonte: Adaptado de (JENSEN, 2009).

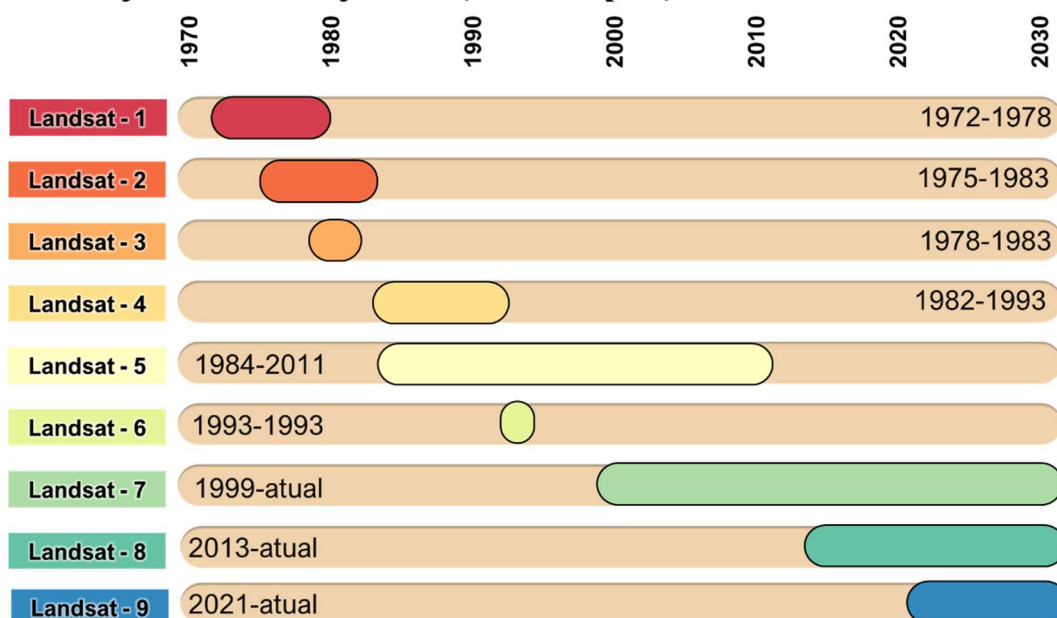
Essa tecnologia começou a ser empregada em meados da década de 60, e muitos sistemas atuais também a utilizam, como os satélites tecnológicos de recursos terrestres e sistemas de sensores Landsat.

2.4.1 Satélites Landsat

Surgiu na segunda metade da década de 60, desenvolvido pela Agência Espacial Americana para o estudo dos recursos naturais terrestres, missão essa chamada inicialmente de Satélite de Tecnologia de Recursos Terrestres (*Earth Resources Technology Satellite*) passando a se chamar Landsat em 1975. Como resultado deste programa, nove satélites foram lançados com uma variedade de sistemas de sensoriamento com a finalidade de adquirir informações da terra.

Dentre os vários satélites da série Landsat lançados em órbita, destacam-se o Landsat-5, Landsat 7, Landsat 8 e Landsat-9, dos quais os dados podem ser utilizados em conjunto para estudo multitemporal de ICUS devido à grande série histórica que os dados dos satélites possibilitam. A Figura 6 apresenta um resumo da cronologia de lançamento e final de operação de satélites Landsat.

Figura 6 – Cronologia de lançamentos operações de satélites Landsat.



Fonte: Adaptado de (EMBRAPA, 2020).

O Landsat-5 foi equipado com o sensor de Mapeador Temático (TM, do inglês *Thematic Mapper*), que era formado por um conjunto óptico-mecânico em que um

espelho varre o terreno perpendicularmente à direção de voo, focalizando a energia refletida ou emitida do terreno sobre os elementos detectores. A Tabela 1 apresenta as bandas espectrais do sensor TM e suas aplicações.

Tabela 1 – Bandas espectrais do sensor TM

Bandas Espectrais	Resolução Espectral (µm)	Principais aplicações
(B1) Azul	0.45 - 0.52	Apresenta grande penetração em corpos de água, sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares e possui sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial.
(B2) Verde	0.52 - 0.60	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
(B3) Vermelho	0.63 - 0.69	Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana.
(B4) Infravermelho Próximo	0.76 - 0.90	Permite o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água.
(B5) Infravermelho Médio	1.55 - 1.75	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse hídrico na vegetação.
(B6) Infravermelho Termal	10.4 - 12.5	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
(B7) Infravermelho Médio	2.08 - 2.35	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia.

Fonte: Adaptado de (EMBRAPA, 2020).

O satélite Landsat 9 possui cópias aprimoradas dos instrumentos a bordo do Landsat 8, que já coletam dados radiometricamente e geometricamente superiores aos instrumentos dos satélites das gerações anteriores. Ele atua com dois sensores, o Gerador de Imagem Operacional Terrestre 2 (OLI-2, do inglês *Operational Land Imager 2*) e o Sensor Termal Infravermelho 2 (TIRS-2, do inglês *Thermal Infrared Sensor 2*). O sensor OLI veio substituir o sensor TM, acrescentando duas novas bandas, uma para nuvens tipo cirros e outra para análise de áreas costeiras, captando dados nas bandas do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, e o TIRS-2 mede a radiação infravermelha térmica, ou calor, emitida pela superfície da Terra. Tanto o OLI-2 quanto o TIRS-2 têm uma vida útil de projeto de missão de 5 anos, embora a espaçonave tenha mais de 10 anos de consumíveis (USGS, 2022).

A Tabela 2 apresenta as bandas espectrais dos sensores OLI-2 e TIRS-2 do Landsat-9.

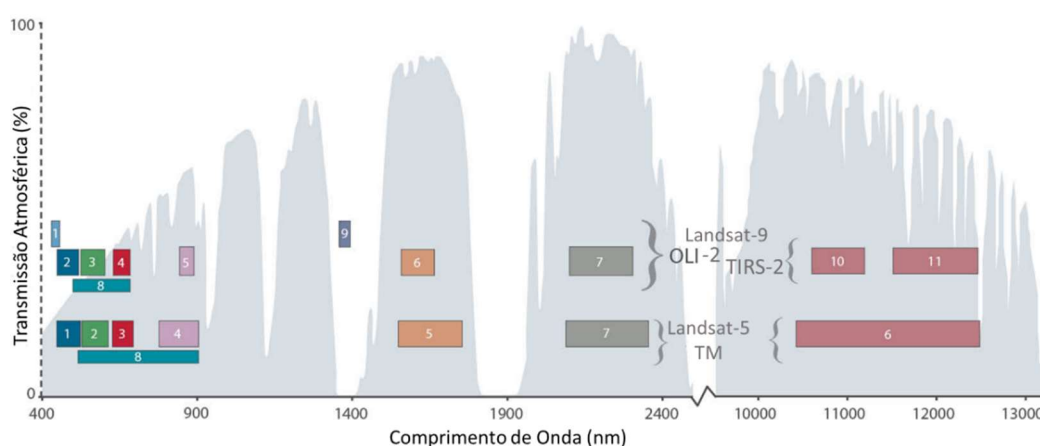
Tabela 2 – Bandas espectrais do sensor OLI e TIRS.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução
OLI-2	(B1) Costal	0,43 - 0,45 μm	30m
	(B2) Azul	0,45 - 0,51 μm	30m
	(B3) Verde	0,53 - 0,59 μm	30m
	(B4) Vermelho	0,64 - 0,67 μm	30m
	(B5) Infravermelho Próximo	0,85 - 0,88 μm	30m
	(B6) Infravermelho Médio	1,57 - 1,65 μm	30m
	(B7) Infravermelho Médio	2,11 - 2,29 μm	30m
	(B8) Pancromático	0,50 - 0,68 μm	15m
	(B9) Cirrus	1,36 - 1,38 μm	30m
TIRS-2	(B10) LWIR - 1	10.30 - 11.30 μm	30m
	(B11) LWIR - 2	11.50 - 12.50 μm	30m

Fonte: Adaptado de (USGS, 2022)

A Figura 7 ilustra uma comparação das bandas espectrais dos satélites Landsat 5 e Landsat 9, segundo o comprimento de onda que cada banda ocupa. Vale destacar que a sobreposição de bandas de sensores diferentes permite ampliar a série temporal para estudos que empreguem imagens de satélite, desde que manipuladas segundo as suas especificidades.

Figura 7 – Comparação das bandas espectrais dos sensores OLI e TIRS do Landsat-9 e TM do Landsat-5.



Fonte: Adaptado de (NASA, 2022).

Uma comparação entre os dois satélites e seus respectivos sensores é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Características dos satélites Landsat 5 e Landsat 9.

	Landsat 5	Landsat 9
Instrumento/Sensor	MSS e TM	OLI e TIRS
Situação Atual	Inativo (22/11/2011)	Ativo
Lançamento	01/03/1984	27/09/2021
Altitude	705 km	705 Km
Inclinação	98,2°	98,2°
Faixa Imageada	185 Km	185 Km
Tempo de Duração da Órbita	98,20 min	99 min.
Horário da Passagem	09h / 11h	10h / 12h
Período de Revisita	16 dias	16 dias
Resolução Espacial	MSS: 80 m TM: 30 m	Pancromático: 15 m Multiespectral: 30 m Termal: 100 m reamostrada para 30 m

Fonte: Adaptado de (INPE, 2022).

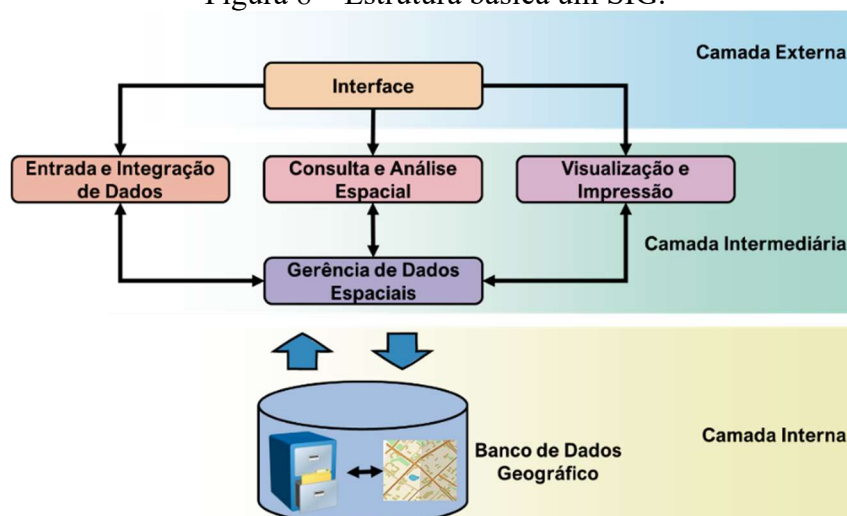
Segundo os dados apresentados referentes ao comprimento de onda que cada banda dos diferentes sensores capta, é possível utilizar as imagens de satélite dos aparelhos de gerações diferentes, desde que recebam o tratamento e processamento adequado.

2.5 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

O sistema formado por hardware, software, informação espacial, procedimentos computacionais que possibilita armazenar, processar, analisar e representar informações espaciais recebem o nome de SIG (TOUATIA, GARDESA e HIDALGOB, 2020).

A estrutura básica de um SIG é composta pela interface, entrada e integração de dados, consulta e análise espacial, visualização e impressão e o gerenciador de dados espaciais, conforme ilustrado na Figura 8.

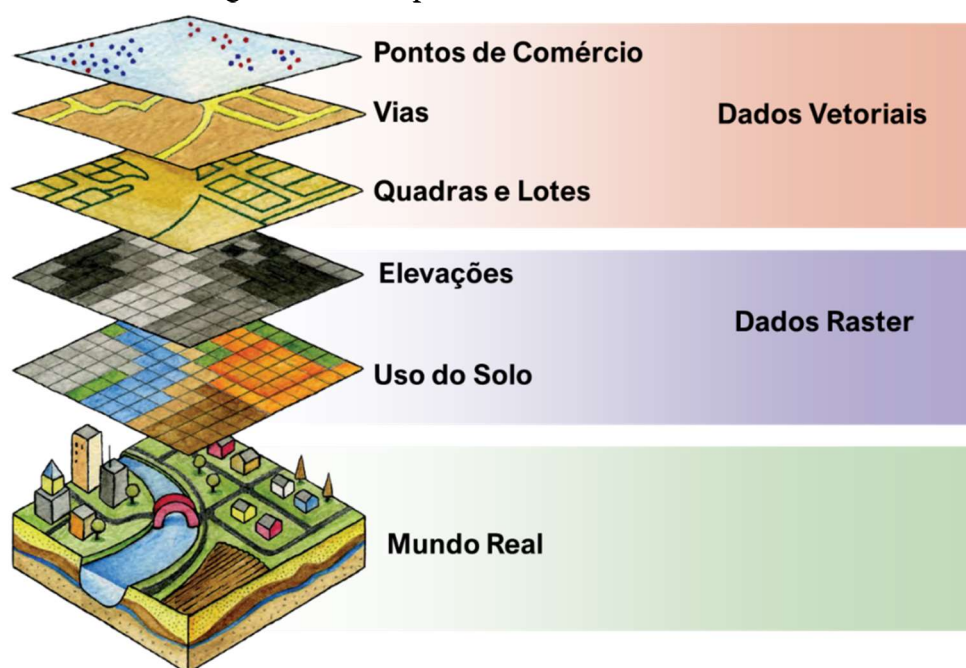
Figura 8 – Estrutura básica um SIG.



A interface é a parte do sistema com o qual o operador interage e manipula o SIG, na camada externa. A camada intermediária do sistema está relacionada com os procedimentos de processamento de dados espaciais. O gerenciamento do banco de dados espaciais, com o adequado armazenamento e recuperação de seus atributos, ocorre na camada interna do sistema.

Em um SIG a informação pode ser separada em diferentes camadas independentes, que suportam ser sobrepostas, facilitando e simplificando o seu manuseio. Isso permite que a informação possa ser relacionada pela posição e topologia dos objetos, de forma a gerar uma nova informação. A Figura 9 ilustra as camadas de dados em um SIG.

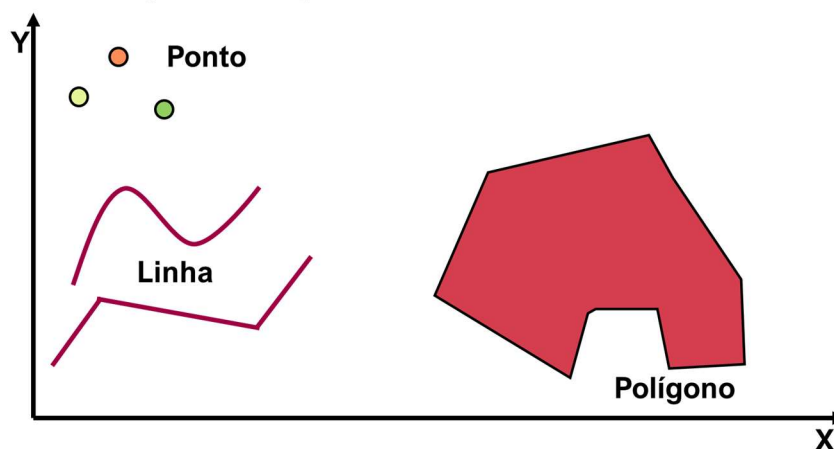
Figura 9 – Exemplo de Camadas de um SIG.



Fonte: Adaptado de (SCHMITZ, 2012).

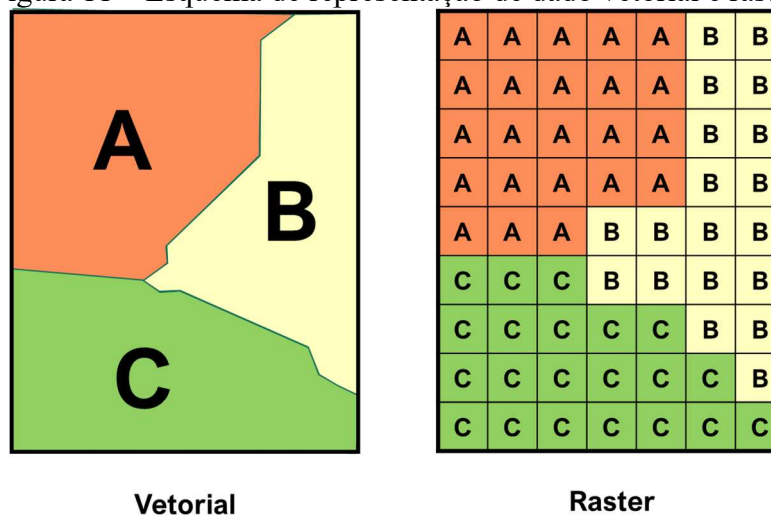
Os dados em um SIG podem ser vetoriais ou matriciais (*raster*), de acordo com a forma como são armazenados. Os dados vetoriais possuem coordenadas geográficas, podendo ser expressos por meio de pontos, linhas ou polígonos. Os pontos podem ser representados por um par de coordenadas geográficas, para associar linhas e polígonos é preciso utilizar um conjunto de pares de coordenadas. A Figura 10 apresenta um esquema dos tipos de dados vetoriais utilizados em SIG.

Figura 10 – Tipos de dados vetoriais de um SIG.



Os dados raster são dispostos em uma estrutura matricial, chamada de grade. Esta grade é formada por uma matriz de linhas e colunas, com valores associados a cada célula, também chamada de pixel. A Figura 11 apresenta um esquema de representação de um dado vetorial e matricial

Figura 11 – Esquema de representação de dado vetorial e raster.



Atualmente, estão disponíveis diversos SIGs, entretanto dois se destacam fortemente: ArcGIS e QGIS.

2.5.1 ArcGis

O ArcGIS é um SIG proprietário desenvolvido pela ESRI, e possui uma vasta coleção de ferramentas (*toolbox*) que viabilizam a análise e visualização de dados espaciais. Mesmo sendo um software proprietário, permite o compartilhamento de dados com outros SIGs e plataformas livres, o que o torna muito versátil (IMAGEM, 2022).

2.5.2 Quantum GIS (QGIS)

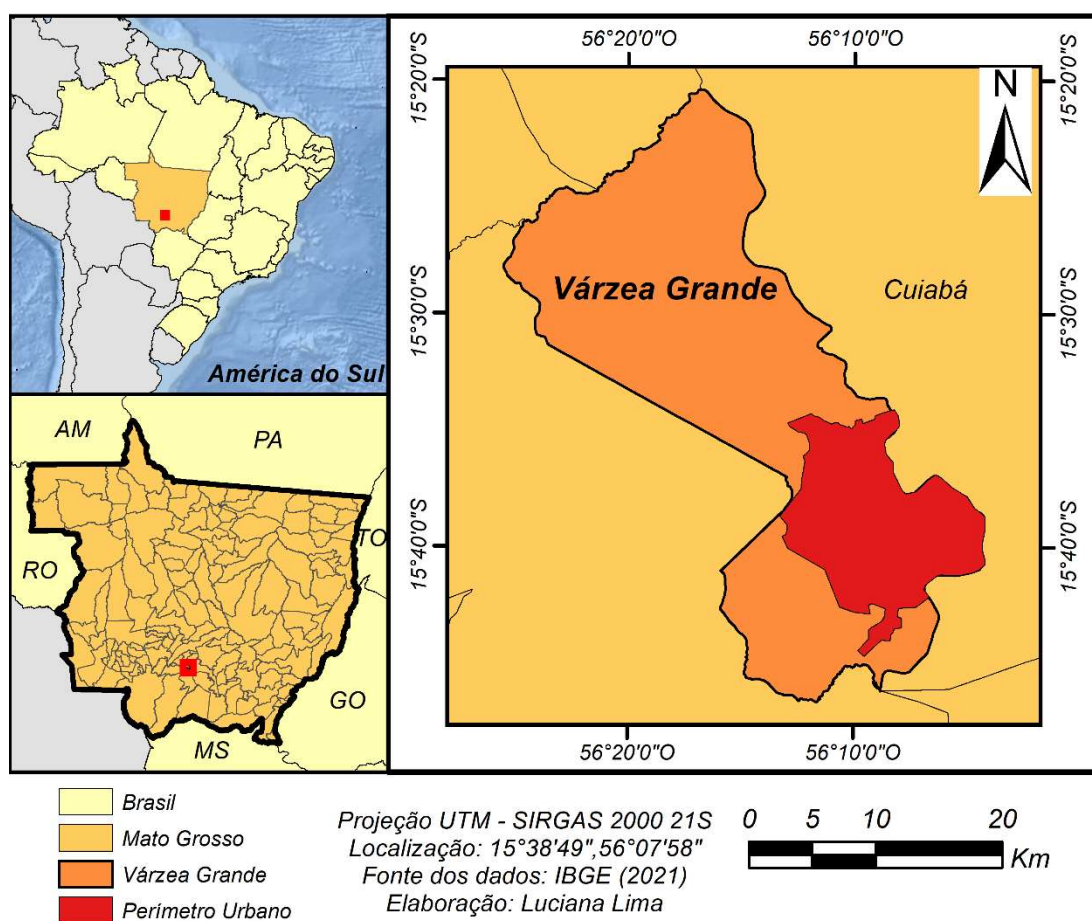
Já o QGIS é um software SIG livre e de código-fonte aberto, desenvolvido em Python. Outro ponto positivo ao seu favor refere-se à disponibilidade de sua interface em vários idiomas, o tornando mais acessível. Tem uma grande comunidade de apoio e desenvolvimento que contribuem para o aprimoramento do mesmo e elaboração de ferramentas (*plugins*) e funções que otimizam o trabalho (FONSECA, 2020).

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido para a cidade de Várzea Grande, localizada no estado de Mato Grosso, na microrregião de Cuiabá e região metropolitana do Vale do Rio Cuiabá, com extensão territorial de 724,28 km², correspondendo 164,93km² à macrozona urbana e 559,35km² à área rural (IBGE, 2010). É apresentado na Figura 12 o mapa de localização da cidade de Várzea Grande.

Figura 12 – Localização do município de Várzea Grande - MT.



Fonte: Adaptado de (IBGE, 2022).

Várzea Grande se limita ao norte com as cidades de Acorizal, Rosário Oeste e Jangada, ao sul com Poconé e Santo Antônio do Leverger, ao leste com a capital do Estado de Mato Grosso, Cuiabá e a oeste com Nossa Senhora do Livramento.

A sua localização pelas coordenadas geográficas é 15°38'49" latitude Sul e a 56°07'58" de longitude a Oeste, com altitude média inferior a 200 m acima do nível do mar. É apresentada na Figura 13 uma foto aérea da região central de Várzea Grande.

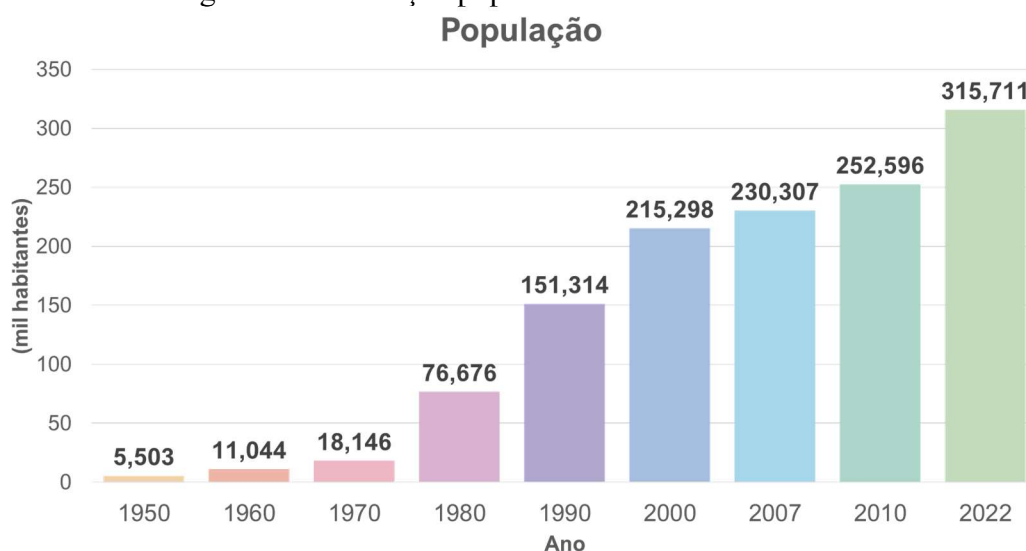
Figura 13 – Imagem aérea de Várzea Grande.



Fonte: (GOVERNO DE MATO GROSSO, 2022)

É a segunda cidade mais populosa do estado de Mato Grosso, com uma população de 315.711 habitantes (IBGE, 2022), dos quais cerca de 98% da população vive na área urbana e 2% na área rural. A Figura 14 apresenta a evolução populacional de Várzea Grande no período de 1950 a 2022.

Figura 14 – Evolução populacional de Várzea Grande.

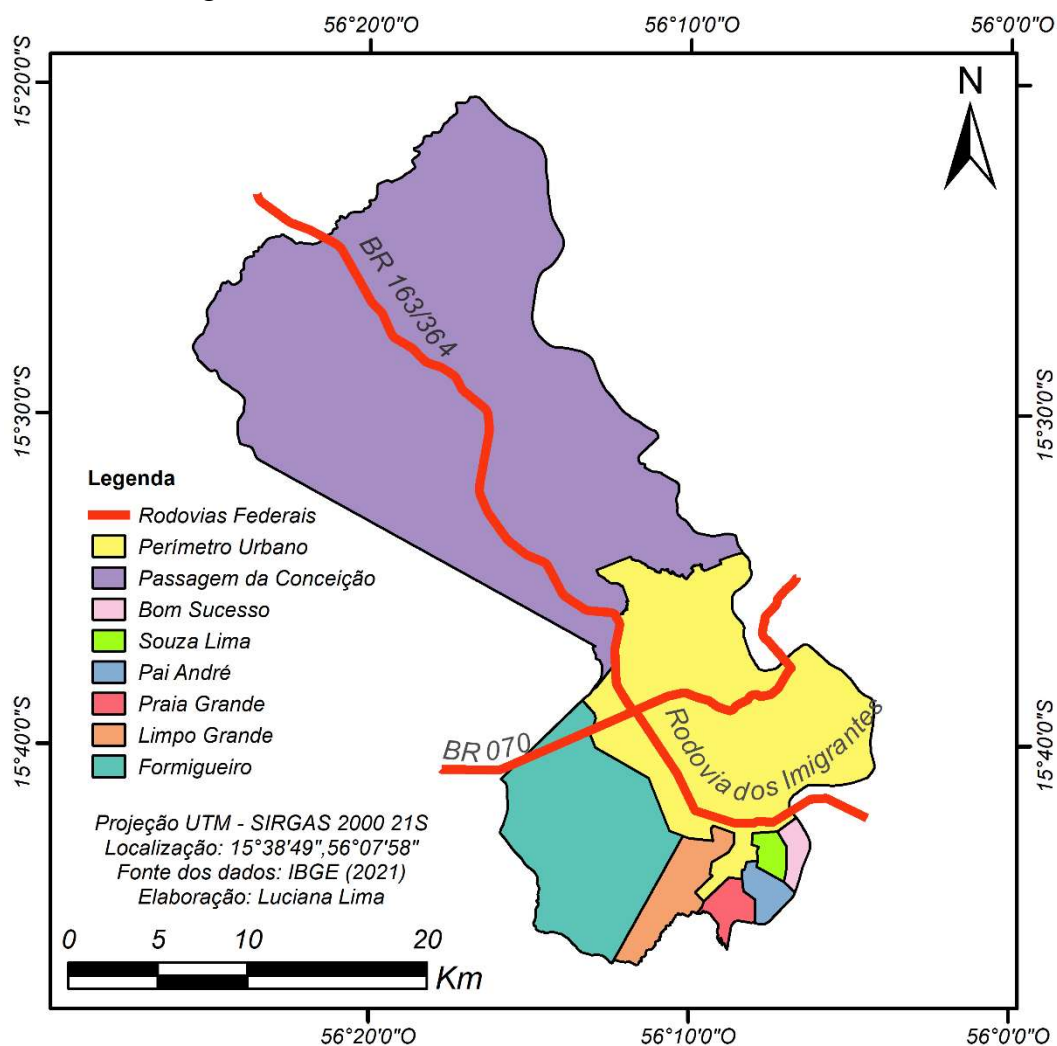


Fonte: (IBGE, 2022).

De acordo com Lei Complementar nº 4.695/2021 que dispõe sobre a política municipal de desenvolvimento (Plano Diretor 2021), o território municipal se divide em

distritos. São eles: Bom Sucesso, Formigueiro, Limpo Grande, Pai André, Passagem da Conceição, Praia Grande, Souza Lima e Macrozona Urbana (perímetro urbano), como representado na Figura 15.

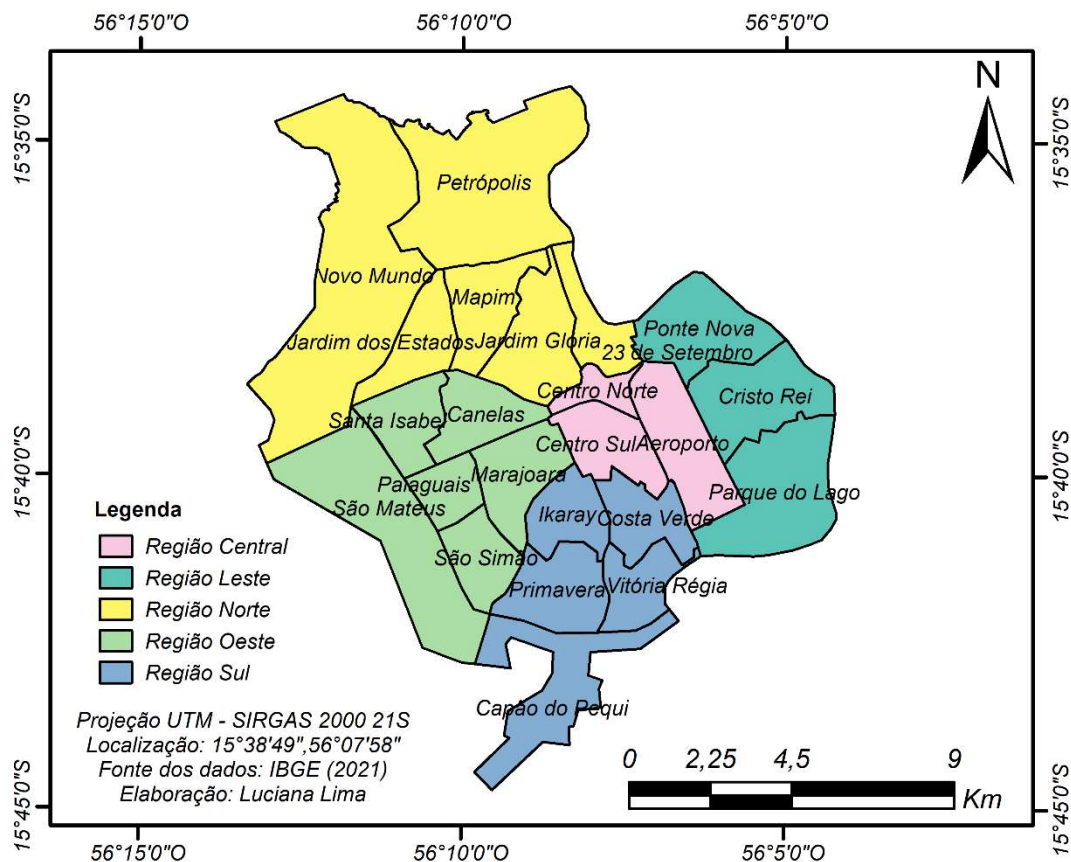
Figura 15 – Ordenamento Territorial de Várzea Grande.



Fonte: Adaptado de (VÁRZEA GRANDE, 2021)

Dentro da Macrozona Urbana estão localizados uma variedade de bairros com aspecto predominantemente residencial, sendo que os bairros mais próximos da área central são dotados de infraestrutura urbana. Esta Macrozona Urbana se subdivide em cinco grandes regiões, como ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Regiões do Perímetro Urbano de Várzea Grande.



Fonte: Adaptado de (VÁRZEA GRANDE, 2021).

Nos bairros e empreendimentos imobiliários mais recentes nota-se um melhor planejamento do crescimento da cidade. Na região Norte se localiza o Polo Tecnológico, com a presença de campus universitários. Não possui muitas edificações verticais.

3.1.1 Surgimento de Várzea Grande

Nascida da doação de uma sesmaria em 1832 pelo Governo Imperial aos índios Guanás, canoeiros e pescadores habilidosos, a região que comporia a cidade de Várzea Grande era o caminho das boiadas vindas de Rosário do Rio Acima (hoje Rosário Oeste) em direção a Cuiabá (MONTEIRO, 1987).

A sua fundação está fortemente relacionada à Guerra do Paraguai, quando em 1867, durante o período de guerra, Couto de Magalhães, então presidente da província de Mato Grosso, ordenou a prisão de todos os paraguaios de Cuiabá e região, criando um acampamento militar na margem do rio oposta à cidade de Cuiabá, enviando os

prisioneiros. Ali viviam alguns índios Guanás e lavradores (RODRIGUES e NETO, 2018).

Era o local de passagem e pouso para as tropas de boiadeiros vindos de Poconé e Nossa Senhora do Livramento, e graças à destreza dos paraguaios no corte e manufatura de carne seca, tratamento do couro de vaca, logo no povoado surgiu um abatedouro de gado e se transformou em fornecedor de mercadorias para a capital. A agricultura foi evoluindo nos capões, reunindo brasileiros e paraguaios no mesmo ofício (TAVARES, 2011).

Durante suas primeiras décadas o povoado várzea-grandense lentamente se desenvolveu a partir do abate de reses, fabricação de lenha e lavoura, através de um pequeno comércio com Cuiabá, realizado através de barcos que cruzavam o rio. A primeira ponte a interligar Cuiabá e Várzea grande foi inaugurada por Júlio Muller em 1942, alavancando o comércio com a capital. A energia elétrica chegou três anos depois, em 1945. Várzea Grande foi elevada à categoria de município em 23 de setembro de 1948, tendo como prefeito interino o major Gonçalo Romão de Figueiredo até a realização das eleições (SILVA, 2016.).

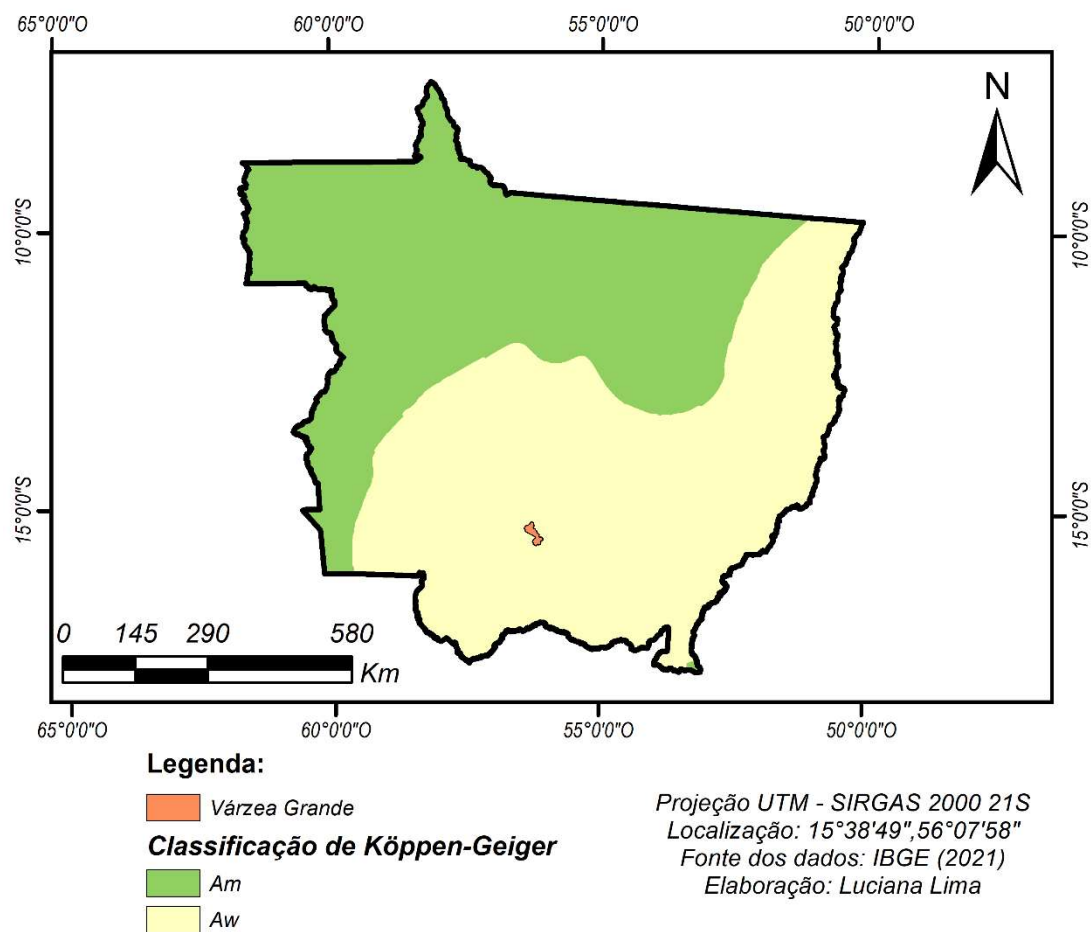
O acelerado crescimento de Várzea Grande durante ao último século se deve à imigração e a concessão de terras por parte do poder municipal para a instalação e operação de indústrias na região, como setor alimentício, frigorífico, madeireira, moveleira, cerâmica, couro, bebidas, máquinas e tratores (TAVARES, 2011).

3.1.2 Clima

No território de Grosso a temperatura é fortemente influenciada por elementos geográficos, como a latitude e a longitude, a continentalidade e pela circulação da atmosfera regional. A longa distância da costa brasileira condiciona a região a temperaturas elevadas por não possuir a atuação moderadora dos oceanos. As temperaturas amenas na região estão associadas às porções mais elevadas dos planaltos (ALVARES, STAPE, *et al.*, 2014).

Várzea Grande possui o clima tropical de savana semiúmido do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado por verão chuvoso e inverno seco, conforme apresentado na Figura 17.

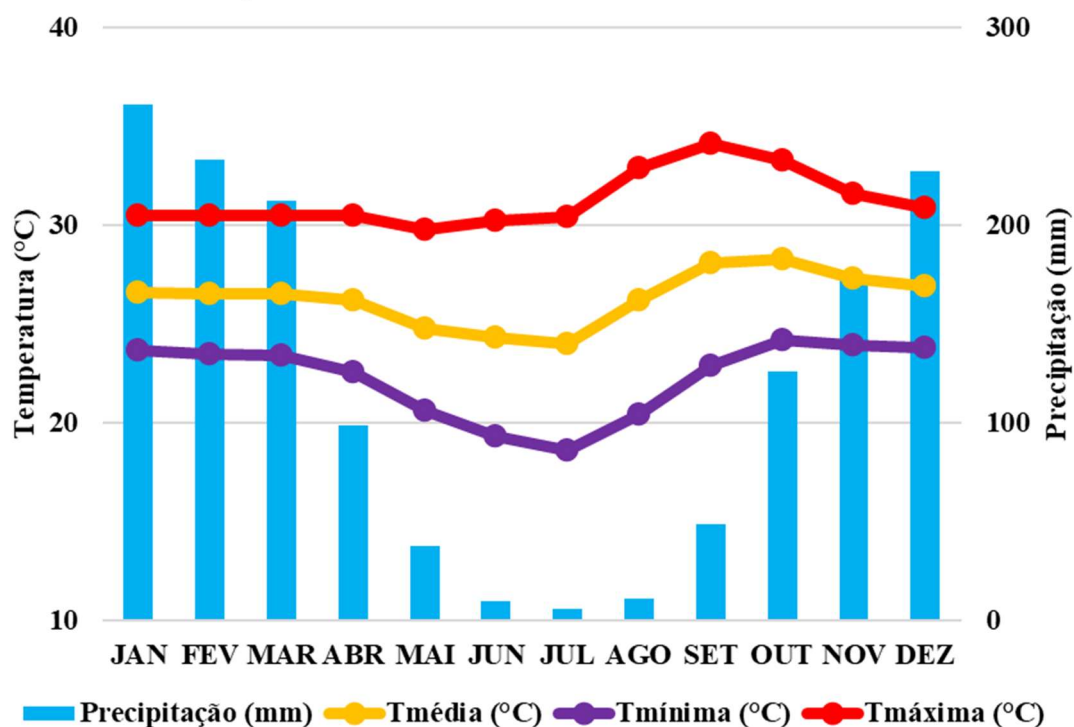
Figura 17 – Classificação climática de Várzea Grande.



Fonte: Adaptado de (ALVARES, STAPE, *et al.*, 2014).

De acordo com dados meteorológicos do *Copernicus Climate Change Service*, do período de 1991 a 2021, o Possui temperatura média anual de 26,3°C e pluviosidade média anual de 1445 mm. É mostrado na Figura 18 os dados climáticos para a cidade de Várzea Grande.

Figura 18 – Dados climáticos de Várzea Grande.



Fonte: Adaptado de (CLIMATE-DATA.ORG, 2021).

Nota-se então a ocorrência de quatro a cinco meses secos, com precipitação inferior a 60mm, correspondentes ao período de maio a setembro e restante como período chuvoso. setembro e outubro são os meses mais quentes do ano, com temperatura máxima acima dos 33°C e julho é o mês com temperaturas mais amenas, registrando mínima de 18,6°C.

3.1.3 Relevo

A cidade de Várzea Grande integra o relevo da Baixada do Rio Paraguai e calha do Rio Cuiabá, pertencente à Baixada Cuiabana ou Peri (IBGE, 2009).

No intuito de avaliar o relevo de várzea Grande, foi gerado o mapa de declividade baseado no Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo IBGE. Este MDE foi importado para o ArcGis e efetuado o cálculo da declividade m através da ferramenta *slope*. Após o cálculo da declividade, o mapa foi classificado de acordo com o percentual de declividade e a classe de relevo, segundo a Tabela 4.

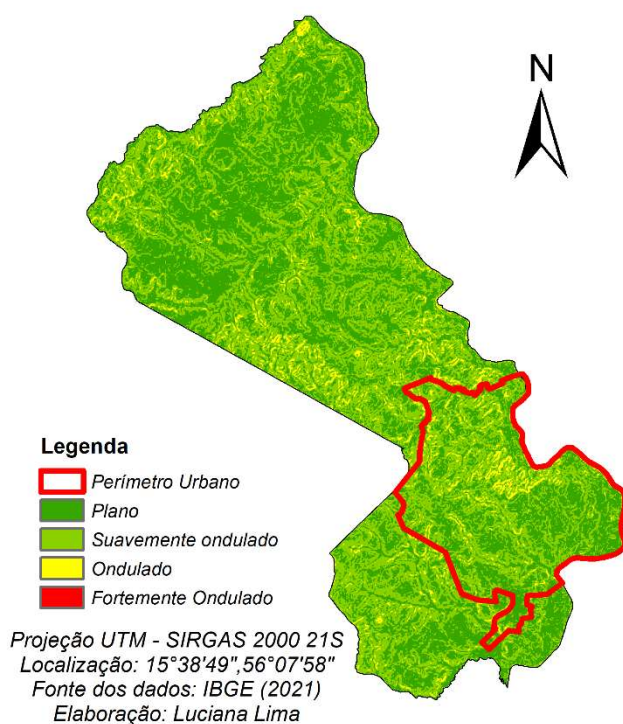
Tabela 4 – Classificação do relevo e intervalo de declividade.

Classe de relevo	Declividade (%)	Descrição
Plano	0 – 3	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.
Suave Ondulado	3 – 8	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros com declives suaves.
Ondulado	8 – 20	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros com declives moderados.
Forte Ondulado	20 – 45	Superfície de topografia movimentada, constituída por outeiros e/ou morros e raramente colinas, com declives fortes.
Montanhoso	45 – 75	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, constituídas por morros, montanhas e declives fortes e muito fortes

Fonte: Adaptado de (EMBRAPA, 1999).

Segundo a Figura 19, fica evidente que no território de Várzea Grande a declividade predominante do terreno está abaixo dos 8%, podendo ser classificado como suavemente ondulado e plano, não se verificando a presença de regiões com declividade superior a 20%.

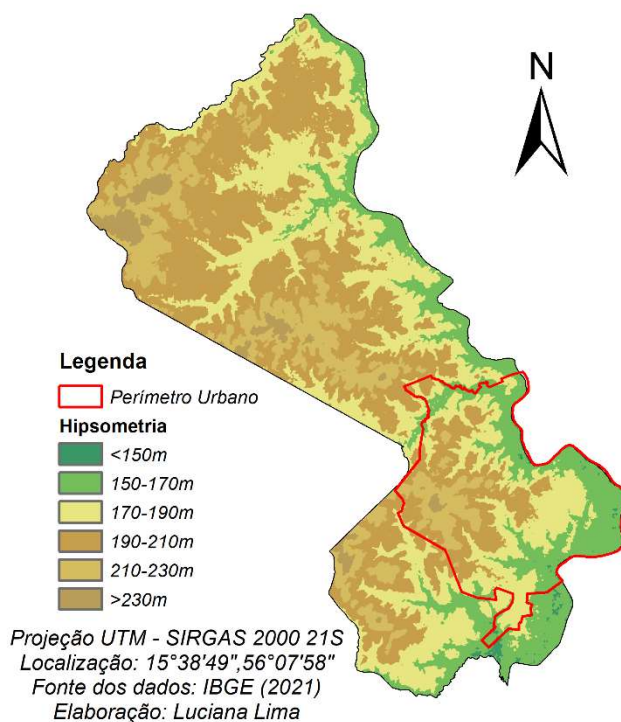
Figura 19 – Mapa de Declividade de Várzea Grande.



Sua região não possui elevações notáveis, sendo a inclinação mais elevada é a rampa chamada de Morro Vermelho. Elevação esta cuja uma parte foi modelada pela

erosão ao longo do tempo para a formação do Rio Cuiabá. A Figura 20 apresenta o relevo da região através do mapa hipsométrico.

Figura 20 – Mapa Hipsométrico de Várzea Grande



Ocorre com frequência a existência de chapadões cobertos de cerrado e alguns poucos capões, salvo a área marginal do Rio Cuiabá e do Rio Pari, seu afluente. Possui solo raso, com a ocorrência de níveis maior de resistência a mecanização e a penetração de raízes.

3.2 HARDWARE E SOFTWARE

Os softwares específicos para a manipulação de imagens de satélite exigem um maior esforço computacional do *hardware* utilizado. Na execução deste trabalho foi utilizado um *Notebook Gamer – Samsung Odyssey*, equipado com um processador Intel Core i5 de 7ª geração. Equipado com uma placa gráfica dedicada, a GTX 1050, com 4Gb de memória dedicada. De fábrica o computador portátil possui 8Gb de memória *RAM*, disco rígido com capacidade de 1 TB, com o sistema operacional Windows 10 64 bits. A Figura 21 ilustra o computador portátil utilizado.

Figura 21 – Notebook Odyssey (GeForce® GTX 1050Ti).



Fonte: Adaptado de (SAMSUNG, 2018)

Entretanto foi necessário realizar um aprimoramento com a inserção de um disco rígido de estado sólido (SSD) de 256 Gb, no qual foi instalado o sistema operacional e os demais *softwares*. Devido às suas características construtivas, o disco de estado sólido permite uma maior velocidade de leitura e gravação de dados, o que reflete na prática em uma melhor performance do sistema e dos softwares instalados. Também foi efetuada a ampliação da memória RAM, passando de 8 Gb para 16 Gb. Esse acréscimo da memória e inserção do SSD deixou os softwares SIG mais fluidos, sem travamentos e com menor tempo de processamento das operações realizadas.

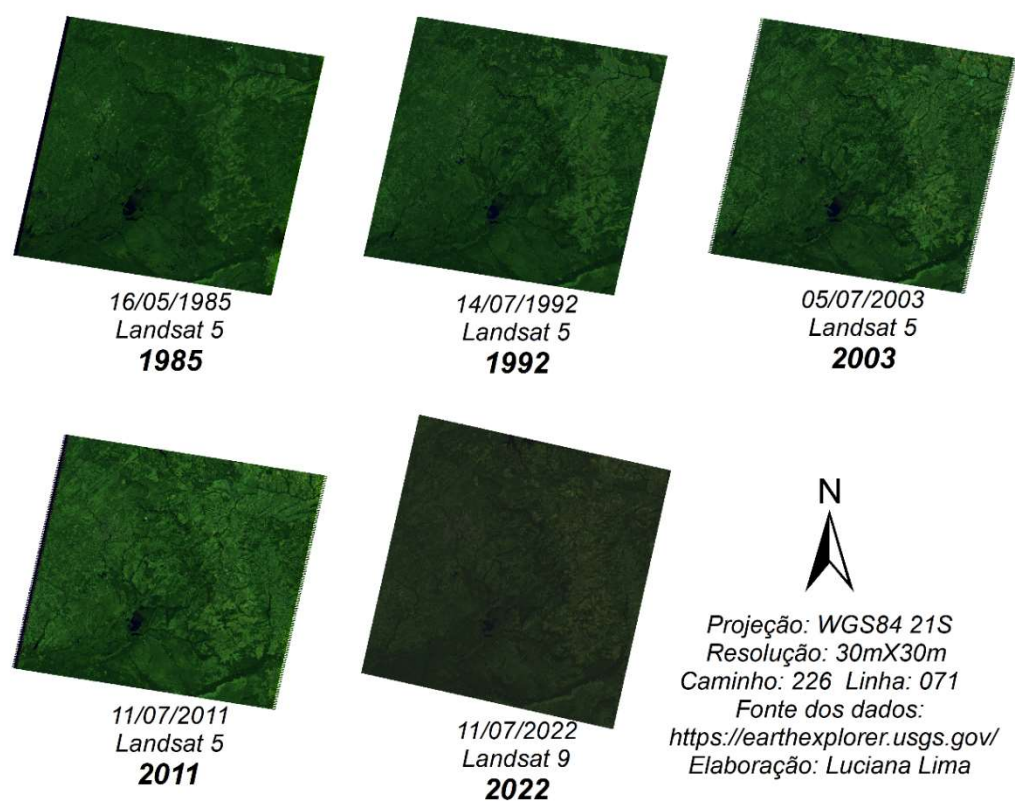
Durante a pesquisa, foram empregados dois SIGs, o ArcGis (licenciado para estudante) na versão 10.8 e o QGIS 3.26.3 (Buenos Aires), de forma a extrair a melhor funcionalidade de cada um. Foi destacado ao longo do texto qual o SIG usado na execução de cada etapa de processamento.

3.3 SELEÇÃO E AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

Foram selecionadas 05 (cinco) imagens de satélite Landsat-5 e Landsat-9, órbita-ponto 226/071, para os meses que possuem temperaturas elevadas e baixa nebulosidade, correspondente aos dias 16/05/1985, 14/07/1992, 05/07/2003, 11/07/2011 e 01/07/2022, obtidas gratuitamente do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS - US Geological Survey), no site [<https://earthexplorer.usgs.gov/>]. Cada imagem retrata as características da superfície terrestre de onde e do horário em que foram coletadas, de forma que, de agora em diante, serão mencionadas apenas pelo ano em que foram coletadas. Desta

forma, a imagem de 16/05/1985 será enunciada por 1985 e assim sucessivamente. Uma amostra das imagens selecionadas é apresentada na Figura 22.

Figura 22 – Amostra das imagens selecionadas.



a

Cada imagem possui um arquivo de metadados que contém o horário em que o centro da imagem foi capturado, com o fuso horário GMT (Tempo Médio de Greenwich). Na Tabela 5 é apresentado o horário de coleta de cada imagem no fuso horário GMT e corrigido para o horário local de Cuiabá.

Tabela 5 – Horário de coleta das imagens.

Data de coleta da Imagem	Horário e Coleta da Imagem	
	GMT	Cuiabá (GMT-4)
1985 (16/05/1985)	13:15:44	09:15:44
1992 (14/07/1992)	12:53:34	08:53:34
2003 (05/07/2003)	13:21:52	09:21:52
2011 (11/07/2011)	13:34:47	09:34:47
2022 (11/07/2022)	13:45:29	09:45:29

Embora as imagens Landsat sejam produzidos arquivados e distribuídos pela USGS desde o ano de 1972, era necessário realizar um grande pré-processamento por parte dos usuários para se obter um conjunto de dados aptos a serem utilizados.

Com a intenção de diminuir este efeito negativo, a USGS Se esforçou para produzir a Coleção 2 Nível 1, com aprimoramento de processamento de dados, geometria e radiometria. Esta coleção é a que foi utilizada neste estudo.

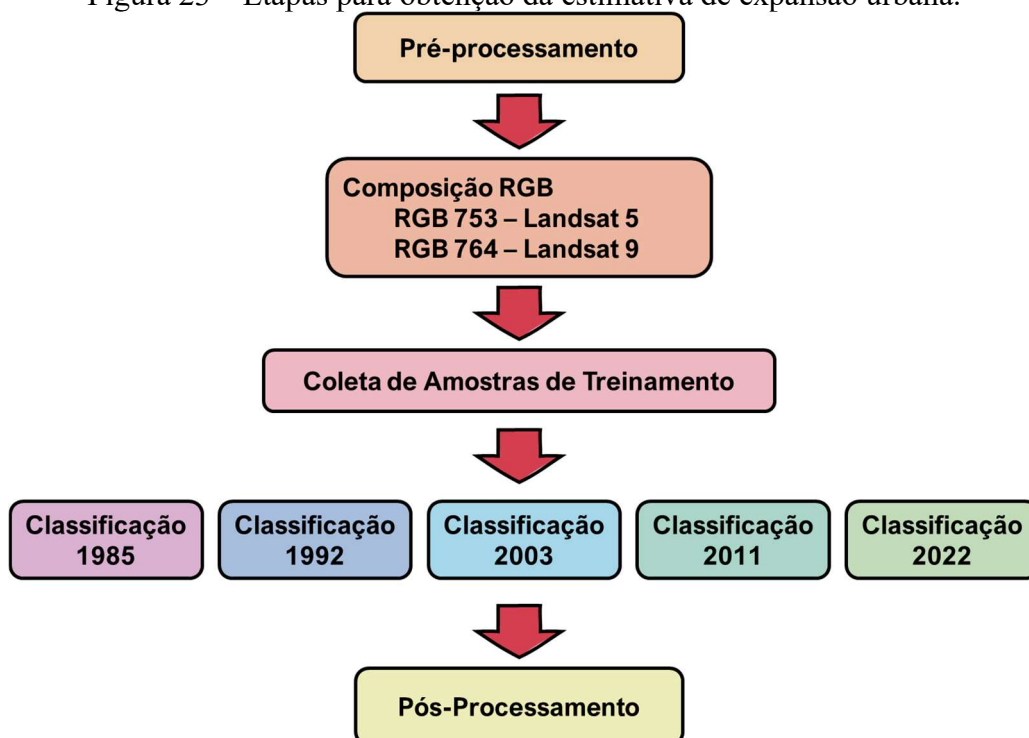
3.4 CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO

Para o mapeamento das classes de uso do solo, foram empregadas as imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 9, com resolução espacial de 30m, e referentes a órbita-ponto 226/71. Foi utilizada a composição colorida para aprimorar a visualização e interpretação das imagens, uma vez que elas são geradas por padrão em escala de cinza.

O formato das imagens obtidas foi o *GeoTiff*, que é um sistema de metadados com as informações das coordenadas geográficas embutidas em um arquivo de imagem *Tiff*. O critério fundamental para a escolha das imagens foi o índice de cobertura de nuvens inferior a 10%, e sem a incidência de nuvens sobre a área de estudo. Os dados adquiridos já estavam corrigidos para os efeitos atmosféricos, não sendo necessário realizar nenhum procedimento neste sentido.

O processamento das imagens para a definição do uso do solo foi realizado segundo as etapas apresentadas na Figura 23.

Figura 23 – Etapas para obtenção da estimativa de expansão urbana.



A etapa do pré-processamento é a etapa inicial, onde foi verificada o sistema de coordenadas e a qualidade das imagens de satélite obtidas.

As imagens de satélite estavam no Sistema Geodésico Mundial 84 (WGS84 - *World Geodetic System*) e foram reprojetaadas através de ferramenta de georreferenciamento do ArcGis para o Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercador (UTM), correspondente a Zona 21 Sul, vinculadas ao Sistema de Referência (SIRGAS 2000).

Embora se tenha selecionado imagens de satélite com menos de 10% de nuvens, foi utilizado o QGIS, onde através do plugin *Cloud Masking* é possível analisar o conjunto de bandas da imagem de satélite obtida, através do algoritmo *F-mask*, identificar e mascarar a presença de nuvens e sombras de nuvens. A Figura 24 e a Figura 25 detalham os procedimentos adotados para utilização do plugin.

Figura 24 – Roteiro de utilização do Cloud Making (*Open and Load*)

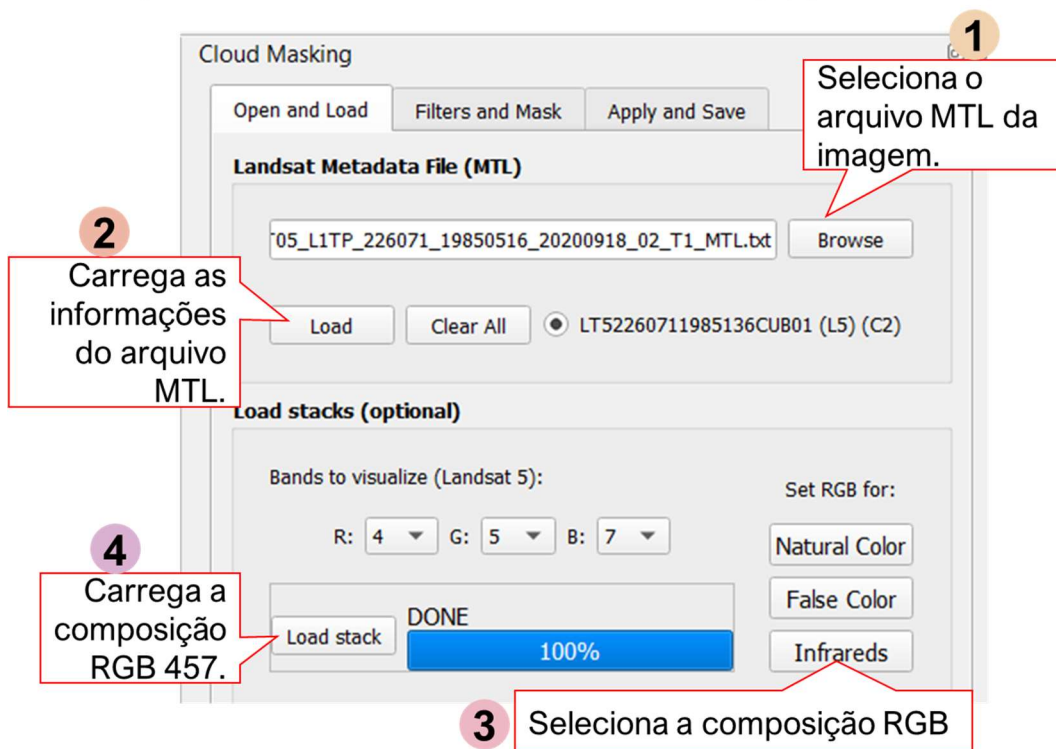
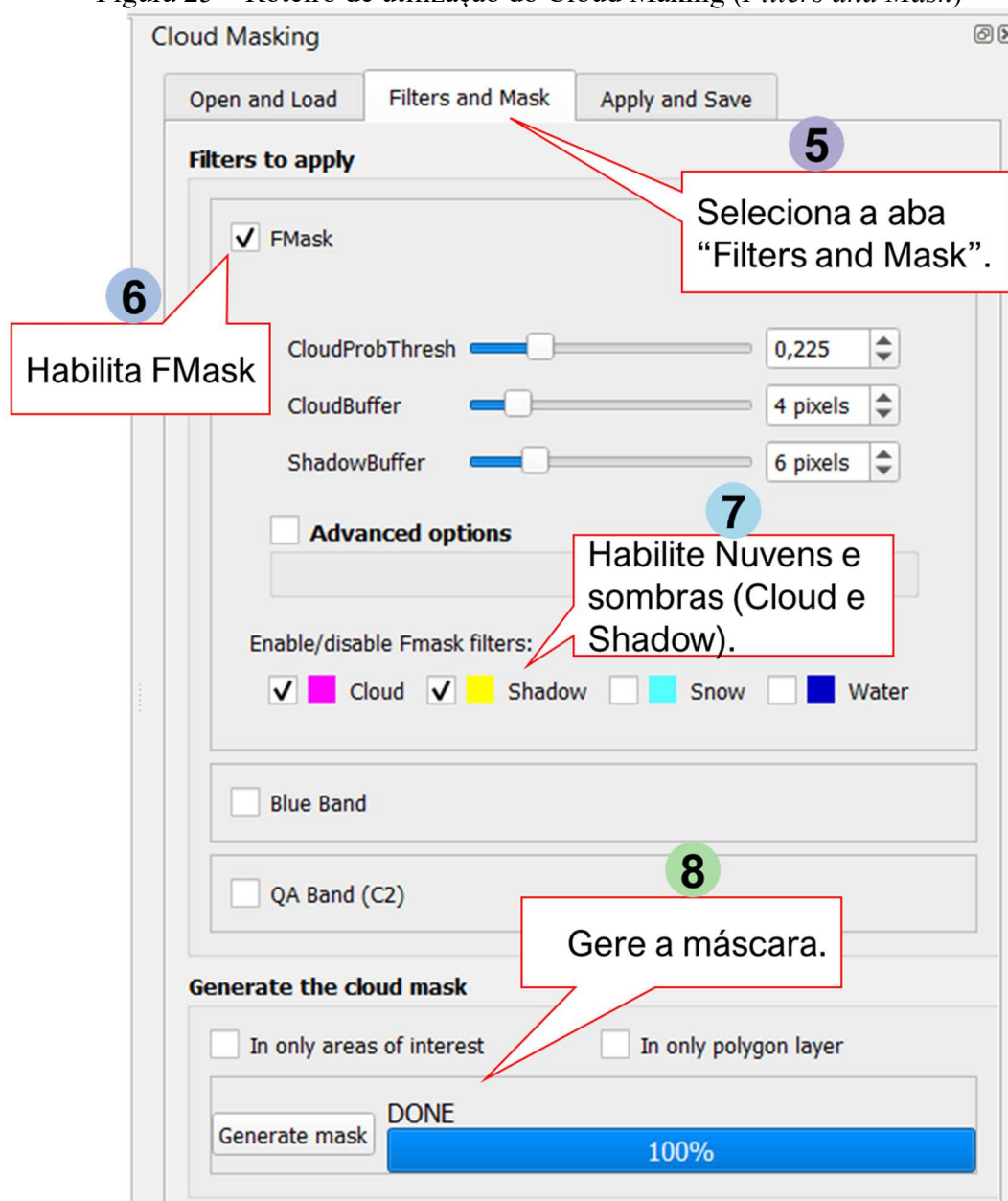


Figura 25 – Roteiro de utilização do Cloud Making (*Filters and Mask*)



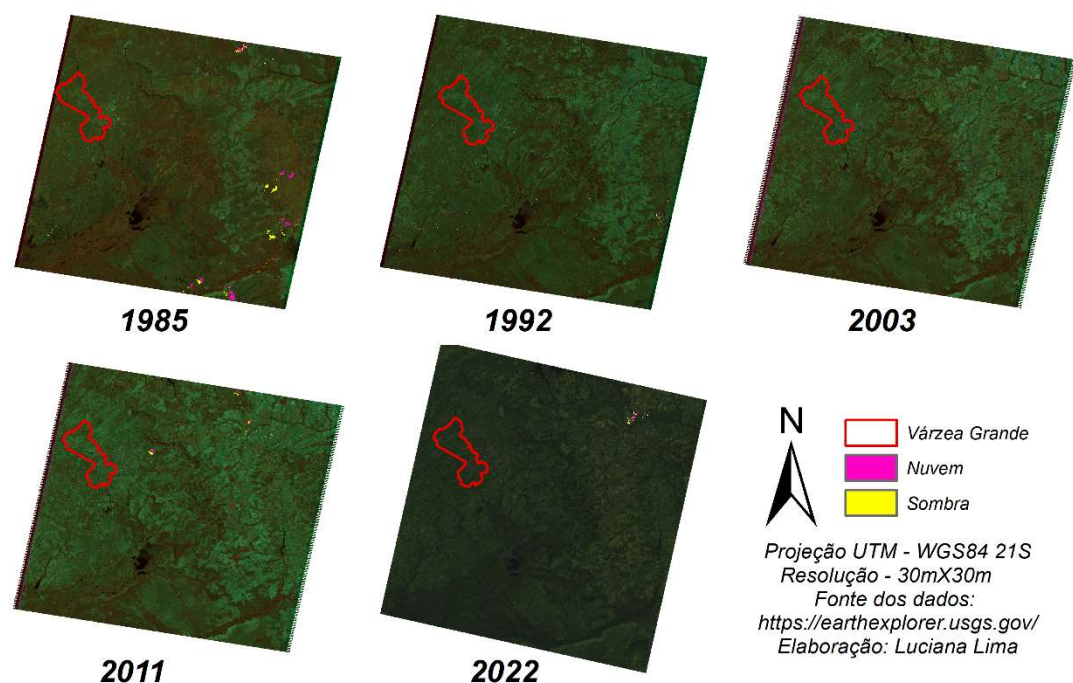
A Figura 26 apresenta o resultado de processamento das imagens de satélite por meio do mascaramento de nuvens e sombras de nuvens. Nota-se a presença de nuvens nas imagens de 1985, 2011 e 2022, mas em regiões fora da área de estudo.

Como não houve sobreposição de nuvens sobre a área de estudo, todas as imagens de satélite puderam ser utilizadas.

Na etapa seguinte foi realizada a composição da imagem de satélite de cada período escolhido. Dentre as composições possíveis no formato RGB, a que permitiu

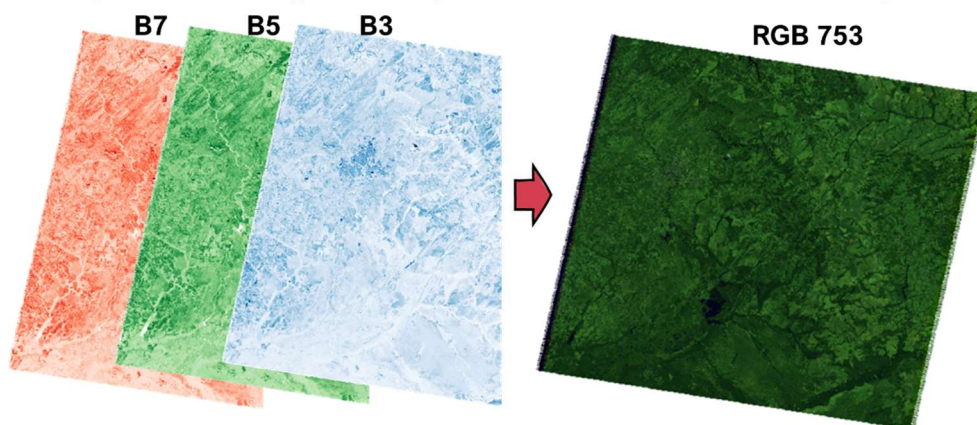
melhor diferenciação entre as classes de uso do solo foi a RGB 753, para as imagens de satélite do Landsat 5 e RGB 764 para a imagem do Landsat 9.

Figura 26 – Resultado do Cloud Masking.



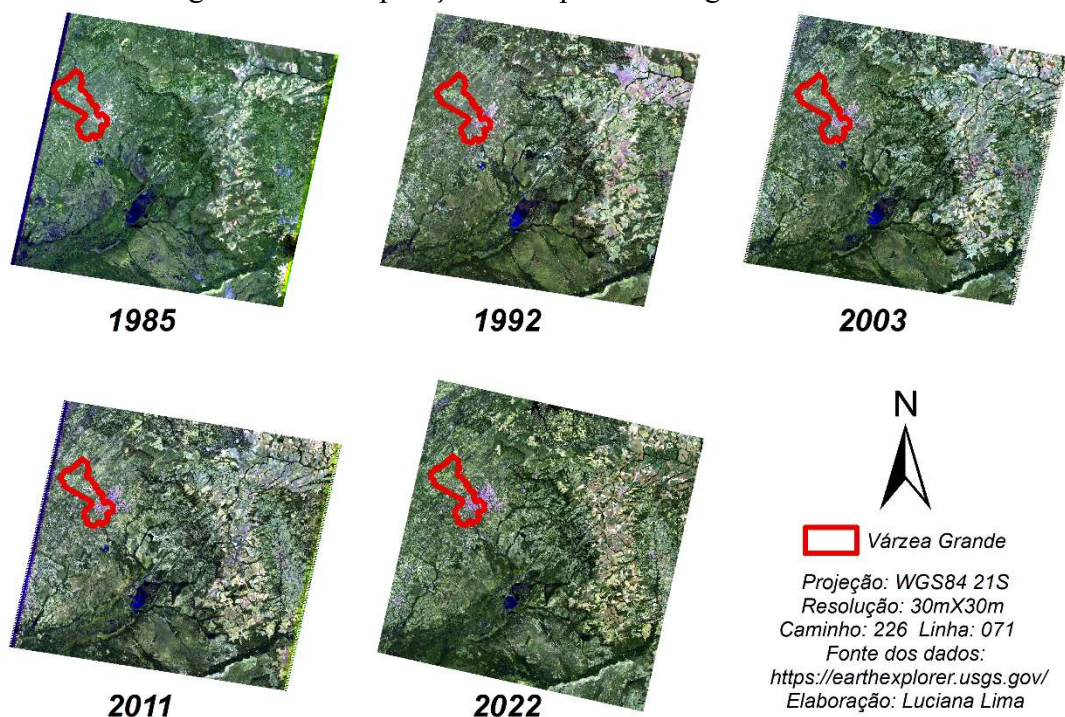
Este tipo de composição foi realizado no software ArcGis, por meio da ferramenta chamada “Bandas Compostas” foi possível gerar um arquivo de imagem, no sistema de cores RGB, selecionando a banda 7 para vermelha, banda 5 para a cor verde e a banda 3 para a cor azul, originando a composição RGB 753 para as imagens do Landsat 5 e o seu equivalente para a imagem do Landsat 9. A Figura 27 ilustra este processo para a imagem de 2011.

Figura 27 – Exemplo de composição RGB 753 utilizando a imagem de 2011.



Após a composição das imagens é necessário fazer o ajuste do contraste para “porcentagem de recorte” a fim de evidenciar os diferentes tipos de cobertura do solo, como apresentado na Figura 28.

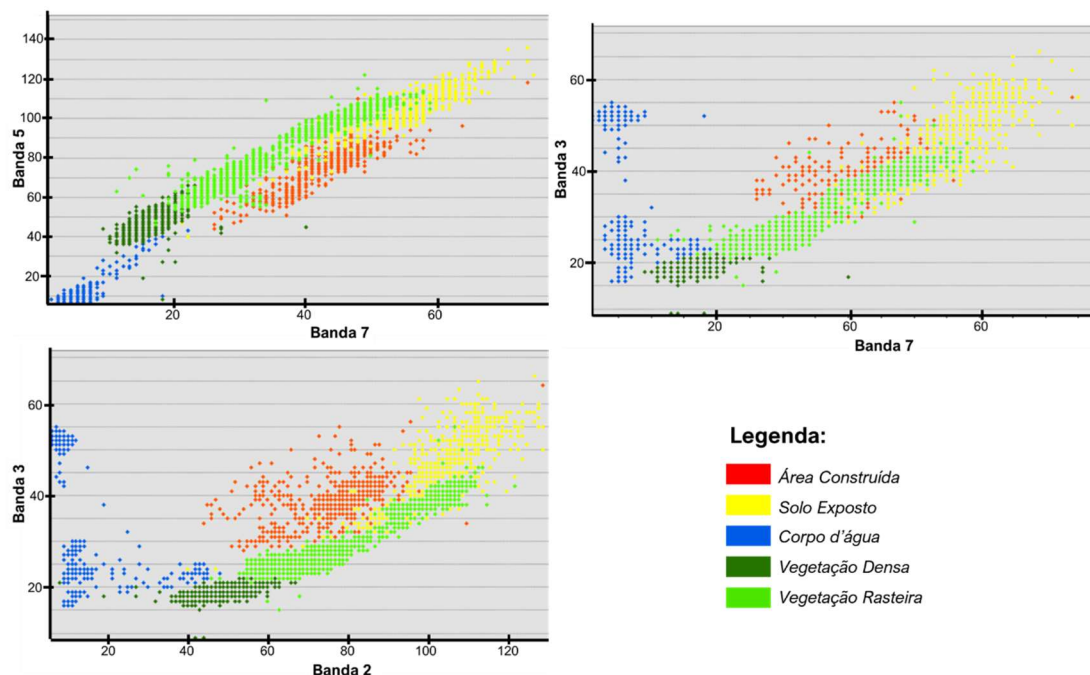
Figura 28 – Composição RGB para as imagens de satélite.



A coleta de amostras de treinamento é realizada por meio da caixa de ferramentas “classificação de imagens” no ArcGis, sendo realizada para cada imagem composta. Foram coletadas amostras de pixels da imagem para a identificação das classes de uso do solo. Foram definidas cinco classes principais: Área Construída, Solo Exposto, Corpo d’água, Vegetação Densa e Vegetação Rasteira.

Para se obter um resultado melhor de classificação, buscou-se amostras de treinamento dentro da área de estudo, que ao serem avaliadas através do gráfico de dispersão, se apresentem bem delimitadas, com pouca sobreposição e com contagem superior a 1000 pixels para cada classe. A Figura 29 apresenta como exemplo o gráfico de dispersão da coleta de amostras para a imagem de 1992.

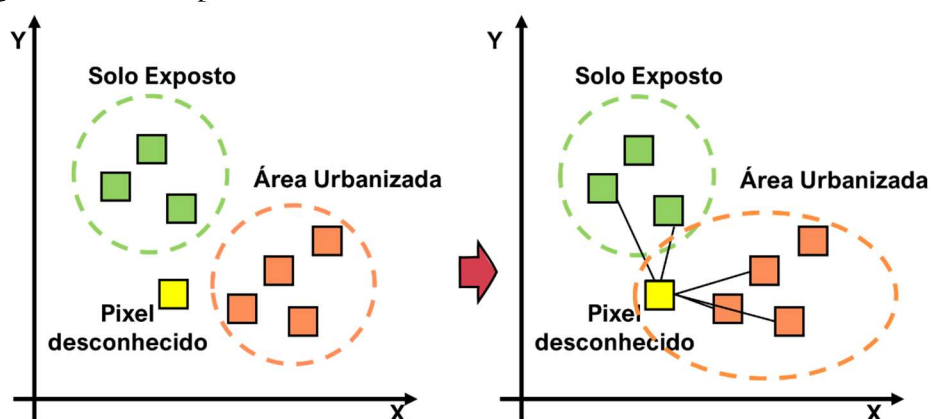
Figura 29 – Gráfico de Dispersão da coleta de amostras para a Imagem de 1992.



Após a coleta de amostras é gerado um conjunto de assinaturas espectrais, que serve de base para a classificação das imagens. Para cada imagem foi realizada a coleta de amostras e gerado um arquivo de assinatura.

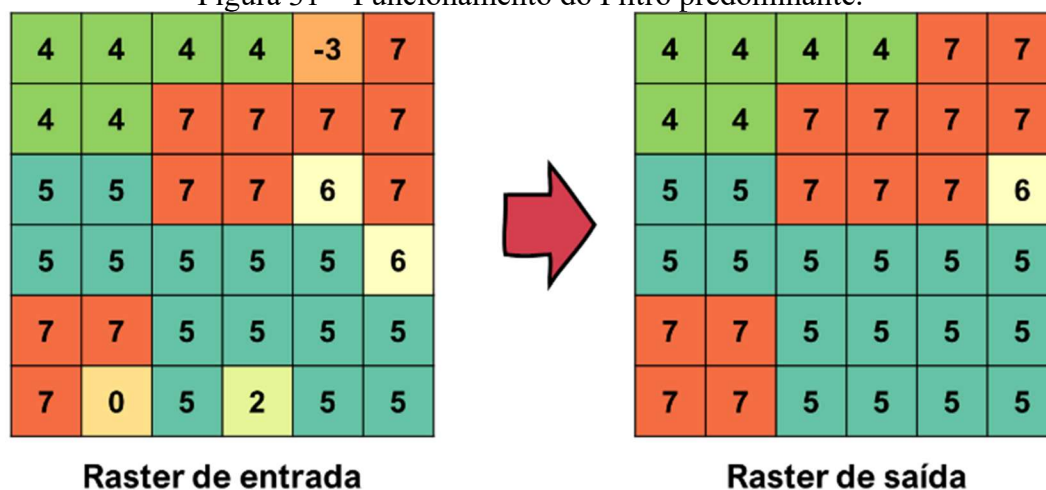
Foi realizada a classificação supervisionada, através das amostras definidas pelo analista com base nas classes selecionadas por meio de análise visual. Foi empregado o classificador de Probabilidade Máxima, que executa a classificação com a utilização do arquivo de assinatura, através de um algoritmo estatístico, que realiza a classificação pixel a pixel, culminando na ponderação das distancias médias dos níveis digitais de cada classe anteriormente amostrada, segundo a Figura 30.

Figura 30 – Princípio de funcionamento do Método da Probabilidade Máxima.



Na etapa do pós-processamento ocorre o refinamento da classificação. Através da ferramenta “Filtro Predominante” (*Majoritary*), para remoção de pixels isolados, ou ruídos da classificação, conforme a Figura 31.

Figura 31 – Funcionamento do Filtro predominante.

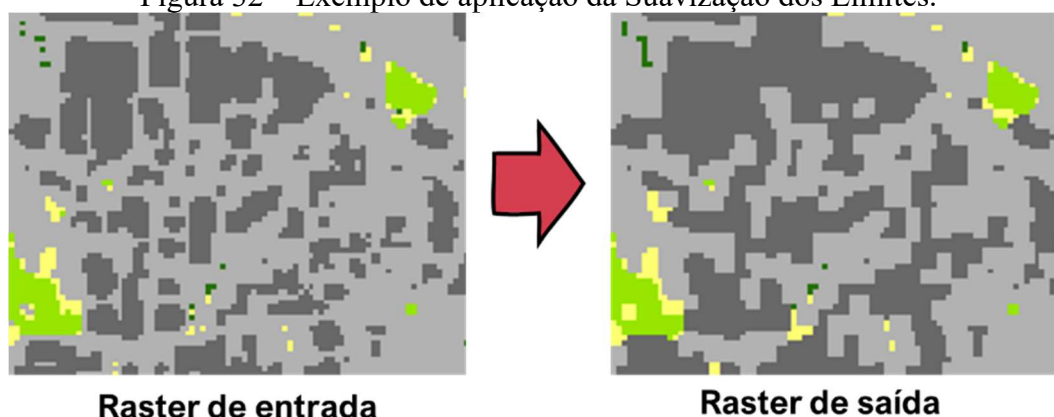


Substitui células em um raster com base na maioria de suas células vizinhas contíguas. Remove pixels isolados.

Fonte: Adaptado de (ARCGIS PRO, 2022).

Posteriormente a imagem resultante é processada através da ferramenta Suavização dos Limites (*Smooth*), para suavizar as bordas irregulares dos limites de classe. A Figura 32 mostra um exemplo de aplicação da ferramenta.

Figura 32 – Exemplo de aplicação da Suavização dos Limites.



Suavizar as bordas irregulares dos limites de classe, agrupando as classes.

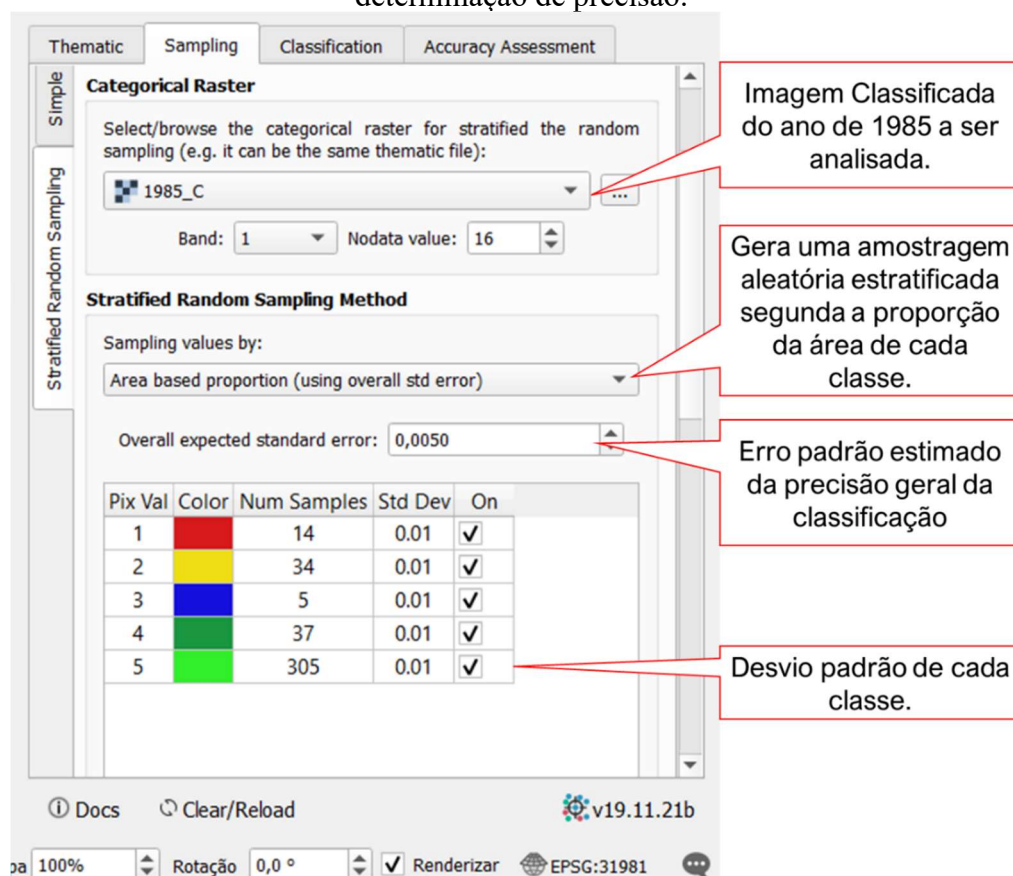
Fonte: Adaptado de (ARCGIS DESKTOP, 2022)

Para poder mensurar a área ocupada por cada classe, as imagens foram recortadas para o limite do município de Várzea Grande, e a imagem resultante foi convertida de um arquivo de imagem do tipo *raster* para um arquivo vetorial de polígonos, chamado de *shapefile*. Durante o processo de conversão utilizou-se a ferramenta “Raster para polígono” e foi habilitada a caixa de seleção “simplificar polígono” e “criar feições de múltiplas partes”.

A acurácia da classificação foi verificada através do software QGIS, por meio do complemento AcATaMa (LIANO, 2022), onde foi gerado uma amostragem aleatória estratificada empregando proporção baseada em área (OLOFSSON, FOODY, *et al.*, 2014).

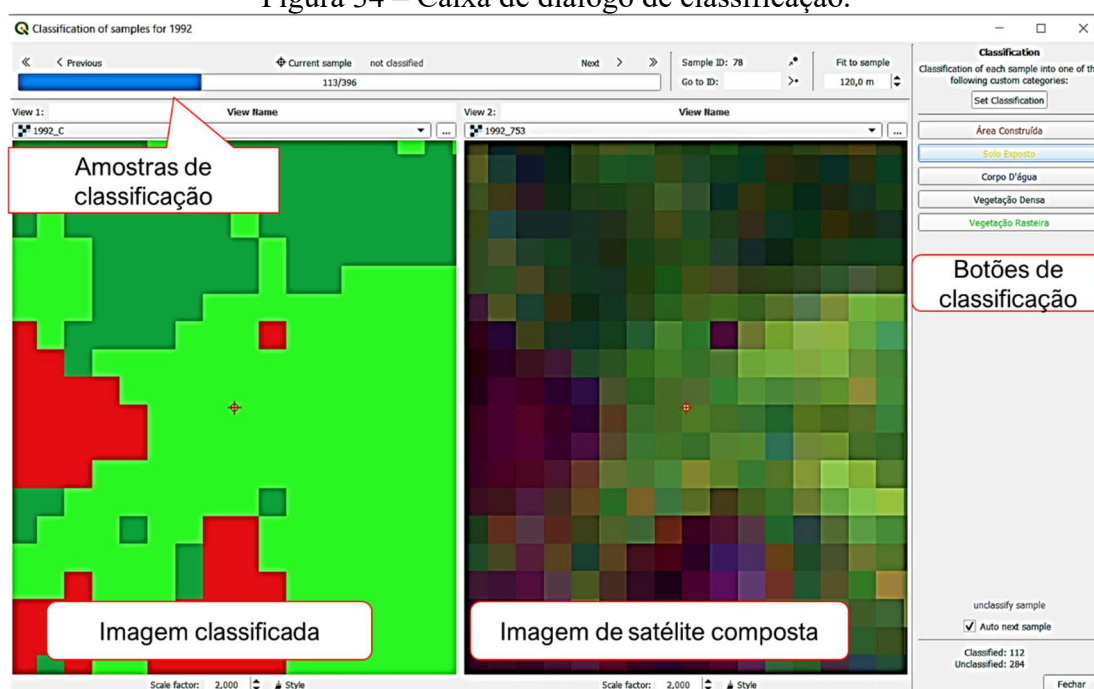
O tamanho geral da amostra e o número de pontos para cada estrato são cálculos de acordo com a proporção da área de cada classe no mapa, o erro padrão da precisão geral estimado que alcançará e o desvio padrão de cada estrato. A Figura 33 traz a configuração realizada no plugin *AcATaMa* para a geração de amostras para a verificação do nível de precisão da classificação realizada em cada imagem.

Figura 33 – Configuração do plugin AcATaMa para geração de amostras de determinação de precisão.



Após a definição do tamanho da amostra por classe, na caixa de diálogo de classificação, é realizada a configuração das classes utilizadas, e o software permite utilizar duas telas simultâneas, onde na primeira mostra o ponto segundo a classificação realizada e na segunda tela exibe a imagem de satélite composta empregada para a classificação da imagem. Desta forma, o operador pode escolher visualmente em qual classe o ponto realmente se encontra. A Figura 34 ilustra as configurações efetuadas na caixa de diálogo para análise da qualidade da classificação.

Figura 34 – Caixa de diálogo de classificação.



Depois da classificação visual de todas as amostras geradas, o complemento exibe a matriz de confusão que possibilita a visualização do desempenho do algoritmo de classificação para cada imagem. A Tabela 6 apresenta a matriz de confusão após o processo de determinação da precisão da classificação.

Tabela 6 – Matriz de Confusão da classificação das imagens

1985	1	2	3	4	5	Total	Acurácia do Usuário
1 – Área Construída	11	1	2	0	0	14	0,7857
2 – Solo Exposto	0	31	1	0	2	34	0,9118
3 – Corpo D'água	0	0	5	0	0	5	1,0000
4 – Vegetação Densa	0	0	1	36	0	37	0,9730
5 – Vegetação Rasteira	0	0	2	12	291	305	0,9541
Total	11	32	11	48	293	395	
Acurácia do Classificador	1	0,9688	0,4546	0,7500	0,9932		0,94684
1992	1	2	3	4	5	Total	Acurácia do Usuário
1 – Área Construída	39	0	0	0	0	39	1
2 – Solo Exposto	0	18	0	0	0	18	1
3 – Corpo D'água	0	0	3	0	0	3	1
4 – Vegetação Densa	0	0	0	37	0	37	1
5 – Vegetação Rasteira	2	4	0	3	290	299	0,9699
Total	41	22	3	40	290	396	
Acurácia do Classificador	0,9512	0,8182	1	0,925	1		0,97727
2003	1	2	3	4	5	Total	Acurácia do Usuário
1 – Área Construída	39	1	1	0	0	41	0,95122
2 – Solo Exposto	0	35	0	0	0	35	1
3 – Corpo D'água	0	0	5	0	0	5	1
4 – Vegetação Densa	0	0	1	36	0	37	0,97297
5 – Vegetação Rasteira	0	3	0	1	274	278	0,98561
Total	39	39	7	37	274	396	
Acurácia do Classificador	1	0,8974	0,7143	0,9730	1		0,98232
2011	1	2	3	4	5	Total	Acurácia do Usuário
1 – Área Construída	35	1	1	0	0	37	0,94595
2 – Solo Exposto	1	41	0	0	0	42	0,97619
3 – Corpo D'água	0	0	5	0	0	5	1
4 – Vegetação Densa	0	0	0	48	0	48	1
5 – Vegetação Rasteira	0	1	0	2	262	265	0,98868
Total	36	43	6	50	262	397	
Acurácia do Classificador	0,9722	0,9535	0,8333	0,96	1		0,98489
2022	1	2	3	4	5	Total	Acurácia do Usuário
1 – Área Construída	38	0	1	0	0	39	0,97436
2 – Solo Exposto	1	13	0	0	0	14	0,92857
3 – Corpo D'água	0	0	5	0	0	5	1
4 – Vegetação Densa	0	0	0	51	0	51	1
5 – Vegetação Rasteira	0	0	0	6	281	287	0,97909
Total	39	13	6	57	281	396	
Acurácia do Classificador	0,9744	1	0,8333	0,8947	1		0,9798

A Tabela 7 exibe a classificação do nível de precisão de classificação, de acordo com o índice *kappa*. Segundo os resultados obtidos, a classificação das imagens foi excelente, onde todas as imagens obtiveram índice *kappa* superior a 0,94.

Tabela 7 – Qualidade da Classificação das imagens conforme índice *kappa*.

Valor de Kappa (k)	Desempenho
<0,00	Péssimo
$0,00 < k \leq 0,20$	Mau
$0,20 < k \leq 0,40$	Razoável
$0,40 < k \leq 0,60$	Bom
$0,60 < k \leq 0,80$	Muito Bom
$0,80 < k \leq 1,00$	Excelente

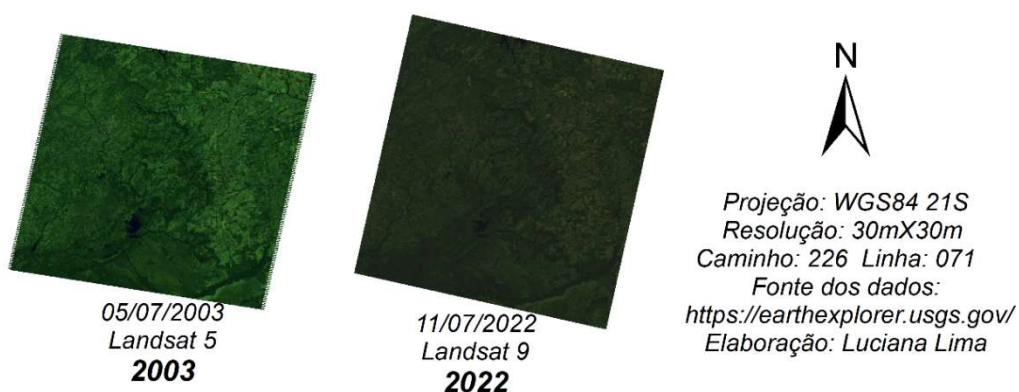
Fonte: Adaptado de (CONGALTON e GREEN'S, 2019).

Essa classificação de uso do solo é importante para poder se relacionar a TST com o tipo de uso do solo, verificando-se assim em qual deles ocorrem as maiores temperaturas superficiais.

3.5 CÁLCULO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE (TST)

Com o emprego do sensoriamento remoto através de imagens de satélites é possível obter a Temperatura Superficial Terrestre (TST). Para seu estudo foram empregadas apenas as imagens de satélite do ano de 2003 e de 2022. A escolha da imagem de 2003 se deu em função de ser necessário a utilização de uma calculadora de parâmetros atmosféricos do momento em que a imagem foi coletada pelo satélite, e esta era a imagem mais antiga passível de serem efetuados estes cálculos. A Figura 35 ilustra as imagens de satélite adotadas.

Figura 35 – Imagens de satélite selecionadas para o cálculo da temperatura superficial.



Como os sensores possuem diferenças, o cálculo da TST foi realizado por meio de duas metodologias similares, mas que devido à suas especificidades, serão tratadas separadamente.

Tanto a imagem de 2003 quanto a de 2022 foram reprojetadas para o sistema de coordenadas UTM Sirgas 2000 21S, como pré-processamento, através do complemento “Projetar Raster” do ArcGis. Devido à quantidade de bandas de cada imagem, optou-se por realizar o processo em lote, onde após algumas poucas configurações, todas as imagens foram reprojetadas.

Para a determinação da temperatura superficial terrestre para 2003 e 2022, foi empregado unicamente o ArcGis. Não foi realizada correção atmosférica nas bandas do infravermelho termal.

A TST é um parâmetro muito importante, já que influencia na interação entre a superfície da terra e a atmosfera, de tal forma que vêm sendo desenvolvido ao longo dos anos muitos algoritmos capazes de obtê-la a partir de imagens de sensoriamento remoto. Através dos algoritmos desenvolvidos, foi evidenciado que a Emissividade da Superfície Terrestre (EST) é um dos importantes fatores que interferem na precisão da TST obtida (MENG, CHENG e LIANG, 2017).

Com o intuito de avaliar a performance dos principais métodos para a determinação da TST, foi realizado um estudo que analisou vários modelos de determinação da emissividade da superfície da terra e imagens Landsat (5, 7 e 8), enfatizando que para imagens Landsat 5, o método de obtenção da emissividade segundo (SOBRINO, JIMÉNEZ-MUÑOZ, *et al.*, 2008) obteve melhor desempenho e com a utilização do algoritmo de Equação de Transferência Radiativa (RTE) para a obtenção da TST, obteve-se a melhor precisão. Para as imagens do Landsat 9, embora utilize o mesmo método de obtenção da emissividade, obteve-se melhor resultado empregando o Algoritmo de Mono Janela (MWA) (SEKERTEKIN e BONAFONI, 2020).

Em ambos os modelos é preciso usar a Calculadora de Parâmetros de Correção Atmosférica, disponibilizada pela NASA gratuitamente, no link <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>. A Tabela 8 apresenta o resultado do cálculo dos parâmetros de correção atmosférico para 2003 e 2022.

Tabela 8 – Resultado da Calculadora de Parâmetros de Correção Atmosférica para imagem de 2003 e 2022.

Parâmetro	2003	2022
Banda média de transmissão atmosférica	0,67	0,75
Radiância ascendente passa-faixa eficaz (W/m ² /sr/μm)	2,66	2,05
Radiância resurgente passa-faixa eficaz (W/m ² /sr/μm)	4,11	3,29

Fonte: Adaptado de (MARKHAM e BARSI, 2022).

O emprego desta Calculadora de Parâmetros de Correção é feito para se obter a banda média de transmissão atmosférica, as radiâncias descendente e ascendente.

3.5.1 Algoritmo de Mono Janela (MWA)

Este algoritmo foi desenvolvido para utilizar dados Landsat TM, e precisa de três parâmetros principais: emissividade, transmitância atmosférica e temperatura (QIN, KARNIELI e BERLINER, 2001).

Segundo este método, os valores da TST em kelvin podem ser estimados por:

$$T_s = \frac{c \cdot (1 - C - D) + [d \cdot (1 - C - D) + C + D] \cdot T_b - D \cdot T_a}{C} \quad (1)$$

$$C = \varepsilon \times \tau \quad (2)$$

$$D = (1 - \tau) [1 + (1 - \varepsilon) \times \tau], \quad (3)$$

Onde:

T_s: é a temperatura da superfície (K);

T_b: é a temperatura de brilho no sensor (K);

T_a: é a temperatura atmosférica média (K);

τ: é a transmitância atmosférica.

ε: representa a EST;

c e d: são constantes do algoritmo (c=-67,355351; d=0,458606);

C e D: são os parâmetros do algoritmo calculados usando EST e transmitância.

3.5.2 Equação de Transferência Radiativa (RTE)

Este é um método direto de se obter a TST utilizando uma única banda do infravermelho termal. Através da inversão da equação de transferência de radiação, de acordo com (4).

$$L\lambda_{sen} = \left[\varepsilon B\lambda(T_s) + (1 - \varepsilon) L_{\lambda}^{\downarrow} \right] \tau + L_{\lambda}^{\uparrow} \quad (4)$$

Onde:

$L\lambda_{sen}$: é a radiância registrada no sensor da banda térmica ($\text{Wm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$);

$B\lambda$: é a radiância do corpo negro ($\text{Wm}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$);

T_s : é a temperatura da superfície;

ε : é a emissividade da superfície;

τ : é a transmitância da atmosfera;

$L_{\lambda}^{\downarrow}$: é a irradiância descendente;

$L_{\lambda}^{\uparrow}$: é a irradiância ascendente.

A radiância de um corpo negro ($B\lambda$) a uma temperatura (T_s) pode ser obtida invertendo (4).

$$B\lambda(T_s) = \frac{L\lambda_{sen} - L_{\lambda}^{\uparrow} - \tau(1 - \varepsilon)L_{\lambda}^{\downarrow}}{\tau\varepsilon} \quad (5)$$

Por fim, T_s pode ser adquirida pelo inverso da lei de Planck, como apresentado em

$$T_s = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{\frac{L\lambda_{sen} - L_{\lambda}^{\uparrow} - \tau(1 - \varepsilon)L_{\lambda}^{\downarrow}}{\tau\varepsilon}} + 1 \right)} \quad (6)$$

3.5.3 Modelos EST baseados em Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Limite (NDVI^{THM})

O modelo proposto por (SOBRINO, JIMÉNEZ-MUÑOZ, *et al.*, 2008) estima a EST partindo nos valores condicionais, limítrofes de NDVI^{THM}, que considera três hipóteses:

No primeiro caso ($NDVI < 0,2$), o pixel é considerado solo nu, e a emissividade é obtida a partir dos valores de refletância na região vermelha.

No segundo caso ($0,2 \leq NDVI \leq 0,5$), o pixel é composto por uma mistura de solo nu e vegetação.

No terceiro caso ($NDVI > 0,5$), os pixels com valores de NDVI superiores a 0,5 são consideradas áreas totalmente vegetadas.

Em resumo, temos:

$$\begin{cases} Se\ NDVI < 0,2 \rightarrow \varepsilon = a_i \rho_R + b_i \\ Se\ 0,2 \leq NDVI < 0,5 \rightarrow \varepsilon = \varepsilon_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d\varepsilon \\ Se\ NDVI > 0,5 \rightarrow \varepsilon_v + d\varepsilon \end{cases} \quad (7)$$

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - P_v)F\varepsilon_v$$

Onde:

ρ_R : Valor da refletância da banda vermelha;

a_i e b_i : valores estimados a partir da relação empírica entre a refletância da faixa vermelha e a biblioteca de emissividade do espectro radiômetro de imagem de resolução moderada (MODIS).

ε_v e ε_s : Emissividade do solo e da vegetação, respectivamente;

"v" e "s" são a emissividade do solo e da vegetação, respectivamente;

d : efeito de cavidade devido à rugosidade da superfície ($d = 0$ para superfícies planas);

F : é um fator de forma geométrica, assumido como o valor médio de 0,55.

Para imagens do Landsat 5, temos:

$$\varepsilon = \begin{cases} 0,979 - 0,035\rho_R & NDVI < 0,2 \\ 0,004P_v + 0,986 & 0,2 \leq NDVI < 0,5 \\ 0,99 & NDVI > 0,5 \end{cases} \quad (8)$$

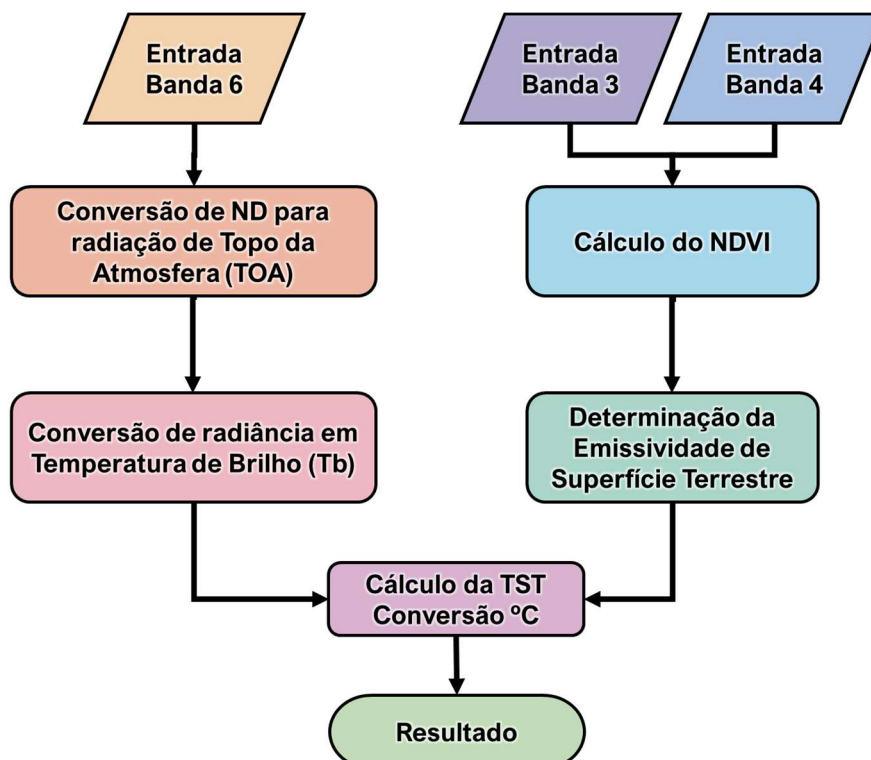
Para imagens do Landsat 9, temos:

$$\varepsilon = \begin{cases} 0,979 - 0,046\rho_R & NDVI < 0 \\ 0,987P_v + 0,971(1 - P_v) + d\varepsilon & 0,2 \leq NDVI < 0,5 \\ 0,987 + d\varepsilon & NDVI > 0,5 \end{cases} \quad (9)$$

3.5.4 Cálculo da TST – Landsat 5

A metodologia para o cálculo da TST utilizando imagem de satélite do Landsat 5 foi realizado segundo a metodologia adotada por (BRITO, 2018). Na Figura 36 é apresentado um fluxograma do processo de cálculo da TST, segundo esta metodologia.

Figura 36 – Fluxograma de Cálculo da TST.



Em resumo, neste método recebe como entrada as bandas 6, 3 e 4. A banda 6 será utilizada para a conversão de Números Digitais (ND) em Radiação de Topo da Atmosfera (TOA), enquanto as bandas 3 e 4 são empregadas no cálculo do NDVI e obtenção da EST.

Após o cálculo da radiação do TOA é realizada a conversão em Temperatura de Brilho (Tb), que vai ser usada juntamente com a EST no cálculo da TST, que deve ser convertido de kelvin para graus celsius.

3.5.4.1 Conversão de ND para Radiação de Topo da Atmosfera(L_λ)

Em uma imagem de satélite, a energia solar refletida em cada pixel por unidade de área, comprimento de onda, de ângulo sólido, de tempo e mensurada no nível do satélite, segundo as suas bandas de leitura, simbolizam a radiância.

Os sensores de observação da Terra medem a intensidade do fluxo radiante proveniente da sua superfície, a qual é denominada radiância. Essa radiância é costumeiramente denominada radiância aparente por incluir influência da atmosfera e de objetos vizinhos àquele que se está estudando. No próprio sensor, essa radiância aparente é convertida em Números Digitais (ND), escalonados em diferentes amplitudes, dependendo da resolução radiométrica do sensor. Os ND são usados como uma forma de representar pixels que ainda não foram calibrados em unidades significativas. Eles são uma representação de diferentes níveis de brilho em uma imagem *raster*.

A radiância espectral L_λ para a banda 6, denominada banda termal, representa a energia emitida por cada pixel. A conversão de ND para radiância espectral é realizado por meio de (10):

$$L_\lambda = \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{Qcal_{\max} - Qcal_{\min}} \right) \times (Qcal - Qcal_{\min}) + L_{\min} \quad (10)$$

Onde:

L_λ : radiância espectral na abertura do sensor ($W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$);

$L_{\min}$: é a radiância espectral mínima, de valor de 1.238 de DN 1;

$L_{\max}$: é a radiância espectral máxima, de valor 15.303 de DN 255;

$Qcal$: é o Número digital de cada pixel da banda 6;

$Qcal_{\max}$: Valor máximo que o $Qcal$ pode assumir;

$Qcal_{\min}$: Valor mínimo que o $Qcal$ pode assumir;

O valor das variáveis está incluso no arquivo de metadados que acompanham as imagens. A Tabela 9 apresenta dos valores para da imagem de 2003, Banda 6.

Tabela 9 – Parâmetros de calibração para a imagem de 2003.

1985 – Banda 6	
$L_{\min}$	1,238
$L_{\max}$	15,303
$Qcal_{\min}$	1
$Qcal_{\max}$	255

3.5.4.2 Temperatura de Brilho (Tb)

A Temperatura de Brilho é a temperatura que um corpo negro deve possuir para poder emitir a quantidade de radiação espectral igual ao de um corpo real (PIRES e JR, 2015). A conversão da radiância em Tb é realizado através de:

$$Tb = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (11)$$

Onde:

Tb: Temperatura de brilho do sensor (K);

L_λ : Radiância espectral;

k_1 : Constante de calibração 1

k_2 : Constante de calibração 2;

De acordo com o arquivo de metadados da imagem de 1985, temos que $k_1 = 607,76$ e $k_2 = 1260,56$.

3.5.4.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

A associação da temperatura com a energia térmica infravermelha irradiada por um objeto só é possível se a emissividade do objeto for conhecida. Como a emissividade de um material é definida pelas propriedades termo físicas do mesmo e a composição de uma superfície é fundamental para a caracterização da emissividade da superfície, é possível estudar a emissividade de diferentes materiais da superfície terrestre por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), na faixa do comprimento de onda de 10–12 μm .

O NDVI é obtido pela razão das diferenças de refletividade para a banda do infravermelho próximo (B4) e a banda do vermelho (B3) por sua soma, expresso em (12).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (12)$$

Onde:

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR: representa a banda do infravermelho próximo (Landsat 5 = Banda 4);

Red: representa a banda correspondente ao vermelho (Landsat 5 = Banda 3).

3.5.4.4 Emissividade da Superfície Terrestre (ϵ)

A relação que permite a comparação da capacidade de irradiação de uma superfície com um corpo negro é chamada de Emissividade (ϵ). Entretanto, como não existe um material capaz de satisfazer as propriedades de um corpo negro, é necessário fazer uma correção da emissividade superficial da terra, ao derivar a T_s .

Uma relação empírica entre a emissividade e NDVI foi proposta, onde a partir do NDVI é possível encontrar a emissividade (GRIEND e OWE, 1993). A equação (13) define essa relação, quando o NDVI varia entre 0,157 e 0,727.

$$\epsilon = 1,0094 + 0,047 \times \ln(NDVI) \quad (13)$$

3.5.5 Temperatura de Superfície Terrestre

A emissão de uma substância em relação a um corpo negro é corrigida pela equação de Planck.

$$T_s = \frac{T_b}{\left(1 + \frac{\lambda \times T_b}{\rho} \times \ln \epsilon\right)} \quad (14)$$

Onde:

T_s : Temperatura da superfície (K);

T_b = Temperatura de brilho (K),

λ = Comprimento de onda médio da banda termal considerada (Banda 6 = 11,45 μm);

ρ : constante que equivale a: $(h \times c / \sigma) = 1,438 \cdot 10^{-2} \text{ mK}$, onde:

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

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

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

ϵ : Emissividade espectral

Para se obter a TST em graus Célsius, foi realizada a conversão, como apresentada na em (15).

$$TST = T_s - 273,15 \quad (15)$$

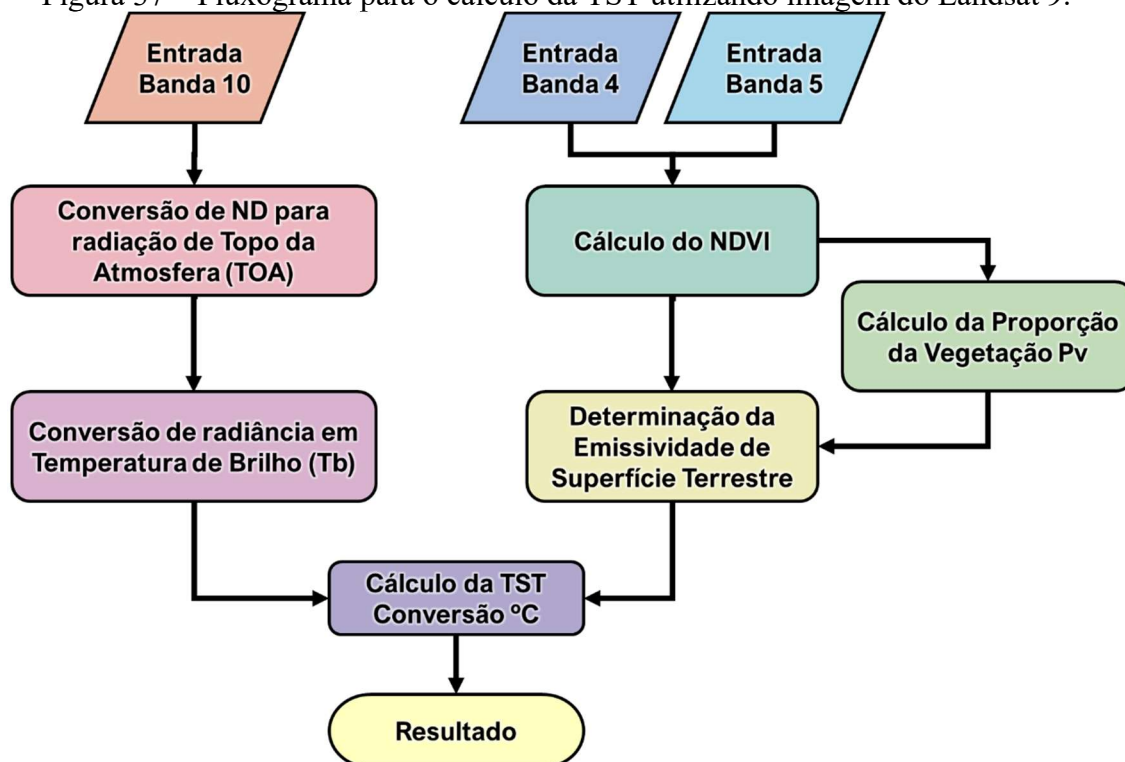
Após a realização de todas as etapas do procedimento aqui descrito foi possível obter a TST de Várzea Grande utilizando a imagem de satélite de 2003, que será usada como base na elaboração do mapa de TST, após a reclassificação da imagem.

3.6 CÁLCULO DA TST – LANDSAT 9

O cálculo da TST utilizando imagens de satélite Landsat 9 foi realizada de acordo com a metodologia proposta por (AVDAN e JOVANOVSKA, 2016). A Figura 37 revela o fluxograma com os processos empregados para o cálculo da TST segundo a metodologia proposta.

Em resumo, verifica-se que a banda 10 é empregada para a obtenção da radiância no Topo da Atmosfera e temperatura de brilho, ao passo em que as bandas 4 e 5 são utilizadas para o cálculo do NDVI e Proporção de Vegetação, ambos parâmetros essenciais para a determinação da emissividade da superfície. Finalmente, a partir da Temperatura de Brilho e da emissividade é comutado a TST, com a devida correção para °C.

Figura 37 – Fluxograma para o cálculo da TST utilizando imagem do Landsat 9.



Segundo este método, as bandas 10, 4 e 5 são recebidas como entrada. A banda 10 é empregada na conversão de Números Digitais (ND) em Radiação de Topo da

Atmosfera (TOA), enquanto as bandas 4 e 5 são empregadas no cálculo do NDVI, que é usado na obtenção da EST em conjunto com a Proporção de Vegetação (PV).

Após o cálculo da radiação do TOA é realizada a conversão em Temperatura de Brilho (Tb), que vai ser usada juntamente com a EST no cálculo da TST, que deve ser convertido de kelvin para graus celsius.

A seguir cada uma destas etapas será detalhada.

3.6.1.1 Radiação de Topo da Atmosfera (L_λ)

A conversão de Números Digitais (ND) para radiância espectral no topo da atmosfera (L_λ) das bandas dos instrumentos imageadores OLI e TIRS deverá ser processada com base na seguinte equação:

$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L - O_i \quad (16)$$

Onde:

L_λ : radiância espectral no topo da atmosfera (m/W srad μm^2);

M_L : fator multiplicativo reescalado da radiância para a banda termal (banda 10 Landsat 9);

Q_{cal} : Número Digital (ND) do pixel;

A_L : fator aditivo reescalado da radiância para a banda

O_i : fator de correção para banda 10 ($O_i = 0,29$).

3.6.1.2 Temperatura de Brilho

O cálculo da Tb é realizado pela (11), porém as constantes térmicas para a banda 10 do Landsat 9, ambas obtidas do arquivo de metadados que acompanha as imagens, são:

- $k_1=799,0284$
- $k_2=1329,2405$.

3.6.1.3 NDVI

A determinação do NDVI é realizada por meio de (12). Entretanto, para o Landsat 9, a Banda 5 é a banda do infravermelho próximo e a Banda 4 é banda do vermelho.

3.6.1.4 *Proporção da Vegetação (Pv)*

O emprego da Proporção da Vegetação é essencial para melhorar a acurácia da NDVI, que afeta diretamente na determinação da TST.

A Pv é uma variável biofísica muito importante para modelagens climáticas (NEINAVAZA, SKIDMOREA e DARVISHZADEH, 2020). É definida como o quadrado da razão entre a projeção vertical da vegetação (contendo folhas, caules e galhos) no solo e a área total de vegetação, conforme (17).

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} + NDVI_{\min}} \right)^2 \quad (17)$$

Onde:

$NDVI_{\min}$ e $NDVI_{\max}$ são o NDVI mínimo e máximo, respectivamente.

3.6.1.5 *Emissividade da Superfície*

Calculando a emissividade da superfície terrestre utilizando o PV foi efetuado segundo (18).

$$\varepsilon = 0,004 \times P_v + 0,986 \quad (18)$$

Onde:

ε : Emissividade da Superfície da Terra

P_v : Proporção de Vegetação

0,986: corresponde a um valor de correção da equação

3.6.2 TST

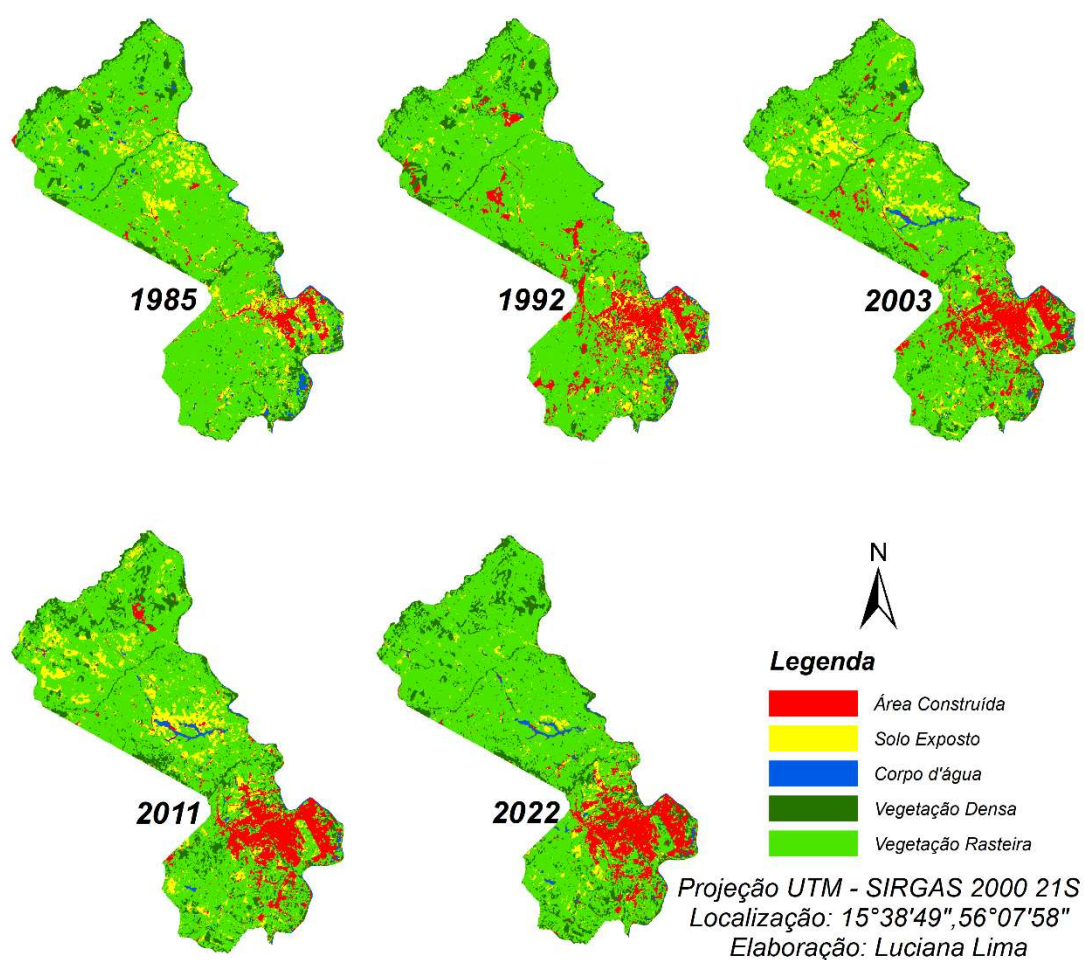
As equações (14) e (15) permitem o calculo da TST para imagens de satélite do Landsat 9, com a conversão da temperatura superficial de Kelvin para Graus Celcius.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO

Após a realização da classificação do uso do solo por meio das imagens de satélite foi criado um mapa temático das imagens das classes de uso do solo, apresentados na Figura 38.

Figura 38 – Classificação de Uso do Solo da Cidade de Várzea Grande.



Através do mapa temático é possível afirmar a ocorrência da expansão de área construída ocorrida no período de 1985 para 1992. Um dos motivos dessa notável expansão foi a pavimentação das principais ruas e avenidas de Várzea Grande, que em 1985 eram de terra batida, com poucas ruas calçadas. Isso fez com que as áreas que outrora eram de Solo Exposto passassem a agregar a classe Área Construída.

Tabela 10 – Área ocupada por classe de Uso do Solo.

Classificação	Área em hectares				
	1985	1992	2003	2011	2022
1 – Área Construída	2955,92	7434,02	7697,92	7725,19	7724,17
2 – Solo Exposto	6009,36	3243,62	6483,28	7332,51	2580,36
3 – Corpo D'água	1155,12	630,354	1062,59	1044,38	963,755
4 – Vegetação Densa	6683,28	6600,88	6879,95	8705,22	9183,43
5 – Vegetação Rasteira	55575,6	54467,8	50254,9	47569,6	51925,3

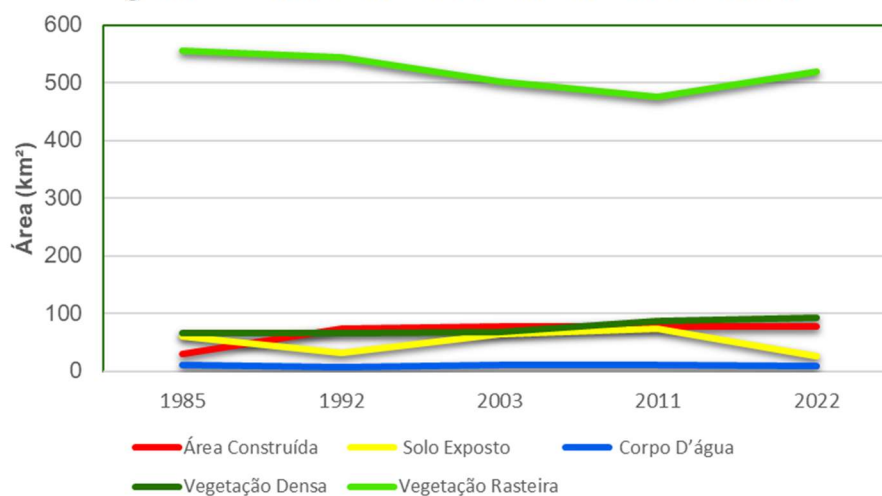
Para se ter uma maior precisão das mudanças ocorridas dentre as cinco classes utilizadas na classificação de uso do solo, a área correspondente a cada classe e o seu percentual foi contabilizado e tabelado, expresso na Tabela 11 e na Figura 39.

Tabela 11 – Área e percentual de alterações nas classes de Uso do Solo para Várzea Grande.

Classes	1985		1992		2003		2011		2022	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
1	29,56	4,08	74,34	10,27	76,98	10,64	77,25	10,67	77,24	10,67
2	60,09	8,30	32,44	4,48	64,83	8,96	73,33	10,13	25,80	3,57
3	11,55	1,60	6,30	0,87	10,63	1,47	10,44	1,44	9,64	1,33
4	66,83	9,23	66,01	9,12	68,80	9,51	87,05	12,03	91,83	12,69
5	555,76	76,78	544,68	75,25	502,55	69,43	475,70	65,72	519,25	71,74
Variação (%)	1985-1992		1992-2003		2003-2011		2011-2022		1985-2022	
1	151%		4%		0%		0%		161%	
2	-46%		100%		13%		-65%		-57%	
3	-45%		69%		-2%		-8%		-17%	
4	-1%		4%		27%		5%		37%	
5	-2%		-8%		-5%		9%		-7%	

■ 1 – Área Construída ■ 2 – Solo Exposto ■ 3 – Corpo D'água
■ 4 – Vegetação Densa ■ 5 – Vegetação Rasteira

Figura 39 – Gráfico de Uso do Solo de Várzea Grande.



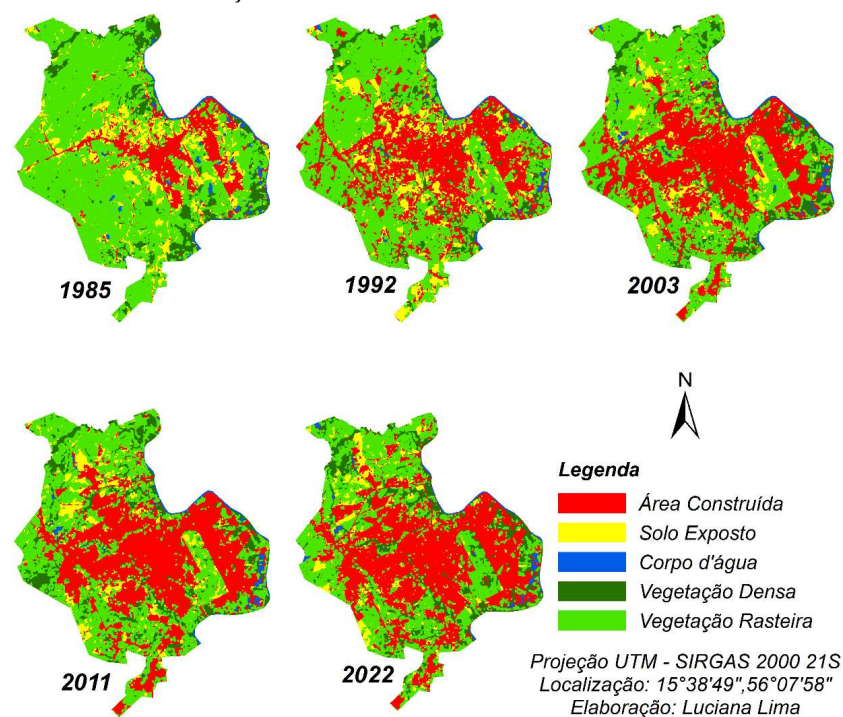
Na Tabela 11, a variação corresponde à diferença do percentual da área ocupada por cada classe do período final e inicial, respectivamente. Nota-se que em 1985, a Área Construída ocupava cerca de 29km². Em 1992 existiu uma expansão de 151%, avançando em detrimento principalmente do Solo Exposto e Corpo D'água que diminuiram -46% e -45% respectivamente. Para os anos seguintes, o crescimento da Área Construída foi irrelevante.

Outro ponto interessante foi a criação de represas, que aparecem pela primeira vez na imagem de 2003, na região central do mapa, verificando-se o crescimento 69% da classe Corpo d'água

A Vegetação Densa cresceu a partir de 1992, culminando com uma aumento de área de 37% no acumulado de 1985-2022.

Ajustando o foco para o perímetro urbano de Várzea Grande, foi gerado o mapa temático de uso do solo desta localidade, conforme a Figura 40.

Figura 40 – Classificação de Uso do Perímetro Urbano de Várzea Grande.

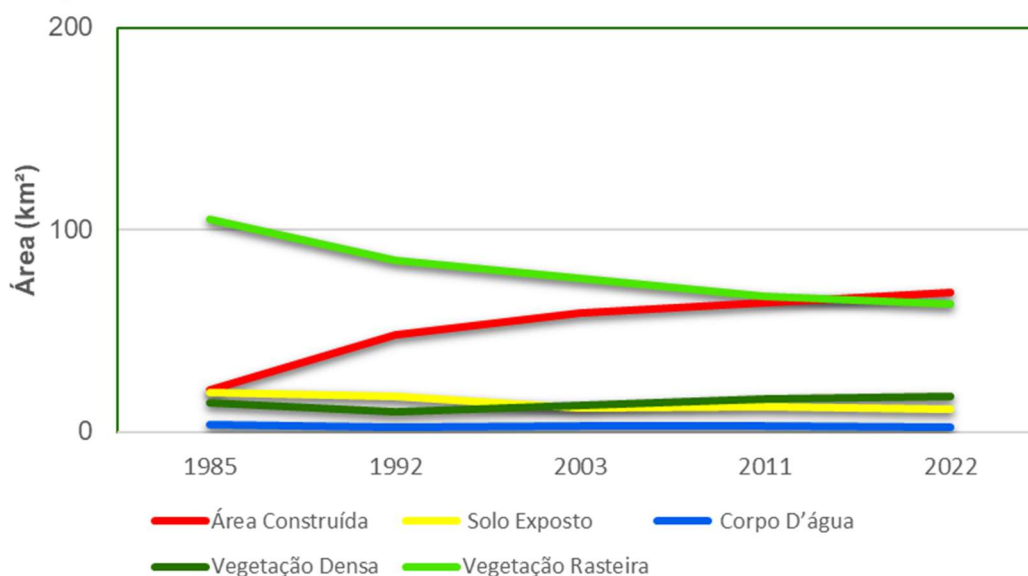


Quando a região do perímetro urbano fica em evidência é possível notar a Área Construída, cercada de Solo Exposto e Vegetação Rasteira em 1985, se propagar sobre as áreas que a cercam nos anos subsequentes, se intensificando na área central, em torno da área do Aeroporto. A Tabela 12 e a Figura 41 realçam este fenômeno.

Tabela 12 – Área e percentual de alterações nas diferentes classes de Uso do Solo para o perímetro urbano de Várzea Grande.

Classes	1985		1992		2003		2011		2022	
	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%
1	20,53	12,61	48,25	29,62	59,14	36,31	64,25	39,45	68,78	42,22
2	19,52	11,99	17,38	10,67	12,02	7,38	12,38	7,60	10,95	6,72
3	3,37	2,07	2,44	1,50	2,79	1,71	2,67	1,64	2,25	1,38
4	14,27	8,76	10,12	6,21	13,19	8,10	16,12	9,90	17,69	10,86
5	105,19	64,58	84,69	51,99	75,75	46,51	67,46	41,42	63,22	38,81
Variação (%)	1985-1992		1992-2003		2003-2011		2011-2022		1985-2022	
1	135%		23%		9%		7%		235%	
2	-11%		-31%		3%		-12%		-44%	
3	-27%		14%		-4%		-16%		-33%	
4	-29%		30%		22%		10%		24%	
5	-19%		-11%		-11%		-6%		-40%	
1 – Área Construída 2 – Solo Exposto 3 – Corpo D'água 4 – Vegetação Densa 5 – Vegetação Rasteira										

Figura 41 - Gráfico de Uso do Solo no Perímetro Urbano de Várzea Grande.



Durante o primeiro período (1985-1992), a Área Construída aumenta, com um saldo de 135% em contração das demais classes, destacando-se a Vegetação Densa, que perdeu -29% de área.

A Vegetação Densa, obteve um saldo positivo de 1992 em diante, durante todo o período, mantendo a sua posição geográfica apenas nas áreas de preservação permanente, como mata ciliar e em parques urbanos.

4.2 TEMPERATURA SUPERFICIAL

A temperatura superficial, que retrata a temperatura da superfície no momento em que a superfície foi scaneada pelo satélite, foi obtida segundo a metodologia detalhada neste trabalho e especificada para imagens oriundas do Landsat 5 e do Landsat 9, e categorizadas em intervalos de 2°C. Ela retrata a temperatura superficial do momento em que a imagem de satélite foi , conforme Figura 42 e a Tabela 13 apresenta um resumo estatístico da temperatura superficial para cada imagem.

Figura 42 – Mapa de Temperatura Superficial para Várzea Grande.

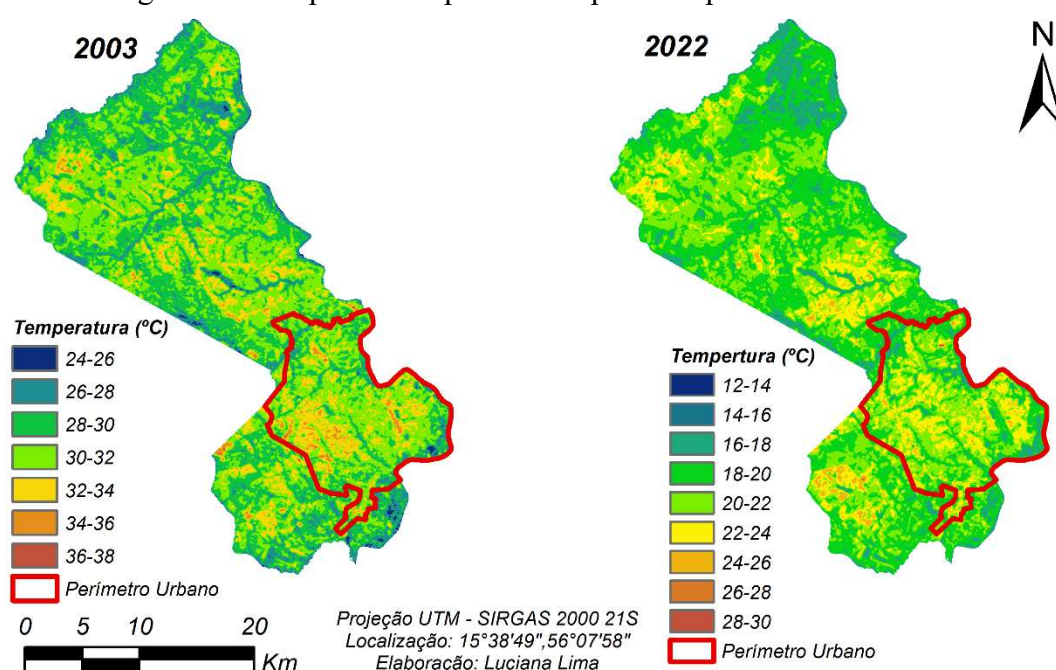


Tabela 13 – Resumo Estatístico da Temperatura Superficial para Várzea Grande.

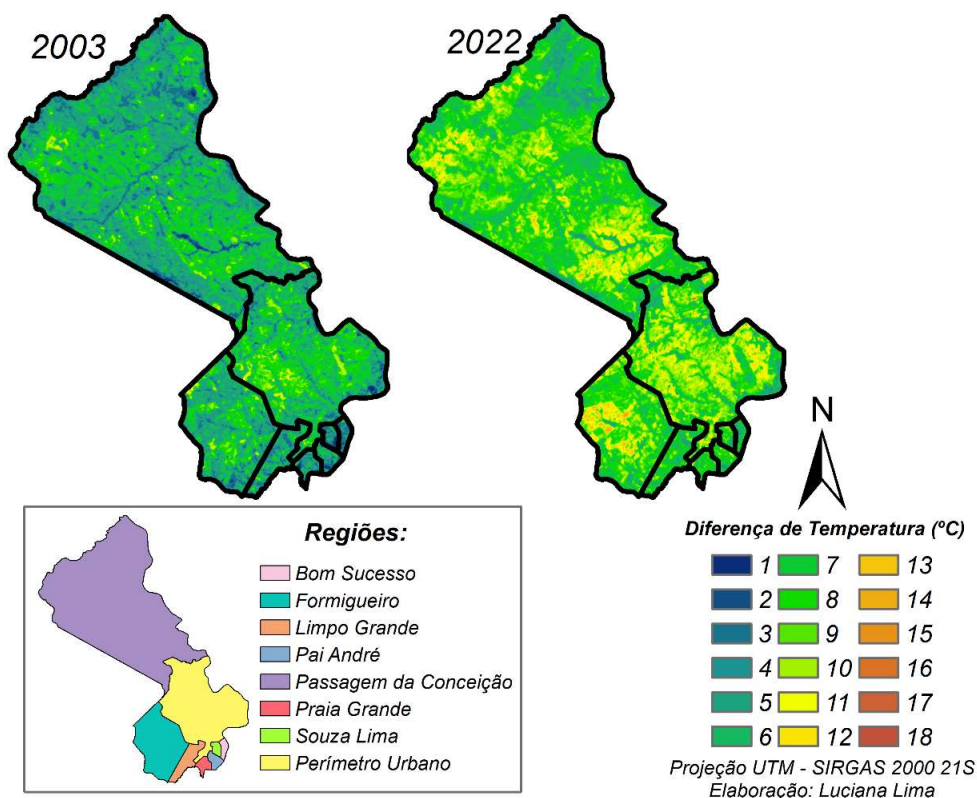
Imagem	T _{mín}	T _{máx}	T _{média}	Desvio Padrão
2003	24,9 °C	37,4 °C	30,2 °C	1,6 °C
2022	12,5 °C	29,7 °C	20,7 °C	1,7 °C

Para a imagem de 2003 a temperatura varia de 24,9 °C até 37,4 °C, enquanto para 2022 a o intervalo de temperatura é de 12,5 °C até 29,7 °C. A temperatura mais elevada para 2003 não permite inferir que o fenômeno climático foi mais intenso do que em 2022.

Com a finalidade de verificar as diferenças de temperaturas entre a área urbana e a área rural, bem como a capacidade de cada uma delas em incrementar a temperatura superficial foi subtraído de cada pixel de temperatura a menor temperatura de cada imagem, obtendo-se a intensidade de ilha de calor superficial urbana de forma que a

temperatura de 0 °C foi designada para o menor valor absoluto de temperatura registrada em cada imagem. O resultado dessa operação pode ser visualizado na Figura 43.

Figura 43 – Diferença da Temperatura Superficial para as Regiões de Várzea Grande



Como mapa está em gradiente de cor, os gradientes de temperatura correspondente às temperaturas mais elevadas coincidem com a área urbanizada, sendo os gradientes mais acentuados em 2022 do que em 2003.

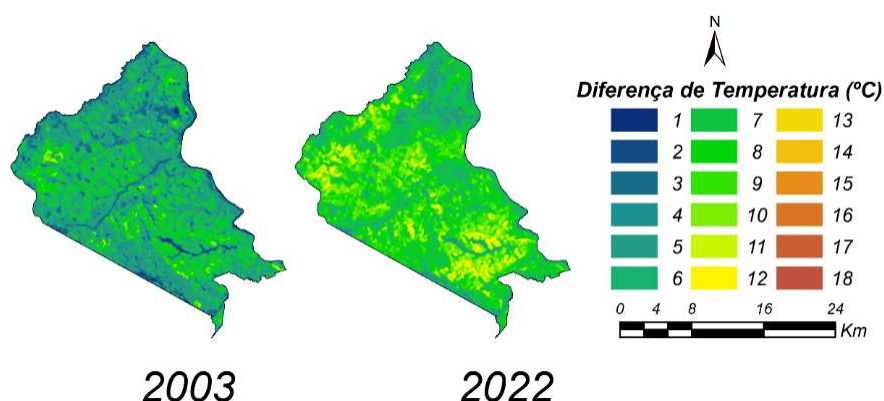
4.2.1 Temperatura Superficial por Regiões

4.2.1.1 Região de Passagem da Conceição

A região da Passagem da Conceição compreende vários aglomerados rurais, onde nas porções mais afastado do perímetro urbano, a fonte de renda da população vem da agricultura familiar, com a criação de gado leiteiro, suínos, piscicultura e plantio de hortaliças. Já no aglomerado rural próximo ao perímetro urbano, caracteriza-se por um local turístico, com restaurantes de comidas típicas, além da Igreja Nossa Senhora da Conceição, uma igreja histórica da região (ENGEARTE, 2014).

A média da diferença da temperatura superficial para a Região de Passagem da Conceição foi de 5,59°C para 2003 e de 8,12 °C para 2022. A Figura 44 detalha sua diferença de temperatura superficial.

Figura 44 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Passagem da Conceição.

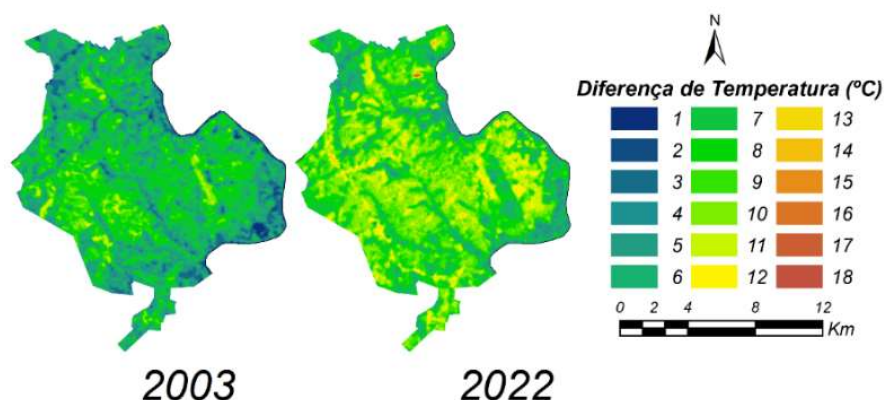


4.2.1.2 Região do Perímetro Urbano de Várzea Grande

Esta região concentra um dos maiores e diversificados parques industriais de Mato Grosso, com atividades voltadas para a indústria alimentícia, bebidas, cerâmica, agroindústrias, metalúrgicas, de colchões e plástica. Com a implantação de indústrias na região ocorreu um grande fluxo migratório para a região, resultando em um acelerado crescimento populacional, inflando a malha urbana do município.

A média da diferença da temperatura superficial para a Região do Perímetro Urbano de Várzea Grande foi de 6,45°C para 2003 e de 9,44°C para 2022. A Figura 45 detalha sua diferença de temperatura superficial.

Figura 45 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região do Perímetro Urbano de Várzea Grande.

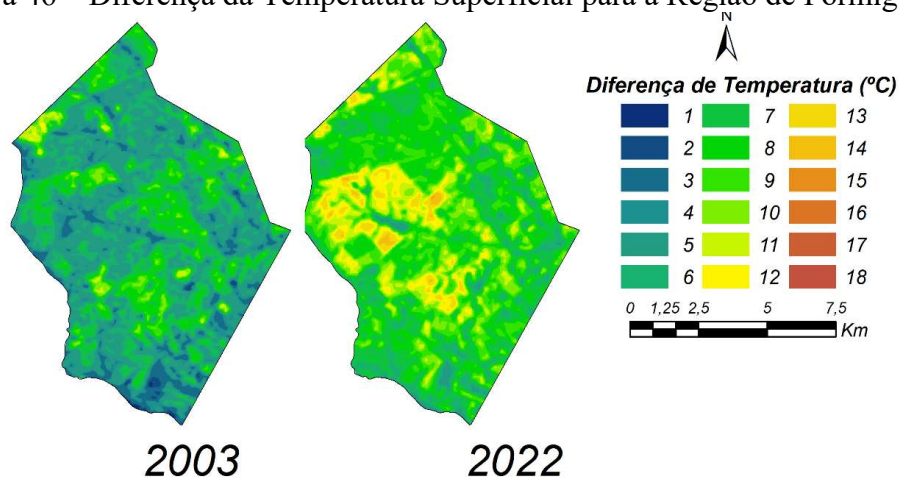


Nesta região, apresenta-se temperaturas superficiais mais elevadas em virtude de abrigar a maior concentração da classe de Área Construída.

4.2.1.3 Região de Formigueiro

Caracteriza-se por ser um aglomerado rural, onde predomina a agricultura familiar. O valor da diferença da temperatura superficial para a Região de Formigueiro foi de 6,27°C para 2003 e de 9,16°C para 2022. A Figura 46 detalha sua diferença de temperatura superficial.

Figura 46 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Formigueiro

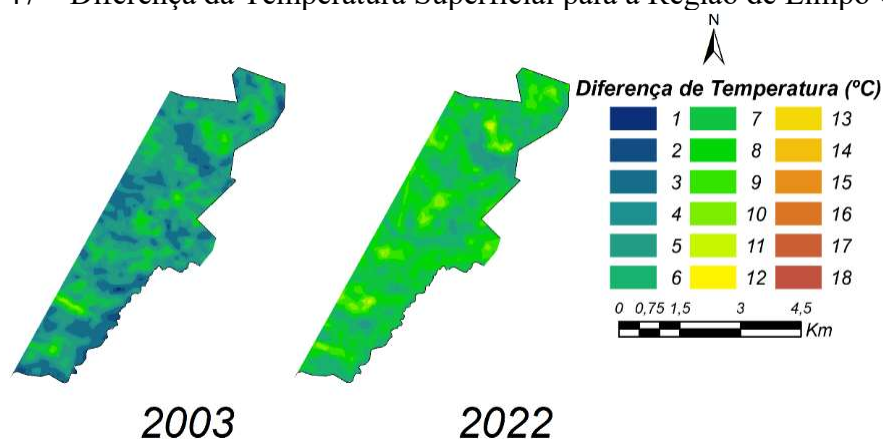


4.2.1.4 Região de Limpo Grande

Esta é uma região rural, cuja atividade de destaque é a confecção de redes de algodão artesanais, com temas locais e do Pantanal, além da agricultura familiar.

A média da diferença da temperatura superficial para a Região de Limpo Grande foi de 5,11°C para 2003 e de 7,54°C para 2022. A Figura 47 detalha sua diferença de temperatura superficial.

Figura 47 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Limpo Grande.

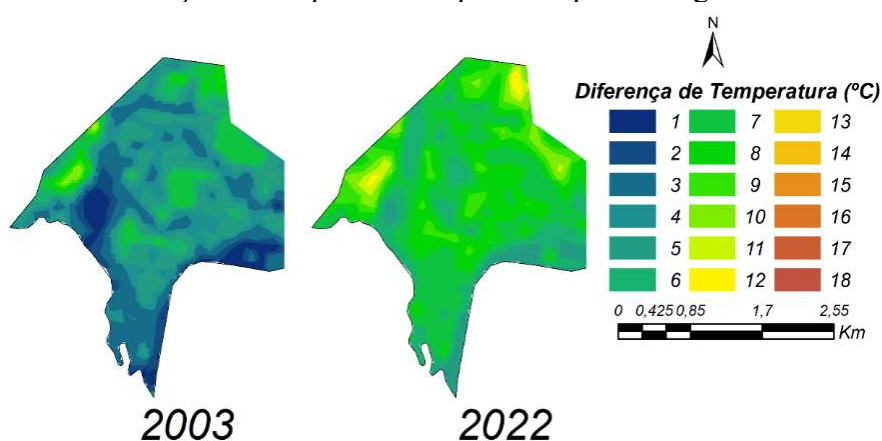


4.2.1.5 Região de Praia Grande

Foi formada por lavradores, criadores de gado e pescadores, nascida às margens da estrada que liga Várzea Grande à Nossa Senhora do Livramento, estrada esta que divide o povoado ao meio

A média da diferença da temperatura superficial para a Região do Praia Grande foi de 4,86°C para 2003 e de 7,73°C para 2022. A Figura 48 detalha sua diferença de temperatura superficial.

Figura 48 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Praia Grande.

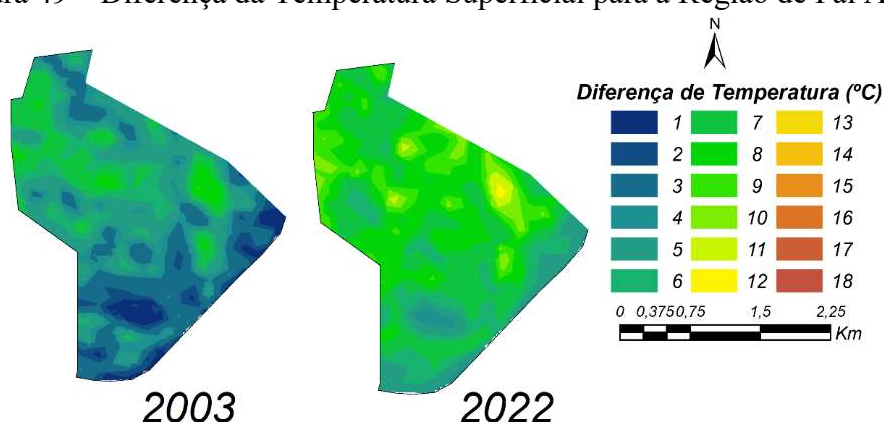


4.2.1.6 Região de Pai André

A população dessa região é composta por pescadores e agricultura de subsistência, como mandioca e banana. A cerâmica também se destaca como uma importante atividade desenvolvida na região, juntamente com o artesanato.

A média da diferença da temperatura superficial para a Região do Pai André foi de 4,41°C para 2003 e de 7,28°C para 2022. A Figura 49 detalha sua diferença de temperatura superficial.

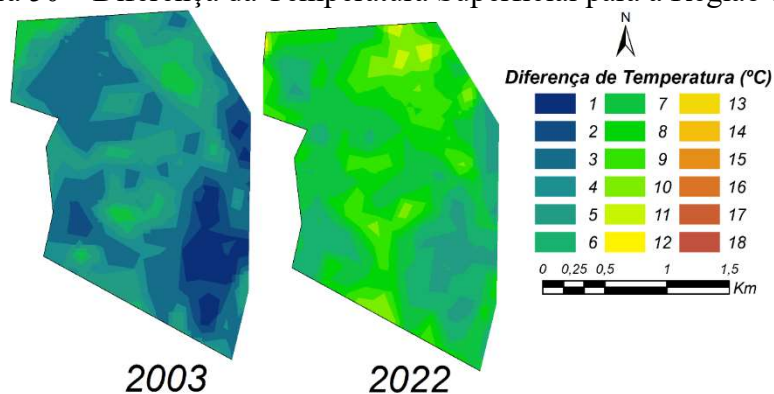
Figura 49 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Pai André.



4.2.1.7 Região de Souza Lima

A média da diferença da temperatura superficial para a Região de Souza Lima foi de 6,45°C para 2003 e de 9,44 para 2022. A Figura 50 detalha sua diferença de temperatura superficial.

Figura 50 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Souza Lima.

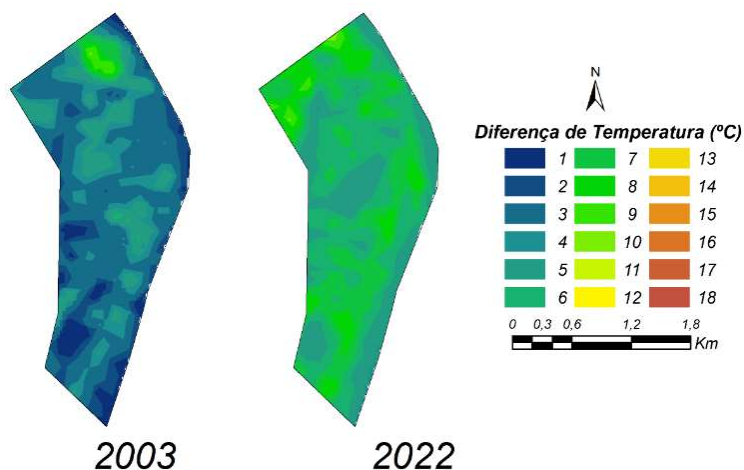


4.2.1.8 Região de Bom Sucesso

O núcleo urbano desse aglomerado é localizado em cerca de uma faixa de terra, com cerca de um quilômetro de comprimento, na encosta do Rio Cuiabá, possuindo uma única rua. A economia gira em torno da pesca e do turismo na região, além da agricultura de subsistência.

A média da diferença da temperatura superficial para a Região do Bom Sucesso foi de 6,45°C para 2003 e de 9,44 para 2022. A Figura 51 detalha sua diferença de temperatura superficial.

Figura 51 – Diferença da Temperatura Superficial para a Região de Bom Sucesso.



Analisando o contraste entre a temperatura de ambientes rurais e urbanos fica evidente a importância de utilização de mapas de uma ocupação do solo gerados a partir de imagens de satélite.

4.2.2 Relação entre Uso do Solo e Temperatura Superficial

A partir da obtenção da TS na área de estudo baseada nas imagens de satélite Landsat 5 para o ano de 2003 e Landsat 9 para 2022, foi realizada uma comparação com o mapa de uso e classificação do solo para verificação de qual classe possui a temperatura superficial mais elevada, sendo uma síntese apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 – Média da Temperatura Superficial por cobertura do solo em Várzea Grande

<i>Temperatura (°C) – Ano de 2003</i>					
<i>Classe</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Variância</i>
Área Construída	25	38	31,12	2,04	4,16
Solo Exposto	26	38	31,81	1,37	1,88
Corpo D'água	25	34	28,44	1,40	1,97
Vegetação Densa	26	35	29,31	1,22	1,48
Vegetação Rasteira	26	37	30,99	2,08	4,32
<i>Temperatura (°C) – Ano de 2022</i>					
<i>Classe</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Variância</i>
Área Construída	16	29	20,14	1,72	2,97
Solo Exposto	13	27	22,05	1,42	2,02
Corpo D'água	16	23	18,84	1,33	1,77
Vegetação Densa	16	25	19,63	1,07	1,14
Vegetação Rasteira	15	29	20,63	2,05	4,21

Segundo os resultados obtidos, é possível inferir que as áreas classificadas como Solo Exposto possuem a Temperatura Média mais elevada, com 31,81 °C para 2003 e 22,05 °C para 2022 sendo seguida pelas regiões classificadas como Área Construída e Vegetação Rasteira. Nas áreas de Corpos D'água e Vegetação Densa foram verificados os menores valores de temperatura superficial média.

Realizando-se a diferença da temperatura superficial média entre as classes de uso do solo, tendo como base a temperatura superficial média do Corpo D'água, observa-se um aumento na temperatura superficial média nas zonas de Área Construída (2,68°C), Solo Exposto (3,37°C), Vegetação Densa (0,87°C) e Vegetação Rasteira (2,55°C) para a imagem de 2003. Para 2022, obteve-se um saldo positivo de temperatura para Área Construída (1,3°C), Solo Exposto (3,21°C), Vegetação Densa (0,79°C) e Vegetação Rasteira (1,79°C).

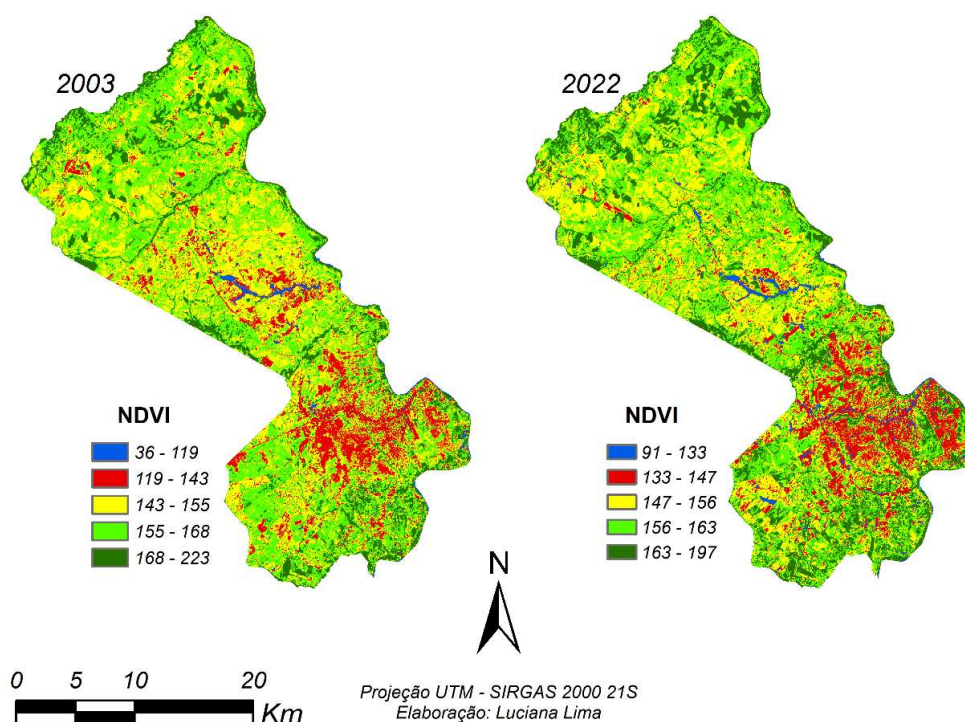
Fica evidente que nas áreas menos urbanizadas, a temperatura superficial é menor em relação às regiões mais urbanizadas, em razão da substituição dos materiais naturais por materiais artificiais (como concreto, vidro, asfalto, metal, dentre outros) e a expansão da malha urbana da cidade.

4.2.3 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI é um parâmetro essencial para o cálculo da TST nos modelos propostos, sendo empregado tanto para a imagem de 2003 quanto para a de 2022. E como

normalmente a presença de ilha de calor urbana está diretamente relacionada à escassez de vegetação, este índice permite apurar a presença de vegetação densa dentro da área de estudo. A Figura 52 apresenta o NDVI de 2003 e de 2022 para a cidade de Várzea Grande.

Figura 52 – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.



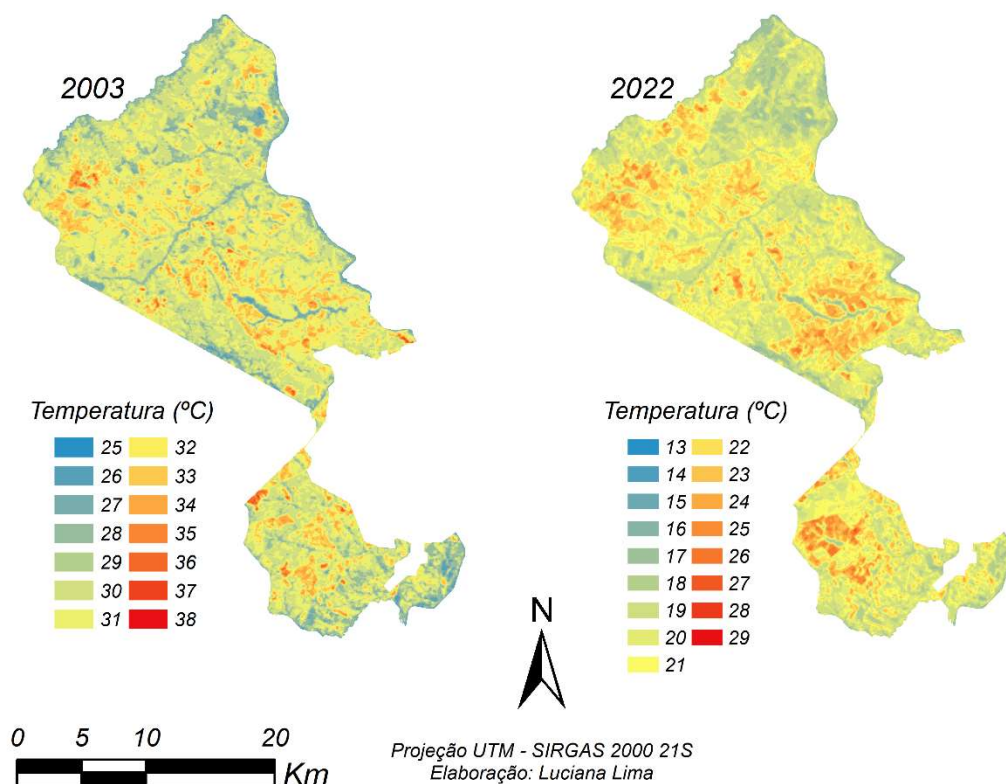
Examinando as duas imagens, é possível observar que a cor azul equivale a corpos d'água. Vermelho representa a área construída, devido às características físicas dos materiais que a compõem. O amarelo retrata as áreas de solo exposto, que normalmente circundo as áreas construídas. A cor verde clara representa a vegetação rasteira enquanto o verde escuro retrata as áreas de vegetação densa.

Nota-se que nas duas imagens as maiores áreas de vegetação densa se encontram ao norte, enquanto que estão pulverizadas na área urbana da cidade

4.2.4 Intensidade da Ilha de Calor Urbana Superficial (IICUS)

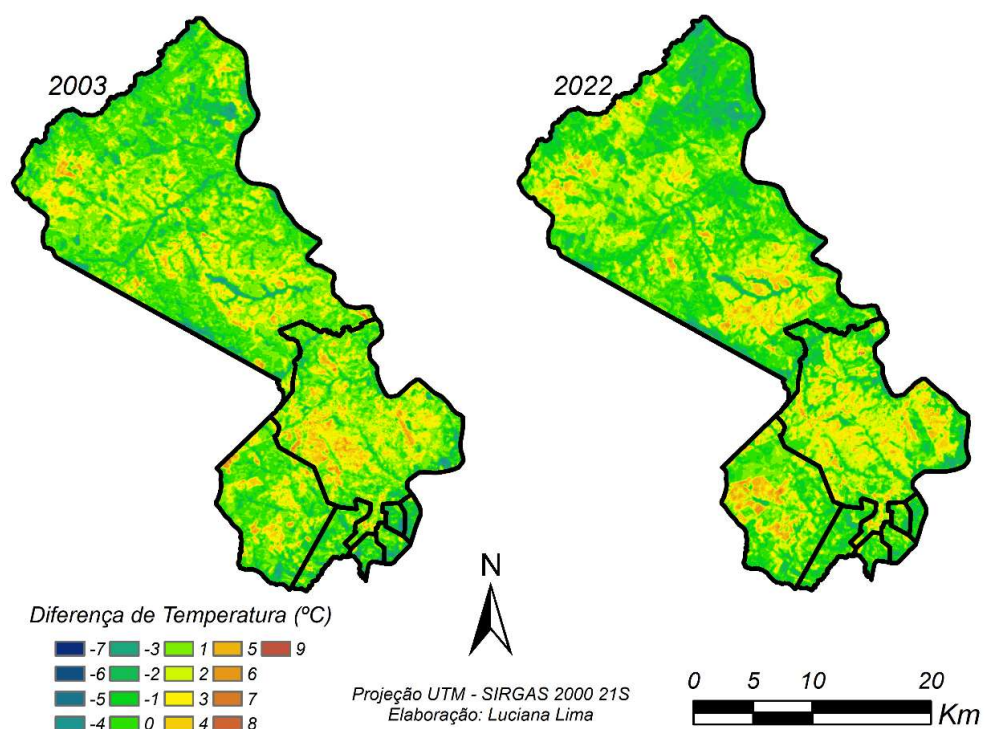
Para a apuração da IICUS foi realizado o cálculo da média das temperaturas superficiais das regiões rurais de Várzea Grande, excetuando-se a área do perímetro urbano. A Figura 53 ilustra as regiões de onde a temperatura superficial foi computada e apresenta o seu valor médio para 2003 e 2022.

Figura 53 – Média da Temperatura Superficial Rural de Várzea Grande.



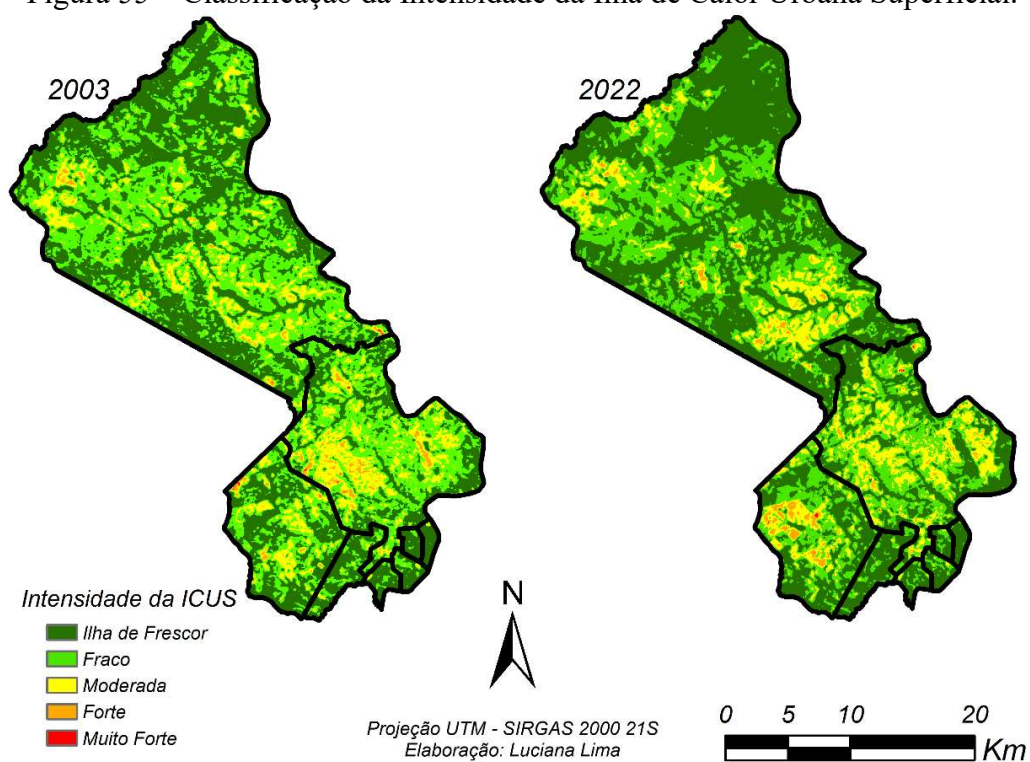
Após a obtenção da temperatura superficial média, foi efetuada a diferença pixel a pixel entre ela e a temperatura superficial. Desta forma, infere-se que os valores positivos obtidos retratam a existência de ICUS e os valores negativos retratam a ocorrência de ilhas de frescor.

Figura 54 – Diferença entre a Média da Temperatura Superficial da Área Rural e a Temperatura Superficial.



A classificação da intensidade da ilha de calor superficial foi realizada, sendo os valores abaixo de zero classificados como Ilhas de Frescor,

Figura 55 – Classificação da Intensidade da Ilha de Calor Urbana Superficial.



Nota-se um deslocamento da ilha de calor para a região de Formigueiro, com aumento da área de ilha de calor moderada e forte. Analisando as 2 imagens verifica-se que na imagem de 2022 existe uma maior incidência de ilha de frescor na área norte da região da Passagem da Conceição. Dentro do perímetro urbano de Várzea Grande ocorrem manchas de ilhas de frescor próximo aos córregos e áreas de preservação ambiental. Entretanto na malha urbana a intensidade da ilha de calor superficial varia de fraca a forte. A Tabela 15 apresenta a relação entre a IICUS e sua área de ocupação para 2003 e 2022.

Tabela 15 – Relação entre a IICUS e sua área de preenchimento.

IICUS	2003		2022	
	Área (km ²)	Percentual	Área (km ²)	Percentual
Ilha de Frescor	329,64	45,55%	368,35	50,90%
Fraco	291,55	40,29%	248,85	34,39%
Moderado	94,33	13,04%	96,97	13,40%
Forte	7,94	1,10%	9,33	1,29%
Muito Forte	0,20	0,03%	0,18	0,02%
Total	723,67	100,00%	723,68	100,00%

A Ilha de Frescor é cerca de 5% maior em 2022 do que em 2003 em virtude da maior área de Vegetação Densa e, possivelmente, devido à TST de 2022 ser menor do que em 2003. Provavelmente a imagem de 2022 foi obtida após a passagem de uma frente fria na região. Mas mesmo com a influência de fatores adversos, é notório a existência de ICUS em metade da área de Várzea Grande. Os maiores percentuais encontrados nas duas imagens foram para ICUS Fraco e Moderado. A IICUS Forte de 2022 foi ligeiramente maior do que a de 2003 e a Muito Forte foi semelhante ara as duas imagens, com uma diferença de 0,01% de 2003 em relação a 2022.

A Figura 59 e a Figura 60 apresentam o mapa de classificação do solo, NDVI e TST para os anos de 2003 e 2022, respectivamente.

Figura 56 – Mapa da classificação de uso do solo, NDVI e TST para o ano de 2003.

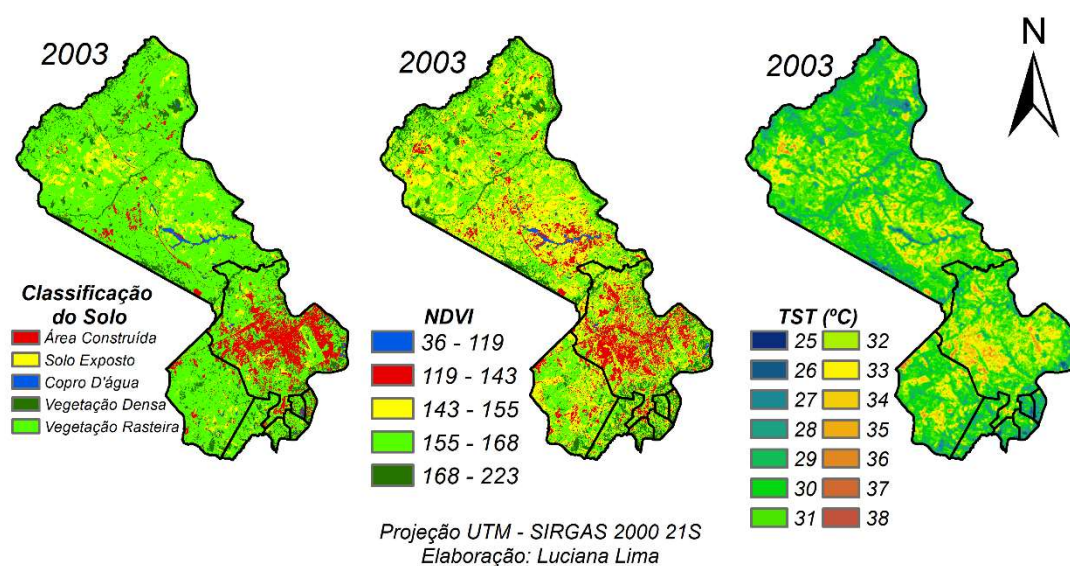
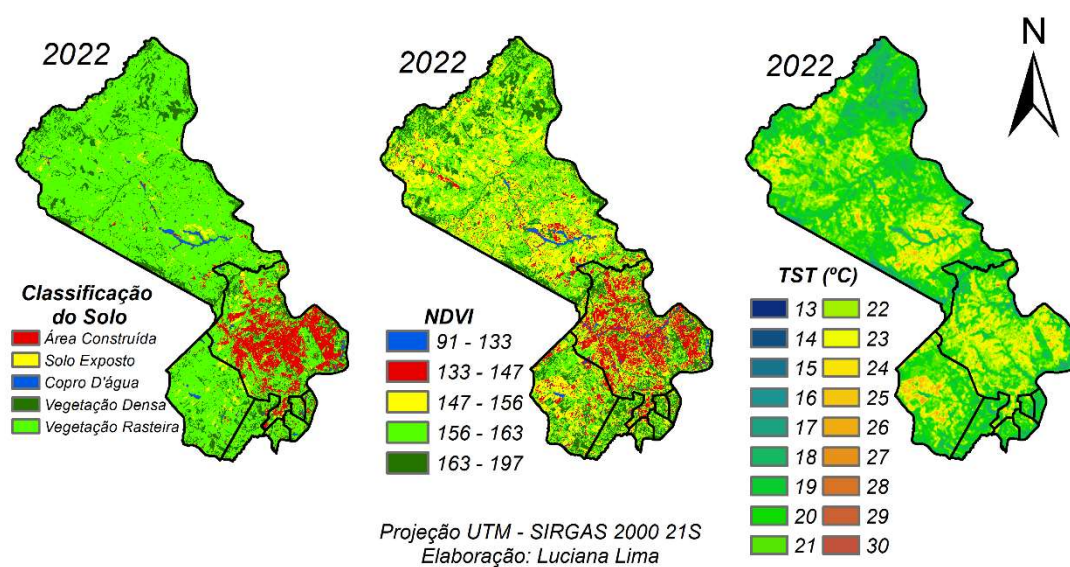


Figura 57 – Mapa da classificação de uso do solo, NDVI e TST para o ano de 2022.



Nota-se que as áreas referentes à classe Área Construída, com uma densidade maior de edificações corresponde à área com baixo índice de vegetação e com a TST elevada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a utilização de imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 9 foi possível realizar a classificação supervisionada de uso do solo, onde a partir de uma amostra de treinamento efetuada pelo usuário em cada imagem, toda a imagem foi classificada segundo o método de verossimilhança, resultando em um desempenho excelente, ao obter o índice *kappa* de aproximadamente 0,95 para a imagem de 1985 e superior a 0,98 para todas as outras imagens.

Com a classificação do uso do solo nas imagens verificou-se a expansão da malha urbana de Várzea Grande, com a pavimentação das ruas principais, adensamento das edificações na região central da cidade. Essa expansão da malha urbana foi motivada pela migração populacional para trabalhar no setor industrial da cidade, setor este em expansão graças às medidas públicas de concessões para a fixação de indústrias na região. Devido à alta demanda por moradia, vários loteamentos e empreendimentos imobiliários foram criados, e as áreas vazias foram sendo ocupadas no centro comercial da cidade.

A definição da TST a partir de imagens de satélite Landsat foi possível com a adoção de uma metodologia mais adequada para cada satélite, sendo utilizado o algoritmo de Equação de Transferência Radiativa (RTE), com melhor precisão para imagem do Landsat 5 de 2003 e o Algoritmo de Mono Janela (MWA) para a imagem do Landsat 9 de 2022.

Como resultado, a TST do instante em que as imagens foram coletadas foram utilizadas para comparar as áreas onde ocorreram as temperaturas superficiais mais elevadas. Para a imagem de 2003 a TST variou de 24 °C a 38 °C (14 °C de alcance) enquanto para 2022 a variação foi de 12 °C a 30°C (18 °C de alcance). Embora em 2022 a TST seja mais baixa que em 2003, ela tem uma maior variabilidade.

Pela diferença da TST pela menor temperatura registrada em cada imagem, nota-se que na imagem de 2022 apresentou valores mais elevados na Porção Sul da Passagem da Conceição, Leste de Formigueiro e no perímetro Urbano.

Comparando-se a TST com as áreas de classificação de uso do solo, a Área Construída, Solo Exposto e Vegetação Rasteira obtiveram a temperatura superficial média mais elevada do que as demais classes em ambas as imagens.

Com relação à IICUS, verificou-se que a Ilha de Frescor em 2022 é 5% maior do que a de 2003, presente em 50,9% da área. Já a IICUS Fraca foi maior em 2003, com 40,29% de área. As demais intensidades de ilha de calor superficial tiveram valores muito próximos.

Diante do exposto, esta pesquisa buscou contribuir com estudos futuros relacionados ao clima urbano e sensoriamento remoto.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa efetuada e apresentada neste trabalho procurou ser uma colaboração para a linha de pesquisa de Análise Microclimática de Sistemas Urbanos, corroborando com metodologias atualizadas e adequadas no estudo do clima urbano. Entretanto não foi possível realizar algumas considerações, embora sejam muito importantes e interessantes. Desta forma elas seguem, como sugestão para a realização de trabalhos futuros, sendo:

- Comparar os resultados obtidos de TST com os dados de estações micrometeorológicas instaladas na área de estudo;
- Efetuar a análise espaço-temporal para toda a região da Baixada Cuiabana, empregando imagens de satélite;
- Criar um índice de vulnerabilidade à ICUS, relacionando a população de risco por faixa etária com as localidades onde a ICUS são mais intensas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.D. BIRYUKOV, V. D. O. A. A. O. K. Urban climate and registration of thermal anomalies of territories using satellite imagery. **E3S Web of Conferences**, Janeiro 2021.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728, Janeiro 2014.

ANDRADE, H. O Clima Urbano - Natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra: Revista Portuguesa de Geografia**, v. 40, p. 71, 2005. ISSN DOI: 10.18055/Finis1479.

ARCGIS DESKTOP. Smoothing class boundaries and clumping classified output. **ArcGIS Desktop**, 2022. Disponível em: <<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/image-classification/smoothing-class-boundaries-and-clumping-classified-output.htm>>. Acesso em: 4 outubro 2022.

ARCGIS PRO. Majority Filter (Spatial Analyst). **ArcGis Pro**, 2022. Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/majority-filter.htm>>. Acesso em: 4 Outubro 2022.

AVDAN, U.; JOVANOVSKA, G. Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. **Journal of Sensors**, Janeiro 2016. 1-8.

BIRYUKOV, A.; OLENKOV, V.; KOLMOGOROVA, A. O. Urban climate and registration of thermal anomalies of territories using satellite imagery. **E3S Web Conf.**, v. 266, p. 16, 2021. ISSN 10.1051/e3sconf/202126608008.

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

BRITO, P. V. D. C. Análise Espaço-Temporal das Ilhas de Calor Urbanas de Superfície na Cidade de Cuiabá-MT, Cuiabá, Dezembro 2018.

CLIMATE-DATA.ORG. Clima Várzea Grande (Brasil). **CLIMATE-DATA.ORG**, 2021. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/mato-grosso/varzea-grande-4462/>>. Acesso em: 11 Agosto 2022.

CONGALTON, R. G.; GREEN'S, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. 3. ed. [S.l.]: CRC Press, 2019. ISBN 978-1498776660.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Classificação de Solos do Estado de São Paulo**, Brasília, 1999.

EMBRAPA. Satélites de Monitoramento. **Embrapa**, 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat#mss>>. Acesso em: 22 Agosto 2022.

ENGEARTE. **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO de VÁRZEA GRANDE**. ENGEARTE – Consultoria, Projetos e Obras. Várzea Grande, p. 766. 2014.

FIALHO, E. S. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. **Revista ACTA Geográfica.**, Boa Vista, 04 Fevereiro 2012. 61-76.

FONSECA, S. F. D. **QGIS na Prática: Tutoriais e Aplicações**. 1. ed. [S.l.]: [s.n.], 2020.

GANHÓ, N. Clima Urbano e a Climatologia Urbana: Fundamentos e Aplicação ao Ordenamento Urbano. **Cadernos de Geografia**, n. • 18, Coimbra, 1999. 97-127.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas / tradução ISilvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GOVERNO DE MATO GROSSO. Vista aérea de Várzea Grande. **Governo de Mato Grosso**, 2022. Disponível em: <http://www.mt.gov.br/mti-teste-timeline/-/asset_publisher/tDUZtefXv6HX/document/id/22002941?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.mt.gov.br%2Fmti-teste-timeline%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_tDUZtefXv6HX%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_>. Acesso em: 25 Novembro 2022.

GRIEND, A. A. V. D.; OWE, M. On the Relationship between Thermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for Nature Surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, 1993. 1119-1131.

IBERDROLA. Ilhas de Calor. **Iberdrola**, 2022. Disponível em: <<https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/ilha-de-calor>>. Acesso em: 16 Agosto 2022.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2009.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/varzea-grande/panorama>>. Acesso em: 08 Agosto 2022.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=35938&t=resultados>>. Acesso em: 30 Dezembro 2022.

IMAGEM. Sobre o Arcgis. **Imagem**: Esri Official Distributor, 2022. Disponível em: <<https://www.img.com.br/pt-br/arcgis/visao-geral/visao-geral>>. Acesso em: 16 dezembro 2022.

INPE. Landsat. **Divisão de Geração de Imagens - DGI**, 2022. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>>. Acesso em: 22 Agosto 2022.

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

JÚNIOR, J. C. U.; AMORIM, M. C. D. C. T. Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **RDG - Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo**, São Paulo, n. Especial, p. 160-173, Outubro 2016. ISSN 2236-2878.

LIANO, X. C. AcATaMa - plugin QGIS para Avaliação de Precisão de Mapas Temáticos. **Versão:** 19.11.21B, 2022. Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/AcATaMa/>>.

MARKHAM, B.; BARS, J. Atmospheric Correction Parameter Calculator. **NASA**, 2022. Disponível em: <<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em: 1 Novembro 2022.

MENG, X.; CHENG, J.; LIANG, S. Estimating land surface temperature from Feng Yun-3C/MERSI data using a new land surface emissivity scheme. **Remote Sensing**, v. 9, n. 12, p. 1247, 2017., v. 9, p. 1247, 2017.

MONTEIRO, U. **Várzea Grande: passado e presente confrontos**. Cuiabá: Policromos, 1987.

NASA. LANDSAT 8. **NASA**, 2022. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>>. Acesso em: 23 Agosto 2022.

NEINAVAZA, E.; SKIDMORE, A. K.; DARVISHZADEH, R. Effects of prediction accuracy of the proportion of vegetation cover on land surface emissivity and temperature using the NDVI threshold method. **Int J Appl Earth Obs Geoinformation**, 2020.

OKE, T. R. Canyon geometry and the urban-rural dichotomy in empirical. **Journal of Climatologica**, Szeged, September 1981. 237-254.

OLOFSSON, P. et al. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment**, 2014. 42-57.

PFEIFF, G. K.; MOTA, M. A. S. D.; LIMA, A. M. M. D. Revisão Sistemática atual sobre Sensoriamento Remoto aplicado a detecção de Ilhas de Calor Urbanas. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, 2020.

PIRES, É. G.; JR, L. G. F. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, , Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE, João Pessoa-PB, 29 Abril 2015**. 7421-7428.

QIN, Z.; KARNIELI, A.; BERLINER, P. A Mono-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM data and its Application to the Israel-Egypt Border Region. **International Journal**, v. 22, 2001. ISSN 3719–3746.

RAO, P. K. Remote Sensing of Urban Heat Islands from an Environmental. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 53 1978. 647-648.

RIBEIRO, C. R.; GONÇALVES, A. P.; BASTOS, F. P. Ilhas de calor urbanas e conforto térmico humano em cidades de porte médio: estudo aplicado em Juiz de Fora (MG). **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 281 - 300, Dezembro 2018. ISSN 2177-2738.

RIBEIRO, C. R.; GONÇALVES, A. P.; BASTOS, F. P. Ilhas de calor urbanas e conforto térmico humano em cidades de porte médio: estudo aplicado em Juiz de Fora (MG). **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 281 - 300, Janeiro 2019. ISSN 2177-2738.

RODRIGUES, C.; NETO, V. J. **Nova História do Mato Grosso Contemporâneo**. 1ª. ed. Cuiabá: EdUFMT, 2018.

ROMERO, M. A. B. et al. **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas**. 1. ed. Brasília: ETB, 2019.

SAMSUNG. Odyssey (GeForce® GTX 1050Ti). **SAMSUNG**, 2018. Disponível em: <<https://www.samsung.com/br/support/model/NP800G5H-XT1BR/>>. Acesso em: 29 Dezembro 2022.

SCHMITZ, A. Geographic Information Systems for Today and Beyond. **Saylor Academy**, 2012. Disponível em: <https://saylordotorg.github.io/text_essentials-of-geographic-information-systems/s05-03-geographic-information-systems.html>. Acesso em: 22 Novembro 2022.

SEKERTEKIN, A.; BONAFONI, S. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation. **Remote Sensing**, Janeiro 2020. 1-32.

SILVA, A. V. **Formação do Espaço Urbano e as Formas de Habitação na Cidade de Várzea Grande - MT**. Mestrado (Ambiente e Desenvolvimento Regional). Faculdade de Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Cuiabá, p. 88. 2016.

SOBRINO, J. A. et al. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 42, p. 316-327, Março 2008. ISSN 0196-2892.

STEWART, I. D.; OKE, D. T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879–1900, Dezembro 2012. ISSN 10.1175/BAMS-D-11-00019.1.

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

TOUATIA, N.; GARDESA, T.; HIDALGOB, J. A GIS plugin to model the near surface air temperature from urban meteorological networks. **Urban Climate**, 34 2020. 1-15.

TRAN, H. et al. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 8, Issue 1**, 2006. 34-48.

USGS, U. S. G. S.-. Landsat 9. **USGS**, 2022. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>>. Acesso em: 21 Novembro 2022.

VÁRZEA GRANDE. **Lei Municipal Complementar N.º 4.695/2021**. Câmara Municipal de Várzea Grande. Várzea Grande, p. 54. 2021.